ISSN 1347-3379

農研機構
NARO

BULLETIN OF THE NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER FOR TOHOKU REGION

Tohoku Nogyo Kenkyu Center Kenkyu Hokoku
No.110, March 2009

東北農業研究センター研究報告

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
東北農業研究センター
岩手県盛岡市

National Agricultural Research Center for Tohoku Region
National Agriculture and Food Research Organization
Morioka, Iwate 020-0198, Japan

東北農研研報　Bull. Natl. Agric. Res. Cent. Tohoku Reg. No.110, p.1-224　March 2009

本誌から転載・複製する場合は当研究センターの許可を得てください。

東北農業研究センター研究報告　第110号

所　長　　八　巻　　正

編集委員会

編集委員長	田　中　規　夫	
編 集 委 員	須　山　哲　男	荒　木　陽　一
	滝　田　　正	田　村　有希博
	鵜　川　洋　樹	

BULLETIN OF THE
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
FOR TOHOKU REGION

No.110

Director General
Tadashi YAMAKI

Editorial Board

Editor
Norio TANAKA

Associate Editors

Tetuo SUYAMA	Yoichi ARAKI
Tadashi TAKITA	Yukihiro TAMURA
Hiroki UKAWA	

東北農業研究センター研究報告　第 110 号（平成 21 年 3 月）

目　　次

寒冷地向け二条大麦新品種「小春二条」の育成
谷口　義則・伊藤　裕之・平　　将人・前島　秀和・吉川　　亮
中村　和弘・八田　浩一・中村　　洋・伊藤美環子・伊藤　誠治 …… 1 － 15

製パン適性が高く、早生で耐寒雪性が強い小麦新品種「ゆきちから」の育成
吉川　　亮・中村　和弘・伊藤美環子・伊藤　裕之・星野　次汪
伊藤　誠治・八田　浩一・田野崎眞吾・谷口　義則・佐藤　暁子
中村　　洋・藤原　秀雄・上田　邦彦・故北原操一・中島　秀治
故後藤虎男 …… 17 － 44

もち性小麦品種「はつもち」および「もち乙女」の育成とその特性の遺伝的改良
吉川　　亮・中村　和弘・伊藤　誠治・八田　浩一・中村　俊樹
山守　　誠・中村　　洋・伊藤美環子・星野　次汪 …… 45 － 66

寒冷地向け大麦品種「シンジュボシ」の育成とその特性
吉川　　亮・中村　和弘・伊藤美環子・伊藤　裕之・佐藤　暁子
伊藤　誠治・八田　浩一・中村　洋・星野　次汪 …… 67 － 82

水稲の良食味・いもち耐病性品種の育成と耐病性の経済的効果の評価
山　口　誠　之 …… 83 － 127

リビングマルチを利用した畑作物生産に関する栽培学的研究
三　浦　重　典 ……129 － 175

リンゴのナミハダニ防除薬剤の実用性判定における葉片浸漬法の評価
高梨　祐明・土師　　岳・足立　嘉彦・豊島　真吾 ……177 － 186

燃料利用を視野に入れたナタネ生産振興と有機農業運動の連携の可能性
野　中　章　久 ……187 － 198

遺伝子組換えによるダイズわい化病抵抗性ダイズの作出
藤　郷　　誠 ……199 － 224

BULLETIN OF THE NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER FOR TOHOKU REGION

No.110 (March 2009)

CONTENTS

TANIGUCHI, Y., ITO, H., TAIRA, M., MAEJIMA, H., YOSHIKAWA, R., NAKAMURA, K., HATTA, K., NAKAMURA, H., ITO, M. and ITO, S. :
New Two-rowed Barley Cultivar "Koharu Nijo" ..... 1 – 15

YOSHIKAWA, R., NAKAMURA, K., ITO, M., ITO, Y., HOSHINO, T., ITO, S., HATTA, K., TANOSAKI, S., TANIGUCHI, Y., SATO, A., NAKAMURA, H., FUJIWARA, H., UEDA, K., KITAHARA, S., NAKAJIMA, H. and GOTO, T. :
A New Wheat Cultivar,"Yukichikara", with Good Bread-making Quality, Early Maturing, and Cold and Snow Resistance ..... 17 – 44

YOSHIKAWA, R., NAKAMURA, K., ITO, S., HATTA, K., NAKAMURA, T., YAMAMORI M., NAKAMURA, H., ITO, M. and HOSHINO, T. :
Breeding of Two Waxy Wheat Cultivars,"Hatsumochi" and "Mochiotome", and Genetic Improvement of Their Traits. ..... 45 – 66

YOSHIKAWA, R., NAKAMURA, K., ITO, M., ITO, Y., SATO, A., ITO, S., HATTA, K., NAKAMURA, H. and HOSHINO, T. :
A New Six-rowed Barley Cultivar,"Shinjuboshi", with Early Maturity and Good Pearled and Boiled Qualities ..... 67 – 82

YAMAGUCHI, M. :
Breeding of Rice Varieties with Blast Resistance and Excellent Eating Quality, and Evaluation of the Economic Effect of their Resistance ..... 83 – 127

MIURA, S. :
Cultivational Studies on Field Crop Production with Living Mulches .....129 – 175

TAKANASHI, M., HAJI, T., ADACHI, Y. and TOYOSHIMA, S. :
A Simple Method for Testing the Susceptibility of Two-spotted Spider Mite to Several Acaricides .....177 – 186

NONAKA, A. :
The possibility of cooperation between organic farming and the extension of rapeseed including biodiesel use in Japan .....187 – 198

TOUGOU, M. :
Production of *Soybean dwarf virus*-resistant transgenic soybeans .....199 – 224

寒冷地向け二条大麦新品種「小春二条」の育成

谷口　義則[*1)]・伊藤　裕之[*1)]・平　　将人[*1)]・前島　秀和[*2)]
吉川　　亮[*3)]・中村　和弘[*1)]・八田　浩一[*4)]・中村　　洋[*5)]
伊藤美環子[*3)]・伊藤　誠治[*6)]

抄　録：「小春二条」（旧系統名：東北皮38号）は二条並性の皮麦で、二条大麦の中では耐寒雪性に優れ、ビール醸造適性を有する品種である。

1996年５月に東北農業試験場（現　農研機構東北農業研究センター）において、ビール用二条大麦「ニシノゴールド」に耐寒雪性の強い六条大麦「ミユキオオムギ」を交配したF_1雑種を母に、麦芽エキスおよびジアスターゼ力の優れたビール用二条大麦「九州二条11号（後のミハルゴールド）」を父とする人工交配を行い、以後、系統育種法に準じて選抜・固定を図り育成したものである。2008年１月に品種登録出願を行った。

叢性はやや匍匐し、株の開閉は“中”の並性品種である。稈長は「ミノリムギ」と同程度のやや長稈種で穂長は長く、穂数が多い。穂型は“矢羽根”で芒は多くて長く、ふの色は“淡黄”で穂は直立する。粒の形はやや短く、千粒重は“極大”でリットル重は“やや大”で共に「ミノリムギ」より大きく、外観品質は“中の上”である。

播性は“Ⅱ”で寒冷地の六条主力品種である「ミノリムギ」と比較して出穂期が１日遅く、成熟期が１日早い中生種である。穂発芽性は“やや難”で、耐倒伏性は中程度である。耐寒性は“中”、耐雪性は“やや弱”であるが、これまで普及している二条大麦品種より明らかに強い。収量は「ミノリムギ」より少なく“やや多”である。赤かび病抵抗性は“やや強”、オオムギ縞萎縮病およびうどんこ病抵抗性は“中”、小さび病抵抗性は“弱”である。麦芽品質はコールバッハ数が大きく、「ミノリムギ」より麦芽エキスがやや多く、ジアスターゼ力が大きく優れる。また、搗精白度はミノリムギと同じ「やや大」で食用としての利用も可能である。栽培適地は寒冷地（東北、北陸地域）の平坦部、根雪期間が70－80日以下の地帯である。

本品種は地ビール原料としての用途を想定し、工場規模での麦芽品質を調べるために品種登録を行った。現在、岩手県一関市で試験栽培と同市内の小規模醸造所での試験醸造を行い、同地域での普及をめざしている。

キーワード：小春二条、二条オオムギ、麦芽品質、耐雪性、寒冷地、赤かび病、新品種

New Two-rowed Barley Cultivar “Koharu Nijo” : Yoshinori TANIGUCHI[*1)], Hiroyuki ITO[*1)], Masato TAIRA[*1)], Hidekazu MAEJIMA[*2)], Ryo YOSHIKAWA[*3)], Kazuhiro NAKAMURA[*3)], Koichi HATTA[*4)], Hiroshi NAKAMURA[*5)], Miwako ITO[*3)] and Seiji ITO[*6)]

Abstract : A new two-rowed barley cultivar “Koharu Nijo” was bred by the pedigree breeding method at the National Agricultural Research Center for the Tohoku Region in 2008. It was selected from a cross between F_1 (“Nishino Gold” / “Miyukioomugi”) and “Kyushu Nijo 11 (Miharu Gold)”.

＊１）現・東北農業研究センター（National Agricultural Research Center For Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan）
＊２）現・長野県農事試験場（Nagano Agricultural Experiment Station, Susaka, Nagano, 382-0051, Japan）
＊３）現・北海道農業研究センター（National Agricultural Research Center For Hokkaido Region, Memuro, Kasai-gun Hokkaido, 082-0071, Japan）
＊４）現・九州沖縄農業研究センター（National Agricultural Research Center For Kyushu Okinawa Region, Chikugo, Fukuoka, 833-0041, Japan）
＊５）現・作物研究所（National Institute of Crop Science, Tsukuba, Ibaraki, 305-8518, Japan）
＊６）現・中央農業総合研究センター北陸研究センター（Hokuriku Research Center, National Agricultural Research Center, Joetsu, Niigata, 943-0193, Japan）
2008年８月11日受付、2008年12月16日受理

"Koharu Nijo" is a remarkably improved high quality cultivar for malting and milling with awns, hulled barley, spring habit is degree Ⅱ. "Koharu Nijo" is classified as having moderate cold tolerance and slightly weak snow mold tolerance, but its cold and snow mold tolerance are higher than those of other two-rowed barley cultivars. "Koharu Nijo" is classified as a slightly late maturity barley in the Tohoku region with a slightly long culm length. It has a higher spike number, lower yielding ability, and higher thousand-grain weight than the standard six-rowed barley cultivar "Minorimugi" in the Tohoku and Hokuriku regions. "Koharu Nijo" has moderate pre-harvest sprouting resistance and moderate scab resistance. Its barley yellow mosaic resistance and powdery mildew resistance are intermediate, and its rust resistance is low. The malt extract and diastatic power per total nitrogen of "Koharu Nijo" is higher than that of "Minorimugi.". This cultivar has been suggested for local production for use by a microbrewery. The whiteness of the pearled grain is the same as that of "Minorimugi." "Koharu nijo" is considered to be adapted to low lands in the Tohoku and Hokuriku regions in Japan.

Key Words : Koharu nijo, Two-rowed Barley, Malting quality, snow mold tolerance, New cultivar

Ⅰ 緒　　言

東北・北陸地域の寒冷地のうち、東北南部の福島県、宮城県では、1970年代まで大手ビール会社と契約し、「キリン直１号」、「交Ａ」、「ニューゴールデン」等のビール麦（二条大麦）が栽培されていた。日本麦類研究会の資料「麦の品種別作付面積」によると、1960年産では宮城県で619ha、福島県で1478haの作付があったが、その後は急速に減少している。また、岩手県、新潟県、福井県でも1960～70年代にピーク時で19ha程度の作付が５～８年間継続して行われたが、その後は行われていない。このため、1981年産の福島県での作付を最後に、以後、単発的な栽培を除き、東北・北陸地域での二条大麦作付けは長く途絶えた。寒冷地、特に多雪地帯で二条大麦の栽培が定着しなかった要因の一つは、既存品種の耐寒雪性が弱く、収量が安定しないためと推察される。

1994年に酒税法が改正されて、ビール製造免許の取得要件が年間最低製造数量2000Lから60Lに緩和されたことから、1995年のエチゴビールを皮切りに、全国で小規模な醸造所が多数設立され、いわゆる地ビールが販売されるようになった。これらの醸造所の多くは輸入麦芽を原料にしているが、地産地消の面から地元産の麦を原料とする醸造所も存在する。このため、北陸地域の富山県では1997年産から、石川県では1999年産から地元醸造所に原料を供給するために、二条大麦「あまぎ二条」の作付が始まった。10ha以下の規模で現在まで作付が続いているが、寒雪害により収量は不安定である。一方、東北地域の青森県、岩手県では寒雪害を避けるために、1996年産から「りょうふう」等の春播栽培が６～７年間継続して試みられたが、定着することなく終了した。春播栽培が定着しなかったのは、秋播より品質が劣り、収穫期が遅くて梅雨の影響を受けやすいためと推察される。このため、東北地域の醸造所では、地元産麦を原料とする場合は、寒雪害に弱い二条大麦に代えて、六条大麦や小麦を使用することが多い。しかし、六条大麦は麦芽エキスが低いなど品質が不十分であり、小麦の使用は、大麦を原料とする大手ビール会社の商品との差別化が図れる利点もあるが、醸造できるビールの種類が限定される。

上述のように地ビールによる地域振興の観点から、寒冷地で安定した収量の得られる二条大麦品種の需要は高いと判断される。

東北農業試験場（2000年度から農研機構東北農業研究センター）では、1995年度から二条大麦の耐寒雪性強化に取り組み、2002年度に「東北皮38号」を育成した。本系統は実験室レベルでの醸造試験でビール用二条大麦並の麦芽品質（ビール醸造品質）を有することが推察できる。そのため、さらに醸造所規模で品質を調べ、地ビール原料としての実需評価を受けるために、2008年１月に「小春二条」の名称で品種登録申請を行った。本報告では「小春二条」の普及に資するため、本品種の育成経過や特性について紹介する。

本品種の育成に当たり、特性検定試験、系統適応性検定試験、奨励品種決定調査を実施していただいた関係機関および担当者各位に厚く御礼申し上げる。特に栃木県農業試験場栃木分場には麦芽品質を

分析していただき、岩手県、秋田県、福井県の研究機関には分析材料を養成していただいた。これらの機関の担当者には重ねて感謝申し上げる。さらに、東北農業研究センター研究支援センター（旧東北農業試験場企画連絡室）業務第１科の関村良蔵、木村力也、藤沢敏彦、齋藤文隆、古澤久男、齊藤真一、谷藤彰、佐藤敏幸、松橋克也、熊谷常三、齊藤進の諸氏には栽培管理や生育・収量調査および品質分析など育種業務の遂行にご尽力いただいた。ここに記して各位に厚く御礼申し上げる。

Ⅱ　来歴および育成経過

１．育種目標及び来歴

「小春二条」は1995年度（1996年５月）に東北農業試験場にて「F_1（ニシノゴールド／ミユキオオムギ）」を母とし、「九州二条11号」を父として人工交配（盛交C-119）を行い、以後、選抜・固定を図ってきたものである（図１）。表１に交配親の特性を示す。「ニシノゴールド」（伊藤ら　1987）は福岡県（二条大麦育種指定試験地）で育成された播性が

表１　交配親の特性

品種名 系統名	叢性	稈長	並渦性	条性	皮裸性	播性	出穂期	耐雪性	縞萎縮病	穂発芽性	麦芽エキス	ジアスターゼ力
ニシノゴールド	直立	中	並	二条	皮	Ⅰ	極早	極弱	極強	中	多	大
ミユキオオムギ	匍匐	中	並	六条	皮	Ⅳ	中	強	中	難	－	－
九州二条11号	やや直立	中	並	二条	皮	Ⅰ	極早	極弱	極強	やや難	多	極大
小春二条	やや匍匐	やや長	並	二条	皮	Ⅱ	中	やや弱	中	やや難	やや多	大

注．各育成地での品種登録時の特性値を示した（九州二条11号は「ミハルゴールド」として登録したときの特性値）。

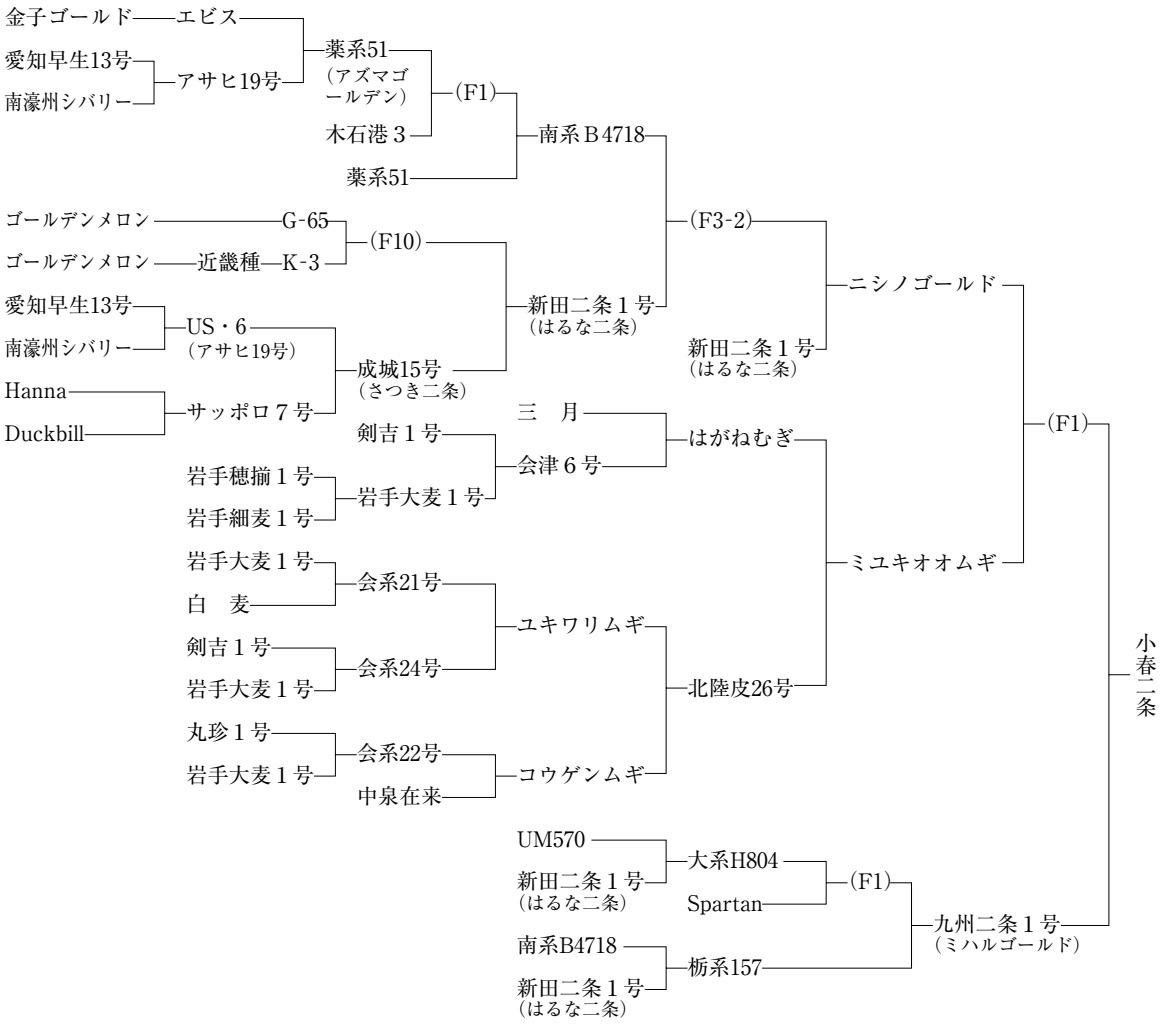


図１　「小春二条」の系譜図

表２　「小春二条」の選抜経過と各種試験への供試状況

試験年度		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
世　代		交配	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
供試数[注1]	系統群数						5	6(2)	4(2)	2(1)	1	1	1
	系統数		52個体	17	7	6	24	23(8)	25(12)	15(10)	10	10	10
選抜数[注1]	系統群数						4(1)	4(2)	2(1)	1	1	1	1
	系統数			7	6	5	6(2)	4(2)	2(1)	1	1	1	1
	個体数	52粒	17[注2]			24	23(8)	25(12)	15(10)	10	10	10	10
生産力検定予備試験							○						
同　本試験ドリル播								○	○	○	○	○	○
同　本試験条播								○	○	○	○	○	○
特性検定試験	箇所数							7	5	7	6	9	11
系統適応性検定試験	箇所数							2					
奨励品種決定調査	箇所数								11	5	4	3	1
備　考		盛交 C-119	点播	散播	散播 春播	以後 点播	盛系 C-306		東北皮 38号				

注.　1）（　）は後に「小春二条」になる盛系C-306、東北皮38号の供試数および選抜数を内数で示した。2001～2002年度は２系統群に分かれているが、特検、系適、生検には種子を混合して供試した。
　　2）選抜の残り個体は上表とは別に世代促進栽培と派生系統選抜により育成を進め、予検供試５系統（内３系統は系適にも供試）を育成した。

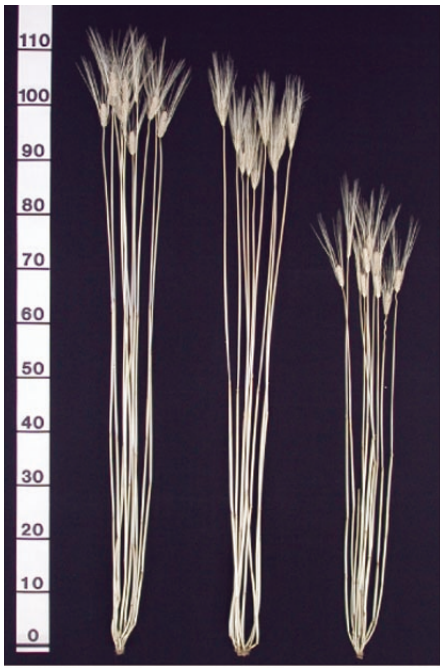


写真１　「小春二条」の株標本
左：「小春二条」、中：「ミノリムギ」、右：「あまぎ二条」
「あまぎ二条」は寒雪害により短稈化している

写真２　「小春二条」の穂と粒
左：「小春二条」、中：「ミノリムギ」、右：「あまぎ二条」

写真３　小春二条の越冬状況
左から小春二条、ミノリムギ（六条種）、あまぎ二条
2008年３月14日盛岡市で撮影
根雪期間は88日

表３　「小春二条」の形態的特性

形質番号	形　質	小春二条	ミノリムギ	あまぎ二条
1－1	叢　性	6（やや匍匐）	6（やや匍匐）	4（やや直立）
1－2	株の開閉	5（中）	6（やや開）	4（やや閉）
1－3	並渦性	2（並）	2（並）	2（並）
2－1	稈　長	6（やや長）	6（やや長）	－
2－2	稈の細太	4（やや細）	5（中）	－
2－3	稈の剛柔	6（やや柔）	5（中）	－
2－4	稈のワックスの多少	6（やや多）	7（多）	－
3－1	葉耳の有無	1（有）	1（有）	1（有）
3－2	葉　色	5（中）	5（中）	5（中）
3－3	葉鞘のワックスの多少	6（やや多）	7（多）	－
3－4	葉鞘の毛の有無・多少	0（無）	5（中）	0（無）
4－1	穂　型	8（矢羽根）	－	8（矢羽根）
4－2	穂　長	7（長）	6（やや長）	－
4－3	粒着の粗密	6（やや密）	－	6（やや密）
4－4	穂の抽出度	4（やや短）	5（中）	－
4－5	条　性	2（二条）	8（六条）	2（二条）
4－6	穂の下垂度	3（直）	6（やや垂）	3（直）
5－1	芒の有無と多少	7（多）	7（多）	7（多）
5－2	芒　長	7（長）	6（やや長）	7（長）
5－3	芒の粗滑	7（粗）	7（粗）	－
6	ふの色	1（淡黄）	2（黄）	1（淡黄）
7－1	粒の形	4（やや短）	6（やや長）	－
7－2	粒の大小	7（大）	6（やや大）	－
7－4	穀皮の厚さ	6（やや薄）	－	－
7－5	底刺毛茸の長短	8（長）	－	2（短）
7－6	外穎基部の横溝の有無	1（有）	－	1（有）
7－7	腹溝の幅	4（やや狭）	－	5（中）
7－8	鱗皮の毛の長短	8（長）	－	2（短）
8－1	千粒重	8（極大）	6（やや大）	－
8－2	リットル重	6（やや大）	5（中）	－
9－1	原麦粒の見かけの品質（外観品質）	4（中の上）	5（中の中）	－

注．大麦種苗特性分類調査報告書（1980年3月）の基準による。
「あまぎ二条」を含め寒冷地北部の基準に従って評価した。
「あまぎ二条」については寒雪害により評価できない項目は空欄とした。

表４　「小春二条」の生態的特性

形質番号	形　質	小春二条	ミノリムギ	あまぎ二条
1	播性の程度	2（Ⅱ）	5（Ⅴ）	1（Ⅰ）
3－1	出穂期	5（中）	5（中）	2（極早）
3－2	成熟期	5（中）	5（中）	2（極早）
4－3	脱芒性	6（やや易）	7（易）	－
5	穂発芽性	4（やや難）	7（易）	－
6	脱粒性	6（やや易）	6（やや易）	－
7	耐倒伏性	5（中）	4（やや強）	－
8－1	耐寒性	5（中）	5（中）	7（弱）
8－2	耐雪性	6（やや弱）	4（やや強）	7（弱）
8－4	耐凍上性	4（やや強）	3（強）	－
9	収量性	6（やや多）	7（多）	－
12－1	縞萎縮病抵抗性	5（中）	5（中）	－
12－2	赤かび病抵抗性	4（やや強）	6（やや弱）	－
12－3	うどんこ病抵抗性	5（中）	5（中）	－
12－4	小さび病抵抗性	7（弱）	7（弱）	－

注．大麦種苗特性分類調査報告書（1980年３月）の基準による。
「あまぎ二条」を含め寒冷地北部の基準に従って評価した。
「あまぎ二条」については寒雪害により評価できない項目は空欄とした。

表５　「小春二条」の品質特性

形質番号	形　質	小春二条	ミノリムギ	あまぎ二条
４－１	糯・粳の別	２（粳）	２（粳）	２（粳）
４－２	皮裸性	２（皮）	２（皮）	２（皮）
10－１	粒　質	５（中間）	５（中間）	－
10－３	精麦白度	６（やや大）	６（やや大）	－
11－１	整粒歩合	６（やや多）	－	４（やや少）
11－２	浸麦時間	５（中）	５（中）	４（やや短）
11－３	麦芽収量率	５（中）	５（中）	５（中）
11－４	麦芽エキス	６（やや多）	４（やや少）	５（中）
11－５	エキス収量	５（中）	４（やや少）	５（中）
11－６	麦芽粗蛋白質含量	６（やや多）	５（中）	５（中）
11－７	可溶性窒素含量	８（極多）	６（やや多）	６（やや多）
11－８	コールバッハ数	７（大）	４（やや小）	５（中）
11－９	ジアスターゼ力	７（大）	－	６（やや大）
11－10	全窒素当たりジアスターゼ力	７（大）	５（中）	５（中）
11－11	最終発酵度	５（中）	５（中）	６（やや多）

注．大麦種苗特性分類調査報告書（昭和55年３月）の基準による。
「あまぎ二条」は温暖地東部での生産物の評価値を記載。

“Ｉ”のビール用二条大麦で、耐雪性は“極弱”であるが、麦芽エキスが多く、ジアスターゼ力が大きい。「ミユキオオムギ」（後藤ら　1975）は東北農業試験場で育成された播性が“Ⅳ”の六条の中生品種で耐雪性が強く、穂発芽生は“難”である。「九州二条11号」は後に「ミハルゴールド」（吉川ら1997）の名称で品種登録されたビール用二条大麦である。福岡県（二条大麦育種指定試験地）で育成され、播性が“Ｉ”で耐雪性は“極弱”であるが、麦芽エキスが多く、ジアスターゼ力が極めて大きい。交配時の育種目標は高醸造適性（ビール）、二条、大粒、耐寒雪性、早生、多収、耐病性、強稈、外観品質良である。

２．育成経過

「小春二条」の選抜経過を表２に示した。F_1世代は点播で52個体を栽植し、17個体を選抜した。F_2世代ではF_1の個体に由来する17系統を各系統毎に条播し、７系統を選抜した。F_3世代では７系統を春播栽培（条播）し、６系統を選抜した。F_4世代では６系統を点播栽培し、５系統を選抜し、各系統から４～５個体を選抜した。F_5世代以降は系統育種法に準じて系統および個体選抜を行った。

2000年度（F_5世代）に「小春二条」となる「盛系C-306」を含む４系統を生産力検定予備試験に供試した。2001年度（F_6世代）は１系統を廃棄し、残り４系統を系統適応性検定試験、特性検定試験に供試した。その結果、「盛系C-306」は二条大麦としては耐寒雪性に強く、外観品質に優れるなどの優良な成績を得たので、2002年度に「東北皮38号」の系統名を付して、各県における奨励品種決定調査に供試した。「東北皮38号」は奨励品種決定調査では、特にビール原料としての検討は行わず、食用の六条大麦と同様に比較検討が行われ、大粒で外観品質良という評価を得た県もあったが、奨励品種採用には至らず、2005年度までにほとんどの県で奨励品種決定調査が終了した。一方、2002年度から栃木県農業試験場栃木分場に依頼して麦芽品質を調べたところ、寒冷地で栽培されている六条大麦品種と比較して明らかに麦芽品質が優れ、栃木県産のあまぎ二条と同等の品質を有すると推定された。そこで、地ビール用としての普及の可否を調べるため、現地試作を行い、小規模醸造所に工場規模での醸造適性評価と試験販売を行ってもらうこととし、未譲渡性の要件を確保するために2008年１月に品種登録出願を行った。育種終了は2007年８月（F_{11}世代）である。なお、現時点での具体的普及計画がないため、農林水産省に対する認定品種申請は行っていない。

３．命名の由来

「小春二条」は寒冷地でも安定した秋播栽培が可能な二条大麦品種であることをイメージできるように命名した。また、交配親である「ミハルゴールド」から高醸造適性を受け継いでることから、「ミハル」の子に因んだ「コハル」という意味も持たせた。

Ⅲ　特　　性

「小春二条」の株、穂および粒の形態を写真１、

表６　「小春二条」の育成地における生育特性

播種法	品種名	発芽良否	寒雪害	凍上害	出穂期（月/日）	成熟期（月/日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏	小さび病	うどんこ病	赤かび病	縞萎縮病
ドリル播	小春二条	1.6	1.7	0.0	5/19	6/24	100	6.2	784	1.9	0.6	0.6	0.3	0.0
	ミノリムギ	1.3	1.0	0.1	5/18	6/25	97	5.2	640	0.8	0.2	0.3	0.1	0.0
	シュンライ	2.7	1.5	0.0	5/12	6/24	88	5.1	502	0.0	0.4	0.7	0.1	0.1
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	1.8	0.9	0.1	5/17	6/24	99	4.9	566	0.7	0.2	0.5	0.0	0.0
条播	小春二条	1.1	2.1	0.0	5/18	6/26	93	6.2	518	0.9	0.6	0.9	0.1	0.8
	ミノリムギ	1.2	1.6	0.0	5/17	6/27	94	5.0	440	1.0	0.3	0.8	0.4	0.1
	シュンライ	1.5	2.5	0.0	5/12	6/26	79	4.7	288	0.0	0.6	1.1	0.7	0.1

注．ドリル播　2002－2006年度の５カ年平均
条間20cmの６条ドリル播、区幅150～156cm
播種量　2002年度：700g/a、2003年度：850g/a、2004年度以降：200粒/㎡
前作　2002年度：ひまわり、2005：麦連作、他の年度は水稲（青刈り）
堆肥　100kg（2005年度は無し）、苦土石灰６～８kg/a
基肥窒素（kg/a）　0.73～0.8（2002年度は0.68）、他にリン酸、カリを施用
融雪期追肥窒素（kg/a）　2002年度：0.15、2003年度：0.2、2004年度以降：0.4
条　播　2000－2006年度の７カ年平均
畦幅70cm、播幅15cmの散播　播種量　600g/a　前作　ひまわり
堆肥　2001年度以前：200kg/a、2002年度以降：100kg/a、苦土石灰５～８kg/a
基肥窒素（kg/a）　2000～2003年度：0.64～0.68、2004～2005年度：0.5～0.52、2006年度：0.4、他にリン酸、カリを施用
融雪期追肥窒素（kg/a）　0.2（2001 ～ 2002年度：0.15）
大麦縞萎縮病と麦類萎縮病の被害程度は区別せずに縞萎縮病の欄に記載している。
発芽良否：1（良）、2（やや良）、3（中）、4（やや不良）、5（不良）
寒雪害、凍上害、倒伏、病害：0（無）、1（微）、2（少）、3（中）、4（多）、5（甚）

表７　「小春二条」の育成地における収量性及び子実特性

播種法	品種名	子実重（kg/a）	標準比率(%)	リットル重(g)	千粒重（g）	整粒歩合(%)	粒の肥脊	赤かび粒	発芽粒	基黒粒	側面裂皮	剥皮	外観品質
ドリル播	小春二条	50.0	82	643	44.1	96	5.5	0.1	0.0	0.5	0.4	0.4	4.4
	ミノリムギ	60.9	100	627	34.4	90	4.3	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	5.9
	シュンライ	48.8	80	618	37.2	94	4.9	0.0	0.5	1.3	0.4	1.1	6.6
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	58.2	96	638	36.1	97	5.3	0.0	0.2	0.9	0.0	0.0	5.1
条播	小春二条	47.5	90	675	48.3	97	6.2	0.0	0.0	0.3	0.8	0.5	3.8
	ミノリムギ	53.0	100	655	35.8	92	4.4	0.0	0.0	0.9	0.0	0.1	5.9
	シュンライ	35.1	66	640	38.9	96	4.9	0.1	0.6	1.6	0.7	1.2	6.7

注．試験年度及び耕種梗概は表６に同じ
リットル重はリットル升を用いて測定
整粒歩合は二条大麦は2.5㎜、六条大麦は2.2㎜の篩い目でふるって測定。
粒の肥瘠　3（瘠）、5（中）、7（豊満）、障害粒　0（無）、1（微）、2（少）、3（中）、4（多）、5（甚）
外観品質　1（上上）、2（上中）、3（上下）、4（中上）、5（中中）、6（中下）、7（下上）、8（下中）、9（下下）

２に示した。また、形態的特性、生態的特性、品質特性を「大麦種苗特性分類調査報告書（1980年３月）」の基準に従って分類し、寒冷地の主力品種である「ミノリムギ」およびビール用二条大麦の標準品種である「あまぎ二条」と共に表３～５に示した。

１．形態的特性

叢性は“やや匍匐”で株の開閉が“中”の並性の二条品種である。葉色は“中”で稈と葉鞘のワックスは“やや多”である。「ミノリムギ」と比較して稈長はと同等のやや長稈種で、穂長は長く、穂数が多い（表６）。穂型は“矢羽根”で粒着の粗密は“やや密”、穂は直立する。芒は多く、長く、ふの色

表８　「小春二条」の耐寒性、耐雪性

特性値	耐寒性	耐雪性		
試験地	東北農研	東北農研	岩手農研	総合判定
小春二条	中	中	弱	やや弱
ミノリムギ	中	やや強	中～やや強	やや強
シュンライ	中	中	やや弱	やや弱

注．東北農業研究センター：
場内圃場（岩手県盛岡市）に条間・株間12cmの二条千鳥１本立で栽培し、自然発生により検定した。被害程度（無～甚）を主とし越冬株率を参考に９段階（極強～極弱）判定。
2003 ～ 2006年度の４年間実施したが、耐寒性は主に雪害の発生しなかった2006年度を用い、2004年度と2005年度を参考に判定した。耐雪性は2006年を除く３カ年で判定した。
岩手県農業研究センター：
2001、2005、2006年度３カ年平均。ただし、「ミノリムギ」は2005年度の供試無し。
岩手県二戸郡一戸町奥中山の圃場に4.8×4.8cm間隔で100粒播種。主に越冬株率を用い、被害程度と回復程度を考慮して５段階（強～弱）に判定。

表９　「小春二条」の穂発芽性、うどんこ病及び小さび病抵抗性

品　種　名	穂発芽性	うどんこ病抵抗性	小さび病抵抗性
小春二条	やや難	中	やや弱～弱
ミノリムギ	易	中	弱
ミユキオオムギ	難	弱	弱
シュンライ	やや易－中	中～やや弱	弱

注．東北農業研究センター　2001～2006年度の６カ年平均
　穂発芽性は成熟期に10穂採取し、５穂ずつ１日（2002年度は風乾無し）及び５～６日間風乾した後、流水中に１晩浸漬してから15℃（2001年は17～18℃）に設定した穂発芽検定器に入庫した。７～８日後（2001年度は11日後）に発芽粒数を数えて、極難～極易に分級した。
　うどんこ病及び小さび病抵抗性は圃場に秋播および春播し、自然発病により検定。各年度毎に秋播と春播で品種間差の顕著な方で抵抗性を判定。

表10　「小春二条」の大麦縞萎縮病抵抗性

品種名	Ⅰ型ウイルス			Ⅲ型ウイルス		
	発病抵抗性	被害抵抗性	黄化程度	発病抵抗性	被害抵抗性	黄化程度
小春二条	やや弱	強	無	弱	強	多
ミユキオオムギ	極強	極強	無	極強	極強	無
あまぎ二条	弱	弱	甚	弱	弱	多
ミカモゴールデン	極強	極強	無	弱	極弱	甚

注．栃木県農業試験場栃木分場　2006年度
　Ⅰ型、Ⅲ型ウイルスそれぞれの汚染圃場に約100粒を条播し、自然発病で検定。
　モザイク病班による発病程度、生育良否による被害程度、黄化程度を達観で調査
　「ニューゴールデン」を標準品種として７段階で判定。

表11　「小春二条」の赤かび病抵抗性

品種名	作物研究所		長野県農事試験場		総合評価
	ポット判定	切り穂判定	罹病スコア	判定	
小春二条	強	強	4.7	やや弱	やや強
ミノリムギ	弱	やや弱	5.0	弱	弱
シュンライ	－	中－やや強	4.8	弱	やや弱
ﾌｱｲﾊﾞｰｽﾉｳ	－	中	4.5	やや弱	やや弱

注．作物研究所
　ポット栽培による検定　2001、2005、2006年度３カ年平均
　　ビニールハウス内でポット栽培を行う。５分毎に散水し穂の湿気を保つ。
　　開花期にステージの揃った穂にダイヤスプレーで *Fusarium Graminearum* H-3株の胞子懸濁液を夕方噴霧接種する。ハウス内の湿室に１晩入れ、翌日再び接種する。
　　発病程度は達観でスコア０～９で評価。
　切り穂による検定　2005、2006年度２カ年平均
　　開花期にポットから３穂切り取り、ポットと同様に接種、恒温恒湿器内（温度：20℃±１℃，湿度：90～98%）に置き、１日後に再接種後、発病させた。

　長野県農事試験場　2003、2005、2006年度３カ年平均
　硝子ハウス内でポット栽培を行う。
　開花期に *Fusarium Graminearum* H－3系統の胞子懸濁液を噴霧接種する。人工気象室（15℃、95%）に24時間入れ、翌日出して再度接種する。その後、20±５℃kハウス内で、８分ごとに５秒間ミスト状に散水し発病を促した。発病程度は達観でスコア０～９で評価する。

表12　暖冬年における「小春二条」と既存二条大麦品種との生育及び収量比較（2006年度）

播種法	品種名	寒雪害	凍上害	出穂期（月/日）	成熟期（月/日）	稈長（cm）	穂数（本/㎡）	子実重（kg/a）	標準比率(%)	リットル重(g)	千粒重（g）	整粒歩合(%)	外観品質
ドリル播	小春二条	1.0	0.0	5/13	6/19	100	1,028	60.1	96	630	40.5	92	3.5
	あまぎ二条	2.8	1.0	5/ 3	6/21	64	908	24.5	39	588	38.2	67	4.0
	ミカモゴールデン	3.3	1.0	5/ 3	6/23	64	707	24.6	39	634	38.6	72	3.0
	ミノリムギ	1.8	0.3	5/14	6/23	97	609	62.9	100	623	34.5	93	5.5
	シュンライ	1.0	0.0	5/ 9	6/19	95	583	62.2	99	589	36.1	96	7.5
条播	小春二条	0.5	－	5/15	6/21	94	593	54.7	97	663	47.5	95	3.0
	ミカモゴールデン	3.0	－	5/ 6	6/24	97	463	7.1	13	621	40.8	75	9.0
	ミノリムギ	1.5	－	5/17	6/25	89	401	56.4	100	652	38.0	95	6.0
	シュンライ	2.0	－	5/10	6/21	75	288	34.2	61	614	38.7	97	7.0

注．ドリル播　条間20cmの６条ドリル播、区幅154cm、播種量200粒/㎡
　　前作　水稲（青刈り）、堆肥　100kg、苦土石灰　7.5kg/a
　　基肥窒素　0.73kg/a、融雪期追肥窒素　0.4kg/a、他にリン酸、カリを施用
　条　播　畦幅70cm、播幅15cmの散播　播種量　600g/a
　　前作　ひまわり　堆肥　100kg/a、苦土石灰　８kg/a
　　基肥窒素　0.4kg/a　融雪期追肥窒素　0.2kg/a、他にリン酸、カリを施用
　寒害、凍上害　０（無）、１（微）、２（少）、３（中）、４（多）、５（甚）
　外観品質　１（上上）、２（上中）、３（上下）、４（中上）、５（中中）、６（中下）、７（下上）、８（下中）、９（下下）
　リットル重はリットル升を用いて測定
　整粒歩合は二条大麦は2.5mm、六条大麦は2.2mmの篩い目でふるって測定。
　ミカモゴールデンの条播の外観品質は青未熟粒が多く、“9”としたが、これを考慮しなければ“4”である。

は“淡黄”で粒の形は“やや短”である。千粒重、リットル重は「ミノリムギ」より大きく、それぞれ“極大”、“やや大”である（表７）。

２．生態的特性

（１）播性および早晩性

播性程度は“Ⅱ”で、育成地では出穂期が５月18～19日で「ミノリムギ」より１日遅く、成熟期が６月24～26日で「ミノリムギ」より１日早い中生品種である（表６）。

（２）病害および諸障害抵抗性

特性検定試験および生育調査の結果を総合的に判断すると、耐倒伏性は「ミノリムギ」より弱い“中”で、耐寒性は「ミノリムギ」と同じ“中”であるが、耐雪性は「ミノリムギ」より弱い“やや弱”である（表６、８）。穂発芽性は「ミノリムギ」より難の“やや難”でうどんこ病抵抗性は“中”、小さび病抵抗性は“弱”である（表９）。大麦縞萎縮病に対する発病抵抗性はⅠ型ウイルスに対しては“やや弱”、Ⅲ型ウイルスに対しては“弱”であるが、被害抵抗性は共に“強”であり（表10）、総合的には“中”に区分される。赤かび病抵抗性は“やや強”である（表11）。

（３）収量性

育成地でのドリル播栽培では子実重は50.0kg/aで、標準品種の「ミノリムギ」対比82%と少収であるが、「シュンライ」とは同等である。また、条播栽培では子実重は47.5kg/aで「ミノリムギ」対比90%と同様に少収であるが、「シュンライ」よりは多収である（表７）。

（４）既存二条大麦品種との比較

暖冬で根雪期間がなかった2006年度でも、既存の二条大麦品種「あまぎ二条」や「ミカモゴールデン」には中程度の寒雪害が発生して、収量が 7.1～24.6kg/aしか得られなかった（表12）。また、根雪期間が88日間であった2007年度では、寒雪害により「あまぎ二条」や「ミカモゴールデン」は全滅した（写真３）。しかし、「小春二条」は2006年度は「ミノリムギ」並の収量が得られ、2007年度でも寒雪害の被害は軽く、明らかにこれら既存の二条大麦品種より耐寒雪性が強く、収量性が安定している。

３．品 質 特 性

（１）外観品質および糯・粳性他

「小春二条」は粳性の皮麦で粒質は中間質である。「ミノリムギ」と比較して粒の肥瘠は豊満で、側面裂皮がやや多いものの、顕著な被害粒発生はなく、外観品質は“中の上”で優れる（表７）。

（２）搗精品質

搗精時間が「ミノリムギ」より短く優れるが、欠

表13　「小春二条」の搗精品質

播種法	品種名	搗精時間（分.秒）	搗精白度	欠損粒歩合(%)	炊飯麦白度
ドリル播	小春二条	6.06	43.9	4.5	38.6
	ミノリムギ	7.33	42.4	1.0	37.7
	シュンライ	7.12	43.9	2.9	38.1
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	6.33	45.8	2.7	40.0
条播	小春二条	5.59	42.8	6.8	40.4
	ミノリムギ	7.42	41.8	0.7	39.4
	シュンライ	7.22	42.4	2.3	39.5
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	6.55	45.7	2.1	41.7

注．東北農業研究センター　2002～2005年度４カ年平均。
搗精は佐竹製作所TM05Cを用いる。供試量180g。白度はケット社製C300で測定。

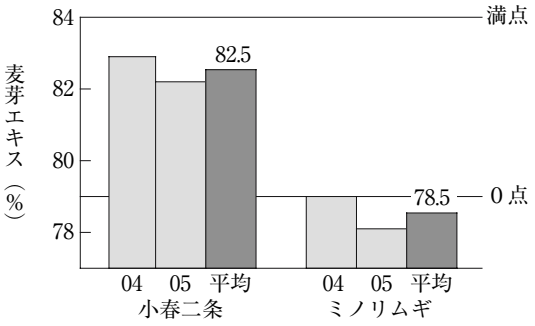


図２　「小春二条」の麦芽エキス

注．東北農業研究センター（2004年度、2005年度）
分析は栃木県農業試験場栃木分場に依頼
数値は高い方が良く、ビール酒造組合による評点
計算式では84%以上で満点（20点）、０点は79%

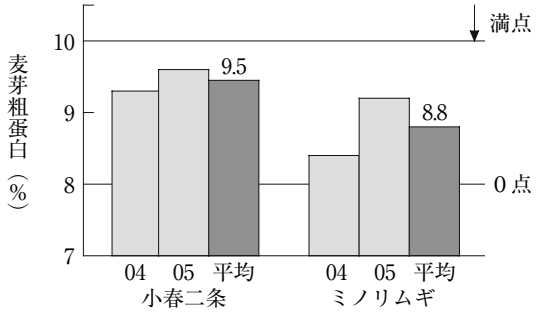


図３　「小春二条」の麦芽粗蛋白

注．東北農業研究センター（2004年度、2005年度）
分析は栃木県農業試験場栃木分場に依頼
最適値の範囲があり、ビール酒造組合による評点計算式では10～11%の範囲が満点（10点）、そこからはずれると減点し、０点は８%及び13%

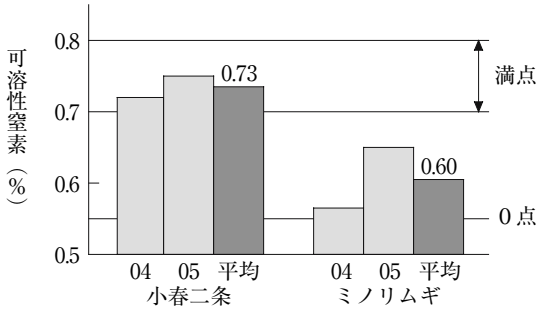


図4　「小春二条」の可溶性窒素

注．東北農業研究センター（2004年度、2005年度）
　　分析は栃木県農業試験場栃木分場に依頼
　　最適値の範囲があり、ビール酒造組合による評点計算式では0.7～0.8%の範囲が満点（10点）、そこからはずれると減点し、0点は0.55%及び0.95%

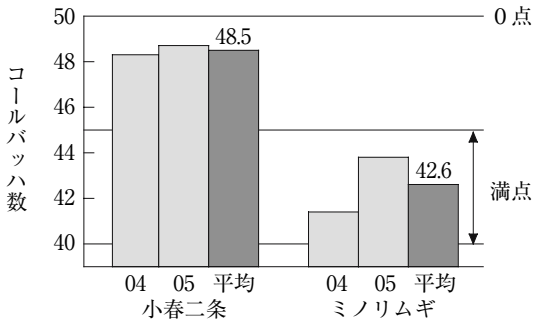


図5　「小春二条」のコールバッハ数

注．東北農業研究センター（2004年度、2005年度）
　　分析は栃木県農業試験場栃木分場に依頼
　　最適値の範囲があり、ビール酒造組合による評点計算式では40～45の範囲が満点（10点）、そこからはずれると減点し、0点は35及び50

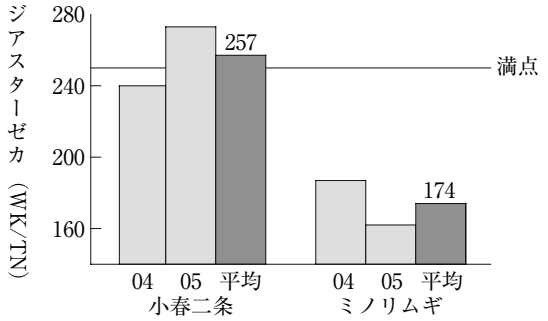


図6　「小春二条」の麦芽蛋白当たりのジアスターゼ力

注．東北農業研究センター（2004年度、2005年度）
　　分析は栃木県農業試験場栃木分場に依頼
　　数値は高い方が良く、ビール酒造組合による評点計算式では250WK/TN以上で満点(20点)、0点は100WK/TN

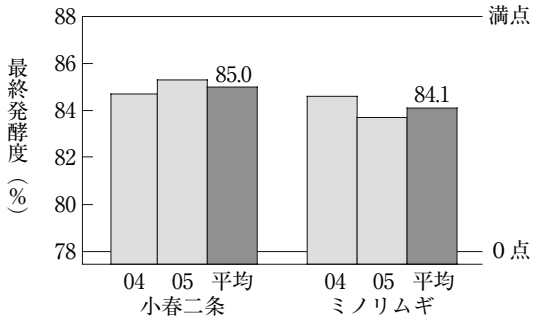


図7　「小春二条」の最終発酵度

注．東北農業研究センター（2004年度、2005年度）
　　分析は栃木県農業試験場栃木分場に依頼
　　数値は高い方が良く、ビール酒造組合による評点計算式では88%以上で満点（10点）、0点は78%

表14　育成地における「小春二条」の麦芽品質

品種名	発芽勢（%）	水感受性（%）	総合評点	麦汁β－グルカン（mg／ℓ）	麦汁粘度（mPa・s）	α-amylase（U/d mg）	麦汁色度（430nm）
小春二条	97	6	76.0	72	1.55	83.1	4.1
ミノリムギ	98	13	39.8	108	1.57	67.8	3.1

注．2004～2005年度　ドリル播栽培
　　分析は栃木県農業試験場栃木分場に依頼（250g製麦）
　　総合評点はビール酒造組合による計算式で麦芽エキス、麦芽粗蛋白、可溶性窒素、コールバッハ数、ジアスターゼ力、最終発酵度の6項目を点数化して算出、100点満点

損粒歩合が大きい。精麦白度は「ミノリムギ」よりやや優れ、シュンライと同等であるが、「ファイバースノウ」より劣り、大麦種苗特性分類調査報告書の基準では「ミノリムギ」と同じ“やや大”に区分される。炊飯麦の白度は「ミノリムギ」や「シュンライ」よりわずかに優れるが、「ファイバースノウ」より劣る（表13）。

（3）麦芽品質

麦芽品質は蛋白含量が適正値の範囲から大きく外れると本来の品質が評価できないため、比較的適正値に近い2004年産と2005年産のドリル播栽培の収穫物で評価した。麦芽エキスは「ミノリムギ」より明らかに多い“やや多”で満点の値に近い（図2）。麦芽粗蛋白は「ミノリムギ」より多い“やや多”で

表15　岩手県一関市舞川地区における「小春二条」の生育及び収量性（2006年度）

品種名	発芽良否	寒雪害	出穂期（月/日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	収量（kg/a）	標準比率(%)	リットル重(g)
小春二条	1.0	0.0	5/ 7	97	5.1	474	35.0	104	648
あまぎ二条	2.0	0.0	5/ 1	81	5.7	448	33.6	100	670
ミカモゴールデン	1.0	0.0	4/30	79	4.4	420	27.3	81	644
シュンライ	1.0	0.0	5/ 3	92	4.1	284	36.4	108	643

品種名	千粒重（g）	粒の肥脊	赤かび粒	発芽粒	基黒粒	側面裂皮	凸腹粒	剥皮	外観品質
小春二条	43.9	6.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.0	5.0
あまぎ二条	39.4	4.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	5.0
ミカモゴールデン	39.3	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
シュンライ	37.3	4.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	6.0

注．畦幅70cm、播幅15cmの条播、播種量５kg/10a　播種期10月20日　施肥量：現地慣行
一区面積：8.4㎡（6.0m×0.7m×２畦）２区制
発芽良否　1（良）、2（やや良）、3（中）、4（やや不良）、5（不良）
寒雪害と障害粒　0（無）、1（微）、2（少）、3（中）、4（多）、5（甚）
リットル重はリットル升を用いて測定、　粒の肥瘠　3（瘠）、5（中）、7（豊満）
外観品質　1（上上）、2（上中）、3（上下）、4（中上）、5（中中）、6（中下）、7（下上）、8（下中）、9（下下）

ある（図３）。本試験のデータでは「小春二条」の麦芽粗蛋白はビール酒造組合の取り決めた麦芽評点計算式による適正値範囲より低くなっているが、肥沃地では逆に高くなりすぎることがあるので注意が必要である。可溶性窒素は育成地の試験では適正値の範囲内であるが、他の品種との比較から“極多”に区分される（図４）。コールバッハ数は“大”で、適正値の上限を超えている（図５）。全窒素当たりのジアスターゼ力は「ミノリムギ」より明らかに大きい“大”で、満点の範囲に入っている（図６）。最終発酵度は「ミノリムギ」と同じ“中”である（図７）。以上の６項目の評点を合計した麦芽総合評点は、76.0点で「ミノリムギ」の39.8点より明らかに優れる（表14）。その他の品質では水感受性は６％と低く優れ、麦汁β－グルカンは「ミノリムギ」より少なく優れ、麦汁粘度は同程度である。以上、「小春二条」の麦芽品質は「ミノリムギ」と比較して、蛋白質の分解能力を示すコールバッハ数が高すぎる点を除き、明らかに優れている。

４．栽培が想定されている地域での特性

「小春二条」の栽培が想定されている岩手県一関市に、2006年度の現地試験圃場を設け栽培適性を調べた（表15）。暖冬により積雪が少なく、根雪期間が認められなかったため、寒害、雪害とも発生しなかった。出穂期は５月７日で「あまぎ二条」より６日遅く、「シュンライ」より４日遅かった。穂数はやや多く、子実重は35.0kg/aで「あまぎ二条」対比104%であった。「あまぎ二条」と比べ、リットル重は小さいが、千粒重は大きく、粒の肥瘠は豊満で、剥皮（浮き皮）が“微”程度発生したが、他に顕著な障害粒の発生はなく、外観品質は同等の“中の中”であった。以上、寒雪害の発生がない場合は「あまぎ二条」と同等であった。

Ⅳ　適地および栽培上の留意点

１．奨励品種決定調査結果

（１）概評

奨励品種決定調査では10カ所の研究機関で４年間にわたり、のべ22回調査が行われた（表16）。このうち、有望が２回、再検討が14回、打ち切りが５回、特性把握につき中止が１回であった。特に岩手県、

表16　奨励品種決定調査における「小春二条」の収量性と有望度

試験地	標準品種	試験年度			
		2002	2003	2004	2005
岩手	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	82△	87△	82△	94※
宮城古川	ミノリムギ	105×			
秋田	シュンライ	108△	162△	110○	96×
福島本場	シュンライ	80×			
福島会津	シュンライ	77△	85△※		
福島相馬	シュンライ	101△			
新潟	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	109×			
石川	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	102△	105△	126○※	
福井	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	89△	99△	102△	103△
長野	ミノリムギ	79×			

注．数字は子実重の対標準品種比率（%）
○：有望、△：再検討、×：打ち切り、※特性把握につき中止

表17　配付先における「小春二条」の栽培成績生育及び収穫物調査成績

試験地名	品種名	試験年度	発芽良否	寒雪害	出穂期（月/日）	成熟期（月/日）	稈長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏多少	うどんこ病	赤かび病	雲形病	子実重（kg/a）	標準比率（%）	リットル重(g)	千粒重（g）	品質概評
岩手	小春二条	2002	1.0	2.9	5/13	6/24	88	447	0.0	0.1	0.0	−	43.6	86	669	48.4	3.0
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	-2005	1.0	1.8	5/10	6/22	89	338	0.0	0.0	0.3	−	50.5	100	651	38.6	2.8
宮城	小春二条	2002	1.0	0.0	5/ 5	6/14	87	646	0.0	0.0	2.0	0.0	52.4	105	670	48.0	3.5
古川	ミノリムギ		1.0	0.0	5/ 2	6/ 9	86	345	0.0	0.0	0.0	0.0	49.8	100	630	38.6	1.4
	シュンライ		1.0	2.0	4/30	6/ 7	76	355	0.0	0.0	0.0	0.0	50.0	101	651	42.6	3.0
秋田	小春二条	2002	1.4	3.8	5/17	6/19	96	497	0.1	0.0	0.7	−	43.8	114	683	46.6	1.6
	シュンライ	-2005	1.1	3.4	5/ 9	6/15	83	335	0.0	0.0	0.7	−	38.3	100	679	39.0	4.1
福島	小春二条	2002	3.0	−	5/14	6/16	76	219	0.0	0.0	0.0	−	25.4	80	684	57.1	6.0
本場	シュンライ		3.0	−	5/ 3	6/10	66	230	0.0	0.0	0.0	−	31.9	100	693	47.7	5.0
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ		3.0	−	5/ 4	6/11	72	198	0.0	0.0	0.0	−	30.1	94	681	45.7	4.0
福島	小春二条	2002	1.0	−	5/ 9	6/17	89	508	0.0	0.0	0.0	−	54.0	101	708	52.0	2.0
相馬	シュンライ		1.0	−	4/30	6/10	84	433	0.0	0.0	0.0	−	53.4	100	742	41.7	3.0
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ		1.0	−	5/ 1	6/11	94	412	1.0	0.0	0.0	−	54.6	102	764	41.6	2.0
福島	小春二条	2002	1.0	0.0	5/ 1	6/ 8	83	332	0.0	0.0	0.0	−	28.5	81	705	49.4	3.0
会津	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	-2003	1.0	0.0	4/30	6/ 4	90	290	0.0	0.0	0.0	−	35.2	100	678	40.8	3.0
	シュンライ		1.0	1.0	4/25	5/31	80	260	0.0	0.0	0.0	−	31.3	89	669	40.3	4.0
新潟	小春二条	2002	1.0	3.0	5/11	6/16	95	327	2.0	−	−	1.0	36.2	109	730	55.6	−
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ		1.0	2.0	5/ 7	6/10	78	286	0.0	−	−	1.0	33.3	100	751	42.5	3.0
	ミノリムギ		1.0	2.0	5/ 8	6/12	80	318	3.0	−	−	2.0	37.0	111	738	40.8	3.0
石川	小春二条	2002	1.0	0.0	4/24	6/ 4	91	743	2.0	0.0	0.0	−	52.7	111	630	39.8	3.0
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	-2004	1.0	0.0	4/20	6/ 1	87	455	0.8	0.0	0.0	−	47.6	100	652	35.0	3.0
	ミノリムギ		1.0	0.0	4/21	6/ 2	90	491	1.2	0.0	0.0	−	44.2	93	642	33.7	3.2
福井	小春二条	2002	1.5	0.1	4/26	6/ 5	95	583	1.2	0.0	0.3	0.0	47.7	98	657	43.1	3.0
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ	-2005	1.8	0.1	4/24	6/ 3	94	376	0.7	0.0	0.3	1.0	48.6	100	658	36.3	2.9
	ミノリムギ		1.5	0.4	4/24	6/ 4	98	376	0.7	0.0	0.3	0.0	49.1	101	631	32.6	3.2
長野	小春二条	2002	1.0	−	5/11	未達	102	437	0.0	0.0	0.0	−	51.9	79	715	38.6	4.0
	ミノリムギ		1.0	−	5/ 7	6/13	89	302	0.0	0.0	0.0	−	65.6	100	707	42.2	3.0
	シュンライ		1.0	−	5/ 5	6/ 9	75	308	0.0	0.0	0.0	−	66.8	102	730	45.3	3.0
北陸	小春二条	2002	1.0	0.0	4/26	6/ 5	90	626	0.0	4.0	0.0	0.0	49.6	98	749	40.8	1.0
	ミノリムギ		1.0	0.0	4/24	6/ 5	97	371	0.0	3.0	1.0	2.0	50.4	100	723	33.3	2.0
	シュンライ		1.0	0.0	4/15	6/ 1	86	365	0.0	4.0	2.0	2.0	47.4	94	710	36.3	3.0

注．発芽良否　1（良）、2（やや良）、3（中）、4（やや不良）、5（不良）
　　寒雪害、倒伏、病害　0（無）、1（微）、2（少）、3（中）、4（多）、5（甚）
　　外観品質　1（上上）、2（上下）、3（中上）、4（中中）、5（中下）、6（下）

秋田県、石川県、福井県では３～４年間継続して試験が行われ、“晩熟”、“寒雪害やや弱”、“低収”等の指摘があった一方、“大粒”、“高整粒歩合”、“外観品質良”等の点で良評価を得た。

（２）生育および収穫物調査成績

各県で実施された奨励品種決定調査成績を表17に示した。「小春二条」の出穂期は「ミノリムギ」と「ファイバースノウ」（福島と相馬を除く）より１～４日遅く、「シュンライ」より５～11日遅い。また、成熟期は「ミノリムギ」と同等～５日遅く、「ファイバースノウ」より２～６日遅く、「シュンライ」より４～８日遅い。稈長は「シュンライ」より長いが、「ミノリムギ」と「ファイバースノウ」に対しては試験地により異なる。穂数は福島を除き各地の標準品種より明らかに多い。子実重は宮城、秋田、石川では標準品種より多収で、岩手、福島、会津、長野では低収であり、気候および品種との関係で一定の傾向は見られなかった。リットル重も一定の傾

表18　各県研究機関における「小春二条」の搗精品質

試験場所	品種名	試験年度	搗精時間（分.秒）	搗精白度	欠損粒歩合（%）	炊飯麦白度
岩手	小春二条	2002, 04, 05	6.10	47.6	10.1	38.3
	ﾌｧｲﾊﾞｰｽﾉｳ		6.50	48.5	9.5	38.6
秋田	小春二条	2003－05	6.03	46.0	7.0	38.0
	シュンライ		6.30	44.0	6.5	34.8

注．東北農業研究センターにて佐竹制作所TM05Cを用いて搗精。供試量180g。
　　白度はケット社製C300で測定。

表19　各県研究機関における「小春二条」の麦芽品質

試験場所	品種名	試験年度	発芽勢(%)	水感受性(%)	麦芽エキス(dm%)	麦芽粗蛋白(dm%)	可溶性窒素(dm%)	コールバッハ数(%)	ジアスターゼ力(WK/TN)	最終発酵度(%)	総合評点	麦汁β－グルカン(mg/ℓ)	麦汁粘度(mPa･s)
岩手	小春二条	2002-05平均	98	28	83.3	9.5	0.73	48.1	278	85.0	76.9	51	1.57
	小春二条	2005	100	21	85.1	7.8	0.65	52.6	260	86.7	61.4	33	1.53
	ファイバースノウ		80	6	80.1	8.4	0.55	40.7	168	83.4	39.0	77	1.59
秋田	小春二条	2004-05平均	100	6	84.1	9.1	0.77	52.7	211	83.9	63.8	75	1.60
	シュンライ		99	32	80.5	9.7	0.75	49.5	156	80.4	38.0	88	1.70
福井	小春二条	2004-05平均	98	4	84.3	8.8	0.73	52.1	288	84.8	69.2	81	1.54
	ミノリムギ		98	5	80.8	8.1	0.61	47.2	218	84.3	49.0	124	1.56

注．分析は栃木県農業試験場栃木分場に依頼（250g製麦）
　　総合評点はビール酒造組合による計算式で麦芽エキス、麦芽粗蛋白、可溶性窒素、
　　コールバッハ数、ジアスターゼ力、最終発酵度の６項目を点数化して算出、100点満点

表20　栃木県農業試験場栃木分場における二条大麦品種の麦芽品質

圃場区分	品種名	試験年度	発芽勢(%)	水感受性(%)	麦芽エキス(dm%)	麦芽粗蛋白(dm%)	可溶性窒素(dm%)	コールバッハ数(%)	ジアスターゼ力(WK/TN)	最終発酵度(%)	総合評点	麦汁β－グルカン(mg/ℓ)	麦汁粘度(mPa･s)
水稲跡	サチホゴールデン	1999～	97	15	86.0	8.8	0.73	52.3	234	87.9	73.6	39	1.56
	ミカモゴールデン	2003	99	14	84.4	9.3	0.70	47.1	211	86.7	79.4	50	1.57
	あまぎ二条	平均	100	8	82.7	8.6	0.66	48.3	205	87.2	67.0	39	1.56
大豆跡	サチホゴールデン	1999～	99	15	84.1	11.0	0.74	42.3	260	－	80.5	40	1.58
	ミカモゴールデン	2003	99	13	81.7	11.9	0.73	38.4	245	－	62.6	48	1.54
	あまぎ二条	平均	100	10	79.9	11.0	0.71	41.3	213	－	44.4	64	1.60

注．本表は「二条大麦新品種『サチホゴールデン』の育成」栃木県農業試験場研究報告第58号より抜粋した。
　　総合評点はビール酒造組合による計算式で麦芽エキス、麦芽粗蛋白、可溶性窒素、コールバッハ数、ジアスターゼ力、
　最終発酵度の６項目を点数化して算出、100点満点

向は見られなかったが、千粒重は長野を除き明らかに大きい。外観品質は「ミノリムギ」に対しては試験地で傾向が異なるが、「ファイバースノウ」に対しては同等の評価が多く、「シュンライ」に対しては優れる評価が多い。

（３）搗精試験成績

岩手県と秋田県の研究機関で実施された奨励品種決定調査の収穫物について搗精試験を行った（表18）。岩手では「ファイバースノウ」より搗精時間が短いが、搗精白度は低く、炊飯麦の白度は同程度である。秋田では搗精時間、搗精白度、炊飯麦の白度のいずれも「シュンライ」より優っていた。

（４）麦芽品質分析

岩手県、秋田県、福井県の研究機関で実施された奨励品種決定調査の収穫物について、麦芽品質試験を行った（表19）。岩手では2004年に「小春二条」の水感受性が高かったので、平均値もやや高くなっている。麦芽品質の重要６項目の内、値が高い方が良いとされる麦芽エキス、ジアスターゼ力、最終発酵度は各地の標準品種と比べ、福井の最終発酵度がほぼ同等である以外はいずれも明らかに高く、ビール醸造に適した値であった。麦芽粗蛋白は標準品種と共に適正範囲より低いが、可溶性窒素は適正範囲内に入り優れていた。コールバッハ数は適正範囲より高く、標準品種より劣っていた。重要６項目を点数化した総合評点は、いずれも標準品種より明らかに高かった。

２．栽培適地

奨励品種決定調査成績および特性検定試験における耐雪性および熟期から判断し、耐雪性と梅雨期の雨害回避の面から栽培適地は寒冷地（東北・北陸地域）の平坦部で、根雪期間が70－80日以下の地帯と判断される。

３．栽培上の留意点

稈長が長く、穂数が多くなりやすく倒伏しやすいので、肥沃地では早播は避け、肥培管理に注意する必要がある。

Ⅴ　考　　察

１．麦芽品質

「小春二条」は寒冷地の主要六条大麦より麦芽品質の優れることが明らかとなった。しかし、育成地

（岩手県盛岡市）では既存の二条大麦品種は寒雪害の被害を受け、正常な分析材料が得られないため、「小春二条」の麦芽品質と他の二条大麦品種との直接比較ができない。そこで栃木県農業試験場栃木分場産二条大麦品種との比較を行い、「小春二条」の品質水準を推察する（加藤ら　2006、表20）。栃木分場産では水稲跡圃場が東北各地域産と比較的麦芽粗蛋白の値が近似しており、麦芽品質の比較に適している。ジアスターゼ力と並んで重要な特性である麦芽エキスについては、育成地の「小春二条」は栃木分場の「あまぎ二条」と同等、秋田産と福井産は「ミカモゴールデン」と同等、岩手産は両品種の中間であった。しかし、いずれの産地も最新品種である「サチホゴールデン」と比較すると、明らかに少なかった。ジアスターゼ力は秋田産が「ミカモゴールデン」と同等である以外は、「小春二条」の方が高く優れていた。コールバッハ数は「あまぎ二条」と同等か高く、かつ適正値の上限を超えていた。総合評点は秋田産が低めであるが、他の産地の「小春二条」は栃木産の「あまぎ二条」と「ミカモゴールデン」の中間であった。以上から、「小春二条」は少なくとも「あまぎ二条」並、またはそれ以上の麦芽品質は有していると推察される。「あまぎ二条」（キリンビール株式会社　1979）は1981年に育成された品種であるが、2000年代初めまでビール用の主力品種であった。

「小春二条」はコールバッハ数が高すぎる短所がある。コールバッハ数の高い品種として「スカイゴールデン」（谷口ら　2001）があり、品種登録時のデータでコールバッハ数は50.4で、蛋白の溶けが他の品種より早く多く溶けることが確認されている（関和ら　2001）。しかし、「スカイゴールデン」は大手ビール会社と契約し、日本麦類研究会の資料「麦の品種別作付面積」によると、2007年産で3550haの作付けがあり、ビール用二条大麦のシェア第１位を占めていることから、コールバッハ数がこの程度の値であれば、致命的な短所ではないと推察される。以上から、「小春二条」は寒冷地におけるビール醸造原料として利用可能な品質を有していると推察される。

２．今後の課題

「小春二条」は前述の岩手県一関市の2007年度現地試験の収穫物を用いて、同市の小規模醸造所で工場規模の醸造評価が実施された。その結果、醸造所の評価は高く、同市での栽培普及を当面の目標として実績を重ね、奨励品種採用または産地品種銘柄の指定を目指す予定である。しかし、奨励品種、産地品種銘柄は、ある程度の栽培面積が確保されないと難しい。そこで、今後の課題として、県内他地域の醸造所での利用も進めていく必要がある。また、育成地及び秋田県の奨励品種決定調査材料の分析結果から、「シュンライ」と同等、またはやや優れる搗精品質を有していると判断されることから、食用としての利用、さらには焼酎原料としての利用も図っていく必要がある。そのためには、今後焼酎原料としての品質調査が必要である。

引 用 文 献

1）後藤虎男, 大谷庄太, 本田太陽, 藤原秀雄, 上田邦彦, 田野崎真吾. 1975. オオムギ新品種「ミユキオオムギ」について. 東北農試研報　56：19-36

2）伊藤昌光, 浜地勇次, 古庄雅彦, 篠倉正住, 北原操一, 藤井敏男, 鈴木崇之. 1987. 二条大麦新品種「ニシノゴールド」の育成. 福岡農総試研報　A-6：17-24

3）加藤常夫, 長嶺　敬, 粂川晃伸, 山口恵美子, 大野かおり, 渡辺浩久, 大関美香, 関和孝博, 渡邊修孝, 谷口義則, 山口昌宏, 大塚　勝, 小田俊介, 常見譲史, 五月女敏範, 加島典子, 仲田　聡, 河田尚之, 石川直幸, 小玉雅晴, 野沢清一, 福田　暎, 佐藤圭一, 早乙女和彦, 徳江紀子, 宮川三郎, 神永　明. 2006. 二条大麦新品種「サチホゴールデン」の育成（二条大麦農林22号）. 栃木農試研報　58：59-77

4）キリンビール株式会社. 1979. ビール大麦新品種「あまぎ二条」について

5）関和孝博, 大塚　勝, 常見譲史, 加島典子, 小田俊介. 2001. 二条大麦「スカイゴールデン」の溶け特性. 栃木農試研報　50：19-25

6）谷口義則, 小田俊介, 常見譲史, 大塚　勝, 関和孝博, 粂川晃伸, 山口昌宏, 五月女敏範, 福田　暎, 早乙女和彦, 河田尚之, 石川直幸, 加藤常夫, 加島典子, 宮川三郎, 神永　明, 小玉雅晴, 佐々木昭博, 仲田　聡, 徳江紀子, 桐生光広, 野沢清一, 佐藤圭一, 伊藤　浩. 2001. 二条大麦新品種「スカイゴールデン」の育成（二条大麦農林20号）. 栃木農試研報　50：1-18

7）吉川　亮, 浜地勇次, 古庄雅彦, 伊藤昌光, 吉田智彦, 水田一枝, 山口　修, 吉野　稔, 篠倉正住. 1997. 二条大麦新品種「ミハルゴールド」の育成．福岡農総試研報　16：17-22

付表　「小春二条」の育成従事者と担当世代

氏名 ＼ 試験年度	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	現所属
世代 ＼ 育成従事期間	交配F1	F2	F3	F4	F5	F6 予検	F7 系適	F8 生検	F9 生検	F10 生検	F11 生検	F12 生検	
谷口　義則　'03. 4.1 ～'07.8.31								―	―	―	―	―	現在員
前島　秀和　'04. 4.1 ～'07.8.31									―	―	―	―	現在員
平　　将人　'03. 4.1 ～'07.8.31								―	―	―	―	―	現在員
伊藤　裕之　'02. 8.1 ～'07.8.31							―	―	―	―	―	―	現在員
伊藤美環子　'00. 4.1 ～'03.3.31					―	―	―						北農研
中村　　洋　'97.10.1 ～'01.9.30			―	―	―	―	―						作物研
中村　和弘　'96. 8.1 ～'04.3.31		―	―	―	―	―	―	―	―				長野農事試
吉川　　亮　'95. 9.1 ～'03.3.31	―	―	―	―	―	―	―	―					北農研
八田　浩一　'95. 9.1 ～'00.3.31	―	―	―	―	―								九農研
伊藤　誠治　'95. 9.1 ～'97.3.31	―	―											中央農研

製パン適性が高く、早生で耐寒雪性が強い小麦新品種「ゆきちから」の育成

吉川　亮[*1)]・中村　和弘[*2)]・伊藤美環子[*1)]・伊藤　裕之[*2)]
星野　次汪[*3)]・伊藤　誠治[*5)]・八田　浩一[*6)]・田野崎眞吾[*4)]
谷口　義則[*2)]・佐藤　暁子[*4)]・中村　洋[*7)]・藤原　秀雄[*4)]
上田　邦彦[*4)]・故 北原操一[*4)]・中島　秀治[*4)]・故 後藤虎男[*4)]

抄　録：「ゆきちから」は、1976年５月に「東北141号」を母とし、「さび系23号」を父として人工交配を行い、以後系統育種法で選抜・固定を図って育成されたパン用新品種である。2002年12月に小麦農林157号「ゆきちから」として命名登録を行った。

パン用品種の「コユキコムギ」に比較して、出穂期で５日、成熟期で２日早い、早生種である。稈長と穂長はやや長く、穂数は多い。耐寒雪性と耐倒伏性は強く、穂発芽性は同程度の中である。赤さび病、うどんこ病および縞萎縮病のいずれにも強い。赤かび病には同程度でやや弱である。子実重はやや少ない。外観品質は優れ、硬軟質性は同じ硬質である。製粉歩留はやや低いが、粉の白さ、明るさとも同程度である。粉の蛋白含量は同程度かやや高い。生地の伸長抵抗、伸長度ともにやや大きく、アミログラムの最高粘度はやや高い。製パン適性は高く、製パン法は中種生地法の方がストレート法より適している。また、中華めん適性はめん色相が優れる。

栽培適地は根雪期間110日以下の寒冷地平坦地である。2008年10月現在、東北地域の秋田県を除く各県で奨励品種等に採用されている。

キーワード：小麦、新品種、早生、耐寒雪性、耐病性、製パン適性

A New Wheat Cultivar, "Yukichikara", with Good Bread-making Quality, Early Maturing, and Cold and Snow Resistance

: Ryo YOSHIKAWA[*1)], Kazuhiro NAKAMURA[*2)], Miwako ITO[*1)], Yusuke ITO[*2)], Tsuguhiro HOSHINO[*3)], Seiji ITO[*5)], Koichi HATTA[*6)], Shingo TANOSAKI[*4)], Yoshinori TANIGUCHI[*2)], Akiko SATO[*4)], Hiro NAKAMURA[*7)], Hideo FUJIWARA[*4)], Kunihiko UEDA[*4)], Soichi KITAHARA[*4)], Hideharu NAKAJIMA[*4)], and Torao GOTO[*4)]

Abstract : A new wheat cultivar, "Yukichikara", was developed at the National Agricultural Research Center for Tohoku Region, National Agriculture and Food Research Organization (Morioka City, Iwate Prefecture, Japan) in 2002. "Yukichikara" was selected from lines of a cross of "Tohoku 141" and "Sabikei 23" by the pedigree breeding method, aiming at a new cultivar with early maturation, high yield, cold and snow resistance, disease resistance, and good baking quality. A promising line was named "Tohoku 214" in the F_{23} generation and submitted to local adaptability trials at various locations in Japan. "Tohoku 214" was registered as "Wheat Norin 157" by the Ministry of Agriculture, Forestry

＊１）現・北海道農業研究センター（National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Memuro, Hokkaido, 082-0081, Japan）
＊２）東北農業研究センター（National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan）
＊３）現・岩手大学農学部寒冷フィールドサイエンス教育研究センター（Field Science Center, Faculty of Agriculture, Iwate University, Takizawa, Iwate, 020-0173, Japan）
＊４）元・東北農業試験場（Retired, Tohoku National Agricultural Experiment Station, Morioka, Iwate 020-0198, Japan）
＊５）現・中央農業総合研究センター北陸研究センター（Hokuriku Research Center, National Agricultural Research Center, Jyoetsu, Niigata, 943-0193, Japan）
＊６）現・九州沖縄農業研究センター（National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Chikugo, Fukuoka, 833-0041, Japan）
＊７）現・作物研究所(National Institute of Crop Science, Tukuba, Ibaraki 305-8518, Japan）
2008年８月11日受付、2009年１月16日受理

and Fisheries, and named “Yukichikara” in 2002. “Yukichikara” was released in Iwate Prefecture and Fukushima Prefecture as a recommended cultivar in 2002.
“Yukichikara” is characterized by early maturing, cold and snow resistance, high protein content of the wheat flour, and good bread-making quality compared with “Koyukikomugi”. For bread-baking with “Yukichikara”, the bread-making quality of a sponge dough method is better than that of a straight dough method. Also, “Yukichikara” has moderate lodging resistance, leaf rust resistance, powdery mildew resistance, wheat yellow mosaic resistance, and good alkaline raw and boiled noodle color. Judging from the characteristics of “Yukichikara”, we believe it will be adapted to plains with less than 110 days of continuous snow cover in the Tohoku region of Japan.
Key Words : Wheat, New cultivar, Early maturity, Cold and snow resistance, Disease resistance, Bread-making quality

Ⅰ　緒　　言

従来国内産小麦の用途はうどん、きしめんなどの日本式めんが主体であったが、最近全国的に国内産小麦品種でパンを製造し、販売することが盛んになりつつある。東北地域では、従来パン用品種として、岩手県では「コユキコムギ」、福島県では「アオバコムギ」が作付けされ、合計234ha（2001年産）栽培されている。「コユキコムギ」は実需者から品質面で一定の評価を受けているが、赤さび病抵抗性のブレークダウンが起きて生産が不安定になるとともに、品質面でも蛋白含量低下等の問題が出てきている。また、「アオバコムギ」は「コユキコムギ」と同様に実需者から品質面で一定の評価を受けているものの、耐寒雪性が不十分で耐倒伏性が弱いため、収量・品質ともに低いのが問題になっている。このため、製パン適性が高く、早生・安定多収で耐寒雪性・耐病性の強い新品種育成に対する要望が強い。東北農業研究センターで2002年度に育成したパン用小麦新品種「ゆきちから」は、早生で耐寒雪性と耐倒伏性が強く、赤さび病、うどんこ病および縞萎縮病に対して病害複合抵抗性をもち、中種生地法による製パン適性が優れるため、2002年度に岩手、福島両県で奨励品種に採用された。その後、青森、宮城および山形各県でも奨励品種等に採用された。そこで、本品種の育成経過、特性および採用県おける試験成績等について紹介する。

本品種の育成にあたり、適応性検定試験、特性検定試験および奨励品種決定調査については関係各県農業試験場の担当者各位、現地試験については関係各県農業改良普及センターの担当者各位の多大な御協力をいただいた。育成を進める上では、東北農業試験場企画連絡室業務第１科の多くの職員が圃場管理および製粉・品質試験に従事した。また、多くの臨時職員が圃場管理補助､研究補助として従事した。元作物開発部長の番場宏治博士、酒井真次氏および前作物機能開発部長宮川三郎博士からは多くの御助言・御指導をいただいた。品質評価では、東北製粉協同組合、東北の製粉各社、北海道立北見農業試験場小麦科、並びに前食品総合研究所上席研究官高野博幸博士の御協力を得た。これらの方々に深甚の謝意を表する。

Ⅱ　来歴および育成経過

1975年度（1976年５月、以下年度は播種年度を表す）に東北農業試験場栽培第二部作物第１研究室（現・東北農業研究センターパン用小麦研究東北サブチーム、以下「育成地」と略す）において、「東北141号」を母とし、「さび系23号」を父として人工交配を行った（図１）。以後、系統育種法で選抜・固定を図ってきたものである。「東北141号」はやや晩生であるが、耐倒伏性が強く、硬質、高蛋白含量で外観品質が良い。また、製パン適性は交配当時不明であったが、後で製パン適性が優れていることが判明した。また、「さび系23号」は中生で耐寒雪性および縞萎縮病・うどんこ病抵抗性が強く、カモジグサ由来の赤さび病抵抗性を持ち、硬質、高蛋白含量である。本系統の製パン適性は交配当時不明であったが、後で本適性が中であることがわかった（表１）。当初の育種目標は、強稈・多収、耐病性および高品質（外観品質良、高製粉性、高製めん適性）で、「東北141号」がもつ強稈、多収、高品質と「さび系23号」がもつ耐寒雪性、耐病性を合わせもつ品種育成を図ろうとした。

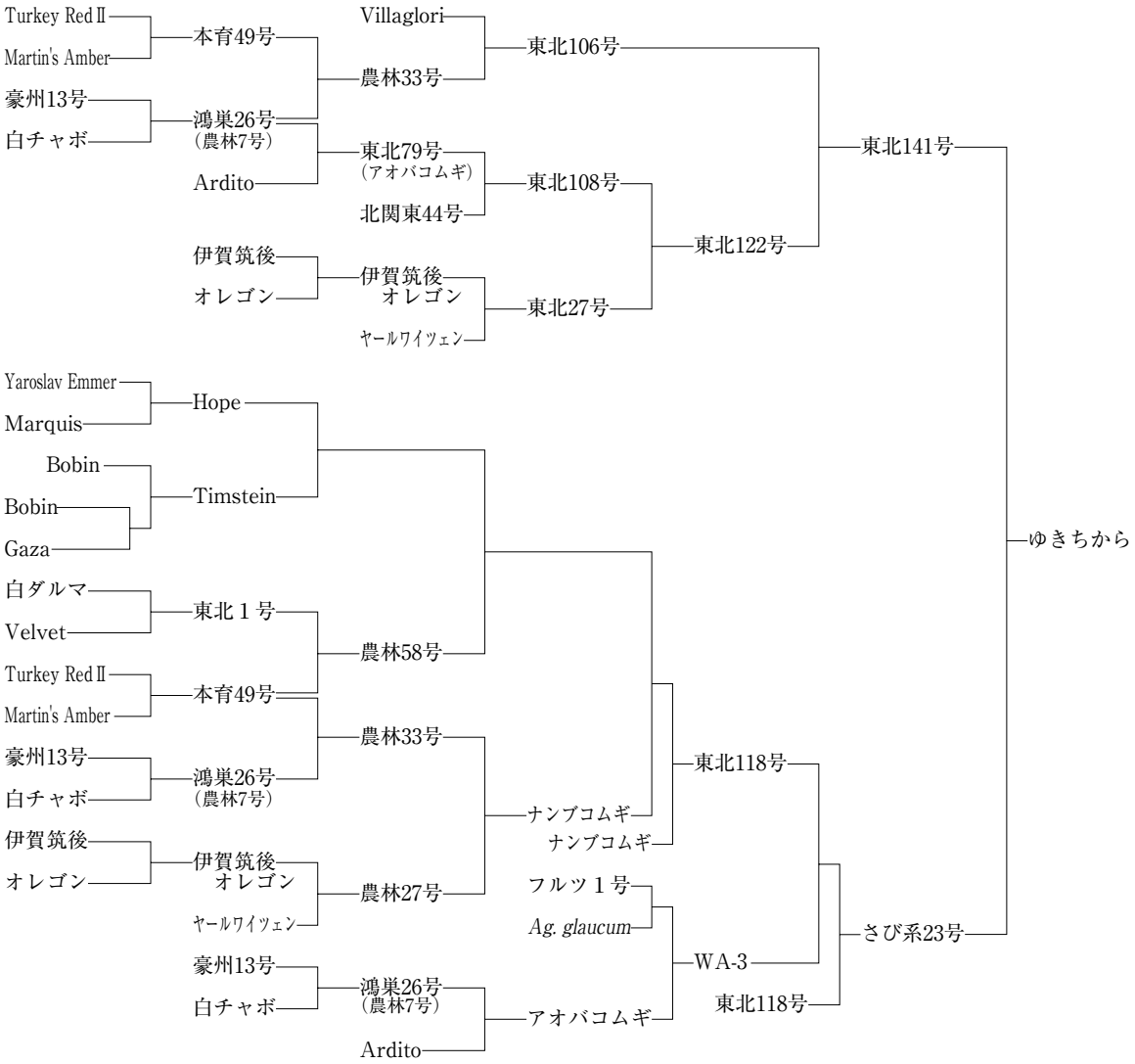


図１　「ゆきちから」の系譜図

選抜経過は表２に示した。F_2世代（1977年度）に早生で立毛（草姿）の良い20個体を選抜し、F_3～F_4世代（1978～1979年度）に系統選抜を行った。F_5世代に後に「ゆちちから」となった１系統に「盛系B-1417」の系統名を付け、系統適応性検定試験および特性検定試験を行うとともに、生産力検定予備試験に供試して、生産力および品質を調査した。しかし、当時は国内産小麦の用途がめん用主体でパン用がほとんどない状況の中、試験成績がめん用として良くなかったので、地方番号系統名を付けるまでには至らなかった。

F_7～F_{20}世代（1982～1995年度）の間は、系統選抜試験からは打ち切られたものの、早生で耐寒雪性が強い等の優良な栽培特性を持つため、「東北198号」等の交配親として用いられた。そして、14年間、１系統が「東北198号」の親として無選抜集団で維持された。

1996年度に育成地保存の遺伝資源について、中種生地法による製パン適性を調査した結果、「盛系B-1417」は製パン適性が特に優れることが判明した。そこで、F_{21}世代で再度系統展開をするため、維持されてきた１系統から穂数が多く外観品質が良い10個体選抜した。F_{22}世代（1997年度）に１粒点播の慣行栽培により10系統養成し、１系統を選抜した。また、系統適応性検定試験および特性検定試験に再度供試するとともに、生産力検定試験の条播標準栽培に入れて生産力等を調査した。その結果、早生で耐寒雪性および耐病性が強く、製パン適性が優れることが再確認された。このため、F_{23}世代（1998年度）に「東北214号」の地方番号系統名を付けて、

表１　「ゆきちから」と両親の特性

（形態的特性）

系統名 品種名	叢性	葉色	株の開閉	稈長	穂長	穂型	ふ色	粒の大小	粒の色	千粒重
(♀)東北141号	中	やや濃	中	やや短	中	紡錘	黄	中	赤褐	中
(♂)さび系23号	やや匍匐	中	中	やや長	やや短	紡錘	黄	やや小	赤褐	やや小
ゆきちから	中	やや濃	やや開	やや長	中	紡錘	黄	中	赤褐	中

（生態的特性）

系統名 品種名	播性程度	茎立性	出穂期	成熟期	穂発芽性	耐倒伏性	耐寒性	耐雪性	粒質	縞萎縮病抵抗性	うどんこ病抵抗性	赤かび病抵抗性	赤さび病抵抗性
(♀)東北141号	V	やや晩	やや晩	やや晩	極易	強	やや強	やや強	硝子質	弱	中	やや弱	強
(♂)さび系23号	V	中	中	中	中-やや難	やや強	強	強	硝子質	強	強	中	強
ゆきちから	V	やや早	やや早	やや早	中	やや強	強	やや強	硝子質	強	強	中	強

（品質特性）

系統名 品種名	蛋白含量	アミロース含量	アミログラム最高粘度	5＋10グルテニンサブユニット	製パン適性
(♀)東北141号	高	中	中	無	良
(♂)さび系23号	高	中	中	無	中
ゆきちから	高	中	中	無	良

表２　「ゆきちから」の選抜経過

播種年度		1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982～1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
世代		交配	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7 ～ F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{25}	F_{26}
供試	系統群数					3	1	1	1 ～ 1	1	1	1	2	1	1
	系統数	75粒	23個体	1400個体	20	15	5	5	1 ～ 1	1	10	10	10	10	11
選抜	系統群数					1	1	1	1 ～ 1	1	1	1	1	1	1
	系統数				3	1	1	1	1 ～ 1	1	1	2	1	1	1
	個体数			20	15	5	5	5	1 ～ 1	10	10	10	10	11	10
生産力検定	予備試験						標準栽培	標準栽培							
	本試験										標準栽培	標準栽培 ドリル播	標準栽培 ドリル播	標準栽培 ドリル播	標準栽培 ドリル播
特性検定試験（試験数）							1	1			5	5	4	6	6
系統適応性検定試験（試験数）							1	2			3				
奨励品種決定調査（試験数）												25	13	12	12
備考		盛交B-8	点播	点播			盛系B-1417		東北198号の親として無選抜集団で維持			東北214号			

F_{23}～F_{26}世代（1998～2001年度）にかけて東北、北陸、関東・東山、東海、近畿、中国、四国地域の29の県農業試験場の奨励品種決定調査に配付し地域適応性を検討した。また、生産力検定試験の条播標準栽培およびドリル播栽培において生産力等を引き続き調査した。その結果、岩手、福島両県で良好な成績が得られたので、2002年９月にその両県でパン用小麦の奨励品種として採用された。その後、品種登録出願および命名登録を行い、2002年12月に小麦農林157号「ゆきちから」と命名され、2005年12月に種苗法に基づく品種登録が行われた（登録番号第13529号）。「ゆきちから」は、その後、青森、宮城および山形の各県でも奨励品種等に採用された。育成終了は2002年８月で、世代はF_{26}である。

Ⅲ　特性の概要

育成地で実施した生産力検定試験条播標準栽培およびドリル播栽培の材料について、「ゆきちから」の形態的特性、生態的特性および品質特性を調査した。そして、これらの特性概要を種苗特性分類調査

報告書（1998年３月）の基準に従って分類し、東北地域の基幹品種であった「コユキコムギ」および「キタカミコムギ」とともに表３～５に示した。また、表６に生育調査成績、表７に収穫物調査成績、表８～９に特性検定試験成績、表10に製粉および60%粉品質試験、そして表11に生地物性試験成績を示した。

１．形態的特性

叢性は“中”、株の開閉は“やや開”である。稈長は“中”で「コユキコムギ」よりやや長く、「キタカミコムギ」よりやや短い。穂長は“中”で「コユキコムギ」よりやや長い。穂数は「コユキコムギ」より多い（表３、表６）。

表３　「ゆきちから」の形態的特性

形質番号	形　質	ゆきちから 階級(区分)	コユキコムギ 階級(区分)	キタカミコムギ 階級(区分)
1－1	叢　性	5(中)	6(やや匍匐)	5(中)
1－2	株の開閉	6(やや開)	5(中)	5(中)
1－3	鞘葉の色	1(無)	1(無)	1(無)
2－4	稈　長	5(中)	5(中)	7(長)
2－5	稈の細太	5(中)	5(中)	5(中)
2－6	稈の剛柔	5(中)	6(やや剛)	5(中)
2－7	稈のワックスの多少	6(やや多)	7(多)	3(少)
3－8	葉　色	6(やや濃)	6(やや濃)	6(やや濃)
3－9	葉鞘のワックスの多少	6(やや多)	7(多)	3(少)
3－10	葉鞘の毛の有無・多少	1(無～極少)	1(無～極少)	1(無～極少)
3－11	葉身の下垂度	6(やや大)	4(やや小)	5(中)
3－12	フレッケンの有無・多少	2(かなり少)	6(やや多)	6(やや多)
4－13	穂　型	2(紡錘状)	3(棒状)	3(棒状)
4－14	穂　長	5(中)	4(やや短)	5(中)
4－15	粒着の疎密	5(中)	7(密)	6(やや密)
4－16	穂の抽出度	5(中)	5(中)	6(やや長)
4－17	穂のワックスの多少	6(やや多)	7(多)	3(少)
4－18	ふ毛の有無	1(無)	1(無)	1(無)
4－19	葯の色	1(黄)	1(黄)	1(黄)
5－20	芒の有無とその多少	2(極少)	6(やや多)	7(多)
5－21	芒　長	2(極短)	5(中)	6(やや長)
6－22	ふ の 色	2(黄)	2(黄)	2(黄)
7－23	粒 の 形	5(中)	5(中)	5(中)
7－24	粒の大小	5(中)	5(中)	5(中)
7－25	粒 の 色	5(赤褐)	5(赤褐)	3(黄褐)
7－26	頂毛部の大きさ	5(中)	5(中)	5(中)
8－27	粒の黒目の有無・多少	1(無～極少)	1(無～極少)	1(無～極少)
9－28	千 粒 重	5(中)	5(中)	5(中)
9－29	容 積 重	6(やや大)	7(大)	6(やや大)
10－30	原麦粒の見かけの品質	6(中の上)	6(中の上)	5(中の中)
11－31	粗蛋白質含量	6(やや多)	5(中)	4(やや少)
11－32	灰分含量	5(中)	5(中)	5(中)
12－33	うるち・もちの別	1(うるち)	1(うるち)	1(うるち)

注．１）平成９年度種苗特性分類調査報告書（1998年３月）の基準による。
２）粗蛋白質含量は蛋白含量と同じ意味を表す。

稈の細太は“中”、稈のワックスの多少は“やや多”である。葉色は“やや濃”、葉身の下垂度は“やや大”である。フレッケンの有無・多少は“かなり少”で、「コユキコムギ」より少ない。穂型は

表４　「ゆきちから」の生態的特性

形質番号	形　質	ゆきちから 階級(区分)	コユキコムギ 階級(区分)	キタカミコムギ 階級(区分)
13－34	播性の程度	5(Ⅴ)	5(Ⅴ)	5(Ⅴ)
14－35	茎立性	4(やや早)	5(中)	5(中)
15－36	出穂期	4(やや早)	6(やや晩)	6(やや晩)
15－37	成熟期	4(やや早)	5(中)	6(やや晩)
16－38	遺伝子雄性不稔の有無	1(無)	1(無)	1(無)
17－41	耐寒性	7(強)	5(中)	4(やや弱)
17－42	耐雪性	6(やや強)	5(中)	4(やや弱)
17－44	耐凍上性	7(強)	5(中)	4(やや弱)
18－45	耐倒伏性	6(やや強)	6(やや強)	5(中)
19－46	穂発芽性	5(中)	5(中)	4(やや易)
20－47	脱粒性	5(中)	5(中)	4(やや易)
21－48	収量性	5(中)	7(多)	5(中)
23－70	縞萎縮病抵抗性	7(強)	4(やや弱)	5(中)
23－71	赤かび病抵抗性	4(やや弱)	4(やや弱)	4(やや弱)
23－72	うどんこ病抵抗性	7(強)	5(中)	5(中)
23－73	赤さび病抵抗性	7(強)	6(やや強)	5(中)

注．平成９年度種苗特性分類調査報告書（1998年３月）の基準による。

表５　「ゆきちから」の品質特性

形質番号	形　質	ゆきちから 階級(区分)	コユキコムギ 階級(区分)	キタカミコムギ 階級(区分)
22－49	粒の硬軟	7(硬質)	7(硬質)	4(やや軟)
22－50	粒　質	3(硝子質)	3(硝子質)	1(粉状質)
22－51	製粉歩留	6(やや高)	6(やや高)	5(中)
22－52	ミリングスコア	6(やや高)	6(やや高)	5(中)
22－53	60%粉粗蛋白質含量	7(多)	5(中)	4(やや少)
22－54	60%粉灰分含量	5(中)	5(中)	5(中)
22－55	60%粉アミロース含量	5(中)	6(やや多)	5(中)
22－56	粉の白さ	6(やや高)	6(やや高)	6(やや高)
22－57	粉の明るさ	6(やや高)	5(やや高)	6(やや高)
22－58	粉の色づき	4(やや低)	4(やや低)	5(中)
22－59	粉の明度	6(やや高)	6(やや高)	6(やや高)
22－60	粉の赤色み	5(中)	5(中)	5(中)
22－61	粉の黄色み	5(中)	5(中)	5(中)
22－62	吸　水　率	6(やや高)	6(やや高)	4(やや低)
22－63	バロリメーター・バリュウ	6(やや高)	7(高)	4(やや低)
22－64	生地の力の程度	6(やや大)	4(やや小)	6(やや大)
22－65	生地の伸張抵抗	5(中)	4(やや弱)	5(中)
22－66	生地の伸張度	5(中)	5(中)	5(中)
22－67	生地の形状係数	5(中)	5(中)	5(中)
22－68	最高粘度	5(中)	4(やや小)	4(やや小)
22－69	ブレークダウン	5(中)	3(小)	4(やや小)

注．１）平成９年度種苗特性分類調査報告書（1998年３月）の基準による。
２）粗蛋白質含量は蛋白含量と同じ意味を表す。

“紡錘状”であるが、「コユキコムギ」は“棒状”である。粒着の疎密は“中”、穂の抽出度は“中”、穂のワックスの多少は“やや多”である。芒の有無と多少は“極少”、芒長は“極短”で、無芒種である。ふ色は“黄”である。粒の形は“中”、粒の大小は“中”、粒の色は“赤褐色”である（表３、表６～７）。

千粒重は“中”で、「コユキコムギ」より小さく、「キタカミコムギ」と同程度である。容積重（リットル重）は“やや大”である。原麦粒の見かけの品質は“中の上”で、「コユキコムギ」より優れる（表３、表７）。

２．生態的特性

播性程度は“Ⅴ”の秋播型で、「コユキコムギ」、「キタカミコムギ」と同程度である。茎立性は“やや早”である。出穂期は“やや早”で「コユキコムギ」より５日早い。成熟期も“やや早”で、「コユキコムギ」より２日早い。耐雪性は“やや強”、耐寒性は“強”で、いずれも「コユキコムギ」より強い。耐寒雪性は“強”で「コユキコムギ」より強く、「ナンブコムギ」並である。耐凍上性は“強”で、「コユキコムギ」より強い。耐倒伏性は“やや強”で、「コユキコムギ」と同程度である。穂発芽性は“中”で、「コユキコムギ」と同程度である。収量性は“中”で、「コユキコムギ」より低い。なお、この収量性評価は育成地および岩手県農業研究センターの成績を合わせた評価である。縞萎縮病抵抗性は“強”で、「コユキコムギ」より強い。赤かび病抵抗性は“やや弱”で、「コユキコムギ」並である。うどんこ病抵抗性と赤さび病抵抗性はいずれも“強”で、「コユキコムギ」より強い。（表４、表６～９）。

３．品質特性

粒の硬軟は“硬”で、粒質は“硝子質”で、いず

表６　生育調査成績（育成地）

栽培様式	品種名	出穂期（月日）	成熟期（月日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本／㎡）	倒伏程度	寒雪害	凍上害	縞萎縮病	うどんこ病	赤さび病	赤かび病	フレッケン	立毛評価
条播標準栽培	ゆきちから	5.16	7.05	89	9.0	453	1.3	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	7.2
	標)コユキコムギ	5.21	7.07	84	8.9	355	2.1	1.8	0.4	2.6	1.0	1.7	0.3	0.8	5.4
	比)キタカミコムギ	5.22	7.10	91	8.6	351	1.7	1.8	0.6	0.7	0.8	0.8	0.5	2.5	6.6
	比)ナンブコムギ	5.20	7.07	87	9.8	349	2.4	1.8	0.5	2.8	1.0	1.4	0.2	0.0	4.1
ドリル播栽培	ゆきちから	5.18	7.07	87	9.2	532	1.2	1.5	1.1	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	7.5
	標)コユキコムギ	5.23	7.09	79	7.8	462	0.2	1.7	0.6	1.5	0.5	2.0	0.2	1.5	8.3
	比)キタカミコムギ	5.23	7.12	91	9.2	472	1.3	2.0	1.1	0.4	0.7	1.2	0.2	2.3	6.3
	比)ナンブコムギ	5.21	7.08	87	10.1	433	2.0	2.2	1.1	2.6	0.3	1.2	0.1	0.1	3.9

注.　１）条播は1997～2001年度の５カ年平均値、ドリル播は1998～2001年度の４カ年平均値。
２）品種名の標は標準品種、比は比較品種を示す（以下の表も同じ）。
３）農家慣行栽培に従い、寒雪害（雪腐病が主体）防除のためベフラン水和剤による種子消毒を、うどんこ病・赤かび病防除のため開花期頃にチルト乳剤の薬剤散布を行った。
４）倒伏程度、寒雪害、凍上害および病害は０(無)～５(甚)で判定。
５）フレッケンは、出穂後の葉に小さい淡黄色の斑点が多数生じる生理障害で、０(無)～５(甚)により判定。
６）立毛評価は、登熟後期における穂数・倒伏の多少、穂長、穂揃いの良否、病害発生を総合的に観察判定し、10(良)～１(不良)で評価。

表７　収穫物調査成績（育成地）

栽培様式	品種名	子実重（kg/a）	同左標準比率（%）	リットル重（g）	千粒重（g）	外観品質	粒大	粒色	粒形	粒質	粒溝深浅	赤かび粒
条播標準栽培	ゆきちから	43.6	112	770	40.3	4.0	中	赤褐	中	硝子質	中-ヤヤ深	0.1
	標)コユキコムギ	39.1	100	799	40.8	4.6	中-ヤヤ大	赤褐	ヤヤ円	中間-硝子	中	0.5
	比)キタカミコムギ	42.8	109	797	40.4	3.3	中	黄褐	ヤヤ円	中間質	中	0.4
	比)ナンブコムギ	28.0	72	788	41.8	4.3	ヤヤ大	赤褐-黄褐	中-ヤヤ長	中間質	ヤヤ深	0.5
ドリル播栽培	ゆきちから	45.8	98	768	37.9	4.1	中	赤褐	中	中間-硝子	中	0.1
	標)コユキコムギ	46.9	100	780	41.3	5.0	ヤヤ大	赤褐	中-ヤヤ円	中間質	中-ヤヤ深	0.7
	比)キタカミコムギ	49.9	106	761	37.1	4.5	中	黄褐	ヤヤ円	粉状質	中	0.4
	比)ナンブコムギ	26.5	57	775	41.5	4.5	ヤヤ大	赤褐-黄褐	ヤヤ長	粉状-中間	ヤヤ深	0.4

注.　１）条播は1997～2000年度の５カ年平均値、ドリル播は1998～2001年度の４カ年平均値。
２）外観品質は１(上上)～９(下下)、赤かび粒（赤かび病に罹病した粒の混入程度）は０(無)～５(甚)により判定。
３）ナンブコムギは縞萎縮病の多発ため低収となっている。

表８　特性検定試験成績（育成地）

品種名	赤さび病	縞萎縮病	うどんこ病	穂発芽性	播性
ゆきちから	強	強	強	中	V
標)コユキコムギ	弱	中	やや強	中	V
比)キタカミコムギ	やや強	やや強	やや強	やや易	V
比)ナンブコムギ	やや弱	やや弱	やや強	やや難	V

注.　1）1996～2001年度の平均値。
2）育成地の縞萎縮病は早播栽培、赤さび病とうどんこ病は春播栽培で検定し、0（強）～5（弱）で判定。穂発芽性は成熟期および成熟期5日後の穂を用いて、穂発芽検定器内で人工降雨処理し、10日後に穂発芽程度を穂別に調査し、平均穂発芽程度を算出。そして、2時期の平均値で穂発芽性を判定。播性は3月20日から10日おきに圃場に播種して、出穂の可否で播性程度を判定。

れも「コユキコムギ」と同じである。原麦の蛋白含量（粗蛋白質含量）は“やや多”で「コユキコムギ」よりやや高い。原麦の灰分含量は“中”で、「コユキコムギ」と同程度である。うるち・もちの別は“うるち”で、「コユキコムギ」と同じである。製粉歩留は“やや高”で、「コユキコムギ」並である。BM率は低く「コユキコムギ」と同程度である。セモリナ生成率およびセモリナ粉砕率は高く、「コユキコムギ」と同程度である。ミリングスコアは“やや高”であるが、「コユキコムギ」よりやや低い。60%粉蛋白含量（60%粉粗蛋白質含量）は“多”で、「コユキコムギ」より高い。60%粉灰分含量は“中”

表９　特性検定試験成績（委託先場所）

特性および場所名 / 品種名	耐雪性				耐寒雪性		凍上抵抗性		赤かび病		赤さび病	
	上川農試		新潟農総研		岩手農研		長野中信農試		九州農試		北海道中央農試	
	発病程度	判定	被害指数	判定	被害程度	判定	判定基準	総合判定	罹病程度	判定	発病程度	判定
ゆきちから	60.1	ヤヤ弱	13.3	強	21.0	強	106.1	強	68	ヤヤ弱	62	中
標)コユキコムギ	−	−	33.3	強	45.8	中	78.1	中	−	−	−	−
比)キタカミコムギ	88.2	弱	85.0	ヤヤ弱	64.6	中	77.8	ヤヤ弱	93	弱	33	ヤヤ強
比)ナンブコムギ	43.4	ヤヤ強	32.7	強	25.6	強	101.0	強	30	ヤヤ強	−	−

注.　1）1997～2001年度の平均値。
2）上川農試の耐雪性は耐小粒菌核病による判定で、個体単位で発病程度を0（健全）～4（枯死）の5段階で調査。次式で発病度を算出。発病度=（各発病程度×当該株数）の総和/調査株数×25。
3）新潟農総研の耐雪性の判定基準は、葉腐面積率および越冬茎率から被害指数を求め、耐雪性の強弱を判定。階級は7段階。
4）岩手農研の耐寒雪性の被害程度は、越冬株数、寒雪害による葉枯面積率および雪腐病による被害面積割合から被害程度を算出。
5）長野県中信農試の凍上抵抗性は、越冬株数と葉枯れ程度を調査。葉枯れの程度は0％を無、10%以下を少、50%以下を中、90%以下を多、90%を越えるものを甚として、5段階に分類。判定基準は検定品種・系統の越冬株率を標準品種の越冬株率で除して標準比率を算出したもの。

表10　製粉および品質試験成績（育成地）

栽培様式	品種名または銘柄名	原粒			製粉試験							60％粉					反射率		
		灰分含量（%）	蛋白含量（%）	硝子率（%）	製粉歩留（%）	BM率（%）	セモリナ生成率（%）	セモリナ粉砕率（%）	ストレート粉灰分（%）	ミリングスコア	灰分移行率（%）	灰分含量（%）	蛋白含量（%）	アミロース含量（%）	セディメンテーション値（mℓ）	比表面積（㎠/g）	R455（%）	R554（%）	D455-D554
条播標準栽培	ゆきちから	1.36	14.7	88	71.4	27.4	64.9	86.5	0.45	84.1	47.8	0.41	13.3	25.9	52.1	2,087	55.0	66.6	0.081
	標)コユキコムギ	1.26	12.8	89	72.0	28.0	64.3	87.5	0.43	85.6	46.9	0.40	11.9	27.0	47.6	2,026	54.2	66.6	0.090
	比)キタカミコムギ	1.38	12.8	30	71.5	49.1	61.2	78.7	0.49	82.4	46.3	0.44	11.1	27.8	42.8	2,970	53.5	66.3	0.093
	比)ナンブコムギ	1.46	14.5	44	67.5	58.5	58.6	72.8	0.48	78.8	45.5	0.44	13.1	25.7	43.2	3,373	49.5	64.8	0.117
	参)1CW	1.41	14.2	88	73.5	27.1	66.1	87.6	0.52	82.4	46.0	0.48	13.3	26.7	60.0	1,736	54.3	67.3	0.093
ドリル播栽培	ゆきちから	1.43	13.9	53	71.3	25.5	65.4	87..0	0.46	83.4	48.1	0.43	12.6	26.3	55.2	2,108	53.9	65.2	0.083
	標)コユキコムギ	1.25	13.3	39	72.2	27.3	64.2	88.4	0.45	84.6	45.7	0.42	11.9	27.1	45.7	1,877	53.1	65.8	0.094
	比)キタカミコムギ	1.47	12.6	40	70.2	45.3	60.3	80.3	0.47	82.0	47.9	0.42	10.8	27.5	38.5	3,064	52.2	65.1	0.096
	比)ナンブコムギ	1.59	14.4	36	67.9	58.7	57.3	74.7	0.45	80.4	48.6	0.40	13.1	25.2	41.2	3,568	49.3	64.9	0.119
	参)1CW	1.46	14.1	85	73.7	25.4	66.7	88.2	0.53	82.5	46.9	0.48	13.3	27.1	60.3	1,814	54.1	66.9	0.092

注.　1）条播は1997～2000年度の4カ年平均値、ドリル播は1998～2000年度の3カ年平均値。
2）1CWはカナダ産で食糧庁から移管された材料（以下の表も同じ）。
3）参は参考品種または参考銘柄を示す（以下の表も同じ）。
4）製粉試験はビューラーテストミルによる。原粒・60%粉蛋白含量は元素分析装置（パーキンエルマー社PE2410型）で測定し、蛋白質係数は原粒では5.83、60%粉では5.70を用いた。アミロース含量はJuliano（1971）に準じた方法で測定した。その他の特性は「農林水産技術会議事務局（1968）小麦品質検定方法」により調査した。以下の表も同じ。

表11　生地物性試験成績（育成地）

栽培様式	品種名または銘柄名	ファリノグラム					エキステンソグラム（135分）				アミログラム		ミキソグラム		
		Ab（%）	DT（min）	Stab（min）	Wk（B.U.）	VV	A（㎠）	R（B.U.）	E（㎜）	R/E	MV（B.U.）	BD（B.U.）	Ab（%）	D（min）	A（㎠）
条播標準栽培	ゆきちから	67.6	8.9	11.7	45	70	70	210	238	0.9	910	253	74	2.4	75
	標）コユキコムギ	67.8	6.3	6.9	69	60	59	197	216	0.9	838	131	71	2.2	70
	比）キタカミコムギ	58.7	4.3	5.7	55	54	91	326	219	1.5	746	186	66	2.7	70
	比）ナンブコムギ	60.8	4.7	5.9	69	54	58	167	240	0.7	958	306	67	1.9	64
	参）1CW	66.6	11.1	16.9	24	82	131	449	215	2.1	752	177	75	3.6	83
ドリル播栽培	ゆきちから	67.4	6.2	7.4	60	61	80	255	237	1.1	904	280	74	2.5	73
	標）コユキコムギ	69.3	7.9	8.0	75	66	65	220	217	1.0	822	151	71	2.2	69
	比）キタカミコムギ	58.5	3.9	6.6	53	56	101	375	203	1.9	818	194	64	3.1	67
	比）ナンブコムギ	61.2	6.0	6.2	82	57	58	167	238	0.7	1,003	399	66	1.8	60
	参）1CW	66.0	9.5	16.8	27	82	132	467	217	2.2	732	166	75	3.6	83

注．1）条播は1997～2000年度の４カ年平均値、ドリル播は1998～2000年度の３カ年平均値（ドリル播のアミログラムは２カ年平均値）。
2）ミキソグラムを除く特性は「農林水産技術会議事務局（1968）小麦品質検定方法」により調査した。ミキソグラムはAACC法54-40A[1]により調査した（以下の表も同じ）。
3）Ab：吸水率、DT(D)：生地の形成時間、Stab：生地の安定度、Wk：生地の弱化度、VV：バロリメーター・バリュウ、A：面積、R：伸長抵抗、E：伸長度、R/E：形状係数、MV：最高粘度、BD：ブレークダウン

で、「コユキコムギ」と同程度である。60%粉アミロース含量は“中”で、「キタカミコムギ」と同程度で、「コユキコムギ」より低い。パン用品質良否の指標である60%粉セディメンテーション値は、「コユキコムギ」より高い。粒の硬軟の指標である60%粉比表面積は「ゆきちから」と同じ硬質の「コユキコムギ」と同程度で、軟質の「キタカミコムギ」および「ナンブコムギ」に比べるとかなり小さい。粉の白さ（R455）は“やや高”で、「コユキコムギ」並である。粉の明るさ（R554）は“やや高”で、「コユキコムギ」および「キタカミコムギ」並である。粉の色づき（D455-D554）は“やや低”で「コユキコムギ」並である（表５、表10）。

ファリノグラムの吸水率（Ab）は“やや高”で、「コユキコムギ」と同程度である。バロリメーター・バリュウ（VV）は“やや高”で、「コユキコムギ」と同程度またはやや低い。エキステンソグラムの生地の力の程度（A、面積ともいう）は“やや大”で、「コユキコムギ」より大きい。生地の伸長抵抗（R）は“中”、伸長度（E）は“中”で、いずれも「コユキコムギ」より大きい。生地の形状係数（R/E）は“中”である。アミログラムの最高粘度（MV）およびブレークダウン（BD）はいずれも“中”で、「コユキコムギ」より大きい。ミキソグラムは、「コユキコムギ」に比べて、吸水率（Ab）が高く、生地の形成時間（D）がやや長く、面積（A）がやや大きい（表５、表11）。

製パン適性と関係があると言われている高分子量グルテニンサブユニット（以下ＨＭＷ-ＧＳ）（Blackman and Payne 1987、Payne *et al.* 1987）の構成（表12）は、「ゆきちから」の1A、1B、1Dはそれぞれ「１」、「７＋８」、「４+12」と、いずれも「ナンブコムギ」と同じで、製パン適性の改良に有効とされる1DにおけるＨＭＷ-ＧＳの「５+10」（Payne *et al.* 1987）は持たない。石川ら（2005）も「ゆきちから」はHMW-GSの「５+10」を持たないと報告している。製パン性の指標とされるGlu-1 quality scoreは７点で、「コユキコムギ」、「ナンブコムギ」と同じである。

表12　高分子量グルテニンサブユニット構成（育成地、2001年度）

品種名	染色体			Glu-1 quality score
	1A	1B	1D	
ゆきちから	1	7+8	4+12	7
標）コユキコムギ	2*	7+9	3+12	7
比）キタカミコムギ	1	7+8	3+12	8
比）ナンブコムギ	1	7+8	4+12	7
比）アオバコムギ	n	7+8	2+12	6
比）ネバリゴシ	2*	17+18	2+12	8
比）ハルイブキ	1	7+9	5+10	9

注．1）SDSポリアクリルアミド電気泳動法[2]で調査した。n：サブユニット無。
2）高分子量グルテニンサブユニットの判定およびGlu-1 quality scoreの算出はBlackman and Payne（1987）、Payne et al.（1987）に従った。

４．製パン適性

製パン試験法はストレート法と中種生地法の二方法で行った。ストレート法は、主に小さいパン屋で広く用いられ、全ての配合原料を同時にミキシング

して生地を作り、発酵させてパンを製造する方法である。また、中種生地法は主に大規模パン工場で用いられ、はじめに大部分の小麦粉にイースト（全量）と適量の水を加え捏ねて生地（これを「中種」という）を作って発酵させ、発酵生地に残りの小麦粉、砂糖、食塩、ショートニング等と適量の水を加えて捏ね、発酵させてパンを製造する方法である。中種生地法は機械耐性が優れた生地ができる他、ストレート法の欠点（一度捏ね上げた生地の性状を途中で修正することが困難）が取り除かれ、不安定な発酵条件のもとでも安定度が高く、でき、ふできの少ない、軟らかいパンが作れる（長尾　1984）。

ストレート法による製パン試験成績を表13に示す。「ゆきちから」は「コユキコムギ」に比べ、吸水性、作業性は同程度であるが、パン官能評価がやや優れ、総合評価点もやや高い。

また、中種生地法による製パン試験成績を表14、表15に示す。表14は原材料の通常配合の試験で、表

表13　ストレート法による通常の配合の製パン試験成績（育成地）

品種名	加水量	ミキシング時間	吸水性（A）	作業性（B）	パン体積	比容積	パン官能評価試験										官能評価	総合評価
							パン体積	表皮焼色	皮質	形の均整	内相の色	すだち	触感	香り	味	合計（C）	(C*0.6)	(A+B+C*0.6)
	（%）	(min)	(20)	(20)	(cm³)	(cm³/g)	(30)	(10)	(5)	(5)	(5)	(10)	(5)	(15)	(15)	(100)	(60)	(100)
ゆきちから	66.7	11.0	17.5	16.0	811	5.4	24.3	8.8	3.8	4.1	4.1	7.4	4.1	12.3	12.3	81.0	48.6	82.1
標)コユキコムギ	65.9	9.5	16.5	16.5	763	5.1	22.9	7.8	3.7	3.7	3.9	7.2	3.8	11.9	11.4	76.3	45.8	78.8
比)アオバコムギ	67.3	10.0	17.0	17.0	741	5.0	22.2	8.2	2.5	2.5	2.8	5.6	2.9	11.0	10.2	68.1	40.9	74.9

注．1）ゆきちから、コユキコムギは1999～2000年度の２カ年平均値で、1999年度はドリル播、2000年度は条播の各材料。アオバコムギは1999年度１カ年で条播標準播材料。
2）製パン試験ストレート法の試験方法は以下の通りである。
材料：60％粉300g、砂糖12g、食塩６g、ドライイースト６g、ショートニング６g、脱脂粉乳（スキムミルク）６g、イーストフード500mg、純水198～202mℓ
ミキシング：上記材料を一緒に、ナショナル自動ホームベーカリー SD-BT152型で６～13分間ミキシング（生地の状態で、材料によりミキシング時間を調整）
発酵・焼成：一次発酵、ホイロ（温度28℃、湿度75％）90分→ガス抜き→ホイロ中で30分発酵→生地を３分割し丸める→ホイロ中で15分発酵→棒状に整形→パン型に詰める→温度37℃、湿度85％、約65分→205℃（上段200℃、下段210℃）のオーブンで約34分焼く→室温で約１時間冷却後、パン重およびナタネ置換法でパン体積を測定し、パン体積/パン重により比容積を算出→ビニール袋に入れ、20℃で15 ～ 16時間保存→パンスライサーで２cm幅にスライス→官能評価
3）官能評価の配点は日本イースト工業会パン用酵母試験法（1990）に準じたが、パン体積の評点はパン体積*0.03により算出した。（　）の中の数字は各項目の満点を示す。官能評価のパネラー数は８名である。

表14　中種生地法による通常の配合の製パン試験成績（育成地）

品種名または銘柄名	加水量	本捏ミキシング時間	吸水性（A）	作業性（B）	パン体積	比容積	パン官能評価試験										官能評価	総合評価
							パン体積	表皮焼色	皮質	形の均整	内相の色	すだち	触感	香り	味	合計（C）	(C*0.6)	(A+B+C*0.6)
	（%）	(min)	(20)	(20)	(cm³)	(cm³/g)	(30)	(10)	(5)	(5)	(5)	(10)	(5)	(15)	(15)	(100)	(60)	(100)
ゆきちから	67.8	10.0	17	19	940	6.4	28.2	8.7	4.8	4.7	4.8	9.1	4.8	12.9	13.1	90.9	54.5	90.9
標)コユキコムギ	66.1	9.3	16	17	863	5.9	25.9	8.1	4.0	3.8	4.4	7.8	3.9	11.6	11.8	81.2	48.7	83.8
比)ナンブコムギ	65.3	9.3	11	13	906	6.2	27.2	8.1	3.8	4.4	3.6	7.4	3.5	11.2	10.7	79.7	47.9	72.2
参)1CW	68.3	10.0	18	19	871	6.0	26.1	8.5	4.3	4.2	4.3	7.8	4.3	12.2	12.3	83.9	50.3	86.9

注．1）1997～2000年度の４カ年平均値で、1997、1998、2000年度は条播、1999年度はドリル播の各材料。1CWはカナダ産で食糧庁からの管理替え材料。
2）製パン試験中種生地法の試験方法は以下の通りである。
材料：中種/小麦粉210g、ドライイースト６g、イーストフード300mg、純水140mℓ
本捏/小麦粉 90g、グラニュー糖12g、食塩６g、ショートニング６g、脱脂粉乳（スキムミルク）６g、純水55～65mℓ
ミキシング：中種/ナショナル自動ホームベーカリー SD-BT152型で10分間ミキシング（低速３分、中速７分）
本捏/同機で７～11分間ミキシング（低速３分、中速４～８分 材料によりミキシング時間調整）
発酵・焼成：中種一次発酵、ホイロ（温度28℃、湿度85％）４時間→本捏材料添加ミキシング→ホイロ中で20分発酵→生地を３分割し丸める→ホイロ中で20分発酵→棒状に整形→パン型に詰める→温度37℃、湿度85％、65～72分→205℃（上段200℃、下段210℃）のオーブンで約34分焼く→室温で約１時間冷却後、パン重およびナタネ置換法でパン体積を測定し、パン体積/パン重により比容積を算出→ビニール袋に入れ、20℃で15～16時間保存→パンスライサーで２cm幅にスライス→官能評価
3）官能評価の配点は日本イースト工業会パン用酵母試験法（1990）に準じたが、パン体積の評点はパン体積＊0.03により算出した。（　）の中の数字は各項目の満点を示す。官能評価のパネラー数は７～12名である。

表15　中種生地法によるリッチ配合の製パン試験成績（育成地）

品種名	加水量	本捏ミキシング時間	吸水性（A）	作業性（B）	パン体積	比容積	パン官能評価試験										官能評価	総合評価
							パン体積	表皮焼色	皮質	形の均整	内相の色	すだち	触感	香り	味	合計（C）	(C*0.6)	(A+B+C*0.6)
	（%）	(min)	(20)	(20)	(cm³)	(cm³/g)	(30)	(10)	(5)	(5)	(5)	(10)	(5)	(15)	(15)	(100)	(60)	(100)
ゆきちから	68.3	10	20	19	836	5.2	25.1	9.6	4.3	4.1	4.6	9.0	4.8	13.6	13.8	88.8	53.3	92.3
標)コユキコムギ	66.0	10	12	19	858	5.6	25.7	9.4	4.1	4.4	4.8	8.8	4.5	13.8	13.6	89.0	53.4	84.4
比)ハルイブキ	68.3	10	20	14	812	5.0	24.4	9.1	4.4	4.0	4.0	7.9	4.1	13.1	13.1	84.2	50.5	84.5
比)ナンブコムギ	65.0	10	12	14	881	5.6	26.4	9.4	4.2	4.6	4.2	9.0	4.5	13.4	13.3	89.0	53.4	77.4

注．1999年度のドリル播。製パン試験法は中種生地法で、砂糖、スキムミルクおよびショートニングの配合量を通常の２倍とした他は、表14と同じ配合および試験法である。官能評価のパネラー数は８名である。

表16　中華めん試験成績（育成地）

品種名または材料名	官能評価試験																合計
				ホシの程度	ゆでめん食感										ゆでめん食味		
	生めん直後	ゆでめん			直後			1週間後			7分後						
		直後	1週間後	生めん1週間後	かたさ	粘弾性	なめらかさ	かたさ	粘弾性	なめらかさ	かたさ	粘弾性	なめらかさ		直後	1週間後	(100)
ゆきちから(40%粉)	8.7	3.9	13.0	15.7	4.5	1.5	1.6	4.5	1.6	1.6	8.4	2.8	2.8		4.0	4.2	79.0
ゆきちから(60%粉)	8.6	3.7	10.8	15.0	4.7	1.5	1.6	4.7	1.5	1.6	7.9	2.7	2.9		3.9	4.0	75.1
比)ハルイブキ(60%粉)	6.3	3.2	10.3	11.0	4.1	1.3	1.2	3.5	1.3	1.2	8.6	2.9	2.6		3.3	3.0	63.8
標)市販強力粉	7.0	3.5	10.5	14.0	4.2	1.4	1.4	4.2	1.4	1.4	8.4	2.8	2.8		3.5	3.5	70.0

品種名または材料名	生めん色調						ゆでめん色調					
	直後			1週間後			直後			1週間後		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
ゆきちから(40%粉)	69.6	−1.14	27.1	66.5	0.16	28.3	69.9	−1.42	24.9	67.6	−0.57	25.4
ゆきちから(60%粉)	68.3	−1.06	28.7	65.3	0.35	29.9	70.0	−1.61	23.9	67.6	−0.58	25.2
比)ハルイブキ(60%粉)	68.6	−0.23	24.0	65.4	0.99	25.2	67.5	−0.87	22.5	65.9	−0.10	22.8
標)市販強力粉	72.8	−0.92	22.6	70.4	0.66	24.5	70.4	−0.67	22.2	67.4	0.28	22.5

注．１）市販強力粉以外は2000年度条播標準栽培材料で、ビューラー製粉機を使用し40%粉および60%粉に調整した。
２）製めん試験および官能試験は食品総合研究所の方法[11]に準拠して行った。パネラー数は７名である。
３）１週間後はポリエチレン袋に入れて１週間冷蔵庫（約４℃）で保存した生めんについて、ゆで直後に評価・調査した。７分後は製めん直後の生めんを、ゆで後７分間熱湯につけておいたものを評価した。
４）L*、a*、b*は色彩色差計の測定値で、それぞれ明るさ、赤味、黄味の程度を表し、値が高いほどこれらの程度が高いことを示す。

15は原材料のうち砂糖、スキムミルクおよびショートニングの量を通常の２倍にし、他の材料は通常の配合にした、いわゆるリッチ配合の試験である。通常配合の製パン試験（表14）では、吸水性、作業性は「コユキコムギ」、「ナンブコムギ」より優れる。「コユキコムギ」、「ナンブコムギ」より、パン体積および比容積が大きく、内相の色、すだち、触感、香りおよび味などの全項目とも優れ、官能評価点が高く、総合評価点も高い。

また、リッチ配合の製パン試験（表15）では、「ナンブコムギ」、「コユキコムギ」より吸水性が優れ、作業性は「コユキコムギ」と同程度である。パン体積が両品種よりやや小さいものの、パン官能評価の表皮焼色、すだち、味がやや優れるので、官能評価合計点は同程度であり、総合評価点も高い。

５．中華めん適性

中華めん試験成績を表16に示す。官能評価試験では、同じパン用品種の「ハルイブキ」や市販パン用強力粉に比べて、生めんの色相およびホシの程度が優れる。ゆでめんの食感は、ゆで直後では優れるが、７分後では同程度である。食味は優れる。その結果、官能評価の合計点は「ハルイブキ」および市販強力粉より高い。生めん、ゆでめんの色調はいずれも、「ハルイブキ」および市販強力粉に比べて、a*（赤色み程度）が低く、b*（黄色み程度）が高く、めんは明るい黄白色を呈する（写真４）。

6．外部研究機関および実需者による製パンおよび中華めん試験成績

1）北海道立北見農業試験場小麦科における製パン試験成績

ストレート法による製パン試験では、「ゆきちから」はミキシング耐性が不十分であった。パンの体積および外観は「ハルユタカ」より劣ったが、内色相および触感はやや優れた。「春よ恋」に比べると、体積、外観および内相とも劣った（表17）。

2）食品総合研究所における製パン試験成績

ストレート法による製パン試験では、ミキシング時間が「コユキコムギ」と同程度で、「ハルユタカ」、「1CW」より短かった。パン体積およびパン比容積は「コユキコムギ」より大きかったが、「ハルユタカ」、「1CW」よりやや小さかった。

外観および内相における各項目の評点とも、「コユキコムギ」より高いまたはやや高く、品質評価点は約10点高く、ランクも1ランク高かった。また、「ハルユタカ」と比較しても、体積以外の項目は「コユキコムギ」と同様に評点が高いまたはやや高く、品質評価点は約6点高く、そしてランクも1ランク高かった。以上の結果、製パン適性は「コユキコムギ」、「ハルユタカ」より優れた（表18）。

3）実需者（東北製粉協同組合）における製パン試験成績

ストレート法による製パン試験成績では、「コユキコムギ」に比べて、焼き色および皮質の評点は高かったが、その他の項目の評点は低いものが多く、特に体積および味の評点は低かった。合計はパン用の「ハルイブキ」並で、「コユキコムギ」より約6点低かった。この結果、製パン性は「コユキコムギ」より劣り、「ハルイブキ」並であった（表19）。

4）実需者（東北製粉協同組合）における中華めん試験成績

生めんの色相について、製造直後では標準品種の「農林61号」並であるが、1日後にはやや劣る。しかし、ホシの程度やゆでめんの食感、食味は、「農林61号」より優れ、合計点は約10点高い。このため、「農林61号」より中華めん適性は優れる（表20）。

7．固　定　度

稈長、穂長、1株穂数の平均値および変動係数（CV）からみて、「ゆきちから」は実用的に支障のない程度に固定している（表21）。

表17　北海道立北見農業試験場小麦科におけるストレート法製パン試験成績（2000年度）

品種名または銘柄名等	生地の状態	加水量	体積	比容積	外観		内相		
		(mℓ)	(cm³)	(cm³/g)	形	皮質	すだち	内色相	触感
ゆきちから	べたつき・膜薄・ミキシングオーバー	64	680	4.62	D～E	D	D	C～D	C
比)ハルユタカ	ながり良・滑らか・やや膜薄	61	725	4.98	D	D	D	D	D
比)春よ恋	つながり不良	64	745	5.11	C	C	C	C	B～C
比)1CW	つながり良・滑らか・やや膜薄	65	755	5.13	B～C	B～C	B～C	B	B
標)市販強力粉	ややなめらか・やや膜薄	64	790	5.46	B	B	B	B	B

注．ゆきちからは育成地採種栽培材料、その他の材料の入手および製粉、製パン試験は北見農試による。
評価：A(優)～E(劣)。配合：小麦粉100g、食塩2g、砂糖5g、生イースト2g、ショートニング5g、工程：ミキシング2分、一次発酵70分、二次発酵30分、ホイロ発酵55分、焼成25分。

表18　食品総合研究所におけるストレート法製パン試験成績

品種名または銘柄名等	加水量	ミキシング時間	パン体積	パン比容積	外観				内相					品質評価点	ランク
					体積	焼均整	形均整	外皮質	すだち	内部色	触感	香り	味		
	(mℓ)	(min)	(cm³)	(cm³/g)	(30)	(10)	(5)	(5)	(10)	(10)	(5)	(15)	(15)	(100)	
ゆきちから	66.3	2.3	725	4.87	18.7	8.5	4.5	4.5	8.3	4.3	4.5	13.0	12.5	78.8	B～C
標)コユキコムギ	65.7	2.3	660	4.43	14.5	7.5	4.3	4.3	7.5	4.3	4.3	11.5	11.0	69.0	C～D
比)ハルユタカ	65.2	3.0	740	5.07	20.5	7.3	4.1	4.1	7.8	3.8	4.3	10.5	10.0	72.2	C～D
比)1CW	64.9	3.0	753	5.14	21.5	8.8	4.5	4.5	8.5	4.5	4.5	13.0	13.0	82.8	B
標)市販パン用粉	66.3	3.6	717	4.89	19.0	8.5	4.5	4.5	8.5	4.5	4.5	13.0	13.0	80.0	B～C

注．1）1997～1998、2000年度の3カ年平均値。ゆきちからとコユキコムギは育成地産採種栽培の材料。ハルユタカは北海道産、1CWはカナダ産でいすれも食糧庁移管材料。
2）製粉および製パン試験は食品総合研究所で実施。
3）製パン試験法は日本イースト工業会パン用酵母試験法に従ったストレート法で、60%粉100g用いた。

表19　実需者（東北製粉協同組合）におけるストレート法製パン試験成績

品種名または材料名	加水量	パン官能評価試験									合計
		外観				内相					
		焼き色	形・均整	皮質	体積	すだち	色相	触感	香り	味	
	（%）	(10)	(5)	(5)	(10)	(10)	(10)	(15)	(10)	(25)	(100)
ゆきちから	64	8.1	3.8	4.1	5.5	6.9	6.9	9.7	7.0	15.7	67.6
標)ハルイブキ	64	7.3	3.2	3.5	7.3	6.2	6.8	11.3	7.1	15.0	67.4
比)コユキコムギ	63	7.2	3.8	3.5	7.2	7.4	7.4	10.7	7.2	19.7	73.7
比)市販強力粉	67	8.0	4.0	4.0	8.0	8.0	8.0	12.0	8.0	20.0	80.0

注．1）1999～2000年度の２カ年平均値。1999年度はドリル播栽培、2000年度は条播標準栽培の材料。
　　2）製粉は東北農業研究センター麦育種研究室が行った。
　　3）製パン試験法は製粉協会の方法に従ったストレート法。

表20　実需者（東北製粉協同組合）における中華めん官能評価試験成績

品種名	生めん外観			ゆでめん			合計点
	色相		ホシの程度	食感	食味	食感	
	直後	1日後	1日後	直後	直後	7分後	
ゆきちから	7.0	11.8	17.2	17.7	8.5	17.6	79.8
標)農林61号	7.0	14.0	14.0	14.0	7.0	14.0	70.0

注．1）1999～2000年度２カ年平均値。ゆきちからは育成地の生検材料で、農林61号は群馬県産で食糧庁管理替え材料。
　　2）製粉は東北農業研究センター麦育種研究室が行った。
　　3）製めん試験、官能試験は食品総合研究所の方法に準じて行った。

表21　固定度調査成績（2000年度）

品種名	出穂期（月日）	稈長		穂長		1株穂数		調査個体数
		平均（cm）	CV（%）	平均（cm）	CV（%）	平均（本）	CV（%）	
ゆきちから	5. 17	87.9	4.0	8.9	5.0	13.4	26.0	30
標)コユキコムギ	5. 21	75.8	4.2	8.1	4.5	8.8	28.8	30
比)キタカミコムギ	5. 21	94.3	4.7	9.2	5.9	11.3	32.1	31

注．耕種概要：畦幅70cm、畦長4.2m、条間15cm、株間12cm、二条千鳥１本立、2000年９月22日播種。各品種とも５系統の平均値。

Ⅳ　採用県における試験成績

「ゆきちから」は「東北214号」の地方番号系統名を付して、東北、北陸、関東・東山、東海、近畿、中国、四国地域の29の県農業試験場の奨励品種決定調査に配付し地域適応性を検討してきた。また、同時に1998年度（1999年産）以降の東北各県農業試験場の奨励品種決定調査で得られた材料について、東北農業試験場作物開発部（東北農業研究センター作物機能開発部）麦育種研究室で製粉・品質試験および製パン試験等を実施してきた。

１．岩手県における試験成績

１）奨励品種決定調査成績

1998～2001年度までの岩手県農業研究センター本場（以下岩手農研センターと略す）および岩手県農業研究センター県北農業研究所（以下岩手県北農研と略す）で実施された「ゆきちから」の奨励品種決定調査の成績を表22に示す。栽培法は密条播、適期播、標肥栽培である。岩手農研センター、岩手県北農研ともに、「ゆきちから」は標準品種「コユキコムギ」に比べ、出穂期で４～５日早く、成熟期で３～５日早い早生種である。稈長と穂長はやや長く、穂数が多い。赤かび病、赤さび病および雪腐病の発生はやや少ない。子実重はやや低く、千粒重はやや小さいが、外観品質は優れる。

岩手農研センターで実施された現地試験成績を表23に示す。岩手県北中部の玉山村では、標準品種の「コユキコムギ」より、成熟期が２日早く、穂数がやや多い。また、子実重が多く、リットル重および千粒重は同程度である。また、県南の東山町では、

表22　岩手県農業研究センターにおける奨励品種決定調査成績

農試名	栽培法	品種名	出穂期（月日）	成熟期（月日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏の多少	赤かび病	うどんこ病	赤さび病	縞萎縮病	雪腐病	寒雪害	子実重（kg/a）	同左標準比率（%）	リットル重（g）	千粒重（g）	品質概評
本場	密条播・標期播・標肥栽培	ゆきちから	5.13	7.02	88	8.5	513	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.5	−	49.2	89	767	39.4	2.8
		標)コユキコムギ	5.17	7.05	84	7.4	458	0.5	0.5	0.0	1.0	0.0	1.0	−	55.8	100	775	42.7	4.0
		比)ナンブコムギ	5.13	7.01	98	10.0	442	1.0	0.5	0.0	0.5	0.0	0.5	−	44.5	79	764	44.4	3.3
		比)キタカミコムギ	5.19	7.06	97	8.7	430	0.5	0.3	0.0	0.8	0.0	1.3	−	53.8	97	743	41.6	4.0
県北農業研究所	密条播・標期播・標肥栽培	ゆきちから	5.19	7.07	86	8.3	548	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	46.3	91	755	38.3	2.5
		標)コユキコムギ	5.24	7.12	81	7.6	481	0.0	0.5	0.0	0.0	0.5	0.3	0.3	52.2	100	756	40.2	3.8
		比)ナンブコムギ	5.21	7.08	84	9.0	466	1.3	0.8	0.0	0.0	1.5	0.0	0.3	37.9	74	764	41.8	3.3
		比)キタカミコムギ	5.24	7.14	88	8.0	427	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	0.8	52.9	102	744	40.8	3.3

注.　1）1998～2001年度の４カ年平均値。
　　2）倒伏の多少、病害発生程度、諸障害程度　0：無、1：微、2：少、3：中、4：多、5：甚。
　　3）品質概評　1：上の上、2：上の下、3：中の上、4：中の中、5：中の下、6：下。

表23　岩手県農業研究センターにおける奨励品種決定調査現地試験成績

試験場所	品種名	出穂期（月日）	成熟期（月日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏の多少	赤かび病	うどんこ病	赤さび病	縞萎縮病	雪腐病	寒雪害	子実重（kg）	同左標準比率（%）	リットル重（g）	千粒重（g）	品質概評
玉山村	ゆきちから	5.15	7.08	83	8.3	552	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.2	106	752	37.6	−
	標)コユキコムギ	−	7.10	84	7.9	514	0.9	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.4	100	750	36.1	−
	比)ナンブコムギ	−	7.08	79	10.2	382	0.5	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	37.3	57	761	42.4	−
東山町	ゆきちから	−	−	91	8.9	492	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.5	142	763	40.7	4.5
	標)ナンブコムギ	−	−	90	9.8	361	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.9	100	772	43.3	5.5

注.　1）2000～2001年度の２カ年平均値。なお、玉山村の収量・品質を除く特性は2000年度の成績。
　　2）倒伏の多少、病害発生程度、諸障害程度　0：無、1：微、2：少、3：中、4：多、5：甚。
　　3）品質概評　1：上の上、2：上の下、3：中の上、4：中の中、5：中の下、6：下。

標準品種の「ナンブコムギ」より穂数が多く、極多収で品質概評がやや優れる。

2）品質試験成績

（1）育成地による品質試験

奨励品種決定調査材料について育成地で行った製粉および品質試験の成績を表24に示す。製粉歩留は「コユキコムギ」に比べ、岩手農研センター産では同程度、岩手県北農研産ではやや高い。ミリングスコアは両場所産とも「コユキコムギ」よりやや低い。60%粉灰分含量は「コユキコムギ」よりやや高い。60%粉蛋白含量は「コユキコムギ」と比較すると、岩手農研センター産では同程度であるが、岩手県北農研産では高い。セディメンテーション値は「コユキコムギ」、「ナンブコムギ」より高い。反射率のR455およびR554は、両場所とも「コユキコムギ」よりいずれもやや高い。

ファリノグラムのAbは、両場所産とも「コユキコムギ」よりやや低く、「ナンブコムギ」より高い。ファリノグラムのVVは「コユキコムギ」に比べ、岩手農研センター産では低いが、岩手県北農研産では高い。エキステンソグラムは「コユキコムギ」に比べ、Rは高く、Eも大きい。アミログラムのMVは、両場所産とも「ナンブコムギ」より低いが、「コユキコムギ」より高い。ミキソグラムのAbは、両場所産とも「コユキコムギ」と同程度であるが、Aは「コユキコムギ」より大きい。

奨励品種決定調査および現地試験（玉山村）の各材料について、育成地で行った製パン試験成績を表25に示す。吸水性と作業性は、ストレート法では岩手農研センター、岩手県北農研の両場所産とも「コユキコムギ」と同程度である。一方、中種生地法では両場所産とも「コユキコムギ」より吸水性が優れ、作業性は岩手農研センター産では同程度、岩手県北農研産ではかなり優れていた。パン体積、比容積は岩手農研センター産では「コユキコムギ」と同程度であるが、岩手県北農研産では「コユキコムギ」より大きい。官能評価点と総合評価点はともに「コユキコムギ」より高い。ストレート法では、カナダ産「１CW」に比べると、両場所産とも各製パン特性とも劣る。

また、玉山村現地試験産の工場製粉材料は農試産材料より生地のべたつきが少し見られ作業性がやや劣るが、パン体積は大きく、官能評価点と総合評価点も高い。

（２）実需者（東北製粉協同組合）による品質試験

育成地で製粉した岩手農研センター材料について、実需者で行ったストレート法による製パン試験

表24　岩手県農業研究センターの奨励品種決定調査材料における製粉および品質試験成績

農試名または産地名	品種名または銘柄名	試験年度	原粒 灰分含量（%）	原粒 蛋白含量（%）	原粒 硝子率（%）	製粉歩留（%）	BM率（%）	セモリナ生成率（%）	セモリナ粉砕率（%）	ストレート粉灰分（%）	ミリングスコア	灰分移行率（%）	60%粉 灰分含量（%）	60%粉 蛋白含量（%）	60%粉 アミログラム含量（%）	60%粉 セディメンテーション値（mℓ）	60%粉 比表面積（㎠/g）	反射率 R455（%）	反射率 R554（%）	反射率 D455-D554
本場	ゆきちから	1999	1.62	11.9	81	70.2	27.8	65.9	83.4	0.52	79.2	47.4	0.49	10.6	26.7	43.4	2,170	54.5	66.0	0.083
	標)コユキコムギ	～	1.40	11.7	82	70.3	28.8	65.1	83.8	0.49	80.9	45.6	0.46	10.8	26.4	37.3	2,150	54.3	65.5	0.082
	比)ナンブコムギ	2000	1.63	14.0	53	65.3	52.9	57.8	73.9	0.50	75.1	45.0	0.48	12.1	25.8	41.3	3,595	49.2	64.9	0.120
県北農	ゆきちから	1998,	1.63	11.3	87	70.5	27.6	65.5	84.4	0.53	78.9	47.5	0.49	10.0	26.6	40.5	1,864	55.6	67.7	0.086
業研究	標)コユキコムギ	2000	1.44	9.6	68	69.5	22.6	66.9	84.8	0.49	79.9	45.6	0.46	8.4	27.7	32.5	1,884	55.0	67.5	0.089
所	比)ナンブコムギ		1.63	11.5	54	66.9	46.5	60.9	75.7	0.48	78.0	47.2	0.46	10.1	25.9	34.6	3,297	51.7	67.5	0.116
ｶﾅﾀﾞ産	参)1CW	1998~2000	1.46	14.1	89	73.7	25.4	66.7	88.2	0.53	82.5	46.9	0.48	13.3	27.1	60.3	1,814	54.1	66.9	0.092

農試名または産地名	品種名または銘柄名	試験年度	ファリノグラム Ab（%）	ファリノグラム DT（min）	ファリノグラム Stab（min）	ファリノグラム Wk（B.U.）	ファリノグラム VV	エキステンソグラム（135分） A（㎠）	エキステンソグラム（135分） R（B.U.）	エキステンソグラム（135分） E（㎜）	エキステンソグラム（135分） R/E	アミログラム MV（B.U.）	アミログラム BD（B.U.）	ミキソグラム Ab（%）	ミキソグラム D（min）	ミキソグラム A（㎠）
本場	ゆきちから	1999	67.0	3.7	3.7	55	54	77	252	230	1.1	935	244	72	3.4	79
	標)コユキコムギ	～	68.9	6.9	6.5	85	63	54	168	222	0.8	903	132	72	2.2	69
	比)ナンブコムギ	2000	61.3	4.9	5.6	58	58	57	177	240	0.8	994	306	65	2.4	71
県北農	ゆきちから	1998,	65.1	3.7	3.9	75	51	68	224	218	1.0	844	266	68	2.7	78
業研究	標)コユキコムギ	2000	66.2	2.5	2.9	90	43	44	202	167	1.3	487	147	67	3.4	65
所	比)ナンブコムギ		58.9	3.0	3.1	80	48	57	211	192	1.1	1,023	323	63	2.6	63
ｶﾅﾀﾞ産	参)1CW	1998~2000	66.0	9.5	16.8	27	82	132	467	217	2.2	732	166	75	3.6	83

注.　１）分析は東北農業研究センター麦育種研究室による。試験年度平均値で示す。
　　２）各特性の記号の説明は表11を参照。

表25　岩手県農業研究センターの奨励品種決定調査材料および現地試験材料における製パン試験成績

製パン試験法	農試名または産地名	品種名または銘柄名	試験年度	吸水性（A）（20）	作業性（B）（20）	パン体積（㎤）	比容積（㎤/g）	パン官能評価試験 パン体積（30）	表皮の焼色（10）	皮質（5）	形の均整（5）	内相の色（5）	すだち（10）	触感（5）	香り（15）	味（15）	合計（C）（100）	官能評価（C*0.6）（60）	総合評価（A+B+C*0.6）（100）
ストレート法	本場	ゆきちから	1999	16.0	15.0	705	4.7	21.1	7.8	3.7	3.2	3.3	6.6	3.5	11.5	11.7	72.4	43.4	74.4
		標)コユキコムギ		16.0	16.0	701	4.7	21.0	6.7	3.1	2.9	2.8	5.8	3.1	10.8	9.7	66.0	39.6	71.6
	県北農業	ゆきちから	1998	14.0	17.0	727	4.9	21.8	8.0	3.3	3.5	3.9	6.8	3.6	11.8	11.6	74.2	44.5	75.5
	研究所	標)コユキコムギ		14.0	15.0	512	3.4	15.4	5.3	2.1	1.8	2.3	3.8	2.0	8.3	7.3	48.4	29.0	58.0
	玉山村	ゆきちから	2000	16.0	14.0	879	5.9	26.4	8.4	4.4	4.6	4.2	8.5	5.0	13.2	13.7	88.3	53.0	83.0
	ｶﾅﾀﾞ産	標)1CW		19.0	19.0	856	5.7	25.7	8.4	4.3	4.5	4.6	8.7	4.6	12.3	13.0	86.1	51.6	89.6
中種生地法	本場	ゆきちから	1999	18.0	17.0	873	5.9	26.2	8.8	4.4	4.2	4.3	8.2	4.8	12.5	13.0	86.1	51.7	86.7
		標)コユキコムギ	～2000	13.0	16.5	868	5.8	26.1	7.9	4.5	4.2	4.2	8.1	4.4	12.4	12.4	83.9	50.3	79.8
		比)ナンブコムギ	1999	8.0	18.0	871	5.8	26.1	8.0	4.4	4.1	3.6	8.2	4.3	11.7	11.7	82.1	49.2	75.2
	県北農業	ゆきちから	1998,	15.5	17.0	824	5.5	24.7	7.7	4.6	3.8	4.4	7.9	4.6	12.6	13.2	83.3	50.0	82.5
	研究所	標)コユキコムギ	2000	12.5	9.0	751	5.2	22.5	7.3	3.7	3.3	3.3	6.1	3.2	10.7	10.0	70.0	42.0	63.5
	玉山村	ゆきちから	2000	14.0	15.0	887	6.1	26.6	8.8	4.5	4.7	4.6	8.8	5.0	13.2	13.8	89.8	53.9	82.9

注.　１）製パン試験は東北農業研究センター麦育種研究室による。岩手県農業研究センターと県北農業研究所はビューラーテストミルで製粉した60%粉を用い、玉山村現地試験は工場製粉（東北製粉協同組合に委託）の材料を用いた。また、各製パン試験法とも粉300gを用いた。
　　２）官能評価の配点は日本イースト工業会パン用酵母試験法に準じたが、パン体積の評点はパン体積×0.03により算出した。官能評価のパネラー数はストレート法が８名、中種生地法は７～12名である。

成績を表26に示す。焼色は市販強力粉並であるが、その他の項目は市販強力粉より劣る。

岩手県現地産の「ゆきちから」（玉山村産）および「ナンブコムギ」（紫波町産）材料について、実需者による工場製粉・品質試験成績と製パン試験を表27に示す。製粉・品質試験においては、標準の「ナンブコムギ」に比べて、蛋白含量は原麦および60%粉とも約２～３%高い。製粉歩留は高く、ＢＭ率は低い。「ゆきちから」は成熟期が天候不順で収穫が遅れたため、アミログラムのMVが低い。ファリノグラムのAb、DTおよびStabは高く、VVも高い。エキステンソグラムのAが大きく、Eは大きい。

製パン試験では、中種生地法、ストレート法とも市販強力粉に比べ、官能評価の各項目および合計点が劣るが、中種生地法では市販強力粉とのこれらの差が縮まった。「ゆきちから」の製パン法による比較では、中種生地法の方がストレート法に比べ、官能評価の香り、味は同程度であるがその他の項目はやや高く、合計点も高い。

なお、製パン試験についての実需者コメントでは、「ゆきちから」は中種生地法ではストレート法よりやわらかく、体積が大きい出来上がりとなった。カナダ産「１CW」（市販強力粉）より製パン性はやや劣るものの、県産パン用としての利用は可能である。また、「ゆきちから」は「ナンブコムギ」に比べると、生地ダレがなく、一次発酵後生地に締まりがあり、ガス保持力が良く、パン体積が大きく、軽く感じる。

表26　実需者（東北製粉協同組合）による岩手県農業研究センター奨励品種決定調査材料のストレート法製パン試験成績（2000年産）

品種名または材料名	加水量	外観				内相					合計
		焼色	形・均整	皮質	体積	すだち	色相	触感	香り	味	
	（%）	(10)	(5)	(5)	(10)	(10)	(10)	(15)	(10)	(25)	(100)
ゆきちから	63	8.2	3.3	3.8	7.2	6.3	7.8	11.8	7.0	17.1	72.5
比)市販強力粉	67	8.0	4.0	4.0	8.0	8.0	8.0	12.0	8.0	20.0	80.0

注．１）製パン試験法は製粉協会の方法に従ったストレート法で、市販強力粉を標準にして評価した。
　　２）製粉は東北農業研究センター麦育種研究室で行った。

表27　実需者（東北製粉協同組合）による岩手県現地産（玉山村）工場製粉・品質試験および製パン試験成績（2001年産）

①製粉および品質試験成績

品種名	産地名	原粒			製粉歩留	ＢＭ率	セモリナ生成率	セモリナ粉砕率	60％粉		白度
		リットル重(g)	灰分	蛋白					灰分	蛋白	
			(%)	(%)	(%)	(%)			(%)	(%)	
ゆきちから	玉山村	813	1.53	13.7	72.6	41.2	62.3	82.5	0.52	12.0	87.0
標)ナンブコムギ	紫波町	800	1.62	10.9	70.0	67.2	48.3	86.6	0.49	9.9	88.8

品種名	産地名	アミログラム	ファリノグラム					エキステンソグラム（135分）			
		MV	Ab	DT	Stab	Wk	VV	A	R	E	R/E
		(B.U.)	(%)	(min)	(min)	(B.U.)		(㎠)	(B.U.)	(㎜)	
ゆきちから	玉山村	189	69.1	3.2	2.4	145	42	48	110	234	0.47
標)ナンブコムギ	紫波町	970	58.5	1.7	1.3	150	34	34	125	172	0.73

②製パン試験成績（ストレート法、中種生地法）

製パン試験法	品種名または材料名	産地名	外観				内相					合計
			焼色	形・均整	皮質	体積	すだち	色相	触感	香り	味	
			(10)	(5)	(5)	(10)	(10)	(10)	(15)	(10)	(25)	(100)
ストレート法	ゆきちから	玉山村	7.4	3.5	3.0	6.0	6.8	7.0	11.0	7.5	17.8	70.0
	標)市販強力粉		8.0	4.0	4.0	8.0	8.0	8.0	12.0	8.0	20.0	80.0
中種生地法	ゆきちから	玉山村	7.8	4.0	3.5	7.3	7.5	7.0	13.0	7.5	17.8	75.4
	標)市販強力粉		8.0	4.0	4.0	8.0	8.0	8.0	12.0	8.0	20.0	80.0

注．各特性の記号の説明は表11を参照。製パン試験法は製粉協会の方法に準じた。

3）岩手県における採用理由

水田農業確立対策の推進に伴い、岩手県においても小麦の作付け面積の増加が著しく、2002年産は前年を600ha上回る、約3200haに達している。今後、計画的に需要拡大を図りながら民間流通を円滑に進める上で、実需者ニーズに基づいた品質向上および安定生産対策が一層求められている。そのような中で、国産のうどん用途向け小麦の需要が頭打ち傾向であるのに対して、安全・安心志向の国産原料にこだわったパン用途向け小麦は今後需要が拡大することが期待される。

岩手県はパン用途小麦として、1989年に奨励品種として採用した「コユキコムギ」を有し、品質的には実需者から一定の評価を受けているが、数年前に赤さび病に対する抵抗性が優勢病原菌レースの変化により崩壊し、生産が不安定になるとともに、蛋白含量の低下等､品質劣化もみられるようになってきた。

「ゆきちから」は製粉性が優れ、食パンにしたときの比容積が大きく、内相の色が良い等、製パン適性が国産秋播小麦の中では優れている。また、縞萎縮病・うどんこ病・赤さび病のいずれにも強く、穂発芽性は「中」であるものの早生品種であることから、収穫時における品質低下の危険を軽減できるため、安定生産が可能である。

普及見込み地帯は玉山村を中心とする県北中部および花巻市等の県南部である（図２）。普及見込み面積は200haである。

２．福島県における試験成績

１）奨励品種決定調査成績

1998～2001年度までの福島県農業試験場（以下福島本場と略す）、福島県農業試験場会津支場（以下会津支場と略す）および福島県農業試験場相馬支場（以下相馬支場と略す）で実施された「ゆきちから」の奨励品種決定調査の成績を表28に示す｡栽培法は、福島本場と相馬支場が条播およびドリル播の標期播、標肥栽培で、会津支場は条播および密条播の標期播、標肥栽培である。条播栽培では、各場所とも「アオバコムギ」に比べて出穂期、成熟期ともに１～２日遅いが、ドリル播では福島本場と相馬支場では出穂期では同程度、成熟期は１～２日早い。稈長は福島本場と会津支場では「アオバコムギ」よりやや短いが、相馬支場では同程度である。「アオバコムギ」に比べ、穂長は同程度から長いが、穂数は同程度から少なく、倒伏の多少も少ない。子実重は、

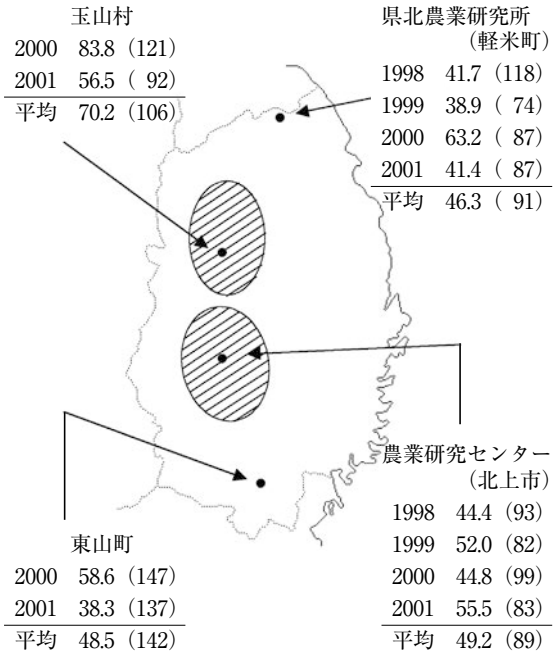


図２　岩手県の各農業試験場および現地における「ゆきちから」の子実重および対標準比

注．１）年度の右の数字は子実重（kg/a）で、括弧内の数字は標準品種「コユキコムギ」（東山町は「ナンブコムギ」）に対する比率（%）。
２）図の斜線部分は、特に普及が見込まれる地帯。

「アオバコムギ」に比べ福島本場ではいずれの栽培法も低収（1998年度および2001年度の「ゆきちから」は播種前の降雨による出芽不良で穂数が減少し、特に低収量となった）であるが、会津支場では条播ではやや低収、播種量が多い密条播では同程度、相馬支場では条播では多収、ドリル播ではやや低収であった。各場所とも「アオバコムギ」より千粒重が同程度からやや小さく、品質概評は福島本場はやや劣ったが、会津支場では同程度、相馬支場ではやや良かった。

福島県の奨励品種決定調査現地試験成績を表29に示す。中通り地方の小野町、船引町と会津地方の塩川町の３カ所で現地試験が行われた。小野町では「アオバコムギ」に比べ、成熟期は同じで、短稈であるが、穂長が短く、穂数が少なくて、かなり低収である。一方、船引町と塩川町では、「アオバコムギ」より成熟期が1～2日遅いが、短稈で穂長がやや長く、穂数も同程度から多く、倒伏が少なく、多収である。

２）品質試験成績

（１）育成地による品質試験

奨励品種決定調査材料について育成地で行った製

表28　福島県農業試験場における奨励品種決定調査成績

場所名	栽培法	品種名	試験年度	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/㎡)	倒伏の多少	赤かび病	うどんこ病	赤さび病	縞萎縮病	雪腐病	寒雪害	子実重 (kg/a)	同左標準比率 (%)	リットル重 (g)	千粒重 (g)	品質 概評	品質 等級
本場	条播・	ゆきちから	1998	5.07	6.18	84	8.8	314	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	−	−	33.8	81	787	40.0	4.7	−
	標期播・	標)アオバコムギ	～	5.05	6.17	92	8.3	443	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	41.9	100	785	40.0	4.3	−
	標肥栽培	比)トヨホコムギ	2001	5.04	6.15	83	7.5	441	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	45.5	109	806	40.8	3.7	−
		比)アブクマワセ		4.25	6.09	76	6.4	485	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	39.1	93	778	37.2	3.1	−
	ドリル播・	ゆきちから	1998	5.03	6.13	88	8.4	518	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	−	47.5	89	765	36.3	4.0	−
	標期播・	標)アオバコムギ	～	5.03	6.14	95	7.7	593	1.0	0.0	0.0	0.0	−	−	−	56.4	100	758	41.9	3.5	−
	標肥栽培	比)トヨホコムギ	2001	5.01	6.11	80	6.9	605	0.5	0.0	0.0	0.0	−	−	−	62.7	111	769	43.5	3.5	−
		比)アブクマワセ		4.22	6.05	79	6.3	625	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	−	47.7	86	747	37.7	4.0	−
会津	条播・	ゆきちから	1998	5.10	6.22	90	9.3	317	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	−	32.8	94	785	39.1	3.0	4.0
支場	標期播・	標)アオバコムギ	～	5.08	6.20	94	8.5	324	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	−	35.4	100	780	40.4	3.0	3.3
	標肥栽培	比)トヨホコムギ	2001	5.08	6.20	82	9.2	321	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	−	35.1	100	787	43.2	2.3	2.3
	密条播・	ゆきちから	2000	5.09	6.21	86	9.2	381	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	−	42.5	99	777	38.3	3.0	4.0
	標期播・	標)アオバコムギ	～	5.07	6.20	89	9.2	400	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	−	42.6	100	791	40.0	3.0	4.0
	標肥栽培	比)トヨホコムギ	2001	5.07	6.20	79	9.3	415	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	−	46.3	108	785	41.5	3.0	2.0
相馬	条播・	ゆきちから	1998	5.05	6.22	96	9.4	602	1.3	0.0	0.0	0.0	−	−	1.0	49.1	119	799	37.9	3.0	−
支場	標期播・	標)アオバコムギ	～	5.04	6.21	95	8.7	617	3.5	0.0	0.0	0.0	−	−	1.0	42.2	100	786	36.9	3.5	−
	標肥栽培	比)トヨホコムギ	2001	5.02	6.19	88	8.5	663	2.0	0.0	0.0	0.3	−	−	1.0	53.8	128	809	37.0	3.0	−
		比)アブクマワセ		4.19	6.10	80	7.2	716	2.0	0.8	0.8	0.0	−	−	1.0	42.8	104	793	35.7	2.5	−
	ドリル播・	ゆきちから	2001	4.28	6.17	94	9.5	807	1.0	−	−	−	−	−	−	71.0	95	768	39.2	3.0	−
	標期播・	標)アオバコムギ		4.28	6.19	95	8.7	952	4.0	−	−	−	−	−	−	74.7	100	790	41.6	4.0	−
	標肥栽培	比)トヨホコムギ		4.25	6.16	85	8.1	975	1.0	−	−	−	−	−	−	82.9	111	798	40.4	3.0	−
		比)アブクマワセ		4.15	6.08	84	7.3	1,061	1.0	−	−	−	−	−	−	70.4	94	787	37.9	1.0	−

注.　1）倒伏の多少、病害発生程度、諸障害程度　0：無、1：微、2：少、3：中、4：多、5：甚。
　　2）品質概評　1：上の上、2：上の下、3：中の上、4：中の中、5：中の下、6：下。

表29　福島県農業試験場における奨励品種決定調査現地試験成績

試験場所	品種名	試験年度	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/㎡)	倒伏の多少	赤かび病	うどんこ病	赤さび病	縞萎縮病	雪腐病	寒雪害	子実重 (kg/a)	同左標準比率 (%)	リットル重 (g)	千粒重 (g)	品質 概評	品質 等級
小野町	ゆきちから	2000	−	6.28	85	7.1	266	0.0	−	−	−	−	−	−	28.6	62	795	40.1	6	規外
(中通り地方)	標)アオバコムギ		−	6.28	99	9.4	357	4.0	−	−	−	−	−	−	45.8	100	789	38.4	5	規外
船引町	ゆきちから	2001	−	7.01	95	8.9	632	0.0	−	−	−	−	−	−	58.7	141	780	41.2	6	−
(中通り地方)	標)アオバコムギ		−	6.30	101	8.7	673	4.0	−	−	−	−	−	−	41.5	100	788	38.7	5	−
塩川町	ゆきちから	2000	5.06	6.22	85	9.4	595	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	56.3	116	774	41.5	3	−
(会津地方)	標)アオバコムギ	～2001	5.04	6.20	92	9.0	513	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	48.6	100	767	41.3	4	−

注.　1）倒伏の多少、病害発生程度、諸障害程度　0：無、1：微、2：少、3：中、4：多、5：甚。
　　2）品質概評　1：上の上、2：上の下、3：中の上、4：中の中、5：中の下、6：下。

粉および品質試験の成績を表30に示す。各場所産とも「アオバコムギ」に比べて、原粒蛋白含量が高く、硝子率が高い。製粉歩留はやや高いが、ミリングスコアはやや低く、60%灰分含量はやや高い。60%蛋白含量は高く、セディメンテーション値も高い。反射率のR455とR554は、福島本場産と会津支場産では高いが、相馬支場では同程度である。

ファリノグラムは「アオバコムギ」に比べ、Abは福島本場産および会津支場産ではやや低いが、相馬支場産ではやや高い。また、各場所産とも、DTとStabは長く、Wkが小さく、VVは高い。エキステンソグラムのAは大きく、Rはやや大きいか同程度で、Eは大きい。ミキソグラムのAbが高く、Dが長く、Aが大きい。以上の生地物性の特性結果から、「ゆきちから」は「アオバコムギ」より生地が強力的であると考えられる。

アミログラムのMVは「アオバコムギ」より高い。

奨励品種決定調査材料について、育成地で行った製パン試験成績を表31に示す。ストレート法および中種生地法による製パン試験法とも、いずれの場所

表30　福島県農業試験場本場、会津支場および相馬支場の奨励品種決定調査材料における製粉および品質試験成績

農試名または産地名	品種名または銘柄名	試験年度	原粒 灰分含量（%）	原粒 蛋白含量（%）	原粒 硝子率（%）	製粉歩留（%）	BM率（%）	セモリナ生成率（%）	セモリナ粉砕率（%）	ストレート粉灰分（%）	ミリングスコア	灰分移行率（%）	60%粉 灰分含量（%）	60%粉 蛋白含量（%）	60%粉 アミロース含量（%）	60%粉 セディメンテーション値（mℓ）	60%粉 比表面積（㎠/g）	反射率 R455（%）	反射率 R554（%）	反射率 D455-D554
福島	ゆきちから	1998	1.60	11.0	62	72.0	29.3	63.9	87.1	0.52	80.9	48.1	0.48	10.1	28.6	41.0	2,144	56.3	68.0	0.083
農試	標)アオバコムギ	～	1.56	10.3	58	71.7	26.7	65.1	87.2	0.47	83.1	49.8	0.45	9.1	27.6	34.0	2,133	54.6	67.6	0.093
本場	比)トヨホコムギ	2000	1.55	9.8	37	72.4	31.3	62.5	88.5	0.49	82.8	49.1	0.46	8.5	28.0	37.4	2,062	54.2	68.2	0.099
	比)アブクマワセ		1.40	10.8	15	70.0	49.7	60.9	77.0	0.46	82.2	46.7	0.42	9.4	27.5	32.9	3,599	54.9	68.1	0.093
会津	ゆきちから	1998～	1.61	11.5	70	72.6	28.7	64.7	87.3	0.53	81.4	48.4	0.48	10.3	26.7	41.3	1,954	56.2	68.1	0.084
支場	標)アオバコムギ	2000	1.56	9.3	37	71.7	28.5	65.2	85.8	0.50	81.7	48.4	0.47	8.0	27.7	29.2	2,073	55.3	66.9	0.083
相馬	ゆきちから	1998	1.65	13.4	94	71.7	27.0	65.2	86.6	0.54	79.7	48.1	0.50	11.8	25.9	39.8	2,094	54.8	66.6	0.085
支場	標)アオバコムギ	～	1.66	11.7	80	70.3	21.6	67.0	86.4	0.48	81.5	50.1	0.45	10.4	27.2	33.4	2,319	54.5	66.7	0.088
	比)トヨホコムギ	2000	1.60	10.6	70	71.0	23.0	66.1	87.4	0.52	80.1	48.0	0.48	9.2	27.5	34.8	2,029	53.2	67.2	0.102
	比)アブクマワセ		1.50	11.3	11	70.4	48.4	61.6	77.0	0.50	80.4	46.8	0.46	9.9	26.3	30.4	3,675	53.2	67.2	0.101
ｶﾅﾀﾞ産	1CW	1998~2000	1.46	14.1	89	73.7	25.4	66.7	88.2	0.53	82.5	46.9	0.48	13.3	27.1	60.3	1,814	54.1	66.9	0.092

農試名または産地名	品種名または銘柄名	試験年度	ファリノグラム Ab（%）	ファリノグラム DT（min）	ファリノグラム Stab（min）	ファリノグラム Wk（B.U.）	ファリノグラム VV	エキステンソグラム（135分） A（㎠）	エキステンソグラム（135分） R（B.U.）	エキステンソグラム（135分） E（㎜）	エキステンソグラム（135分） R/E	アミログラム MV（B.U.）	アミログラム BD（B.U.）	ミキソグラム Ab（%）	ミキソグラム D（min）	ミキソグラム A（㎠）
福島	ゆきちから	1998	63.7	3.7	5.1	62	52	68	215	230	1.0	980	314	69	2.9	79
農試	標)アオバコムギ	～	64.8	2.8	3.6	65	48	55	229	168	1.4	831	241	64	1.4	61
本場	比)トヨホコムギ	2000	66.8	2.4	4.4	60	48	49	213	166	1.3	1080	301	－	－	－
	比)アブクマワセ		58.3	1.9	2.3	85	42	69	241	193	1.3	1264	366	－	－	－
会津	ゆきちから	1998～	63.6	4.4	5.4	58	54	87	338	198	1.8	1006	312	68	2.9	80
支場	標)アオバコムギ	2000	65.7	2.1	1.9	93	40	53	268	144	1.9	765	270	65	1.5	55
相馬	ゆきちから	1998	68.4	5.1	6.1	53	58	70	231	217	1.1	879	271	72	2.5	81
支場	標)アオバコムギ	～	67.6	3.6	5.4	73	50	47	190	168	1.1	701	256	68	1.7	65
	比)トヨホコムギ	2000	69.5	3.1	6.1	70	50	48	178	174	1.0	1,021	266	－	－	－
	比)アブクマワセ		59.2	2.4	1.9	97	41	65	204	218	1.0	965	311	－	－	－
ｶﾅﾀﾞ産	1CW	1998~2000	66.0	9.5	16.8	27	82	132	467	217	2.2	732	166	75	3.6	83

注.　1）分析は東北農業研究センター麦育種研究室による。試験年度平均値で示す。
　　2）各特性の記号の説明は表11を参照。

表31　福島県農業試験場本場、会津支場および相馬支場の奨励品種決定調査材料における製パン試験成績

製パン試験法	農試名	品種名	試験年度	吸水性（A）（20）	作業性（B）（20）	パン体積（㎤）	比容積（㎤/g）	パン官能評価試験 パン体積（30）	表皮の焼色（10）	皮質（5）	形の均整（5）	内相の色（5）	すだち（10）	触感（5）	香り（15）	味（15）	合計（C）（100）	官能評価（C*0.6）（60）	総合評価（A+B+C*0.6）（100）
ストレート法	本場	ゆきちから	1999	14.0	17.0	817	5.5	24.5	8.6	3.4	3.8	3.9	7.4	4.0	12.2	12.2	79.9	48.0	79.0
		標)ｱｵﾊﾞｺﾑｷﾞ		12.0	13.0	601	4.1	18.0	6.5	2.0	2.3	2.4	4.2	2.2	9.2	7.5	54.3	32.6	57.6
	会津支場	ゆきちから	1998～	14.7	15.7	742	4.9	22.3	7.0	3.4	3.6	3.8	6.5	3.5	11.4	10.9	72.4	43.4	73.8
		標)ｱｵﾊﾞｺﾑｷﾞ	2000	10.7	12.0	504	3.4	15.1	4.9	1.9	1.9	2.1	3.7	1.9	8.6	6.7	46.7	28.0	50.7
	相馬支場	ゆきちから	1998～	17.3	18.0	795	5.3	23.9	8.6	3.7	4.0	3.7	6.9	3.8	12.1	11.8	78.4	47.0	82.3
		標)ｱｵﾊﾞｺﾑｷﾞ	1999	12.5	13.5	530	3.6	15.9	6.1	2.0	1.8	2.0	3.8	2.0	8.4	6.9	48.6	29.2	55.2
中種生地法	福島農試本場	ゆきちから	1998～	15.3	18.3	893	6.0	26.4	8.3	4.3	4.5	4.6	8.6	4.7	13.0	13.0	87.4	52.4	86.1
		標)ｱｵﾊﾞｺﾑｷﾞ	2000	12.7	13.0	763	5.1	22.9	6.6	3.8	3.5	3.7	6.9	3.6	11.2	11.0	73.2	43.9	69.6
	会津支場	ゆきちから	1998～	15.0	17.0	854	5.7	25.6	7.7	4.4	4.5	4.6	8.4	4.7	12.8	13.2	85.7	51.4	83.4
		標)ｱｵﾊﾞｺﾑｷﾞ	2000	12.7	11.3	628	4.2	18.9	5.7	2.6	2.5	2.6	4.7	2.5	9.0	8.5	56.8	34.1	58.1
	相馬支場	ゆきちから	1998～	16.7	16.3	885	5.8	26.6	8.2	4.6	4.4	4.7	8.6	4.7	13.3	13.7	88.7	53.2	86.2
		標)ｱｵﾊﾞｺﾑｷﾞ	1999	14.7	12.0	735	4.9	22.1	7.3	3.1	3.2	3.5	6.0	3.3	11.0	10.5	70.0	42.0	68.6

注.　1）製パン試験は東北農業研究センター試麦育種研究室による。ビューラーテストミルで製粉した60%粉を用い、各製パン試験法とも粉300gを用いた。
　　2）官能評価の配点は日本イースト工業会パン用酵母試験法に準じたが、パン体積の評点はパン体積×0.03により算出した。官能評価のパネラー数はストレート法が８名、中種生地法は７～12名である。

産でも「アオバコムギ」より吸水性、作業性が優れ、パン体積と比容積が大きく、パン官能評価のいずれの項目も高く、総合評価点もかなり高いため、製パン適性が明らかに「アオバコムギ」より優れる。

中華めん試験成績を表32に示す。材料として福島本場産と会津支場産の60%粉を均等に混合したものを用いた。生めんとゆでめんの色相および生めんのホシの程度は、「アオバコムギ」や市販パン用強力粉より優れる。ゆでめんの食感は、ゆで直後では「アオバコムギ」、市販強力粉より優れるが、7分後では市販強力粉よりやや劣り、「アオバコムギ」並である。食味は市販パン用強力粉より優れ、「アオバコムギ」並である。生めん・ゆでめんの色調においては、中華めんで重要なb*は、製造直後、製造1週間後ともに、生めんでは「アオバコムギ」、市販強力粉より高いが、ゆでめんでは「アオバコムギ」よりやや低く、市販パン用強力粉より高い。L*は生めんでは「アオバコムギ」より低いが、ゆでめんでは高い。

（2）実需者（東北製粉協同組合）による品質試験

育成地で製粉した福島農試材料について、実需者で行ったストレート法製パン試験成績を表33に示す。福島農試3場所産混合、会津支場産ともに、

表32　福島県農業試験場の奨励品種決定調査材料における中華めん試験成績

品種名または材料名	官能評価試験															合計(100)
	色相			ホシの程度	ゆでめん食感									ゆでめん食味		
	生めん直後	ゆでめん			直後			1週間後			7分後					
		直後	1週間後	生めん1週間後	かたさ	粘弾性	なめらかさ	かたさ	粘弾性	なめらかさ	かたさ	粘弾性	なめらかさ	直後	1週間後	
ゆきちから	10.0	4.9	14.5	16.7	4.9	1.6	1.7	5.0	1.6	1.7	7.9	2.7	2.9	4.2	4.3	84.7
比)アオバコムギ	8.6	4.7	14.0	16.0	4.5	1.6	1.7	4.4	1.6	1.7	7.9	2.6	2.7	4.0	4.2	80.1
標)市販強力粉	7.0	3.5	10.5	14.0	4.2	1.4	1.4	4.2	1.4	1.4	8.4	2.8	2.8	3.5	3.5	70.0

品種名または材料名	生めん色調						ゆでめん色調					
	直後			1週間後			直後			1週間後		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
ゆきちから	73.3	−2.20	25.6	70.7	−1.51	26.0	74.8	−2.05	24.8	72.9	−1.55	25.1
比)アオバコムギ	76.8	−1.35	22.6	77.2	−0.76	24.6	72.5	−1.48	26.6	71.2	−1.06	26.9
標)市販強力粉	72.8	−0.92	22.6	70.4	0.66	24.5	70.4	−0.67	22.2	67.4	0.28	22.5

注. 1）「ゆきちから」と「アオバコムギ」はそれぞれ2000年度奨励品種決定調査試験の福島農試本場及び会津支場の60%粉を均等に混合したものを用いた。
2）製めん試験及び官能試験は食品総合研究所の方法に準じ、東北農業研究センター麦育種研究室で行った。パネラー数は7名である。
3）1週間後はポリエチレン袋に入れて1週間冷蔵庫（約4℃）で保存した生めんについて、ゆで直後に評価・調査した。
7分後は製めん直後の生めんを、ゆで後7分間熱湯につけておいたものを評価した。
4）L*、a*、b*は色彩色差計の測定値で、それぞれ明るさ、赤味、黄味の程度を表し、値が高いほどこれらの程度が高いことを示す。

表33　実需者（東北製粉協同組合）による福島県農業試験場奨励品種決定調査材料のストレート法製パン試験成績

農試名	品種名または材料名	試験年度	加水量	外観				内相					合計(100)
				焼色(10)	形・均整(5)	皮質(5)	体積(10)	すだち(10)	色相(10)	触感(15)	香り(10)	味(25)	
福島農試	ゆきちから	1999	63.0	8.1	3.8	4.1	8.1	7.7	7.7	12.0	7.3	20.3	79.1
3場所混合*	アオバコムギ		63.0	7.3	3.4	3.8	6.3	6.4	6.7	10.5	6.0	18.6	69.0
	標)市販強力粉		67.0	8.0	4.0	4.0	8.0	8.0	8.0	12.0	8.0	20.0	80.0
会津支場	ゆきちから	2000	65.0	7.5	3.8	4.0	5.7	7.0	7.2	10.7	7.2	17.8	70.9
	ゆきちから(多肥)		65.0	7.7	4.0	4.2	7.3	7.7	8.0	11.5	7.8	17.3	75.5
	アオバコムギ		63.0	7.3	2.3	2.7	6.0	4.7	6.0	6.1	5.7	12.7	53.5
	標)市販強力粉		67.0	8.0	4.0	4.0	8.0	8.0	8.0	12.0	8.0	20.0	80.0

注. 1）製パン試験法は製粉協会の方法に従ったストレート法で、市販強力粉を標準にして評価した。
2）製粉は東北農業研究センター麦育種研究室で行った。
3）＊本場、会津支場および相馬支場のそれぞれの60%粉を均等に混合した。

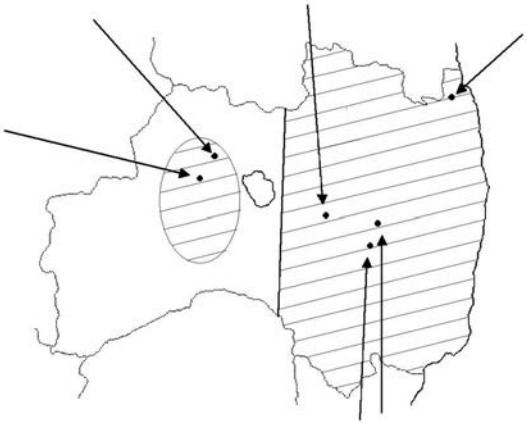


図３　福島県の各農業試験場および現地における「ゆきちから」の子実重および対標準比

注．１）年度の右の数字は子実重（kg/a）で括弧内の数字は標準品種「アオバコムギ」に対する比率（%）。
２）図の斜線部分は、特に普及が見込まれる地帯。

「アオバコムギ」に比べ外観および内相の各項目ともに評点が高い。また、会津支場では多肥により製パン性が向上した。市販強力粉と比べると、福島農試３場所産混合では同程度の製パン性を示したが、会津支場産ではやや劣る。

３）福島県における採用理由

福島県は、会津地域向けの耐雪性小麦品種として「しゅんよう」が奨励品種に採用されているが、「しゅんよう」の加工適性がやや劣るため「アオバコムギ」が作付されており、その栽培面積は水田麦作の推進とともに急激に増加している。また、「アオバコムギ」は、秋播小麦では唯一の強力指定銘柄品種（2002年度当時）であり、実需者からのパン用粉としての需要が高い。しかし、「アオバコムギ」は耐寒雪性が不十分で耐倒伏性が弱いため、収量・品質ともに低い。このため「アオバコムギ」に取って替わる耐寒雪性の高い、良質パン用小麦品種が求められている。

「ゆきちから」は耐倒伏性が強く、かつ外観品質・パン加工適性ともに「アオバコムギ」に優る品種である。また、耐寒雪性は強く、根雪期間100日程度となっても安定した品質・収量が得られる。さらに中華めん加工適性も高く、栽培法の改善によって収量性およびパン・中華めん加工適性ともに高められる品種である。

この「ゆきちから」を奨励品種に採用することで、福島県のパン用小麦の安定・高品質化および会津を中心とした中華めんの付加価値向上が図られ、これらの安定的な原料供給に寄与し、県内加工食品業界の活性化が図られる。また、これにより食糧自給率の向上に寄与できる。

普及見込み地帯は福島県会津地方の平坦部および中通り、浜通り地方である（図３）。普及見込み面積は155haである。

３．「ゆきちから」の製パン適性の特徴

岩手、福島各県農試産の年度別材料を用いて、製パン適性上重要な60%粉蛋白含量およびパンの総合評価点（製パン法は中種生地法）について、標準品種と「ゆきちから」を比較するため、図４に示した。60%粉蛋白含量は、16点のうち２点を除く材料で「ゆきちから」は標準品種より高い。また、パンの総合評価点は、全ての材料で標準品種より高い。以

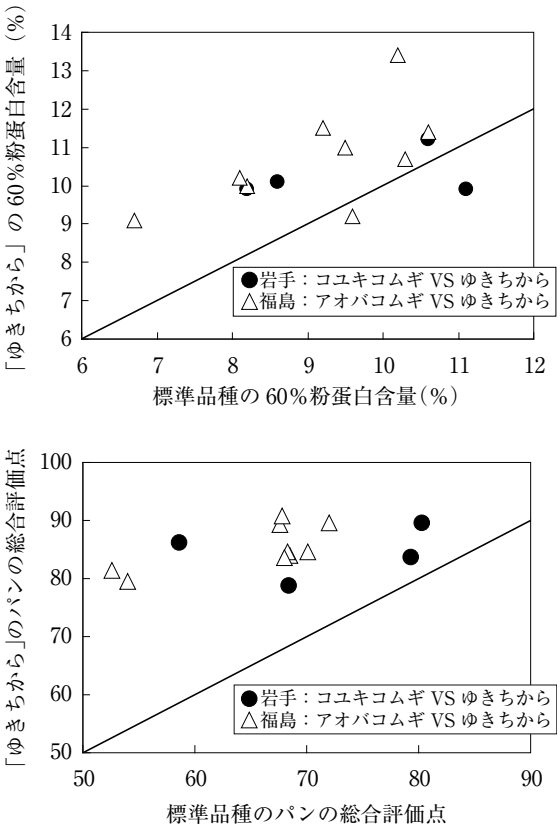


図4　岩手、福島各場所産材料の60%粉蛋白含量およびパンの総合評価点における標準品種と「ゆきちから」との関係

注. 1998～2000年度材料。各特性とも育成地における試験結果で、製パン法は中種生地法である。図中の直線は各特性が標準品種と「ゆきちから」が同じであることを示す。

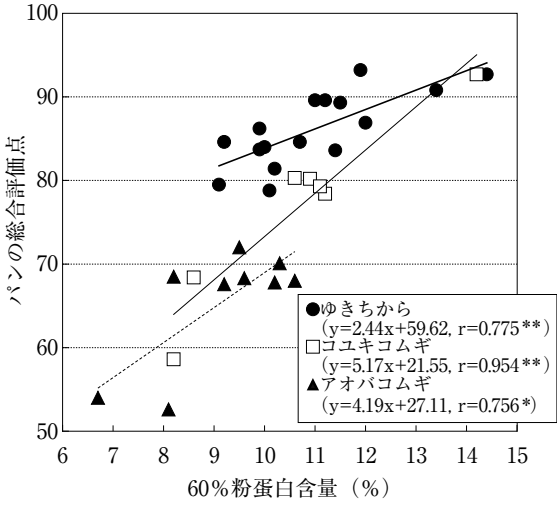


図5　60%粉蛋白含量と中種生地法のパンの総合評価点との関係

注.「ゆきちから」は育成地、岩手および福島、「コユキコムギ」は育成地と岩手、「アオバコムギ」は福島で、1998～2000年度材料。凡例中の括弧の中は回帰式と相関係数で、*、**はそれぞれ５%、１%水準で有意。

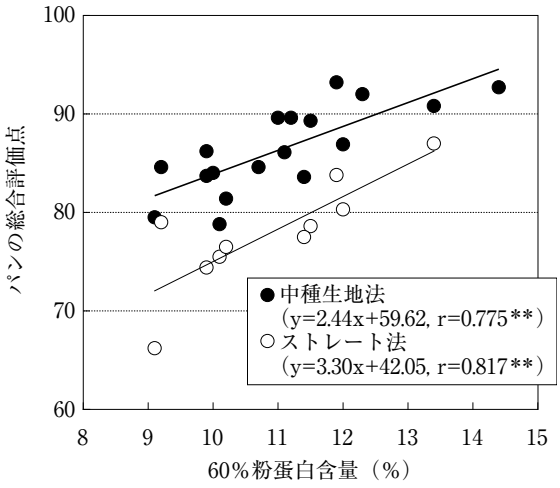


図6　育成地、岩手および福島各県農試の「ゆきちから」における製パン法の違いによる60%粉蛋白含量とパンの総合評価点との関係の差異

注. 1998～2000年度材料を用いた育成地における試験成績で、ストレート法で用いた材料は中種生地法でも用いた。凡例中の括弧の中は回帰式と相関係数で、**は１%水準で有意。

上の結果、「ゆきちから」は標準品種の「コユキコムギ」および「アオバコムギ」に比べて、60%粉蛋白含量およびパンの総合評価点が安定して高いと言える。

次に、60%粉蛋白含量と中種生地法によるパンの総合評価点の間の関係を図５に示した。「ゆきちから」、「コユキコムギ」および「アオバコムギ」の３品種ともに、60%粉蛋白含量とパンの総合評価点との間に正の有意な相関が認められた。また、品種間で回帰直線の差が見られ、「ゆきちから」は「コユキコムギ」および「アオバコムギ」に比べ、回帰直線の回帰係数が小さく勾配が緩やかなため、60%粉蛋白含量の変動によるパンの総合評価点は変動が小さく、かつ高位に安定していることが判明した。

「ゆきちから」について、製パン法の違いによる60%粉蛋白含量とパンの総合評価点との関係の差異を図６に示した。同じ蛋白含量の場合、「ゆきちから」は中種生地法の方がストレート法より総合評価点が高い傾向がみられ、例えば蛋白含量が11%の場合、総合評価点は約８点高かった。また、回帰直線の勾配は中種生地法の方がストレート法より小さく、蛋白含量の変動による総合評価点の変動が小さかった。以上の結果、中種生地法は「ゆきちから」に適した製パン法と言える。

Ⅴ　その他の配布先における試験成績

「ゆきちから」は上記の採用県である岩手、福島両県以外に、東北、北陸、関東・東山、東海、近畿、中国および四国地域までの24の県農業試験場における奨励品種決定調査で地域適応性が検討された（表34）。青森、宮城、秋田、山形の東北各県では、標準品種に比べて子実重は少ない場所が多かったが、早生で品質概評が良好な場所が多く、有望度は有望または再検討であった。一方、東北以外の地域の場所では、標準品種より晩生で品質概評が劣る場所が多く、配付１年で打ち切られる場合が多かった。

Ⅵ　栽培適地と栽培上の注意

栽培適地は根雪期間110日以下の寒冷地平坦地である。

栽培上の注意として、①穂発芽性が中程度であるので、収穫期の雨濡れにより穂発芽が発生しないように、成熟期に達したら速やかに収穫する。②赤かび病にやや弱いので、防除に努める。③転換畑では低蛋白質になりやすいので、十分な基肥と融雪期追肥、減数分裂期追肥、出穂期追肥を組み合わせた適切な施肥管理を行う必要がある。

Ⅶ　命名の由来

根雪に負けない耐寒雪性をもち、また小麦粉とパン内相色が雪のように白いことに因む。

Ⅷ　期待される効果と今後の課題

「ゆきちから」は早生で耐寒雪性と耐病性がともに強く、中種生地法による製パン適性が優れ、中華めん適性もあるので、今後の東北地域のパン用小麦生産および用途拡大への寄与が期待される。

「ゆきちから」の製パン特性に関する研究は、岩手県工業技術センターにおいて、岩手県産や東北地域の材料を用いて精力的に進められてきた。その中で、①製パン特性の品種比較試験では、市販パン用粉のパンを“A”として食パンを評価した場合、「ゆきちから」（岩手県産）は“B”、「ナンブコムギ」（岩手県産）は“C”であった。また、食パンを保存したところ、「ゆきちから」の食パンは市販パン用粉の食パンと同程度のやわらかさが保持できた（関村・遠山　2003）。②ワンローフパンでは、岩手県産と宮城県産の「ゆきちから」および北海道産の「春よ恋」の体積がパン用粉パン並に大きかった（関村・島津　2004）。③岩手県産「ゆきちから」は、リッチ配合のテーブルロールの場合、外麦粉と同等に良好な評価であり、更にフランスパンのようなリーンな配合のパンでも良好な製パン性を示した（菊地ら　2005）。④東北農業研究センターで栽培され、岩手県内製粉業者が実用規模で製粉した材料を用いて、岩手県内のパン製造業者６社に協力を得て製造したパン類32点の試食会の結果、パン用としてはミキシング耐性やべたつきなどにやや問題はあるものの、十分にラインに流せるだけの品質を保持しており、パンの品質が優れていることが実証された（遠山ら　2005）。以上の研究報告から、「ゆきちから」は様々なパンの試験で市販パン用粉に近い良好な製パン適性を示したことから、幅広いパンの製造に使用できるものと考えられる。また、「ゆきちから」は工場製パンのメインの製パン法である中種生地法で製パン適性が優れるが、上記の④のパンの試食会報告からも、工場のラインに流せるだけの品質を保持していることが裏付けされた。

また、「ゆきちから」の中華めん試験も岩手県工業技術センターで実施され、①国内産のパン用小麦品種を比較したところ、中華めん用粉に次いで、めんの色が黄色い北海道産の「キタノカオリ」と灰分を少なく調整した福島産「ゆきちから」の評価が良かった（関村・島津　2004）。②東北農業研究センターで栽培され、岩手県内製粉業者が実用規模で製粉した材料を用いて、めん類17点を岩手県内のめん類製造業者７社の協力を得て製造し、試食会を行った結果、特に生中華めんへの適合性が高いことが実証された。生中華めんについては全ての項目で対照よりも良い評価であり、特に色については外国産小麦粉を対照とした場合にも良い評価であり、中華めん用として適性があることが示された（遠山ら　2005）。以上の報告から、「ゆきちから」は国内産小麦の中では、中華めん適性が優れた品種であると考えらる。特に色が良好である点については、これらの報告と本報告の育成地および福島農試産材料の結果と一致した。

「ゆきちから」は中種生地法による製パン法では優れた製パン適性を示すが、ストレート法の製パン適性は十分と言えなく中種生地法より製パン適性が劣る（図６）。これは、製パン適性と関係が強いHMW-GSの「５+10」を持たないため、ファリ

表34　採用県以外の県農業試験場における奨励品種決定調査成績

農試名	品種名	試験年度	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	倒伏の多少	赤かび病	うどんこ病	赤さび病	雪腐病	寒雪害	子実重	同左標準比率	リットル重	千粒重	品質	
			(月日)	(月日)	(cm)	(cm)	(本/㎡)							(kg/a)	(%)	(g)	(g)	概評	等級
青森県農業	ゆきちから	1998	5.18	7.04	90	8.7	464	0.8	0.0	0.0	0.0	0.3	−	45.9	111	780	37.9	2.7	1下
試験場	標)キタカミコムギ	～2001	5.25	7.10	93	9.5	297	1.0	0.5	0.8	0.0	2.3	−	41.9	100	767	42.2	4.0	1下
青森県畑作	ゆきちから	1998	5.20	7.11	89	8.5	593	0.3	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	50.7	91	792	38.3	2.5	1中
園芸試験場	標)キタカミコムギ	～2001	5.26	7.17	96	9.1	455	1.0	0.8	1.3	0.3	0.5	0.3	56.2	100	773	39.8	3.8	2上-1下
宮城県農業	ゆきちから	1998	5.08	6.20	93	9.6	642	1.5	0.0	0.0	0.0	−	−	52.4	97	775	34.3	3.0	−
センター	標)シラネコムギ	～1999	5.08	6.19	87	8.6	570	0.5	0.0	0.0	0.5	−	−	54.1	100	786	34.5	4.0	1.5
宮城県古川	ゆきちから	2000	5.08	6.24	78	8.3	287	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	31.8	86	781	37.5	1.5	−
農業試験場	標)シラネコムギ	～2001	5.06	6.24	73	7.3	269	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.9	100	784	37.6	1.5	−
秋田県農業	ゆきちから	1998	5.13	6.28	90	8.2	422	0.0	0.3	0.0	0.5	1.7	2.8	37.9	84	807	39.6	4.3	2.3
試験場	標)あきたっこ	～2001	5.17	6.29	94	8.8	379	0.0	0.3	0.0	0.3	2.7	2.3	45.2	100	802	44.7	2.5	1
山形県立農	ゆきちから	1998,	5.10	6.21	91	8.2	578	0.7	0.3	0.0	0.0	0.3	−	44.2	94	806	38.5	4.0	2.0
業試験場	標)ナンブコムギ	2000～2001	5.10	6.22	97	9.7	501	1.7	1.3	0.0	0.0	0.3	−	46.9	100	800	43.3	4.0	1.7
新潟県農業	ゆきちから	1998	5.10	6.21	88	8.6	403	2.0	−	−	0.0	−	−	35.3	99	740	35.2	3.5	−
総合研究所	標)コユキコムギ		5.13	6.22	82	7.4	357	0.0	−	−	0.0	−	−	35.7	100	777	39.8	3.0	−
石川県農業	ゆきちから	1998	4.26	6.15	105	10.5	524	1.0	0.0	0.0	0.0	−	−	54.3	105	791	41.7	4.0	−
総合試験場	標)ナンブコムギ		4.26	6.12	102	9.8	458	3.0	0.0	0.0	0.0	−	−	51.8	100	800	42.7	3.0	−
福井県農業	ゆきちから	1998	4.26	6.15	100	9.5	486	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	141	829	36.6	4.0	−
試験場	標)ナンブコムギ		4.25	6.13	111	10.7	344	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.6	100	825	43.0	3.0	−
群馬県農業	ゆきちから	1998	4.26	6.11	93	10.1	438	0.0	−	1.0	−	−	−	39.0	81	790	30.7	4.0	−
試験場	標)農林61号		4.21	6.10	94	9.0	483	0.0	−	2.0	−	−	−	48.2	100	812	37.3	1.0	−
茨城県農業総合	ゆきちから	1998	4.29	6.14	89	8.9	455	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	38.1	88	826	33.3	6.0	2
研究センター	標)農林61号		4.29	6.15	90	8.1	582	2.5	1.5	0.5	0.5	−	−	43.2	100	803	34.2	5.0	1
埼玉県農業	ゆきちから	1998	4.25	6.12	87	9.9	513	0.0	0.0	0.0	0.3	−	−	35.3	79	793	33.6	6.3	1
試験場	標)農林61号		4.18	6.09	94	8.3	573	0.0	0.0	0.6	0.5	−	−	44.4	100	787	38.5	4.0	1
長野県農事	ゆきちから	1998,	5.10	6.24	81	9.7	446	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	58.2	100	812	40.0	4.5	−
試験場	標)シラネコムギ	2000	5.09	6.24	80	8.7	498	0.3	0.0	0.0	0.0	−	−	58.4	100	822	40.2	4.0	−
山梨県農業	ゆきちから	2000	4.25	6.07	78	9.4	264	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	35.7	94	803	42.1	−	規格外
総合試験場	標)農林26号		4.20	6.05	80	7.3	279	0.0	0.0	0.8	0.0	−	−	37.8	100	816	41.9	−	2中
岐阜県農業	ゆきちから	1998	4.25	6.09	96	9.5	319	0.0	0.0	0.0	3.5	−	−	41.9	85	837	38.2	4.0	1
技術研究所	標)農林61号		4.16	6.03	103	8.5	405	5.0	0.0	0.0	0.0	−	−	49.2	100	808	41.4	3.0	1
岐阜県高冷地	ゆきちから	1998	4.08	6.24	76	8.5	322	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	28.7	87	774	38.2	5.0	規格外
農業試験場	標)キタカミコムギ		5.13	6.28	88	8.7	289	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	−	33.1	100	750	37.3	3.0	1
三重県農業	ゆきちから	1998～	4.24	6.09	97	9.4	630	0.4	−	−	0.0	−	−	45.0	90	782	34.8	6.5	−
技術センター	標)農林61号	1999	4.18	6.06	96	8.2	660	1.9	−	−	0.0	−	−	50.2	100	775	38.3	3.8	−
奈良県農試	ゆきちから	1998	4.30	6.16	100	8.9	632	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	42.8	138	779	36.5	5.5	2～外
高原分場	標)きぬいろは		4.14	6.07	76	8.0	696	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	31.0	100	762	38.1	4.5	2
鳥取県農業	ゆきちから	1999	5.04	6.16	88	9.5	760	0.5	0.0	0.0	1.0	−	−	38.9	83	744	43.9	3.0	規格外
試験場	標)農林61号		4.30	6.15	88	8.9	658	2.0	0.0	0.0	0.0	−	−	46.8	100	766	42.1	2.0	2
島根県中山間	ゆきちから	1998	5.04	6.19	104	9.2	543	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	−	45.3	92	−	39.8	3.3	−
研究センター	標)コユキコムギ		5.10	6.21	98	7.8	432	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	49.1	100	−	43.2	3.5	−
広島県農業	ゆきちから	1998～	4.28	6.15	92	9.5	467	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	39.5	82	806	36.1	−	2.5
技術センター	標)シラサギコムギ	1999	4.22	6.11	95	7.7	456	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	−	48.0	100	791	39.6	−	2.0
山口県農業	ゆきちから	1998～1999,	4.28	6.14	100	9.7	538	0.6	0.0	0.0	0.7	−	−	45.5	103	861	36.5	4.9	−
試験場	標)シラサギコムギ、	2001	4.22	6.09	91	8.1	396	1.6	0.0	0.0	0.3	−	−	44.3	100	841	36.9	3.6	−
徳佐分場	チクゴイズミ																		
山口県農業	ゆきちから	2001	4.15	6.06	100	9.7	596	2.0	−	−	1.5	−	−	52.3	83	800	36.3	3.5	1-2等
試験場	標)チクゴイズミ		4.06	6.01	92	7.6	635	1.5	−	−	−	−	−	63.2	100	804	40.5	2.5	1等
香川県農業	ゆきちから	1998	4.22	6.05	96	11.0	506	3.0	−	−	2.0	−	−	68.3	114	772	37.0	3.0	−
試験場	標)チクゴイズミ		4.04	6.02	87	8.0	560	0.0	−	−	−	−	−	59.8	100	793	45.7	2.0	−

注.　1）試験年度平均値で示す。農試名は試験実施時点での名称を記載した。
　　2）倒伏程度、病害程度および諸障害程度は0（無）～5（甚）、品質概評は1（上の上）～6（下）。

ノグラムおよびエキステンソグラムにおける生地物性がパン用として十分でないことが一つの要因を考えられる。一方、東北農業研究センター育成の「ハルイブキ」はHMW-GS「5+10」を持ち、ファリノグラムのVVが高く、エキステンソグラムの生地の伸張抵抗が大きく、生地の伸長度が小さい（吉川ら　2004）。このため、今後はHMW-GS「5+10」をパン用小麦に導入することが必要である。HMW-GS「5+10」の選抜は従来SDS-ポリアクリルアミド電気泳動法による泳動バンドの解析により行われてきたが、最近、石川ら（2005）によりHMW-GS「5+10」を判別するPCR用DNAマーカーが開発されている。

「ゆきちから」はHMW-GS「5+10」を持たないのに中種生地法の製パン適性が安定して優れる要因として、①60%粉蛋白含量が標準品種の「コユキコムギ」や「アオバコムギ」より高いため、60%粉蛋白含量10%以上が確保しやすく、10%以上であれば中種生地法によるパンの総合評価点は80点以上の高い水準を維持できる（図4、図5）、②「コユキコムギ」に比べて、60%粉蛋白含量の変動によるパン総合評価点の変動が小さく、かつ高位に安定している（図5）ことの2点が主に考えられる。

以上のことから、今後、東北農業研究センターにおいて、製パン適性の飛躍的な遺伝的改良を図るためには、「ゆきちから」のような蛋白特性および製パン特性を維持しつつ、HMW-GS「5+10」の導入を図ることが重要であると考えられる。

「ゆきちから」の栽培特性については、東北地域で栽培されているパン用品種である「コユキコムギ」、「アオバコムギ」および「ハルイブキ」と同様に、穂発芽抵抗性および赤かび病抵抗性が不十分である。このため、外観品質を含めた品質安定化という面からはこれらの抵抗性を導入することも重要であると考えられる。

以上の育種上問題点を解決するため、1995年度以降、育成地のパン用小麦育種では、HMW-GS「5+10」および穂発芽抵抗性導入を主要な育種目標に掲げて育成を進めてきた。その成果として、2002年度から次世代を担う「東北218号」、「東北221号」などのHMW-GS「5+10」を持ち穂発芽抵抗性のパン用有望系統を育成した。

引 用 文 献

1）American Association of Cereal Chemists. 1999. Approved methods of the AACC.Method 54-40A. Mixograph Method. St Paul.USA.

2）Bietz, J. and Wall, J. S. 1972. Wheat gluten subunits: molecular weights determined by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. Cereal Chem. 49：416-430.

3）Blackman, J.A. and Payne, P.I. 1987. Grain quality. (Lupton, F.G.H. ed. Wheat breeding-Its scientific basis.). Chapman and Hall. p.455-485.

4）石川吾郎, 齊藤美香, 伊藤裕之, 平　将人, 前島秀和, 谷口義則, 中村俊樹. 2005. コムギ高分子量グルテニンサブユニット「5+10」を判別するPCR用DNAマーカーの開発およびその東北地方向けパン用品種への適用. 東北農研研報　103：27-37.

5）Juliano, B.O.A. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today. 16:334-360.

6）菊池淑子, 島津裕子, 遠山　良. 2005. ゆきちからの製パン特性. 岩手技報　12.

7）長尾精一. 1984. 小麦とその加工. 建帛社. 東京. p.223.

8）日本イースト工業会. 1990. パン用酵母試験法. イースト技報　60：85-102.

9）農林水産技術情報協会. 1998. 種苗特性分類調査（小麦）の審査基準（案）.（平成9年度種苗特性分類調査報告書　小麦）. p.4-45.

10）農林水産技術会議事務局. 1968. 小麦品質検定方法−小麦育種試験における−.研究成果　35：1-70.

11）農林水産省食品総合研究所. 1985. 小麦のめん適性評価法. 中華めん適性評価法.（小麦の品質評価法－官能検査によるめん適性－）. p.9-12.

12）Payne, P.I.; Nightngale, M.A.; Krattiger, A.F. and Holt, L.M. 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. J. Sci. Food Agric. 40：51-65.

13）関村照吉, 遠山　良. 2003.‘ゆきちから’および‘ナンブコムギ’の製パン性評価. 岩手技報　10：85-90.

14）関村照吉, 島津裕子. 2004.‘ゆきちから’と他の国内産小麦の製パン及び製めん適性比較. 岩手技報　11：19-22.

15）遠山　良, 島津裕子, 菊池淑子, 谷口義則, 及川一也. 2005. 第１回ゆきちから研究会報告－ゆきちからを使用した麺類, パン類の試食会結果報告－. 岩手技報　12.

16）吉川　亮, 中村和弘, 伊藤美環子, 星野次汪, 伊藤誠治, 八田浩一, 田野崎眞吾, 谷口義則, 佐藤暁子, 中村 洋, 高野博幸. 2004. パン用小麦新品種「ハルイブキ」の育成. 東北農研研報　102：1-22.

付表１　「ゆきちから」の配付先における概評一覧

農試名	試験年度				標準品種
	1998	1999	2000	2001	
青森県農業試験場	△105	○135	○100	○102	キタカミコムギ
青森県畑作園芸試験場	○101	○ 97	○ 89	△ 69	キタカミコムギ、ネバリゴシ
岩手県農業研究センター	△ 93	△ 82	○ 99	◎ 83	コユキコムギ
岩手県農研県北農業研究所	△118	△ 74	○ 87	◎ 87	コユキコムギ
宮城県農業センター	△100	△ 93	－	－	シラネコムギ
宮城県古川農業試験場	－	－	△ 93	△ 79	シラネコムギ
秋田県農業試験場	△ 82	△ 82	○ 84	△ 87	あきたっこ
山形県立農業試験場	×112	－	△ 73	△ 97	ナンブコムギ
福島県農業試験場（条播）	△ 54	○105	○ 90	◎ 73	アオバコムギ
〃　（ドリル播）	－	－	○105	◎ 72	アオバコムギ
福島農試会津支場（条播）	△ 75	○ 93	○ 99	◎109	アオバコムギ
〃　（ドリル播）	－	－	◎102	◎ 97	アオバコムギ
福島農試相馬支場	△142	△ 87	○121	◎125	アオバコムギ
新潟県農業総合研究所	× 99	－	－	－	コユキコムギ
石川県農業総合試験場	△105	－	－	－	ナンブコムギ
福井県農業試験場	×141	－	－	－	ナンブコムギ
群馬県農業試験場	× 81	－	－	－	農林61号
茨城県農業総合研究センター	× 88	－	－	－	農林61号
埼玉県農業試験場	× 79	－	－	－	農林61号
長野県農事試験場	× 96	－	△103	－	シラネコムギ
山梨県農業総合試験場	－	－	× 94	－	農林26号
岐阜農業技術研究所	× 85	－	－	－	農林61号
岐阜県高冷地農業試験場	× 87	－	－	－	キタカミコムギ
三重県農業技術センター	△×102	△× 78	－	－	農林61号
奈良県農業試験場高原分場	×138	－	－	－	きぬいろは
鳥取県農業試験場	－	× 83	－	－	農林61号
島根県中山間研究センター	△ 92	－	－	－	コユキコムギ
広島県農業技術センター	× 79	× 85	－	－	シラサギコムギ
山口県農業試験場徳佐分場	△ 95	×111	－	△103	シラサギコムギ、チクゴイズミ
山口県農業試験場	－	－	－	△ 83	チクゴイズミ
香川県農業試験場	×114	－	－	－	チクゴイズミ

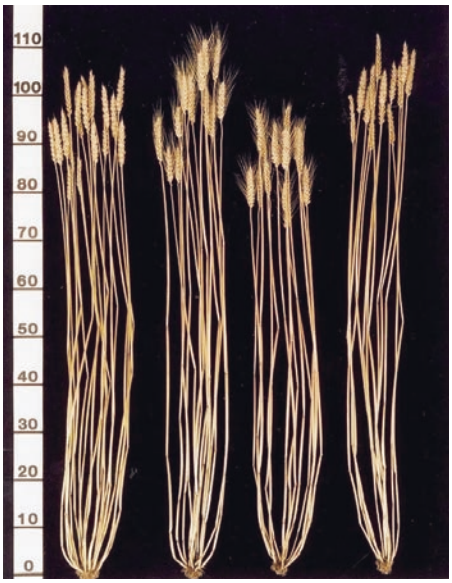
注.　１）農試名は試験実施時点での名称を記載した。農試名の括弧の中は栽培法を表す。
　　２）◎：極有望、○：有望、△：再検討、×：打ち切り、数字は標準品種に対する子実重指数（%）。

付表２ 育成従事者

年度	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
世代 / 氏名	交配	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}
吉川　亮													
中村　和弘													
伊藤美環子													
伊藤　裕之													
中村　洋													
星野　次汪												○	○
田野崎眞吾	○												○
谷口　義則						○							○
佐藤　暁子													
伊藤　誠治													
八田　浩一													
後藤　虎男	○								○				
藤原　秀雄	○				○								
上田　邦彦	○											○	
北原　操一									○			○	
中島　秀治													

年度	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
世代 / 氏名	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}	F_{17}	F_{18}	F_{19}	F_{20}	F_{21}	F_{22}	F_{23}	F_{24}	F_{25}	F_{26}
吉川　亮							○							○
中村　和弘								○						○
伊藤美環子												○		○
伊藤　裕之														○
中村　洋										○	○			
星野　次汪	○						○							
田野崎眞吾	○		○											
谷口　義則	○		○											
佐藤　暁子			○	○										
伊藤　誠治		○							○					
八田　浩一						○						○		
後藤　虎男														
藤原　秀雄														
上田　邦彦														
北原　操一														
中島　秀治	○	○												

草　姿



ゆきちから　キタカミコムギ（比較）　コユキコムギ（標準）　アオバコムギ（比較）

穂および子実

ゆきちから　キタカミコムギ（比較）　コユキコムギ（標準）　アオバコムギ（比較）

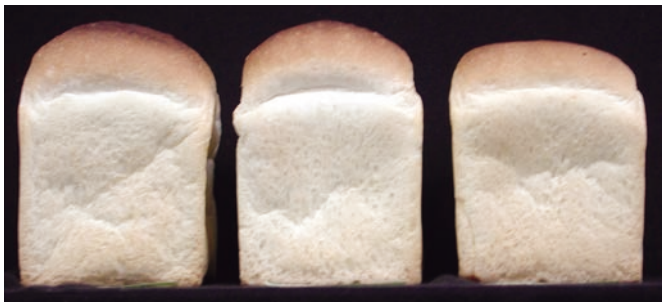
写真１　「ゆきちから」の草姿、穂および子実

ゆきちから　コユキコムギ（標準）　キタカミコムギ（比較）

写真２　「ゆきちから」の立毛（登熟中期）

注．東北農業研究センター生産力検定試験ドリル播栽培、2002年６月20日。

東北農業研究センター産

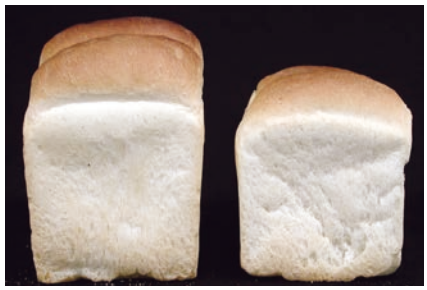


1ＣＷ（参考）　　ゆきちから　　コユキコムギ（標準）

岩手県農業研究センター産

ゆきちから　　コユキコムギ（標準）

福島県農業試験場本場産



ゆきちから　　アオバコムギ（標準）

写真３　中種生地法による「ゆきちから」の製パン適性

注．2001年産材料で、「1CW」はカナダ産。製パン試験は東北農研センター麦育種研究室で実施。

市販強力粉　　ゆきちから（東北農研産　40%粉）　　ゆきちから（東北農研産　60%粉）

ハルイブキ（東北農研産　60%粉）　　ゆきちから（福島会津支場産　60%粉）　　アオバコムギ（福島会津支場産　60%粉）

写真４　「ゆきちから」の中華めん適性（生めん、製造直後）

「ゆきちから」は他の品種・材料に比べて、かん水による黄色の発色が良好である。

注．市販強力粉以外の材料は2001年産材料で、製めん試験は東北農業研究センター麦育種研究室で実施。40%粉の調整は60%粉と同様に行い、小麦粉品質は40%粉の方が60%粉より良い。

もち性小麦品種「はつもち」および「もち乙女」の育成とその特性の遺伝的改良

吉川　亮[*1]・中村　和弘[*2]・伊藤　誠治[*4]・八田　浩一[*5]
中村　俊樹[*2]・山守　誠[*2]・中村　洋[*6]・伊藤美環子[*1]
星野　次汪[*3]

抄　録：もち性小麦品種「はつもち」および「もち乙女」は、1993年11月に東北農業試験場（現・東北農業研究センター）において、もち性を育種目標に、「関東107号」を母親とし、「白火」を父親として人工交配を行い、以後、半数体育種法により固定・選抜を図り、育成したものである。育成した両品種は、世界で初めて育成したもち性小麦品種である。2000年10月に両品種とも品種登録された。

2品種とも、小麦粉のアミロース含量はほぼ0％で、完全なもち性を示す。うるち性品種「キタカミコムギ」に比べて、2品種とも澱粉糊化特性は糊化開始温度が低く、最高粘度が高く、ブレークダウンが大きく、澱粉の老化耐性がある。一方、耐寒雪性、収量性、外観品質等が劣り、製粉性と粉色もかなり劣る。

このため、これらのもち性品種の収量性、製粉性および粉色等の遺伝的改良を行い、2001年度にこれらの特性を大幅に改良した「東北糯217号」（後の「もち姫」）等の有望系統を育成した。

キーワード：小麦、もち性、品種、半数体育種法、製粉性、粉色

Breeding of Two Waxy Wheat Cultivars, "Hatsumochi" and "Mochiotome", and Genetic Improvement of Their Traits.

: Ryo YOSHIKAWA[*1], Kazuhiro NAKAMURA[*2], Seiji ITO[*4], Koichi HATTA[*5], Toshiki NAKAMURA[*2], Mamoru YAMAMORI[*2], Hiro NAKAMURA[*6], Miwako ITO[*1] and Tsuguhiro HOSHINO[*3]

Abstract : Two waxy wheat cultivars, "Hatsumochi" and "Mochiotome", were developed at the Tohoku National Agricultural Experiment Station (Morioka city, Iwate Prefecture, Japan) in 2000. These waxy cultivars were selected from lines of a cross of "Kato 107"/"Bai-Hou" by the haploid breeding method, with the aim of developing new cultivars with waxy starch.

The milling and flour quality characteristics of these two waxy cultivars are similar, and have no amylose in endosperm starch, low flour yield, very low milling score, high ash content, high protein content, very high polyphenol content, and poor flour color compared with the nonwaxy cultivar "Kitakamikomugi". In addition, they have very high water absorption and a high level of weakness on Farinogram, low peak viscosity temperature, high peak viscosity and a small setback in starch paste viscosity. Also, these two waxy cultivars are early maturing, cold- and snow-susceptibile, low yielding, and with a low inspection grade compared with "Kitakamikomugi".

Therefore, we have developed genetic improvements in cold and snow resistance, yielding ability, milling characteristics, flour color, etc. in these waxy cultivars. Also, in 2002, we developed the waxy

＊1）現・北海道農業研究センター（National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Memuro, Hokkaido, 082-0081, Japan）
＊2）東北農業研究センター（National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan）
＊3）現・岩手大学農学部寒冷フィールドサイエンス教育研究センター（Field Science Center, Faculty of Agriculture, Iwate University, Takizawa, Iwate, 020-0173, Japan）
＊4）現・中央農業総合研究センター北陸研究センター（Hokuriku Research Center, National Agricultural Research Center, Jyoetsu, Niigata, 943-0193, Japan）
＊5）現・九州沖縄農業研究センター（National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Chikugo, Fukuoka, 833-0041, Japan）
＊6）現・作物研究所（National Institute of Crop Science, Tukuba, Ibaraki 305-8518, Japan）
2008年8月11日受付、2008年12月16日受理

elite lines such as“Tohokumochi 217”that had previously improved these traits greatly.
Key Words : Wheat, Cultivar, Waxy, Haploid breeding method, Milling characteristic, Flour color

Ⅰ　はじめに

トウモロコシ、米、大麦などではもち性が知られているが、小麦ではもち性は知られていなかった。これは、小麦が異質六倍体で、A、BおよびDの３つのゲノムをもつことから、すべてのゲノムで同時にもち性（*Wx*）遺伝子が突然変異を起こすことが難しいことによる。

最近、小麦の胚乳澱粉のアミロース合成をつかさどる*Wx*遺伝子座にコードされているWx蛋白質が二次元電気泳動法によって、A、BおよびDのそれぞれのゲノムに由来するWx-A1、Wx-B1およびWx-D1蛋白質に分離できることが明らかになった（Nakamura *et al.* 1993 a）。この方法を用いて遺伝資源がスクリーニングされた結果、３つのWx蛋白質のうちWx-A1とWx-B1の２蛋白質を欠く低アミロース系統の「関東107号」（Nakamura *et al.* 1993 b）と、Wx-D1蛋白質を欠く中国品種の「白火」（Yamamori *et al.* 1994）が相次いで発見された。これらの成果を受けて、Nakamura *et al.*（1995）は「関東107号」／「白火」の組合わせのF_2種子からもち性種子が得られたことを報告した。このため、東北農業試験場（現・東北農業研究センター）では、両品種を交配して、半数体育種法により短期間で実用性のあるもち性品種の育成を図り、1993年度にもち性２個体を選抜し、1994年度に「盛系C-D1478」、「盛系C-D1479」を育成した（星野　1995、Hoshino *et al.* 1996）。2000年度には、それぞれ「はつもち」、「もち乙女」と命名され品種登録された。その後、2006年度にこれら品種の製粉性、粉色および収量性が改良された「もち姫」が育成された（谷口ら 2008）。なお、農業研究センター（現・作物研究所）でも「西海168号（きぬいろは）」／「谷系A6099（中間母本農７号）」の組合わせから、もち性５系統が育成され、その内の２系統は2000年度に「あけぼのもち」、「いぶきもち」と命名され品種登録された（山口ら　2003）。また、その後、作物研究所では、2000年度に収量性および製粉性が改良された「うららもち」が育成された（藤田ら　2007）。

そこで、本報告では、今後のもち性小麦育種の参考に資するため、「はつもち」および「もち乙女」の育成経過と栽培・品質特性、並びにこれら品種の特性を大幅に改良した「東北糯217号」（後の「もち姫」）等の系統育成に至るまでの育種経過について紹介する。

「はつもち」等の育成にあたり、適応性検定試験、特性検定試験および奨励品種決定調査については関係各県農業試験場の担当者各位、現地試験については関係各県農業改良普及センターの担当者各位の多大な御協力をいただいた。育成を進める上では、東北農業試験場企画連絡室業務第1科職員の佐々木昭吉、武蔵マサ、小木田俊幸、斉藤幸次郎、広田雅昭、関村良蔵（故人）、木村力也、斎藤文隆、藤沢敏彦、古澤久男、齋藤真一、谷藤彰、佐藤敏幸の各氏が圃場管理および製粉・品質試験に従事した。また、多くの臨時職員が圃場管理補助、研究補助として従事した。元作物開発部長の番場宏治博士、元作物機能開発部長の酒井真次氏および前作物機能開発部長宮川三郎博士からは多くの御助言・御指導をいただいた。種子増殖では、北海道農業試験場麦育種研究室（現・北海道農業研究センターパン用小麦研究チーム）の御協力を得た。また、品質評価では、農林水産省生産局農産振興課並びに日清製粉株式会社製粉研究所の御協力を得た。これらの方々に深甚の謝意を表する。

Ⅱ　「はつもち」および「もち乙女」の育成とその特性

１．来歴および育成経過

1993年度（以下、年度は播種年度を表す）に東北農業試験場作物開発部育種工学研究室（現・東北農業研究センターめん用小麦研究東北サブチーム）において、「関東107号」を母とし、「白火」を父として人工交配を行った（図１）。それ以降は作物開発部麦育種研究室（現・めん用小麦研究東北サブチーム、以下「育成地」と略す）において育成を進め、トウモロコシの花粉を用いた半数体育種法（トウモロコシ法）により選抜・固定を図った。

母親の「関東107号」は農業研究センター育成の極早生・やや短稈で、耐寒雪性が弱いが、縞萎縮病に強く、穂発芽性がやや難で、粒質が粉状質で、アミロース含量が低く、めんの粘弾性が優れるめん用系統である。この系統を交配母本に用いて、近年「チクゴイズミ」、「ネバリゴシ」などのめん用品種が育成されている。また、父親の「白火（Bai-hou）」は中国品種で、特性は中生・長稈・やや短穂で、耐寒雪性および縞萎縮病などの耐病性が中で、穂発芽性がやや難で、粒質が硝子質で、そしてアミロース含量がやや低い（表１）。

当初の育種目標は、Wx-A1蛋白質とWx-B1蛋白質を欠いた「関東107号」に、Wx-D1蛋白質を欠いた「白火」を組み合わせることによる、これら３つのWx蛋白質を欠いたもち性小麦の作出である。

選抜経過は表２に示した。1993年11月に交配後、世代促進を図るため、1993年11～12月に登熟中の交配種子から未熟胚を摘出して培養した。雑種第１代（F_1）の幼苗をワグネルポットに移植し、1994年１～２月に温室内で養成した。

次に、トウモロコシ法による半数体育種法によりもち性小麦系統の作出を図った。1993年２～３月に、

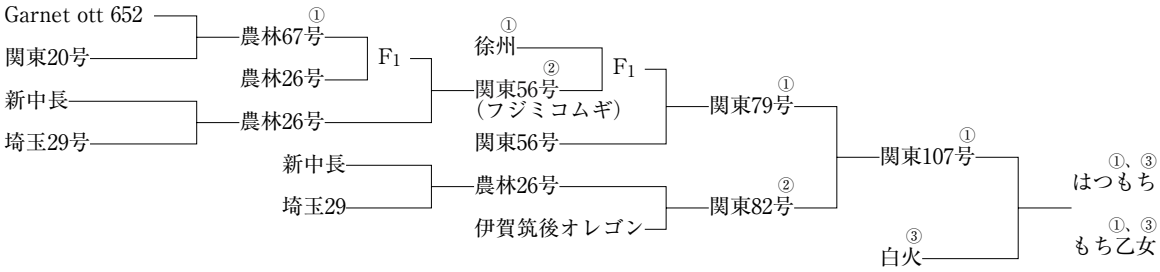


図１　「はつもち」および「もち乙女」の系譜

注．①：Wx-A1 蛋白質と Wx-B1 蛋白質が欠、②：Wx-A1 蛋白質が欠、③：Wx-D1 蛋白質が欠（「はつもち」、「もち乙女」以外は Yamamori M. *et al.*（1998）による）

表１　両親の特性

（形態的特性）

系統名または品種名	叢性	葉色	株の開閉	稈長	穂長	穂型	ふ色	粒の大小	粒の色	千粒重
(♀)関東107号	やや直立	中	やや開	やや短	中	紡錘状	淡黄	中	褐	中
(♂)白火	中	中	やや閉	長	やや短	棒状	淡黄	やや小	濃褐	やや小
はつもち	中	中	中	中	中	紡錘状	淡黄	中	褐	中
もち乙女	直立	中	開	やや短	短	棒状	淡黄	中	赤褐	中

（生態的特性）

系統名または品種名	播性程度	茎立性	出穂期	成熟期	穂発芽性	耐倒伏性	耐寒雪性	粒質	縞萎縮病抵抗性	うどんこ病抵抗性	赤かび病抵抗性	赤さび病抵抗性
(♀)関東107号	Ⅱ	極早	極早	極早	やや難	やや強	弱	粉状質	強	中	中	中
(♂)白火	Ⅲ	中	中	中	やや難	やや弱	中	硝子質	中	中	中	中
はつもち	Ⅲ	早	早	早	やや難	やや強	中	硝子質	強	やや強	中	やや強
もち乙女	Ⅱ	極早	極早	極早	やや難	やや強	弱	粉状質	強	中	やや弱	中

（品質特性）

系統名または品種名	もち・うるち性	アミロース含量
(♀)関東107号	うるち	低
(♂)白火	うるち	やや低
はつもち	もち	極少
もち乙女	もち	極少

表２　選抜経過

試験年度		1993				1994			1995	1996	1997	1998	1999	2000
世代		交配	F_1	交配	DH_1	DH_2	DH_3	DH_4	DH_5	DH_6	DH_7	DH_8	DH_9	DH_{10}
供試	系統群数				半数体41				2	2	2	2	2	2
	系統数	35粒	35個体	交配数4811	倍加個体19	2	2	2	10	10	10	10	10	10
選抜	系統群数								2	2	2	2	2	2
	系統数			未熟胚834		2	2	2	2	2	2	2	2	2
	個体数			半数体41	2				10	10	10	10	10	10
生産力検定	予備試験								条播標準播					
	本試験									条播標準播ドリル播	条播標準播ドリル播	条播標準播ドリル播	条播標準播ドリル播	条播標準播ドリル播
特性検定試験								1	4	4	4			
系統適応性検定試験										22				
奨励品種決定調査											18	210号6 211号9	210号3 211号6	210号3 211号3
備考		関東107号/白火（育工交-1）温室で交配(11月）交配種子の未熟胚培養（11～12月）	温室で養成（1～2月）	F_1/トウモロコシの交配（2～3月）未熟胚培養（2～5月）半数体養成（4～6月）	半数体倍加処理（4～6月）倍加個体の中でモチ性個体を選抜（8～9月）	温室で種子増植(8～12月）	温室で種子増植（12～3月）	もち盛系C-D1478、1479北海道農試に種子増植を依頼(5～8月）	品種登録申請（10月）		東北糯210号、211号			はつもちもち乙女（品種登録）

注．特性検定試験、系統適応性検定試験および奨励品種決定調査は試験場所数を示す。

温室においてF₁植物にトウモロコシ花粉を人工交配（交配数4811）した後、10～14日後に未熟胚を摘出した。その未熟胚834個をホルモンなしのH-MS培地に置床して、２～５月にかけて無菌室の照明下で半数体の培養を行った。半数体の41個体をワグネルポットに移植して、４～６月に温室で養成した。３～５葉期に、根をコルヒチン処理して染色体倍加を図り、19の半数体倍加個体（半数体倍加第１代（DH_1））を得た。８月に、ヨウ素ヨウ化カリウム水溶液（0.2%I_2-２%KI）で切断種子の胚乳部分を染色して、切断面が赤茶色に染色するもち性個体の選抜を行った結果、19個体の中からもち性の２個体を選抜した。他の17個体はうるち性であったため廃棄した。

DH_2世代は、1994年８～12月に温室で選抜したもち性２系統をポット栽培し、種子増殖を図った。DH_3世代では、２系統とも1994年12月～1995年３月にポット栽培し、更に種子増殖を行った。1995年３月に、収穫したDH_2およびDH_3系統の種子について、オートアナライザー（Bran Lubbe Co. 製）によりアミロース含量を測定した結果、アミロースはほとんど含まれないためもち性形質が固定し、しかももち性が世代を通じて確実に遺伝していることを確認した。また、Nakamuraら（1992）によるSDSポリアクリルアミドゲル電気泳動法によりWx蛋白質を検出した結果、もち性２系統ともWx-A1、Wx-B1およびWx-D1の３つのWx蛋白質が欠失していることを確認した。

DH_4世代では、1995年４月に、もち性２系統のうち、早生、中稈で、粒質が硝子質の１系統に「もち盛系C-D1478」、極早生、短稈で、粒質が粉状質の１系統に「もち盛系C-D1479」の系統名をそれぞれ付与した。1995年４～７月に圃場で春播栽培して１粒播で系統養成し、個体選抜を行うとともに、春播栽培による播性および耐病性の特性検定試験も行った。また、北海道農業試験場麦育種研究室に依頼して、1995年５～８月に圃場における春播栽培により種子増殖を図った。DH_5世代（1995年度）では、圃場における秋播栽培により１粒播で系統養成し、個体選抜を行うとともに、生産力検定予備試験（条播標準栽培）および特性検定試験に供試した。また、世界で初めて育成したもち性小麦系統ということと、次年度以降、農林水産省農産園芸局農産課（現・生産局生産流通振興課）の「モチ性小麦の生産・利用技術実用化事業」（1996～2000年度）の材料として供試されることになったため、1995年10月に品種登録出願を行った。

1996年度（DH_6世代）は、１粒播による系統栽培

を行って系統・個体選抜を行うとともに、生産力検定試験の条播標準栽培およびドリル播栽培に供試して、栽培および品質特性を調査した。また、東北、北陸、関東、東山、東海、中国、四国および九州地域の20の県農業試験場に配付して系統適応性検定試験を実施し、地域適応性を検討した。さらに、前年度に引き継いで特性検定試験に供試した。

1997年度（DH_7世代）は、「もち盛系C-D1478」に「東北糯210号」、「もち盛系C-D1479」に「東北糯211号」の地方番号系統名を付け、前年度と同様に東北から九州地域にかけての県農業試験場に配付して奨励品種決定調査で地域適応性を検討した。また、引き続き系統・個体選抜を行うとともに、生産力検定試験で生産力および品質を調査した。澱粉老化耐性試験およびブレンドによる製パン試験・スポンジケーキ試験は日清製粉製粉研究所に依頼した。

「東北糯210号」と「東北糯211号」の両系統は2000年度（DH_{10}世代）に品種登録され、それぞれ「はつもち」、「もち乙女」と命名された。しかし、これらのもち性品種は、従来のうるち性標準品種の「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」および「農林61号」などに比べて、収量性、外観品質が劣るなどの栽培特性と、製粉歩留と粉色がかなり劣るなどの品質特性のため、2000年度までにほとんどの県の奨励品種決定調査で打ち切られ、最終的に県の奨励品種に採用されるまでには至らなかった。育成終了は2000年８月、DH_{10}である。

「はつもち」の名称由来は、世界で初めて育成したもち性小麦品種であることに因む。また、「もち乙女」は、草丈が低く草姿が美しく可愛らしいもち性小麦であることに因む。英語表記する場合は「はつもち」は“Hatsumochi”、「もち乙女」は“Mochiotome”を用いる。

２．特性概要

育成地では、1995年度に生産力検定予備試験、1996～2000年度に生産力検定試験を行い、もち性２系統の栽培特性および品質特性を調査した。また、特性検定試験委託場所と育成地において、特性検定試験を行った。そして、種苗特性分類調査報告書（1998年３月）の基準による形態的特性、生態的特性および品質特性の概要をとりまとめ、表３～５に示した。また、これらの表の基になる試験成績として、表６～８に特性検定試験を含む栽培特性成績、表９～10に品質特性成績をそれぞれ示した。なお、表６～７と表９～10の試験成績は、「はつもち」、「もち乙女」とも、栽培様式の条播標準栽培、ドリル播栽培のどちらでも、品種特性の品種間差異は同様な傾向がみられたので、両栽培様式をこみにして特性を記述する。

１）「はつもち」の特性

（１）形態的特性

叢性は“中”である。稈長は“やや長”、穂長は“中”で、「キタカミコムギ」に比べて稈長はやや短く、穂長は１～２cm短い。穂型は“紡錘状”、芒の有無とその多少は“やや多”、芒長は“やや長”である。粒の形は“中”、粒の大小は“やや小”で、粒の色は“赤褐色”ある。千粒重は“やや小”で、容積重（リットル重）は“小”である。原麦の見かけの品質は“下の上”で、「ナンブコムギ」、「キタカミコムギ」より劣る。うるち・もちの別は“もち”である（表３、表６～７）。

（２）生態的特性

播性の程度は“Ⅲ”の中間型で、茎立性は“早”である。出穂期および成熟期は“早”で、「ナンブコムギ」より出穂期は６～７日早く、成熟期は１～２日早い。穂数は「キタカミコムギ」並である。耐寒性、耐雪性および耐凍上性はいずれも“やや弱”で、「キタカミコムギ」並である。耐倒伏性は“やや強”で、「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より強い。穂発芽性は“難”で、「ナンブコムギ」と同程度で、「キタカミコムギ」より優る。収量性は“やや少”で、「キタカミコムギ」に比べて子実重が約20％低い。縞萎縮病抵抗性は“強”で、「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より強い。赤かび病抵抗性は“やや弱”、うどんこ病抵抗性および赤さび病抵抗性は“中”である（表４、表６～８）。

（３）品質特性

粒の硬軟は“硬”、粒質は“中間質”である。製粉歩留は“やや低”で、「キタカミコムギ」よりは約７％低く、「ナンブコムギ」よりやや低い。ＢＭ率が低くセモリナ生成率が高いので、硬質小麦傾向にあるが、セモリナ粉砕率は「キタカミコムギ」よりかなり低く、「ナンブコムギ」より低い。ミリングスコアは“低”で、「キタカミコムギ」より約10低く、「ナンブコムギ」より３～６低い。60％粉粗蛋白含量は“中”で、「キタカミコムギ」より高く、「ナンブコムギ」並である。60％粉灰分含量は“やや多”で、「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」よ

り高い。60%粉アミロース含量は“極少”で、ほぼ０%に近く、完全なもち性を示す。60%粉の比表面積は「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より小さく、硬質小麦の特徴を示す。粉の白さ（R455）および明るさ（R554）は“かなり低”で、「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」よりかなり劣る。粉の色づき（D455-D554）は“やや高”である。粉色と関係が深い60%粉ポリフェノール含量（小綿ら 2000）は、うるち性の「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」の約２倍とかなり高い（表５、表９）。

60%粉の生地物性特性では、ファリノグラムの吸水率（Ab）は“極高”で「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」よりかなり高く、バロリメーター・バリュウ（VV）は“やや低”である。エキステンソグラムの生地の力の程度（面積､A）は“中”、伸長抵抗（R）は“やや弱”、伸長度（E）は“中”、形状係数（R/E）は“中”で、いずれも「ナンブコムギ」と同程度で、中力粉的な特徴を示す。アミログラムの最高粘度（MV）は“やや小”と「キタカミコムギ」並で「ナンブコムギ」より低く、ブレークダウン（BD）は“大”で「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より大きい（表５、表10）。

２）「もち乙女」の特性

（１）生態的特性

叢性は“直立”である。稈長および穂長は“短”で、「キタカミコムギ」より稈長は20～30cm短く、穂長は２～３cm短い。穂型は“棒状”、芒の有無とその多少および芒長は“中”である。粒の形は“や

表３ 「はつもち」および「もち乙女」の形態的特性

形質番号	形　質	はつもち	もち乙女	キタカミコムギ	ナンブコムギ
		階級(区分)	階級(区分)	階級(区分)	階級(区分)
１－１	叢性	5（中）	3（直立）	5（中）	7（匍匐）
１－２	株の開閉	5（中）	7（開）	5（中）	5（中）
１－３	鞘葉の色	1（無）	1（無）	1（無）	1（無）
２－４	稈長	6（やや長）	3（短）	7（長）	6（やや長）
２－５	稈の細太	5（中）	5（中）	5（中）	4（やや細）
２－６	稈の剛柔	5（中）	5（中）	5（中）	4（やや柔）
２－７	稈のワックスの多少	6（やや多）	3（少）	3（少）	5（中）
３－８	葉色	5（中）	5（中）	6（やや濃）	5（中）
３－９	葉鞘のワックスの多少	6（やや多）	3（少）	3（少）	5（中）
３－10	葉鞘の毛の有無・多少	1（無～極少）	1（無～極少）	1（無～極少）	1（無～極少）
３－11	葉身の下垂度	5（中）	7（大）	5（中）	6（やや大）
３－12	フレッケンの有無・多少	3（少）	3（少）	6（やや多）	2（かなり少）
４－13	穂型	2（紡錘状）	3（棒状）	3（棒状）	1（錐状）
４－14	穂長	5（中）	3（短）	5（中）	6（やや長）
４－15	粒着の疎密	5（中）	6（やや密）	6（やや密）	4（やや疎）
４－16	穂の抽出度	7（長）	5（中）	6（やや長）	5（中）
４－17	穂のワックスの多少	5（中）	3（少）	3（少）	3（少）
４－18	ふ毛の有無	1（無）	1（無）	1（無）	1（無）
４－19	葯の色	1（黄）	1（黄）	1（黄）	1（黄）
５－20	芒の有無とその多少	6（やや多）	5（中）	7（多）	2（極少）
５－21	芒長	6（やや長）	5（中）	6（やや長）	2（極短）
６－22	ふの色	2（黄）	2（黄）	2（黄）	5（赤褐）
７－23	粒の形	5（中）	4（やや円）	5（中）	6（やや長）
７－24	粒の大小	4（やや小）	4（やや小）	5（中）	6（やや大）
７－25	粒の色	5（赤褐）	5（赤褐）	3（黄褐）	4（褐）
７－26	頂毛部の大きさ	5（中）	5（中）	5（中）	5（中）
８－27	粒の黒目の有無・多少	3（少）	3（少）	1（無～極少）	1（無～極少）
９－28	千粒重	4（やや小）	4（やや小）	5（中）	6（やや大）
９－29	容積重	3（小）	4（やや小）	6（やや大）	7（大）
10－30	原麦粒の見かけの品質	3（下の上）	4（中の下）	5（中の中）	6（中の上）
11－31	粗蛋白質含量	5（中）	5（中）	4（やや少）	6（やや多）
11－32	灰分含量	5（中）	5（中）	5（中）	5（中）
12－33	うるち・もちの別	9（もち）	9（もち）	1（うるち）	1（うるち）

注．平成９年度種苗特性分類調査報告書（1998年３月）の審査基準による。

や円”、粒の大小は“やや小”で、粒の色は“赤褐色”ある。千粒重および容積重（リットル重）は“やや小”である。原麦の見かけの品質は“中の下”で、「ナンブコムギ」、「キタカミコムギ」よりやや劣る。うるち・もちの別は“もち”である（表３、表６～７）。

（２）生態的特性

播性の程度は“Ⅱ”の春播型で、茎立性は“かなり早”である。出穂期および成熟期は“かなり早”で、「ナンブコムギ」より出穂期は７～８日早く、成熟期は２～３日早い。穂数は耐寒雪性が弱いため、「キタカミコムギ」よりかなり少ない。耐寒性、耐

表４　「はつもち」および「もち乙女」の生態的特性

形質番号	形　　質	はつもち	もち乙女	キタカミコムギ	ナンブコムギ
		階級(区分)	階級(区分)	階級(区分)	階級(区分)
13－34	播性の程度	3（Ⅲ）	2（Ⅱ）	5（Ⅴ）	5（Ⅴ）
14－35	茎立性	3（早）	2（かなり早）	5（中）	4（やや早）
15－36	出穂期	3（早）	2（かなり早）	6（やや晩）	4（やや早）
15－37	成熟期	3（早）	2（かなり早）	6（やや晩）	4（やや早）
16－38	遺伝子雄性不稔の有無	1（無）	1（無）	1（無）	1（無）
17－41	耐寒性	4（やや弱）	3（弱）	4（やや弱）	7（強）
17－42	耐雪性	4（やや弱）	3（弱）	4（やや弱）	6（やや強）
17－44	耐凍上性	4（やや弱）	3（弱）	4（やや弱）	7（強）
18－45	耐倒伏性	6（やや強）	6（やや強）	5（中）	3（弱）
19－46	穂発芽性	7（難）	7（難）	4（やや易）	7（難）
20－47	脱粒性	5（中）	4（やや易）	4（やや易）	6（やや難）
21－48	収量性	4（やや少）	3（少）	5（中）	4（やや少）
23－70	縞萎縮病抵抗性	7（強）	7（強）	5（中）	3（弱）
23－71	赤かび病抵抗性	4（やや弱）	4（やや弱）	5（中）	6（やや強）
23－72	うどんこ病抵抗性	5（中）	4（やや弱）	5（中）	6（やや強）
23－73	赤さび病抵抗性	5（中）	5（中）	5（中）	4（やや弱）

注．平成９年度種苗特性分類調査報告書（1998年３月）の審査基準による。

表５　「はつもち」および「もち乙女」の品質特性

形質番号	形　　質	はつもち	もち乙女	キタカミコムギ	ナンブコムギ
		階級(区分)	階級(区分)	階級(区分)	階級(区分)
22－49	粒の硬軟	7（硬）	3（軟）	4（やや軟）	5（中間）
22－50	粒質	2（中間質）	1（粉状質）	1（粉状質）	2（中間質）
22－51	製粉歩留	4（やや低）	2（かなり低）	5（中）	4（やや低）
22－52	ミリングスコア	3（低）	3（低）	5（中）	5（中）
22－53	60％粉粗蛋白質含量	5（中）	5（中）	4（やや少）	6（やや多）
22－54	60％粉灰分含量	6（やや多）	6（やや多）	5（中）	5（中）
22－55	60％粉アミロース含量	1（極少）	1（極少）	5（中）	5（中）
22－56	粉の白さ	2（かなり低）	4（やや低）	6（やや高）	4（やや低）
22－57	粉の明るさ	2（かなり低）	3（低）	6（やや高）	6（やや高）
22－58	粉の色づき	6（やや高）	5（中）	5（中）	7（中）
22－59	粉の明度	2（かなり低）	3（低）	6（やや高）	4（やや低）
22－60	粉の赤色み	7（高）	7（高）	5（中）	7（高）
22－61	粉の黄色み	3（低）	4（やや低）	5（中）	7（高）
22－62	吸水率	8（かなり高）	8（かなり高）	4（やや低）	4（やや低）
22－63	バロリメーター・バリュウ	4（やや低）	5（中）	4（やや低）	5（中）
22－64	生地の力の程度	5（中）	5（中）	6（やや大）	5（中）
22－65	生地の伸張抵抗	4（やや弱）	5（中）	5（中）	4（やや弱）
22－66	生地の伸張度	5（中）	5（中）	5（中）	5（中）
22－67	生地の形状係数	5（中）	5（中）	5（中）	5（中）
22－68	最高粘度	4（やや小）	5（中）	4（やや小）	6（やや大）
22－69	ブレークダウン	7（大）	8（かなり大）	4（やや小）	5（中）

注．平成９年度種苗特性分類調査報告書（1998年３月）の審査基準による。

表６　生育調査成績

栽培様式	品種名	出穂期（月日）	成熟期（月日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本／㎡）	倒伏程度	寒雪害	凍上害	縞萎縮病	うどんこ病	赤さび病	赤かび病	フレッケン	立毛評価
条播標準栽培	はつもち	5.16	7. 7	86	7.6	337	0.6	2.2	0.7	0.2	0.6	1.1	0.6	1.7	5.8
	もち乙女	5.15	7. 6	70	6.0	238	0.4	3.3	1.7	0.0	1.0	1.5	1.4	1.7	3.4
	標)キタカミコムギ	5.25	7.12	92	8.7	349	1.7	2.1	0.8	1.1	1.1	0.9	0.9	2.6	6.2
	比)ナンブコムギ	5.23	7. 8	85	10.1	359	2.5	2.1	0.9	3.1	1.2	1.5	0.6	0.1	3.3
ドリル播栽培	はつもち	5.14	7. 4	94	7.0	604	0.6	1.6	1.3	0.4	0.1	1.1	0.5	2.4	6.5
	もち乙女	5.13	7. 3	69	6.2	418	0.6	3.1	2.3	0.6	0.3	0.3	1.2	2.4	2.9
	標)キタカミコムギ	5.22	7.10	100	8.9	593	2.5	1.4	0.9	0.5	0.7	1.1	0.4	2.8	5.9
	比)ナンブコムギ	5.20	7. 6	95	10.2	543	2.8	1.4	0.9	3.2	0.2	0.9	0.5	0.3	4.2

注. 1）条播は1995～2000年度の平均値、ドリル播は1996～2000年度の平均値。
2）品種名の標は標準品種、比は比較品種を示す（以下の表も同じ）。
3）倒伏程度、寒雪害、凍上害および病害は０(無)～５(甚)で判定。
4）フレッケンは、出穂後の葉に小さい淡黄色の斑点が多数生じる生理障害で、０(無)～５(甚)により判定。
5）立毛評価は、登熟後期における穂数・倒伏の多少、穂長、穂揃いの良否、病害発生を総合的に観察判定し、10（良)～１(不良）で評価。

表７　収穫物調査成績

栽培様式	品種名	a当たり子実重（kg/a）	同左標準比率（%）	リットル重（g）	千粒重（g）	外観品質	粒大	粒色	粒形	粒質	縦溝の深浅	赤かび粒多少
条播標準栽培	はつもち	28.2	80	730	31.0	7.9	やや小	赤褐－褐	中	中間－粉状	やや深	1.6
	もち乙女	16.8	49	758	32.7	4.9	やや小～中	赤褐	やや円	粉状質	中	1.1
	標)キタカミコムギ	37.8	100	777	37.2	4.3	中	赤褐	やや円	粉状－中間	中	0.7
	比)ナンブコムギ	22.9	61	778	39.4	4.8	中－やや大	赤褐	中－やや長	中間質	やや深	0.6
ドリル播栽培	はつもち	40.8	83	721	30.4	7.5	やや小	褐	やや円－中	中間質	やや深	2.0
	もち乙女	19.3	38	752	34.2	5.6	中	赤褐	やや円	粉状質	中	0.9
	標)キタカミコムギ	51.8	100	765	34.7	4.4	中	赤褐	やや円	粉状質	中	0.5
	比)ナンブコムギ	29.0	59	776	41.6	4.5	やや大	褐	やや長	中間質	やや深	0.3

注. 1）条播は 1995～2000 年度の平均値、ドリル播は 1996～2000 年度の平均値。
2）外観品質は１(上上)～９(下下)。赤かび粒多少 （赤かび病に罹病した粒の混入程度） は０(無)～５(甚)により定。
3）ナンブコムギは縞萎縮病の多発により低収となっている。

表８　特性検定試験成績

品種名	耐雪性		耐寒雪性		凍上抵抗性		縞萎縮病	うどんこ病	赤さび病	穂発芽性	播性
	上川農試		岩手農研センター		長野中信農試		育成地	育成地	育成地	育成地	育成地
	雪腐病発病度	判定	被害程度	判定	判定基準	総合判定	判定	判定	判定	判定	判定
はつもち	92.0	弱	66.7	弱	23.6	弱	強	やや弱	中	難	Ⅲ
もち乙女	93.1	弱	100.0	弱	23.2	弱	強	やや弱	中	難	Ⅱ
標)キタカミコムギ	91.6	弱	58.3	中	30.0	弱	やや強	やや強	やや強	やや易	Ⅴ
比)ナンブコムギ	39.8	中	10.0	強	84.8	中	やや弱	中	中	やや難	Ⅴ

注. 1）耐雪性、耐寒雪性、凍上抵抗性は1995～1997年度の平均値、耐病性、穂発芽性、播性は1994～1997年度の平均値。
2）上川農試（北海道立上川農業試験場）の耐雪性は耐小粒菌核病による判定で、個体単位で発病程度を０(健全)～４(枯死)の５段階で調査。次式で発病度を算出。発病度=（各発病程度×当該株数）の総和/調査株数×25。
3）岩手農研センター（岩手県農業研究センター）の耐寒雪性の被害程度は、越冬株数、寒雪害による葉枯面積率および雪腐病による被害面積割合から被害程度を算出。
4）長野県中信農試（長野県中信農業試験場）の凍上抵抗性は、越冬株数と葉枯れ程度を調査。葉枯れの程度は０％を無、10%以下を少、50%以下を中、90%以下を多、90%を越えるものを甚として、５段階に分類。判定基準は検定品種・系統の越冬株率を標準品種の越冬株率で除して標準比率を算出したもの。
5）育成地（東北農業研究センター）の縞萎縮病は早播栽培、うどんこ病と赤さび病は春播栽培で検定し、０(強)～５(弱)で判定。穂発芽性は成熟期および成熟期５日後の穂を用いて、穂発芽検定器内で人工降雨処理し、10日後に穂発芽程度を穂別に調査し、平均穂発芽程度を算出し、成熟期および成熟期５日後の２時期の平均値で穂発芽性を判定した。播性は３月20日から10日おきに４回圃場に播種して、出穂の可否で播性程度を判定。

表９　製粉および品質試験成績

栽培様式	品種名	原粒			製粉試験							60％粉								ポリフェノール含量
		灰分含量	蛋白含量	硝子率	製粉歩留	ＢＭ率	セモリナ生成率	セモリナ粉砕率	ストレート粉灰分	ミリングスコア	灰分移行率	灰分含量	蛋白含量	アミロース含量	セディメンテーション値	比表面積	反射率 R455	R554	D455-D554	
		(％)	(％)	(％)	(％)	(％)	(％)	(％)	(％)		(％)	(％)	(％)	(％)	(ml)	(㎠/g)	(％)	(％)		(mg/g)
条播標準栽培	はつもち	1.41	14.9	27	62.5	34.2	66.9	69.7	0.53	71.6	39.0	0.51	13.7	0.4	39.3	2,163	43.1	55.5	0.110	0.31
	もち乙女	1.59	15.2	15	59.2	48.5	60.6	65.9	0.50	70.4	41.3	0.49	13.9	0.2	48.5	3,915	48.2	61.3	0.105	0.33
	標)キタカミコムギ	1.44	13.2	38	70.3	47.1	59.8	80.1	0.46	82.6	47.4	0.42	11.6	27.9	41.7	2,970	52.5	65.8	0.099	0.14
	比)ナンブコムギ	1.52	14.9	38	65.0	55.7	56.7	73.8	0.47	77.4	45.1	0.43	13.5	25.8	45.0	3,373	49.0	64.6	0.121	0.17
ドリル播栽培	はつもち	1.41	14.1	18	62.9	32.8	66.7	71.1	0.49	73.9	41.3	0.47	12.9	0.6	37.5	2,177	43.3	56.1	0.114	−
	もち乙女	1.49	14.1	2	58.1	47.7	59.9	65.8	0.48	70.2	39.1	0.48	13.1	0.5	42.3	3,945	47.6	61.2	0.109	−
	標)キタカミコムギ	1.43	13.5	19	69.5	49.3	58.2	80.2	0.45	82.7	47.1	0.41	11.6	27.8	40.8	3,031	51.5	65.2	0.103	−
	比)ナンブコムギ	1.50	14.9	28	63.9	57.3	55.3	73.5	0.46	77.0	44.3	0.42	13.5	25.8	47.0	3,393	48.4	64.4	0.124	−

注．１）条播は1995～2000年度の平均値、ドリル播は1995～1997、1999年度の平均値。
２）製粉試験はビューラーテストミルによる。原粒・60%粉蛋白含量は元素分析装置（パーキンエルマー社PE2410型）で測定し、蛋白質係数は原粒では5.83、60%粉では5.70を用いた。アミロース含量はJuliano（1971）に準じた方法で、ポリフェノール含量はブルシアンブルー法（栃木県農業試験場栃木分場ビール麦醸造用品質改善指定試験地 1998）で測定した。その他の特性は「農林水産技術会議事務局（1968）小麦品質検定方法」により調査した。

表10　生地物性試験（ブラベンダー試験）成績

栽培様式	品種名	ファリノグラム					エキステンソグラム（135分）				アミログラム			
		Ab (％)	DT (min)	Stab (min)	Wk (B.U.)	VV	A (㎠)	R (B.U.)	E (㎜)	R/E	GT (℃)	MVT (℃)	Mv (B.U.)	BD (B.U.)
条播標準栽培	はつもち	75.3	4.4	2.6	188	45	65	192	235	0.8	55.7	65.2	478	377
	もち乙女	77.3	6.1	3.6	144	57	62	206	225	1.0	57.9	67.1	759	588
	標)キタカミコムギ	58.5	4.4	5.9	53	58	91	331	216	1.6	57.4	87.0	741	187
	比)ナンブコムギ	60.4	4.5	10.1	62	58	61	180	236	0.8	56.3	88.7	944	302
ドリル播栽培	はつもち	75.2	4.1	2.4	191	44	61	192	231	0.9	54.3	64.7	575	441
	もち乙女	75.4	5.1	3.6	137	53	68	245	204	1.3	57.6	68.5	818	655
	標)キタカミコムギ	57.9	4.0	6.2	51	58	90	334	216	1.6	57.9	86.5	713	205
	比)ナンブコムギ	59.8	4.6	7.3	59	59	62	179	237	0.8	56.3	88.5	958	353

注．１)条播は1995～2000年度の平均値、ドリル播は1995～1997、1999年度の平均値。
２）測定法は「農林水産技術会議事務局（1968）小麦品質検定方法」による。Ab：吸水率、DT：生地の形成時間、Stab：生地の安定度、Wk：生地の弱化度、VV：バロリメーター・バリュウ、A：面積、R：伸長抵抗、E：伸長度、R/E：形状係数、GT：糊化開始温度、MVT：最高粘度時温度、MV：最高粘度、BD：ブレークダウン。

雪性および耐凍上性はいずれも“弱”で、「キタカミコムギ」より弱い。耐倒伏性は“やや強”で、「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より強い。穂発芽性は“難”で、「ナンブコムギ」と同程度で、「キタカミコムギ」よる優る。収量性は“少”で、寒雪害多発により「キタカミコムギ」より約50～60％低収である。縞萎縮病抵抗性は“強”で、「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より強い。赤かび病抵抗性およびうどんこ病抵抗性は“やや弱”で、赤さび病抵抗性は“中”である（表４、表６～８）。

（３）品質特性

粒の硬軟は“軟”、粒質は“粉状質”である。製粉歩留は“かなり低”で、「はつもち」よりさらに３～４％低い。ＢＭ率は「キタカミコムギ」と同程度で、軟質傾向である。セモリナ生成率は「キタカミコムギ」並であるが、セモリナ粉砕率はかなり低く、「はつもち」よりさらに低い。ミリングスコアは“低”で、「キタカミコムギ」より約12低く、「ナンブコムギ」より約７低い。60％粉粗蛋白含量は“中”で、「キタカミコムギ」より高く、「ナンブコムギ」並である。60％粉灰分含量は“やや多”で、「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より高い。60％粉アミロース含量は“極少”で、ほぼ０％に近く、完全なもち性を示す。60％粉の比表面積は軟質の「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より大きく、かなり軟質傾向の特徴を示す。粉の白さ（R455）は“やや低”、粉の明るさ（R554）は“低”で、いずれも「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」よりかなり劣る。粉の色づき（D455-D554）は“中”である。60％粉ポリフェノール含量は、「はつもち」と

表11　澱粉糊化特性（ビスコグラム特性）成績

品種名または系統名	糊化開始温度（℃）	最高粘度到達時間（min）	最高粘度時温度（℃）	最高粘度（RVU）	ブレークダウン（RVU）	セットバック（RVU）
はつもち	57.9	6.5	71.9	258	185	24
もち乙女	58.0	6.5	71.8	263	185	26
標)キタカミコムギ	58.3	11.2	95.0	120	50	82
比)ナンブコムギ	58.4	11.5	95.0	137	57	82
比)農林61号	62.0	11.4	95.0	121	47	68
比)ASW	59.6	11.2	95.0	166	81	76
比)チホクコムギ	59.3	10.9	95.0	171	93	77
比)関東107号	56.7	11.1	95.0	206	126	83
比)白火	55.5	11.3	95.0	184	90	83

注. 1）1994～1995年度の平均値。
2）農林61号は群馬県産、ASWはオーストラリア産、チホクコムギは北海道産で、いずれも食糧庁からの移管材料。
3）澱粉糊化特性はラピッドビスコアナライザーで測定。測定条件は、澱粉2.7g（水分13.5%に換算）に純水25mℓを加え、35℃で1分間保持した後95℃まで1分間に6.7℃に昇温し、95℃で5分間温度を一定にした。その後、50℃まで1分間に6.7℃温度を下げた。

同様にかなり高い（表5、表9）。

60%粉の生地物性特性では、ファリノグラムの吸水率（Ab）は“極高”で「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」よりかなり高く、バロリメーター・バリュウ（VV）は“中”である。エキステンソグラムの生地の力の程度（面積､A）は“中”、伸長抵抗（R）は“中”、伸長度（E）は“中”、形状係数（R/E）は“中”で、伸張抵抗以外は「ナンブコムギ」と同程度で、中力粉の特徴を示す。アミログラムの最高粘度（MV）は“中”で「キタカミコムギ」より高く「ナンブコムギ」より低い。ブレークダウン（BD）は“かなり大”で「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」より大きい（表5、表10）。

3）澱粉の糊化特性および老化耐性

Oda *et al.*（1980）の方法に従い、小麦粉から澱粉を抽出し、その乾燥澱粉を用いて、ラピッドビスコアナライザーにより糊化特性を調査し、表11に澱粉糊化特性を、図2に粘度曲線を示す。澱粉糊化特性は、「はつもち」、「もち乙女」ともに、うるち性の「キタカミコムギ」、「ナンブコムギ」に比較して、最高粘度到達時間が短く、最高粘度時温度が低く、最高粘度が高く、ブレークダウンが大きい。また、澱粉老化耐性の指標であるセットバックが小さい。図2からも、「もち乙女」はうるち性品種と異なる粘度曲線を示すことわかる。

澱粉老化耐性を表すアミロペクチン糊化由来吸熱特性は表12示す。「はつもち」、「もち乙女」ともに老化時の△H（エンタルピー値）は、「農林61号」、「チホクコムギ」などのうるち性品種やコンスターチより低く、ワキシーコーンスターチと同程度であるため、低温保存時の澱粉老化耐性が優れる。

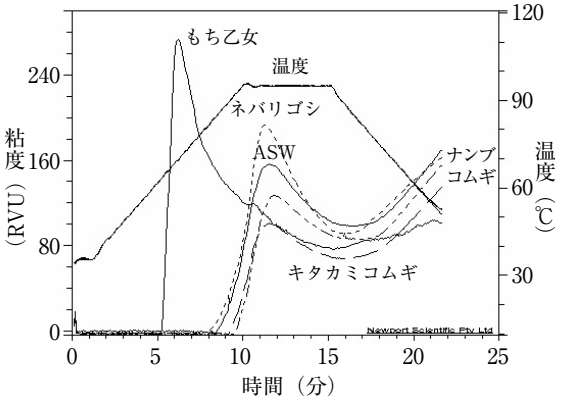


図2　ラピッドビスコアナライザーによる小麦澱粉の粘度曲線

「もち乙女」以外の4品種はうるち性で、「ネバリゴシ」はWx-A1、Wx-B1の両蛋白質が欠失した東北地域のめん用品種、「ASW」は主にWx-B1蛋白質が欠失した品種をブレンドしたオーストラリア産めん用銘柄、「ナンブコムギ」と「キタカミコムギ」はWx蛋白質の欠失がない東北地域主要品種。
注. 測定法は表11と同じ。

4）高分子量グルテニンサブユニット構成

製パン適性と関係があると言われている高分子量グルテニンサブユニット（Blackman and Payne 1987、Payne *et al.* 1987）の構成を、表13に示す。「はつもち」は染色体1A、1Bおよび1Dにおけるサブユニット構成それぞれ2*、7＋9、2＋12で、1Aと1Bにおいては「コユキコムギ」と同じである。一方、「もち乙女」は「はつもち」と全染色体においてサブユニット構成が異なり、染色体1A、1Bお

表12　アミロペクチン糊化由来吸熱特性（DSC特性）成績

品種名または材料名	糊化時				老化時			
	To (℃)	Tp (℃)	Tc (℃)	ΔH (J/g·s)	To (℃)	Tp (℃)	Tc (℃)	ΔH (J/g·s)
はつもち	60.1	68.0	93.3	8.6	44.8	56.1	65.8	0.4
もち乙女	59.9	67.1	84.3	8.4	45.5	54.8	64.6	0.5
比)農林61号	57.6	62.4	73.7	8.1	42.3	54.4	67.1	1.1
比)チホクコムギ	58.7	64.3	75.1	6.3	42.5	54.8	65.9	1.2
比)関東107号	59.0	64.1	78.1	7.6	44.2	55.4	65.8	1.4
比)白火	56.2	62.2	76.5	7.4	46.0	55.5	65.6	1.5
比)コーンスターチ	68.1	72.7	85.8	7.9	45.3	56.3	70.9	3.0
比)ワキシーコーンスターチ	65.3	71.8	85.7	9.8	46.7	58.4	69.9	0.4

注.　1）分析は日清製粉㈱製粉研究所による。1994～1995年度平均値。
2）はつもち、もち乙女、関東107号および白火は東北農試産、農林61号は群馬県産、チホクコムギは北海道産。コーンスターチとワキシーコーンスターチは市販品。
3）糊化由来吸熱特性は示差走査熱量解析装置で測定した。老化時のデータは4℃で2週間保存したものを使用した。To：糊化開始温度、Tp：糊化ピーク温度、Tc：糊化終了温度、ΔH：エンタルピー値（老化時の値が小さいほど、澱粉の老化が遅いことを示す）。

表13　高分子量グルテニンサブユニット構成成績

品種名	染色体			Glu-1 quality score
	1A	1B	1D	
はつもち	2*	7+9	2+12	7
もち乙女	n	7+8	145kDa+12	?*
標)キタカミコムギ	1	7+8	3+12	8
比)ナンブコムギ	1	7+8	4+12	7
比)ネバリゴシ	2*	17+18	2+12	8
比)コユキコムギ	2*	7+9	3+12	7
比)チホクコムギ	2*	17+18	4+12	7
参)1CW	2*	7+8	5+10	10

注.　1）1999年度。1CWはカナダ産。
2）＊：1Dの145kDa+12が評点化されていないため、算出できない。

よび1Dにおけるサブユニット構成はそれぞれNull、7＋8、145kDa+12で、1Dに日本品種に高頻度で存在する145kDaサブユニット（中村　2001）を持つ。製パン適性良否の指標とされるGlu-1 quality score（Payne *et al.* 1987）は、「はつもち」が7点であるが、「もち乙女」は145kDa+12が評点化されていないため不明である。

5）二次加工適性

（1）もち性小麦粉のブレンドによる製めん試験成績

育成地において、家庭用めん用小麦粉に「もち乙女」を10～50%ブレンドした製めん試験結果を、表14に示す。「もち乙女」のブレンド比率が高くなるにつれ、ゆで時間が短くなり、粘弾性と滑らかさは良くなる一方、色と外観は悪くなる。このため、官

表14　モチ性小麦「もち乙女」と市販粉とのブレンドによる製めん適性の改善効果

ブレンド組合せまたは品種名	サンプル量	食塩水量	ゆで時間	ゆでめん官能評価試験						
				色	外観	食感			食味	合計
						かたさ	粘弾性	滑らかさ		
	(g)	(mℓ)	(分)	(20)	(15)	(10)	(25)	(15)	(15)	(100)
標)市販粉100%	150	55	23	14.0	10.5	7.0	17.5	10.5	10.5	70.0
市販粉90%+もち乙女10%	135+15	56	21	13.9	10.4	6.6	17.4	10.8	10.4	69.4
市販粉80%+もち乙女20%	120+30	57	19	12.4	9.9	7.1	18.4	11.4	11.1	70.2
市販粉70%+もち乙女30%	105+45	58	17	12.0	9.9	6.9	18.9	11.6	11.1	70.4
市販粉60%+もち乙女40%	90+60	59	15	10.9	9.9	6.9	20.1	12.2	11.1	71.1
市販粉50%+もち乙女50%	75+75	60	13	9.9	9.7	6.6	20.5	12.0	10.8	69.5
比)もち乙女100%	150	63	6	8.6	8.9	6.9	22.1	11.9	9.6	67.9
比)ネバリゴシ	150	63	21	13.6	11.8	7.4	20.7	12.5	11.4	77.4

注.　1）2000年度の育成地試験成績。
2）市販粉としてN社の岩手県産ナンブコムギ主体の家庭用地粉を使用。ネバリゴシは低アミロースのめん用品種。
3）製めん試験法は「食品総合研究所（1997）小麦の品質評価法」に準じ、官能評価のパネラー数は11名である。

能評価の合計点はブレンド比率を変えてもあまり変わらない。

（2）もち性小麦粉のブレンドによる製パン試験成績

日清製粉（株）製粉研究所における「はつもち」の小麦粉のブレンドによる製パン試験成績を、表15に示す。製パン試験法はストレート法である。もち性小麦粉のブレンド比率が10%から20%に上がると、吸水率が上がり、生地が滑らかで、弾力があった。また、内相はやや丸目、やや膜厚となり、くすみが目立ったがしっとりとした触感となった。食感はもちもち感が強くなった。パンの外観は20%ブレンドでは若めになった。

表16に、育成地におけるもち性品種「もち乙女」とうるち性パン用品種「ハルイブキ」または「1CW」とのブレンド試験成績を示す。製パン試験は中種生地法である（吉川ら　1999）。もち性小麦粉20%をうるち性パン用小麦粉にブレンドにするとパン体積がやや増加し、パン内相が柔らかくてしっとりした触感となり、味およびもちもち感の向上して官能評価の向上し、最終的にパン総合評価点が高くなった。

以上の2場所の試験結果から、もち性小麦粉をうるち性パン用小麦粉に10～20%ブレンドすることにより、内相が柔らかくてしっとりとした触感となり、食感のもちもち感が強くなることから、もち性小麦の適量のブレンドはパンの内相および食感の品質改善が期待できると考えられる。

吉川ら（2000）は、もち性品種「もち乙女」と、高分子量グルテニンサブユニット5+10の有無を異にするうるち性パン用品種とをブレンドして、製パン適性の改良効果を検討した。その結果、5+10サブユニットを持つ品種とのブレンドでは、製パン性の改良効果は認められるが、5+10サブユニットを持たない品種とのブレンドでは、その効果は見られなかったと報告している。このため、もち性品種のブレンドによる製パン性改良には、5+10サブユニットを持つうるち性品種とブレンドする必要があると考えられる。

（3）もち性小麦粉のブレンドによるスポンジケーキ試験成績

日清製粉（株）製粉研究所における「はつもち」の小麦粉のブレンドによるスポンジケーキ試験（表17）では、もち性小麦粉の比率が上がると、粘性が上がり、内相がつまり、膜厚でべた付いた。また、食感はもち状でダンゴ状となり、口溶けが悪かった。10%ブレンドにより、しっとりとした食感になった。

3．配付先における試験成績

「はつもち」、「もち乙女」は、1996年度にそれぞれ「もち盛系C-D1478」、「もち盛系C-D1479」の試

表15　「はつもち」小麦粉のブレンドによる製パン試験成績

試　料	母体粉	「はつもち」小麦粉ブレンド量	
	100%	10%	20%
吸水率(%)	76.5	76.5	77.0
生地重量(g)	544	551	542
パン重量(g)	455	454	449
パン体積(mℓ)	1,820	1,900	1,830
外観(皮質)	滑らか	やや滑らか	やや若い
内相(す立ち)	やや膜薄	立目	やや丸目
		やや膜厚	やや膜厚
内相(触感)	ややソフト	しっとり	
		軽い	
食感, 香り		若干モチモチ	かなりモチモチ

注．1995年度。試験は日清製粉㈱製粉研究所による。

表16　「もち乙女」とうるち性品種・銘柄の「ハルイブキ」または「1CW」とのブレンドにによる製パン性の改良効果

ブレンド組合せまたは品種名	ブレンド比率 (%)	吸水性 (20)	作業性 (20)	パン体積 (cm³)	官能評価 触感 (5)	味 (15)	もちもち感 (5)	官能評価 (60)	パン総合評価点 (100)
もち乙女＋ハルイブキ	20+80	20.0	18.0	830	4.9	13.1	4.4	50.2	88.2
標)ハルイブキ	100	20.0	16.0	821	4.0	12.0	3.0	46.3	82.3
もち乙女＋1CW	20+80	20.0	20.0	910	4.9	13.5	4.3	53.7	93.7
標)1CW	100	20.0	20.0	881	4.5	13.0	3.0	52.3	92.3

注．1）2000年度育成地試験成績。1CWはカナダ産。ハルイブキと1CWは高分子量グルテニンサブユニット5＋10をもつ。
2）製パン試験法は中種生地法で、試験法は吉川ら（1999）による。官能評価の配点は日本イースト工業会パン用酵母試験法（1990）に準じた。なお、もちもち感は従来官能評価の項目にない。

表17　「はつもち」小麦粉のブレンドによるスポンジケーキ試験成績

試　料	母体粉	「はつもち」小麦粉ブレンド量	
	100%	10%	20%
ケーキ重量(g)	294	296	293
ケーキ容量(mℓ)	1,300	1,220	1,130
内相(す立ち)		ややツマリ	ややツマリ
	膜薄	やや膜厚	やや膜厚
内相(触感)	ソフト	ソフト	やや重い
		やや軽く	
食感、香り	口溶け良い	ややダンゴ	ダンゴ

注．1996年度。試験は日清製粉㈱製粉研究所による。

験系統番号段階で、東北、北陸、関東・東山、東海、近畿、四国、九州までの延べ18県、22の県農業試験場で系統適応性検定試験を行った。その後、1997年度に「東北糯210号」、「東北糯211号」の地方番号系統名を付け、関係各県に配付した1997～1998年度でも、延べ20県、24の県農業試験場で奨励品種決定調査が行われた。しかし、２系統とも収量性が低く、製粉性および粉色等が劣るため、2000年度までにほとんどの県で打ち切られ、最終的に採用される県はなかった。

１）栽培試験成績

系統適応性検定試験および奨励品種決定調査を合わせた、配付先における概評一覧を表18に示す（詳細な栽培試験成績は省略した）。

「はつもち」は、東北、北陸の各県においてうるち性の標準品種より出穂期、成熟期が早いが、関東、東海、四国および九州の各県では出穂期、成熟期ともやや遅い場所が多い。子実重は岩手、秋田、福井の各県を除いて、低収である。小粒で外観品質が劣る場所が多い。また、東北各県では、雪腐病と寒雪害の発生が多い傾向にある。

一方、「もち乙女」は、出穂期、成熟期は東北、北陸の各県では標準品種より早いが、関東、東海、四国および九州の各県では出穂期、成熟期では標準品種並の場所が多い。子実重は岩手、岩手県北を除いて低収である。やや小粒で、外観品質がやや劣る場所が多い。また、「はつもち」と同様に、東北各県では雪腐病と寒雪害の発生が多い傾向にある。

以上の結果、もち性２品種とも雪腐病、耐寒雪性、収量性および外観品質が劣る傾向にあった。

２）製粉および品質試験成績

上記の場所のうち17場所産の材料について、1996～1997年度に、育成地において製粉および品質試験を行った（表は省略）。製粉および品質試験の結果をまとめると、「はつもち」と「もち乙女」の品質特性は硬軟質性を除いて類似しており、各県のうるち性の標準品種に比べて、製粉性（製粉歩留、セモリナ粉砕率、ミリングスコア）および粉色がかなり劣り、60%粉の灰分含量と蛋白含量が高く、ポリフェノール含量がかなり高い。生地の吸水率はかなり高いが、生地をミキシングを続けるとだれやすい傾向がみられる。澱粉糊化特性は最高粘度時温度が低く、最高粘度が極めて高く、ブレークダウンも極めて大きく、糊化後のゲルが冷却しても固まりにくい（図３）。

２品種間の比較では、「もち乙女」の方が「はつもち」より製粉性を除いて、総じて品質が優れる傾向が見られた。

以上のように、各県農試産材料においても、今回初めて育成したもち性２品種は不良および良好な品質特性と持ち合わせているため、実用品種として栽培することは難しい。今後は、特に不良な製粉性、粉色の遺伝的改良を進め、うるち性並の優れた製粉性、粉色を持つもち性系統の育成を進める必要があると考えられる。

Ⅲ　もち性小麦の実証試験

「はつもち」および「もち乙女」は農業研究センター育成の「あけぼのもち」とともに、まだ系統名の段階において、1996～2000年度にかけて農林水産省農産課（現・生産流通振興課）による事業である「モチ性小麦の生産・利用技術実用化事業」の供試系統として用いられた。事業の目的は、もち性小麦を国産小麦にブレンドすることによりめんの品質を改善するため、その栽培特性、品質特性等の解明や安定多収栽培技術を開発するとともに、ブレンド技術の開発、新用途開発等を推進することである。全国６カ所（岩手県花巻市、茨城県八郷町、香川県高松市、福岡県瀬高町、佐賀県三日月町）において栽培実証試験が行われ、各地域における「モチ性小麦栽培マニュアル」が作成された。また、製粉会社において製粉および品質試験、二次加工業者により加工・利用試験が重ねられ、その間毎年報告書として取りまとめられた。

その結果、最終報告書である「モチ性小麦の生産・利用技術実用化事業報告書（2000年３月）」においては、以下の結論が下された。

表18 「はつもち」および「もち乙女」の配付先における概評一覧

品種名	農試名	試験年度					標準品種
		1996	1997	1998	1999	2000	
はつもち	青森県農業試験場	× 70	× 71	−	−	−	キタカミコムギ
	青森県畑作園芸試験場	× 86	× 85	−	−	−	キタカミコムギ
	岩手県農業研究センター	△139	× 90	−	−	−	ナンブコムギ
	岩手県農研県北農業研究所	△ 83	× 92	−	−	−	ナンブコムギ、コユキコムギ
	宮城県農業センター	△103	× 88	−	−	−	シラネコムギ
	秋田県農業試験場	○112	○ 92	△ 82	× 87	−	あきたっこ
	山形県立農業試験場	65	○ 97	△ 88	△109	× 60	ナンブコムギ
	福島県農業試験場	△ 93	× 65	−	−	−	トヨホコムギ
	福島農試会津支場	△102	△ 94	× 78	−	−	ワカマツコムギ、しゅんよう
	福島農試相馬支場	× 84	−	−	−	−	トヨホコムギ
	新潟県農業総合研究所	△ 82	× 81	−	−	−	コユキコムギ
	石川県農業総合試験場	△ 60	△ 98	−	−	−	ナンブコムギ
	福井県農業試験場	△102	△113	×137	−	−	ナンブコムギ
	茨城県農業総合センター	× 84	−	−	−	−	農林61号
	群馬県農業試験場	× 85	−	−	−	−	農林61号
	埼玉県農業試験場	△ 92	×-△ 75	−	−	−	農林61号
	長野県農事試験場	△ 74	× 85	−	−	−	シラネコムギ
	岐阜県農業技術研究所	○ 87	△ 80	× 68	−	△ 76	農林61号
	三重県農業技術センター	×-△ 86	−	−	−	−	農林61号
	鳥取県農業試験場	−	−	−	△ 75	× 69	農林61号
	徳島県農業試験場	△ 93	× 85	−	−	−	シラサギコムギ
	香川県農業試験場	83	△ 74	×-△112	−	−	ダイチノミノリ
	福岡県農業総合試験場	△ 91	× 87	−	−	−	農林61号
もち乙女	青森県農業試験場	× 99	× 31	−	−	−	キタカミコムギ
	青森県畑作園芸試験場	× 71	△ 97	−	−	−	キタカミコムギ
	岩手県農業研究センター	△139	△ 87	△102	× 81	−	ナンブコムギ
	岩手県農研県北農業研究所	△101	△102	△ 94	× 90	−	ナンブコムギ、コユキコムギ
	宮城県農業センター	△ 68	△ 95	△101	△ 99	−	シラネコムギ
	宮城県古川農業試験場	−	−	−	−	× 88	シラネコムギ
	秋田県農業試験場	× 89	−	−	−	−	あきたっこ
	山形県立農業試験場	83	△ 83	−	−	−	ナンブコムギ
	福島県農業試験場	○110	△ 64	× 42	−	−	トヨホコムギ
	福島農試会津支場	△ 98	−	−	−	−	ワカマツコムギ、しゅんよう
	福島農試相馬支場	△ 88	△ 51	×117	−	−	トヨホコムギ
	新潟県農業総合研究所	× 79	−	−	−	−	コユキコムギ
	石川県農業総合試験場	△ 61	△ 74	−	−	−	ナンブコムギ
	福井県農業試験場	△ 91	× 99	−	−	−	ナンブコムギ
	茨城県農業総合センター	△ 99	△ 80	△ 99	× 87	−	農林61号
	群馬県農業試験場	△106	△ 86	△ 73	−	−	農林61号
	埼玉県農業試験場	△ 96	×-△ 82	−	−	−	農林61号
	長野県農事試験場	△ 91	× 66	−	−	−	シラネコムギ
	岐阜県農業技術研究所	◎ 84	△ 39	−	−	△ 42	農林61号
	岐阜県中山間農業技術研究所	−	−	△ 72	× 59	−	キタカミコムギ
	三重県農業技術センター	×-△ 69	×111	−	−	−	農林61号
	奈良県農試高原分場	−	−	×124	−	−	きぬいろは
	鳥取県農業試験場	−	−		△ 84	△ 97	農林61号
	徳島県農業試験場	○ 113	× 66	−	−	−	シラサギコムギ
	香川県農業試験場	95	× 68	−	−	−	ダイチノミノリ
	福岡県農業総合試験場	× 96	−	−	−	−	農林61号

注. ◎：極有望、○：有望、△：再検討、×：打ち切り、数字は標準品種に対する収量指数（%）。
農試名は試験実施時点での名称を記載した。

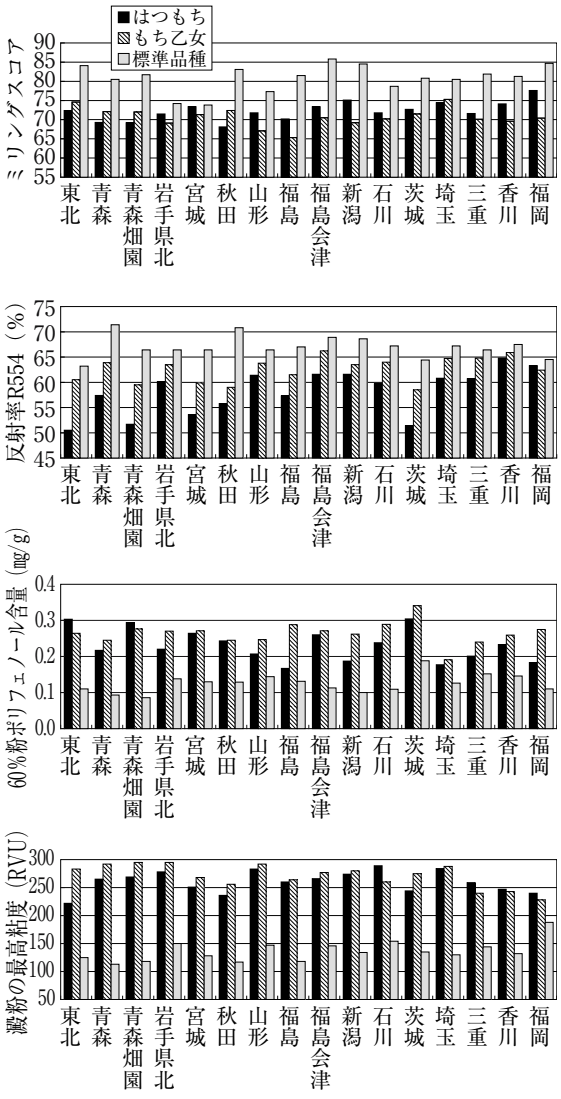


図3　「はつもち」、「もち乙女」および標準品種のミリングスコア、反射率R554（粉色の明るさ）、60%粉ポリフェノール含量及びラピッドビスコアナライザー（RVA）による澱粉の最高粘度における地域間差異（1996年度）

1．これまでに育成されたもち性小麦系統の現地栽培試験を、全国6ヵ所（岩手、茨城、埼玉、香川、福岡、佐賀）において10～30a規模で実施した。収量水準については、岩手県のようにもち性小麦が一般品種を上回る例もあったが、その他の県ではもち性小麦は一般品種の8～9割の水準となっており、栽培特性、品質面において不十分な点が見られた。

2．現地栽培で生産されたもち性小麦を利用して製粉試験を実施したが、色相において劣る傾向にあったほか、粉のふるい抜けが悪く、灰分含量も高い傾向にあるなど製粉性においても課題があった。

3．もち性小麦粉を一般の小麦粉にブレンドした場合、粘りやもちもち感が出て滑らかとなるが、ゆでめんにおいてその特徴を最も発揮できるブレンド率は20%であるとの評価結果が得られた。

4．現地栽培で生産されたもち性小麦を利用して、製粉企業、二次加エメーカー等において日本めんをはじめとした試作を実施し、以下のような評価が得られた。

1）生うどんは20%のブレンドで程良い粘弾性が出るが、ややくすみがある。冷凍うどんは10%のブレンドで外観、食慾、食味が好評価となった。日本そばは色、香り、風味、食味で評価がよいが、麺のかたさは不評である。なお、めんについては､ゆで時間が短縮される傾向にある。また、ブレンド率の増加につれ外観、食感の評価は低くなる。

2）菓子類は生地の膨らみを要する菓子への加工には適さないが、軽い食感を特徴とした焼菓子への応用で新規用途開発の可能性がある。せんべいは従来品と比べさくさく感があり、老人、子供向けとして評価できる。

5．技術の経営面等への効果として、関東糯121号（後の「あけぼのもち」）については6県で、東北糯210号（後の「はつもち」）および東北糯211号（後の「もち乙女」）については各2県で奨励品種決定調査試験を実施中であるが、これまでの系統はもち性小麦として世界初の系統であることから、栽培特性が十分改良されておらず、奨励品種として採用の予定はない。今後、収量性・製粉性、粉色に優れた新たなもち性品種の育成と品種特性に応じた栽培技術の確立が必要である。

6．普及上の留意点として、①2000年度より関東糯124号（後の「うららもち」）を配布し、12県で奨励品種決定調査試験に供試中であり、関東糯121号に比較し稈長、製粉歩留、粉色等が改善されている。また、東北系統についても2001年度より配布予定である。②今後育成されたもち性小麦の新系統においても、実需者と連携した製粉技術や新商品の開発を進めていくことが必要である。

Ⅳ もち性小麦の栽培特性、製粉性および粉色等の遺伝的改良

以上の試験結果から、もち性小麦は、うるち性小麦粉とのブレンドにより、めん、パンおよび菓子類の品質改善に有効な小麦であることが､実証された。しかし､今後もち性小麦品種を普及させるためには、収量性、外観品質等の栽培特性と、製粉性および粉色等の品質特性をうるち性にまで近づけるように遺伝的改良を行う必要があった。

そこで、育成地では、これらの特性を改良するため、1995年度以降､「はつもち」､「もち乙女」などやこれらとうるち性品種・系統との組合せのF_1を交配母本に用いて、これにうるち性品種・系統またはもち性系統を交配し、特性改良に取り組んだ。改良型のもち性小麦品種を早期に育成するために、以下のような方法で育種を進め、固定・選抜を図った。①うるち性の母本には、できるだけ耐寒雪性、耐病性、耐倒伏性が強い硬質で高製粉性、良粉色の品種・系統を用いる。②育種法は系統育種法を中心にして、初期世代（F_2～F_4種子）の内にもち性の種子・個体を選抜し、もち性個体・系統だけに揃えた段階で早晩性、耐寒雪性、耐病性、耐倒伏性および外観品質等の栽培特性を選抜する。③もち性小麦の製粉性はうるち性に比べ、特にセモリナ粉砕率が低く、ふるい抜けが悪いので、硬軟質性は軟質より硬質の方がふるい抜けが良く、製粉歩留も高い傾向があるので、F_2～F_4のもち性個体・系統は硬質のものを積極的に選抜する。④F_4～F_5の中期世代に、ブラベンダーテストミルを用いて、原麦150～250g程度を用いた製粉試験を行い、高製粉歩留、良粉色およびRVAによる最高粘度の高い系統を選抜する。⑤栽培特性、品質ともに良い系統は早めに生産力検定予備試験および生産力検定試験に入れて、生産力および品質を検定する。

育種を進めた段階で、以下のようないくつかの副次的な成果が得られた。

1．もち性種子の選抜は、従来、粒切断面のよう素呈色反応により行っていた（写真１）が、多大な労力と時間を必要とするため、多くの育種材料の選抜には向かない。そこで、よう素呈色反応でもち性を選抜する段階で、もち・うるち性と粒質（粉状質、中間質、硝子質）との間の関係を検討したところ、もち性種子は粒質がほとんど粉状質であったので、初期世代の内に粉状質粒を選抜することにより，もち性種子を高い確率で簡易に選抜できるという成果が得られた（吉川ら 1997)。

2．「東北糯210号」､「東北糯211号」の品質の地域間差を検討した結果、今後，もち性育種においてより一層の高品質化を図るためには，硬質で，製粉歩留およびセモリナ粉砕率が高く，粉色が優れ，しかも難穂発芽性で低アミロになりにくい高アミロ値のもち性系統を選抜する必要があることがわかった（吉川ら 1998)。

3．もち性個体・系統は上記のように原麦は粉状質であるため、うるち性のように粒外観だけである程度硬軟質性が判定できるということはない。製粉して粉の比表面積を測定すれば確実に硬軟質性が判定できるが、この方法では原麦を多く必要とし、初期世代の選抜に向かない。そこで、初期世代に適用できる硬軟質性の簡易選抜法を開発するため、従来、製粉前に原麦水分を調査する段階で使用していた手動粉砕器（ケット科学製）を用いて、粒の砕け方と硬軟質の関係を検討した結果、もち性、うるち性ともに粒の砕け方で硬軟質性が高確率で簡易に判定できることが明らかになった（吉川ら 1999)。この簡易選抜法により、実際に硬質・もち性系統を選抜したところ、製粉歩留の向上に効果があった（表省略)。

4．粉色は、従来、製粉した小麦粉を用いて、分光光度計または分光測色色差計により測定したが、製粉に原麦を多く必要とし、製粉作業および粉色測定作業を含めると多大な労力と時間がかかる。そこで、小麦粉成分で粉色が選抜できないか検討した。藤田ら（2000）は、大麦では搗精麦の加熱後白度は搗精麦のポリフェノール含量との間に負の高い相関があることが報告している。そこで、小麦にもこれが適用できないか検証したところ、大麦と同様に、小麦でも粉の明るさ（R554）および粉の白さ（R455）と小麦粉のポリフェノール含量との間に高い正の相関係数が認められた。また、低アミロース系統やもち性の品種・系統はアミロース含量が普通の品種・系統に比べ、ポリフェノール含量が高い傾向が認められ、特にもち性の品種・系統は著しかった（小綿ら 2000)。また、もち性

小麦はうるち性小麦に比べ小麦粉のポリフェノール含量が高く、うるち性より一般に製粉性・粉色が劣るもち性では、低ポリフェノール化が重要であった（吉川ら　2001）。Takata *et al.*（2005）も、パン用小麦「春のあけぼの」のもち性準同質遺伝子系統（NIL）は「春のあけぼの」より粉の明るさ（L*）が低いが、これは高灰分含量と高ポリフェノール含量に関係していると報告している。

以上の簡易選抜法を含めた、もち性小麦の選抜手順をとりまとめ、表19に示した。東北農業研究センターでは、この選抜手順に従って選抜を進め、2001年度に、交配から約6年で「東北糯216号」および「東北糯217号」を育成した。これらの2系統は「はつもち」、「もち乙女」に比較して、栽培特性は出穂期はやや遅いが、成熟期は同程度で早生である。寒雪害が少なく、かなり多収である。特に、東北糯217号はうるち性の「キタカミコムギ」と同程度の収量性がある（表20）。

また、製粉および品質特性は、2系統とも製粉歩

表19　製粉性、粉色等が優れた高品質もち性小麦品種の選抜手順

品質選抜形質	選　抜　手　順	世　代
	もち性品種と栽培特性が優れた硬質・高製粉性・良粉色のうるち性品種との交配（単交配、三系交配）	交配
	↓	
もち・うるち性	もち性粒選抜（切断粒よう素呈色反応または粉状質粒選抜）	F_1 ～ F_3
	↓　←　栽培特性選抜（特に耐寒雪性、耐病性、外観品質）	
硬軟質性	硬質個体・系統選抜（手動粉砕器による）	F_2 ～ F_4
	↓　←　栽培特性選抜（特に立毛、耐寒雪性、耐病性、外観品質）	
硬軟質性、製粉歩留、粉色、ポリフェノール含量	高製粉歩留系統選抜（ブラベンダーテストミル製粉試験）粉の低ポリフェノール含量及び良粉色系統選抜	F_4 ～ F_5
	↓　←　栽培特性選抜（特に立毛、穂発芽抵抗性、外観品質）	
製粉性	生産力検定予備試験に供試	F_5 ～ F_6
粉色、粉品質	生産力、製粉及び品質検定（製粉はビューラーテストミル）	
	↓　←　系統適応性検定試験、特性検定試験	
	（栽培特性及び品質特性を改良したもち性系統の育成）	
製粉性、粉色	生産力検定試験に供試	F_6 ～ F_{10}
粉品質、生地物性、	生産力、製粉及び品質検定（製粉はビューラーテストミル）	
二次加工適性	↓　←　奨励品種決定調査、特性検定試験	
	↓　←　一次、二次加工適性の実需者評価	
	↓　←　メーカー等との加工利用協同研究	
	栽培特性が優れ、硬質・高製粉性・良粉色で加工適性が優れたもち性新品種の育成	

表20　耐寒雪性、収量性等を改良したもち性系統の栽培特性

栽培様式	系統名または品種名	出穂期（月日）	成熟期（月日）	倒伏程度	寒雪害	凍上害	縞萎縮病	赤さび病	うどんこ病	赤かび病	穂発芽性	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	a当り子実重（kg/a）	同左標準比率（%）	リットル重（g）	千粒重（g）	外観品質
条播標準栽培	東北糯216号	5.18	7.5	2.3	1.4	0.5	0.0	1.9	1.0	0.3	難	96	7.8	411	42.7	136	771	36.4	4.1
	東北糯217号	5.17	7.6	1.3	1.6	0.3	0.0	0.3	0.3	0.3	やや難	84	8.3	411	42.4	135	776	37.0	4.1
	標）はつもち	5.14	7.6	0.3	2.1	0.8	0.0	1.4	0.6	0.2	難	92	7.7	343	31.3	100	708	32.7	8.2
	比）もち乙女	5.12	7.4	0.5	3.1	1.4	0.0	1.3	0.9	0.8	難	75	6.2	251	22.1	71	754	37.3	4.8
	比）ｷﾀｶﾐｺﾑｷﾞ	5.23	7.11	1.5	1.8	0.6	0.6	1.1	0.6	0.3	やや易	90	8.8	334	42.7	136	794	40.9	3.3
	比）ﾅﾝﾌﾞｺﾑｷﾞ	5.21	7.7	2.2	1.9	0.6	3.1	2.1	0.8	0.1	難	86	9.8	343	27.2	87	786	41.2	4.1
ドリル播栽培	東北糯216号	5.18	7.5	3.1	1.3	0.8	0.0	1.1	0.4	0.3	−	106	8.0	545	51.3	131	764	35.6	4.7
	東北糯217号	5.17	7.5	1.0	1.3	1.0	0.0	0.0	0.4	0.4	−	91	7.9	545	59.8	153	765	36.6	3.8
	標）はつもち	5.14	7.6	0.6	1.8	0.9	0.0	0.8	0.3	0.0	−	97	7.3	496	39.1	100	716	32.2	8.5
	比）もち乙女	5.12	7.5	0.0	3.5	1.9	0.0	1.0	0.7	0.7	−	85	6.6	353	36.9	94	765	42.1	3.8
	比）ｷﾀｶﾐｺﾑｷﾞ	5.22	7.11	2.0	1.5	0.5	0.6	1.0	0.9	0.3	−	97	8.6	483	59.4	152	764	39.5	4.0
	比）ﾅﾝﾌﾞｺﾑｷﾞ	5.20	7.7	2.7	1.8	0.7	3.3	1.3	0.3	0.2	−	95	10.0	466	31.4	80	774	42.5	4.1

注.　1）試験年度は条播が1998～2001年度の平均値、ドリル播が1999～2001年度の平均値。
　　2）倒伏程度、寒雪害、凍上害及び病害は0（無）～5（甚）で判定。外観品質は1（上上）～9（下下）。

表21　製粉性、粉色等を改良したもち性系統の製粉、品質および生地物性試験成績（育成地）

栽培様式	系統名または品種名	製粉歩留	セモリナ粉砕率	ミリングスコア	60％粉							アミログラム		ファリノグラム				
					灰分含量	蛋白含量	アミロース含量	比表面積	ポリフェノール含量	反射率		MV	BD	Ab	DT	Stab	Wk	VV
										R455	R554							
		(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	(㎠/g)	(mg/g)	(%)	(%)	(B.U.)	(B.U.)	(%)	(min)	(min)	(B.U.)	
条播標準栽培	東北糯216号	71.3	79.1	83.4	0.41	13.9	0.0	2,231	0.218	51.4	63.4	922	596	78.1	6.3	3.6	123	56
	東北糯217号	68.7	76.6	80.2	0.43	12.6	0.4	2,597	0.234	51.0	62.9	885	633	77.2	6.2	3.8	117	56
	標)はつもち	63.0	68.7	70.5	0.54	13.4	0.4	2,107	0.369	44.4	55.8	504	388	75.5	5.4	2.9	153	50
	比)もち乙女	62.2	67.1	71.6	0.50	14.3	0.2	3,917	0.377	48.9	61.0	739	547	78.8	7.0	3.7	148	58
	比)ｷﾀｶﾐｺﾑｷﾞ	72.0	80.1	81.5	0.47	10.9	28.4	3,156	0.204	53.4	66.1	897	182	58.0	4.3	6.1	50	56
	比)ﾅﾝﾌﾞｺﾑｷﾞ	67.5	74.1	77.6	0.47	12.6	26.1	3,522	0.236	50.8	65.1	1,026	360	59.0	4.0	4.0	85	50
ドリル播栽培	東北糯216号	68.6	76.7	80.8	0.41	12.2	0.2	2,285	0.188	50.4	61.7	745	517	78.8	5.9	3.2	155	50
	東北糯217号	68.2	78.0	82.5	0.38	10.4	0.7	2,700	0.163	50.3	61.8	813	627	75.6	5.3	3.4	145	48
	標)はつもち	63.8	71.3	72.7	0.51	11.4	0.8	2,265	0.282	41.8	53.6	518	373	75.9	3.4	2.5	210	31
	比)もち乙女	62.6	70.7	73.8	0.47	11.7	0.7	3,900	0.283	48.2	60.2	574	465	74.4	4.4	3.2	150	43
	比)ｷﾀｶﾐｺﾑｷﾞ	71.7	82.8	83.7	0.42	9.2	28.5	3,350	0.159	52.8	65.8	978	272	57.1	3.1	5.1	65	50
	比)ﾅﾝﾌﾞｺﾑｷﾞ	68.3	77.4	78.7	0.43	11.8	26.1	3,705	0.176	49.6	64.3	1,035	462	61.3	3.8	5.2	95	46

注.　1）試験年度は条播が1998～2000年度の平均値、ドリル播が1999、2001年度の平均値。
　　2）アミログラム、ファリノグラムの記号は表10を参照。

留、セモリナ粉砕率およびミリングスコアはいずれもかなり高く、これらの特性はうるち性の「ナンブコムギ」並かそれ以上の値を示す。60%粉の灰分含量およびポリフェノール含量は、2系統ともうるち性品種並に低い。60%粉比表面積は硬質の「はつもち」並かやや大きいが、軟質の「もち乙女」より小さく、2系統とも硬軟質性は硬質に分類される。灰分含量とポリフェノール含量が低いので、R455（粉の白さ）とR554（粉の明るさ）もともに高く、「はつもち」に比べるとかなり高い。アミログラムMV（最高粘度）は高く、BD（ブレークダウン）が大きい（表21）。

改良型のもち性2系統は上記の特性を持つので、耐倒伏性、耐病性等まだ改良すべき特性はあるものの、所期の目標を達成できたものと考えられる。早く改良型系統を育成できた要因として、主に品質の簡易選抜法を適時開発して取り入れ、合理的かつ効率的に選抜できたことが上げられる。

「東北糯216号」および「東北糯217号」は、2002年度以降、東北各県を中心に奨励品種決定調査で地域適応性が検討された。そして、「東北糯216号」は2006年度に「もち姫」と命名され、青森県で奨励品種に採用された（谷口ら　2008）。

引 用 文 献

1）Bietz, J. and Wall, J. S. 1972. Wheat gluten subunits: molecular weights determined by sodium dodecyl sufate-polyacrylamide gel electrophoresis. Cereal Chem. 49：416-430.

2）Blackman, J. A. and Payne, P.I. 1987. Grain quality. (Lupton, F.G.H. ed. Wheat breeding-Its scientific basis.). Chapman and Hall. p. 455-485.

3）藤田雅也, 武田和義, 神山紀子, 土門英司, 土井芳憲. 2000. オオムギにおける穀粒の加熱褐変とポリフェノール含量の品種間差異. 四国農試報 65：9-16.

4）藤田雅也, 乙部（桐淵）千雅子, 松中　仁, 関　昌子, 吉岡藤治, 柳澤貴司, 吉田　久, 長嶺　敬, 山口勲夫. 2007. 収量性および製粉性が改善されたもち性小麦品種「うららもち」の育成. 作物研研報　8：109-129.

5）星野次汪. 1995. 世界初, モチ性小麦を育成 －うどんの‘こし’を飛躍的に改善－ 研究ジャーナル　19 (3)：9-11.

6）Hoshino, T.; Ito S.; Hatta, K.; Nakamura, T. and Yamamori, M. 1996. Development of waxy common wheat by haploid breeding. Breeding Science 46：185-188.

7）Juliano, B. O. A. 1971. A simplified assay for

milled-rice amylose. Cereal Sci. Today. 16：334-360.
8）小綿美環子, 中村和弘, 吉川　亮. 2000. コムギの粉色およびめん色に及ぼすポリフェノール含量の影響. 日作紀　69（別2）：314-315.
9）中村　洋. 2001. 日本のコムギ品種に特有な種子貯蔵タンパク質グルテニン高分子量サブユニットの遺伝変異とその育種的意義に関する研究. 作物研報　2：1-38.
10）Nakamura, T.; Yamamori, M.; Hidaka, S. and Hoshino, T. 1992. Expression of HWM Wx protein in Japanese common wheat（*Triticum aestivum* L.）cultivars. Japan. J. Breed. 42：681-685.
11）Nakamura, T.; Yamamori, M.; Hirano, H. and Hidaka, S. 1993 a. Identification of three Wx protein in wheat（*Triticum aestivum* L.）. Biochem. Genet. 31：75-86.
12）Nakamura, T.; Yamamori, M.; Hirano, H. and Hidaka, S. 1993 b. Decrease of waxy (Wx) protein in two common wheat cultivars with low amylose content. Plant Breed. 111：99-105.
13）Nakamura, T.; Yamamori, M.; Hirano, H.; Hidaka, S. and Nagamine, T. 1995. Production of waxy (amylose-free) wheats. Mol. Gen. Genet. 248：253-259.
14）日本イースト工業会. 1990. パン用酵母試験法. イースト技報　60：85-102.
15）農林水産技術情報協会. 1998. 種苗特性分類調査（小麦）の審査基準（案）.（平成 9 年度種苗特性分類調査報告書　小麦）. p.4-45.
16）農林水産技術会議事務局. 1968. 小麦品質検定方法－小麦育種試験における－. 研究成果　35：1-70.
17）農産業振興奨励会編. 2000. モチ性小麦の生産・利用技術実用化事業報告書（平成12年 3 月）. 農産業振興奨励会.
18）Oda M.; Yasuda Y.; Okazaki S.; Yamauchi Y. and Yokoyama Y. 1980. A method of flour quality assessment for Japanese noodles. Cereal Chem. 57：253-254.
19）Payne, P. I.; Nightngale, M. A.; Krattiger, A. F. and Holt, L. M. 1987. The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of British-grown wheat varieties. J. Sci. Food Agric. 40：51-65.
20）食糧庁. 1997. 国内産小麦の評価に関する研究会報告書－小麦のめん（うどん）適性評価法－. p16-25.
21）栃木県農業試験場栃木分場ビール麦醸造用品質改善指定試験地. 1998. 品質改良のためのビール麦品質検定法　第 3 版. p.22-23.
22）Takata K.; Nishio Z.; Tabiki T.; Funatsuki W. and Yamauchi H. 2005. Comparison of quality characteristics of waxy wheat using a near isogenic line. Breeding Science 55：87-92.
23）谷口義則, 伊藤裕之, 平　将人, 前島秀和, 吉川　亮, 中村和弘, 八田浩一, 中村　洋, 伊藤美環子, 伊藤誠治. 2008. 製粉性,粉の色相及び収量性が改善された寒冷地向けもち性小麦新品種「もち姫」の育成. 東北農研研報　109：15-29.
24）山口勲夫, 乙部（桐淵）千雅子, 柳澤貴司, 長嶺敬, 牛島智彦, 吉田　久. 2003. もち性小麦品種「あけぼのもち」及び「いぶきもち」の育成とその特性. 作物研報　3：21-33.
25）Yamamori, M.; Nakamura, T.; Endo R. and Nagamine, T. 1994. Waxy protein defiency and chromosomal location of coding genes in common wheat. Theor. Appl. Genet. 89：179-184.
26）Yamamori, M.; Nakamura, T. and Kiribuchi-Otobe, C. 1998. Waxy protein alleles in common and emmer wheat germplasm. Misc. Publ. Natl. Inst. Agrobiol. Resour. 12：57-104.
27）吉川　亮, 八田浩一, 伊藤誠治, 中村和弘. 1997. 小麦の粒質によるモチ性種子の簡易選抜法. 東北農業研究　50：89-90.
28）吉川　亮, 八田浩一, 中村和弘, 中村　洋. 1998. モチ性小麦「東北糯210号」,「東北糯211号」の製粉性及び品質の地域間差. 東北農業研究　51：95-96.
29）吉川　亮, 中村　洋, 中村和弘, 八田浩一. 1999. 中種生地法による小麦製パン適性の品種・系統間差異. 東北農業研究　52：87-88.
30）吉川　亮, 中村和弘, 八田浩一. 1999. コムギのもち性及び硬軟質性の簡易選抜法. 育種学研究 1（別1）：147.
31）吉川　亮, 中村和弘, 八田浩一. 2000. 製パン性・

生地物性の異なる小麦品種・系統のブレンドによる製パン性の向上技術. 東北農業研究　53：81-82.

32）吉川　亮, 伊藤美環子, 中村和弘. 2001. 小麦品種・系統における小麦粉のポリフェノール含量と製粉性及び小麦粉品質との関係. 育種学研究 3(別1)：140.

付表　「はつもち」および「もち乙女」の育成従事者

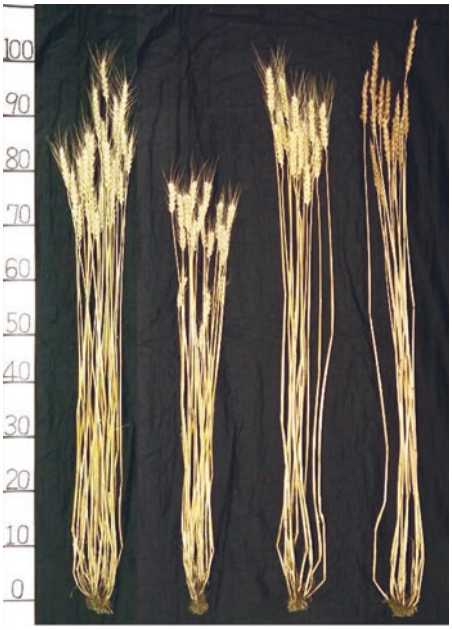
年　度	1993			1994			1995	1996	1997	1998	1999	2000
世　代	交配	F_1	DH_1	DH_2	DH_3	DH_4	DH_5	DH_6	DH_7	DH_8	DH_9	DH_{10}
吉川　亮							○	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	○
八田　浩一	○	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	○	
中村　和弘								○	┈┈	┈┈	┈┈	○
中村　洋									○	┈┈	○	
伊藤　誠治	○	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	○				
中村　俊樹	○	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	○						
星野　次汪	○	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	○						
山守　誠	○	┈┈	┈┈	┈┈	┈┈	○						

注．上記の他に、企画連絡室業務第１科職員が技官として圃場管理及び品質試験に従事した。

はつもち（もち性）　　ナンブコムギ（うるち性）

写真１　もち性小麦「はつもち」およびうるち性小麦「ナンブコムギ」の原粒とよう素・よう化カリウム水溶液で呈色した粒切断面

草　姿



左から、はつもち、もち乙女、キタカミコムギ(標準)、ナンブコムギ(比較)

穂及び子実

左から、はつもち、もち乙女、キタカミコムギ(標準)、ナンブコムギ(比較)

写真２　「はつもち」および「もち乙女」の草姿、穂及び子実

はつもち

もち乙女

登熟中期　　成熟期

写真 3　「はつもち」および「もち乙女」の立毛状態（育成地、1996年 6 月）
「はつもち」は耐寒雪性が中で穂数を確保しやすいに対し、「もち乙女」は耐寒雪性が弱いため寒雪害を受けやすく、十分な穂数が確保できない。

寒冷地向け大麦品種「シンジュボシ」の育成とその特性

吉川　亮[*1]・中村　和弘[*2]・伊藤美環子[*1]・伊藤　裕之[*2]
佐藤　暁子[*4]・伊藤　誠治[*5]・八田　浩一[*6]・中村　洋[*7]
星野　次汪[*3]

抄　録：「シンジュボシ」は、1992年5月に東北農業試験場（現・東北農業研究センター）において、渦性、早生・短強稈で炊飯白度の高い「東北皮30号」を母とし、並性で極早生・短強稈の「シュンライ」を父として人工交配を行い、以降集団育種法で選抜・固定を図ってきたものである。2003年2月に皮麦農林36号「シンジュボシ」として命名登録を行った。

標準品種の「ミノリムギ」に比較して次のような特徴を持つ。播性はⅣで、出穂期、成熟期ともに2日程度早い早生の晩である。稈長は同程度で、穂長はやや短く、穂数は少ない。耐寒雪性と耐倒伏性は同程度のやや強で、耐凍上性は同程度の強である。穂発芽性はやや難である。小さび病、うどんこ病、赤かび病は中で同程度である。収量はやや少ない。千粒重は大きく、リットル重はやや大きい。外観品質は優れる。55%搗精時間はやや短く、55%搗精白度が高く、精麦適性は優れる。精麦のポリフェノール含量はやや低く、炊飯後の褐変が少なくて炊飯白度は高く、炊飯適性が優れる。

本品種の栽培適地は、東北・北陸地域の根雪期間80日以下の平坦地である。

キーワード：六条大麦、品種、早生、精麦適性、炊飯適性、ポリフェノール含量

A New Six-rowed Barley Cultivar, "Shinjuboshi", with Early Maturity and Good Pearled and Boiled Qualities

Ryo YOSHIKAWA[*1], Kazuhiro NAKAMURA[*2], Miwako ITO[*1], Yusuke ITO[*2], Akiko SATO[*4], Seiji ITO[*5], Koichi HATTA[*6], Hiro NAKAMURA[*7] and Tsuguhiro HOSHINO[*3]

Abstract : A new six-rowed cultivar, "Shinjuboshi", was developed at the National Agricultural Research Center for Tohoku Region, NARO (Morioka city, Iwate Prefecture, Japan) in 2003. "Shinjuboshi" was selected from lines of a cross of "Tohokukawa 30"/"Syunrai" by the bulk breeding method, aiming at a new cultivar with early maturity, high-yielding ability, cold and snow resistance, and good pearled grain qualities. A promising line was named "Tohokukawa 34" in the F_7 generation to be submitted to local adaptability trials at various locations. "Tohokukawa 34" was registered at "Kawamugi Norin 36" by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries and in 2003 was named "Shinjuboshi."

"Shinjuboshi" is characterized by early maturity, moderate-yielding ability, good pearled grain whiteness, good boiled grain whiteness, and low polyphenol content of pearled grain in comparison with a leading cultivar "Minorimugi." Also, the lodging resistance, cold and snow resistance, powdery mildew resistance and scab resistance of "Shinjuboshi" are similar to those of "Minorimugi." Judging from the characteristics of "Shinjuboshi," it can adapt to plains with less than 80 days of continuous snow cover in the Tohoku and Hokuriku regions of Japan.

＊1）現・北海道農業研究センター（National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Memuro, Hokkaido, 082-0081, Japan）
＊2）東北農業研究センター（National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan）
＊3）現・岩手大学農学部寒冷フィールドサイエンス教育研究センター（Field Science Center, Faculty of Agriculture, Iwate University, Takizawa, Iwate, 020-0173, Japan）
＊4）元・東北農業試験場（Retired, Tohoku National Agricultural Experiment Station, Morioka, Iwate 020-0198, Japan）
＊5）現・中央農業総合研究センター北陸研究センター（Hokuriku Research Center, National Agricultural Research Center, Jyoetsu, Niigata, 943-0193, Japan）
＊6）現・九州沖縄農業研究センター（National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Chikugo, Fukuoka, 833-0041, Japan）
＊7）現・作物研究所（National Institute of Crop Science, Tukuba, Ibaraki 305-8518, Japan）
2008年８月11日受付、2008年12月16日受理

Key Words : Six-rowed barley, New cultivar, Early maturity, Pearled grain quality, Boiled cooking quality, Polyphenol content

Ⅰ 緒　　言

従来、東北地域の大麦は飼料用が主体であったが、麦の民間流通移行に伴い、飼料用大麦制度が廃止されたため、大麦は飼料用品種から食用品種への早急の転換が求められている。大麦食用品種は、麦飯として米に混ぜて炊飯される場合が多いが、従来の大麦品種は炊飯すると褐変して、米の色に比べて明らかに色が劣るので、炊飯した時の白度が米に近いくらいに高いことが重要である。このため、精麦適性および炊飯適性（特に炊飯白度）がともに優れた、寒冷地向け早生・多収の新品種育成が早急に必要である。

精麦適性が優れた寒冷地向け品種として、すでに「シュンライ」、「ファイバースノウ」等が育成されているが、炊飯白度が特に高い品種の育成はこれまでになされていない。炊飯白度（加熱後白度）は搗精麦のポリフェノール含量との間には負の高い相関があることが報告されている（藤田ら　2000、吉川ら　2000）。また、このポリフェノール含量の遺伝的変異または品種・系統間差異が大きいことも報告されている（Fujita *et al.* 2002、吉川ら　2000）。そこで、炊飯白度が高いことを第１の育種目標において、品質試験には従来の搗精試験の他に、新たにビーカーによる炊飯試験と搗精麦ポリフェノール含量の測定を取り入れて、ポリフェノール含量が低く、精麦適性および炊飯白度がともに高い優良系統の選抜を行った。その結果、2002年度に、早生で精麦適性および炊飯白度がともに高い新品種「シンジュボシ」を育成した。本研究報告では、「シンジュボシ」の育成経過、特性概要を中心に紹介する。

本品種の育成にあたり、系統適応性検定試験、特性検定試験および奨励品種決定調査については関係各県農業試験場の担当者各位、現地試験については関係各県農業改良普及センターの担当者各位の多大な御協力をいただいた。育成を進める上では、東北農業試験場（東北農業研究センター）企画連絡室業務第１科職員の佐々木昭吉、武蔵マサ、小木田俊幸、斉藤幸次郎、広田雅昭、関村良蔵、木村力也、斎藤文隆、藤沢敏彦、古澤久男、谷藤彰、齋藤真一および佐藤敏幸の各氏が圃場管理および・品質試験に従事した。また、多くの臨時職員が圃場管理補助、研究補助として従事した。元作物開発部長の番場宏治博士および酒井真次氏、前作物機能開発部長宮川三郎博士からは多くの御助言・御指導をいただいた。品質評価では、全国精麦工業協同組合連合会の御協力をいただいた。これらの方々に深甚の謝意を表する。

Ⅱ　来歴および育成経過

育種目標は、早生・多収、耐寒雪性および良質とした。1991年度（以下、年度は播種年度を表す）に東北農業試験場作物開発部麦育種研究室（現・東北農業研究センターパン用小麦研究東北サブチーム、以下「育成地」と略す）において、渦性、早生・短強稈で炊飯白度の高い「東北皮30号」を母とし、並性で早生・短強稈で精麦適性の優れた「シュンライ」を父として人工交配を行った（表１、図１）。以後、集団育種法で選抜・固定を図ってきたものである。

選抜経過は表２に示した。各世代の概略は次のとおりである。

交配（1991年度）：「東北皮30号」／「シュンライ」の組み合わせの人工交配を行い、44粒の交配種子を得た。

F_1 世代（1992年度）：44個体を栽植し、F_1植物を養成した。

F_2～F_4 世代（1993～1995年度）：集団育種法によって世代を進めた。F_2～F_3世代は条播栽培により3000個体を養成し、無選抜で全刈採種した。F_4世代（1995年度）は１粒播栽培による1000個体の集団の中から、並性で早熟・良穂の27個体を選抜した。

F_5 世代（1996年度）：27系統を１粒播栽培により系統栽培した。また、このらの系統の内、前年度に採種量が多かった25系統に、「盛系C-182」～「盛系C-206」の系統名を付けて、生産力検定予備試験にも供試した。27系統の内、栽培特性および精麦適性の優れた12系統を選抜した。

表1　「シンジュボシ」の両親の特性

（形態的特性）

系統名 品種名	叢性	粒着疎密	穂の下垂度	芒長	並渦性	糯粳性	皮裸性	条性	粒大
(♀)東北皮30号	やや匍匐	密	直	やや短	渦	粳	皮	六条	中
(♂)シュンライ	やや匍匐	やや密	直	やや長	並	粳	皮	六条	やや大
シンジュボシ	やや匍匐	中	やや垂	やや長	並	粳	皮	六条	大

（生態的特性）

系統名 品種名	播性程度	茎立性	出穂期	成熟期	穂発芽性	耐倒伏性	耐寒性	耐雪性	粒質	うどんこ病抵抗性	赤かび病抵抗性	小さび病抵抗性	収量性
(♀)東北皮30号	Ⅳ	中	中	中	難	強	中	やや弱	中間	やや強	中	弱	中
(♂)シュンライ	Ⅱ	やや早	やや早	やや早	やや易	強	やや弱	弱	中間	やや弱	やや弱	弱	多
シンジュボシ	Ⅳ	やや早	やや早	やや早	中	やや強	中	やや弱	中間	中	中	弱	やや多

（品質特性）

系統名 品種名	搗精時間	搗精白度	炊飯白度
(♀)東北皮30号	やや長	やや大	大
(♂)シュンライ	やや短	大	中
シンジュボシ	中	大	大

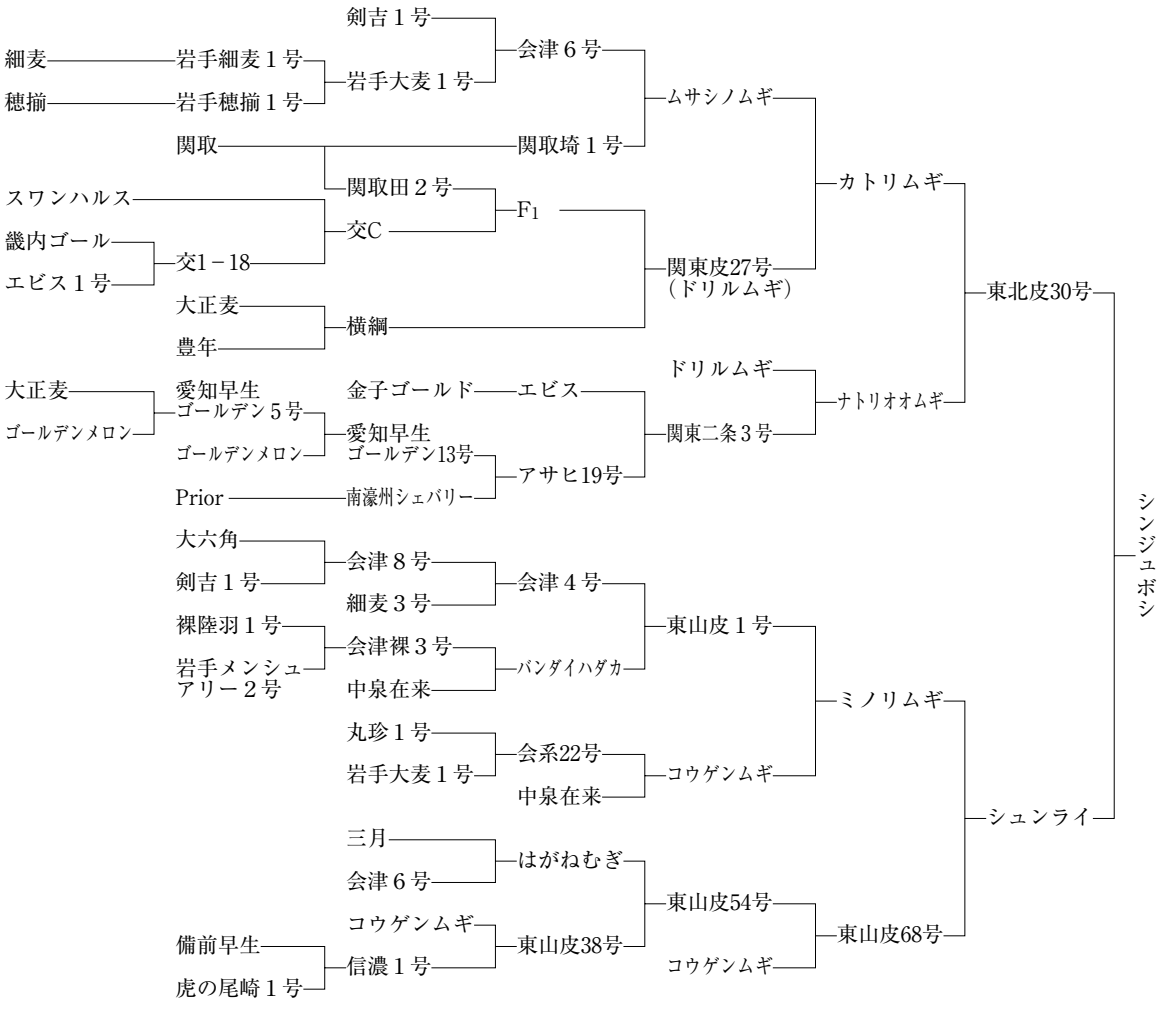


図1　「シンジュボシ」の系譜

表２　「シンジュボシ」の選抜経過

播種年度		1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
世代		交配	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
供試	系統群数							12	2	3	2	2
	系統数	44粒	44個体	3000個体	3000個体	1000個体	27	51	15	9	15	15
選抜	系統群数							1	1	3	2	2
	系統数						12	2	3	3	2	5
	個体数					27	51	15	9	15	15	25
生産力検定	予備試験						標準栽培					
	本試験							標準栽培	標準栽培 ドリル播	標準栽培 ドリル播	標準栽培 ドリル播	標準栽培 ドリル播
特性検定試験								2	2	6	6	6
系統適応性検定試験								4				
奨励品種決定調査									10	11	12	9
備考				集団栽培	集団栽培	集団栽培	盛系C-191号		東北皮34号			

F_6 世代（1997年度）：12系統を系統栽培するとともに、その中で特に有望な「盛系C-191」、「盛系C-201」および「盛系C-205」の３系統は、系統適応性検定試験（青森畑園試、秋田農試、福島農試、石川農総試）および特性検定試験（岩手農研センター（耐寒雪性）、長野中信農試（凍上抵抗性））を行った。

F_7～F_{10} 世代（1998～2001年度）：「盛系C-191」は、前年度の系統適応性検定試験および特性検定試験において比較的良好な成績が得られ、また精麦適性も優れていた。このため、1998年度から本系統に「東北皮34号」の地方番号系統名を付して、東北、北陸、東山、東海地域における13の県農業試験場の奨励品種決定調査に配付し地域適応性を検討した。また、系統・個体選抜を行い固定度を高めるとともに、生産力検定試験の条播標準栽培およびドリル播栽培において生産力および品質を調査した。さらに、特性検定試験の上記２場所の他に、作物研究所の赤かび病の特性検定試験にも供試した。その結果、宮城県で良好な成績が得られたので、2002年９月に宮城県で奨励品種に採用された。また同時に、品種登録出願および命名登録を行い、2003年２月に皮麦農林36号「シンジュボシ」と命名され、2005年12月に種苗法に基づく品種登録が行われた（登録番号第13528号）。育成終了の2002年８月で、世代は雑種第10代（F_{10}）である。その後、採用県の宮城県では、2007年２月に県の事情により奨励品種廃止が決定された。

Ⅲ　特性概要

大麦種苗特性分類調査報告書（1980）の基準による形態的特性、生態的特性および品質特性の概要を表３に示した。その主な特性概要は次のとおりである。

１．形態的特性

叢性は“やや匍匐”、株の開閉は“開”、並渦性は“並性”で、稈長は“やや長”である。葉色は“やや濃”である。穂長は“中”、粒着の疎密は“中”、条性は“六条”、穂の下垂度は“やや垂”である。芒の有無と多少は“多”、芒長は“長”、ふ色は“淡黄”である。粒の形は“中”、粒の大小は“大”である。千粒重は“大”で、「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」より大きい。リットル重は“やや大”で、「ミノリムギ」より大きい。原麦粒の見かけの品質は“上中”で、「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」より優れる。

２．生態的特性

播性程度は“Ⅳ”の秋播型で、茎立性は“やや早”である。出穂期は“やや早”、成熟期は“やや早”で、成熟期は「ミノリムギ」より早い。粳・糯の別は“粳”、皮裸性は“皮”である。耐寒性は“やや強”で「ミノリムギ」より強く、耐雪性は“やや強”で、「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」と同程度である。耐倒伏性は“やや強”で、「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」と同程度である。穂発芽性は“中”で、「べんけいむぎ」と同程度で「ミノリムギ」より優る。赤かび病抵抗性は“中”で、「べんけいむぎ」より強く、「ミノリムギ」と同程度である。うどんこ病抵抗性は“中”、小さび病抵抗性は“弱”で、いずれも「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」と同程度である。収量性は“やや多”で「べんけいむぎ」より優るが、「ミノリムギ」に比べるとやや劣る。

表３　「シンジュボシ」の特性一覧表

形質番号	形　質	シンジュボシ 階級(区分)	べんけいむぎ 階級(区分)	ミノリムギ 階級(区分)
Ⅰ-1-1	叢性	6(やや匍匐)	5(中)	6(やや匍匐)
Ⅰ-1-2	株の開閉	3(開)	5(中)	4(やや開)
Ⅰ-1-3	並渦性	2(並性)	2(並性)	2(並性)
Ⅰ-2-1	稈長	6(やや長)	6(やや長)	6(やや長)
Ⅰ-2-2	稈の細太	5(中)	5(中)	5(中)
Ⅰ-2-3	稈の剛柔	5(中)	5(中)	5(中)
Ⅰ-2-4	稈のワックスの多少	5(中)	5(中)	7(多)
Ⅰ-3-2	葉色	6(やや濃)	7(濃)	5(中)
Ⅰ-3-3	葉鞘のワックスの多少	4(やや少)	4(やや少)	5(中)
Ⅰ-3-4	葉鞘の毛の有無･多少	0(無)	0(無)	5(中)
Ⅰ-4-2	穂長	5(中)	5(中)	6(やや長)
Ⅰ-4-3	粒着の疎密	5(中)	6(やや密)	4(やや疎)
Ⅰ-4-4	穂の抽出度	5(中)	5(中)	5(中)
Ⅰ-4-5	条性	8(六条)	8(六条)	8(六条)
Ⅰ-4-6	穂の下垂度	6(やや垂)	3(直)	6(やや垂)
Ⅰ-5-1	芒の有無と多少	7(多)	7(多)	7(多)
Ⅰ-5-5	芒長	7(長)	6(やや長)	6(やや長)
Ⅰ-5-6	芒の粗滑	7(粗)	7(粗)	7(粗)
Ⅰ-6-1	ふの色	1(淡黄)	2(黄)	2(黄)
Ⅰ-7-1	粒の形	5(中)	5(中)	6(やや長)
Ⅰ-7-2	粒の大小	7(大)	6(やや大)	6(やや大)
Ⅰ-8-1	千粒重	7(大)	6(やや大)	6(やや大)
Ⅰ-8-2	リットル重	6(やや大)	6(やや大)	5(中)
Ⅰ-9-1	原麦粒のみかけの品質	2(上中)	3(上下)	3(上下)
Ⅱ-1	播性	4(Ⅳ)	4(Ⅳ)	5(Ⅴ)
Ⅱ-2	茎立性	4(やや早)	5(中)	6(やや晩)
Ⅱ-3-1	出穂期	4(やや早)	5(中)	5(中)
Ⅱ-3-2	成熟期	4(やや早)	5(中)	5(中)
Ⅱ-4-1	粳・糯の別	2(粳)	2(粳)	2(粳)
Ⅱ-4-2	皮裸性	2(皮)	2(皮)	2(皮)
Ⅱ-4-3	脱芒性	7(易)	8(極易)	7(易)
Ⅱ-5	穂発芽性	5(中)	5(中)	6(やや易)
Ⅱ-6	脱粒性	6(やや易)	6(やや易)	6(やや易)
Ⅱ-7	耐倒伏性	3(強)	3(強)	4(やや強)
Ⅱ-8-1	耐寒性	5(中)	5(中)	5(中)
Ⅱ-8-2	耐雪性	6(やや弱)	6(やや弱)	6(やや弱)
Ⅱ-8-4	耐凍上性	3(強)	4(やや強)	3(強)
Ⅱ-9	収量性	6(やや多)	5(中)	7(多)
Ⅱ-10-1	粒質	5(中間)	5(中間)	6(中間~硝子)
Ⅱ-10-2	精麦歩留	6(やや大)	4(やや小)	6(やや大)
Ⅱ-10-3	精麦白度	7(大)	6(やや大)	6(やや大)
Ⅱ-12-1	縞萎縮病抵抗性	－	－	－
Ⅱ-12-2	赤かび病抵抗性	5(中)	6(やや弱)	5(中)
Ⅱ-12-3	うどんこ病抵抗性	5(中)	5(中)	5(中)
Ⅱ-12-4	小さび病抵抗性	7(弱)	7(弱)	7(弱)

注.（ ）の中の数字は、大麦種苗特性分類調査報告書（昭和55年３月）に基づく階級値を示す。

3．品 質 特 性

粒質は「べんけいむぎ」と同じ“中間質”である。精麦歩留は「ミノリムギ」と同程度の“やや大”で、「べんけいむぎ」より大きい。精麦白度は“大”で、「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」より高い。炊飯白度は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」より高い。搗精麦のポリフェノール含量が「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」より低いため、加熱後の褐変が少なく、炊飯白度が高い。

Ⅳ　育成地における試験成績

1．生産力検定試験における生育調査成績および収穫物調査成績

生育調査成績を表４に示す。栽培様式は条播標準栽培とドリル播栽培である。両栽培様式ともに、「シンジュボシ」は標準品種の「べんけいむぎ」に比べ、出穂期が１日、成熟期は２日早く、比較品種の「ミノリムギ」に比べ、出穂期で１～２日、成熟期で１～２日早い、早生の晩品種である。早生の「シュンライ」に比べて、出穂期は４～６日遅いが、成熟期は同程度かやや早い。稈長は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」よりやや長く、穂長は「ミノリムギ」よりやや短く、「べんけいむぎ」よりやや長い。穂数は「ミノリムギ」より少なく、「べんけいむぎ」と同程度である。倒伏程度は「ミノリムギ」よりやや少なく、「べんけいむぎ」と同程度である。寒雪害は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」と同程度であるが、凍上害は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」よりやや少ない。登熟中の芒の脱落は「ミノリムギ」と同程度に少なく、「べんけいむぎ」に比べかなり少ない。うどんこ病と小さび病には、「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」と同程度の強さである。赤かび病には「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」よりやや強い。立毛評価は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」と同程度である。なお、寒雪害、凍上害および赤かび病の結果は後述の特性検定試験の結果と異なるが、これは育成地では種子消毒による雪腐病防除、融雪後の麦踏みによる凍上害防止および開花期に赤かび病防除を行っているため、抵抗性の判定が異なったものと考えられる。

収穫物調査成績を表５に示す。子実重は、条播標準栽培では標準品種の「べんけいむぎ」より多いが、「ミノリムギ」と比べると少ない。また、ドリル播栽培では「べんけいむぎ」と同程度の子実重で、「ミノリムギ」との比較では条播標準栽培と同様に少ない。成熟期が同程度である「シュンライ」と比べると、多収である。リットル重は、「ミノリムギ」

表４　生育調査成績

栽培様式	品種名	出穂名（月日）	成熟期（月日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏程度	寒雪害	凍上害	芒の脱落	うどんこ病	小さび病	赤かび病	立毛評価
条播標準栽培	シンジュボシ	5.14	6.27	92	4.6	412	0.6	2.0	0.3	0.8	0.6	0.5	0.7	7.9
	標)べんけいむぎ	5.15	6.29	90	4.1	399	0.4	2.2	0.6	1.9	0.6	0.6	1.2	7.3
	比)ミノリムギ	5.15	6.29	90	4.9	451	0.9	2.0	0.4	0.8	0.8	0.6	0.9	7.8
	比)シュンライ	5.10	6.29	76	4.6	293	0.0	3.0	0.8	1.0	0.4	0.7	1.5	5.1
ドリル播栽培	シンジュボシ	5.15	6.26	107	4.7	533	1.3	2.1	0.2	0.8	0.0	0.0	0.5	6.8
	標)べんけいむぎ	5.16	6.28	103	4.3	546	1.3	2.3	0.4	2.5	0.0	0.0	1.4	6.7
	比)ミノリムギ	5.17	6.27	104	5.1	648	1.5	2.1	0.5	0.5	0.0	0.0	0.9	6.8
	比)シュンライ	5. 9	6.26	94	4.6	465	0.0	3.0	0.3	1.1	0.0	0.0	1.3	6.2

注.　1）条播は1996～2001年度の６カ年平均値、ドリル播は1999～2001年度の３カ年平均値。
　　2）寒雪害（雪腐病が主体）防除のためベフラン水和剤による種子消毒を、うどんこ病・赤かび病防除のため開花期頃にチルト乳剤の薬剤散布を行った。
　　3）障害抵抗性、耐病性は０(無)～５(甚)。立毛評価は登熟後期から成熟期にかけて立毛状態を観察調査し、１(不良)～5.5(普通)～10(良)で判定。

表５　収穫物調査成績

栽培様式	品種名	子実重（kg /a）	同左標準比率（%）	リットル重（g）	千粒重（g）	外観品質	粒大	粒色	粒形	粒の肥痩	元黒粒
条播標準栽培	シンジュボシ	50.6	114	649	37.9	3.4	やや大-大	明黄白-黄白	やや円-中	中-やや肥	0.8
	標)べんけいむぎ	45.1	100	664	36.1	4.5	やや大	暗黄白	中	中	1.2
	比)ミノリムギ	54.6	123	638	34.6	4.7	中-やや大	黄白-黄	中-やや長	中	0.9
	比)シュンライ	33.2	75	642	38.4	4.0	やや大	黄白-暗黄白	中	中	1.7
ドリル播栽培	シンジュボシ	58.6	99	639	37.8	3.5	やや大-大	明黄白-黄白	中	中	0.4
	標)べんけいむぎ	59.6	100	666	36.5	4.9	やや大	暗黄白	中	中	1.8
	比)ミノリムギ	71.0	121	631	33.3	5.4	中-やや大	黄白-黄	中-やや長	中	1.5
	比)シュンライ	52.6	87	653	37.2	4.2	やや大	明黄白-黄白	中	中	1.5

注.　1）条播は1996～2001年度の６カ年平均値、ドリル播は1999～2001年度の３カ年平均値。
　　2）外観品質は１(上上)～９(下下)。元黒粒は混入程度を表し、０(無)～５(甚)。

よりやや大きいが、「べんけいむぎ」より小さい。千粒重は、「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」より大きく、外観品質も「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」より優る。粒大はやや大～大で、粒色は明黄白～黄白で、粒形はやや円～中である。被害粒である元黒粒の発生は「べんけいむぎ」、「ミノリムギ」より少ない。

２．搗精試験および品質試験成績

１）育成地における搗精試験および品質試験成績

搗精試験においては原粒の硬度が重要な指標になるので、穀粒硬度を調査した結果を表６に示す。「シンジュボシ」は「べんけいむぎ」、「ミノリムギ」より硬度がやや高いが、「シュンライ」と同程度である。また、硬度の標準偏差は「べんけいむぎ」、「ミノリムギ」並に小さいので、粒による硬度は比較的一定している。

条播標準栽培の材料について、搗精前の重さの55%になるまで原粒を搗精した試験成績を表７に示す。なお、55%搗精試験は実需者や試験研究機関で一般的に行われている試験法である。搗精時間は「べんけいむぎ」、「シュンライ」より長く、「ミノリムギ」と同程度である。搗精白度は「べんけいむぎ」、「ミノリムギ」より3.6～3.7%高く、白度が高い「シュンライ」よりもさらに3.0%高い。搗精麦の黄色程度は黄味のやや強い「ミノリムギ」より少なく、「べんけいむぎ」、「シュンライ」と同程度で

表６　原粒の硬度

品種名	硬度（kg）	
	平均値	標準偏差
シンジュボシ	12.99	2.34
標)べんけいむぎ	11.30	2.12
比)ミノリムギ	12.18	2.33
比)シュンライ	13.10	2.87

注.　1）条播標準栽培の2000～2001年度２カ年平均値。
　　2）硬度は木屋製作所製穀粒硬度計を使用し、各品種13粒を調査した。

ある。搗精麦の外観品質は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」より優れる。搗精麦の砕粒程度は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」と同程度で、「シュンライ」より少ない。

上記の55%搗精試験では、六条大麦の場合は穀皮・果皮を完全に取り除いた段階の完全搗精まで達しない品種が多く見られるので、完全搗精の50%搗精試験成績を表８に示す。条播標準栽培およびドリル播栽培ともに、搗精時間は「ミノリムギ」より短く、「べんけいむぎ」より長い。搗精白度は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」に比べ２～４%高く、白度の高い「シュンライ」より約２%高い。加熱後の褐変と関係の深い搗精麦のポリフェノール含量は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」および「シュンライ」より低い。アミロース含量は「べんけいむぎ」よりやや低い。

表７　55%搗精試験成績

品種名	搗精			黄色程度	外観品質	砕粒程度
	時間（分:秒）	歩合（%）	白度（%）			
シンジュボシ	7:16	54.8	44.7	1.0	2.5	0.5
標)べんけいむぎ	7:05	54.8	41.1	1.3	5.1	0.5
比)ミノリムギ	7:14	55.1	41.0	2.3	4.5	0.5
比)シュンライ	6:53	55.4	41.7	1.0	5.2	1.0

注.　１）条播標準栽培の2000～2001年度２カ年平均値。
２）搗精試験は、原麦180gを供試して佐竹製作所の試験用搗精機で行った。55%搗精の各値は、原麦重の55%の重量まで搗精した時の数字。
３）搗精歩合は（搗精重/原麦重）×100で算出、搗精白度はケット科学研究所製・玄米・精米白度計C-300で測定。表８の搗精白度も同機種で測定。
４）黄色程度と砕粒程度は０（無）～５（甚）。外観品質は１（上上）～９（下下）。

２）実需者による精麦試験成績

実需者である全国精麦工業協同組合連合会による精麦試験成績を表９に示す。分析会社ははくばく、永倉精麦および日本精麦の３社である。「シンジュボシ」は分析会社により精麦試験総合評価がばらついたが、標準品種に比べて、搗精時間は長いものの、白度が高く、総合評価が1ランクまたはそれ以上優れている傾向にあった。はくばくの1998年度の総合評価はＢで、標準以上であった。また、永倉精麦では総合評価はＢと良好であった。

３．炊飯試験成績および糊化特性試験成績

六条大麦の用途は主に麦飯用と麦茶用である。そこで、麦飯の適性を調査するため、100mlのビーカ

表８　50%搗精および品質試験成績

栽培様式	品種名	搗精		ポリフェノール含量	アミロース含量
		時間（分:秒）	白度（%）	（mg/g）	（%）
条播標準栽培	シンジュボシ	8:06	44.8	0.25	26.4
	標)べんけいむぎ	7:55	42.1	0.31	26.8
	比)ミノリムギ	8:20	40.9	0.29	25.7
	比)シュンライ	7:48	42.6	0.31	25.0
ドリル播栽培	シンジュボシ	8:27	45.5	0.30	25.2
	標)べんけいむぎ	8:02	43.3	0.38	26.7
	比)ミノリムギ	8:48	42.0	0.33	25.8
	比)シュンライ	8:04	43.3	0.34	25.6

注.　１）条播は1996～2001年度の６カ年平均値、ドリル播は1999～2001年度の３カ年平均値。
２）50%搗精の各値は、原麦重の50%重量まで搗精した場合の数字で、50%搗精は完全搗精を示す。
３）ポリフェノール含量とアミロース含量は50%搗精丸麦粉砕材料の分析結果で、ポリフェノール含量はプルシアンブルー法（栃木県農業試験場栃木分場ビール麦醸造用品質改善指定試験地　1998）、アミロース含量はJuliano（1971）に準じた方法で測定した。

表９　実需者（全国精麦工業協同組合連合会）による育成地材料の品質試験成績

分析会社名	品種名	試験年度	原麦試験		精麦試験						
			リットル重（g）	千粒重（g）	搗精時間（分：秒）	白度（%）	折れ（%）	砂粒率（%）	条幅（%）	総合評価	評価点
㈱はくばく	シンジュボシ	1998	685	42.6	－	42.2	0.8	0.0	24.0	B	80
	比)ミノリムギ		685	38.2	－	41.2	0.4	0.0	23.0	C	78
	比)シュンライ		680	38.8	－	39.0	4.8	1.0	18.0	D	54
	シンジュボシ	2000	690	37.8	－	37.6	0.2	－	－	C	－
	標)べんけいむぎ		704	37.4	－	34.6	0.4	－	－	D	－
日本精麦㈱	シンジュボシ	2000	671	36.7	16：39	46.6	－	1.0	－	C	65
	標)べんけいむぎ		704	36.7	14：09	42.7	－	1.0	－	D	54
永倉精麦㈱	シンジュボシ	2000	680	38.6	13：00	43.9	－	4.0	－	B	－
	標)べんけいむぎ		694	36.6	11：30	38.2	－	4.6	－	E	－

注.　１）材料として生産力検定試験条播標準栽培のものを用いた。
２）はくばくの総合評価はA：問題なし、B：標準以上、C：標準的で普通、D：少し難点あり、E：精麦適性なし。

ーを用いた炊飯試験を行った。その成績を表10に示す。条播、ドリル播の両栽培様式ともに、「シンジュボシ」の炊飯白度は「べんけいむぎ」、「ミノリムギ」および「シュンライ」より３～５％高い。色彩色差計で測定した炊飯色は、上記３品種よりL*（明るさ）は高く、a*（赤色味）とb*（黄色味）は低いため、炊飯麦は明るい白色を示す（写真３）。炊飯麦の黒条線は他の３品種より目立ちにくい。炊飯した時の重量増加倍率を表す炊き上げ倍率は「べんけいむぎ」、「ミノリムギ」と同程度である。食味官能試験では、「べんけいむぎ」、「ミノリムギ」および「シュンライ」より色がかなり優れ、合計点が高い。その他の項目では、「べんけいむぎ」と同程度である。

表11に、50％搗精麦を用いて、ラッピドビスコアナライザーにより測定した加熱後の糊化特性および糊白度を示す。両栽培様式ともに、最高粘度は「べんけいむぎ」よりやや高いが、「ミノリムギ」よりやや低い。ブレークダウンも同様に「べんけいむぎ」よりやや大きいが、「ミノリムギ」よりやや小さい。最終粘度は「べんけいむぎ」と同程度で、「ミノリムギ」よりやや小さい。以上のことから、糊化特性は「べんけいむぎ」と「ミノリムギ」の中間であると推測される。糊白度は炊飯白度と同様に、他の３品種より４～５％高い。

表10　炊飯試験成績

栽培様式	品種名	炊飯白度（％）	炊飯色 L*（明るさ）	炊飯色 a*（赤色味）	炊飯色 b*（黄色味）	黒条線の目立つ程度	炊き上げ倍率（倍）	食味官能試験 色	光沢	粘り	かたさ	味	合計	黄色み
条播標準栽培	シンジュボシ	43.2	72.0	0.60	9.70	0.9	3.41	2.3	0.3	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0
	標）べんけいむぎ	40.2	69.9	0.70	10.10	0.1	3.43	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	比）ミノリムギ	38.5	69.5	1.00	11.40	0.3	3.46	−0.4	0.0	−0.2	−0.3	−0.1	−1.1	0.8
	比）シュンライ	38.3	69.4	0.90	10.30	−0.3	3.55	−0.7	−0.1	−0.1	0.1	−0.1	−0.9	0.0
ドリル播栽培	シンジュボシ	43.3	73.2	0.80	9.80	0.8	3.57	2.3	0.4	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0
	標）べんけいむぎ	39.8	70.7	1.10	9.60	−0.2	3.55	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.3	0.4
	比）ミノリムギ	39.3	70.6	1.20	11.40	0.3	3.57	−0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	−0.4	1.0
	比）シュンライ	38.8	70.5	0.90	11.10	−0.7	3.30	0.0	0.0	0.0	0.0	−0.2	0.0	0.3

注．１）条播は1996～2001年度の６カ年平均値、ドリル播は1999～2001年度の３カ年平均値。
２）炊飯試験は、50%搗精の丸麦30gを100mℓのビーカーに入れ、水を入れて箸でかき混ぜてよく洗った後、４℃での定温器内に14時間静置した。その後110mℓの目盛りまで純水を加え、蒸し器で35分間炊飯した。
３）炊飯白度は炊飯後１～２時間後にケット科学研究所製・玄米・精米白度計C-300で測定、炊飯色は炊飯後２～３時間後にミノルタ分光測色計CM-3500dの測定径φ30㎜の専用ケースに炊飯麦を詰め、同分光測色計により反射色を測定した。
４）炊き上げ倍率は炊飯重/30gにより算出。黒条線（粒裏側の縦溝部分が搗精しても表皮を完全に削りとれなく、炊飯すると黒または褐色に見える縦溝線）の目立つ程度は３（少）～０（並）～－３（多）、官能評価の黄色味を除く各項目は３（良）～０（並）～－３（不良）。黄色みは０（無）～５（甚）。

表11　糊化特性試験成績

栽培様式	品種名	ラピッドビスコアナライザー（RVA）による糊化特性 糊化開始温度（℃）	最高粘度到達時間（分）	最高粘度（RVU）	最低粘度（RVU）	ブレークダウン（RVU）	最終粘度（RVU）	セットバック（RVU）	RVA糊白度（％）
条播標準栽培	シンジュボシ	63.0	10.9	503	196	306	342	145	43.9
	標）べんけいむぎ	64.2	10.8	466	195	272	352	157	39.8
	比）ミノリムギ	62.5	10.9	553	224	328	392	168	38.9
	比）シュンライ	65.5	10.8	548	200	348	354	154	39.3
ドリル播栽培	シンジュボシ	65.2	11.0	508	194	314	337	143	44.2
	標）べんけいむぎ	67.0	10.9	444	184	260	333	149	39.8
	比）ミノリムギ	64.0	10.9	557	225	332	394	169	38.5
	比）シュンライ	66.1	10.9	516	191	325	340	149	38.7

注．１）条播は1996～2001年度の６カ年平均値、ドリル播は1999～2001年度の３カ年平均値。
２）RVAによる糊化特性は50%搗精麦の粉砕粉3.5gに純水25mℓを加えて測定した。また、糊白度はRVA終了後、糊の入った測定容器を冷水に浮かべて冷却し、RVA終了１～２時間後にケット科学研究所製・玄米・精米白度計C-300の専用試料ケースに固まった糊を薬匙ですくって一杯に詰め、同白度計により２反復で測定した。

4．特性検定試験

他場所および育成地で行った特性検定試験成績を表12に示す。耐寒雪性はやや弱で「ミノリムギ」並であり、「べんけいむぎ」より弱い。耐凍上性は弱で、「べんけいむぎ」、「ミノリムギ」より弱い。赤かび病は「ミノリムギ」並であり、「べんけいむぎ」よりやや強い。うどんこ病は「ミノリムギ」よりやや弱いが、「シュンライ」より強い。小さび病には「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」と同程度である。穂発芽性はやや難～中で、「ミノリムギ」、「シュンライ」より穂発芽しにくい。播性はⅣの秋播型である。

5．固定度調査成績

2001年度（F_{10}）の固定度調査成績を表13に示す。稈長、穂長および1株穂数の変動係数からみて、「シンジュボシ」は実用的に支障のない程度に遺伝的に固定している。

Ⅴ　採用県であった宮城県における試験成績

「シンジュボシ」は「東北皮34号」の地方番号系統名を付けた1998年度以降、東北、北陸、甲信越および東海地域の11の県農業試験場における奨励品種決定調査に配付して、地域適応性を検討してきた。また、同時に1999年度（2000年産）以降の東北各県農業試験場の奨励品種決定調査で得られた材料について、育成地で精麦および炊飯試験を実施してきた。その結果、宮城県において、良好な結果が得られたので、2002年9月に県の奨励品種に採用された。しかし、宮城県の事情により2007年2月に奨励品種廃止が決まった。

1．宮城県農業センターおよび宮城県古川農業試験場における奨励品種決定調査成績

宮城県農業センターおよび宮城県古川農業試験場（以下古川農試）における奨励品種決定調査成績を表14に示す。2場所とも出穂期および成熟期は「ミノリムギ」よりいずれも約2日早いが、「シュンライ」に比べると出穂期は3日、成熟期は約1日遅い。稈長は「ミノリムギ」と同程度であるが、「シュンライ」より約10cm長い。穂長は「ミノリムギ」よりやや短いが、「シュンライ」よりやや長い。穂数は「ミノリムギ」に比べ、宮城県農業センターではやや少なく、古川農試ではやや多いが、「シュンライ」に比べると宮城県農業センターは同程度で、古

表12　特性検定試験成績

品種名	耐寒雪性					耐凍上性		赤かび病	うどんこ病	小さび病	穂発芽性	播性
	岩手農研					長野中信		作物研	育成地	育成地	育成地	育成地
	越冬株率（%）	葉枯れ面積率（%）	被害程度	回復状況	判定	判定基準	判定	判定	判定	判定	判定	判定
シンジュボシ	30.4	85.5	78.1	1.3	やや弱	53.4	弱	弱-やや弱	やや強	中	やや難-中	Ⅳ
べんけいむぎ	64.9	75.0	42.5	2.3	中	104.1	強	弱	強	中	中	Ⅳ
ミノリムギ	45.5	81.3	69.5	6.5	やや弱-中	94.5	強	弱-やや弱	強	中	やや易	Ⅴ
ミユキオオムギ	58.1	66.3	55.0	2.0	中	－	－	－	－	－	－	－
シュンライ	－	－	－	－	－	－	－	－	中	中	やや易	Ⅱ

注．1）岩手農研センターの耐寒雪性は1997～2001年度の平均値で、被害程度は越冬株数、寒雪害による葉枯面積率および雪腐病による被害面積割合から算出。
2）長野県中信農試の耐凍上性は1997～2000年度の平均値で、越冬株数と葉枯れ程度を調査して判定。葉枯れの程度は0％を無、10％以下を少、50％以下を中、90％以下を多、90％を越えるものを甚として、5段階に分類。判定基準は検定品種・系統の越冬株率を標準品種の越冬株率で除して標準比率を算出したもの。
3）作物研究所の赤かび病抵抗性は1999～2001年度の平均で、検定法はポット栽培したものを開花期にスプレーで噴霧接種し、接種1週間後および2週間後の2回、発病調査を行った。
4）育成地の検定結果は1999～2001年度の平均。

表13　固定度調査成績（2001年度）

品種名	出穂期	稈長		穂長		1株穂数		調査個体数
		平均	変動係数	平均	変動係数	平均	変動係数	
	（月日）	（cm）	（%）	（cm）	（%）	（本）	（%）	
シンジュボシ	5.11	95.1	2.8	5.2	5.2	11.5	29.4	30
べんけいむぎ	5.11	106.0	3.3	4.9	5.4	13.1	23.4	30
ミノリムギ	5.11	96.8	2.5	6.0	4.9	12.6	31.0	30

注．耕種概要：畦幅70cm、畦長4.1m、条間10cm、株間10cm、二条千鳥1本立、2001年9月25日播種、シンジュボシは8系統、べんけいむぎとミノリムギは5系統の平均値。

川農試では多い。倒伏程度は宮城県農業センターでは「ミノリムギ」と同程度であるが、「シュンライ」よりやや多い。子実重は両場所とも「ミノリムギ」よりやや多収で、「シュンライ」に比べると多収である。リットル重は「ミノリムギ」よりやや大きい。千粒重は「ミノリムギ」、「シュンライ」より大きい。品質概評は「ミノリムギ」と同程度かやや良く、「シュンライ」並である。

宮城県における現地試験成績を表15に示す。現地試験は県南の角田市、県北部平坦地の仙台市、湧谷町、迫町、石巻市の計５カ所である。標準品種の「ミノリムギ」に比べて、出穂期は1日早いまたは同程度、成熟期は１～２日早い。稈長は同程度またはやや短い。穂長は同程度で、穂数はやや少ない。倒伏程度は同程度である。子実重は仙台市、石巻市では多収であるが、角田市、涌谷町、迫町ではやや低収である。千粒重は大きく、品質概評は平均的に見た場合、同程度である。

２．搗精および品質試験成績

１）古川農試における品質および搗精試験成績

古川農試の奨励品種決定調査材料の試験成績を表16に示す。標準品種「ミノリムギ」と比較品種「シ

表14　宮城県農業センターおよび宮城県古川農業試験場における奨励品種決定調査成績

場所名	品種名	出穂名	成熟期	稈長	穂長	穂数	倒伏程度	赤かび病	穂発芽	子実重	同左標準比	リットル重	千粒重	品質概評
		（月日）	（月日）	（cm）	（cm）	（本/㎡）				(kg/a)	（%）	(g)	(g)	
宮城県農業センター	シンジュボシ	4.27	6. 5	104	4.6	545	1.5	0.0	−	57.4	101	640	34.6	3.0
	標)ミノリムギ	4.28	6. 7	104	4.8	637	1.5	0.0	−	56.8	100	634	29.3	4.0
	比)シュンライ	4.24	6. 5	94	4.5	540	0.0	0.5	−	56.4	99	631	33.2	3.5
宮城県古川農業試験場	シンジュボシ	5. 1	6. 8	98	3.9	514	0.7	0.0	0.0	60.5	106	655	40.2	2.5
	標)ミノリムギ	5. 3	6.10	97	4.2	487	0.0	0.0	0.0	57.1	100	645	35.5	2.5
	比)シュンライ	4.28	6. 7	87	3.7	449	0.0	0.0	0.0	49.2	84	650	37.6	2.0

注．宮城県農業センターは1998～1999年度、古川農試は1999～2000年度で、試験年度平均値で示す。

表15　宮城県における現地試験成績

地帯区分	現地名	品種名	試験年度	出穂期	成熟期	稈長	穂長	穂数	倒伏程度	赤かび病	穂発芽	子実重	同左標準比率	千粒重	品質概評
				（月日）	（月日）	（cm）	（cm）	(本/㎡)				(kg/a)	（%）	(g)	
県南	角田市	シンジュボシ	1999～	4.26	6. 5	96	4.1	361	2.0	0.0	0.0	40.0	92	37.3	3.5
		標)ミノリムギ	2001	4.27	6. 6	96	4.2	391	1.3	0.0	0.0	43.6	100	31.4	4.0
北部平坦	仙台市	シンジュボシ	1999～	4.25	6. 8	96	4.3	538	0.0	0.3	0.0	54.3	113	35.9	3.3
		標)ミノリムギ	2001	4.25	6. 9	101	4.5	615	0.0	0.0	0.0	48.1	100	33.3	3.8
	涌谷町	シンジュボシ	2000～	4.30	6.12	93	4.4	350	0.0	0.0	0.0	51.5	87	42.8	5.0
		標)ミノリムギ	2001	5. 1	6.13	96	4.3	416	0.0	0.0	0.0	59.4	100	37.0	4.5
	迫町	シンジュボシ	1999～	4.29	6. 5	88	5.4	315	0.0	0.0	0.0	44.3	91	41.8	3.0
		標)ミノリムギ	2001	5. 1	6. 7	90	5.1	397	0.0	0.0	0.0	48.7	100	39.8	2.5
	石巻市	シンジュボシ	1999～	4.26	6. 8	90	4.1	391	0.5	0.0	0.0	40.2	105	35.1	3.5
		標)ミノリムギ	2001	4.27	6.10	89	4.6	373	0.0	0.0	0.0	38.4	100	31.8	2.8

注．１）試験年度平均値で示す。
２）倒伏程度、赤かび病および穂発芽は０（無）～５（甚）、品質概評は１（上上）～６（下）。

表16　宮城県古川農業試験場における品質試験成績

品種名	原麦試験			55%搗精試験		55%搗精色相		
	リットル重	千粒重	硝子率	時　間	白　度	L*	a*	b*
	g	g	%	分：秒	%	（明るさ）	（赤色味）	（黄色味）
シンジュボシ	650	42.5	25.8	9：45	47.4	81.2	−0.2	13.8
標)ミノリムギ	648	38.0	30.2	8：20	45.8	78.7	−0.7	18.0
比)シュンライ	649	39.5	29.0	8：45	44.2	79.0	−0.1	16.1

注．2000～2001年度の２カ年平均値。

ュンライ」に比べ、原麦の硝子率が低いが、55%搗精時間が長い。55%搗精白度は高く、色相のL*（明るさ）が高く、b*（黄色味）が低い。

2）育成地における搗精および炊飯試験成績

宮城県2場所の奨励品種決定調査材料について搗精および炊飯試験成績を表17に示す。55%搗精および50%搗精試験においては、宮城県農業センターでは、55%搗精および50%搗精ともに、標準品種「ミノリムギ」に比べ搗精時間がやや長く、白度がやや低く、50%搗精麦のポリフェノー

表17　宮城県農業センター及び宮城県古川農業試験場の奨励品種検定調査材料における搗精および品質成績

場所名	品種名	55%搗精						50%搗精				
		時間（分秒）	歩合（%）	白度	黄色程度	外観品質	砕粒程度	時間（分秒）	歩合（%）	白度	砕粒率（%）	ポリフェノール含量（mg/g）
宮城県農業センター	シンジュボシ	7：33	55.3	42.9	1.0	3.5	−	9：10	50.2	43.6	0.1	0.265
	標）ミノリムギ	7：30	55.0	43.9	2.5	5.0	−	8：54	49.8	44.6	0.1	0.281
	比）シュンライ	6：41	55.1	44.9	1.5	3.8	−	7：56	50.2	45.4	0.1	0.269
宮城県古川農業試験場	シンジュボシ	7：13	54.8	44.9	1.3	4.0	0.5	8：27	50.2	45.5	−	0.195
	標）ミノリムギ	7：49	55.2	41.5	1.8	5.3	0.5	9：10	50.2	42.0	−	0.253
	比）シュンライ	6：46	55.1	42.4	1.5	4.8	1.5	8：02	50.0	43.8	−	0.230

場所名	品種名	炊飯試験							RVA糊白度（%）	総合評価	概評
		炊飯白度（%）	色	黄色味	黒条線の目立つ程度	炊飯色 L*（明るさ）	炊飯色 a*（赤色味）	炊飯色 b*（黄色味）			
宮城県農業センター	シンジュボシ	40.4	1.8	0.0	0.5	68.7	−0.15	10.9	41.7	○	精麦適性、炊飯適性ともにミノリムギより優れる
	標）ミノリムギ	33.7	−0.8	2.0	−0.5	64.4	1.58	13.9	34.7		
	比）シュンライ	36.9	0.0	1.0	0.0	−	−	−	38.1		
宮城県古川農業試験場	シンジュボシ	38.6	1.3	0.0	0.0	68.3	−0.15	9.3	40.0	○	精麦適性、炊飯適性ともにミノリムギより優れる
	標）ミノリムギ	34.5	−1.3	1.0	−0.5	65.4	0.53	10.5	35.6		
	比）シュンライ	35.8	−0.8	0.3	−0.5	−	−	−	35.5		

注．1）試験は東北農業研究センター麦育種研究室で行い、宮城県農業センターは1998～1999年度の2カ年平均値、古川農試は1999～2000年度の2カ年の平均値で示す。
2）搗精試験法は表7、表8と同じ、炊飯試験法は表10と同じ、RVA糊白度測定法は表11と同じである。

表18　宮城県古川農業試験場の奨励品種決定調査材料における実需者（全国精麦工業協同組合連合会）による品質試験成績

分析会社名	品種名	試験年度	原麦試験 千粒重（g）	原麦試験 砂粒率（%）	55%歩留時の項目 白度（%）	折れ（%）	熱損	カビ	青色	条幅（%）	総合評価	評価点	有望度	コメント
㈱はくばく	シンジュボシ	1998	34.3	58.0	43.2	0	0	0	0	26	C	77	○	硝子質が高いが胚乳は白い。しかし色相が不鮮明。
	標）ミノリムギ		28.6	45.0	37.8	0	0	0	0	26	D	55	△	硝子質が若干高く胚乳色相が不鮮明、千粒重が少なく、細麦が多い。

分析会社名	品種名	試験年度	原麦試験 千粒重（g）	原麦試験 硝子率（%）	精麦試験 搗精時間（分：秒）	精麦試験 白度（%）	精麦試験 砕粒率（%）	精麦色相 L*（明るさ）	精麦色相 a*（赤色味）	精麦色相 b*（黄色味）	総合評価	コメント
永倉精麦㈱	シンジュボシ	2000	44.3	47.0	11：15	43.9	7.6	81.3	0.4	9.3	B	黒条線が細く品位が優れている
	標）ミノリムギ		36.1	48.5	12：15	38.2	2.0	79.8	0.9	10.2	E	白度が低く、黒条線も太い
日本精麦㈱	シンジュボシ	2000	44.7	61.5	14：03	46.6	2.0	−	−	−	B	粒度が高い
	標）ミノリムギ		35.3	65.0	15：55	42.7	0.5	−	−	−	D	くすんだ色をしている

注．1）はくばくの総合評価はA：問題なし、B：標準以上、C：標準的で普通、D：少し難点あり、E：精麦適性なし。
2）永倉精麦の色相（L*，a*，b*）は精麦を粉砕したものを色彩色差計（ミノルタCR-300）で測定した。
3）長倉精麦及び日本精麦の総合評価は、A、B、C、D、Eの5段階で、Aが優り、Eが劣る。

ル含量はわずかに低い。一方、古川農試では、55%搗精および50%搗精ともに、「ミノリムギ」に比べ搗精時間が短く、白度が高い。また、50%搗精麦のポリフェノール含量はかなり低い。

炊飯試験においては、２場所ともに、「ミノリムギ」より炊飯白度は高く、色が優れ、黄色味が低く、黒条線が目立ちにくく、L*（明るさ）が高く、a*（赤色味）とb*（黄色味）が低い。

以上の結果から、２場所間で精麦適性には差異が認められたものの、炊飯適性は明らかに「シンジュボシ」の方が「ミノリムギ」より優れていた。

３）実需者による品質および搗精試験成績

全国精麦工業協同組合連合会による試験成績を表18に示す。はくばくでは、標準の「ミノリムギ」に

表19　宮城県以外の県農業試験場における奨励品種決定調査成績

農試名	品種名	試験年度	出穂期（月日）	成熟期（月日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏の多少	小さび病	うどんこ病	赤かび病	雪腐病	雲形病	寒雪害	子実重（kg/a）	同左標準比率（%）	リットル重（g）	千粒重（g）	品質概評
岩手県	シンジュボシ	1999	5. 7	6.16	100	4.1	535	0.8	0.0	0.3	0.5	1.3	−	3.0	62.4	88	609	37.5	2.5
農業研究	標)べんけいむぎ	～	5. 8	6.19	99	3.9	603	0.5	0.0	0.3	0.8	1.3	−	3.0	71.3	100	642	34.1	3.8
センター	比)ミノリムギ	2002	5. 8	6.18	98	4.9	573	1.5	0.0	0.3	0.5	1.3	−	3.0	70.6	99	623	33.5	2.8
秋田県	シンジュボシ	1998	5. 9	6.14	95	4.3	348	0.3	0.0	0.0	0.8	3.0	1.0	3.0	48.7	86	662	38.6	3.5
農業試	標)べんけいむぎ	～	5.10	6.18	101	4.0	450	0.3	0.0	0.0	0.3	2.7	0.5	2.8	56.4	100	675	36.0	3.8
験場	比)シュンライ	2002	5. 1	6.12	73	4.7	343	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	0.0	3.5	40.0	62	660	41.1	4.5
山形県立	シンジュボシ	2000~	5. 8	6.15	98	4.0	531	1.0	0.0	0.0	0.3	2.0	−	−	55.8	120	675	35.9	4.7
業試験場	標)べんけいむぎ	2002	5. 9	6.18	98	3.7	670	2.0	0.0	0.0	0.7	3.0	−	−	47.1	100	727	32.5	5.0
福島県	シンジュボシ	1998	5. 5	6.12	94	5.0	448	2.5	0.0	0.0	0.0	−	−	−	48.9	91	653	37.0	5.0
農業試	標)シュンライ	～	4.30	6. 6	87	4.2	452	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	−	55.0	100	664	38.3	5.0
験場	比)べんけいむぎ	2000	5. 4	6.10	94	4.4	556	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	−	42.8	79	671	35.6	6.0
	比)ハマユタカ		5. 4	6.10	82	3.6	623	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	−	46.6	86	687	30.1	4.7
福島県農	シンジュボシ	1999	5. 2	6. 6	93	4.4	304	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	0.0	34.6	106	660	34.8	3.5
業試験場	標)べんけいむぎ	～	5. 4	6.10	94	4.1	334	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	0.0	32.9	100	683	32.4	2.5
会津支場	比)ミユキオオムギ	2000	5. 4	6.11	94	4.2	306	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	0.0	35.8	109	675	35.1	3.5
	比)ミノリムギ		5. 4	6. 9	93	5.0	324	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	0.0	36.2	111	659	33.2	3.0
	比)シュンライ		4.20	6. 3	81	4.2	316	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	0.0	28.3	84	680	35.2	3.5
福島県農	シンジュボシ	1999	4.28	6. 7	102	4.8	604	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	51.6	109	630	33.2	4.5
業試験場	標)ハマユタカ	～	4.30	6. 8	85	3.5	735	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	47.2	100	677	27.0	2.0
相馬支場	比)シュンライ	2000	4.24	6. 5	94	4.3	611	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	57.8	123	661	33.4	3.0
	比)べんけいむぎ		4.28	6. 6	99	4.0	651	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	−	49.2	106	665	32.3	3.5
新潟県農	シンジュボシ	1999	5. 6	6. 6	96	5.0	421	2.5	−	−	0.3	0.0	1.3	−	45.6	98	652	34.7	3.3
業総合研	標)ミノリムギ	~2002	5. 7	6.12	100	5.3	377	1.8	−	−	0.3	2.0	1.5	−	49.6	100	670	34.2	3.9
究所	比)ミユキオオムギ		5.11	6.15	95	5.2	343	2.0	−	−	0.7	4.0	1.3	−	44.6	106	659	36.6	4.7
富山県農業	シンジュボシ	2001	4.19	5.28	96	4.9	560	3.5	0.0	0.0	0.0	−	0.0	−	42.1	97	623	33.5	3.0
術センター	標)ファイバースノウ	~2002	4.18	5.31	91	5.2	519	0.0	0.0	0.0	0.0	−	0.0	−	43.6	100	647	32.4	2.0
石川県農	シンジュボシ	1998	4.23	6. 1	98	4.5	324	1.8	0.0	0.0	0.0	−	−	0.0	46.9	107	655	38.1	3.8
業総合試	標)ミノリムギ	～	4.25	6. 5	98	5.2	326	1.8	0.0	0.0	0.0	−	−	−	42.5	100	661	37.5	3.8
験場	比)シュンライ	2002	4.21	6. 1	88	4.3	315	1.5	0.0	0.0	0.0	−	−	−	43.4	104	671	39.2	3.8
福井県農	シンジュボシ	1998~	4.15	5.28	99	5.0	367	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	56.5	100	633	34.5	3.5
業試験場	標)ミノリムギ	2001	4.17	5.31	103	5.3	377	1.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.7	100	661	32.3	3.3
	比)シュンライ	1998-1999	4.14	5.29	87	4.4	357	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	−	0.0	62.3	102	690	35.9	3.0
	比)ファイバースノウ	2000-2001	4.13	5.28	95	5.4	385	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.6	101	636	33.5	3.0
長野県農	シンジュボシ	2000	4.30	6.10	90	5.4	288	1.5	0.0	0.0	0.0	−	−	−	54.1	102	698	42.9	4.0
事試験場	標)ミノリムギ	~2001	5. 1	6.12	95	5.7	324	2.5	0.0	0.0	0.0	−	−	−	53.2	100	695	39.5	3.0
	比)シュンライ		4.28	6.16	80	4.7	278	0.3	0.0	0.0	0.0	−	−	−	50.5	95	696	41.7	3.0
岐阜県高冷地農	シンジュボシ	1998	5. 3	6.11	93	4.7	406	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	−	−	28.2	58	661	40.9	3.0
業試験場	標)ミノリムギ		5. 5	6.13	96	5.3	384	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	−	−	48.6	100	664	37.8	4.0

注. １）倒伏程度、病害程度、諸障害程度　０：無、１：微、２：少、３：中、４：多、５：甚
２）品質概評　１：上の上、２：上の下、３：中の上、４：中の中、５：中の下、６：下
３）新潟県農業総合研究所のミノリムギのa当り子実重標準比率の平均は1998～2000年度の平均値。

比べ、硝子率が高く、55%搗精麦の白度が高く、総合評価のランクおよび評価点が高かった。また、永倉精麦と日本精麦では、「ミノリムギ」より千粒重が大きく、硝子率がやや低く、搗精時間が短く、白度が高く、総合評価のランクは明らかに優れる。

以上の結果、実需者評価においても、「シンジュボシ」は「ミノリムギ」より精麦適性が優れていた。

Ⅵ　その他の配付先における試験成績

東北地域から東海地域にかけての12の農業試験場で実施された奨励品種決定調査成績を表19に示す。「シンジュボシ」は標準品種の「べんけいむぎ」または「ミノリムギ」に比べて出穂期、成熟期がやや早い傾向がある。稈長は両品種と同程度かやや短い。穂長は「べんけいむぎ」よりやや長く、「ミノリムギ」よりやや短い。穂数は両品種よりやや少ないか同程度である。倒伏程度は両品種と同程度である。子実重は北東北の岩手農研センターと秋田農試および東海の岐阜高冷地農試では低収であるが、その他の場所では多収または同収の場所が多い。千粒重が大きいが、外観品質は標準品種並である。

Ⅶ　栽培適地と栽培上の注意

適地は、東北・北陸地域の根雪期間80日以下の平坦地である。

栽培上の注意として、多肥栽培では倒伏やうどんこ病の発生が多くなり、硬質粒の発生が多くなるので、避ける。

Ⅷ　命名の由来

精麦が真珠のような明るい光沢があることに因む。

Ⅸ　今後の課題

「シンジュボシ」は早生で、耐寒雪がやや強く、品質面では搗精白度、炊飯白度がともに安定して高く、寒冷地向けの精麦用新品種として期待される。しかし、栽培特性、品質特性ともにまだ改良すべき点が残されている。

栽培特性では、「シンジュボシ」は稈長がやや長く耐倒伏性は十分でないので、今後は「シュンライ」並の短稈かつ耐倒伏性をもつ系統を育成する必要がある。

品質特性では、「シンジュボシ」は「べんけいむぎ」、「シュンライ」に比べて、搗精時間がやや長い傾向にあるので、搗精時間が短く搗精白度が高い軟質系統を選抜する必要がある。また、高品質の食用麦生産には品種に応じた適正蛋白含量を定め、それに応じた施肥基準を作成する必要もある（滝澤ら2003）。

炊飯特性では、搗精麦のポリフェノール含量が低く、炊飯白度は高く官能評価の色も良好であるが、官能評価のそれ以外の項目の評価は「べんけいむぎ」、「シュンライ」等と変わらない。このため、今後は食味官能評価の中の色の更なる改良に加えて、光沢、粘り、かたさおよび味（えぐみが少ない）の改良も必要であると思われる。

引 用 文 献

1）藤田雅也, 武田和義, 神山紀子, 土門英司, 土井芳憲. 2000. オオムギにおける穀粒の加熱褐変とポリフェノール含量の品種間差異. 四国農試報 65：9-16.

2）Fujita M.; Takeda K.; Kohyama N.; Doi Y. and Matsunaka H. 2002. Genotypic variation in polyphenol content of barley grain. Euphytica 124：55-58.

3）Juliano, B.O.A. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today. 16：334-360.

4）滝澤浩幸, 星　信幸, 神崎正明. 2003. 六条大麦の蛋白含量と精麦適性及び炊飯白度との関係. 東北農業研究　56：95-96.

5）栃木県農業試験場栃木分場ビール麦醸造用品質改善指定試験地. 1998. 品質改良のためのビール麦品質検定法　第3版, p.22-23.

6）吉川　亮, 中村和弘, 伊藤美環子, 八田浩一. 2000. 大麦の精麦白度,炊飯白度及びポリフェノール含量の品種・地域間差異. 東北農業研究　53：79-80.

付表１　「シンジュボシ」の配付先における概評一覧

農　試　名	試験年度（播種年度）				標 準 品 種
	1998	1999	2000	2001	
岩手県農業研究センター	△ 87	○ 83	○ 78	×102	べんけいむぎ
宮城県農業センター	○112	○ 90	−	−	ミノリムギ
宮城県古川農業試験場	−	○ 90	○114	◎116	ミノリムギ、シュンライ
秋田県農業試験場	△ 99	△ 76	△ 82	△ 88	べんけいむぎ
山形県立農業試験場	△ 95	○120	○128	○111	べんけいむぎ
福島県農業試験場	△106	× 75	−	−	シュンライ
福島県農業試験場会津支場	△109	×102	−	−	べんけいむぎ
福島県農業試験場相馬支場	△108	×110	−	−	ハマユタカ
新潟県農業総合研究所	○101	○106	○118	△67	ミノリムギ
富山県農業技術センター	−	−	△130	×64	ファイバースノウ
石川県農業総合試験場	△ 93	△109	△115	×112	ミノリムギ
福井県農業試験場	○100	△ 91	△107	×101	ミノリムギ
長野県農事試験場	−	−	△ 95	×109	ミノリムギ
岐阜県高冷地農業試験場	× 58	−	−	−	ミノリムギ

注．記号は有望度で、◎極有望、○：有望、△：再検討、×：打ち切り、数字は標準品種に対する収量指数（%）。
農試名は試験年度実施時点での名称を記載した。

付表２　「シンジュボシ」の育成者と関係した育成世代

試験年度	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
世　代	交配	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}
試 験 名		F_1 養成	集団養成	集団養成	集団養成 個体選抜	系統 選抜	系適 特検	生検 （奨決）	生検 （奨決）	生検 （奨決）	生検 （奨決）
氏　名											
吉川　亮				○							○
中村　和弘					○						○
伊藤美環子									○		○
伊藤　裕之											○
星野　次汪	○			○							
佐藤　暁子	○										
伊藤　誠治	○					○					
八田　浩一			○						○		
中村　洋							○	○			

注．上記の他に、企画連絡室業務第１科職員が技官として圃場管理および品質試験に従事した。

草　姿

シンジュボシ　べんけいむぎ（標準）　ミノリムギ（比較）

穂および子実

シンジュボシ　べんけいむぎ（標準）　ミノリムギ（比較）

写真 1　「シンジュボシ」の草姿、穂および子実

シンジュボシ

べんけいむぎ（標準）

写真 2　「シンジュボシ」と「べんけいむぎ」との間の穂の下垂度の違い（登熟中期）
登熟中期になると「シンジュボシ」は穂が垂れるが、「べんけいむぎ」は直立のままである。

ミノリムギ（比較）　　シュンライ（比較）

シンジュボシ　　べんけいむぎ（標準）

写真 3　ビーカー炊飯試験における色および外観の違い
「シンジュボシ」は「ミノリムギ」、「べんけいむぎ」および「シュンライ」より炊飯白度が高く、黒条線が細く目立ちにくい。

注．2001年産東北農業研究センター麦育種研究室の材料で、50%搗精麦を100ml ビーカーで炊飯

水稲の良食味・いもち耐病性品種の育成と耐病性の経済的効果の評価

山　口　誠　之*1)

抄　録：いもち病に強く、食味が優れた水稲品種を育成するとともに、東北地域での耐病性品種による薬剤削減の経済的効果を評価した。

良食味品種はいもち耐病性（圃場抵抗性）が劣るものが多く、食味といもち耐病性の結合は難しいと考えられてきた。本研究ではまず、交配を効率的に行う簡易交配法を開発した。次いで、様々な交配組合せを展開し、良食味でいもち耐病性系統が存在することを明らかにした。そして、良食味・いもち耐病性品種として1996年に「おきにいり」、2003年にさらにいもち耐病性が強化された「ちゅらひかり」を育成した。いもち病防除に対する品種の耐病性と薬剤防除の効果を比較すると、生育初期は薬剤防除の効果が高く、生育が進むにつれて品種の耐病性の効果が現れた。耐病性品種は弱い品種に3回以上の薬剤防除を行った効果に匹敵し、その効果はいもち病多発生年ほど大きかった。いもち耐病性品種を利用すれば、いもち病の発生程度に関わらず、少なくとも葉いもち防除が不要であると考えられた。東北地域における耐病性品種導入のメリットについて考察した。

キーワード：水稲、育種、良食味、いもち耐病性、圃場抵抗性、品種、東北地域、おきにいり、ちゅらひかり、薬剤削減、経済的効果

Breeding of Rice Varieties with Blast Resistance and Excellent Eating Quality, and Evaluation of the Economic Effect of their Resistance : Masayuki YAMAGUCHI*1)

Abstract : New rice varieties with excellent eating quality and blast resistance were developed, and the economic effect of the reduction in fungicide use made possible by these varieties in the Tokoku region was evaluated.

Until recently, it has been considered difficult to breed rice cultivars having excellent eating quality and high field resistance to blast. In this study, we developed a simple crossing method, and selected lines with excellent eating quality and high field resistance in some crossed progenies. We developed two new rice cultivars with excellent eating quality and high field resistance. One cultivar was “Okiniiri,” developed in 1996, and the other was “Churahikari,” developed in 2003, which was more resistant to blast than Okiniiri. When we compared the blast control provided by varietal field resistance with that provided by fungicide treatments, we found that the fungicide treatments were more effective in the early stage of rice cultivation, but in the late stage, varietal field resistance became more effective. The resistance level shown by resistant varieties was more than triple that of fungicide-treated susceptible varieties, and it was especially effective in a year when blast was a serious threat. There is a possibility of cultivating highly field-resistant varieties that would not require blasticides for leaf blast. The advantages to using resistant varieties instead of chemicals in the Tohoku region were discussed.

Key Words : Rice, Breeding, Excellent eating quality, Blast resistance, Field resistance, Variety, Tohoku region, Okiniiri, Churahikari, Reduction of fungicide, Economical effect.

＊1）東北農業研究センター（National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Daisen, Akita 014-0102, Japan）
2008年1月16日受付、2008年12月16日受理

目　　次

Ⅰ　緒　論……84
Ⅱ　良食味・いもち耐病性系統の効率的育種法の開発……86
　1．水稲の簡易交配法の開発……86
　2．良食味・いもち耐病性系統の選抜可能性の評価……90
　3．良食味・いもち耐病性系統の効率的選抜法の開発……95
Ⅲ　良食味・いもち耐病性品種の育成……98
　1．良食味・いもち耐病性“強”品種「おきにいり」の育成……98
　2．良食味・いもち耐病性“極強”品種「ちゅらひかり」の育成 ……104
Ⅳ　いもち耐病性品種の経済的効果の評価 ……110
　1．いもち耐病性品種のいもち病発生の推移 …110
　2．いもち耐病性品種による薬剤削減効果の評価 ……114
　3．いもち耐病性品種の経済的効果の評価 …117
Ⅴ　総合考察 ……120
　1．東北地域における良食味・いもち病耐病性品種育成の現状 ……120
　2．東北地域におけるいもち耐病性品種導入のメリット ……121
　3．いもち耐病性品種育成の今後の展望 ……122
Ⅵ　摘　要 ……123

Ⅰ　緒　　論

いもち病は我が国の稲作において最も被害が大きな病害である。東北地域の稲作の歴史は、冷害とともにいもち病との闘いであったと言っても過言ではない。2005年の東北地域の水稲作付面積は442,900haで全国の26.0%を占め、10a当たり収量は563kg（全国平均532kg）で有数の多収地帯になっているものの（「東北農林水産統計」（東北農政局）より）、1800年代後半から1900年代初め頃までの収量は低収不安定で、全国平均よりも低かった。その克服には栽培技術の進歩とともに耐冷性、いもち耐病性、多収性を備えた品種育成に負うところが大きい。1950年代以降は、全国平均よりも高い収量を安定して得られるようになった。しかし、図１に示したように東北地域のいもち病による被害は過去25年間をみても減少しておらず、依然として稲作の大きな生産阻害要因になっている。特に冷害年にはいもち病の発生が多くなることが指摘されており（東　1996）、本データからもそれを読みとることができる。

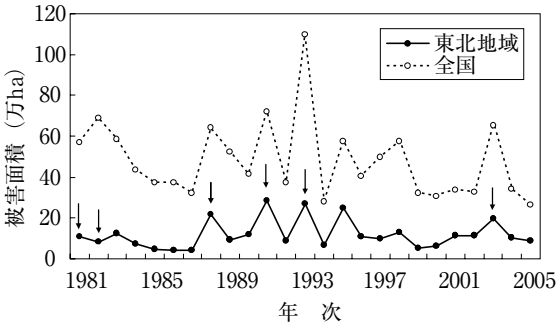


図１　いもち病被害面積の推移

注.「東北農林水産統計」（東北農政局）による。矢印は冷害年を表す。

水稲のいもち耐病性は、主働遺伝子に支配される真性抵抗性と複数の微働遺伝子に支配される圃場抵抗性に大別される。

圃場抵抗性の利用では、陸稲「戦捷」の高度圃場抵抗性を水稲に導入した愛知県農事試験場（現・愛知県農業総合試験場）での育成品種が現在にも引き継がれている。1922年に愛媛県農事試験場（現・愛媛県農業試験場）で「戦捷」／「畿内晩33号」の交配が行われ、F_1以降が愛知県農事試験場に継続された。この後代の選抜、交配により「田戦捷」、「真珠」、「双葉」が生まれ、さらに「秀峰」、「綾錦」、「ほまれ錦」、「銀河」、「秋晴」等の草姿が良好な品種が育成された。東北地域では1949年に農林省黒石農事改良実験所藤坂試験地（現・青森県農林総合研究センター藤坂稲作研究部）で「双葉」／「善石早生」より育成された「藤坂５号」が東北地域の冷害で威力を発揮するとともに、「レイメイ」、「アキヒカリ」、「トヨニシキ」等が生み出された（平野　1996）。また、現在普及している品種の圃場抵抗性は在来種の「愛国」、「銀坊主」、初期の育成品種である「農林6号」、「農林８号」、「農林17号」、「農林22号」、「陸羽132号」等に由来する場合が多い（東　1995）。

一方、主に外国稲から真性抵抗性を導入した高度抵抗性品種は当初は発病が皆無で有用とみられたものの、侵害菌の出現により数年で罹病化して問題となった。中国稲「荔支江」の抵抗性遺伝子“*Pik*”を導入して1960年に育成された「クサブエ」が普及

3年後に罹病化した（伊藤　1967）のを始め、「ユーカラ」（抵抗性遺伝子“*Pia, Pik*”）、「ウゴニシキ」（同“*Pik*”）、「シモキタ」（同“*Pia, Pita*”）、「フクニシキ」（同“*Piz*”）、「ハマアサヒ」（同“*Pia, Pii, Pik, Pib*”）、「アキユタカ」（同“*Pik, Piz*”）等が普及後平均して2～3年目に罹病化している(八重樫　1994)。

真性抵抗性が崩壊するという教訓を踏まえ、いもち耐病性育種は少なくとも真性抵抗性のみを利用することは避け、圃場抵抗性を強化する方向で進められた。東北地域で1966年以降の10年間に育成された品種の葉いもち抵抗性は、「愛国」、「亀の尾」等の在来品種や1945年以前に育成された品種に比べ、着実に水準が向上した（東　1981）。

1960年代後半の豊作を契機に我が国は米過剰時代に入り、1971年から米の生産調整が行われるようになった。品種にはそれまでの安定収量性から、良質・良食味性が求められるようになり、「コシヒカリ」、「ササニシキ」に代表される良食味品種が作付面積を増やしていった。東（1996）は1975年と1995年の東北地域の作付け上位6品種の平均いもち病圃場抵抗性水準を比較し、葉いもち、穂いもちとも明らかに低下していることを指摘した。表1に1985年、1995年、2005年それぞれの東北地域の作付け上位10品種について、いもち耐病性と耐冷性をまとめて表した。1985年には東北地域全体の作付けの約1割がいもち耐病性“強”以上であったのに対して、1995年、2005年には“強”以上の品種がほとんど作付けされていない。耐冷性が“強”以上の品種がこの20年間で大幅に普及して、冷害年に効果を発揮したこととは対照的である。近年の普及品種のいもち耐病性の低下は、東北地域に限らず全国的にもいえることであり、多くの報告がある（八重樫　1994、井辺　2002、藤井ら　2005）。藤巻（1980）は「コシヒカリ」、「ササニシキ」等の良食味品種にいもち耐病性を付与させることが難しいことを指摘しているが、「コシヒカリ」に由来する良食味品種である「ひとめぼれ」、「あきたこまち」、「はえぬき」、「つがるロマン」、「ゆめあかり」等のいもち耐病性はいずれも十分であるとは言い難い。

「ひとめぼれ」、「あきたこまち」等のいもち耐病性が不十分な良食味品種の安定栽培には、農薬による防除が不可欠である。しかし、一方で食の安全・安心の観点から、消費者の減農薬に対するニーズが高まっている。農林金融公庫（2001）が2001年に実施した全国調査によると、この1～2年に有機栽培米、無農薬米・減農薬米を購入したことがある消費者はそれぞれ32.0%、26.4%で、無洗米（12.6%）、胚芽米（12.1%）等よりも高い割合になっていた。岩手県盛岡市の消費者を対象に1995年に調査した結果でも、国産・銘柄米指向とともに値段よりも味や

表1　1985年、95年及び2005年における東北地域の水稲作付け上位10品種のいもち耐病性と耐冷性

1985年

順位	品種名	面積(ha)	割合(%)	耐病性	耐冷性
1	ササニシキ	198,737	36.7	弱	やや弱
2	アキヒカリ	107,098	19.8	中	やや弱
3	キヨニシキ	82,369	15.2	中	やや弱
4	トヨニシキ	37,925	7.0	強	やや弱
5	ササミノリ	15,172	2.8	強	やや弱
6	コシヒカリ	14,478	2.7	弱	極強
7	コガネヒカリ	13,655	2.5	やや強	やや強
8	サトホナミ	11,533	2.1	中	やや弱
9	アキユタカ	7,808	1.4	強	中
10	初星	5,816	1.1	中	やや強
強以上(%)/上位10品種(%)				11.2/91.3	2.7/91.3

1995年

順位	品種名	面積(ha)	割合(%)	耐病性	耐冷性
1	ひとめぼれ	116,446	23.4	中	極強
2	あきたこまち	107,419	21.4	やや弱	中
3	ササニシキ	72,038	14.5	弱	やや弱
4	むつほまれ	46,919	9.4	やや強	中
5	コシヒカリ	36,966	7.4	弱	極強
6	はえぬき	30,856	6.2	中	極強
7	どまんなか	15,456	3.1	やや弱	中
8	初星	13,995	2.8	中	やや強
9	はなの舞	7,086	1.4	やや弱	極強
10	むつかおり	6,780	1.4	やや強	やや強
強以上(%)/上位10品種(%)				0.0/91.2	38.4/91.2

2005年

順位	品種名	面積(ha)	割合(%)	耐病性	耐冷性
1	ひとめぼれ	127,975	32.1	中	極強
2	あきたこまち	102,586	25.8	やや弱	中
3	コシヒカリ	50,995	12.8	弱	極強
4	はえぬき	43,673	11.0	中	極強
5	つがるロマン	25,035	6.3	やや強	やや強
6	ゆめあかり	15,384	3.9	中	強
7	ササニシキ	10,689	2.7	弱	やや弱
8	むつほまれ	4,571	1.1	やや強	中
9	いわてっこ	3,034	0.8	強	極強
10	めんこいな	2,574	0.6	中	中
強以上(%)/上位10品種(%)				0.8/97.1	60.6/97.1

注．うるち品種のみ。面積、割合は「米穀の品種別作付状況」（1985年、95年食糧庁、2005年農林水産省総合食料局）による。

安全性が重視される傾向にあった（磯島ら　1996）。消費者の減農薬米への関心は、これからも高まることが予想される。

東北地域では、減農薬米を求める消費者ニーズに応えるために、生産者が手間をかけていもち病に弱い良食味品種を減農薬で栽培するケースが増えている。図２に東北地域でのいもち病防除回数（葉いもち防除回数＋穂いもち防除回数）を示した（「農薬便覧」（日本植物防疫協会）の作付面積、葉いもち延防除面積、穂いもち延防除面積より算出）。東北地域のいもち病防除回数は全国より多いものの、25年前より徐々に減少しており、1999年以降は全国との差が縮まってきている。特に2003年の冷害年には、いもち病が多発したにも関わらず防除回数が増えていないことから、生産者が防除を控えながら無理をして栽培していることが推察される。

減農薬栽培を効率的に進め、東北地域の水稲の安定生産を図るためには、いもち耐病性品種を有効に活用することが望ましい。しかし、生産者にとっては「ひとめぼれ」、「あきたこまち」等の良食味であるがいもち耐病性が劣る品種が売れる米であり、これを作らざるを得ないという状況に立たされていると思われる。良食味でいもち耐病性が強い品種が育成できればそれを普及させることにより、生産者は安定した減農薬栽培を現状よりも容易にできるようになり、消費者は良食味の減農薬米を現状よりも入手しやすくなると考えられる。

本研究では、従来より育成が難しいとされてきた良食味でいもち耐病性が強い品種を作ることを最大の目的とした。まず、育種の効率化を図るために簡易交配法の検討を行った。続いて複数の雑種集団から系統を養成して、良食味及びいもち耐病性系統の出現頻度を調べることで、食味といもち耐病性が結びつけられるかどうかを検討した。同時に、良食味・いもち耐病性の品種を育成するために、特に食味といもち耐病性を重視しながら集団､系統の選抜、検定調査等を進めた。そして、東北地域では現在ほとんど作付けされていない耐病性品種が普及した場合に、農薬をどの程度削減でき、どの程度の経済効果があるのかを試算することで、いもち耐病性品種の今後の普及を図ろうとした。

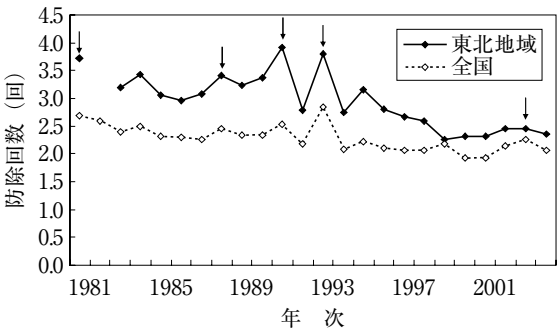


図２　いもち病に対する防除回数の推移

注.「農薬便覧」（日本植物防疫協会）の作付面積、葉いもち延防除面積、穂いもち延防除面積より算出。東北地域の1982年はデータなし。矢印は冷害年を表す。

これらの試験及び品種育成は、1988年から2003年にかけて東北農業試験場（2001年より東北農業研究センター）で行った。本研究の一部はすでに複数の雑誌等で発表した（山口ら　1995a、山口ら　1995b、山口ら　1997a、山口ら　1994、山口ら　1995c、東ら　1997、山口ら　2005、Yamaguchi *et al.* 2000、山口ら　1997b、山口ら　2004a、山口ら　1995d）。なお、本論文では特に断りがない限り、“いもち耐病性”は“いもち病圃場抵抗性”のことを指すものとする。

本論文の作成においては、東北大学大学院農学研究科西尾剛教授に懇切なご指導とご校閲をいただいた。品種育成については、当時東北農業試験場稲育種研究室の東正昭室長、滝田正室長には品種育成の実践の中で多くのご助言、ご指導をいただいた。同研究室の先輩、同僚、業務科職員、臨時職員各位には品種育成の苦楽を共にし、多くのご援助、ご協力をいただいた。研究遂行にあたっては、当時東北農業試験場水田病害研究室長の八重樫博志室長、斎藤初雄室長にはいもち病に関する多くのご教授をいただき、研究の方向性を確認することができた。当時中国浙江省農業科学院の裘伯欽氏、石川県農業試験場の中村啓二氏、長野県農事試験場の近藤武晴氏には研修生としてご援助をいただいた。そして、東北大学大学院農学研究科岸谷幸枝氏、東北農業研究センター中島敏彦氏からは、絶えず暖かい励ましをいただいた。このほか、多くの方々からご援助、ご助言をいただいた。ここにこれらの方々に深く感謝の意を表する。

Ⅱ　良食味・いもち耐病性系統の効率的育種法の開発

１．水稲の簡易交配法の開発

いもち耐病性品種の育成には交配が不可欠であ

る。現在の我が国の水稲の交配方法は、ポット栽培または圃場からポットに株上げした母本（種子親）を用いて温湯除雄（Jodon 1983、近藤　1939）するのが一般的であるが、母本の準備や管理に多くの労力と場所を必要とする。

切除茎授粉法は、開花前の穂を有する茎を切断してガラス室または室内で水耕の上、除雄並びに授粉することにより種子を得る方法である（赤藤1958）。水稲ではNoguchi（1936）がこの方法で種子を得ることに成功している。ここではNoguchi（1936）の方法（以下、“Noguchi法”とする）をさらに簡易化した切除茎授粉法を開発し、その実用性を明らかにした。そして、この切除茎授粉法での交配成功率を高める条件を検討した。

1）材料と方法

試験は1993、1994年に東北農業試験場（現・東北農業研究センター、大仙市）で行った。

切除茎授粉は次の方法で行った。交配当日の朝、圃場養成の材料の中から開花前の交配適期の穂を選び、節間から切り取って準備した。採取した切除茎は葉を半分程度残して切り取り、直ちに水に挿した。43℃、7分間の温湯除雄後、開花した穎花だけを残し、未開花のものを切除した。各作業は切除茎を水から出した状態で行ったが、作業の合間、作業後は水に挿しておいた。交配終了後、止葉とともに穂にパラフィン袋をかぶせ、切除茎は節を残すように水切を行い、無加温のガラス室で管理した。パラフィン袋は交配した穎花がすべて閉じているのを確認した上で、1～2日後に取り去った。栽培には水だけを用い、約10日おきに交換した。

（1）従来法と切除茎授粉法の交配成功率の比較

圃場で養成した母本を交配予定日の10日前に1/5,000aポットに株上げした従来法と上記の切除茎授粉法により、3通りの正逆交配、計6組合せの交配を行い、交配成功率を比較した。交配40日後に各区4～5穂の種子を収穫し、調査した。

（2）切除茎授粉法の交配成功率を高める諸条件の検討

切除茎授粉法の交配成功率を高める条件を検討するために、以下の3条件のもとで交配成功率を比較した。

a　切除茎の切除位置の違いの効果

母本を第Ⅲ節間、または第Ⅳ節間で切除し（図3）、交配後は水だけで栽培した。5組合せ、各区4穂を交配30日後に調査した。

b　水耕液による栽培の効果

交配後の切除茎を、①水、②水耕液、③水で5日－その後水耕液、の3通りで栽培した。水耕液は

図3　切除茎の第Ⅲ節間と第Ⅳ節間

図4　切除茎授粉法で交配した切除茎
注．交配14日後。

1/2春日井液（春日井　1939）を用いた。4組合せ、各区4穂を交配30日後に調査した。

c　インドール酢酸（IAA）処理による発根促進の効果

交配後、濃度の異なるIAA溶液（0、1、10、100ppmの4通り）でそれぞれ4日間処理を行い、その後1/2春日井水耕液で栽培した。4組合せ、各区4穂を30日後に調査した。

2）結果

（1）従来法と切除茎授粉法の交配成功率の比較

すべての切除茎で交配3～5日後に節からの発根が観察され、その後根は数cmまで伸長した（図4）。交配40日後、切除茎授粉法の材料は従来法のものに比べて葉身、葉鞘の退色が顕著であったが、どの組合せでも成熟種子が認められた。しかし授粉後、登熟過程で子房が退化した思われるものもいくつか見られた。

母本をポットに株上げする従来法と切除茎授粉法の交配成功率を比較すると、切除茎授粉法での稔実率が有意に低下する場合があったものの、いずれの組合せでも種子重、発芽率とも両法で大差がなかった（表2）。

従って、切除茎授粉法によっても正常な交配種子が得られることが確かめられた。

（2）切除茎授粉法の交配成功率を高める諸条件の検討

a　切除茎の切除位置の違いの効果

表2　従来法（ポットに株上げ）と切除茎受粉法の交配成功率の比較

交配組合せ	交配方法	1穂当たり授粉穎花数	稔実率（%）	種子重（mg）	発芽率（%）
ハヤニシキ/	従来法	9.4	37.5	24.8	100.0
福矮20号	切除茎受粉法	13.8	11.8**	22.8	100.0
福矮20号/	従来法	16.3	13.4	25.9	100.0
ハヤニシキ	切除茎受粉法	28.8	34.0ns	23.6	95.9
中母42/	従来法	6.8	33.9	24.1	100.0
圭陵矮8号	切除茎受粉法	8.6	30.5ns	21.3	100.0
圭陵矮8号/	従来法	16.8	27.3	23.2	100.0
中母42	切除茎受粉法	17.8	34.4ns	23.6	96.6
はなの舞/	従来法	17.4	24.7	23.8	95.2
奥羽320号	切除茎受粉法	10.2	1.4***	21.2	100.0
奥羽320号/	従来法	22.2	54.5	22.1	100.0
はなの舞	切除茎受粉法	22.8	29.3**	25.7	100.0

注．**、***：それぞれ1%、0.1%水準で有意差あり、ns：有意差なし。第Ⅲ節間で切除。交配後、水だけで栽培。処理穂数は各4～5本。

稔実率では5組合せのうち、「合川1号」／「奥羽346号」の組合せのみが第Ⅲ節間切除が第Ⅳ節間切除より有意に高かった。他の組合せでも第Ⅲ節間切除が第Ⅳ節間切除より高い傾向にあったが、標準偏差が大きいため有意差はなかった。種子重は第Ⅲ節間切除が第Ⅳ節間切除より重い傾向にあったが、発芽率には大きな差はなかった（表3）。

従って、稔実率の差を考えれば、切除位置は第Ⅳ節間より第Ⅲ節間のほうがよいといえた。

b　水耕液による栽培の効果

稔実率では4組合せとも、3通りの栽培方法の間に有意差はなかった。種子重は水だけよりも水耕液を用いたほうが重い傾向にあったが、発芽率には大きな差は認められなかった（表4）。

表3　切除位置の違いによる交配成功率の比較

交配組合せ	切除位置	1穂当たり授粉穎花数	稔実率（%）	種子重（mg）	発芽率（%）
ひとめぼれ/	第Ⅲ節間	12.3	52.4	19.5	100.0
奥羽346号	第Ⅳ節間	11.0	46.1ns	19.3	95.0
合川1号/	第Ⅲ節間	12.5	30.9	19.3	80.0
奥羽346号	第Ⅳ節間	7.0	8.8*	16.7	66.7
広解9号/	第Ⅲ節間	22.5	22.9	21.1	95.2
奥羽346号	第Ⅳ節間	40.3	23.7ns	23.9	97.4
ササニシキ/	第Ⅲ節間	28.8	9.1	19.8	100.0
奥羽351号	第Ⅳ節間	24.3	2.3ns	12.5	100.0
はぎのかおり/	第Ⅲ節間	21.0	25.4	20.7	85.7
奥羽351号	第Ⅳ節間	20.5	12.4ns	17.4	91.7

注．*：5%水準で有意差あり、ns：有意差なし。交配後、水だけで栽培。処理穂数は各4本。

表4　水耕液栽培の有無による交配成功率の比較

交配組合せ	処理方法	1穂当たり授粉穎花数	稔実率（%）	種子重（mg）	発芽率（%）
こがねもち/	水	21.0	38.6 a	17.2	97.0
コシヒカリ	水耕液	30.8	36.3 a	19.5	100.0
	水→水耕液	22.5	42.5 a	18.9	97.5
農林21号/	水	21.0	45.6 a	18.2	92.1
コシヒカリ	水耕液	21.5	26.2 a	21.8	95.8
	水→水耕液	20.5	40.5 a	20.5	93.9
白羊/	水	54.0	9.3 a	17.4	90.0
コシヒカリ	水耕液	41.0	4.5 a	18.1	100.0
	水→水耕液	50.8	1.0 a	14.5	100.0
大空/	水	18.0	27.3 a	19.1	93.3
コシヒカリ	水耕液	18.0	23.2 a	17.2	100.0
	水→水耕液	16.3	27.9 a	22.0	100.0

注．水耕液：濃度1/2春日井液（春日井 1939）。水→水耕液：交配後水で5日、その後水耕液で栽培。Tukey法により、同一アルファベット間には5%水準で有意差なし。第Ⅲ節間で切断。処理穂数は各4本。

c　IAA処理による発根促進の効果

IAA処理により、節からの発根が促進された。特に10ppm処理では、４組合せ中３組合せで最も発根促進があった。しかし、この場合でも稔実率に有意差はなく、発芽率にも大きな差はなかった（表５）。

３）考察

切除茎授粉法は従来法に比べて稔実率が低くなる場合があるが、正常な交配種子が得られることが明らかになった。切除茎授粉法での稔実率低下の原因の一つとして、授粉したにも関わらず登熟過程で子房が退化した種子が多かったことが考えられる。種子の子房退化を防ぎ、稔実率を上げるために切除茎の切除位置、水耕液による栽培、IAA処理による発根促進の検討を行った。切除位置は第Ⅳ節間より第Ⅲ節間が良いものの、水耕液栽培、IAA処理には稔実率、発芽率を高める効果はないので、切除茎の栽培は水だけで十分であった。切除位置が第Ⅲ節間で良かった原因として、稈が短いため水分ストレスによる種子の退化が少なかったことが考えられる。本法は１穂で10粒以下程度の交配種子を得る限りでは、実用的には問題ないといえる。

今回実施した切除茎授粉法をNoguchi法と比較すると、①母本の採取がNoguchi法では交配前日であるのに対して、本法では交配当日に父本と一緒に取ることができること、②除雄法はNoguchi法では剪穎によるが、本法ではより容易な温湯除雄によること、③切除茎の管理をNoguchi法では交配前日から交配５日後まで30℃、湿度100％の飽和状態の定温器中で行うが、本法では交配後は無加温のガラス室内で行うこと、の３点が改良点として挙げられる。

本法と母本を株上げする従来法とを比較すると、本法では、①交配当日に母本と父本を一緒に採取できること、②一連の交配作業をポット単位ではなく切除茎単位で行えるので、手間がかからないこと、③交配後の切除茎はまとめて水に挿して管理できるので、ポットに比べて広い場所を必要としないこと、が利点として挙げられる。従って、本法は多数の異なる組合せの交配を行う場合や、同一の父本で複数の交配を行う場合には特に有効である。なお、交配後の切除茎が発根するまでの３～５日間は特に乾燥に弱いので、ガラス室内では直射日光を避ける、適度な湿度を保つ等の注意が必要である。

本法は簡易交配法として、東北農業研究センターをはじめ複数の農業試験場で利用されているが、生産者でも実施可能な交配方法として「日本農業新聞」（1996年２月11日付）、雑誌「現代農業」（近藤　2000）でも紹介された。また、高校生を対象にした実験テキスト「とっておき生物実験」（山口　1998）、児童向けの書籍「田んぼの学校入学編」（宇根　2000）にも掲載され、教材としても一役買っている。

表５　インドール酢酸（IAA）処理による交配成功率の比較

交配組合せ	処理濃度 (ppm)	発根 ５日後	発根 ８日後	１穂当たり授粉穎花数	稔実率 (%)	種子重 (mg)	発芽率 (%)
はぎのかおり/奥羽351号	0	−	+	12.5	23.9 a	12.3	72.7
	1	−	+++	13.8	8.8 a	16.5	75.0
	10	+	+++	14.3	34.8 a	14.5	88.0
	100	−	+++	11.8	16.1 a	15.9	71.4
こがねもち/奥羽351号	0	−	+	13.0	17.4 a	14.0	85.7
	1	−	++	17.0	1.9 a	14.0	100.0
	10	+	+++	18.8	14.0 a	20.2	100.0
	100	−	++	22.3	7.8 a	14.8	100.0
はえぬき/奥羽351号	0	+	++++	14.8	9.7 a	20.2	100.0
	1	+	++++	8.5	6.0 a	21.5	100.0
	10	++	++++	8.5	2.6 a	19.0	100.0
	100	−	++++	12.5	4.2 a	16.7	100.0
新青矮１号/奥羽351号	0	+	+++	36.8	13.7 a	22.0	100.0
	1	+++	++++	29.5	7.2 a	15.3	85.7
	10	++	+++	42.3	20.0 a	17.8	96.9
	100	+	+++	31.0	15.8 a	16.7	94.7

注．発根：−、+、++、+++、++++：それぞれ根長０㎜、１－５㎜、６－10㎜、11－20㎜、21㎜＜。
Tukey法により、同一アルファベット間には５％水準で有意差なし。第Ⅲ節間で切断。
IAA溶液で４日、その後、濃度1/2春日井水耕液で栽培。処理穂数は各４本。

2．良食味・いもち耐病性系統の選抜可能性の評価

いもち耐病性育種の課題の一つに食味といもち耐病性の結合があり、長い年月にわたって両形質を結びつける試みがなされてきた。しかし、1980年の時点で、「コシヒカリ」、「ササニシキ」等の良食味品種にいもち耐病性を付与する育種は成功していない（藤巻 1980）、と指摘されている。鈴木ら（1976）、東ら（1983b）は、「ササニシキ」と「レイメイ」の交雑後代から良食味でいもち耐病性が強い系統を得ることが困難であることをそれぞれ報告している。

そこで、食味といもち耐病性の結びついた系統育成の可能性を検討する目的で、良食味でいもち耐病性が弱い品種「あきたこまち」と食味が劣りいもち耐病性が強い系統「奥羽320号」の交雑後代の系統について食味関連形質といもち耐病性を調査した。さらに、良食味でいもち耐病性が中位の系統「東北143号」（後の「ひとめぼれ」）を片親とし、それにいもち耐病性が強い系統を交配した4組合せの交雑後代の系統についても同様に調査を行った。

1）材料と方法

試験は1990年から1995年にかけて、東北農業試験場（現・東北農業研究センター、大仙市）で行った。

「奥羽320号」／「あきたこまち」の材料は、稲育種研究室（現・低コスト稲育種研究東北サブチーム）において1986年に交配、1987年から1988年に無選抜でF_3世代まで世代促進し、1989年にF_4雑種集団約3,000個体の中から草姿が良く、玄米の外観品質が優れた163個体を選抜したものを1990年より筆者が引き継いだ。「奥羽320号」の系譜を図5に示した。本材料は、通常の育種の流れの中に組み込まれていたものである。

1990年にF_5世代の163系統から、草姿、葉いもち抵抗性、玄米の外観品質が優れた17系統を選抜し、1991年にF_6世代で諸特性を調査するとともに生産力検定試験を実施した（図6）。一部の系統は、1992年以降も生産力検定試験を継続した。

各系統の調査項目と調査方法は、次の通りである。

（1）葉いもち抵抗性

畑晩播法（東・小綿 1995）により検定した。種子は乾籾の状態で6月上旬に1.2m×15.5mの播種床に間隔10cm、長さ50cmで条播した。1条70粒、2反復とした。基肥に硫加燐安（13-13-13）を150kg/10a施用し、追肥は行わなかった。接種源として、7月上旬にいもち菌株「研60-19」（レース037）を噴霧接種して罹病させた「イナバワセ」（4～5葉期）を細かく切って播種床全体に散布した。発病程度は特性検定調査基準に従い、0（無発病）～10（全茎葉枯死）の11段階（浅賀 1976）で、7月下旬に2回達観調査した。2回調査の平均値を発病程度とした。

（2）穂いもち抵抗性

6月上旬に栽植密度1/2（36+18）×15cm（2列植）、1区当たり9株×2列、1株1本植、2反復で本田に移植した。基肥に硫加燐案54kg/10a、追肥に硫安20kg/10aを施用した。接種源として、7月下旬にいもち菌株「研60-19」（レース037）を接種して罹病させた「イナバワセ」の苗（5～6葉期）を2列に1本ずつ、列の端に移植した。発病程度は特性検定試験調査基準に従い、0（無発病）～10（全穂首いもち罹病）の11段階で、9月下旬に1回達観調査した。

（3）アミロース含量

白米5粒（約100mg）に0.1N水酸化ナトリウム溶液1mlを加え、12時間放置した。分析にはアミロース自動分析装置（ブランルーベ・オートアナライザーⅡ型）を用いて2反復で行った。

（4）炊飯光沢

藤巻・櫛淵（1975）の方法に準じて、少量の材料で検定した。白米4gを100mlビーカーに入れ、水道水で2回水洗した後、水6mlを加えて約40分間吸水させた。炊飯には高圧滅菌器（平山製作所HA-30型）を使用した。アルミ箔でビーカーにふたをしてから、金網かごの中に2段に積み重ね、さらにかごを2つ重ねて滅菌器に入れた。110℃になるまで加熱した後（約25分間）、スイッチを切り20分間蒸してから開釜した。滅菌器から出して1時間後に表面光沢を1（優）～6（劣）の6段階で、「あきたこまち」が2～3、「キヨニシキ」が4、「トヨニシキ」が5～6になるように達観で判定した。

（5）食味官能試験

精米200gに対して水270mlを加え、1時間吸水させた。炊飯には高圧滅菌器（平山製作所HA-30型）を使用した。4分割釜（容量900ml）を金網かごに4個入れ、さらにかごを2つ重ねて滅菌器に設置した。炊飯時間は炊飯光沢の場合と同じである。「あきたこまち」を基準品種として、－3（劣）～0（基準と同じ）～＋3（優）の7段階評価で判定した。固定パネル12～16名の総合評価の平均値をその食味

評価値とした。

なお、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性、アミロース含量、炊飯光沢は全系統について調査を行ったが、食味官能試験はF_6系統及び「奥羽320号」、「あきたこまち」についてのみ行った。

さらに、良食味品種「東北143号（ひとめぼれ）」を片親とする「東北143号」／「奥羽338号」、「東北143号」／「奥羽336号」の2組合せを養成した。「奥羽336号」、「奥羽338号」の系譜を図5に示した。1989年に交配、90、91年にF_3まで世代を進め、1992

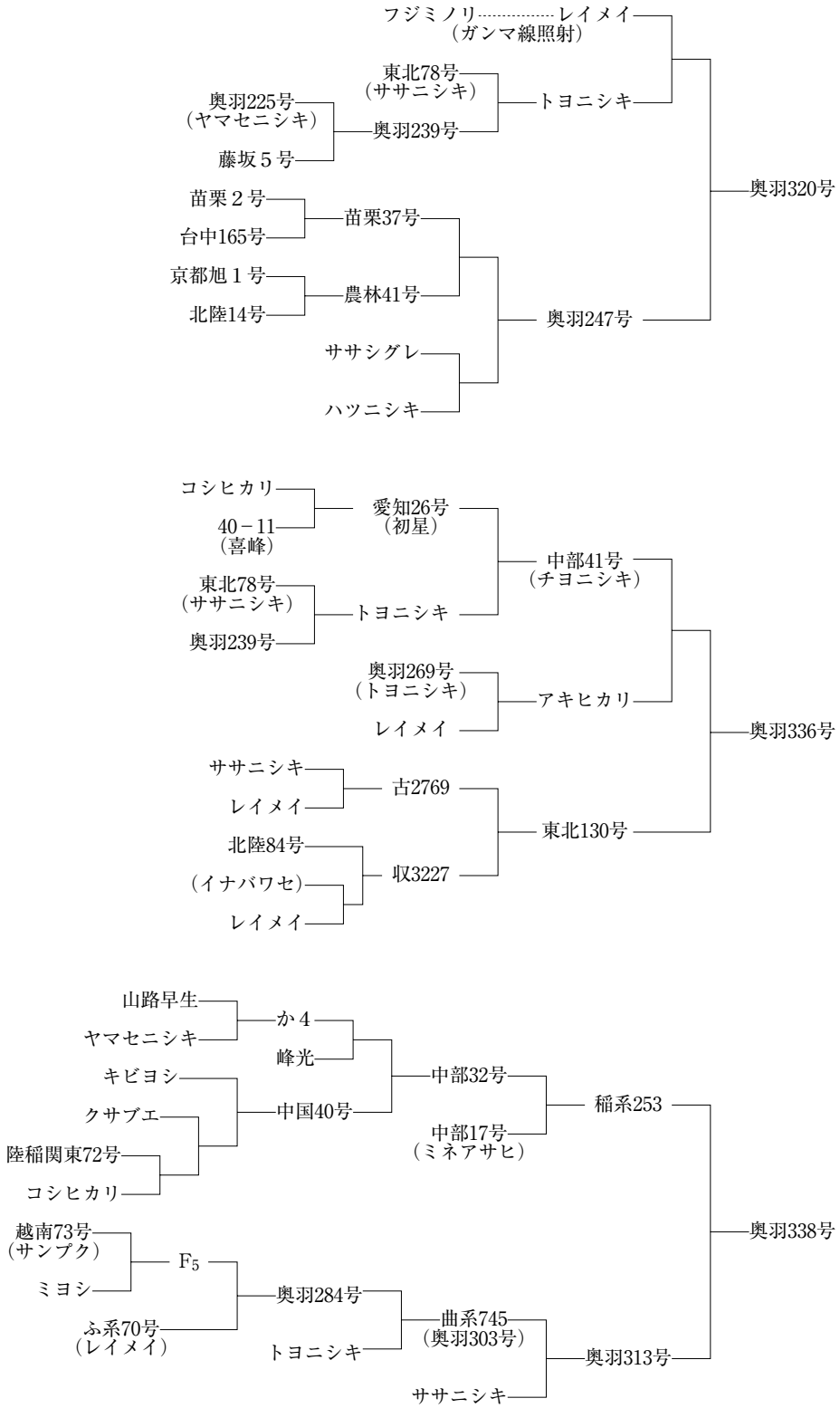


図5　「奥羽320号」、「奥羽336号」、「奥羽338号」の系譜

年に無選抜F_4雑種集団（各約3,000個体）から、草姿が良好な系統をそれぞれ109、85系統選抜した。同様に、「中部32号」／「東北143号」、「東北143号」／「奥羽320号」の2組合せについても、1990年に交配、91、92年に世代を進め、1993年に無選抜F_4雑種集団（各約3,000個体）から、草姿が良好な系統をそれぞれ51、50系統選抜した。これらの選抜系統は、それぞれ翌年のF_5系統で葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性、炊飯光沢を調査した。

2）結果

「奥羽320号」と「あきたこまち」の食味関連形質といもち耐病性を表6に示した。「奥羽320号」は1986年に東北農業試験場で育成された系統（交配組合せ：レイメイ/トヨニシキ//奥羽247号）で、その抵抗性は親品種を超越してさらに強い（東　1995）。

「奥羽320号」／「あきたこまち」の材料について、F_5系統すべての食味を食味官能試験で調べることは困難なため、食味を他の食味関連形質、すなわちアミロース含量あるいは炊飯光沢で推定できるかどうかを検討した。F_6系統と交配親を合わせた19系統の食味評価は、アミロース含量とは相関がなかったが（r＝0.037）、炊飯光沢とは有意な相関があった（r＝−0.647**）（図7）。F_6系統の食味評価は、前年度に対応するF_5系統の炊飯光沢とも有意な相関があり（r＝−0.456*）、F_6系統の炊飯光沢とそれに対応するF_5系統の炊飯光沢の親子相関も有意であった（r＝0.637**）。以上の結果から、F_5系統の食味はアミロース含量では推定できないが、炊飯光沢では推定できると判断した。

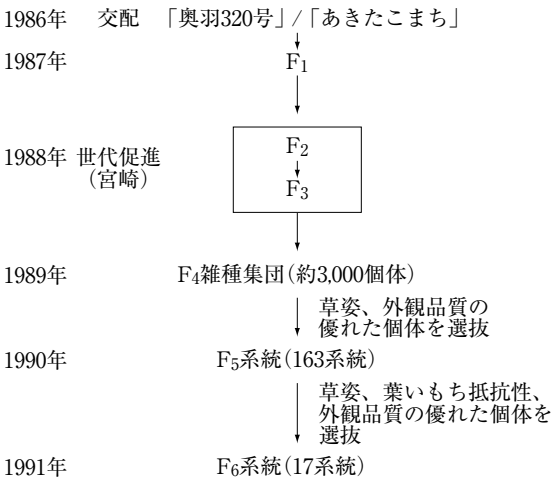


図6　「奥羽320号」/「あきたこまち」後代系統の養成方法

F_5系統と両親を合わせた165系統の炊飯光沢といもち耐病性の関係を調べたところ、炊飯光沢と葉いもち抵抗性との相関はみられず（r＝0.082）、炊飯光沢と穂いもち抵抗性との相関関係も判然としなかった（r＝−0.156*）。葉いもち抵抗性と穂いもち抵抗性との間には有意な相関があった（r＝0.445***）（図8）。

F_5系統における諸形質の優れた系統の出現頻度を表7にまとめた。ここで、“炊飯光沢良”を炊飯光沢3.0以下（「あきたこまち」並か、それより良いもの）、“葉いもち抵抗性強”を発病程度6.5以下（「奥羽320号」並か、それより強いもの）、“穂いもち抵抗性強”を発病程度4.0以下（「奥羽320号」並か、それより強いもの）と区分した。F_5系統の中に、炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性のすべてが優れた系統は8系統（4.9%）存在した。

同様に、「東北143号」を片親とする4組合せのF_5系統について、それぞれ炊飯光沢といもち耐病性の関係を調べたところ、炊飯光沢と葉いもち抵抗性、炊飯光沢と穂いもち抵抗性とも有意な相関がみられたのは、4組合せ中、それぞれ1組合せだけであった（表8）。炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性のすべてが優れた系統の出現頻度は、組合せによって2.0〜7.3%のばらつきがあるものの、すべ

表6　「奥羽320号」と「あきたこまち」の食味関連形質といもち耐病性（1990年）

品種名	食味官能試験（−3〜+3）	アミロース含量（%）	炊飯光沢（1〜6）	いもち病真性抵抗性遺伝子型	葉いもち発病程度（0〜10）	穂いもち発病程度（0〜10）
奥羽320号	−0.86**	17.2±1.1	5.0	*Pia*	6.1±1.2	3.3±0.8
あきたこまち	0.00	18.6±1.2	3.0	*Pia, Pii*	9.0±0.7	6.6±0.8

注．アミロース含量、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性の数値は、平均値±標準偏差。
　食味官能試験：基準品種「あきたこまち」、パネル22名、総合評価の値、−3（劣）〜+3（優）。**：符号検定で1%水準で基準品種と有意差あり。
　炊飯光沢：1（優）〜6（劣）。葉いもち発病程度：0（無発病）〜10（全茎葉枯死）。穂いもち発病程度：0（無発病）〜10（全穂首いもち罹病）。

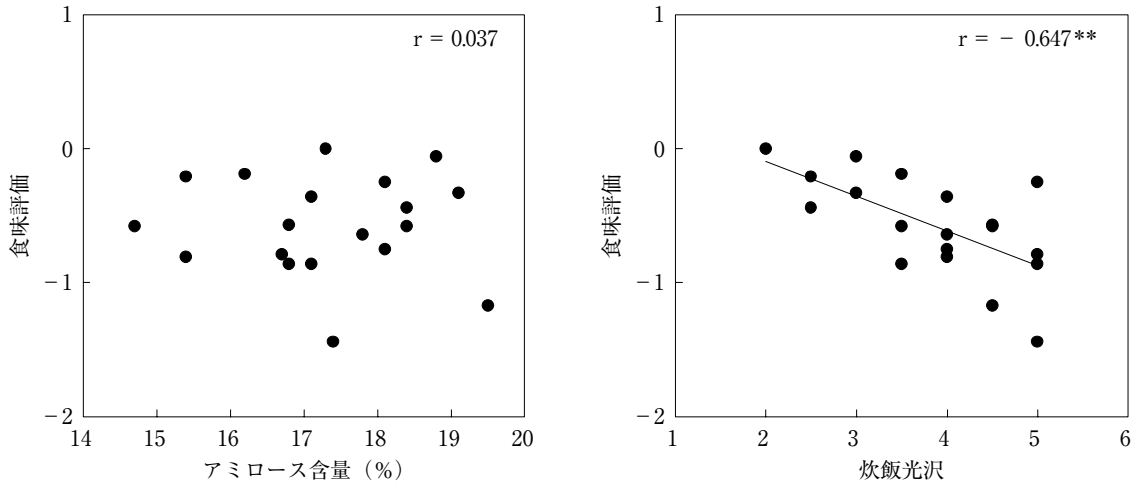


図７　「奥羽320号」/「あきたこまち」F_6系統における食味評価とアミロース含量（左）、食味評価と炊飯光沢（右）の関係

注．**：１％水準で有意。食味評価：－３（劣）～０（「あきたこまち」と同じ）～３（優）。炊飯光沢：１（優）～６（劣）。

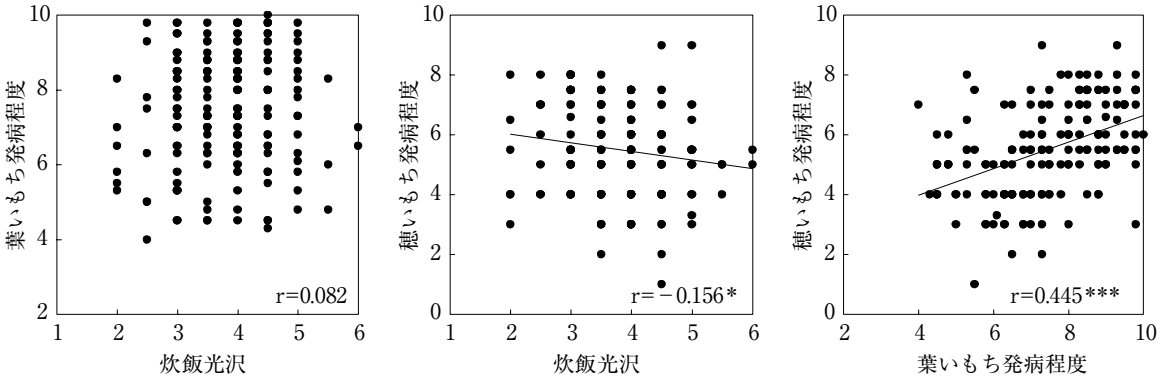


図８　「奥羽320号」/「あきたこまち」F_5系統における炊飯光沢と葉いもち発病程度（左）、炊飯光沢と穂いもち発病程度（中）、葉いもち抵抗性と穂いもち発病程度（右）の関係

注．*、***：それぞれ５％、0.1％水準で有意。炊飯光沢：１（優）～６（劣）。
葉いもち発病程度：０（無発病）～10（全茎葉枯死）。
穂いもち発病程度：０（無発病）～10（全穂首いもち罹病）。

表７　「奥羽320号」/「あきたこまち」F_5系統における炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性の優れた系統数及び出現頻度

	調査系統数	炊飯光沢良	葉いもち抵抗性強	穂いもち抵抗性強	３特性とも優れた系統	
					期待値	実測値
系統数	163	43	53	45	3.9	8
出現頻度（%）	−	26.4	32.5	27.6	2.4	4.9

注．炊飯光沢良：3.0以下、葉いもち抵抗性強：発病程度6.5以下、穂いもち抵抗性強：発病程度4.0以下。３特性：炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性。
期待値：（炊飯光沢良の出現頻度）×（葉いもち抵抗性強の出現頻度）×（穂いもち抵抗性強の出現頻度）。３特性がそれぞれ独立していると仮定。

表８　「東北143（ひとめぼれ）」を片親とする４組合せのF_5系統における炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性の相互相関及び３特性の優れた系統の出現頻度

	調査系統数	相関関係			３特性とも優れた系統の出現頻度(%)	
		炊飯光沢と葉いもち抵抗性	炊飯光沢と穂いもち抵抗性	葉いもち抵抗性と穂いもち抵抗性	期待値	実測値（系統数）
東北143号/奥羽338号	109	−0.014	0.004	0.411***	4.7	7.3(8)
東北143号/奥羽336号	85	−0.097	−0.302**	0.180	8.3	3.5(3)
中部32号/東北143号	51	−0.464**	−0.212	0.644***	4.5	2.0(1)
東北143号/奥羽320号	50	−0.114	0.057	0.501***	4.5	6.0(3)

注.　**、***：それぞれ１%、0.1%水準で有意。
　３特性：炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性。期待値：（炊飯光沢良の出現頻度）×（穂いもち抵抗性強の出現頻度）×（穂いもち抵抗性強の出現頻度）。３特性がそれぞれ独立していると仮定。
　東北143号（ひとめぼれ）：炊飯光沢良、葉いもち抵抗性やや弱、穂いもち抵抗性中。
　奥羽338号：炊飯光沢中、葉いもち抵抗性やや強、穂いもち抵抗性強。
　奥羽336号：炊飯光沢中、葉いもち抵抗性やや強、穂いもち抵抗性強。
　中部32号：炊飯光沢劣、葉いもち抵抗性強、穂いもち抵抗性極強。
　奥羽320号：炊飯光沢劣、葉いもち抵抗性強、穂いもち抵抗性極強。

表９　「羽系339」の食味官能試験結果

生産年（試験年月日）	パネル数	品種名	食味評価（−3〜0〜+3）			
			総合	外観	粘り	味
1992	22名	羽系339	−0.05	−0.05	−0.05	−0.09
（1993. 1. 14）		奥羽320号	−0.91**	−0.91**	−0.77**	−0.77**
		あきたこまち	+0.27	+0.18	+0.32	+0.14
		あきたこまち(基準品種)	0	0	0	0
1993	22名	羽系339	−0.18	+0.09	+0.05	−0.4
（1994. 1. 13）		あきたこまち	+0.09	+0.05	+0.09	+0.09
		あきたこまち(基準品種)	0	0	0	0
1995	17名	羽系339	0.06	−0.12	−0.29	0.00
（1996. 1. 25）		奥羽320号	−0.65*	−0.76*	−0.65*	−0.59*
		あきたこまち	0.00	0.35	−0.12	0.00
		あきたこまち(基準品種)	0	0	0	0

注.　*、**：符号検定でそれぞれ５%、１%水準で基準品種と有意差あり。
　粘り：−３(基準品種より粘り小)〜０(基準品種と同じ)〜+３(基準品種より粘り大)。
　その他は、−３(基準品種より劣)〜０(基準品種と同じ)〜+３(基準品種より優)。

ての組合せで炊飯光沢が良く、いもち耐病性が強い系統が存在した（表８）。

「奥羽320号」／「あきたこまち」のF_6系統（17系統）から、1991年に食味官能試験の評価が高く、葉いもち、穂いもち抵抗性が強かったもので、草姿、耐倒伏性、耐冷性、玄米の外観品質等の特性が比較的優れた系統を３系統選抜した。1992年以降、これらの生産力検定試験を継続して諸特性をさらに詳しく調べた。その中の１系統、「羽系339」は「あきたこまち」に近い良食味で（表９）、葉いもち及び穂いもち抵抗性は「奥羽320号」並に強かった（表10）。しかし、収量性（玄米重）が「あきたこまち」より高くなかったため、地方番号（東北農業試験場では“奥羽”番号）を付けるまでには至らなかった（表11）。

３）考察

「奥羽320号」／「あきたこまち」、及び「東北143号（ひとめぼれ）」を片親とする４組合せの計５組合せのF_5系統について、炊飯光沢と葉いもち抵抗性、炊飯光沢と穂いもち抵抗性との間には、それぞれ１組合せを除いて強い相関関係は認められなかった。

従来より食味といもち耐病性を結びつけることは難しいとされてきたが、食味といもち耐病性との間に強い負の相関がみられない組合せでは、雑種集団として十分な規模の個体数を確保しておけば、食味といもち耐病性の結びついた系統の選抜は可能であろう。この場合、交配母本の選び方が選抜効率に大きく影響すると思われる。

炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性の３

特性が優れた系統の出現頻度は、組合せによって2.0～7.3%のばらつきがあるが、すべての組合せで炊飯光沢が良く、いもち耐病性の強い系統が存在した。それぞれの組合せにおける3特性が優れた系統の出現頻度を、3特性が独立であると仮定した場合の期待値と比較すると、「奥羽320号」／「あきたこまち」、「東北143号」／「奥羽338号」、「東北143号」／「奥羽320号」の3組合せで実測値が期待値の1.3～2.0倍あった（表7、8）。これは、葉いもち抵抗性と穂いもち抵抗性の相関がそれぞれ有意に高かったためであると考えられた（それぞれ r = 0.445***、r =0.411***、r =0.501***）。一方、「東北143号」／「奥羽336号」、「中部32号」／「東北143号」の2組合せでは、どちらも実測値が期待値の0.4倍であった。これは、前者が炊飯光沢と穂いもち抵抗性（r = −0.302**）、後者が炊飯光沢と葉いもち抵抗性（r = −0.464**）との間に有意な負の相関があったことに原因があると考えられた。

「奥羽320号」、「奥羽388号」のように組合せ後代の葉いもち抵抗性と穂いもち抵抗性の相関が高く、しかも食味といもち耐病性との間に高い負の相関がみられない系統は、食味といもち耐病性が結びついた系統育成のための母本として有用であろう。

「奥羽320号」／「あきたこまち」の組合せから最終的に選抜された「羽系339」は、実際に食味といもち耐病性が結びついた系統である。収量性が「あきたこまち」よりも劣るために実用品種としては不十分であるが、「羽系339」が得られたことにより、良食味でいもち耐病性の系統が育成できることを実証した。また、Ⅲ2．で述べる良食味・いもち耐病性“極強”品種「ちゅらひかり」は、本試験で用いた「東北143号」／「奥羽338号」の組合せから育成された。本組合せからは、良食味でいもち耐病性の地方番号系統「奥羽363号」も育成されている。

良食味・いもち耐病性育種を進めていくには、その目標水準をどこに置くかにもよるが、適当な交配母本を選定することが最も重要であろう。さらに、集団の養成個体数の規模、効率的な選抜方法に気をつかっていけば、食味といもち耐病性を結びつけることは十分に可能であると考えられる。

3．良食味・いもち耐病性系統の効率的選抜法の開発

Ⅱ2．で、食味といもち耐病性を結びつけることは十分に可能であることを述べたが、目的の系統が得られる頻度は決して高くない。そこで、良食味・いもち耐病性系統を効率的に選抜する方法を検討した。

育種の過程で、いもち耐病性系統を効率的に選抜する方法として、初期世代をいもち病多発の条件で養成して抵抗性個体を選抜することにより、選抜効果が高まること、すなわち後代に抵抗性系統が残る割合が高くなることが報告されている（上原・佐本1981、井上ら　1983a、奥津ら　1984）。しかし、これでは目的とする良食味系統をある程度淘汰してし

表10　「羽系339」のいもち耐病性

品種名	試験年	葉いもち発病程度（0～10）	穂いもち発病程度（0～10）
羽系339	1991	3.0	2.0
	1992	6.0	4.3
	1993	5.0	2.8
	1995	3.1	4.5
	平均	4.3	3.4
奥羽320号	1991	4.3	2.0
	1992	5.5	3.3
	1993	4.3	3.6
	1995	4.1	2.8
	平均	4.6	2.9
あきたこまち	1991	6.0	5.4
	1992	8.0	6.6
	1993	5.5	6.0
	1995	6.9	8.3
	平均	6.9	6.6

注．評価は特性検定試験調査基準による。
葉いもち発病程度：0（無発病）～10（全茎葉枯死）。穂いもち発病程度：0（無発病）～10（全穂首いもち罹病）。

表11　「羽系399」の諸特性（1991～1993、1995年の4年間平均）

品種名	出穂期（月.日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏（0～9）	玄米重（kg/a）	玄米千粒重（g）	外観品質（1～9）	いもち病真性抵抗性遺伝子型	耐冷性稔実（%）
羽系399	8.10	80	18.1	361	2.0	49.2	22.3	3.6	*Pia, Pii*	28
あきたこまち	8. 8	82	17.9	352	2.7	51.4	21.6	3.1	*Pia, Pii*	27

注．倒伏：0（無倒伏）～9（完全倒伏）。外観品質：1（上上）～9（下下）。
耐冷性稔実：恒温深水法による穂ばらみ期の耐冷性検定。水温19.3～19.5℃、水深20cm、処理期間7月上旬～8月下旬。

まう可能性がある。

そこで、F_2雑種集団と世代促進したF_4雑種集団をいもち病多発の条件で養成して、穂いもち抵抗性の強い個体を選抜し、その選抜効果を調べた。また、F_2及びF_4雑種集団での選抜により、良食味・いもち耐病性系統がそれぞれどの程度出現するかを比較した。

1）材料と方法

試験は1990年から1994年にかけて、東北農業試験場（現・東北農業研究センター、大仙市）で行った。

供試系統の交配組合せは、「中部32号」／「東北143号（ひとめぼれ）」、「東北143号」／「奥羽320号」である。1990年に交配、1992年に南九州で２世代無選抜により世代促進した。これら２組合せについて、３通りの試験区で系統を養成した（図９）。

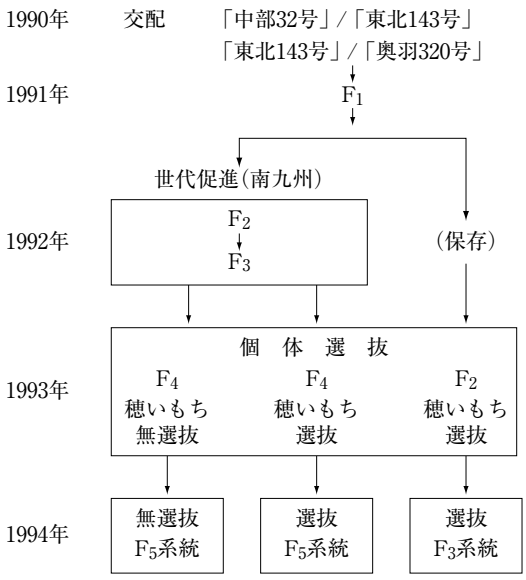


図９　「中部32号」/「東北143号」、「東北143号」/「奥羽320号」後代系統の養成方法

①　無選抜F_5系統：　1993年にF_4雑種集団から穂いもち発病程度での選抜は行わず草姿のみで個体選抜して、1994年にF_5系統として展開した。

②　選抜F_5系統：1993年にF_4雑種集団から穂いもち発病程度の低いものを個体選抜して、1994年にF_5系統として展開した。

③　選抜F_3系統：1993年に保存しておいたF_2雑種集団から穂いもち発病程度の低いものを個体選抜して、1994年にF_3系統として展開した。

それぞれ50系統（「中部32号」／「東北143号」の無選抜F_5系統のみ51系統）を供試した。なお、①のF_4雑種集団はいもち防除を行った圃場で、②、③のF_4及びF_2雑種集団は罹病株を植え込んでいもち病を多発させた圃場で養成した。1994年、これら301系統と２組合せの両親の葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性、炊飯光沢を、Ⅱ２．と同じ方法で調査した。

2）結果

供試系統の両親の食味評価といもち耐病性を表12に示した。供試した２組合せは、良食味でいもち耐病性が弱い親と食味が劣りいもち耐病性が強い親との組合せである。親の食味評価と炊飯光沢との間には高い相関があることから、これらの組合せでは食味は炊飯光沢で推定できると判断した。

各試験区の炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性の相互相関をみると、穂いもち抵抗性と炊飯光沢の相関は、２組合せとも選抜F_3系統がF_5系統（無選抜、選抜）よりも負の相関程度が高かった（表13）。

各試験区の個々の特性の優れた系統及び３特性とも優れた系統の出現頻度を表14にまとめた。ここで、“炊飯光沢良”を炊飯光沢3.0以下（「東北143号」並か、それより良いもの）、“葉いもち抵抗性強”を発病程度7.0以下（「奥羽320号」並か、それより強い

表12　供試系統の両親の食味評価といもち耐病性（1994年）

品種名	食味官能試験（−3〜+3）	炊飯光沢（1〜6）	いもち病真性抵抗性遺伝子型	葉いもち発病程度（0〜10）	穂いもち発病程度（0〜10）
東北143号	+0.15	2.9±0.3	*Pii*	9.0±1.1	5.3±0.6
中部32号	−1.15**	4.4±0.1	+	6.4±0.4	3.3±0.3
奥羽320号	−0.90**	4.9±0.1	*Pia*	6.9±0.4	3.9±0.3

注．炊飯光沢、葉いもち発病程度、穂いもち発病程度の数値は、平均値±標準偏差。
　食味官能試験は、基準品種：あきたこまち、パネル：20名、総合評価の値、−３（劣）〜＋３（優）。**：符号検定で１％水準で基準品種と有意差あり。
　炊飯光沢：１（優）〜６（劣）。葉いもち発病程度：０（無発病）〜10（全茎葉枯死）。穂いもち発病程度：０（無発病）〜10（全穂首いもち罹病）。

表13　各試験区における炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性の相互関係

試験区名	調査系統数	相関関係		
		炊飯光沢と葉いもち抵抗性	炊飯光沢と穂いもち抵抗性	葉いもち抵抗性と穂いもち抵抗性
中部32号/東北143号				
無選抜F_5系統	51	−0.464**	−0.212	0.644***
選抜F_5系統	50	−0.228	−0.082	0.583***
選抜F_3系統	50	−0.027	−0.394**	0.198
東北143号/奥羽320号				
無選抜F_5系統	50	−0.114	0.057	0.501***
選抜F_5系統	50	−0.028	0.065	0.254*
選抜F_3系統	50	−0.292*	−0.170	0.363**

注．*、**、***：それぞれ５％、１％、0.1％水準で有意。

表14　各試験区における炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性の優れた系統の出現頻度

試験区名	炊飯光沢良	葉いもち抵抗性強	穂いもち抵抗性強	３特性とも優れた系統の出現頻度(%)	
				期待値	実測値（系統数）
中部32号/東北143号					
無選抜F_5系統	37.3	19.7	60.8	4.5	2.0(1)
選抜F_5系統	38.0	26.0	68.0	6.7	12.0(6)
選抜F_3系統	32.0	18.0	80.0	4.6	4.0(2)
東北143号/奥羽320号					
無選抜F_5系統	36.0	30.0	42.0	4.5	6.0(3)
選抜F_5系統	34.0	30.0	52.0	5.3	12.0(6)
選抜F_3系統	30.0	12.0	48.0	1.7	2.0(1)

注．炊飯光沢良：3.0以下、葉いもち抵抗性強：発病程度7.0以下、穂いもち抵抗性強：発病程度4.0以下。３特性：炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性。
　期待値：（炊飯光沢の出現頻度）×（葉いもち抵抗性強の出現頻度）×（穂いもち抵抗性強の出現頻度）。３特性がそれぞれ独立であると仮定。

もの）、“穂いもち抵抗性強”を発病程度4.0以下（「奥羽320号」並か、それより強いもの）と区分した。２組合せとも選抜系統（F_3、F_5とも）における穂いもち抵抗性強の頻度が無選抜F_5系統よりも６～19%高く、前世代での穂いもち選抜の効果が若干ながら認められた。一方、葉いもち抵抗性強の頻度は、「中部32号」／「東北143号」の選抜F_5系統が無選抜に比べて６％高かったが、他の試験区は高くなく、「東北143号」／「奥羽320号」の選抜F_3系統ではむしろ低くなっていた。炊飯光沢良の頻度は、選抜F_5系統は無選抜と変わらなかったが、選抜F_3系統では５～６％低くなっていた。

選抜F_5系統における３特性が優れた系統の出現頻度は、無選抜F_5系統や選抜F_3系統よりも２倍以上高かった。

３）考察

食味、いもち耐病性の異なる品種を両親とする２組合せについて、F_2、F_4世代で穂いもち選抜を行い次世代で穂いもち抵抗性が強い系統の頻度をみたところ、選抜F_3系統、選抜F_5系統とも前世代での選抜効果がわずかではあるが認められた。これは、初期世代でいもち耐病性選抜を行うと選抜効果が高まる、という過去の複数の報告（上原・佐本　1981、井上ら　1983、奥津ら　1984）と同様であった。

炊飯光沢、葉いもち耐病性、穂いもち耐病性がすべて優れた系統の出現頻度は、選抜F_5系統が最も高かった。この実測値は、３特性が独立であると仮定した場合の期待値と比べても1.8～2.3倍高かった（表14）。選抜F_5系統では、葉いもち抵抗性と穂いもち抵抗性の相関が高く、しかも食味といもち耐病性との間に高い負の相関がみられないため、実測値が

高くなったと考えられる。

今回供試した材料は、良食味でいもち耐病性が弱い親と食味が劣りいもち耐病性が強い親との組合せである。これらの雑種集団の初期世代では、炊飯光沢といもち耐病性の間に高い負の相関があったものが、無選抜で世代を進めることで組換えが起こり、相関が緩やかになったと考えられる。Ikehashi（1977）は、望ましくない形質間相関が存在する場合、無選抜で世代を進めると組換えの進行により有望な組換え個体が増加することを、シミュレーションにより明らかにした。今回の結果は、それを裏付けているものと考えられる。

従って、これらの組合せの雑種集団から良食味でいもち耐病性が強い系統を得るためには、初期世代（F_2）で選抜するよりも後の世代（F_4）で選抜したほうが効率的であるといえる。この結果が、今回とは異なる組合せの雑種集団（例えば、食味、いもち耐病性とも中程度の親同士の組合せ）にも当てはまるかどうかは、さらに検討する必要がある。

Ⅲ　良食味・いもち耐病性品種の育成

1．良食味・いもち耐病性“強”品種「おきにいり」の育成

1980年代の東北地域では、いもち耐病性品種として「トヨニシキ」、「ササミノリ」等が作付けされていた（表１）。これらは収量も安定して栽培しやすいものの、食味が不十分であるため作付けが減少していった。良食味でいもち耐病性が強く、耐冷性も備えた安定多収品種が強く求められていたため、筆者は耐冷性、多収性を加味しながら、食味といもち耐病性を結びつけた品種の育成に努めてきた。

１）育種目標と育成経過

東北地域向けで食味が「あきたこまち」並に優れた“上中”、いもち耐病性が「トヨニシキ」並に強い“強”で耐冷性が強い多収品種を育成することを目標とした。

育成は1984年から1995年にかけて、東北農業試験場（現・東北農業研究センター、大仙市）で行った。

1984年に食味が中位でいもち耐病性が強い系統「中部47号」を母とし、良食味でいもち耐病性が中位の系統「奥羽313号」を父として交配を行った（図10）。1985年にF_1を圃場で養成し、翌年以降はF_2、F_3世代をガラス室及び苗代放置栽培により集団で維持し、世代を進めた。1988年に本田でF_4集団（3,100個体）を養成し、個体選抜を行った。筆者はこれ以降、品種育成に関わった。圃場では草姿、稈の強さ、登熟性等を考慮して85個体を選抜した。さらに室内で玄米品質を調査し、最終的に品質の良好なものを57個体選抜した。1989年のF_5世代から系統を養成し、57系統から８系統を選抜した。その中で後に「おきにいり」となった系統は、草姿が良く強稈で、畑晩播法による葉いもち抵抗性が比較的強く、玄米品質も良好であった。1990年にはF_6世代で８系統群を養成し、系統選抜を続けるとともに「Y5-11」の系統番号で生産力検定予備試験を行った。この系統は食味が優れており、穂いもち抵抗性や耐冷性が強かった。1991年、F_7世代で「羽系327」の系統名で生産力検定試験、系統適応性検定試験、特性検定試験を行い、1992年のF_8世代から「奥羽346号」の系統名で希望する関係県へ配付して地方適応性を検討した。これら選抜経過の概要を図11に示した。

宮城県において、1992年から1995年までの４年間の奨励品種決定調査の結果、1996年に奨励品種に採用されることになり、“水稲農林342号”、「おきにい

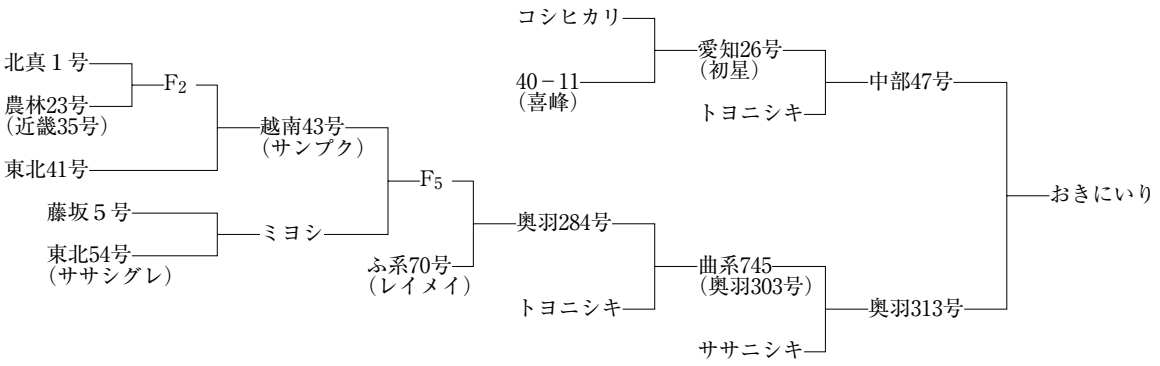


図10　「おきにいり」の系譜

り」として命名登録された（登録年月日：1996年８月21日）。同年4月、種苗法に基づく品種登録の出願を行い、2000年に品種登録された（登録番号：第7812号、登録年月日：2000年３月29日）。

2）特性

（1）食味

「おきにいり」の食味官能試験結果を表15に示した。「おきにいり」は炊飯米の外観が良く、「あきた

年次	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
世代		F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}
選抜経過	交配	個体	集団	集団	個体選抜	系統	系統	羽系327	奥羽346号	奥羽346号	奥羽346号	奥羽346号
育成系統図	奥羽交59-9	F1-316	S-4	Z-4	RF-14	977 996 1033	2388 2389 2390	3133 3134 3135	3037 3038 3039	3028 3029 3030	3019 3020 3021	3016 3017 3018
養成選抜数	養成系統群数					−	8	3	1	2	2	2
	養成系統数					57	24	9	3	6	6	6
	選抜系統群数					−	3	1	1	2	2	2
	選抜系統数					8	3	1	2	2	2	2
	選抜個体数				57	24	9	3	6	6	6	15

図11 「おきにいり」の選抜経過

注．奥羽交：交配番号、F1：F_1番号、S、Z、RF：雑種集団番号。
アンダーラインは「おきにいり」の選抜系統（数字は系統番号）を示す。

表15 「おきにいり」の食味官能試験結果（1993～1995年）

生産年（試験年月日）	パネル数	品種名	食味評価（−3～0～+3） 総合	外観	粘り	味
1993	22名	おきにいり	−0.18	+0.05	+0.05	−0.23
（1994. 1. 19）		ひとめぼれ	−0.42	−0.05	−0.32	−0.27
		トヨニシキ	−0.95**	−0.50*	−0.86**	−0.82**
		コシヒカリ（北陸産）	+0.09	−0.09	0.00	−0.05
		日本晴（農セ産）	−0.86**	−0.64*	−0.82**	−0.86**
		あきたこまち(基準品種)	0	0	0	0
1994	12名	おきにいり	0.00	0.00	+0.17	−0.08
（1995. 1. 12）		キヨニシキ	−0.67	−0.50	−0.58	−0.67*
		ササニシキ	−0.08	+0.32	−0.17	−0.08
		あきたこまち	−0.08	−0.08	−0.08	−0.08
		あきたこまち(基準品種)	0	0	0	0
1994	14名	おきにいり	+0.14	+0.21	+0.35	+0.07
（1995. 6. 13）		キヨニシキ	−0.71	−0.43	−0.57	−0.50
		ササニシキ	−0.14	0.00	0.00	−0.29
		あきたこまち	+0.07	0.00	−0.07	−0.29
		あきたこまち(基準品種)	0	0	0	0
1995	20名	おきにいり	+0.30	0.00	0.00	−0.10
（1996. 1. 12）		ササニシキ	−0.10	−0.25	−0.15	−0.10
		あきたこまち	0.00	0.05	0.00	−0.05
		あきたこまち(基準品種)	0	0	0	0

注．*、**：符号検定でそれぞれ５％、１％水準で基準品種と有意差あり。
粘り：−３(基準品種より粘り小)～０(基準品種と同じ)～＋３(基準品種より粘り大)。
その他は、−３(基準品種より粘り劣)～０(基準品種と同じ)～＋３(基準品種より優)。
北陸産：北陸農業試験場（現・中央農業総合研究センター北陸研究センター）産、農セ産：農業研究センター（現・作物研究所）産。その他は東北農業試験場（現・東北農業研究センター）産。

こまち」と同程度に粘りがあり、食味は「トヨニシキ」、「キヨニシキ」、「日本晴」より明らかに優り、「あきたこまち」、「ササニシキ」と同等の良食味で、“上中”である。1994年は高温下で登熟したため、玄米に心白や背白が発生したが、1994年産の官能試験結果は他の年次の結果と変わらなかった。従って、高温条件下で登熟して玄米の外観品質が低下した場合でも、「おきにいり」の食味にはほとんど影響がないといえる。

（２）いもち耐病性

「おきにいり」の葉いもち抵抗性は、育成地及び依頼試験地の試験結果から、「あきたこまち」よりやや強く、「トヨニシキ」、「トドロキワセ」と同程度かやや劣る“やや強”である（表16）。穂いもち抵抗性は、「あきたこまち」、「ササニシキ」より明らかに強く、「トヨニシキ」、「トドロキワセ」並の“強”である（表17）。

図12に育成地のいもち多発生圃場における「おきにいり」と「ササニシキ」の穂いもち発病の様子を示した。いもち耐病性が弱い「ササニシキ」は穂いもちに罹病して穂が褐変したのに対して、「おきにいり」の穂は緑色を保っていた。「おきにいり」の穂いもち抵抗性は、明らかに「ササニシキ」に優っていた。

（３）その他の特性

「おきにいり」の主な特性を表18に示した。出穂期は「ササニシキ」と同程度の“中生の晩”に属する。稈長、穂長は「ササニシキ」並で、穂数は「ササニシキ」より少なく、「トヨニシキ」並かやや少ない“中間型”の草型である。倒伏には「トヨニシキ」並かそれ以上に強く、収量性は「トヨニシキ」より高く、多収である。玄米千粒重がやや大きく、玄米の外観品質は「ササニシキ」並の“上下”である。いもち病真性抵抗性遺伝子型は“*Pia,Pii*”をも

表16　「おきにいり」の葉いもち抵抗性

品種名	いもち病真性抵抗性遺伝子型	育成地 6年平均	福島相馬 3年平均	愛知山間 3年平均	古川 3年平均	青森藤坂 2年平均	判定
おきにいり	*Pia, Pii*	6.9	4.6	6.1	4.2	4.0	やや強
あきたこまち	*Pia, Pii*	7.4	−	−	−	−	中
トドロキワセ	*Pii*	6.9	4.3	4.8	3.8	3.8	強
イナバワセ	*Pii*	8.4	5.8	6.0	5.8	5.0	弱
藤坂５号	*Pii*	−	4.8	5.2	4.4	3.5	やや強
トヨニシキ	*Pia*	6.7	−	−	−	−	強
キヨニシキ	*Pia*	7.1	−	−	−	−	やや強
ササニシキ	*Pia*	8.0	−	−	−	−	やや弱

注．数値は畑晩播法による検定での葉いもち発病程度：０（無発病）～10（全茎葉枯死）。
福島相馬：福島県農業総合研究センター浜地域研究所、愛知山間：愛知県農業総合試験場山間農業研究所、古川：宮城県古川農業試験場、青森藤坂：青森県農林総合研究センター藤坂稲作研究部。
育成地の６年平均は1990～1995年の平均、福島相馬の３年平均は1991、1993、1995年の平均、愛知山間の３年平均は1992、1993、1995年の平均、古川の３年平均は1992～1995年の平均、青森藤坂の２年平均は1993、1994年の平均。

表17　「おきにいり」の穂いもち抵抗性

品種名	いもち病真性抵抗性遺伝子型	育成地 6年平均	福島相馬 3年平均	山形最上 4年平均	愛知山間 2年平均	判定
おきにいり	*Pia, Pii*	3.8	2.6	3.0	6.5	強
あきたこまち	*Pia, Pii*	6.0	4.5	−	9.0	やや弱
トドロキワセ	*Pii*	3.9	2.3	3.2	5.3	強
イナバワセ	*Pii*	8.2	5.6	7.6	9.9	弱
トヨニシキ	*Pia*	4.1	2.7	2.4	6.2	強
キヨニシキ	*Pia*	5.3	3.4	4.0	−	中
ササニシキ	*Pia*	6.6	5.5	5.0	9.3	弱

注．数値は検定圃場での自然感染による穂いもち発病程度：０（無発病）～10（全穂首いもち罹病）。
福島相馬：福島県農業総合研究センター浜地域研究所、山形最上：山形県農業研究研修センター中山間地農業研究部（廃止）、愛知山間：愛知県農業総合試験場山間農業研究所。
育成地の６年平均は1990～1995年の平均、福島相馬の３年平均は1992、1993、1995年の平均、山形最上の４年平均は1991、1993～1995年の平均、愛知山間の２年平均は1993、1995年の平均。

図12　いもち多発生圃場における「おきにいり」（手前）と「ササニシキ」（後）の穂いもち発病程度

注．育成地1995年９月、いもち病優占レース007、出穂20日後。

つと推定され、障害型耐冷性は「トヨニシキ」、「ササニシキ」より明らかに強い“強”である。

（４）いもち無防除栽培の現地試験

1997年に大曲市（現・大仙市）内の２か所の生産者圃場で、「おきにいり」をいもち無防除で栽培した。栽培方法は以下の通りである。

①Ａ氏圃場（大曲市Ｙ地区）

移植期は５月22日で、施肥量（N成分kg/a）は基肥なし、追肥0.24（６月26日）、0.24（７月５日）、0.2（７月15日）の３回、栽植密度50株/3.3m2で、有機肥料を中心とした無農薬栽培を行った。

②Ｂ氏圃場（大曲市U地区）

移植期は５月25日で、施肥量（N成分kg/a）は基肥0.6、追肥0.21（６月28日）、栽植密度70株/3.3m²で、除草剤、殺虫剤は各１回使用、いもち病は無防除で栽培した。

いもち無防除栽培での「おきにいり」の穂いもち発病程度は、同じ条件の「あきたこまち」よりも36～70%少なかった。また、「おきにいり」の玄米収量はどちらも70kg/aを越え、「あきたこまち」よりも13～19%多収であった。食味は「あきたこまち」と同等であった（表19）。

３）配付先の試作結果と栽培適地

奨励品種決定調査での試作結果の概要を表20に示した。配付先は39県50場所で、1992年から1995年にかけて123試験が実施された。奨励品種採用となった宮城県以外では、石川県、佐賀県等で評価が高く1996年以降も調査が継続されたが、採用には至らなかった。

配付先（123試験）において、「おきにいり」が対照品種と比較して有利または不利と評価された形質を図13にまとめた。有利な形質として収量、粒大、食味、いもち病（葉いもち、穂いもち）が、不利な形質として熟期、稈長、品質（腹白、乳白）、稈質が多かった。倒伏は有利、不利と評価された数がほぼ同数であった。本品種の特性として、食味といもち耐病性のほか、収量性が高いものの外観品質が劣

表18　「おきにいり」の諸特性（1990～1995年（５年間）の平均）

品種名	出穂期（月.日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏（0～9）	玄米重（kg/a）	玄米千粒重（g）	外観品質（1～9）	いもち病真性抵抗性遺伝子型	耐冷性稔実（%）
おきいにり	8. 11	81	18.7	332	1.1	58.4	23.8	4.2	*Pia, Pii*	43
トヨニシキ	8. 11	80	18.6	350	2.0	54.9	21.6	3.7	*Pia*	18
ササニシキ	8. 11	82	18.4	402	4.8	58.6	21.5	4.1	*Pia*	21

注．倒伏：０（無倒伏）～９（完全倒伏）。外観品質：１（上上）～９（下下）。
耐冷性稔実：恒温深水法による穂ばらみ期の耐冷性検定。水温19.3～19.5℃、水深20cm、処理期間７月上旬～８月下旬。

表19　現地試験での「おきにいり」の栽培結果（1997年）

場　所	品種名	出穂期（月.日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	玄米重（kg/a）	穂いもち（%）	食味試験（－3～＋3）
Ａ氏圃場	おきいにり	8. 9	87	21.3	287	71.6	4.0	－0.16
（大曲市Ｙ地区）	あきたこまち	8. 1	82	19.1	317	63.3	13.5	－0.16
Ｂ氏圃場	おきいにり	8. 14	85	18.5	407	76.7	4.5	＋0.25
（大曲市Ｕ地区）	あきたこまち	8. 10	82	17.6	384	64.4	7.0	－0.25

注．穂いもち：達観による穂いもち罹病籾率（20株）の平均値。
食味試験：基準品種は育成地産「あきたこまち」、パネル19～20名、総合評価の値、－３（劣）～＋３（優）。

表20－１　「おきにいり」の配布先における有望度と収量比

県名	場所名	1992年			1993年			1994年			1995年			対象品種名
		有望度	収量比(%)		有望度	収量比(%)		有望度	収量比(%)		有望度	収量比(%)		
			標肥	多肥		標肥	多肥		標肥	多肥		標肥	多肥	
岩手	岩手	×	99											チヨホナミ
	県南	△	104*		○	116**		△	111	116	×	115	113	トヨニシキ* あきたこまち** ひとめぼれ
宮城	宮城	◎○	111		○△	155		◎○	102	110	奨	99	100	サトホナミ
	古川	○△	112		△	481	675	○	104	102	奨	106	102	サトホナミ
秋田	秋田	○	108		△	99	102	×	112	104				キヨニシキ
山形	山形	×	106											ササニシキ
福島	福島	○	101	104	△	93	95	×	102	108				チヨニシキ
	会津	△	99	104	△	100	105	×	107	107				チヨニシキ
	相馬				△	87	75	△	124	117	×	101*	102*	ひとめぼれ チヨニシキ*
茨城	茨城				×	93								チヨニシキ
栃木	栃木				△	92		×	115					ひとめぼれ
群馬	群馬				○△	109		△	117		△	112		サチイズミ
千葉	北総				△	111		×	100					初星
新潟	新潟				△	128		×	114					ゆきの精
	佐渡				△	110		△	116					ゆきの精
富山	富山				△	108		×	95*					越の華 コシヒカリ*
石川	石川				△	124*		○△	100		○	120		コシヒカリ* ホウネンワセ
福井	福井				△	112		×	109*					フクヒカリ ハナエチゼン*
静岡	御殿場				○	160*		△	101	112	×	112	117	月の光 ひとめぼれ
山梨	岳麓				△	208		×	124					フクヒカリ
長野	長野				△	111		△×	105		△	101		トドロキワセ
岐阜	飛騨				○	124		×	115*					トヨニシキ フクヒカリ*
愛知	長久手				△	98								初星
	稲武				△×	70								チヨニシキ
三重	伊賀				△	98		△×	102		△×	84		コシヒカリ
滋賀	滋賀				○△	117		×	102					コシヒカリ
	湖北				△	117		×	88*					チクブワセ コシヒカリ*
	湖西				△	148		×	106					コシヒカリ
京都	丹後				△	115		×	90					コシヒカリ
兵庫	兵庫				×	96								アキヒカリ
和歌山	和歌山				×	99								日本晴

る点が配付先の試作結果から明らかになった。

「おきにいり」は、「トヨニシキ」と同じ熟期の特性からみて、東北地域中部以南に適応するとみられる。だたし、高温登熟条件下では乳白、背白等が発生し、外観品質が低下しやすいので、地域の選定には注意が必要である。

４）考察

食味が「あきたこまち」並の“上中”、いもち耐病性が「トヨニシキ」並の“強”に匹敵する品種として育成された「おきにいり」は、食味といもち耐病性が結びついた東北地域で初めての品種である。そして「おきにいり」が育成された1996年以降、食味が“上中”でいもち耐病性が強い品種として宮城県古川農業試験場で1997年に「まなむすめ」（松永ら　2002a）、「はたじるし」（松永ら　2002b）、1999年に「こいむすび」（永野ら　2005）が、岩手

表20－２　「おきにいり」の配布先における有望度と収量比（つづき）

県名	場所名	1992年			1993年			1994年			1995年			対象品種名
		有望度	収量比(%)		有望度	収量比(%)		有望度	収量比(%)		有望度	収量比(%)		
			標肥	多肥		標肥	多肥		標肥	多肥		標肥	多肥	
鳥取	鳥取				×	108								コガネヒカリ
島根	島根				△	115		×	110					チドリ
	赤名				○△	120		×	116					チドリ
岡山	津山				△×	106								フクヒカリ
広島	高冷地				○△	118*		△	115		×	117		あきたこまち* 初星
山口	徳佐				○	407		×	127 110	140				コシヒカリ
徳島	徳島				△	129		△	101		×	84		コシヒカリ
愛媛	愛媛				△	117		×	114					コシヒカリ
高知	高知				△	106		△	114		×	119		コシヒカリ
香川	香川				△×	106		×	108					キヌヒカリ
佐賀	三瀬				○△	116		△	109		○△	118		コシヒカリ
長崎	長崎				×	129								コシヒカリ
熊本	阿蘇				△	104		×	117					コシヒカリ
	天草				△	166		×	113					コシヒカリ
大分	久住				△	109*		○△	111		△	128	121	アキユタカ* ひとめぼれ
宮崎	宮崎				○	118		△	108	117	×	113	108	コシヒカリ
鹿児島	鹿児島				×	111								コシヒカリ
沖縄	名護	1期									△	119		チヨニシキ
		2期										115		
	八重山	1期									△	106		チヨニシキ
		2期										114		

注．岩手：岩手県農業研究センター、県南：同県南分場（廃止）、宮城：宮城県農業・園芸総合研究所、古川：宮城県古川農業試験場、秋田：秋田県農林水産技術センター農業試験場、山形：山形県農業総合研究センター、福島：福島県農業総合センター、会津：同会津地域研究所、相馬：同浜地域研究所、茨城：茨城県農業総合センター生物工学研究所、栃木：栃木県農業試験場、群馬：群馬県農業技術センター、北総：千葉県農業総合研究センター北総園芸研究所、新潟：新潟県農業総合研究所作物研究センター、佐渡：同佐渡農業技術センター、富山：富山県農業技術センター農業試験場、石川：石川県農業総合研究センター、福井：福井県農業試験場、御殿場：静岡県農業試験場高冷地分場、岳麓：山梨県総合農業試験場岳麓試験地、長野：長野県農事試験場、飛騨：岐阜県中山間農業研究所、長久手：愛知県農業総合試験場、稲武：同山間農業研究所、伊賀：三重県科学技術振興センター農業研究部伊賀農業研究室、滋賀：滋賀県農業技術振興センター、湖北：同湖北分場、湖西：同湖西分場（廃止）、丹後：京都府丹後農業研究所、兵庫：兵庫県立農林水産技術総合センター農業技術センター、和歌山：和歌山県農林水産総合技術センター農業試験場、鳥取：鳥取県農業試験場、島根：島根県農業技術センター、赤名：同赤名分場（廃止）、津山：岡山県農業総合センター農業試験場北部支場、高冷地：広島県立農業技術センター高冷地研究部（廃止）、徳佐：山口県農業試験場徳佐寒冷地分場、徳島：徳島県立農林水産総合技術センター農業研究所、愛媛：愛媛県農業試験場、高知：高知県農業技術センター、香川：香川県農業試験場、三瀬：佐賀県農業試験研究センター三瀬分場、長崎：長崎県総合農林試験場、阿蘇：熊本県農業研究センター高原農業研究所、天草：同天草農業研究所、久住：大分県農業技術センター水田利用部久住試験地、宮崎：宮崎県総合農業試験場、鹿児島：鹿児島県農業開発総合センター、名護：沖縄県農業研究センター名護支所、八重山：同八重山支所。

有望度は、奨：奨励品種採用予定、◎：有望、○：やや有望、△：継続、×：打切り。収量比は、各場所の対象品種に対する収量比。

県農業研究センターで2001年に「いわてっこ」（神山ら　2001）が育成されている。

「おきにいり」を筆頭に良食味・いもち耐病性品種が次々に育成された背景には、交配母本として食味といもち耐病性が一定のレベル以上のものが用いられていることが挙げられる。例えば、「おきにいり」の母である「中部47号」はいもち耐病性が強く、食味は中位であるが劣ってはいない。父の「奥羽313号」は良食味で、いもち耐病性は中位であるが弱くはない。Ⅱ２．で考察したように、適当な交配母本を選定することで良食味・いもち耐病性品種を育成することは十分可能であると考えられ、これらの品種が育成された事実はそのことを裏付けているといえよう。

「おきにいり」は宮城県で1996年に奨励品種に採用され、平坦地帯のいもち病が発生しやすいところ

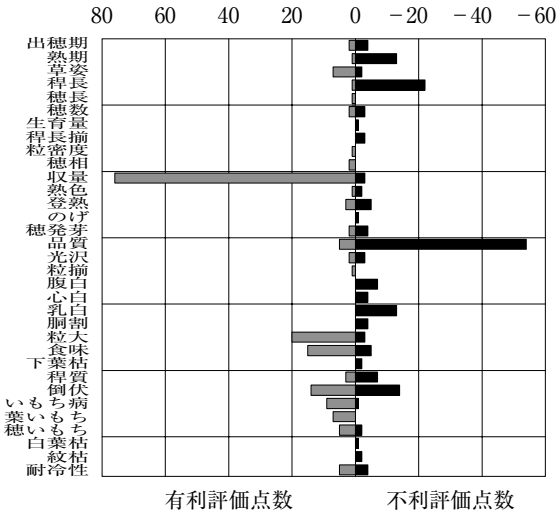


図13　「おきにいり」の配付先における有利または不利と評価された形質

注．配付先（123試験）において「おきにいり」が対照品種と比較して有利または不利と評価された形質を集計。

や泥炭地等の倒伏しやすいところで作付けされた。最大普及面積は1999年の465haである。いもち耐病性は強いものの、高温登熟により玄米の外観品質が低下しやすいため、普及面積が大きく伸びないまま同熟期の「ひとめぼれ」に置き換えられたとみられる。2005年の作付面積は56haとなっている。

一方で、有機栽培、減農薬栽培を行う生産者にとっては表19で示したように、良食味の有機米、減農薬米を生産することが容易になるため、いもち耐病性が弱い良食味品種に替えて「おきにいり」の導入が進められた。しかし、外観品質の問題とともに品種の知名度が低いことが普及の拡大を妨げたと考えられ、これらの生産者の間でも普及は伸び悩んだ。

なお、「おきにいり」を交配親とした有望系統が東北、九州等の各地で育成されており、佐賀県では2004年に「たんぼの夢」（交配組合せ：佐賀５号／おきにいり）が育成され、奨励品種になっている。佐賀県（三瀬分場）は奨励品種決定調査での「おきにいり」の評価も高かったところでもあり、「おきにいり」の適応性が高い地域の一つであることをうかがわせた。

２．良食味・いもち耐病性“極強”品種「ちゅらひかり」の育成

東北地域では、1996年以降「おきにいり」を始めとして「まなむすめ」、「いわてっこ」等の良食味・いもち耐病性品種が育成された。これら品種は「トヨニシキ」並の“強”のいもち耐病性を備えており、当面のいもち耐病性品種として利用できる。しかし、いもち病の多発地帯での栽培や減農薬栽培をより安定的に行うためには、さらにいもち耐病性が強い品種が望ましい。そこで筆者は、良食味でいもち耐病性が「トヨニシキ」よりもさらに強い品種の育成を進めてきた。

１）育種目標と育成経過

東北地域向けで食味が「ひとめぼれ」並に優れた“上中”、いもち耐病性が「トヨニシキ」より強い“極強”で耐冷性が強い多収品種を育成することを目標とした。

育成は1989年から2002年にかけて、東北農業試験場（現・東北農業研究センター、大仙市）で行った。

1989年に良食味であるがいもち耐病性が中位の系統「東北143号」（後の「ひとめぼれ」）を母とし、やや良食味でいもち耐病性が強い系統「奥羽338号」を父として交配を行った（図14）。1990年にF_1を圃場で養成し、1991年はF_2、F_3集団の養成を宮崎県総合農業試験場に依頼し、世代促進を行った。1992年に本田でF_4集団（3,000個体）を養成した。この集団はやや長稈で穂が長いものが多く、その中から草姿、玄米品質が良いものを109個体選抜した。

1993年は109系統について、草姿、玄米品質のほかに葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性、食味評価と相関が高い炊飯光沢（藤巻・櫛渕　1975）を調べた。その中から炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性が全て優れた8系統に、草姿、玄米品質が特に優れた５系統を含めた13系統を選抜した。1994年F_6世代以降は系統育種法により、草姿が良く食味といもち耐病性が優れた系統の選抜、固定を図った。1994年は「Y1-5」、1995年、1996年は「羽系438」の系統名で生産力検定試験、特性検定試験を行い、1997年のF_9世代から「奥羽366号」の系統名で、希望する関係県に配付して地方適応性を検討した。これら選抜経過の概要を図15に示した。

沖縄県において、1998年から2002年までの５年間の奨励品種決定調査の結果、2004年に奨励品種に採用されることになり、“水稲農林390号”、「ちゅらひかり」として命名登録された（登録年月日：2003年９月５日）。同年８月、種苗法に基づく品種登録の出願を行い、2006年に品種登録された（登録番号：第14034号、登録年月日：2006年３月20日）。

２）特性

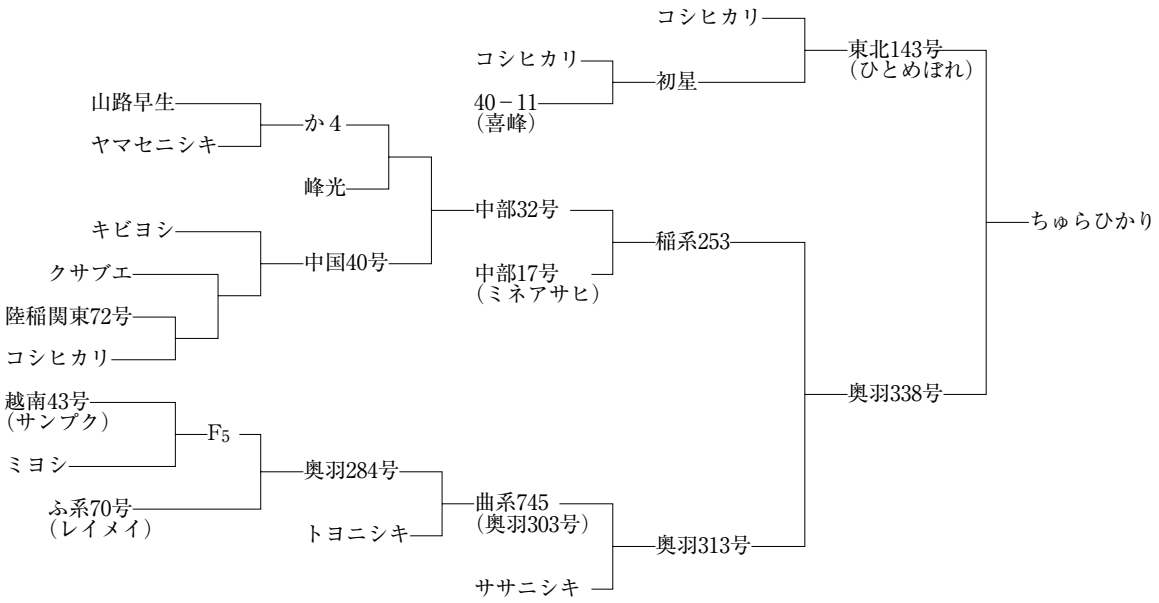


図14 「ちゅらひかり」の系譜

年次	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
世代		F_1	F_2-F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}
選抜経過	交配	個体	世代促進	個体選抜	系統	系統	羽系438	羽系438	奥羽366号	奥羽366号	奥羽366号	奥羽366号	奥羽366号	奥羽366号
育成系統図	奥羽交89-22	F1-530	宮-3	RF-1（3,000個体）	1 22 109	2010 2011 2012	3091 3092 3093	3175 3176 3177	3086 3087 3088	2176 2177 2178 2179 2180	3126 3127 3128 3129 3130	2556 2557 2558 2559 2560	2856 2587 2858 2859 2860	2726 2727 2728 2729 2730
養成選抜数	養成系統群数				－	13	5	2	2	2	2	2	2	1
	養成系統数				109	39	15	6	6	10	10	10	10	5
	選抜系統群数				－	5	2	2	2	2	2	2	2	1
	選抜系統数				13	5	2	2	2	2	2	2	1	1
	選抜個体数			109	39	15	6	6	10	10	10	10	5	5

図15 「ちゅらひかり」の選抜経過

注. 奥羽交：交配番号、F1：F_1番号、宮：宮崎世代促進番号、RF：雑種集団番号。
アンダーラインは「ちゅらひかり」の選抜系統（数字は系統番号）を示す。

（１）食味

「ちゅらひかり」の炊飯米の食味は、年次によって変動はあるものの、「キヨニシキ」よりは明らかに優り、「ひとめぼれ」に近い“上中”である（表21）。また、(財)日本穀物検定協会の専門パネルによる育成地産米の評価は、味と粘りが高く「ひとめぼれ」並に良好であった（表22）。

（２）いもち耐病性

「ちゅらひかり」の葉いもち抵抗性は、育成地及び依頼試験地の試験結果から、「はえぬき」、「あきたこまち」より明らかに強く、「はたじるし」と同程度かやや優る“極強”である（表23）。穂いもち

表21 「ちゅらひかり」の食味官能試験結果（2001、2002年）

生産年（試験年月日）	パネル数	品種名	食味評価（－3～0～＋3）		
			総合	外観	粘り
2001	9名	ちゅらひかり	－0.22	＋0.22	－0.44
（2001. 11. 8）		めんこいな	－0.33	－0.11	－0.44
		はえぬき（基準品種）	0	0	0
2001	8名	ちゅらひかり	－0.37	0.00	－0.37
（2001. 12. 19）		キヨニシキ	－1.00*	－0.75*	－1.25*
		はえぬき（基準品種）	0	0	0
2002	9名	ちゅらひかり	＋0.11	－0.22	＋0.11
（2002. 11. 25）		キヨニシキ	－1.11*	－0.66*	－1.33
		ひとめぼれ（基準品種）	0	0	0
2002	9名	ちゅらひかり	＋0.11	0.00	＋0.22
（2002. 12. 2）		キヨニシキ	－1.22*	－0.88*	－1.44**
		はえぬき	－0.33	0.00	－0.22
		ひとめぼれ（基準品種）	0	0	0

注. *、 **：符号検定でそれぞれ５％、１％水準で基準品種と有意差あり。
粘り：－３（基準品種より粘り小）～０（基準品種と同じ）～＋３（基準品種より粘り大）。
その他は、－３（基準品種より劣）～０（基準品種と同じ）～＋３（基準品種より優）。

表22 ㈶日本穀物検定協会における「ちゅらひかり」の食味官能試験結果（2002年）

品種名	外観	香り	味	粘り	硬さ	総合評価		
						評価値	信頼区間	有意差
ちゅらひかり	0.200	0.050	0.350	0.400	－0.050	0.350	±0.230	＋
ひとめぼれ	0.100	0.000	0.250	0.200	－0.400	0.250	±0.230	＋
あきたこまち	－0.250	－0.050	0.150	0.350	－0.100	0.200	±0.230	0

注. 材料は2002年育成地産。2002年11月29日実施、専門パネル20名による。
基準米：2002年産ブレンド米（日本晴＋コシヒカリ）。
－３（かなり不良）～０（基準米と同じ）～３（かなり良）の７段階で評価。

表23 「ちゅらひかり」の葉いもち抵抗性

品種名	いもち病真性抵抗性遺伝子型	育成地６年平均	福島相馬２年平均	愛知山間３年平均	古川2000年	青森藤坂２年平均	判定
ちゅらひかり	*Pia, Pii*	5.7	3.1	5.7	2.1	4.1	極強
はたじるし	*Pia, Pii*	5.7	3.3	6.3	－	－	強
はえぬき	*Pia, Pii*	6.8	4.7	－	2.9	－	中
あきたこまち	*Pia, Pii*	6.6	3.7	－	－	5.3	中
東北IL２号	*Pia, Pii*	6.7	－	7.8	－	－	中
ひとめぼれ	*Pii*	7.4	3.8	8.4	－	7.1	やや弱

注. 数値は畑晩播法による検定での葉いもち発病程度：０（無発病）～10（全茎葉枯死）。
福島相馬：福島県農業総合研究センター浜地域研究所、愛知山間：愛知県農業総合試験場山間農業研究所、古川：宮城県古川農業試験場、青森藤坂：青森県農林総合研究センター藤坂稲作研究部。
育成地の６年平均は1997～2002年の平均、福島相馬の２年平均は2001、2002年の平均、愛知山間の３年平均は1999、2000、2002年の平均、青森藤坂の２年平均は2001、2002年の平均。

抵抗性は、「トドロキワセ」、「まなむすめ」より強く、「奥羽357号」に近い“極強”である（表24）。

「ちゅらひかり」と「東北IL2号」を育成地のいもち多発生圃場で無防除で栽培した（図16）。「東北IL2号」は「ササニシキ」の同質遺伝子系統で、抵抗性遺伝子“*Pia, Pii*”をもつ。「東北IL２号」の穂の多くが穂いもちに罹病したのに対して、「ちゅらひかり」では穂いもちがほとんど見られなかった。「ちゅらひかり」の穂いもち抵抗性は、明らかに「東北IL2号」に優っていた。

表24　「ちゅらひかり」の穂いもち抵抗性

品種名	いもち病真性抵抗性遺伝子型	育成地 6年平均	福島相馬 6年平均	茨城 4年平均	愛知山間 3年平均	秋田 5年平均	判定
ちゅらひかり	*Pia, Pii*	1.7	2.5	3.3	4.0	3.0	極強
奥羽357号	*Pia, Pii*	1.3	−	−	−	2.5	極強
トドロキワセ	*Pii*	2.9	2.6	6.9	6.4	4.0	強
まなむすめ	*Pii*	2.4	3.2	−	−	4.4	強
はえぬき	*Pia, Pii*	3.5	−	−	−	5.8	中
ひとめぼれ	*Pii*	3.5	4.6	6.2	8.5	5.6	中
東北IL２号	*Pia, Pii*	5.3	−	−	−	−	弱

注．数値は検定圃場での自然感染による穂いもち発病程度：０（無発病）～10（全穂首いもち罹病）。
福島相馬：福島県農業総合研究センター浜地域研究所、茨城：茨城県農業総合センター生物工学研究所、愛知山間：愛知県農業総合試験場山間農業研究所、秋田：秋田県農林水産技術センター農業試験場。
育成地、福島相馬の６年平均はそれぞれ1997～2002年の平均、茨城の４年平均は1999～2002年の平均、愛知山間の３年平均は1999、2000、2002年の平均、秋田の５年平均は1998～2002年の平均。

図16　いもち多発生圃場における「ちゅらひかり」（左）と「東北IL２号」（右）の穂いもち発病程度
注．育成地2002年９月、いもち病優占レース007、出穂25日後。
「東北IL２号」：「ササニシキ」の同質遺伝子系統、抵抗性遺伝子“*Pia, Pii*”をもつ。

（３）その他の特性

「ちゅらひかり」の出穂期は「ひとめぼれ」より１日程度遅い“中生の晩”に属する。稈長は「ひとめぼれ」よりやや短く、穂長は同程度で、穂数は「ひとめぼれ」並かやや少ない“偏穂数型”の草型である。耐倒伏性は「ひとめぼれ」より強く、収量性は「ひとめぼれ」並かそれ以上、「はえぬき」より多い多収である。玄米千粒重は「ひとめぼれ」と同程度で、玄米の外観品質は光沢が「ひとめぼれ」よりやや小さく、総合では“上下”と評価される。いもち病真性抵抗性遺伝子型は“*Pia, Pii*”をもつと推定され、障害型耐冷性は「ひとめぼれ」と同程度の“極強”である（表25）。

３）配付先の試作結果と栽培適地

奨励品種決定調査での試作結果の概要を表26に示した。配付先は18県32場所で、1997～2002年にかけて103試験が実施された。奨励品種採用となった沖縄県以外では、山形県で評価が高かったが、既存品種と熟期が重なる等の理由から採用には至っていない。

配付先（103試験）において「ちゅらひかり」が対照品種と比較して有利または不利と評価された形質を解析すると、有利な形質として出穂期、草姿、収量、食味、倒伏、いもち病（穂いもち）が、不利な形質として熟期、穂発芽が多かった。品質、粒大は有利、不利と評価された数がほぼ同数で、地域により品質、粒大の変動が大きいことがうかがえる（図17）。

「ちゅらひかり」は「ひとめぼれ」、「はえぬき」と同じ熟期の特性からみて、東北地域中部以南に適応する。

表25　「ちゅらひかり」の諸特性（1996～2002年（７年間）の平均）

品種名	出穂期（月.日）	稈長（cm）	穂長（cm）	穂数（本/㎡）	倒伏（0～9）	玄米重（kg/a）	玄米千粒重（g）	外観品質（1～9）	いもち病真性抵抗性遺伝子型	耐冷性稔実（%）
ちゅらひかり	8.10	80	19.2	390	0.6	60.2	23.2	3.9	*Pia, Pii*	53
ひとめぼれ	8. 9	84	19.2	402	1.6	58.2	23.3	3.6	*Pia*	56
はえぬき	8. 9	75	18.7	380	0.1	55.3	22.6	3.3	*Pia, Pii*	54

注．倒伏：０（無倒伏）～５（完全倒伏）。外観品質：１（上上）～９（下下）。
耐冷性稔実：恒温深水法による穂ばらみ期の耐冷性検定。水温19.3～19.5℃、水深20cm、処理期間７月上旬～８月下旬。

表26「ちゅらひかり」の配布先における有望度と収量比

県名	場所名	1997年			1998年			1999年			2000年			2001年			2002年			対象品種名
		有望度	収量比(%) 標肥	多肥	有望度	収量比(%) 標肥	多肥	有望度	収量比(%) 標肥	多肥	有望度	収量比(%) 標肥	多肥	有望度	収量比(%) 標肥	多肥	有望度	収量比(%) 標肥	多肥	
岩手	岩手				△	93		×	102											ひとめぼれ
	県南				△	102		×	106											ひとめぼれ
	県北				×	80														たかねみのり
宮城	宮城	×	93																	ひとめぼれ
	古川				×	99														ひとめぼれ
秋田	秋田				×	104														ひとめぼれ
山形	山形				○	109*		○	101	104	○	114	111							どまんなか* はえぬき
	庄内				△	99		△	110	104	×	107	101	×	108	102				はえぬき
	置賜				△	93	79													どまんなか
	最上				△	97	104	△	95	107	△	91	93	△	97	100				はえぬき
福島	福島	△	87	91	△	73	96	×	102	96										チヨニシキ
	会津				×	89	97													ひとめぼれ
	相馬				×	88														ひとめぼれ
	冷害				×	96														初星
茨城	茨城				×	103														あきたこまち
	竜ヶ崎				×	94														ひとめぼれ
栃木	栃木				×	104														ひとめぼれ
	黒磯				×	117														ひとめぼれ
群馬	群馬				△×	103		×	101											サチイズミ
千葉	北総				△	113*		△	110		×	103								初星* コシヒカリ
三重	三重				△	101		○△	103		△×	105		×	94					どんとこい
福岡	福岡				×	98														夢つくし
佐賀	三瀬				△×	85														コシヒカリ
長崎	長崎				×	103														コシヒカリ
熊本	阿蘇				△	120		○	113		△	100	107	×	98	101				コシヒカリ
	矢部				△	116		○	111		△	108	110	×	107	106				コシヒカリ
	天草				×	107														コシヒカリ
大分	久住				×	108														ひとめぼれ
宮崎	宮崎				△	103		△	116		×	118								コシヒカリ
鹿児島	鹿児島				○△	123		△×	105											コシヒカリ
沖縄	名護	1期			○	103*		△	104		△	95		◎○	92		◎	100		チヨニシキ*
		2期				91*			74		△	108			110		◎	101		ひとめぼれ
	八重山	1期			○	94*		△	90	87	△	92	131	◎	106	111	奨	128	175	チヨニシキ* やえみのり**
		2期			○	85**		△	112	111	△	114	112	◎	97	116		132	130	ひとめぼれ

注. 岩手：岩手県農業研究センター、県南：同県南分場（廃止）、県北：岩手県農業研究センター県北農業研究所、宮城：宮城県農業・園芸総合研究所、古川：宮城県古川農業試験場、秋田：秋田県農林水産技術センター農業試験場、山形：山形県農業総合研究センター、庄内：同農業生産技術試験場庄内支場、置賜：同置賜分場（廃止）、最上：同中山間地農業研究部（廃止）、福島：福島県農業総合センター、会津：同会津地域研究所、相馬：同浜地域研究所、冷害：同冷害試験地（廃止）、茨城：茨城県農業総合センター生物工学研究所、竜ヶ崎：同農業研究所水田利用研究室、栃木：栃木県農業試験場、黒磯：同黒磯分場、群馬：群馬県農業技術センター、北総：千葉県農業総合研究センター北総園芸研究所、三重：三重県科学技術振興センター農業研究部、福岡：福岡県農業総合試験場、三瀬：佐賀県農業試験研究センター三瀬分場、長崎：長崎県総合農林試験場、阿蘇：熊本県農業研究センター高原農業研究所、矢部：同農産園芸研究所作物研究室矢部試験地、天草：同天草農業研究所、久住：大分県農業技術センター水田利用部久住試験地、宮崎：宮崎県総合農業試験場、鹿児島：鹿児島県農業開発総合センター、名護：沖縄県農業研究センター名護支所、八重山：同八重山支所。

有望度は、奨：奨励品種採用予定、◎：有望、○：やや有望、△：継続、×：打切り。収量比は、各場所の対象品種に対する収量比。

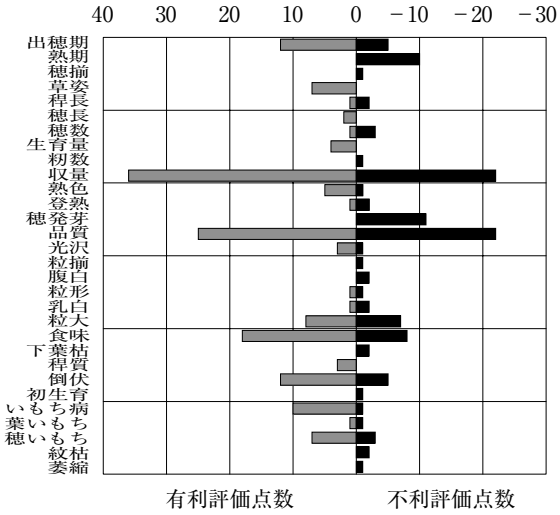


図17　「ちゅらひかり」の配付先における有利または不利と評価された形質

注．配付先（103試験）において「ちゅらひかり」が対照品種と比較して有利または不利と評価された形質を集計。

4）考察

「ちゅらひかり」は食味が「ひとめぼれ」並の“上中”、いもち耐病性が「トヨニシキ」よりもさらに強い“極強”の品種として育成された。このいもち耐病性は、1931年の「農林１号」から2005年までに命名登録された414の水稲品種（農林水産省育成登録品種）の中でもトップレベルであるといって間違いない。

「ちゅらひかり」のいもち耐病性は“極強”であるが、その両親である「東北143号（ひとめぼれ）」、「奥羽338号」のいもち耐病性（穂いもち）はそれぞれ“中”と“強”である。すなわち、「ちゅらひかり」はいもち耐病性に関して両親を超越して強くなっている。いもち耐病性（圃場抵抗性）は葉いもち、穂いもち抵抗性とも相加作用を主とするポリジーンあるいは複数遺伝子（同義遺伝子）に支配されており（東・櫛渕　1978、東ら　1983a）、遺伝的背景が異なる交配組合せの後代では、両親の遺伝子の集積により両親よりもいもち耐病性が強い系統を育成できる可能性が考えられる。実際に、いもち耐病性が両親を超越した品種が育成された事例は稀ではない（井上ら　1983b）。Ⅱ２．の研究で用いた「奥羽320号」も、いもち耐病性が親品種の「レイメイ」、「トヨニシキ」及び「奥羽247号」を超越して強く、“極強”になっている（東　1995）。「ちゅらひかり」も両親の遺伝子が集積した結果、耐病性が“極強”になったと考えられる。

「ちゅらひかり」の系譜で「奥羽338号」の母方をさかのぼると、「中部32号」にたどり着く（図14）。本系統は愛知県農業総合試験場山間技術実験農場（現・山間農業研究所）で育成されたいもち耐病性“極強”系統である。最近、「中部32号」がいもち病高度圃場抵抗性遺伝子“*Pi34*”を保有することが示され（Zenbayashi *et al.* 2002）、系譜的に「ちゅらひかり」にも本遺伝子が導入された可能性が考えられたが、調査した結果“*Pi34*”を保有していない可能性が高かった（遠藤・善林　未発表）。しかし、東北各地の育成地で「ちゅらひかり」（地方番号「奥羽366号」）を母本として、いもち耐病性が“極強”の系統「岩手75号」（交配組合せ：奥羽366号／岩南12号）、「山形95号」（同：山形59号／奥羽366号）、「福島17号」（同：奥羽366号／郡系176）、「奥羽390号」（同：奥羽366号／はたじるし）等が次々に育成されている。このことは、「ちゅらひかり」が比較的作用力が高い、いもち病圃場抵抗性遺伝子を保持し、それが後代に遺伝している可能性を示している。

「ちゅらひかり」を奨励品種に採用した沖縄県は、水稲作付面積が一期作と二期作をあわせて1,060ha（2005年）あるが、良食味品種「ひとめぼれ」のシェアが90%近くになっている。一方で、「ひとめぼれ」のいもち病発生による減収や、倒伏による玄米品質の低下が生産者の間で問題となっていた。生産現場からはいもち病や倒伏に強く、「ひとめぼれ」並に良食味の品種が求められており、それに「ちゅらひかり」が適合したわけである。「ちゅらひかり」が沖縄県で採用されたことにより、同県における「ひとめぼれ」への作付集中によるいもち病、倒伏の問題を解消し、良食味の沖縄県産米の安定生産に貢献できると期待される。

「ちゅらひかり」の沖縄県での作付けは伸びており（2005年作付面積73ha）、東北地域では、いもち防除剤を大幅に削減できることから、減農薬米生産用として各地で試作されている。また、前述したように「ちゅらひかり」を交配親にした有望系統が東北地域を中心に育成されている。それらの大部分が良食味でいもち耐病性が強くなっていることから、「ちゅらひかり」は交配親としても有望である。

Ⅳ　いもち耐病性品種の経済的効果の評価

1．いもち耐病性品種のいもち病発生の推移

Ⅰでも述べたように、現在作付けされている品種はいもち耐病性が弱いものが大部分を占めており（表1）、栽培には薬剤防除が不可欠である。しかし、安全性、環境保全、省力・低コスト化等の観点から薬剤防除の削減が望まれている。そこで、いもち耐病性品種を利用することでどの程度まで薬剤散布を削減でき、どの程度の経済的効果があるのかを明らかにしようとした。

まず、水稲の生育ステージにおける葉いもちの初発（7月上旬）から穂いもちの蔓延（9月下旬）までの品種の耐病性と薬剤防除との関係を明らかにするために、いもち耐病性の異なる品種を異なる防除回数で栽培し、その関係が葉いもち初発、葉いもち罹病株率、葉いもち病斑面積率、穂いもち罹病籾率に与える影響を経時的に調べた。

1）材料と方法

試験は1995年、1996年に東北農業試験場（現・東北農業研究センター、大仙市）で行った。

1995年には、「奥羽351号」（いもち病真性抵抗性遺伝子型“*Pia*”、葉いもち抵抗性“強”）、「トヨニシキ」（同“*Pia*”、同“強”）、「あきたこまち」（同“*Pia,Pii*”、同“中”）、「ササニシキ」（同“*Pia*”、同“弱”）の4品種を供試した。防除回数について、0回、1回、3回、5回の4通りの試験区を設定した。

① 0回区：薬剤無散布で栽培した。
② 1回区：6月23日にプロベナゾール粒剤を3kg/10a（葉いもち防除）施用した。
③ 3回区：②のほか、7月18日にイソプロチオラン粒剤を3kg/10a、8月14日にフェリムゾン・フサライド粉剤を3kg/10a（以上穂いもち防除）施用した。
④ 5回区：②のほか、7月6日にフサライド粉剤を3kg/10a（葉いもち防除）、7月18日にイソプロチオラン粒剤を3kg/10a、8月8日及び18日にフェリムゾン・フサライド粉剤をそれぞれ3kg/10a（以上穂いもち防除）施用した。

5月19日に1株3本植、栽植密度19.2株/m^2（22.5×22.5cm）で移植した。1区面積は15m^2（304個体）で、4品種、4試験区、3反復の合計48区を設けた。硫加燐安（13-13-13）を基肥として70kg/10a、追肥として7月6日に15kg/10a施用した。

各区の調査項目と調査方法は、次の通りである。

（1）葉いもち到初発日数

移植日から、区内で葉いもち病斑（慢性型または急性型病斑）が1個でも観察された日までの日数を調査した。

（2）葉いもち罹病株率

1区（304個体）内における葉いもち罹病株の割合を、7月7日から8月15日まで経時的に調査した。慢性型または急性型の葉いもち病斑が1個以上存在する株を葉いもち罹病株とした。

（3）葉いもち病斑面積率

区内の葉いもち初発株を中心とする25株（5株×5株）についての、達観調査による葉いもち病斑面積率の平均値を、7月31日、8月8日、8月18日の3回調査した。達観による葉いもち病斑面積率は「普通作物病害虫発生予察事業要項、同要領」の葉いもち発病程度別基準図をもとに推定した。

（4）穂いもち罹病籾率

区内の葉いもち病斑面積率を調査した25株についての、達観調査による穂いもち罹病籾率の平均値を、9月4日、9月13日の2回調査した。達観による穂いもち罹病籾率は、特性検定調査基準をもとに推定した。

1996年には葉いもち初発の品種間差異の有無を詳細にみるために、供試品種数を熟期及びいもち耐病性の異なる16品種（表27）に増やした。防除回数区は0回区、5回区の2つを設け、葉いもち致初発日数、葉いもち病斑面積率及び穂もち罹病籾率を調べた。栽培方法は1995年に準じた。すなわち、5回区は6月26日にプロベナゾール粒剤を3kg/10a、7月9日にフサライド粉剤を3kg/10a、7月24日にイソプロチオラン粒剤を3kg/10a、8月2日及び16日にフェリムゾン・フサライド粉剤をそれぞれ3kg/10a施用した。5月23日に1株3本植、栽植密度19.2株/m^2、1区面積7.5m^2、16品種、2試験区、3反復の合計96区で移植した。硫加燐安（13-13-13）を基肥として70kg/10a、追肥として7月10日に8kg/10a施用した。各区とも、葉いもち病斑面積率を早生群は8月13日、中晩生群は8月21日に、穂いもち罹病籾率を早生群は9月18日、中晩生群は9月25日に調査した。

2）結果

試験圃場のいもち病菌レースは007が優占していたため、本試験に用いた材料のいもち病真性抵抗性

表27　供試16品種のいもち耐病性と防除回数に対する葉いもち到初発日数（日）（1996年）

品種名	熟　期	いもち病真性抵抗性遺伝子型	穂いもち耐病性	0回	5回
レイメイ	早生	*Pia*	強	49.0±1.0	55.7±3.1
奥羽320号	早生	*Pia*	極強	50.0±1.0	58.0±3.5
まいひめ	早生	*Pia*	やや強	49.3±1.5	57.3±3.8
ヨネシロ	早生	*Pii*	強	48.3±0.6	58.0±1.0
藤坂5号	早生	*Pii*	中	46.3±3.1	54.0±0.0
イナバワセ	早生	*Pii*	弱	47.0±1.0	52.0±2.0
たかねみのり	早生	*Pii*	やや強	50.3±2.3	59.3±0.6
はなの舞	早生	*Pii*	弱	48.7±0.6	50.7±1.2
トヨニシキ	中晩生	*Pia*	強	48.3±1.2	57.0±4.4
ササニシキ	中晩生	*Pia*	弱	48.3±1.5	57.7±3.2
奥羽351号	中晩生	*Pia*	極強	48.0±1.0	51.0±1.0
チヨニシキ	中晩生	*Pia*	強	49.3±1.5	51.3±4.0
トドロキワセ	中晩生	*Pii*	強	47.0±5.6	49.3±2.1
あさあけ	中晩生	*Pii*	弱	47.7±1.5	53.3±3.2
奥羽341号	中晩生	*Pii*	強	48.7±1.5	54.0±4.4
ひとめぼれ	中晩生	*Pii*	中	49.3±1.5	49.3±0.6

注．数値は平均値±標準偏差。

表28　供試4品種の防除回数に対する葉いもち到初発日数（日）（1995年）

品種名	0回	1回	3回	5回
奥羽351号	54.0±2.6	57.5±3.5	60.0±2.8	59.5±2.1
トヨニシキ	52.7±0.6	52.0±0.0	58.0±4.2	62.5±4.9
あきたこまち	54.3±1.5	57.0±1.4	56.5±0.7	58.0±2.8
ササニシキ	51.3±2.1	54.5±0.7	56.5±2.1	58.0±1.4

注．数値は平均値±標準偏差。

表29　到初発日数の分散分析と要因の寄与率（1996年）

要因	平方和	自由度	平均平方	F値	寄与率（%）
防除（P）	682.67	1	682.67	113.78*	41.8
ブロック	1.52	2	0.76	0.13	0.0
品種（V）	353.29	15	23.55	3.93*	16.3
P×V	208.67	15	13.91	2.32*	7.3
誤　差	37,181	62	6.00		34.6
合　計	1,617.96	95			100.0

注．*、**：それぞれ5%、1%水準で有意。

遺伝子型は考慮しなかった。

葉いもちの到初発日数は、1995年に供試した4品種間で差がなかった。しかし、品種に関わらず防除により到初発日数は遅くなった（表28）。到初発日数に対する品種間差異の有無を明らかにするために、1996年に供試品種数を16に増やして到初発日数を調べた結果の分散分析を行った（表27、表29）。防除回数、品種ともに有意であったが、全体の分散に対する品種の寄与率は防除回数の半分以下の16.3%で、品種が到初発日数に与える影響は防除回数よりも小さかった。特に0回区では品種による到初発日数の差が4日で、5回区（差は10日）よりも品種による差が小さかった。また、到初発日数と葉いもち病斑面積率、穂いもち罹病籾率との相関をそれぞれみると、0回区、5回区とも有意な相関はみられなかった（表30）。以上のことから、品種の耐病性の強弱は葉いもちの初発にはほとんど影響を与えず、薬剤防除は品種に関わらず葉いもち初発を遅らせると考えられた。

表30　到初発日数と葉いもち病斑面積率、穂いもち罹病籾率との相関（1996年）

試験区	到初発日数と葉いもち病斑面積率との相関係数	到初発日数と穂いもち罹病籾率との相関係数
0回区	0.286	0.298
5回区	0.323	0.286

注．n＝48。

1995年に供試した4品種の葉いもち罹病株率の経時的推移を図18に示した。品種に関わらず無防除（0回区）に対して1回以上防除した場合の罹病株率は減少した。耐病性の強い「奥羽351号」、「トヨ

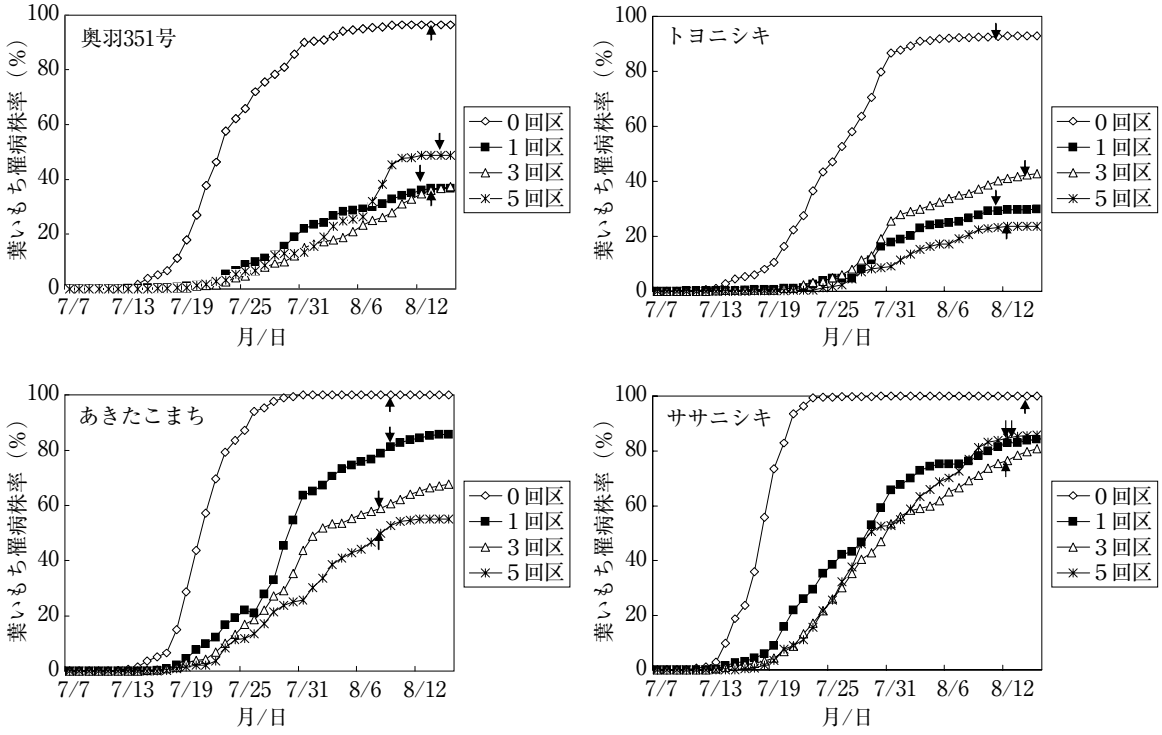


図18　供試品種の防除回数に対する葉いもち罹病株率の経時的推移（1995年）

注．矢印は出穂期を表す。

ニシキ」の罹病株率は同じ条件の「あきたこまち」、「ササニシキ」より低く、品種の耐病性の効果が現れていた。しかし、「奥羽351号」、「トヨニシキ」の無防除の罹病株率の推移は、「あきたこまち」、「ササニシキ」の１回区よりは高く、葉いもち罹病株の抑制に関しては、品種の耐病性よりも薬剤防除の方が効果は高かった。

４品種の葉いもち病斑面積率の推移を調べた（図19）。０回区の「ササニシキ」の病斑面積率は他品種に比べて高く、ばらつきが大きかったが、１回以上の防除で病斑面積率が低下した。「奥羽351号」、「トヨニシキ」は０回区でも安定して病斑面積率が低く、「あきたこまち」は「ササニシキ」と「奥羽351号」、「トヨニシキ」の間の値を示した。調査日に関わらず、耐病性の強い「奥羽351号」、「トヨニシキ」の無防除が「あきたこまち」、「ササニシキ」の１回防除以上に匹敵した。すなわち、葉いもち罹病面積の抑制に関して、品種の耐病性は薬剤防除１回以上の効果があると考えられた。

４品種の穂いもち罹病籾率の推移をみると（図20）、品種の耐病性による差が明確に現れていた。耐病性の強い「奥羽351号」、「トヨニシキ」は０回区でも安定して罹病籾率が低く、「あきたこまち」、「ササニシキ」は薬剤防除により罹病籾率が減少するものの、「奥羽351号」、「トヨニシキ」よりも低くなることはなかった。９月13日の調査では、「奥羽351号」、「トヨニシキ」の無防除が「あきたこまち」、「ササニシキ」の５回防除よりも低かった。穂いもち罹病籾の抑制に関しては、品種の耐病性が薬剤防除５回以上の効果があると考えられた。

３）考察

葉いもちの到初発日数、葉いもち罹病株率、葉いもち病斑面積率、穂いもち罹病籾率の４点を指標としたいもち病発生の推移を以下にまとめた。耐病性の強い品種は、弱い品種と比べて葉いもちの初発は変わらず、葉いもち罹病株の割合にも大きな差が現れないものの、罹病後の病斑の進展が遅く、次第に差が明確になり、穂いもちの発病程度には明らかな差異が現れる。一方、薬剤防除によって葉いもち初発を遅らせ、葉いもち罹病株の割合を減らすことができるが、生育後半になるにつれて品種の耐病性の効果がはっきりと現れ、穂いもちの発病抑制に関しては耐病性による効果に及ばなかった。

これらの試験結果をもとに、いもち病の発生過程

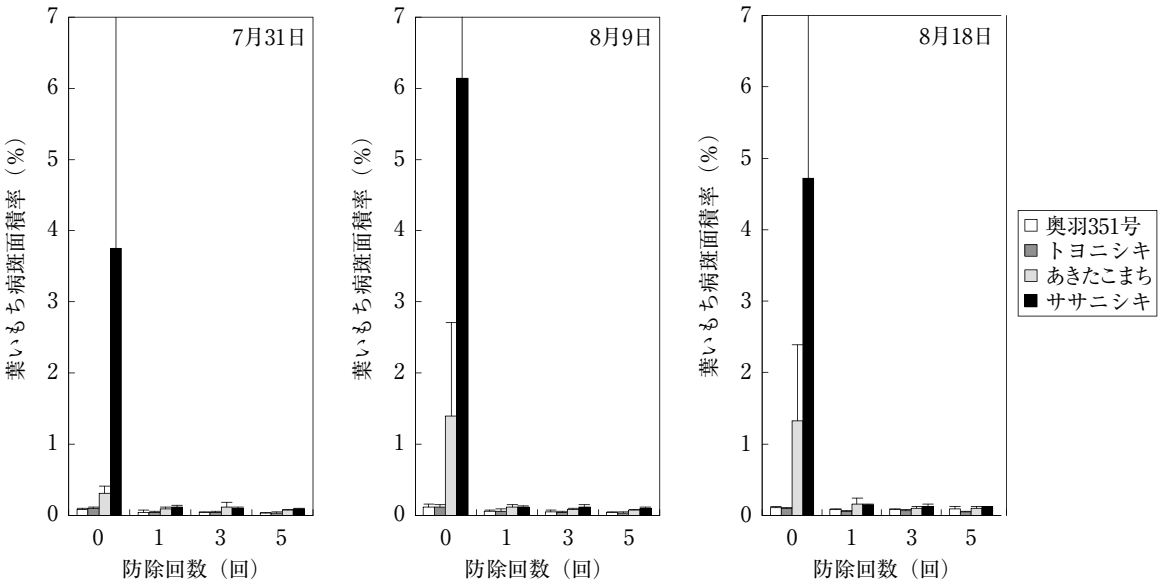


図19　供試品種の防除回数に対する葉いもち病斑面積率（1995年）

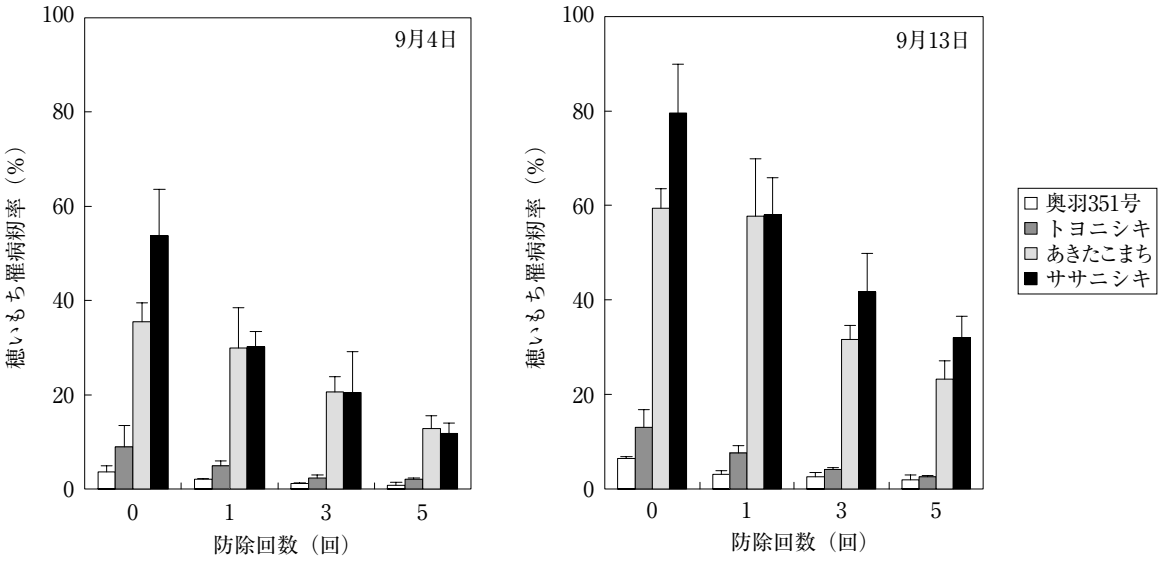


図20　供試品種の防除回数に対する穂いもち罹病籾率（1995年）

における品種の耐病性、薬剤防除による抑制効果の違いを模式図に示した（図21）。生育初期の防除効果は、品種の耐病性よりも薬剤防除の方が顕著に現れるため、薬剤防除が有効に思われるが、生育が進むに連れて品種の耐病性の効果が明確に現れ、薬剤防除による効果を逆転するという状況が起こる、と推定できる。ただし、生育後半に効果の逆転が起こるかどうかは、品種の耐病性程度、薬剤防除の程度、さらには気象条件等によっても変わりうると考えられる。耐病性については「トヨニシキ」に匹敵する“強”程度であれば、数回の薬剤防除に相当する効

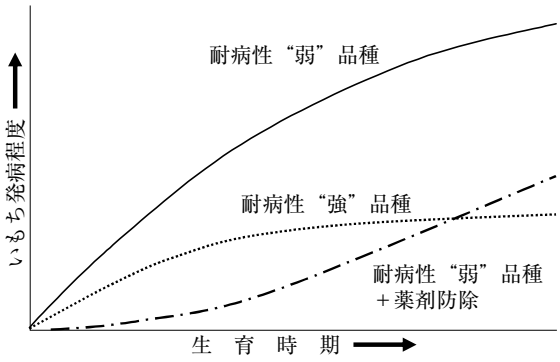


図21　品種の耐病性、薬剤防除によるいもち発病抑制効果の違いの模式図

果を発揮できるものと期待できる。

2．いもち耐病性品種による薬剤削減効果の評価

ここでは、いもち耐病性品種の利用により薬剤防除をどの程度削減できるかを具体的に明らかにするために、いもち耐病性の異なる品種を異なる防除回数で栽培し、防除回数と穂いもち罹病籾率、収量、外観品質及び玄米千粒重との関係を調べた。

1）材料と方法

試験は1992年、1993年に東北農業試験場（現・東北農業研究センター、大仙市）で行った。

いもち耐病性の異なる品種として「中部32号」（いもち病真性抵抗性遺伝子型“+”、穂いもち抵抗性“極強”）、「トヨニシキ」（同“*Pia*”、同“強”）、「キヨニシキ」（同“*Pia*”、同“中”）、「ササニシキ」（同“*Pia*”、同“弱”）の4品種を供試した。防除回数について、0回、1回、2回、3回の4通りの試験区を設定した。

① 0回区：薬剤無散布で栽培した。
② 1回区：プロベナゾール粒剤3kg/10a（葉いもち防除）を1992年は6月29日、1993年は7月1日に施用した。
③ 2回区：②のほか、イソプロチオラン粒剤3kg/10a（穂いもち防除）を1992年は7月15日、1993年は7月20日に施用した。
④ 3回区：③のほか、フェリムゾン・フサライド粉剤3kg/10a（穂いもち防除）を1992年は8月3日、1993年は8月13日に施用した。

1992年は5月22日、1993年は5月21日に1株3本植、栽植密度19.2株/m^2（22.5×22.5cm）で移植した。1区面積は18m^2で、4品種、4試験区、3反復の合計48区を設けた。硫加燐安（13-13-13）を基肥として70kg/10a、追肥として15kg/10a（1992年は6月24日、1993年は7月1日）、8kg/10a（1992年は7月15日、1993年は7月20日）を施用した。

各区の調査項目と調査方法は、次の通りである。

（1）穂いもち罹病籾率

区内の20株についての、達観調査による穂いもち罹病籾率の平均値を、1992年は9月18日、1993年は9月20日に調査した。達観による穂いもち罹病籾率は、特性検定調査基準をもとに推定した。

（2）収量

区内の64株を刈り取り、粗玄米を1.8mm篩にかけて測定した3反復の精玄米重の平均値を調査した。

（3）外観品質及び玄米千粒重

収量を測定した3反復の精玄米の外観品質、玄米千粒重の平均値を調査した。外観品質は1（上上）～9（下下）の10段階で達観により調べた。

2）結果

試験を実施した秋田県の水稲作付面積に対するいもち病被害面積の割合は、1992年は19.9%でいもち病発生が中程度であったのに対して、1993年は低温の影響で水稲の生育が遅れるとともにいもち病が大発生し、被害面積の割合は63.3%に達した（「東北農林水産統計」（東北農政局）の水稲作付面積、いもち病被害面積より算出）。1992年、1993年の試験圃場での葉いもち初発日はそれぞれ7月12日、7月5日、また4品種平均出穂期はそれぞれ8月3日±1日、8月13日±2日であった。

1992年（発病中発生年）、1993年（発病多発生年）それぞれの防除回数に対する穂いもち罹病籾率を図22に示した。1992年には「トヨニシキ」の0回区の穂いもち罹病籾率が「ササニシキ」の3回区と同程度で、1993年には「ササニシキ」の3回区よりも少なかった。「中部32号」の罹病籾率は両年とも「トヨニシキ」よりも少なく、「キヨニシキ」は「トヨニシキ」と「ササニシキ」の中間を示した。穂いもち罹病籾率の品種による差は、1992年よりも発病多発生の1993年で顕著であった。

両年の防除回数に対する収量を図23に示した。1992年、1993年とも減収率（=（3回区－0回区）／3回区×100（%））が「ササニシキ」で最も高く（1992年53.9%、1993年71.7%）、「キヨニシキ」（同22.5%、21.6%）と「トヨニシキ」（同23.0%、16.8%）はほぼ同じで低かった。「中部32号」の収量は、防除回数の影響をほとんど受けなかった。収量についての品種と防除回数との関係は穂いもち罹病籾率の結果に類似しており、1992年は「中部32号」、「トヨニシキ」の0回区の収量が「ササニシキ」の3回区と同等で、1993年は「ササニシキ」の3回区以上の収量であった。

両年の穂いもち罹病籾率、収量の試験結果について分散分析を行った。1992年は穂いもち罹病籾率、収量とも有意に品種と防除回数の影響を受けていたが、寄与率（全分散に対する各分散の割合）が品種では防除回数の2倍近くあり、品種の効果のほうが大きいと考えられた（表31）。1993年における穂いもち罹病籾率は品種の影響を受けたものの、防除回数とは有意な関係がなかった。穂いもち防除と収量

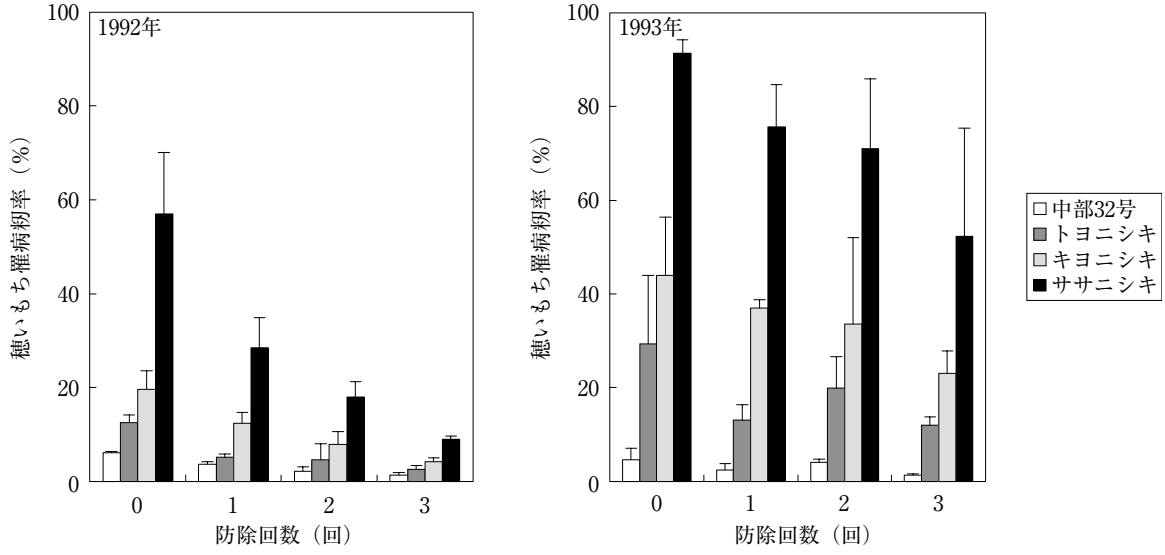


図22　供試品種の防除回数に対する穂いもち罹病籾率

注．1992年：いもち発病中発生年、1993年：いもち発病多発生年。

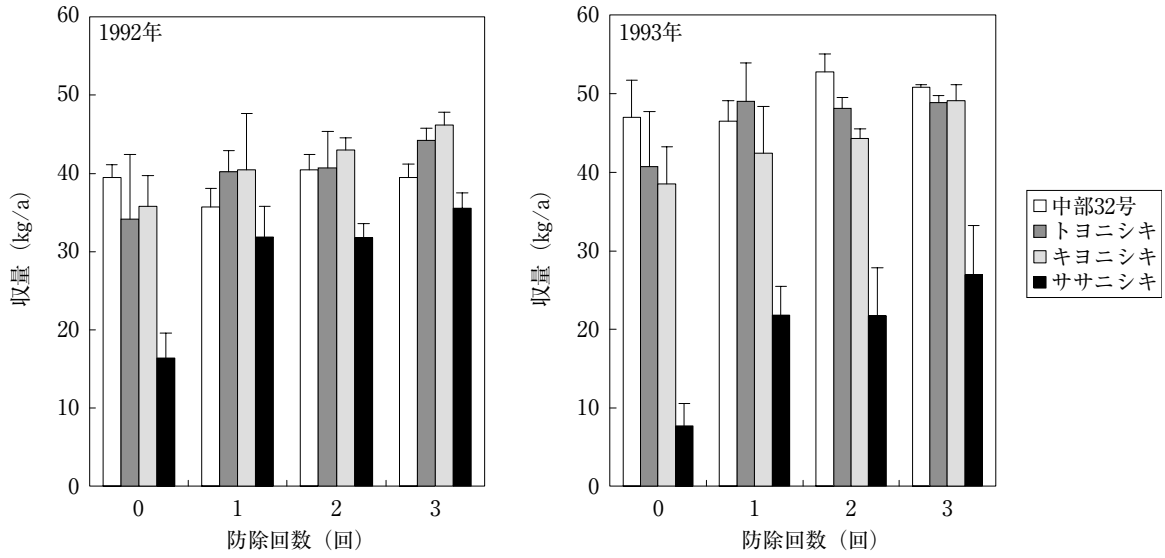


図23　供試品種の防除回数に対する収量

注．1992年：いもち発病中発生年、1993年：いもち発病多発生年。

に対する品種の寄与率は80%を越えており、1992年の約２倍あった（表32）。

1992年、1993年の外観品質、玄米千粒重については、防除回数の減少にともない品質は低下、千粒重は減少するが、いもち耐病性が強い品種ほどその変化が小さくなる傾向にあった（図24、25）。

３）考察

品種のいもち耐病性の効果についてはいくつかの報告がある。太田ら（1980）は、「レイメイ」の薬

表31　1992年における穂いもち罹病籾率と収量の分散分析と要因の寄与率

要　因	自由度	穂いもち罹病籾率		収　量	
		F値	寄与率(%)	F値	寄与率(%)
防除回数(N)	3	54.20**	26.6	16.40*	23.2
ブロック	2	1.78	0.3	1.72	0.7
品種(V)	3	93.46**	46.2	29.05**	42.2
N×V	9	13.78**	19.2	3.27**	10.2
誤差(1+2)	30		7.7		23.7
合　計	47		100.0		100.0

注．*、**：それぞれ５%、１%水準で有意。

表32　1993年における穂いもち罹病籾率と収量の分散分析と要因の寄与率

要　因	自由度	穂いもち罹病籾率		収　量	
		F値	寄与率(%)	F値	寄与率(%)
防除回数(N)	3	3.35	4.4	5.96*	7.3
ブロック	2	0.50	0.0	1.14	0.1
誤差(1)	6	3.66*	2.7	4.81**	2.3
品種(V)	3	160.31**	81.7	265.56**	81.0
N×V	9	1.96	1.5	3.75**	2.5
誤差(2)	24		9.7		6.8
合　計	47		100.0		100.0

注．*、**：それぞれ５％、１％水準で有意。

剤無散布区が「ムツホナミ」の２回散布区と同程度の発病だとしている。浅賀ら（1882）は「トヨニシキ」の圃場抵抗性が、「ササニシキ」のブロベナゾール粒剤処理＋イソプロチオラン粒剤処理とほぼ同等の効果を示すと報告した。東・斉藤（1982）によると、「トヨニシキ」の穂いもち抵抗性を持っていれば、かなりの激発条件下でも無防除で20%以下の減収に抑えられる。

本試験では穂いもち罹病籾率と収量を調べることで、いもち耐病性“強”の「トヨニシキ」には“弱”の「ササニシキ」に３回薬剤防除するのと同等以上、

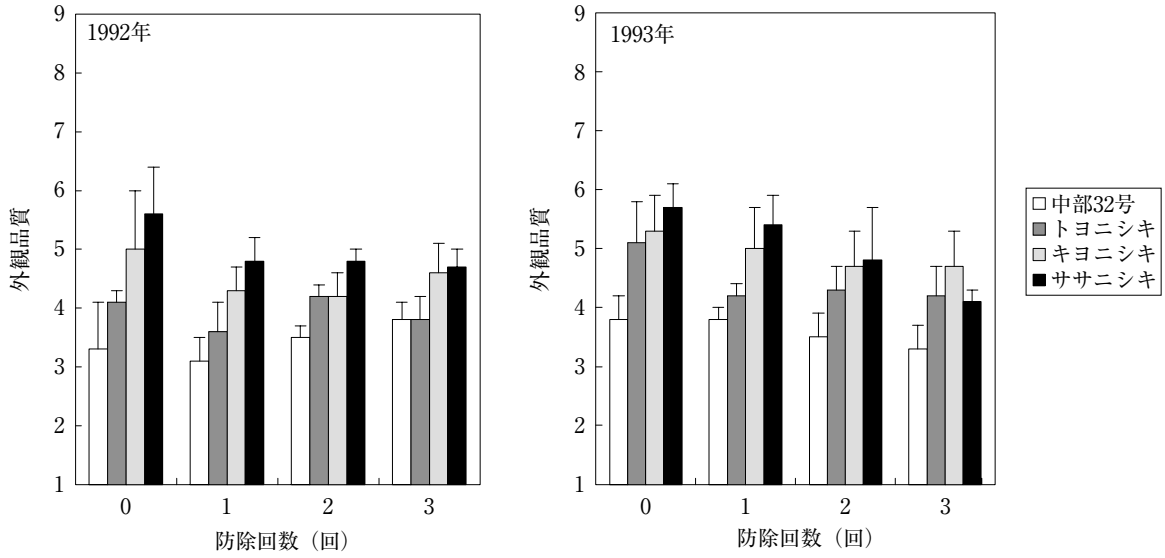


図24　供試品種の防除回数に対する外観品質

注．1992年：いもち発病中発生年、1993年：いもち発病多発生年。
外観品質：１（上上）～９（下下）。

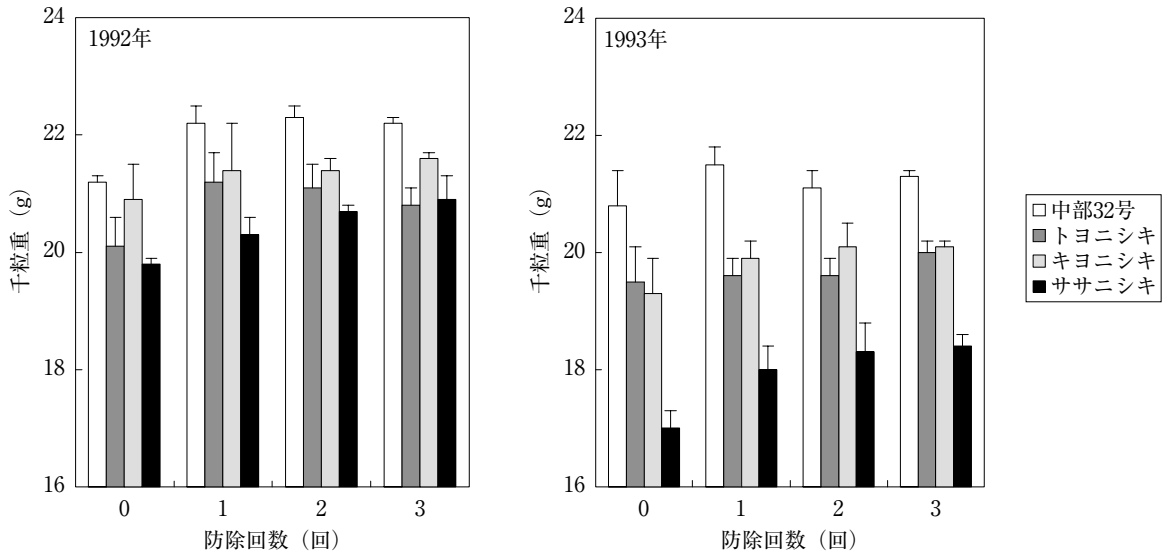


図25　供試品種の防除回数に対する玄米千粒重

注．1992年：いもち発病中発生年、1993年：いもち発病多発生年。

さらに“極強”の「中部32号」にはそれ以上の発病抑制効果があることを明らかにした。これは、「トヨニシキ」の耐病性が「ササニシキ」の２回防除と同等とする浅賀ら（1982）の報告よりも効果が大きいという結果であった。

本試験から、薬剤防除よりも耐病性品種を利用したほうが、年次変動が少なく安定したいもち病の発病抑制効果があり、その効果は特にいもち病多発生年ほど大きいことが明らかになった。分散分析の結果、多発生年では防除回数の穂いもち罹病籾率、収量に対する寄与率が10%に満たないのに対して、品種の寄与率は80%を越えていた。実際、いもち多発生年には雨が多く、薬剤を散布しても雨により洗い流されてしまうことが珍しくない。そのような場合、生産者は再度薬剤散布を行うことになる。生産者にとっては、耐病性の弱い品種を薬剤防除して栽培するよりは、耐病性品種を利用したほうがいもち病発生の多少に関わらず、安定した生産が期待できる。このことは、いもち病による被害が大きい東北地域での稲作にとって特に重要なことである。

３．いもち耐病性品種の経済的効果の評価

Ⅳ２．では、いもち耐病性の強い品種は弱い品種に３回薬剤防除を行ったのと同等以上の発病抑制効果があることを明らかにした。

ここでは、いもち耐病性品種を導入した場合、弱い品種に比べてどの程度の経済的効果があるのかを、良食味・いもち耐病性系統「奥羽341号」を栽培した事例から生産者規模で調べた。さらに、いもち耐病性品種を普及させた場合、葉いもち防除と穂いもち防除のどちらを優先的に削減できるかを明らかにすることで、東北地域全体でどの程度の薬剤削減による経済的効果があるのかを試算した。

１）材料と方法

試験は1994年、2002年及び2003年に東北農業試験場（現・東北農業研究センター、大仙市）で行った。

（１）生産者規模の経済的評価

1994年に「奥羽341号」（いもち病真性抵抗性遺伝子型“*Pii*”、穂いもち抵抗性“強”）と「あきたこまち」（同“*Pia,Pii*”、同“やや弱”）を用いて、それぞれいもち病薬剤０回区（無防除）及び３回区を設定した。「奥羽341号」は「中部49号」／「秋田31号（あきたこまち）」の交配後代から選抜した、「あきたこまち」並の良食味でいもち耐病性が強い系統である。３回区は、６月22日にプロベナゾール粒剤を３kg/10a（葉いもち防除）、７月13日にイソプロチオラン粒剤を３kg/10a、８月５日にフェリムゾン・フサライド粉剤を３kg/10a（以上穂いもち防除）施用した。

５月16日に栽植密度24.2株/m^{2}で機械移植した。硫加燐安（13-13-13）を基肥として70kg/10a、追肥として７月18日に15kg/10a施用した。

各区とも４か所（水口側、中央水口側、中央水尻側、水尻側）について、穂いもち罹病籾率（９月14日調査）、収量（各40株、1.7m^{2}調査）をⅣ２．と同じ方法で調べた。

また、背負式動力散布機で薬剤散布を行う際にかかる時間を5a及び10a水田それぞれについて調べた。

（２）東北地域規模の経済的評価

いもち耐病性品種を用いた場合、葉いもち防除と穂いもち防除のどちらを優先的に削減できるのかを明らかにする目的で、2002年、2003年にいもち耐病性の異なる４品種として、「奥羽357号」（いもち病真性抵抗性遺伝子型“*Pia,Pii*”、穂いもち抵抗性“極強”）、「ちゅらひかり」（同“*Pia,Pii*”、同“極強”）、「ひとめぼれ」（同“*Pii*”、同“中”）、「東北IL2号」（同“*Pia,Pii*”、同“弱”）の４品種を供試した。「奥羽357号」は東北地域の穂いもち新基準（加藤ら2001）でも“極強”の基準となっている。「東北IL2号」は真性抵抗性遺伝子“*Pia, Pii*”をもつ「ササニシキ」の同質遺伝子系統である（佐々木ら　2002）。これらを４通りの試験区で栽培した。

①　無防除区：薬剤無散布で栽培した。
②　葉防除区：プロベナゾール粒剤３kg/10a（葉いもち防除）を2002年、2003年とも６月27日に施用した。穂いもち防除は実施しなかった。
③　穂防除区：フェリムゾン・フサライド水和剤1,000倍（穂いもち防除）を2002年は８月13日及び23日、2003年は８月15日及び27日の各２回施用した。葉いもち防除は実施しなかった。
④　葉・穂防除区：②の葉いもち防除と③の穂いもち防除を実施した。

2002年は５月31日、2003年は５月30日に１株３本植、栽植密度22.2株/m^2（30×15cm）で移植した。１区面積は6.5m^2、３反復とした。基肥として硫加燐安（13-13-13）を70kg/10a、追肥として硫加燐安15kg/10aを２回（2002年は７月２日及び17日、2003年は７月１日及び17日）施用した。

各区とも穂いもち罹病籾率（2002年は９月17日、

2003年は９月18日調査)、収量（各40株調査）をⅣ２．と同じ方法で調べた。

２）結果

試験を実施した秋田県の水稲作付面積に対するいもち病被害面積の割合は、1994年は26.4%、2002年は23.0%でいもち病発生が中程度であったのに対して、2003年は低温と降雨の影響でいもち病の発生がやや多く、被害面積の割合は37.8%であった（「東北農林水産統計」（東北農政局）の水稲作付面積、いもち病被害面積より算出)。

（１）生産者規模の経済的評価

０回区の穂いもち罹病籾率は「奥羽341号」が9.6%に対して「あきたこまち」は61.5%で、約6.4倍の違いがあった（図26)。収量は０回区で「奥羽341号」が52.3kg/a、「あきたこまち」が32.8kg/aで、約20kg/aの差があった（図26)。食味試験の結果、０回区の「奥羽341号」と「あきたこまち」には有意な差はなかった。

３回防除した場合の薬剤コストは、３薬剤の合計で約5,000円/10aであった。また、薬剤散布にかかった時間は、背負式動力散布機を使用、畦畔を２周、薬剤散布量３kg/10aの条件下で、１回当たり５a水田では5.8分（３回平均)、10a水田では9.7分（５回平均）であった。準備、後始末に要した時間はそれぞれ５分、10分であった。

（２）東北地域規模の経済的評価

2002年はいもち発病中発生年、2003年はやや多発生年であったが、両年とも穂いもち罹病籾率、収量とも「奥羽357号」、「ちゅらひかり」の無防除区が、「ひとめぼれ」、「東北IL２号」の葉・穂防除区よりも優っており、前者の耐病性は後者への３回防除（葉・穂いもち防除）に匹敵すると考えられた（図27、28)。

また、「ひとめぼれ」、「東北IL２号」では無防除区に対して葉防除区の穂いもち罹病籾率、収量が優り、葉いもち防除の効果がみられたが、「奥羽357号」、「ちゅらひかり」では両区間に差が現れず、葉いもち防除の効果がなかった。耐病性の劣る「ひとめぼれ」、「東北IL2号」については穂いもち防除のみでは不十分で、葉いもち防除が重要であるのに対して、耐病性の強い「奥羽357号」、「ちゅらひかり」では葉いもち防除が必ずしも必要とはいえなかった。

３）考察

「あきたこまち」を栽培している生産者が、いもち耐病性が強い「奥羽341号」を導入することで得られる経済的効果を、試験結果をもとにまとめてみた。無防除栽培での「奥羽341号」は、「あきたこまち」の無防除よりも収量で10a当たり約200kg、「あきたこまち」の３回防除と比べても約50kg多収であった。そして、両品種の食味には差がなかった。さらに、無防除栽培は３回防除栽培に比べて、10a当たり年間約5,000円のコスト減、約1.2時間の労働時間（薬剤散布時間）減となった。

生産者が減農薬栽培を積極的に行う場合、本試験事例の「奥羽341号」以外でも、良食味・いもち耐病性品種「おきにいり」、「まなむすめ」、「はたじるし」等を用いることにより、減農薬・良食味米の生産が容易になることが予想できる。実際に生産者が「おきにいり」を無防除栽培した結果、「あきたこまち」よりも13～19%多収であった（表19)。

無防除栽培により削減されるコストと労働時間は一生産者の１年間当たりで考えれば決して大きくは

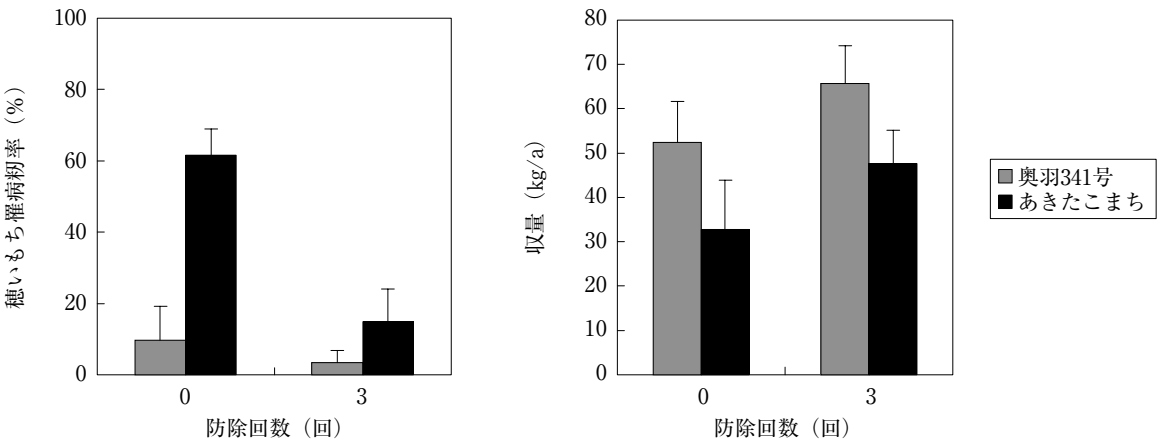


図26　「奥羽341号」と「あきたこまち」の防除回数に対する穂いもち罹病籾率（左）と収量（右）（1994年）

ない。しかし、無防除栽培が地域単位で数年間行われるとすると、その地域でのコストと労働時間の削減は多大なものとなる。

次に、いもち耐病性品種を普及させた場合に東北地域全体で得られる経済的効果を試算した。東北地域におけるいもち病防除回数は全国より多いものの、冷害年を除く1983～1987年の５年間の平均防除回数が3.1回（葉いもち1.0回、穂いもち2.1回）あったものが、1996年以降徐々に減少し、1998～2002年の５年間の平均防除回数は2.4回（葉いもち1.0回、穂いもち1.4回）になっている（図２）。

本試験から耐病性の強い「奥羽357号」、「ちゅらひかり」を導入すれば、いもち病の発生が平年並（2002年）であれば無防除で問題なく、発生がやや

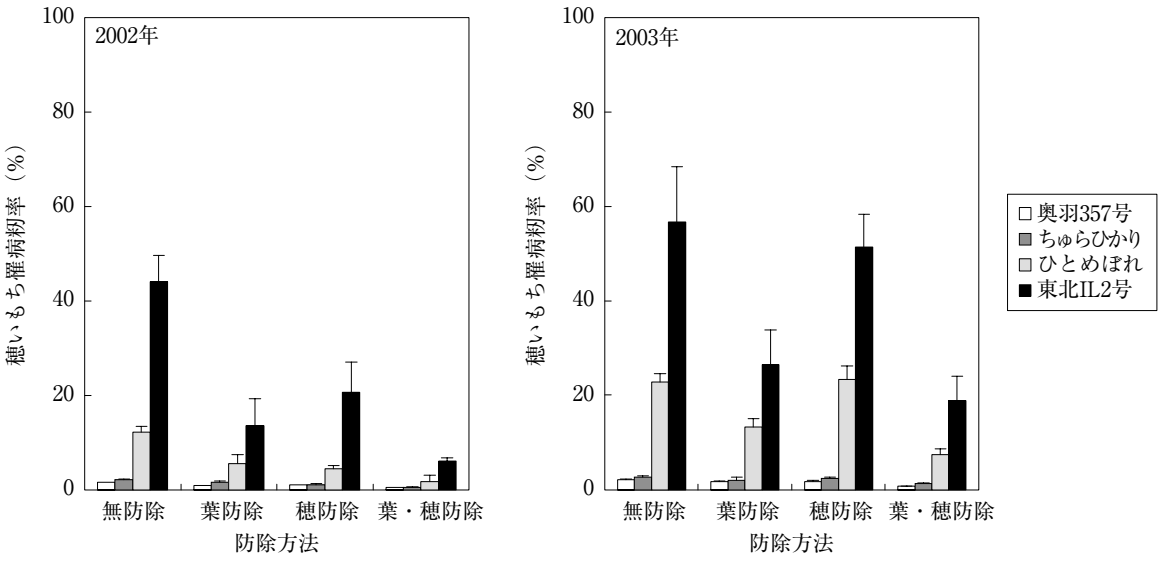


図27　異なる防除方法に対する穂いもち罹病籾率

注．2002年：いもち発病中発生年、2003年：いもち発病やや多発生年。東北IL2号：「ササニシキ」の同質遺伝子系統、*Pia*、*Piia* をもつ。葉防除：葉いもちのみ１回防除、穂防除：穂いもちのみ２回防除、葉・穂防除：葉いもち１回・穂いもち２回防除。

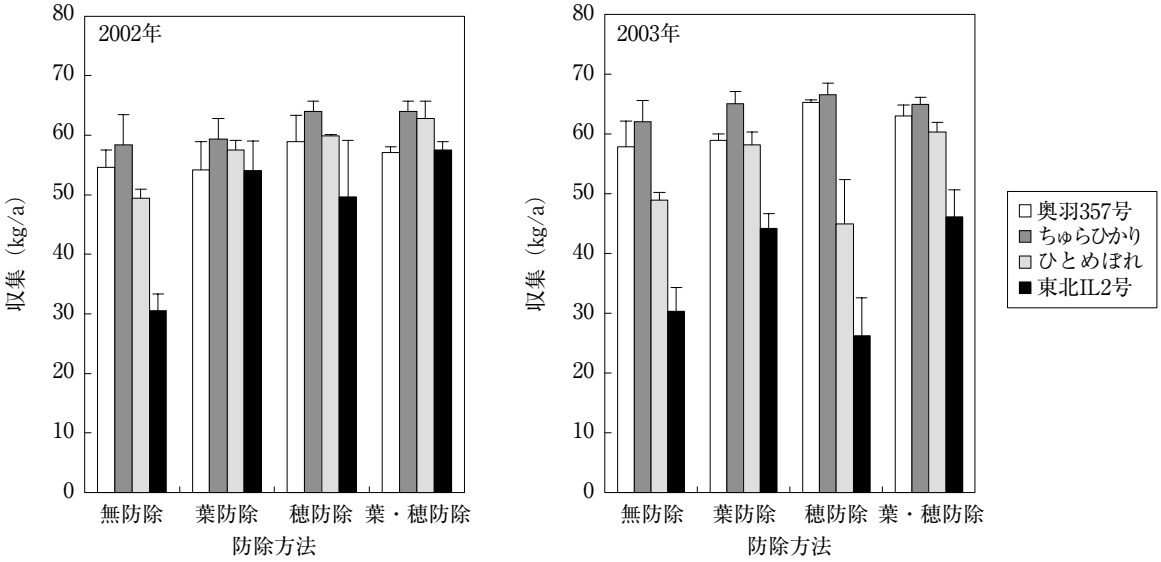


図28　異なる防除方法に対する収量

注．2002年：いもち発病中発生年、2003年：いもち発病やや多発生年。東北IL2号：「ササニシキ」の同質遺伝子系統 *Pia*、*Piia* をもつ。葉防除：葉いもちのみ１回防除、穂防除：穂いもちのみ２回防除、葉・穂防除：葉いもち１回・穂いもち２回防除。

多い年（2003年）であっても様子をみながら穂いもち防除のみで十分で、少なくとも葉いもち防除は不要であると考えられた。

すなわち、耐病性が「ちゅらひかり」並の品種が導入されれば、最近の平均防除回数2.4回のうち少なく考えても葉いもち防除1.0回分は不要になり、東北地域全体では86億円／年の薬剤コスト減となる（作付面積43万ha、薬剤費2,000円/10aで計算）。さらに穂いもち防除回数を平均して1.4回から半分の0.7回に減らしたとすると年間30億円の削減が追加される（作付面積43万ha、薬剤費1,000円/10aで計算）。仮に東北地域の作付けの50%がいもち耐病性品種になるとしても、上記の半分の43～58億円／年の経済効果があることになる。

現在のいもち病防除体系は耐病性の劣る品種を基準にして作られているが、耐病性の強い品種に減農薬の観点から必要以上の防除を行わないためにも、耐病性品種を基準としたいもち防除体系をまとめることが重要であろう。そのためには、地域、年次によるいもち発病程度の変動を考慮しながら、調査結果を増やしていく必要がある。各試験地でお互いに情報交換しながら、いもち耐病性品種の薬剤削減効果のデータを蓄積していくことが望まれる。

Ⅴ　総合考察

1．東北地域における良食味・いもち病耐病性品種育成の現状

東北地域では、1980年代までは「トヨニシキ」、「ササミノリ」等のいもち耐病性品種がある程度普及していたが、それらの品種は食味が劣るために近年の食味重視のニーズに合わず、大部分が良食味品種に置き換わっていった。良食味品種はいもち耐病性が劣るものが多く、食味といもち耐病性の結合は難しいと考えられてきた。そのような中、本研究では様々な交配組合せを展開し、良食味でいもち耐病性の系統が選抜できる可能性を明らかにするとともに、実際に良食味・いもち耐病性系統を選抜した。

1996年には食味が“上中”、いもち耐病性が「トヨニシキ」並の“強”である念願の良食味・いもち耐病性品種「おきにいり」を育成した。それ以降、東北地域の各育成地で1997年に「まなむすめ」、「はたじるし」、1999年に「こいむすび」、2001年に「いわてっこ」が育成された。これらの品種の最大作付面積は「まなむすめ」が7,000ha、「いわてっこ」が3,000haを越えているものの、いずれも普及３～４年後には作付けが減少しており、「ひとめぼれ」、「あきたこまち」等のように安定した普及を示していないのが現状である（表33）。

この原因として、良食味・いもち耐病性品種に外観品質が不十分等の欠点があったこともあるが、最大の理由として有効ないもち防除薬剤が急速に普及し、いもち耐病性が不十分な品種であっても防除により発生を抑制できるようになったことが挙げられる。「ひとめぼれ」、「あきたこまち」、「コシヒカリ」、「はえぬき」の2005年作付上位４品種（表１）は耐病性が劣るものの、地域で確立されたブランド品種であり、新たな品種は耐病性が強いものであっても、なかなか普及しにくい現実がうかがえる（山口2004b）。

いもち耐病性が「トヨニシキ」程度でも、弱い品種に３回薬剤防除するのと同等以上の効果があるが（Ⅳ２.）、さらに耐病性が強ければ安定栽培が可能になる。2003年には「トヨニシキ」よりもさらにいもち耐病性が強化された良食味品種「ちゅらひかり」を育成した。本品種は沖縄県で奨励品種に採用されて普及しているほか、東北各地で減農薬米生産用に試作されている。

品種の耐病性の評価は、強さの程度が既に分かっている基準品種との比較で行われる。育成品種のいもち耐病性のレベルアップを図るために、東北地域の９育成地と愛知県農業総合試験場山間農業研究所で1997年から４年間に同じ品種を用いて連絡試験を行い、その結果から新しい東北地域のいもち基準品種を選定した（片岡ら　2001、加藤ら　2001）。表34にその抜粋を示したが、従来の基準品種（1979年に選定）では「トヨニシキ」は葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性ともに“強”であったが、新基準品

表33　良食味・いもち耐病性品種の最大作付面積と2005年の作付面積

品種名	育成年	最大作付面積（ha）（年次）	2005年作付面積（ha）
おきにいり	1996	465（1999）	56
まなむすめ	1997	7,348（2001）	767
はたじるし	1997	762（2000）	101
こいむすび	1999	29（2001）	2
いわてっこ	2001	3,117（2004）	3,034

注.「米穀の品種別作付状況」（～2002年食糧庁、2003～2005年農林水産省総合食料局）による。

表34　新しい東北地域のいもち基準品種（抜粋）

葉いもち基準品種		穂いもち基準品種			
区　分	品種・系統名	区　分	品種・系統名		
			早　生	中　生	中晩生
極強	東北糯161号 奥羽320号	極強	東北糯161号	−	奥羽357号 岩南６号
強	こころまち むつほまれ	強	青系128号	こころまち はたじるし	チヨニシキ まなむすめ
やや強	トヨニシキ まいひめ	やや強	レイメイ たかねみのり	ササミノリ 里のうた	トヨニシキ チョウカイ
中	はえぬき あきたこまち	中	むつほまれ つがるロマン	ハツニシキ	はえぬき ひとめぼれ
やや弱	ササニシキ ひとめぼれ	やや弱	ムツホナミ 青系131号	農林１号 あきたこまち	スノーパール
弱	陸奥光 イナバワセ	弱	ふ系94号 藤坂５号	イナバワセ	ササニシキ

注．片岡ら（2001）、加藤ら（2001）より作成。本欄の基準品種は、いもち病抵抗性遺伝子別に区分しているが、ここではそれをなくし、分かりやすく表した。各区分とも代表的な１～２品種とし、他の品種・系統は省略した。

種ではこれらを“やや強”に１ランク下げ、新たに“極強”の基準を設けた。これにより従来最も耐病性が強いと位置づけられていた「トヨニシキ」より２ランク強いもの（極強）の評価が可能になった。

最近の育成系統の中には、いもち耐病性が「ちゅらひかり」並の“極強”（従来基準）で良食味のものが増えてきている。Ⅲ２．に示した「ちゅらひかり」由来の「岩手75号」、「山形95号」、「福島17号」、「奥羽390号」のほか、「ふ系210号」（交配組合せ：こころまち／ふ系184号）、「東北188号」（同：ひとめぼれ／東北176号）、「山形89号」（同：山形62号／奥羽357号）等が挙げられ、熟期も早いものから遅いものまで様々育成されている。これらの系統は耐冷性も強く、総合的に優れた特性を備えたものが多い。

良食味・いもち耐病性育種が進むにつれて交配母本としても優れたものが増えており、そのことが最近のいもち耐病性が優れた系統の育成につながっていると考えられる。従って、新たないもち耐病性品種が今後も各地で育成されることは間違いない。これらの中から、東北地域に適する良食味・いもち耐病性品種が誕生して普及することを期待したい。

２．東北地域におけるいもち耐病性品種導入のメリット

東北地域の水稲生産現場にいもち耐病性品種を導入することには、二つの大きなメリットがあると考えられる。

表35　東北地域、全国のいもち病被害面積と防除回数の変化

期間	いもち病被害面積(万ha)		いもち病防除回数(回)	
	東北地域	全国	東北地域	全国
1983～1987年５年間平均	6.5(15.6％)	41.7	3.1(1.0＋2.1)	2.4(0.9＋1.5)
1998～2002年５年間平均	9.5(25.5％)	37.2	2.4(1.0＋1.4)	2.0(0.9＋1.1)

注．図１、図２より算出。東北地域のいもち病被害面積の(　)は同期間の全国に対する割合（％）。いもち防除回数の(　)は（葉いもち防除回数＋穂いもち防除回数）を表す。

一つは東北地域における水稲の安定生産を可能にすることである。Ⅰで述べたように、いもち病は東北地域の稲作の大きな生産阻害要因になっている。東北地域における近年のいもち病被害の実態を詳しくみるために、冷害年を除く1983～1987年と1998～2002年の各５年間について、いもち病被害面積と防除回数の平均を求め、その変化を調べた（表35）。東北地域のいもち病被害面積は1983～1987年平均よりも1998～2002年平均のほうが3.0万ha増えている。逆に全国の被害面積は4.5万ha減っており、全国の被害面積に対する東北地域が占める割合は15.6％から25.5％へ増加している。1985年前後にはいもち耐病性品種「トヨニシキ」、「ササミノリ」等が作付けされていたが、近年いもち耐病性品種が普及していない（表１）ことが、東北地域のいもち病被害面積

を増やす要因の一つになっていると考えられる。いもち病防除回数は東北地域、全国とも1983～1988年平均よりも1998～2002年平均のほうが減っているものの、東北地域の穂いもち防除回数の減少程度が最も大きい。これは消費者等の減農薬のニーズに応えたり、米の価格低下により農薬の使用を控えたりしたことが原因と考えられる。近年の東北地域の稲作ではいもち病被害がむしろ慢性的に増えており、品種の作付け状況や防除状況から判断すると、将来的には被害がさらに増える可能性さえある。いもち耐病性品種を普及させることで、防除回数を増やすことなく毎年の被害面積を減少させることが可能である。

また、東北地域では数年ごとに起こる冷害年のいもち病大発生も無視できない。冷害時の20℃前後の低温が長期間続くと稲体は罹病的になり、いもち病が発生しやすくなる（大畑ら 1966）。さらに冷害時には降雨や休日薬剤散布等により防除適期を失するため、いもち病が多発生した場合が多い（八重樫・吉野 1992）。低温、多雨の気象条件はいもち病発生に大きく影響を与えており、いもち耐病性の弱い品種が大半を占める状態は、天候次第で一触即発の危険をはらんでいる（八重樫 1991）。Ⅳ２．で明らかにしたように、薬剤防除に頼るよりも耐病性品種を利用した方が、気象条件による年次変動は少なく安定したいもち病発病抑制効果がある。冷害とともにいもち病が大発生した1993年のような状況であっても、「トヨニシキ」程度の“強”以上の耐病性があれば十分効果を発揮できることを実証した。耐病性品種の導入は生産者のいもち発病に対する不安を軽減し、精神安定効果をもたらすことも報告されている（浅井・山口 1998）。冷害によるいもち病多発の不安を抱える東北地域では、少なくとも“強”程度のいもち耐病性品種を普及させることが望ましい。

いもち耐病性品種導入のもう一つのメリットは、減農薬栽培を容易にすることである。減農薬米は食の安全・安心の観点から、消費者のニーズが高くなっている（農林金融公庫 2001、磯島ら 1996）。東北地域は冷涼な気象条件のため、ウンカ・ヨコバイ等の害虫の発生が少なく、関東以西に比べて使用農薬を減らすことができる。いもち防除回数は全国よりも多いが、これを削減することができれば減農薬栽培は関東以西よりも行いやすい。2004年４月より「改正食糧法」が施行され、米政策改革が本格的に始まった。市場原理を大幅に取り入れた内容で、各生産地で今まで以上に売れる米作りを目指した動きが強まっている。消費者に人気の高いブランド品種の作付けが伸びることも予想されるが、一方で東北地域では、消費者ニーズの高い減農薬米を手頃な価格で提供できるような体制作りも重要な戦略になるであろう。そのためには、いもち耐病性が“極強”以上の品種を利用した積極的な減農薬米生産体制が求められる。

併せて、耐病性品種のいもち病防除体系を作成することが重要である。本研究では、耐病性が“極強”の品種では少なくとも葉いもち防除は必要ないと結論づけたが（Ⅳ３.）、これがいもち病発生が多い地域、少ない地域でも当てはまるのか、年次間差をみながらデータを蓄積して明らかにし、耐病性品種を基準とした防除体系をまとめていく必要がある。

３．いもち耐病性品種育成の今後の展望

最近の育成系統の中には、いもち耐病性が「ちゅらひかり」並の“極強”で良食味のものが増えてきている。これらが品種として普及することで、東北地域の水稲の安定生産、積極的な減農薬栽培が現状よりも十分行いやすくなるが、いもち耐病性がさらに強化されれば安定栽培がより行いやすくなる。

いもち耐病性のさらなる強化のためには、由来の異なる耐病性遺伝子を集積させる必要がある。愛知県農業総合試験場で育成された穂いもち抵抗性品種「月の光」（1985年育成）、「朝の光」（1987年育成）等がインディカ品種「Modan」に由来する穂いもち抵抗性遺伝子“*Pb1*”を有することが明らかになり（藤井ら 1999）、検出用のDNAマーカーが開発された（遠山ら 1998）。“*Pb1*”は葉いもちに対しては発現程度が弱く、穂いもちに対して強く発現する量的抵抗性であるが、主働遺伝子によって支配されている（藤井ら 1999）。浅賀（1987）は量的抵抗性を主働遺伝子支配と微働遺伝子支配に分け、前者を“高度圃場抵抗性”、後者を“狭義の圃場抵抗性”と呼ぶことを提案しているが、これに従えば“*Pb1*”は高度圃場抵抗性に分類される（藤井ら 1999）。“*Pb1*”は東北地域での現在の普及品種には利用されていないため、DNAマーカー選抜によりこの遺伝子を導入することで、既存の耐病性をさらに強化することが期待できる。東北農業研究センターでは2006年に「奥羽371号」／「中部105号」の交

配組合せから“*Pb1*”のDNAマーカー選抜により、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性とも“極強”の良食味系統「奥羽400号」を育成した。“*Pb1*”とは異なる高度圃場抵抗性遺伝子として、陸稲品種「オワリハタモチ」由来の“*pi21*”（Fukuoka and Okuno 2001）、系統「中部32号」由来の“*Pi34*”（Zenbayashi *et al.* 2002）が同定され、DNAマーカーの開発が進められている。さらに高度圃場抵抗性とみられるものとして、「Modan」由来の葉いもち抵抗性遺伝子“*Pif*”（鳥山ら　1968）、系統「奥羽244号」由来の圃場抵抗性（井上ら　1987）、系統「北海188号」由来の圃場抵抗性（三上ら　1990）等があり、これらにもDNAマーカー開発の期待がかかる。これらの高度圃場抵抗性を既存のいもち耐病性品種に導入することで、耐病性の向上が期待できる。

なお、高度圃場抵抗性品種が真性抵抗性品種と同様に普及後に罹病化することが懸念されるが、“*Pb1*”をもつ品種は普及後20年以上を経過しても抵抗性が崩壊せずに安定していること（藤井ら 2005）から、高度圃場抵抗性は微働遺伝子による圃場抵抗性のように安定した抵抗性を示す可能性が高い。さらに高度圃場抵抗性と既存の微働遺伝子による圃場抵抗性を組み合わせることで、崩壊の可能性が低くなることが考えられる。抵抗性の崩壊を抑えるためにも、高度圃場抵抗性と既存のいもち耐病性を集積させる意義は大きい。

一方、真性抵抗性を積極的に活用する方法として、真性抵抗性遺伝子だけが異なる同質遺伝子系統を混植する多系品種の利用（小泉ら　1996）が進められ、1994年から「ササニシキBL」（佐々木ら　2002）、2005年から「コシヒカリ新潟BL」（石川　2004）が普及している。「ひとめぼれ」、「あきたこまち」等の同質遺伝子系統も育成されつつある。しかし、これらの同質遺伝子系統の元となる品種のいもち耐病性は不十分なものがほとんどである。いもち耐病性の強い品種の同質遺伝子系統を育成し、多系品種として利用することが、究極のいもち耐病性品種の育成ということになるであろう。同質遺伝子系統の選抜には真性抵抗性遺伝子のDNAマーカーが重要な道具となる。

高度圃場抵抗性遺伝子の導入、同質遺伝子系統の作出のいずれにおいてもDNAマーカーを利用することで効率的な選抜が期待できる。実際に利用できるいもち耐病性に関するDNAマーカーは限られているため、今後は新たなDNAマーカー開発を進めるとともに、DNAマーカー選抜を有効に活用することでいもち耐病性育種がさらに強化されると期待できる。

Ⅵ　摘　　要

本研究では、東北地域で最も重要な病害であるいもち病に強く、食味が優れた水稲品種を育成するとともに、その経済的効果を検討したもので、以下のような結果を得た。

1．水稲の簡易交配法の開発

多数の交配を効率的に行うための簡易交配法として、Noguchi（1936）の方法を改良した切除茎授粉法を開発した。交配当日に母本を採取し、温湯除雄を利用し、切除茎をガラス室内で管理することの3点が改良点である。切除茎の切除位置は第Ⅳ節間より第Ⅲ節間のほうがよいこと、水耕液（1/2春日井液）栽培、インドール酢酸（IAA）処理には稔実率、発芽率を高める効果はないので、切除茎の栽培は水だけで十分であることが明らかになった。

2．良食味・いもち耐病性系統の選抜効果の評価

食味と葉いもち及び穂いもち抵抗性の結びついた系統育成の可能性を検討する目的で、食味といもち耐病性の異なる両親の後代系統を調べた。「奥羽320号」／「あきたこまち」及び「東北143号（ひとめぼれ）」を片親とし「奥羽338号」、「奥羽336号」、「中部32号」、「奥羽320号」を他方の親とする計5組合せのF_5系統を調査した結果、炊飯光沢（食味と相関が高い）と葉いもち抵抗性、炊飯光沢と穂いもち抵抗性との間には、それぞれ1組合せを除いて強い相関関係は認められなかった。炊飯光沢、葉いもち抵抗性、穂いもち抵抗性の3特性が優れた系統の出現頻度は2.0～7.3%のばらつきがあるが、すべての組合せで炊飯光沢が良く、いもち耐病性の強い系統が存在した。本組合せからは食味が良く、葉いもち及び穂いもち抵抗性の強い系統の選抜が可能であることが明らかになった。

3．良食味・いもち耐病性系統の効率的選抜法の開発

良食味・いもち耐病性系統を効率的に選抜するために、初期世代をいもち病多発の条件で養成して抵抗性個体を選抜すると、目的とする良食味系統まである程度淘汰してしまう可能性があるため、F_2雑種集団と世代促進したF_4雑種集団をいもち病多発の条

件で養成、選抜してその選抜効果を調べた。「中部32号」／「東北143号」、「東北143号」／「奥羽320号」の2組合せについて、F_4世代の雑種集団で穂いもち抵抗性の強い個体を選抜すると、F_4世代で無選抜の場合やF_2世代で穂いもち抵抗性個体を選抜した場合より、食味、葉いもち及び穂いもち抵抗性が優れた系統の出現頻度が2倍以上高まった。良食味・いもち耐病性系統を得るためには、本組合せでは初期世代（F_2）で選抜するよりも後の世代（F_4）で選抜した方が効率的であることが明らかになった。

4．良食味・いもち耐病性“強”品種「おきにいり」の育成

食味といもち耐病性が結びついた品種として、1996年に「おきにいり」（交配組合せ：中部47号／奥羽313号）を育成した。「おきにいり」は「あきたこまち」並の食味で、いもち耐病性が“強”、耐冷性も“強”である。2か所の生産者圃場で、いもち無防除で栽培した結果、「おきにいり」は「あきたこまち」に比べて穂いもち発病程度が36～70%少なく、玄米収量が13～19%多収で、食味は同等であった。宮城県で1996年に奨励品種に採用され、倒伏やいもち病の発生による玄米品質の低下の起こりやすい泥炭地等で作付けされた。最大普及面積は1999年の465ha（2005年作付面積56ha）である。

5．良食味・いもち耐病性“極強”品種「ちゅらひかり」の育成

良食味でいもち耐病性が「おきにいり」よりもさらに強化された品種育成を目指し、2003年に「ちゅらひかり」（交配組合せ：ひとめぼれ／奥羽338号）を育成した。「ちゅらひかり」は「ひとめぼれ」並の食味があり、いもち耐病性は“極強”で、無防除栽培でも穂いもちはほとんど見られない。沖縄県で2004年に奨励品種に採用され、「ひとめぼれ」と同等の食味でいもち耐病性、耐倒伏性が強いことから作付けが伸びている（2005年作付面積73ha）。東北中南部以南で作付けが可能で、いもち防除剤を大幅に削減できるので、減農薬米生産用に各地で試作されている。

6．いもち耐病性品種のいもち病発生の推移

品種の耐病性と薬剤防除との関係を明らかにするために、いもち耐病性の異なる4品種を4通りの防除回数で栽培し、その関係が葉いもち初発、葉いもち罹病株率、葉いもち病斑面積率、穂いもち罹病籾率に与える影響を調べた。葉いもちの初発日は耐病性による品種間差異がみられなかったが、葉いもち罹病株の経時的推移は、耐病性の強い品種の無防除が、耐病性の弱い品種の無防除と1回防除の中間を示した。病斑面積率は、耐病性の強い品種の無防除が、耐病性の弱い品種の1回防除以上に匹敵した。さらに、穂いもち罹病籾率は、耐病性の強い品種の無防除が、耐病性の弱い品種の5回防除以上に匹敵した。生育初期の防除効果は品種の耐病性よりも薬剤防除の方が顕著に現れるが、生育が進むに連れて品種の耐病性の効果が明確に現れ、薬剤防除による効果を逆転すると推定できた。

7．いもち耐病性品種による薬剤削減効果の評価

いもち耐病性の異なる4品種を4通りの防除回数で栽培し、いもち耐病性品種を用いることで薬剤防除をどの程度削減できるかを調べた。穂いもち罹病籾率と収量の結果から、耐病性が強い品種「中部32号」、「トヨニシキ」の抵抗性は、弱い品種「ササニシキ」に3回以上薬剤防除するのと同等以上の発病抑制効果があった。さらに、薬剤防除よりも耐病性品種を利用したほうが、年次変動が少なく安定したいもち病の発病抑制効果があり、その効果は特にいもち病多発生年ほど大きいことが明らかになった。生産者にとっては、耐病性の弱い品種を薬剤防除して栽培するよりは、耐病性品種を利用したほうがいもち病発生の多少に関わらず、安定した生産が期待できる。

8．いもち耐病性品種の経済的効果の評価

いもち耐病性品種を導入した場合、弱い品種に比べてどの程度の経済的効果があるのかを、いもち耐病性“強”の「奥羽341号」をいもち無防除栽培した事例から生産者規模で試算した。「奥羽341号」は「あきたこまち」の無防除栽培よりも収量で約20kg/a多収で、10a当たり約5,000円／年の薬剤コスト減、背負式動力散布機を使用して約1.2時間／年の薬剤散布時間減となった。無防除栽培により削減されるコストと労働時間は、地域単位で数年間行われるとすると多大なものとなる。また、いもち耐病性品種を普及させた場合、葉いもち防除と穂いもち防除のどちらを優先的に削減できるかを明らかにすることで、東北地域全体でどの程度の薬剤削減による経済的効果があるのかを試算した。耐病性が強い「ちゅらひかり」等を導入すれば、いもち病の発生が平年並では無防除で問題なく、発生がやや多い年でも様子をみながら穂いもち防除のみで十分で、葉

いもち防除は不要であると考えられた。東北地域に「ちゅらひかり」並の耐病性品種が作付けの50%導入されれば、葉いもち防除を行わず、穂いもち防除を現状の半分行うとして、58億円／年の経済効果があると試算された。

引 用 文 献

1）浅賀宏一. 1976. 畑苗代における葉いもちの調査基準. 農業技術　31：156-159.

2）浅賀宏一, 進藤敬助, 岩野正敬. 1982. 穂いもち発病に及ぼす圃場抵抗性と薬剤（粒剤）処理の効果. 北日本病虫研報33：33-35.

3）浅賀宏一. 1987. 品種の抵抗性（山中　達, 山口富夫編著, 稲いもち病）. 養賢堂. p.216-249.

4）浅井　悟, 山口誠之. 1998. 農業経営者の意識にみる新技術導入の動機と規定要因－水稲病害抵抗性品種を対象に－. 農業経営研究　36：1-13.

5）藤井　潔, 早野由里子, 杉浦直樹, 林　長生, 坂紀邦, 遠山孝通, 井澤敏彦, 朱宮昭男. 1999. イネ縞葉枯病抵抗性品種が有する穂いもち抵抗性の遺伝子分析. 育種学研究　1：203-210.

6）藤井　潔, 早野由里子, 荒川　誠. 2005. イネ病害虫複合抵抗性品種の育成とその普及. 植物防疫59：30-34.

7）藤巻　宏, 櫛渕欽也. 1975. 炊飯米の光沢による食味選抜の可能性. 農及園　50：253-257.

8）藤巻　宏. 1980. 品質, 食味その他の形質の組合せの可能性（山崎義人, 高坂卓爾編著, イネのいもち病と抵抗性育種）. 博友社. p.513-532.

9）Fukuoka, S.; K. Okuno. 2001. QTL analysis and mapping of pi21, a recessive gene for field resistance to rice blast in Japanese upland rice. Theor. Appl. Genet.　103：185-190.

10）東　正昭, 櫛渕欽也. 1978. イネの葉いもち病圃場抵抗性の遺伝子分析. 育雑　28：277-286.

11）東　正昭. 1981. 歴代主要水稲品種の葉いもち抵抗性評価の変遷と圃場抵抗性. 育雑　31：432-439.

12）東　正昭, 斉藤　滋. 1982. イネ品種のいもち病圃場抵抗性と発病程度・収量の相互関係. 北日本病虫研報　33：7-8.

13）東　正昭, 堀末　登, 斉藤　滋, 渡辺進二. 1983a. イネの穂いもち圃場抵抗性の遺伝子分析. 育雑　33：62-68.

14）東　正昭, 斎藤　滋, 松本定夫, 池田良一, 井上正勝. 1983b. レイメイ／ササニシキの後代にみられた実用諸形質の遺伝率と各形質間の遺伝相関について. 育雑　33(別2)：202-203.

15）東　正昭. 1995. イネのいもち病圃場抵抗性の遺伝様式. 東北農試研報　90：19-75.

16）東　正昭, 小綿寿志. 1995. 葉いもち圃場抵抗性－畑晩播検定. 農研センター資料　30：6-9.

17）東　正昭. 1996. 東北地域におけるいもち病抵抗性育種. 育種学最近の進歩　38：11-14.

18）東　正昭, 山口誠之, 春原嘉弘, 小山田善三, 小綿寿志, 田村泰章, 横上晴郁, 斉藤　滋, 池田良一, 井上正勝, 松本定夫. 1997. いもち病抵抗性・良食味水稲新品種「おきにいり」の育成. 東北農試研報　92：15-33.

19）平野哲也. 1996. 抵抗性育種の歴史. （鳥山国士, 熊野誠一, 浅賀宏一監修, 東北の稲研究）. 秋田. 東北農業試験場稲作研究100年記念事業会.　p.42-48.

20）Ikehashi, H. 1977. Simulation of single seed descent in self-pollinating population. I Advance of polygenic recombination through generations. Japan. J. Breed.　27：367-377.

21）井辺時雄. 2002. わが国のイネ品種開発の現状. 研究ジャーナル　25：35-41.

22）井上正勝, 森元　武, 田辺　潔, 朱宮昭男, 藤井潔. 1983a. 世代促進下のイネいもち病圃場抵抗性選抜法に関する研究　（第２報）選抜条件及び選抜効果. 愛知農総試研報　15：55-62.

23）井上正勝, 森元　武, 田辺　潔, 朱宮昭男, 藤井潔. 1983b. イネいもち病抵抗性超越品種育成の実態. 愛知農総試研報　15：63-69.

24）井上正勝, 斉藤　滋, 池田良一. 1987. 越南108号におけるいもち病圃場抵抗性の遺伝子分析. 育雑　37(別1)：300-301.

25）石川浩司. 2004. 新潟県におけるイネいもち病防除対策としてのマルチラインの利用. 農業技術　59：24-28.

26）磯島昭代, 山口誠之, 浅井　悟. 1996. 米の購入行動と消費者指向との関係. 農業経営通信　190：2-5.

27）伊藤隆二. 1967. いもち病抵抗性品種の罹病化と

その育種的対策. 育種学最近の進歩　8：61-66.
28）Jodon, N.E. 1938. Experiments on artificial hybridization of rice. Jour. Amer. Soc. Agron. 30：294-305.
29）春日井新一郎. 1939. 水耕法に関する研究. 土肥誌　13：669-882.
30）片岡知守, 小林　渡, 舘山元春, 春原嘉弘, 須藤　充, 菅原浩視, 高橋真博, 照井儀明, 扇　良明, 宮野法近, 永野邦明, 佐野智義, 中場理恵子, 斎藤真一, 半沢伸治, 杉浦和彦, 大竹敏也, 加藤　浩, 山口誠之. 2001. 東北地域における水稲葉いもち圃場抵抗性新基準品種の選定. 東北農業研究　54：15-16.
31）加藤　浩, 小林　渡, 舘山元春, 須藤　充, 春原嘉弘, 佐々木　力, 扇　良明, 小田中浩哉, 千葉文弥, 永野邦明, 真崎　聡, 松本眞一, 結城和博, 横尾信彦, 斎藤真一, 半沢伸治, 遠藤征馬, 加藤恭宏, 横上晴郁, 滝田　正, 片岡知守, 山口誠之. 2001. 東北地域における水稲穂いもち圃場抵抗性判定のための新基準品種. 東北農業研究　54：13-14.
32）小泉信三, 谷　俊男, 藤　晋一. 1996. イネいもち病防除における多系品種の利用. 農業技術　51：89-93.
33）近藤　泉. 2000. 品種をつくる, タネ・苗を殖やす　自家ダネ採種はおもしろい. 現代農業　79：35-50.
34）近藤頼己. 1939. 温湯除雄法に依る稲の人工交配に就て. 農及園　14：41-52.
35）神山芳典, 萩内謙吾, 高橋正樹, 尾形　茂, 飯村茂之, 扇　良明, 小田中浩哉, 佐藤　喬, 和野重美, 中野央子, 照井儀明. 2001. 水稲新奨励品種「いわてっこ」の特性. 東北農業研究　54：1-2.
36）松永和久, 佐々木武彦, 永野邦明, 岡本英治, 阿部眞三, 植松克彦, 狩野　篤, 滝沢浩幸, 早坂浩志, 薄木茂樹, 黒田倫子, 千葉文弥. 2002a. 水稲新品種「まなむすめ」について. 宮城古川農試報　3：53-68.
37）松永和久, 佐々木武彦, 永野邦明, 岡本英治, 阿部眞三, 植松克彦, 狩野　篤, 滝沢浩幸, 早坂浩志, 薄木茂樹, 黒田倫子, 千葉文弥. 2002b. 水稲新品種「はたじるし」について. 宮城古川農試報　3：85-99.
38）三上泰正, 川村陽一, 堀　末登. 1990. ふ系138号のいもち病抵抗性について. 日作東北支部報　33：87-88.
39）永野邦明, 松永和久, 佐々木武彦, 阿部眞三, 岡本英治, 植松克彦, 滝沢浩幸, 早坂浩志, 薄木茂樹, 黒田倫子, 千葉文弥, 宮野法近. 2005. 水稲新品種「こいむすび」について. 宮城古川農試報　5：1-14.
40）Noguchi, Y. 1936. The application of post- harvest pollination in the hybridization of rice plant. Japan. J. Gent.　12：324-326.
41）農林漁業金融公庫. 2001. お米やご飯に関するアンケート調査. 平成13年度第１回消費者動向に関する調査. p.5.
42）大畑寛一, 後藤和夫, 高橋卓爾. 1966. イネのいもち病抵抗力に及ぼす低温の影響, ならびに抵抗力の変動とイネの体内成分との関係. 農技研報 C　20：1-65.
43）太田恵二, 千葉順逸, 千葉末作. 1980. 品種によるいもち病抵抗力の相違と薬剤散布効果. 北日本病虫研報　31：26-29.
44）奥津喜章, 古賀義昭, 石原正敏, 須賀立夫. 1984. 陸稲のいもち病抵抗性の遺伝に関する研究　第４報微動遺伝子の集積による圃場抵抗性向上の可能性について. 茨城農試報　24：17-24.
45）佐々木武彦, 阿部眞三, 松永和久, 岡本英治, 永野邦明, 丹野耕一, 千葉芳則, 狩野　篤, 植松克彦, 滝沢浩幸, 早坂浩志, 涌井　茂, 黒田倫子, 薄木茂樹, 千葉文弥, 宮野法近, 佐々木都彦, 遠藤貴司. 2002. ササニシキの多系品種「ササニシキBL」について. 宮城古川農試報　3：1-35.
46）赤藤克己. 1958. 改著作物育種学汎論. 養賢堂. p.184-186.
47）鈴木啓司, 松永和久, 阿部真三, 佐々木武彦. 1976. 水稲の品質食味改善に関する育種的研究. Ⅲ　水稲品種の良質母本としての評価（２）. 日作東北支部報　18：35-36.
48）遠山孝通, 早野由里子, 杉浦直樹, 藤井　潔, 井澤敏彦, 中前均. 1998. 水稲穂いもち抵抗性遺伝子*Pb1*(t)と連鎖するPCRマーカーの開発. 愛知農総試研報　30：27-34.
49）鳥山国士, 柚木利文, 篠田治躬. 1968. いもち病抵抗性の育成に関する研究. Ⅱ　中国31号に見出された高度ほ場抵抗性の遺伝. 育雑　18(別1)：145-146.
50）上原泰樹, 佐本四郎. 1981. 畑晩播法によるイネ雑

種集団のいもち病圃場抵抗性選抜が後代に及ぼす育種効果について. 育雑　31（別2）：10-11.
51）宇根　豊. 2000. 田んぼの学校入学編. 農文協. p.62-72.
52）八重樫博志. 1991. 水稲良食味品種の作付拡大といもち病. 植物防疫　45：456-459.
53）八重樫博志, 吉野嶺一. 1992. 平成 3 年（1991）東北地域におけるイネいもち病多発生の要因解析. 植物防疫　46：13-17.
54）八重樫博志. 1994. 抵抗性品種利用と水稲病害の防除. 農及園　69：150-154.
55）山口誠之, 小綿寿志, 東　正昭. 1994. いくつかの組合せによる良食味, いもち病強系統出現頻度. 日作東北支部報　37：93-95.
56）山口誠之, 裘　伯欽, 東　正昭. 1995a. 切除茎授粉によるイネの簡易交配法. 育雑　45：125-127.
57）山口誠之, 裘　伯欽, 田村泰章, 横上晴郁, 東　正昭. 1995b. 切除茎授粉によるイネ交配法の諸条件の検討. 育雑　45（別1）：313.
58）山口誠之, 田村泰章, 横上晴郁, 東　正昭. 1995c. イネの良食味, いもち病抵抗性の個体選抜効果. 日作東北支部報　38：117-119.
59）山口誠之, 田村泰章, 横上晴郁, 東　正昭. 1995d. イネいもち病抵抗性品種による経済的評価の試み. 東北農業研究　48：11-12.
60）山口誠之, 小綿寿志, 春原嘉弘, 東　正昭. 1997a. イネの良食味, いもち病抵抗性系統の選抜. 東北農試研報　92：35-42.
61）山口誠之, 近藤武晴, 東　正昭. 1997b. いもち病圃場抵抗性品種利用による薬剤防除削減の可能性. 日作東北支部報　40：31-33.
62）山口誠之. 1998. あなたにも手軽にできるイネの交配. 遺伝別冊　10：132-136.
63）Yamaguchi. M.; H. Saitoh; T. Higashi. 2000. Effect of varietal field resistance for control of rice blast（Tharreau, D. *et al.* ed., Advances in Rice Blast Research）. Netherlands. Kluwer Academic Publishers. p.196-202.
64）山口誠之, 片岡知守, 遠藤貴司, 中込弘二. 2004a. いもち耐病性品種に葉いもち防除は必要か. 日作東北支部報　47：41-42.
65）山口誠之. 2004b. 東北地域における耐冷性, いもち耐病性水稲品種の開発状況と今後の課題. 農業技術　59：351-355.
66）山口誠之, 横上晴郁, 片岡知守, 中込弘二, 滝田正, 東　正昭, 加藤　浩, 田村泰章, 小綿寿志, 小山田善三, 春原嘉弘. 2005. いもち病に強い良食味水稲品種「ちゅらひかり」の育成. 東北農研研報　104：1-16.
67）Zenbayashi, K.; T. Ashizawa; T. Tani; S. Koizumi. 2002. Mapping of QTL (quantitative trait locus) conferring partial resistance to leaf blast in rice cultivar Chubu 32. Theor. Appl. Genet. 104：547-552.

リビングマルチを利用した畑作物生産に関する栽培学的研究

三　浦　重　典*1)

抄　録：リビングマルチは、主作物の播種前または播種と同時に植えられ、主作物の栽培期間中の全部または一部期間にも生存して、地表面を被覆している植物である。リビングマルチは、土壌保全や雑草防除など多くの機能を有し、環境保全型農業体系を構築する上で重要なツールであるが、わが国ではリビングマルチの持つ多様な機能を解析し、それを利用した畑作物の生産体系に関する研究はほとんどみられない。本研究では、リビングマルチを利用した畑作物生産について、マメ科牧草を利用したスィートコーンのリビングマルチ不耕起栽培体系と、麦類との同時播種によるダイズのリビングマルチ栽培体系の２つのプロトタイプについて、雑草防除と光や窒素に対する競合から、その有効性や問題点を検討した。その結果、リビングマルチはいずれの体系でも高い雑草防除効果を持ち、競合は比較的軽微で、主作物の収量や品質も慣行栽培と同等に確保できる可能性が示唆された。今後、播種作業の機械化などにより現地での試験データを蓄積することにより、リビングマルチを利用した高度な栽培技術の確立が期待できる。

キーワード：雑草防除、シロクローバ、スィートコーン、ダイズ、麦類、リビングマルチ

Cultivational Studies on Field Crop Production with Living Mulches : Shigenori MIURA*1)

Abstract : Living mulches are cover crops planted either before or with a main crop, and are maintained as a living ground cover for all or part of the growing season. The objective of this research is to explore the practicality of employing living mulch systems in Japanese upland agriculture. In particular, weed control efficacy, nitrogen competition between main crops and living mulch plants, and the growth and yield of the main crops were investigated in both sweet corn-legume and soybean-winter cereal living mulch systems. This research shows that the sweet corn-white clover and soybean-winter barley living mulch systems showed high weed control efficacy without herbicides without significantly affecting main crop production, in part because nitrogen competition between the main crop and living mulch plants is small. These results may contribute effectively to crop and weed management in upland field agriculture in Japan.

Key Words : Barley, Living mulch, Soybean, Sweet corn, Weed control, White clover

目　　次

Ⅰ　緒論 ……130
1．作付体系研究におけるリビングマルチ栽培の位置づけ ……130
2．リビングマルチに関する既往の研究成果 …131
Ⅱ　マメ科牧草を利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培 ……133
1．スィートコーンのリビングマルチ栽培に適したマメ科牧草の選定 ……134
2．シロクローバリビングマルチ栽培におけるスィートコーンの播種時期と収量性 ……140
3．シロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培における窒素フローの推定 …142
4．小括 ……149
Ⅲ　秋播き性の高い麦類を利用したダイズのリビングマルチ栽培 ……150
1．ダイズ作に適したリビングマルチ草種の選定 ……150
2．秋播き性の高い六条オオムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培 ……153
3．麦の種類の違いがダイズのリビングマルチ栽培に及ぼす影響 ……160
4．小括 ……166
Ⅳ　総合考察 ……166
引用文献 ……170
Summary……174

＊1）現・中央農業総合研究センター（National Agricultual Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan）
2008年５月23日受付、2008年12月16日受理

Ⅰ 緒 論

1．作付体系研究におけるリビングマルチ栽培の位置づけ

1）環境保全型農業を推進するための作付体系研究の意義

21世紀は「環境の時代」といわれる。農業分野においても、国内外で従来の資材多投入型農業や経済性を優先してきた農業から、持続型農業や環境保全型農業への転換に対応した技術開発や作物の栽培・管理の体系化が進んでいる。環境保全型農業は、「有機物の土壌還元などによる土作りと合理的な作付体系とを基礎として、化学肥料、農薬などの効率的利用により、これら資材への依存を減らすことを通じて環境保全と調和などに留意しながら、幅広く実践できる持続可能な農法」（農林水産省）といわれているように、環境保全型農業技術の開発、普及において作付体系研究の持つ重要性は高い。

一般に、作付体系（Cropping system）の概念には、１つの耕地（圃場）における時系列的な配置と空間的配置がある。耕地に作物を時系列的に配列する場合には、地力維持、病害虫の発生、収量・品質、収益性などの関連で作付方式（または作付順序：Cropping sequence）が問題になる。大久保（1976）は作付方式において、同一の土地に対して同一の作物を年々繰り返して栽培することを連作（Continuous cropping）、異なる種類の作物を一定の順序で循環して栽培することを輪作（Rotation）としている。また、作付方式の中に休閑を含むことがある。これに対して、間作や混作にみられるような作物の空間的配置は、作付様式（Cropping pattern）と呼ばれる。

作付体系は、環境保全型農業を推進するための基盤的な技術として改めて注目されている。山本（1995）は、環境保全型農業における作付体系の役割・機能は、作物と土壌との相互作用によって形成される環境を、作付けする作物にとって都合のよい状況に改変したり、維持することとしている。言い換えれば、作物、土壌、土壌微生物などの持つ土壌保全、地力維持、病害虫や雑草防除などの機能を活かして、作物を持続的・安定的に生産するための輪作、間・混作体系を構築することが、環境保全型作付体系研究の目的となる。

2）カバークロップとリビングマルチ

環境保全型作付体系を構築する際のツールとして、カバークロップ（被覆作物）が利用されている。江原（1971）は、被覆作物を土壌の浸食を防ぎ土壌中に有機物を加えて土壌改良に役立つ「土壌保護作物」と定義している。しかし、近年では、土壌の改良や保護だけでなく、カバークロップの持つ窒素の供給（Corakら 1991、Araki and Ito 1998、大段・大門 1998、Komatsuzaki 2002）や溶脱の防止（McCrackenら 1994、Waggerら 1998）、病害虫防除（近岡ら 1982、Masiunasら 1997）、雑草防除（Teasdale and Daughtry 1993、Creamerら 1997、Fiskら 2001）などの機能を解明し、それを効果的に利用して作物や野菜の栽培技術を開発する研究が国内外で行われている。これらは、カバークロップを主作物の栽培の前後に組み込む輪作体系において研究されているものが多い。

これに対して、間・混作体系にカバークロップを導入する研究は、ヨーロッパを先駆とする果樹園の草生栽培に関するものが代表的である（Stott 1967、Miller and Eldridge 1989、McGourty 1994）。わが国においても、戦後、傾斜地果樹園の土壌流亡の防止や省力化を目的にした草生栽培の研究がみられる（坂本ら 1965、藤井 1990）。一方、果樹園以外の農耕地においては、主作物とカバークロップを間・混作する栽培法に関する研究は、1980年頃までほとんどみられなかった。これは、輪作体系でみられるカバークロップから主作物への窒素の供給などの機能が、間・混作体系ではあまり有効に働かず、むしろ光や養水分に対する競合により主作物の生産性を低下させる場合が多いためであると考えられる。しかしながら、環境保全型農業という視点からみると、カバークロップの持つ病害虫防除や雑草防除などの機能は、間・混作体系の中でも十分に利用可能なものである。このように間・混作体系の中で利用されるカバークロップを、従来の輪作体系で利用されるカバークロップと区別してリビングマルチと呼ぶ場合が多い。

リビングマルチという用語は、1979年にコーネル大学のRobert Sweetが緑肥以外の目的で栽培されるカバークロップを表す用語として使ったのが最初といわれている（佐藤 1998）。しかし、現在でもカバークロップとリビングマルチという用語は必ずしも厳密に区別されているわけではない。Hartwig and Ammon（2002）は、主作物の播種前に枯殺されるものをカバークロップ、主作物の生育期間にも

植生を維持しているものをリビングマルチとして区別している。本研究では、主作物の播種前または播種と同時に植えられ、主作物の栽培期間中の全部または一部期間にも生存して、地表面を被覆している植物を「リビングマルチ」と定義することとしたい。

2．リビングマルチに関する既往の研究成果

1）欧米におけるリビングマルチ栽培研究の展開

「リビングマルチ」という用語が散見されはじめた1980年頃から、土壌侵食の防止や土壌のしまり（soil compaction）の軽減など土壌保全を目的に、不耕起や部分耕などの耕起法とリビングマルチを組み合わせ、主作物とリビングマルチ草種との競合から、リビングマルチに最適な草種や栽培法を論じている研究報告がみられる。Nicholson and Wien（1983）は、クリーピングベントグラス、レッドフェスク、シロクローバなど8草種をリビングマルチとして生育させ、スィートコーン及びキャベツを部分耕した土壌にそれぞれ播種及び移植して栽培した。その結果、リビングマルチの乾物重が増えるとスィートコーン及びキャベツの収量は低下すること、その要因として水分や窒素に対する競合が関係すること、シロクローバの野生種などがリビングマルチに適することを示した。Echtenkamp and Moomaw（1989）は、リビングマルチを利用したトウモロコシの不耕起栽培では、トウモロコシ播種前後に除草剤を施用しリビングマルチの生育を抑制しないと、トウモロコシの収量が慣行栽培より減少することを報告した。

1980年代後半からは、従来の土壌保全に加え、雑草防除や病害虫防除を目的としたリビングマルチ栽培研究が多くみられるようになった。そこでは、主作物として、トウモロコシ（Grubinger and Minotti 1990、Fischer and Burrill 1993、Garibayら 1997）、ダイズ（Lieblら 1992、Ateh and Doll 1996）、スナップビーン（Masiunasら 1997）、ジャガイモ（Boydら 2000）、キャベツ（Brandsæterら 1998）、ブロッコリ（Costello 1994、Ellisら 2000）などが、リビングマルチ草種として、ライムギ（Lieblら 1992、Ateh and Doll 1996）、イタリアンライグラス（Garibayら 1997）、クローバ類（Grubinger and Minotti 1990、Fischer and Burrill 1993、Kumwendaら 1993）、アルファルファ（Eberleinら 1992、DeHaanら 1997）、キカラシ（DeHaanら 1994、Hooksら 1998）などが利用され、主作物とリビングマルチ草種との多様な組み合わせについて研究が行われた。Ateh and Doll（1996）は、ライムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培では、雑草バイオマスが顕著に減少することを報告している。Brandsæterら（1998）は、クローバ類やライグラスを利用したキャベツのリビングマルチ栽培では、キャベツ単作に比べて収量はやや減少するものの、雑草やハエ（cabbage root fly）などの害虫の発生が抑えられることを示し、土壌への窒素の供給などを含めたリビングマルチの持つ効果について考察している。

2）リビングマルチを利用した雑草防除に関する研究

DeGregorio and Ashley（1985）が、シロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培における雑草抑制効果を明らかにした1980年代半ば頃からは、リビングマルチを利用した雑草防除に関して多くの報告がみられる。これらは、リビングマルチを除草剤により制御するものと無除草剤で管理するものの二グループに大別される。前者は、主作物とリビングマルチとの競合を抑えるために、主作物の播種前に非選択性の除草剤を施用してリビングマルチの生育を衰退させるもので、リビングマルチの残さと残った植生により雑草をコントロールしようとするものである。後者は、除草剤を使用しないもので、機械的な手法を用いて主作物の栽培期間中のリビングマルチを管理する場合が多いが、リビングマルチに対して特段の管理を行わない場合もある。

Grubinger and Minotti（1990）は、シロクローバを用いたスィートコーンのリビングマルチ栽培では、栽培期間中の競合を回避するために、畝間のシロクローバを部分耕により衰弱させることで、雑草が抑制され慣行栽培と同等のスィートコーンの収量が得られたと報告している。Ilnicki and Enache（1992）は、自然下種（self-seedling）するサブタレニアンクローバをリビングマルチとして利用すると、無除草剤でも高い抑草効果があることを報告している。このような除草剤に依存しないリビングマルチ栽培体系の構築は、薬剤成分による水質汚染の防止や環境保全、除草作業の省力化などに貢献する可能性が高い。

3）わが国の畑作におけるリビングマルチ栽培に関する研究の意義

前述したように、リビングマルチに関する研究は

欧米を中心に行われており、わが国では1990年代後半まで研究報告はほとんどみられない。これは、わが国の水田及び畑では土壌侵食が欧米ほど顕著でなかったことから、不耕起栽培やカバークロップ、リビングマルチを利用した土壌保全に関する研究や技術開発が進まなかったことが一因であると考えられる。また、わが国の春から夏期にかけての気象条件は、欧米とは異なり高温、多雨であることから、病害虫や雑草の発生が助長され、防除はより困難を極める。このため、殺虫剤や除草剤など省力的かつ防除効果が高い化学合成農薬への依存度は高まり、それ以外の耕種的な手法による病害虫・雑草防除に関する研究や技術開発はおざなりにされていたといわざるをえない。

しかしながら、近年、食の安全や環境保全への関心の高まりから、農薬や化学肥料に過度に依存した栽培体系からの転換が求められている。また、農業従事者の減少により、耕地利用率は低下し、遊休農地や耕作放棄地が増加しており、不作付け期間の土壌の風食や窒素の溶脱などが懸念されている。このような状況の中で、今後、持続的かつ環境に配慮した農業を推進するためには、土壌保全、病害虫・雑草防除、景観保全など多くの機能を有するとされるカバークロップやリビングマルチの農業現場への導入を目指した試験研究は重要であると考えられる。しかし、わが国ではリビングマルチの持つ機能を解析し、リビングマルチを利用した畑作物の栽培法について明らかにした研究はほとんどみられない。

そこで、本研究では、これまで述べてきたリビングマルチに関する既往の成果と研究の展開方向を基礎にして、わが国の畑地（水田転換畑を含む）におけるリビングマルチ栽培導入の可能性について、主として雑草防除と光や窒素に対する競合の回避という点から検討することを目的とした。

Ⅱでは、主作物としてスィートコーン、リビングマルチ草種としてマメ科牧草（主としてシロクローバ）を選定し、無除草剤によるスィートコーンの不耕起栽培を試みた。スィートコーンとマメ科牧草の組み合わせを選んだ理由は、①スィートコーンは初期生育が早く、草丈が高くなることからリビングマルチ草種との光競合が小さい、②マメ科牧草は高い被覆力を有することから雑草の発生や生育を阻害する、③マメ科牧草は根粒菌により窒素固定を行うことから主作物との窒素に対する競合が緩和される、④マメ科牧草の種子は安価に手に入り栽培も比較的簡単である、と考えたからである。まず、生態的特性の異なる3種のマメ科牧草を利用してスィートコーンのリビングマルチ栽培を行い、雑草抑制効果、スィートコーンの生育・収量に及ぼす影響、光や窒素に関する競合などの点から評価して、リビングマルチに適した牧草種としてシロクローバを選定した。次に、スィートコーンとシロクローバの組み合わせによるリビングマルチ栽培において、播種時期を変えた場合のスィートコーンの株立ちや収量の違いを調査し、収量を安定させるための栽培時期や播種法について検討した。さらに、リビングマルチ栽培における窒素の吸収量と溶脱量、シロクローバからスィートコーンへの窒素の移行量及びシロクローバの根粒による固定窒素量を測定し、窒素フローを推定した。これにより、スィートコーンとシロクローバとの間の窒素に対する競合を評価するとともに、リビングマルチ栽培における窒素減肥の可能性について実証試験を含めて検討した。

Ⅲでは、東北地域の水田転作作物として栽培面積が増加しているダイズのリビングマルチ栽培について検討した。東北地域におけるダイズ栽培では、除草剤と中耕培土を組み合わせた雑草防除が基本である。しかし、中耕時期が梅雨期となっていることから中耕ができない場合があり、雑草害によって収量や品質の低下がみられることから、リビングマルチ栽培の導入が有効と判断した。ダイズを主作物とした場合のリビングマルチ草種として、Ⅱで取り上げたシロクローバも候補として考えられる。しかし、ダイズとシロクローバは同じマメ科であるため共通の病害虫が多く、特に北日本のダイズ栽培で問題となっているダイズわい化病については、クローバ類がウイルスを媒介するジャガイモヒゲナガアブラムシの越冬地になり感染源となっている（玉田　1975、御子柴ら　1991）ため、ダイズ栽培においてシロクローバをリビングマルチとして利用することは不適切であると考えられる。また、技術の普及を考えた場合、不耕起栽培より通常の耕起栽培の方が生産者に受け入れられやすいと考え、ダイズとリビングマルチ草種を同時に播種することとした。そこで、まずダイズとの同時播種に適したリビングマルチ草種及び播種法について検討した。次に、秋播き性の高い六条オオムギによるリビングマルチとダイズ播種時期の土壌処理除草剤との組み合わせが、雑草の生

育量やダイズの生育及び収量に及ぼす影響について検討した。さらに、形態的な特性が異なる麦類をリビングマルチとした場合の雑草及びダイズの生育及び収量に及ぼす影響についても調査し、ダイズ作におけるリビングマルチ栽培の可能性について明らかにした。

本研究の遂行及びとりまとめにあたり、終始懇切なご指導とご助言を賜った北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの荒木肇教授に対し厚くお礼申し上げる。また、本論文のとりまとめにあたり大変有益なご助言をいただいた北海道大学北方生物圏フィールド科学センターの山田敏彦教授、北海道大学大学院農学研究院の岩間和人教授、大崎満教授に深く感謝の意を表する。

中央農業総合研究センターの渡邊好昭氏、作物研究所の小柳敦史氏には、本研究に取り組むにあたっての基礎的考え方、基盤的技術をご指導いただき、本研究の遂行ととりまとめにあたって多くのご教示とご助言をいただいた。東北農業研究センターの小林浩幸氏には、本研究の遂行にあたって調査などにご協力いただき、また多くのご助言をいただいた。中央農業総合研究センターの山本泰由氏（現農業技術協会）には、本研究のとりまとめにあたって多くのご教示とご助言をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。

本研究は、東北農業研究センター福島研究拠点で行ったものであり、多くの方にご指導、ご援助を頂いた。飯塚隆治氏（現日本石灰窒素工業会）、山田一郎氏（現九州農業研究センター）、新田恒雄氏（現北海道農業研究センター）には、研究の遂行ととりまとめにあたりご指導いただいた。伊東健二氏、宍戸力雄氏、管正氏、吉田聖徳氏をはじめ業務科の方々及び非常勤職員の菅野光子、管裕美氏には作物の栽培・管理と調査にご協力いただいた。秋田県農林水産技術センターの井上一博氏、福島県農業総合センターの二瓶直登氏には試験の設計や結果の解析に多くの貴重なご意見をいただいた。秋田県農林水産技術センターの金田吉弘氏（現秋田県立大学）、進藤勇人氏、三浦恒子氏ほか職員の方々には、^{15}Nの測定にあたって、測定装置の使用と分析結果のとりまとめにご配慮とご助言をいただいた。以上の方々に厚く御礼申し上げる。

本研究でリビングマルチとして使用した麦類の種子の一部は、秋田県、福島県、岡山県、愛媛県、宮崎県の各農業関係試験場及び農業・食品産業技術総合研究機構内の研究所から譲渡していただいたものである。ご協力に厚く御礼申し上げる。本研究の一部は、農林水産省委託プロジェクト「パイオニア特別研究」により実施した。本論文は、「北海道大学審査学位論文」を東北農業研究センター研究報告校閲・審査内規に沿って加筆・修正したものである。

＊　機関名などは、平成20年３月現在の名称で記載いたしました。

Ⅱ　マメ科牧草を利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培

トウモロコシは初期生育が旺盛で根系が速やかに形成され、また草丈も高くなるため、光や養・水分に対する競合に強いと考えられる。このため、リビングマルチ栽培に最も適した作物であるといえる。これまで欧米を中心にトウモロコシを主作物としてリビングマルチ栽培を行った研究が多くみられる。Nicholson and Wien（1983）は、スィートコーン及びキャベツを数十種の牧草の下でリビングマルチ栽培した場合、それらの収量とリビングマルチ草種の乾物生産量との間に負の相関があると報告している。Satoら（1998）も、トウモロコシ畑のハリビユの防除にイタリアンライグラスによるリビングマルチが有効であるが、トウモロコシの収量は除草剤使用区に比べて減少したと報告している。一方、Ilnicki and Enache（1992）は、サブタレニアンクローバリビングマルチによる雑草抑制の効果を認め、トウモロコシの収量は慣行栽培と同程度であったと報告している。

このように、リビングマルチ栽培における作物の生育、収量や雑草抑制効果については主作物とリビングマルチ草種の組み合わせや気象条件などの違いにより異なっており、統一的な結論が出ていない。また、いずれの報告においても作物とリビングマルチ草種との競合の機作については十分な解析が行われていない。

そこで、わが国では研究蓄積の少ない畑作物のリビングマルチ栽培について、スィートコーンを除草剤を用いずにマメ科牧草リビングマルチの下で栽培した場合の雑草抑制効果及びスィートコーンの生育、収量及び品質を調査・解析した。さらに、スィートコーンとリビングマルチ草種及び雑草との

図１　マメ科牧草によるリビングマルチを利用したスィートコーンの栽培体系

マメ科牧草は前年９月に播種（播種量10アール当たり３～５kg）し、ローラーで鎮圧する。
スィートコーンの播種時にマメ科牧草を地際で刈り取り、刈り敷く。
緩効性肥料を地面に散布、施肥量は慣行栽培に準ずる。

間の光や窒素との競合について解析し、わが国におけるリビングマルチ栽培の可能性や方向性について検討した。

１．スィートコーンのリビングマルチ栽培に適したマメ科牧草の選定

リビングマルチには多くの草種が用いられるが、地表面の被覆力が高いことや主作物との光や養水分などに対する競合を最小限に抑えることが草種選択の基準となる。マメ科植物は、一般に被覆力が高く、根粒菌により窒素固定を行うことから主作物との窒素に対する競合が少ないため、リビングマルチ草種に適していると考えられる。そこで、生態的特性の異なる3種のマメ科植物をリビングマルチとして利用し、スィートコーンの栽培を行い、雑草抑制効果及びスィートコーンの生育、収量及び品質について検討した。

１）材料及び方法

試験は、1998年と1999年に図１に示す栽培体系に基づいて、福島市にある東北農業試験場（現東北農業研究センター）の試験圃場（土壌は淡色黒ボク土）で行った。試験前年は夏作にソルガム、冬作にライムギを栽培し、圃場を均一化した。リビングマルチとするマメ科植物（以下、リビングマルチ牧草とする）として、1998年にはアルファルファ（*Medicago sativa* L.、品種：タチワカバ、試験区名：AL区）、アカクローバ（*Trifolium pratense* L.、品種：ハミドリ、試験区名：RC区）及びシロクローバ（*Trifolium repens* L.、品種：フィア、試験区名WC区）を、1999年にはアカクローバとシロクローバを用いた。なお、1998年は対照区としてリビングマルチのない不耕起放任区（以下、NT区とする）を、1999年はNT区に加えて、耕起し除草剤を使用する慣行区（以下、CC区とする）を設けた。試験区は、１区面積35m^2（７m×５m）で乱塊法４反復とした。

前年９月中～下旬に耕起後、上記マメ科牧草の種子5.5gm^{-2}を散播しローラーで鎮圧した。1998年は６月11日、1999年は６月10日にCC区を除く試験区のリビングマルチ牧草及び雑草をハンマーナイフモアで地際から約５cmの高さで刈取り、直後に畦間90cm×株間30cm間隔（3.7株m^{-2}）に移植ごてで深さ３cm程度の穴を掘り、スィートコーン（品種：1998年はスカイライナー85、1999年はキャンベラ86）を１穴３粒ずつ播種した。肥料は、CDU複合燐加安S555（N = 22.5gm^{-2}）を土壌表面に散布した。CC区については、施肥の後耕起してスィートコーンを播種し、土壌処理除草剤のアトラジンとアラクロールを規定量散布した。1998年、1999年とも７月７日（播種後26及び27日）に条間と株間のリビングマルチ牧草及び雑草を地際から約５cmの高さで刈取り（以下、中間刈取りという）、スィートコーン

アルファルファのリビングマルチ区

アカクローバのリビングマルチ区

シロクローバのリビングマルチ区

図２　中間刈取り前のリビングマルチ栽培の状況（1998年７月７日）

を間引きして１本仕立とした（図２）。絹糸抽出期前後に、アワノメイガなどを防除するためイソキサチオン及びMEPを各１回散布した。なお、栽培期間中には、除草剤は散布せず、追肥も行わなかった。

約10日毎にスィートコーンの草丈、リビングマルチ牧草及び雑草の草高を調査した。また、スィートコーンの播種前及び栽培期間中に計５回、条間の平均的な群落中に50cm×50cmの枠（コドラート）を１箇所設け、リビングマルチ牧草及び雑草を地際から約５cmの高さで刈取って乾物生産量を調査した。スィートコーンの株立ち数（欠株数）の調査は1998年、1999年とも７月７日に行った。また、1998年は７月13日、７月24日、８月７日に、1999年は７月７日、７月23日、８月11日にそれぞれ１区４個体について地上部乾物重を調査した。絹糸抽出日は各区内の半数以上の個体の絹糸が抽出した日とし、収量調査は絹糸抽出日から22～25日後に８～14個体（AL区は７個体以下の場合あり）について行い、地上部の乾物重、苞葉を含む雌穂生重、穎果の粒列数、一列粒数を調査した。また、葉、茎、雌穂に分けた部位別の窒素含有率をCNコーダー（Yanako製MT-600）で測定した。さらに1999年は雌穂の外観品質を先端不稔、虫害などの程度により、先端不稔無～微かつ虫害無＝３、先端不稔２cm程度以内かつ虫害微＝２、先端不稔４cm程度以内かつ虫害少＝１、前記以外＝０の４段階分級に基づく品質指数によって調査した。

２）結果

（１）スィートコーンの草丈とリビングマルチ牧草及び雑草の草高と乾物重

1998年における各処理区のスィートコーンの草丈とリビングマルチ牧草及び雑草の草高を図３に示した。スィートコーンの草丈は、７月21日（播種後40日）以降WC区≒NT区＞RC区＞AL区の順で、AL区ではWC区、NT区に対して有意に低かった。リビングマルチ牧草の中間刈取り直前の草高は、AL区＞RC区＞WC区の順で、最も高いAL区では59cmに達し、スィートコーンの草丈と同程度であった。中間刈取り以降、NT区の雑草の草高が経時的に高くなり、８月６日（絹糸抽出期）には75cm、８月31日（収穫期）には135cmとなった。一方、リビングマルチ牧草の草高は、いずれも８月６日に中間刈取り時直前と同程度となり、以降は高くならないか、かえって低くなった。この傾向は1999年にお

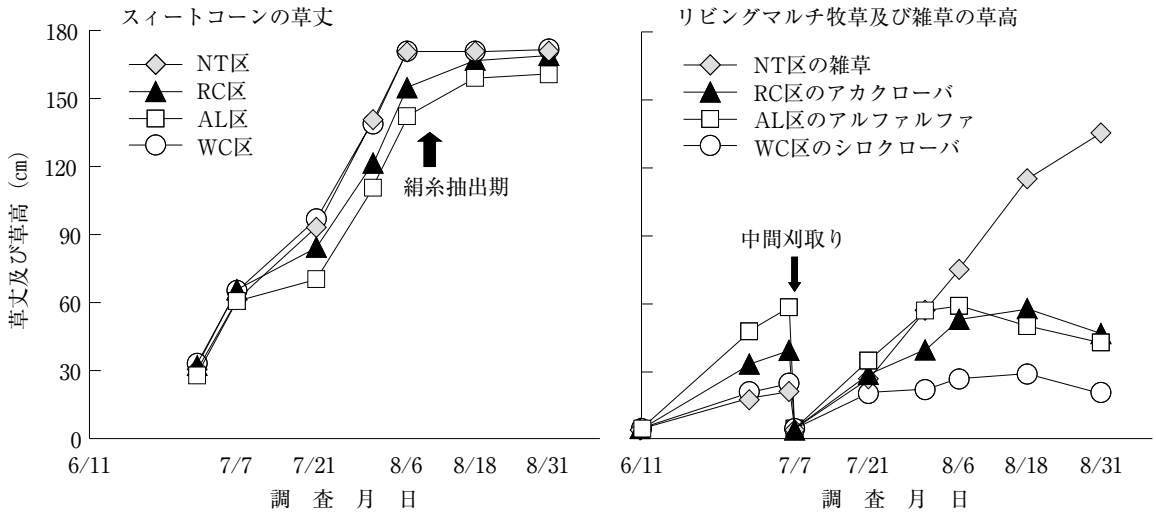


図３　スィートコーンの草丈とリビングマルチ牧草及び雑草の草高の推移（1998年）
NT区：不耕起放任区、RC区：アカクローバ区、WC区：シロクローバ区、AL区：アルファルファ区。

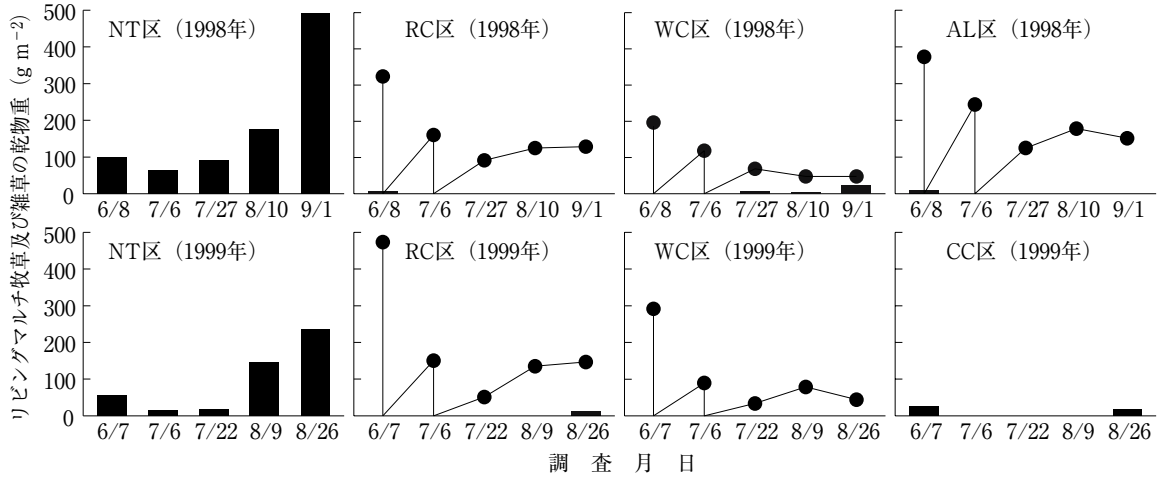


図４　リビングマルチ牧草及び雑草の乾物重の推移
—●— リビングマルチ牧草　　■ 雑草
NT区：不耕起放任区、RC区：アカクローバ区、WC区：シロクローバ区、
AL区：アルファルファ区、CC区：慣行栽培区（耕起・除草剤使用）。
播種日：1998年６月11日、1999年６月10日。

いてもほぼ同様であった。

リビングマルチ牧草及び雑草の乾物重の推移を図４に示した。リビングマルチ区（RC区、WC区、AL区）では1998年、1999年ともスィートコーン播種前の6月上旬の雑草の発生が極めて少なかった。一方、NT区では雑草の発生が多く、ナズナ、コハコベ、イヌタデなどの広葉雑草が優占する植生で、合計乾物重は1998年が100gm^{-2}、1999年が55gm^{-2}であった。

スィートコーンの栽培期間中については、リビングマルチ区及びCC区では、絹糸抽出期頃から一部にイヌビエなどイネ科雑草の発生が認められたものの、雑草の乾物重は少なく25gm^{-2}以下であった。一方、NT区では、絹糸抽出前の７月下旬からイヌビエ、メヒシバ、イヌビユなどが多くみられ、全乾物重も急速に増加して、スィートコーン収穫期の８月下旬～９月上旬には1998年が494gm^{-2}、1999年が235gm^{-2}に達した。

リビングマルチ牧草は、播種後から中間刈取りまでの約１ヶ月間には急速に再生したが、中間刈取り以降の乾物生産量が少なく、スィートコーン収穫期の乾物重は1998年はAL区で152gm^{-2}、RC区で

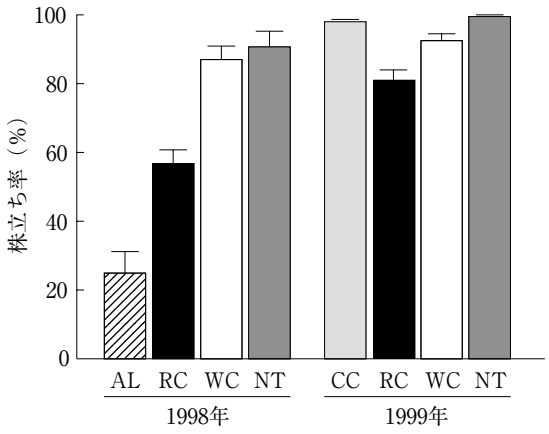


図5　スィートコーンの株立ち率

AL：アルファルファ区、RC：アカクローバ区、
WC：シロクローバ区、CC：慣行栽培区、
NT：不耕起放任区。
図中の縦線は標準誤差（n=4）。

130gm^{-2}、WC区で71gm^{-2}、1999年はRC区で158gm^{-2}、WC区で44gm^{-2}であった。

（2）スィートコーンの生育、収量及び品質

図5にスィートコーンの株立ち率（100%－欠株率）を示した。株立ち率は両年ともNT区で最も高かった。リビングマルチ区では、WC区が最も高く1998年が87%、1999年が93%であった。しかし、RC区、AL区の株立ち率は1998年がRC区で57%、AL区で25%、1999年がRC区で81%で両年ともWC区に比べ低かった。なお、CC区のそれは、NT区と同程度であった。

スィートコーンの生育、収量（雌穂収量）及び品質を表1に示した。絹糸抽出日は、1998年、1999年ともWC区で最も早く、NT区で0～1日、RC区で1～3日、AL区で4日、CC区で5日遅れた。地上部乾物重は、1998年にはWC区＞RC区＞NT区＞AL区の順で、WC区とNT区、AL区との間には有意な差が認められ、1999年にはいずれの処理区の間にも有意な差はなかったが、WC区＞RC区＞CC区＞NT区の順であった。1個体当たりの雌穂生重は、地上部乾物重と同様の傾向を示し、WC区、RC区で大きくAL区、NT区で小さかった。粒数を構成する粒列数、一列粒数についてみると、1998年には粒列数は処理区による違いは認められなかったが、一列粒数はWC区が他の区よりも有意に多く、RC区＞AL区＞NT区の順に減少した。1999年においても粒列数はCC区で有意に少なかったが、他の区には差がなく、一列粒数はCC区で多くNT区で少なかった。収量は、両年ともWC区で最も高く1998年には他の処理区に対して有意な差が認められた。なお、リビングマルチ区のスィートコーンの収量は、1998年、1999年とも株立ち率との間に有意な正の相関が認められ（図6）、NT区あるいはCC区における株立ち率に対する収量は、リビングマルチ区にみられた回帰直線の下であった。さらに、1999年の品質指数はCC区、RC区、WC区で高くNT区で低かった。

（3）地上部の窒素吸収量

スィートコーン、リビングマルチ牧草及び雑草の窒素吸収パターンを明らかにするために、各調査期間ごとに単位面積当たりの地上部の窒素吸収量（乾物重×窒素含有率）の増加分を日数で除した値（以下、1日当たりの窒素吸収量という）を図7に示した。スィートコーンの1日当たり窒素吸収量は、1998年にはいずれの処理区でも絹糸抽出期頃となる

表1　スィートコーンの収量及び品質

年次	試験区	絹糸抽出日	地上部乾物重 g plant^{-1}	雌穂生重 g plant^{-1}	粒列数	一列粒数	収量 g m^{-2}	品質指数
1998	NT区	8/ 6	73.9^{bc}	224.2^{bc}	12.0^{a}	26.1^{c}	549^{b}	－
	RC区	8/ 9	86.7^{ab}	266.7^{ab}	12.3^{a}	29.8^{b}	550^{b}	
	WC区	8/ 6	102.3^{a}	295.5^{a}	12.6^{a}	33.1^{a}	890^{a}	－
	AL区	8/10	60.3^{c}	205.1^{c}	12.0^{a}	28.7^{bc}	115^{c}	－
1999	NT区	8/ 8	135.8^{a}	339.8^{c}	18.3^{a}	33.1^{c}	1,089^{ab}	56^{b}
	RC区	8/ 8	141.8^{a}	371.2^{ab}	18.0^{a}	35.7^{b}	997^{b}	80^{a}
	WC区	8/ 7	149.7^{a}	379.8^{a}	18.6^{a}	35.1^{bc}	1,211^{a}	74^{a}
	CC区	8/12	137.9^{a}	360.0^{bc}	15.9^{b}	39.9^{a}	1,149^{a}	82^{a}

注．NT区：不耕起放任区、RC区：アカクローバ区、WC区：シロクローバ区、AL区：アルファルファ区、CC区：慣行栽培区。
同一アルファベット小文字間は5%水準（Tukey法）で有意差がない（年次別に検定）。
収量は苞葉を含む雌穂収量。
品質指数は外観品質を先端不稔、虫害等の程度により0、1、2、3の4段階に分級し、重みづけ平均して求めたもの（本文参照）。

7月下旬～8月上旬に、1999年には登熟期の8月中旬以降に最も高かった。また、WC区におけるスィートコーンの窒素吸収量は、生育期間を通して他の処理区に比べて多い傾向にあった。

リビングマルチ牧草の1日当たり窒素吸収量は、スィートコーンの生育初期から中期にかけてはNT区における雑草に比べて多かった。しかし、絹糸抽出期以降はNT区の雑草の窒素吸収量が高かったのに対し、リビングマルチ牧草の窒素吸収量は減少した。登熟期にはRC区の1日当たり窒素吸収量はおおむね0 mgm^{-2}となり、AL区、WC区では負となってリビングマルチ牧草は窒素を放出していた。NT区の雑草の1日当たり窒素吸収量は、絹糸抽出期には1998年、1999年ともおおむね150mgm^{-2}で多かったが、登熟期には1998年は199mgm^{-2}に増加したのに対し、1999年は雑草の乾物重の増加量が少なかったため59mgm^{-2}に減少した。

3）考察

これまでのリビングマルチに関する研究の多くは、作物の作付け前に除草剤を使用してカバークロップを衰弱や枯死させ、主に残さによる被陰で初期の雑草発生を抑制しようとするもの（Mooreら　1994、Galloway and Weston 1996）であった。しかし、近年は、カバークロップを除草剤で枯殺せずに、その立毛中に作物を播種あるいは移植する省力かつ持続的な農業技術としての研究も進んでいる（Nicholson and Wien 1983、Grubinger and Minotti 1990、Ilnicki and Enache 1992、嶺田ら1997、Brandsæterら 1998、Sato ら 1998）。

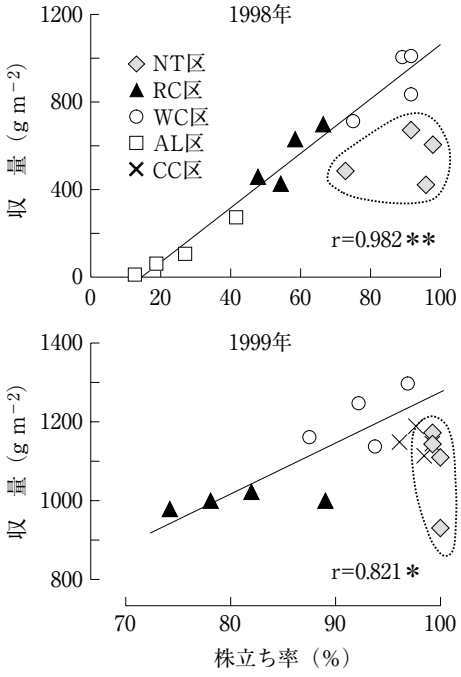


図6　株立ち率と収量との関係

NT区：不耕起放任区、RC区：アカクローバ区、WC区：シロクローバ区、AL区：アルファルファ区、CC区：慣行栽培区。

図中の相関係数及び回帰直線はリビンマルチ区（RC区、WC区，AL区）のデータより計算したもの。**、*；1％水準、5％水準でそれぞれ有意。

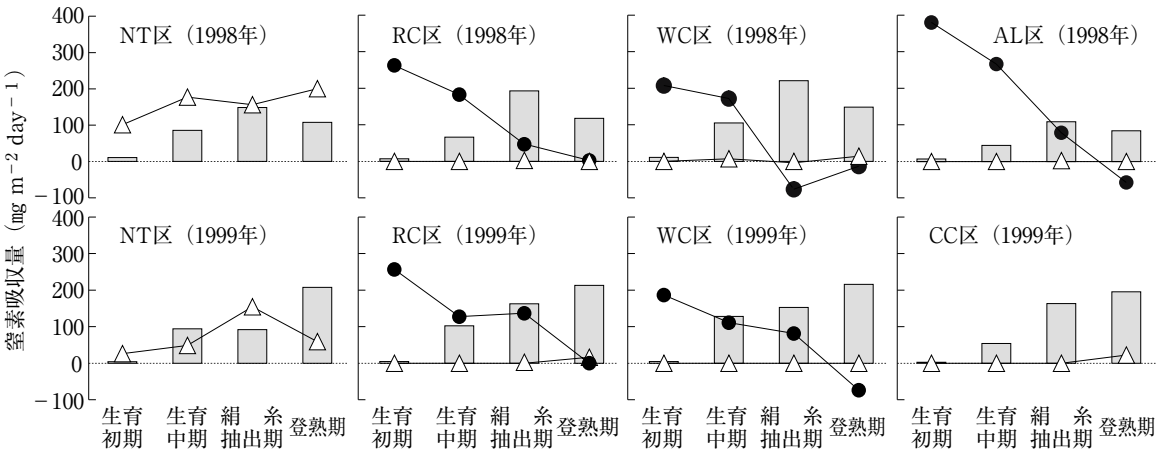


図7　スィートコーン、リビングマルチ牧草及び雑草（地上部）の1日当たり窒素吸収量の推移

スィートコーン　リビングマルチ牧草　雑草

NT区：不耕起放任区、RC区：アカクローバ区、WC区：シロクローバ区、AL区：アルファルファ区。CC区：慣行栽培区。
図中の横軸は以下の期日に相当。
1998年：生育初期＝7月13日以前、生育中期＝7月14日～7月24日、絹糸抽出期＝7月25日～8月7日、登熟期＝8月8日以降。
1999年：生育初期＝7月7日以前、生育中期＝7月8日～7月23日、絹糸抽出期＝7月24日～8月11日、登熟期＝8月12日以降。

畑地におけるリビングマルチの雑草抑制効果については、シロクローバ（Brandsæterら　1998）やサブタレニアンクローバ（Ilnicki and Enache 1992、Brandsæterら　1998）などを用いた実験でおおむね良好な結果が報告されている。本試験においても、供試したマメ科牧草の種類にかかわらずリビングマルチにより雑草の発生が顕著に抑制された（図４）。

一方、リビングマルチが作物の生育や収量に及ぼす影響はリビングマルチとして利用する草種、作物の種類、栽培管理法などによって異なり、必ずしも統一した結果になっていない（Nicholson and Wien 1983、Grubinger and Minotti 1990、Ilnicki and Enache 1992、嶺田ら1997、Sato ら 1998）。本試験では、アルファルファ、アカクローバをリビングマルチとした場合（AL区、RC区）に比較してシロクローバをリビングマルチとした場合（WC区）にスィートコーンの株立ち率が高かった。そしてWC区の収量は1999年は慣行栽培（CC区）と同程度であり（表１）、1998年も別の圃場で同時期に慣行栽培をしたスィートコーンの収量（730gm^{-2}）以上であった。リビングマルチ区では収量と株立ち率との間に正の相関がみられた（図６）。このことは、リビングマルチ栽培における作物の株立ち確保の重要性を示すものである。リビングマルチ栽培の株立ちには、リビングマルチ牧草の生産力、すなわち本試験の場合、スィートコーンの生育初期にあたる中間刈取り時までの草高や乾物生産量が大きく影響すると考えられる。

中間刈取り時のリビングマルチ牧草の草高は、WC区でスィートコーンの草丈より顕著に低かったのに対し、RC区ではやや低く、AL区では同程度であった（図３）。また、中間刈取り時の乾物生産量とスィートコーンの株立ち率との関係をみると、1998年、1999年とも両者の間に有意な負の相関関係が認められた（図省略）。これらのことは、株立ち率の高かったWC区ではシロクローバとスィートコーンの間の光や養分に対する競合が小さかったことを示唆するものである。しかし、RC区やAL区では光の競合が大きかったことに加え、リビングマルチ牧草の乾物生産量が多かったことから養分の競合も大きく、株立ち率が低下したものと考えられる。さらに、AL区では中間刈取り時にスィートコーンの地上部乾物重が他の処理区に比べて小さかったことが、その後の生育や収量にも影響を与えたと考えられる。中野・杉本（1999）も、アルファルファやヘアリーベッチのような被陰度の大きい緑肥作物立毛中に不耕起播種した水稲では苗立ち率が著しく低下し、収量も低いと報告しており、本試験の結果はこれとほぼ一致している。

一方、図６において、CC区とNT区のデータが回帰直線より下にあったことから、CC区、NT区では、株立ち率の割に収量が低かったと言える。特にNT区では、中間刈取り時の雑草の草高は最も低く、株立ち率は最も高かったにもかかわらずスィートコーンの収量が低かった（図５、表１）。これは、NT区では中間刈取り以降にスィートコーンと雑草との間の光や養分に対する競合が大きかったことを示唆するものである。すなわち、NT区では中間刈取り以降に雑草の草高や乾物重が著しく増加したため（図３、図４）、光の競合による光合成速度の低下や受粉障害などが起こり、スィートコーンの乾物生産量が低下して雌穂生重も小さくなり（表１）、収量が低下したと考えられる。

これに対して、WC区、RC区では中間刈取り以降もリビングマルチ牧草の草高が低かったことからスィートコーンとの光の競合はほとんどなく、また乾物生産量も少なかったことから養分の競合も小さかったと推測される。そのため、WC区、RC区では雌穂生重大きく、品質指数も高かった（表１）と考えられる。AL区は、収穫時の地上部乾物重や雌穂生重が小さかった（表１）ことから、中間刈取り以降も養分の競合は大きかったと推測される。

そこで、リビングマルチ栽培を窒素に対する競合という点から考えてみると、マメ科牧草は、根粒菌により固定された窒素に一部依存して生育するという点が重要である。マメ科牧草の窒素固定量は草種や栽培条件によって異なるが、大久保（1984）は、マメ科牧草の窒素固定量がアルファルファで年間10～28.6gm^{-2}、アカクローバで11.6gm^{-2}、シロクローバで17.2gm^{-2}に達するとしている。本実験では窒素固定量は測定していないが、マメ科牧草によるリビングマルチは、イネ科牧草などの窒素固定を行わない草種によるものよりも、主作物との窒素に対する競合を緩和すると考えられる。

また、本試験では播種前及び中間刈取り時にリビングマルチ牧草の残さを地表面に刈り敷いたが、リビングマルチ牧草残さの全窒素含量（地上部乾物重と窒素含有率の積）の合計は、1998年のAL区では

22gm^{-2}、RC区では18gm^{-2}、WC区では15gm^{-2}、1999年のRC区では20gm^{-2}、WC区では17gm^{-2}と計算された。これは、施肥窒素量の67～98%に相当する。CN比が低いマメ科牧草は、緑肥として利用した場合、施用後間もない時期から無機化が進む（西尾 1989）とされており、本実験においてスィートコーンの生育期間におけるリビングマルチ牧草（刈取り残さ）からの無機態窒素の供給は大きかったと推察される。

さらに、本実験ではスィートコーンの１日当たりの窒素吸収量は各処理区とも絹糸抽出期～登熟期にかけてピークを迎えた。一方、リビングマルチ牧草の１日当たりの窒素吸収量はスィートコーンの生育初期に高いものの、スィートコーンの窒素吸収量が増大する絹糸抽出期頃から大きく低下した（図７）。このような窒素吸収パターンの違いが、リビングマルチ牧草とスィートコーンとの間の窒素に対する競合を抑えた可能性は高い。それに対して、NT区では絹糸抽出期頃の雑草の乾物重増加が著しく（図４）、雑草の１日当たりの窒素吸収量はスィートコーンの１日当たりの窒素吸収量を上回っていた（図７）。これは、NT区ではこの時期の窒素に対するスィートコーンと雑草の競合が激しかったことを示唆するものである。特に、1998年は登熟期までこのような傾向が続いていたことから、収量の減少が顕著に現れたと推察される。

以上より、マメ科牧草をリビングマルチとして利用することで、雑草の発生や生育を抑制し、除草剤を用いずにスイートコーンの栽培が可能であることが示された。特にシロクローバは、形態的にも草高が低く維持され、乾物生産量もアルファルファやアカクローバに比較して少ないことから、スィートコーンとの光や窒素に対する競合は小さいと考えられ、収量も慣行栽培以上に確保できる可能性があると考えられる。

２．シロクローバリビングマルチ栽培におけるスィートコーンの播種時期と収量性

Ⅱ－１の試験結果より、マメ科牧草によるリビングマルチを活用することで、除草剤を用いずにスィートコーンの栽培が可能であり、特にシロクローバがリビングマルチ草種として有望であることが示唆された。しかし、リビングマルチ栽培では、慣行栽培に比べて株立ち率が低いことが問題である。本試験では、シロクローバをリビングマルチとして利用して、スィートコーンの播種法（播種・移植）及び播種時期の違いが、株立ち、収量などに与える影響について検討した。

１）材料及び方法

試験は、1999年に東北農業試験場（現東北農業研究センター）の畑圃場（土壌は淡色黒ボク土）で行った。リビングマルチ栽培（LM）区には、シロクローバ（品種：マキバシロ）を1998年９月11日に2.5gm^{-2}播種し、1999年４月にハンマーナイフモアで地上部を刈り取った。1999年５月10日から７月５日まで約２週間間隔でスィートコーン（品種：キャンベラ86）を播種及び播種後２週間経過した苗を移植した。LM区は播種（移植）前にシロクローバを約５cmの高さに刈り取り、播種４週間後に条間に再生したシロクローバを刈り取った。対照区として慣行（耕起・除草剤使用）区を設けた（表２）。LM区、慣行区とも播種（移植）後にCDU複合燐加安（N：P_2O_5：K_2O=22.5gm^{-2}）を地表面に施用した。

株立ち率の調査は播種４週間後に行った。中間刈取りや病害虫の防除などの管理作業はⅡ－１に示した方法に準じて行った。絹糸抽出日は各区内の半数以上の個体の絹糸が抽出した日とし、絹糸抽出日から22～25日後に地上部をサンプリングし、全乾物重、苞葉を含む雌穂生重などの調査を行った。

２）結果

（１）スィートコーンの生育と収量

株立ち率は、移植では全般に高かったが、播種ではLM区の６月８日以前の播種で70%以下に低下した。特に５月24日播種の苗立ち率は20%で著しく低かった。LM区の絹糸抽出日は、５月10日播種分を除き慣行区と同じか早く、６月21日及び７月５日の播種及び移植でその傾向が著しかった。スィートコーンの収量は、LM区では播種時期にかかわらず移植で播種よりも高く1000gm^{-2}を超えたが、播種では６月８日以前の播種で収量が低下した。また、６月21日以降の播種及び移植では、１雌穂の生重が大きかったことなどから収量は播種、移植とも慣行区を上回った（表２）。図８にスィートコーンの株立ち率と収量との関係を示した。ＬＭ区ではスィートコーンの収量と株立ち率との間に有意な正の相関（ｒ=0.895**）が認められた。

（２）スィートコーンとシロクローバとの相互作用

LM区における播種後４週間のシロクローバの乾

表２　スィートコーンの栽培方法、絹糸抽出日、株立ち率及び収量

処理 栽培方法・播種・移植日	絹糸抽出日	収穫日	株立ち率(%)	雌穂（１本当たり平均値） 生重(g)	長さ(cm)	径(mm)	粒列数	一列粒数	収量 (gm^{-2})
慣行　移植　5/10	7/ 9	8/ 3	97.2	318.8	20.8	48.7	15.3	33.9	1,139(79.1)
慣行　播種　5/10	7/22	8/16	99.3	388.7	19.9	52.8	17.2	35.3	1,440(100.0)
ＬＭ　移植　5/10	7/ 9(　0)	8/ 3	84.7	327.4	20.3	49.7	16.0	34.7	1,053(73.1)
ＬＭ　播種　5/10	7/24(＋2)	8/16	67.4	343.7	18.6	52.8	16.8	32.2	645(44.8)
慣行　移植　5/24	7/19	8/13	100.0	348.2	21.7	50.5	15.8	36.1	1,236(102.1)
慣行　播種　5/24	7/30	8/23	83.3	373.4	20.4	50.7	16.7	35.7	1,210(100.0)
ＬＭ　移植　5/24	7/18(－1)	8/13	97.2	349.6	20.1	51.6	17.0	35.0	1,178(95.3)
ＬＭ　播種　5/24	7/30(　0)	8/23	20.1	318.9	19.8	49.9	16.0	29.2	131(10.8)
慣行　移植　6/ 8	7/28	8/20	100.0	355.5	20.1	51.0	15.3	35.3	1,243(95.3)
慣行　播種　6/ 8	8/ 6	8/31	95.8	381.1	22.1	50.3	16.3	37.3	1,304(100.0)
ＬＭ　移植　6/ 8	7/26(－2)	8/20	95.1	354.5	18.5	51.3	16.7	32.1	1,231(94.4)
ＬＭ　播種　6/ 8	8/ 6(　0)	8/31	63.2	368.5	21.5	51.0	17.3	37.1	777(59.6)
慣行　移植　6/21	8/ 5	8/31	97.9	359.9	21.1	51.1	16.5	37.2	1,277(108.1)
慣行　播種　6/21	8/16	9/ 7	98.6	325.8	21.2	46.8	16.2	33.9	1,181(100.0)
ＬＭ　移植　6/21	7/31(－5)	8/23	100.0	383.8	20.4	51.3	17.2	35.8	1,382(117.0)
ＬＭ　播種　6/21	8/12(－4)	9/ 3	97.2	371.5	22.2	48.3	15.3	38.6	1,309(110.8)
慣行　移植　7/ 5	8/16	9/ 7	98.6	290.9	20.7	46.0	15.8	33.4	988(112.1)
慣行　播種　7/ 5	8/26	9/17	98.6	269.8	18.9	45.8	15.3	31.9	881(100.0)
ＬＭ　移植　7/ 5	8/13(－3)	9/ 7	100.0	357.4	21.9	49.1	15.7	38.8	1,305(148.1)
ＬＭ　播種　7/ 5	8/22(－4)	9/13	97.2	312.9	19.6	48.1	16.2	34.8	1,110(126.0)

注．１）絹糸抽出日欄の(　)内は、慣行区とＬM区の日数の差。
　　２）収量欄の(　)内は各播種・移植日の慣行播種区を100とした時の相対値。

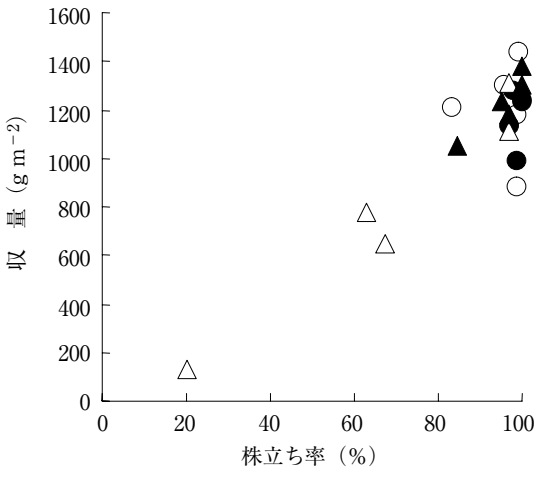


図８　株立ち率と収量との関係
△リビングマルチ区（播種）、▲リビングマルチ区（移植）、○慣行区（播種）、●慣行区（移植）

物重と苗立ち率との関係を図９Ａに示した。両者の間には負の関係があることが示唆されたものの、有意な相関関係は認められなかった。一方、スィートコーンの相対生長率（RGRC）とシロクローバの相対生長率（RGRW）との比（RGRW/RGRC）を算出し、株立ち率との関係をみると、両者の間には有意な負の相関が認められた（図９Ｂ）。

３）考察

ＬM区においてスィートコーンの収量と株立ち率の間に有意な正の相関があったこと（図８）から、本試験においても、Ⅱ－１で指摘したとおり、リビングマルチ栽培では、株立ち率の向上がスィートコーンの収量を高めるために重要であることが確認された。中野ら（1999）は、緑肥作物立毛中に水稲を不耕起播種した場合、被陰が大きいと苗立ち率が著しく低下することを報告している。本試験においても、株立ち率低下の主要因はシロクローバの再生と被陰によるものと考えられる。すなわち、シロクローバは冷涼な気候を好むことから、5月播種では6月播種に比べて播種前に刈り取ったシロクローバの再生が早く、スィートコーンの初期生育が抑制され、枯死した個体が増加した結果、株立ち率が低下したと考えられる。

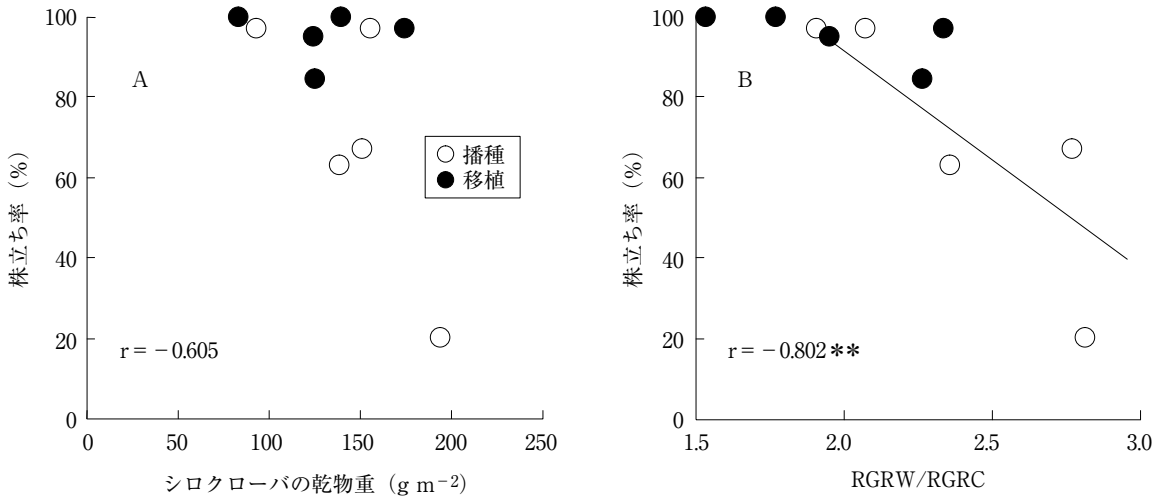


図９　リビングマルチ栽培におけるシロクローバの乾物重（A）及びRGRW/RGRC（B）と株立ち率との関係
RGRWはシロクローバのRGR（播種後４週間）、RGRCはスィートコーンのRGR（全生育期間）。**は１％水準で有意。

播種後４週間のシロクローバの乾物重とスィートコーンの株立ち率の間には有意な相関は認められなかったが、LM区における播種後４週間のスィートコーンの相対生長率（RGRC）とシロクローバの相対生長率（RGRW）との比（RGRW/RGRC）とスィートコーンの株立ち率との間に有意な負の相関が認められた（図９）。両者の比はスィートコーンとシロクローバの相対的な生長を表す指標と考えられることから、リビングマルチ栽培において株立ちを確保するためには、単にシロクローバの再生のみではなく、スィートコーンとシロクローバ生長の相対的な関係を考慮する必要があることが示唆された。

以上の結果から、シロクローバによるリビングマルチ栽培でスィートコーンの収量を確保するためには、株立ちを確保することが重要であり、苗立ち確保にはスィートコーンとシロクローバの生長の相対的な関係を考慮し、移植や晩播きなどスィートコーンの生育に有利な条件下で栽培することが有効であると考えられた。

また、本試験のリビングマルチ栽培では、晩播することで慣行栽培より絹糸抽出までの日数及び収穫時期が早まり、収量も増加する傾向にあった（表２）。辻ら（1995、2000）は、火山灰土壌における不耕起栽培では、ダイズ、デントコーン、陸稲の初期生育が促進されることを報告しており、それには土壌水分が関与しているとしているが、詳細については明らかになっていない。リビングマルチ＋不耕起栽培による作物の生育促進効果については、今後さらに検討していく必要がある。

３．シロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培における窒素フローの推定

Ⅱ－１及びⅡ－２において、シロクローバによるリビングマルチを利用したスィートコーンの栽培では、株立ちを確保できれば除草剤を用いずにスィートコーンの収量及び品質は慣行栽培と同等であることを明らかにした。この結果は、シロクローバとスィートコーンとの間の窒素に対する競合が小さかったことを示唆している。しかし、シロクローバの窒素固定やスィートコーンへの窒素移譲など窒素の動態について不明な点が多い。また、リビングマルチ栽培における窒素フローを明らかにした研究はみられない。

そこで、本試験では、シロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培における窒素の吸収量、溶脱量、シロクローバの根粒による固定窒素量、シロクローバ刈取り残さ（以下、シロクローバ残さという）からスィートコーンへの窒素移行量を明らかにして、リビングマルチ栽培における窒素フローを慣行栽培と比較することで、シロクローバとスィートコーンとの間の窒素の競合を定量的に解析し、リビングマルチ栽培において窒素施用量を低減できる可能性について検討した。

１）材料及び方法

窒素フローの推定に関する試験（実験１～３）は2000年から2002年に、窒素の減肥実証試験（実験４）は2002年と2003年に、いずれも東北農業研究センターの畑圃場で行った。

（1）スィートコーン及びシロクローバの窒素含有量と固定窒素の寄与率の推定(実験1)

試験は、各年とも異なる圃場を用いて行った。いずれの圃場も土壌は淡色黒ボク土で、全炭素（T-C）は1.65%～1.74%、全窒素（T-N）は0.17%～0.20%、C-N比は9.2～9.8、pH（H_2O）は5.9～6.4であり、試験前2～3年間は夏作にソルガム、冬作にライムギを栽培し､場外に持ち出して圃場の均一化を図った。

処理としてリビングマルチ栽培区（以下、LM区とする）及び慣行栽培区（以下、CC区とする）を設けた。試験区は、2000年と2001年が1区面積48 m^2（8 m× 6 m)、2002年が35m^2（7 m× 5 m）で3反復の乱塊法とした。

LM区は、Ⅱ－1で示した栽培体系（図1）に基づいて、シロクローバ（品種：フィア）の種子を、試験前年の秋（1999年9月28日、2000年9月20日及び2001年9月13日）に4～5 gm^{-2}散播してローラーで鎮圧した。表3に示す播種日にLM区のシロクローバをハンマーナイフモアで地際から約5 cmの高さで刈取り、90cm×30cm間隔（3.7株m^{-2}）に移植ごてで深さ3 cm程度の穴を掘り、スィートコーン（品種：キャンベラ86）を1穴3粒ずつ播種・覆土した。肥料は、窒素、リン酸、カリを各15%含有する緩効性のCDU肥料（くみあいCDU複合燐可安S555）を窒素成分で20gm^{-2}となるよう土壌表面に散布した。CC区は、施肥後耕起してスィートコーンを播種し、土壌処理除草剤のアトラジンとアラクロールを規定量散布した。LM区では播種約1ヶ月後に条間のシロクローバを地際から約5 cmの高さで刈取り（以下、中間刈取りという)、スィートコーンを間引きして1本仕立てとした。収穫は処理区ごとに絹糸抽出後22～24日目に行った（表3)。病害虫の防除などはⅡ－1の作業に準じて行った。

スィートコーンは、中間刈取り時及び収穫時に4個体の地上部をサンプリングして90℃で約48時間乾燥した後乾物重を測定した。また、収穫時には8 m^2の面積内の雌穂収量を調査した。シロクローバはスィートコーンの播種前、中間刈取り時及びスィートコーンの収穫時に条間の平均的な群落中に50cm×50cmのコドラートを1箇所設け乾物重を調査した。スィートコーン、シロクローバとも乾物重測定後の試料を粉砕し、窒素含有率及び$\delta^{15}N$の測定に供試した．窒素含有量は、乾物重と窒素含有率の積により算出した。シロクローバにおける固定窒素の寄与率及び固定窒素量は、^{15}N自然存在比（$\delta^{15}N$）を利用した^{15}N希釈法（Yoneyama　1987）により、次式を用いて算出した。

$$\%N_{dfa} = \frac{\delta^{15}N_{SC} - \delta^{15}N_{WC}}{\delta^{15}N_{SC} - f} \times 100$$

$\delta^{15}N_{SC}$はスィートコーンの$\delta^{15}N$値、$\delta^{15}N_{WC}$はシロクローバの$\delta^{15}N$値である。fは窒素固定のみを窒素源とするシロクローバの$\delta^{15}N$値であり、ここではf＝－2.6（無窒素で水耕栽培したシロクローバの$\delta^{15}N$値：予備実験による）とした。

なお、本法は比較的誤差が大きい推定法であることから、本試験ではスィートコーンの$\delta^{15}N$値には、各年のＬＭ区におけるスィートコーン生育期の$\delta^{15}N$値の平均値を代入し、スィートコーン播種時（スィートコーンが存在しない時期）を含む時期別のシロクローバの窒素含有量に対する固定窒素の寄与率を算出した。

^{15}Nの分析は安定同位体質量分析計ANCA-SL（PDZ Europa社製）及びDELTA plus（Thermo Finnigan社製）により行った。窒素含有率はCNコーダ（Yanaco製：MT-600）で測定した。

（2）窒素溶脱量の推定（実験2）

窒素溶脱量は、「水環境保全のための農業環境モニタリングマニュアル」（農林水産省農業環境技術研究所　1999）に基づき推定した。実験1の圃場にTDR土壌水分測定装置MP-917（E.S.I.社製）を設置し、土中に埋設した水分測定用プローブ（2000年はCC区、LM区に各1本、2001年、2002年は各2本）を土中に埋設して地表面から90cm深までの体積含水率の変化を経時的に測定した。土壌浸透水量は、この体積含水率の変化とセンター内の気象観測装置に記録された降雨量から算出した。同時に、ポーラスカップ（CC区、LM区に各18本）を地表面から90 cmの深さに埋め込み、定期的（週1回程度）に土

表3　スィートコーンの播種日と収穫日及びシロクローバの中間刈取り日（実験1、2）

年次	処理	播種日	中間刈取り日	収穫日
2000	CC区	6月22日	－	9月 7日
	LM区	6月22日	7月19日	8月31日
2001	CC区	6月20日	－	9月 5日
	LM区	6月20日	7月17日	8月30日
2002	CC区	6月20日	－	9月 9日
	LM区	6月20日	7月17日	9月 5日

壌浸透水を回収して、溶存している硝酸態窒素濃度をオートアナライザ（ブラン・ルーベ社製）で分析した。窒素溶脱量は、土壌浸透水量と硝酸態窒素濃度の積により算出した。

（３）シロクローバ残さからの窒素移行量の推定（実験３）

2001年及び2002年に、シロクローバ残さからスィートコーンへの窒素の移行を明らかにするために重窒素を用いた^{15}Nトレーサー試験を行った。^{15}Nでラベルするシロクローバは、バーミキュライトを充填した容積約200リットルのプラスチックケースに播種し、ガラス温室内で水耕栽培した。水耕液の組成は、30atm-%の^{15}NでラベルしたNH_4NO_3（115mg/L）、$NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$（50mg/L）、K_2SO_4（89mg/L）、$CaCl_2 \cdot 2H_2O$（147mg/L）、$MgSO_4 \cdot 7H_2O$（405mg/L）、$FeSO_4 \cdot 7H_2O$（５mg/L）、$MnSO_4 \cdot 5H_2O$（2.7mg/L）、H_3BO_3（2.9mg/L）、$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$（0.04mg/L）、$CuSO_4 \cdot 5H_2O$（0.04mg/L）及び$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$（0.03mg/L）である。シロクローバが十分生育するまで、じょろで２～３日おきに１回１ケース当たり2000mlの培養液を与えるとともに、表面のバーミキュライトが乾かないよう適宜潅水した。

試験は、2001年が厚層腐植質黒ボク土（T-C：6.38%、T-N：0.43%、C-N比：14.7、pH（H_2O）：5.9）、2002年が淡色黒ボク土（T-C：1.68%、T-N：0.18%、C-N比：9.5、pH（H_2O）：6.0）の圃場で行った。圃場の１区面積は2001年が20m^2（５m×４m）、2002年が35m^2（７m×５m）で、2001年は６月28日、2002年は６月20日に実験１のLM区と同様にシロクローバを刈り敷いた後スィートコーンを播種した。2001年は７月25日、2002年は７月13日にシロクローバの中間刈取りを行った。

トウモロコシ播種時及び中間刈取り時において、異なる試験区内に塩ビ板で1.8m×1.8m（深さ15cm）の枠を設け、それぞれの時期に枠内で刈取ったシロクローバの地上部を上記の水耕栽培により^{15}Nでラベルした同生重のシロクローバの地上部と置き換えた。各処理とも2001年は２反復、2002年は３反復で行った。

スィートコーン及びシロクローバの生育調査は、中間刈取り時及びスィートコーン収穫時（2001年は９月7日、2002年は９月５日）に行った。枠内からスィートコーンは４個体を、シロクローバは25cm×25cmのコドラート内に再生した個体を地際から刈取り、実験１と同様の方法で乾物重、窒素含有率及び^{15}N含有率を測定・分析した。

（４）リビングマルチ栽培の減肥実証試験（実験４）

2002年及び2003年に、異なる圃場を用いて窒素施肥量を変えた場合のスィートコーンの生育及び収量をリビングマルチ栽培（LM区）と慣行栽培（CC区）で比較した。いずれの圃場も土壌は淡色黒ボク土で、全炭素（T-C）は1.54%～1.65%、全窒素（T-N）は0.17%、C-N比は9.1～9.8、pH（H_2O）は6.0～6.4であり、試験前２年間は夏作にソルガム、冬作にライムギを栽培し圃場の均一化を図った。窒素施肥量は、０、４、８、12、16、20gm^{-2}の６段階とし、K_2O_5及びP_2Oの施肥量は全区共通でそれぞれ20gm^{-2}とした。圃場の１試験区面積は2002年が40m^2（８m×５m）で各１反復、2003年が30m^2（６m×５m）で各２反復とした。スィートコーンの播種は2002年は６月６日、2003年は６月18日、LM区の中間刈取りはそれぞれ７月４日、７月15日に行った。2002年は８月29日～９月５日、2003年は９月12～22日にスィートコーンを収穫し、収量及び全乾物重を調査した。

２）結果

（１）スィートコーン及びシロクローバの窒素含有量と固定窒素の寄与率の推定

スィートコーンの生育は、2000年と2001年は順調であったが、2002年は７月上旬頃と成熟期である８月中旬頃日照時間が短かったことなどから、地上部乾物重がやや小さく雌穂収量も少なかった。３年間をとおして、LM区はCC区よりスィートコーンの初期生育が早く絹糸抽出も早かったため、収穫日も４～７日早まった（表３）。地上部乾物重、窒素含有量及び雌穂収量とも年次変動はあるものの処理区間での差は認められず、スィートコーンの窒素含有量の平均値はCC区で9.39gm^{-2}、LM区で9.10gm^{-2}であった（表４）。

LM区のシロクローバの乾物重は、スィートコーン播種時には152.5gm^{-2}であったが、中間刈取り時までに再生したシロクローバは98.6gm^{-2}、中間刈取りからスィートコーン収穫時までに再生したものは46.1gm^{-2}と漸減した（表４）。シロクローバの窒素含有量は、播種時には6.85gm^{-2}、中間刈取り時には4.87gm^{-2}であり、両者の計である11.72gm^{-2}の窒素が刈取りによって土壌中に供給されると考えられた。^{15}N希釈法により推定したシロクローバの固定

表４　スィートコーンの地上部乾物重，窒素含有量及び雌穂収量とシロクローバの乾物重

処理	年次	スィートコーン（収穫時）			シロクローバの乾物重		
		地上部乾物重 (gm^{-2})	窒素含有量 (gm^{-2})	雌穂収量 (gm^{-2})	播種時 (gm^{-2})	中間刈取り時 (gm^{-2})	収穫時 (gm^{-2})
CC区	2000	526	10.55	1,107			
	2001	522	9.78	1,244			
	2002	463	7.86	782			
	平均	504	9.39	1,044			
LM区	2000	611	10.83	1,211	182.2	83.3	54.9
	2001	501	8.46	1,120	144.9	148.4	53.2
	2002	503	8.01	812	138.2	64.0	30.1
	平均	538	9.10	1,047	152.5	98.6	46.1

注．雌穂収量は生重、播種時＝スィートコーンの播種時、中間刈取り時＝シロクローバの中間刈取り時、収穫時＝スィートコーンの収穫時（以降の図表も同じ）。

表５　シロクローバのδ^{15}N値、全窒素含有量,固定由来窒素含有量及び固定窒素の寄与率

測定（推定）値	調査時期			シロクローバ残さからの窒素供給量（A＋B）	スィートコーン栽培期間中のシロクローバの窒素吸収量（B＋C）
	播種時（A）	中間刈取り時（B）	収穫時（C）		
δ^{15}N値	−1.18±0.18	−1.01±0.77	−2.03±0.70		
全窒素含有量（g）	6.85±0.70	4.87±1.25	2.24±0.37	11.72	7.11
固定由来窒素含有量（g）	4.93±0.52	3.15±0.75	1.95±0.50	8.08	5.10
固定窒素の寄与率（%）	72	65	87	69	72

注．2000 ～ 2002年の平均値±標準誤差（n=3）。

窒素の寄与率は、播種時は72%、中間刈取り時は65%であったが、収穫時には87%に増加した。中間刈取り時及び収穫時におけるシロクローバの固定窒素量はそれぞれ3.15gm^{-2}、1.95gm^{-2}で、両者の和である5.10gm^{-2}がスィートコーン生育期間中の固定窒素量と推定された（表５）。

（２）窒素溶脱量の推定

ポーラスカップで採水した土壌浸透水の硝酸態窒素濃度の推移を図10に示した。土壌浸透水の硝酸態窒素濃度は、2000年はCC区とLM区ともほぼ同じ値で推移したが、2001年及び2002年はCC区では濃度値が漸増傾向を示したのに対しLM区では濃度値は安定しており、スィートコーンの生育とともに両区の差は大きくなる傾向にあった。土壌浸透水量と硝酸態窒素濃度から推定した窒素溶脱量は、2000年にはCC区とLM区で同じであったが、2001年と2002年にはCC区がLM区より大きい傾向にあり（図11、図12）、３年間の平均ではCC区が3.0gm^{-2}、LM区が2.0gm^{-2}であった。

（３）シロクローバ残さからの窒素移行量の推定

2001、2002年の２年間平均の収穫時におけるスィートコーンの地上部乾物重は525gm^{-2}、窒素含有量は8.97gm^{-2}であった。窒素含有量のうち^{15}Nトレーサー試験の結果から算出した播種時及び中間刈取り時のシロクローバ残さ由来窒素の寄与率はそれぞれ10.5%、16.7%であり、合計で27.3%がシロクローバ残さ由来と推定された（表６）。スィートコーン栽培期間中に再生したシロクローバの窒素含有量のうちシロクローバ残さ由来窒素の寄与率は中間刈り取り時には7.7%、収穫時には4.2%であった（表７）。

（４）リビングマルチ栽培体系における窒素フローの推定

上記の結果より、シロクローバによるスィートコーンのリビングマルチ栽培における窒素フローを推定し、慣行栽培と比較した（表８、図13）。リビングマルチ栽培では、スィートコーンの窒素吸収量のうち6.62gm^{-2}が土壌及び肥料由来と推定された。また、シロクローバの窒素吸収量のうち1.55gm^{-2}が土壌及び肥料由来と推定された。これらと窒素溶脱量から計算したリビングマルチ栽培における土壌からの窒素のアウトプット量（土壌及び肥料由来の窒素吸収量＋窒素溶脱量）は10.17gm^{-2}であった。一方、慣行栽培では、土壌からの窒素のアウトプット量は12.39gm^{-2}であった。すなわち、リビングマルチ栽

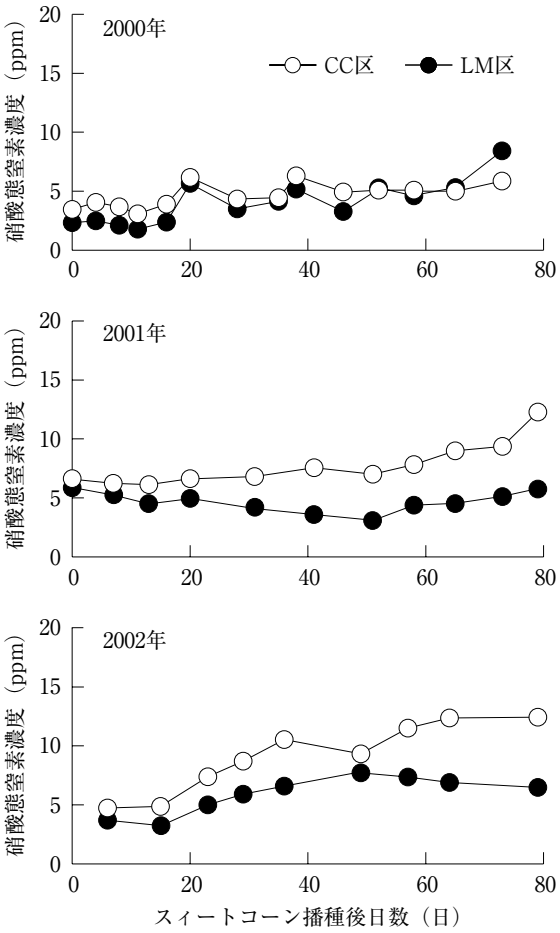


図10　土壌浸透水の硝酸態窒素濃度の推移
土壌浸透水は地表面から90cm深からポーラスカップにより回収。

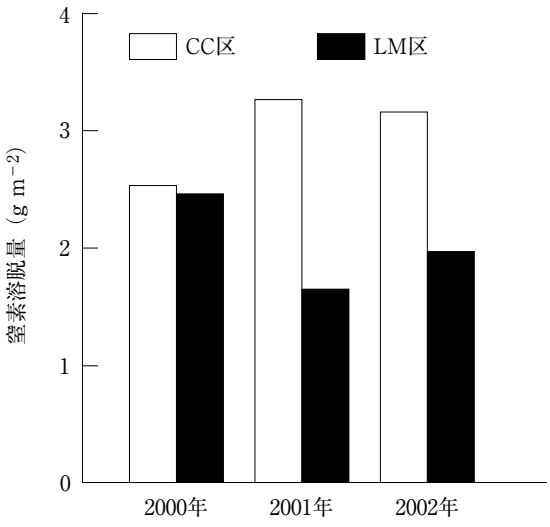


図11　スィートコーン栽培期間中の窒素溶脱量の比較
窒素溶脱量は、90cm深における土壌浸透水量と硝酸態窒素濃度の積。

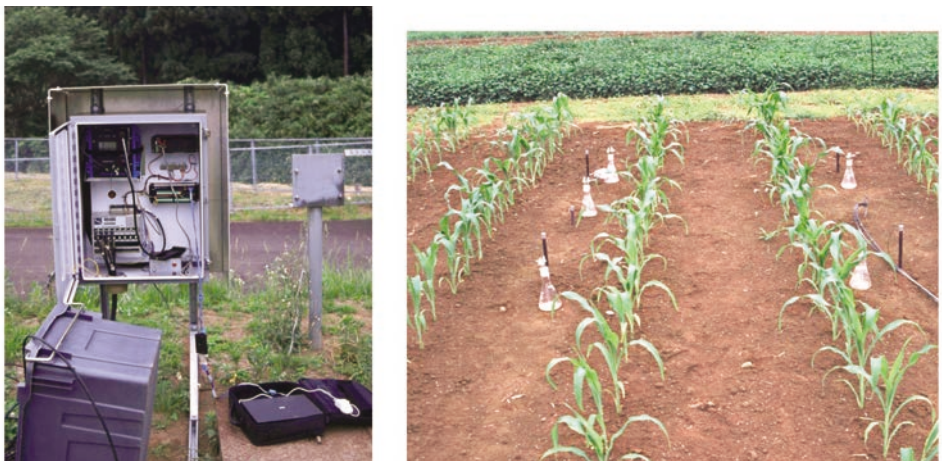


図12　窒素溶脱量の測定の状況（2000年 6 月）
左：土壌水分測定装置（MP-917）
右：ポーラスカップの設置状況（慣行栽培区）

表６　^{15}Ｎトレーサー試験におけるスィートコーンの地上部の乾物重、窒素含有量及び残さ由来窒素の寄与率

^{15}Ｎ施用時期	年次	地上部乾物重 (gm^{-2})	窒　素含有量 (gm^{-2})	残さ由来窒素の寄与率 (%)
播種時	2001	562	10.41	13.4
	2002	490	7.48	7.7
	平均	526	8.95	10.5
中間刈取り時	2001	514	9.05	15.2
	2002	536	8.92	18.2
	平均	525	8.99	16.7
合　計	2001			28.6
	2002			25.9
	平均	525	8.97	27.3

表７　^{15}Ｎトレーサー試験における再生したシロクローバの残さ由来窒素の寄与率と含有量（地上部）

調査時期	年次	残さ由来窒素の寄与率 (%)	残さ由来窒素の含有量 (gm^{-2})
中間刈取り時	2001	10.8	
	2002	4.6	
	平均	7.7	0.37
収穫時	2001	4.4	
	2002	4.0	
	平均	4.2	0.09

注．残さ由来窒素の含有量は、残さ由来窒素の寄与率に表５の全窒素含有量を乗じて算出した推定値。

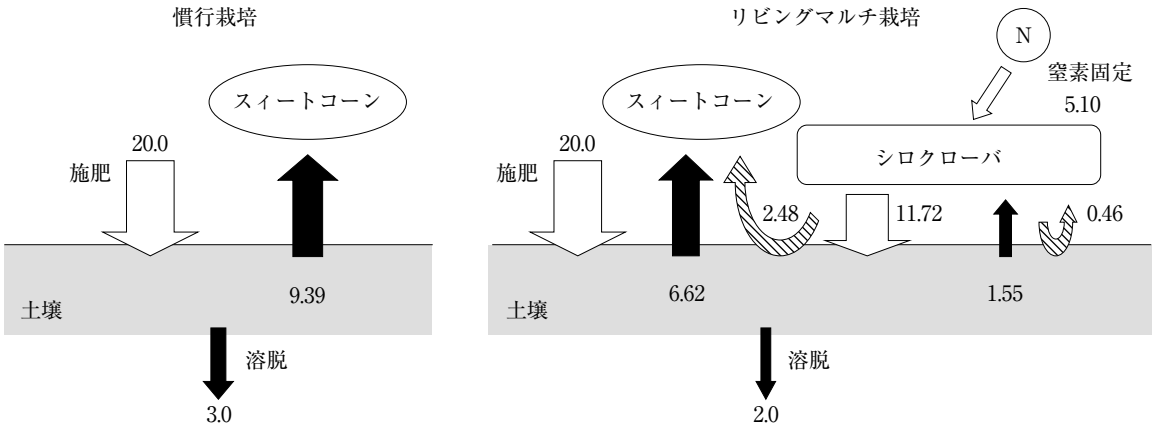


図13　スィートコーン栽培期間中の窒素フローの比較
⇨インプット　➡アウトプット　⇦リサイクル
図中の数字は窒素の量（g m^{-2}）。

表８　リビングマルチ栽培の窒素フローにおける項目別の窒素量推定値とその算出方法

項　　目	推定値 (gm^{-2})	算出方法
スィートコーンの窒素吸収量(A)	9.10	表４
うち　シロクローバ残さ由来(B)	2.48	A×27.3/100（表６）
うち　土壌及び肥料由来(C)	6.62	A－B
シロクローバの窒素吸収量(D)	7.11	表５
うち　固定窒素由来(E)	5.10	表５
シロクローバ残さ由来(F)	0.46	0.37＋0.09（表７）
土壌及び肥料由来(G)	1.55	D－E－F
窒素の溶脱量(H)	2.0	図11の３年間の平均
土壌からのアウトプット量	10.17	C+G+H

図14　減肥実証試験の状況（2003年９月）

慣行栽培（左側手前）に比べてリビングマルチ栽培したスィートコーンの生育が早い。

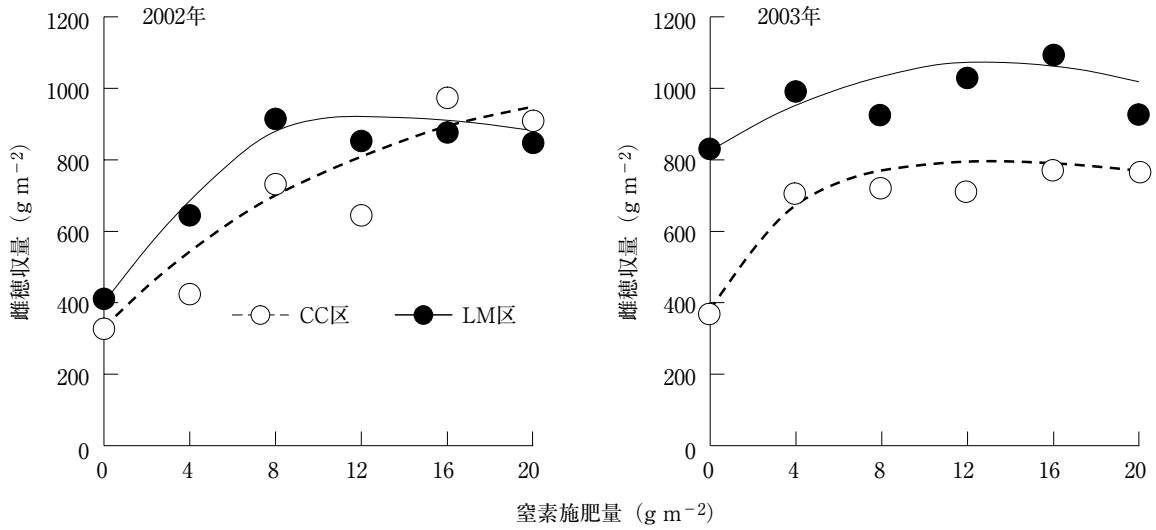


図15　窒素施肥量とスィートコーンの雌穂収量との関係

培では慣行栽培より土壌からの窒素のアウトプット量が2.0gm^{-2}程度小さいと推定された。

（５）施肥量の違いがスィートコーンの収量に及ぼす影響

図14、15に窒素施肥量を変えた場合のリビングマルチ栽培及び慣行栽培の状況とスィートコーンの収量の推移を示す。リビングマルチ栽培、慣行栽培とも窒素の施肥量の増加に伴いスィートコーンの収量は概ね増加する傾向にあった。リビングマルチ栽培と慣行栽培を比較すると、2002年は窒素施肥量12gm^{-2}以下の区でリビングマルチ栽培したスィートコーンの収量が慣行栽培を上回っていた。2003年は、慣行栽培で発芽期のネキリムシによる株立ち不良や台風による倒伏が起こったことなどから、全般にリビングマルチ栽培の収量が高く推移した。特に窒素施肥を行わなかった区では、リビングマルチ栽培におけるスィートコーンの収量は慣行栽培の２倍以上となった。

３）考察

Ⅱ－１及びⅡ－２で行った試験結果から、シロクローバによるスィートコーンのリビングマルチ栽培では、シロクローバ刈取り残さからの無機態窒素供給や根粒による窒素固定などがスィートコーンとシロクローバ間の窒素競合を抑制している可能性があることが示唆された。本試験においても、リビングマルチ栽培したスィートコーンの収量や地上部乾物重が慣行栽培と同等であったこと（表４）から、窒素競合は小さかったものと推測される。

そこで、まずシロクローバの根粒による固定窒素量を^{15}N自然存在比（δ^{15}N）を利用した^{15}N希釈法により推定した。その結果、シロクローバの窒素含有量のうち固定窒素の占める割合（固定窒素の寄与率）は、スィートコーン播種時で72%、中間刈取り時で65%であったが、収穫時には87%に増加した（表２－５）。Mallarinoら（1990）はトールフェスクとシロクローバの混播草地のシロクローバにおける固定窒素の寄与率はほぼ70%以上であることを報告しており、本試験における寄与率はこの報告とほぼ一致している。シロクローバの根粒菌による窒素固定能は、窒素の施肥によって低下することが報告されている（Joら　1981）が、本試験でシロクローバにおける固定窒素の寄与率がスィートコーン収穫時に高まったことは、スィートコーンの生育後期の旺盛な窒素吸収により、生育初期に比べて土壌中の無機態窒素量が減ったことで、根粒菌に依存する窒素固定が活発に行われたことを示していると推察される．スィートコーン生育期間中のシロクローバの窒素吸収量は7.11gm^{-2}と多かったが、そのうち土壌及び肥料由来のものは1.55gm^{-2}と少なかった（表８）。特に中間刈取り以降は、シロクローバの再生が鈍化して乾物生産量が小さかったこと（表４）や固定窒素の寄与率が高まったこと（表５）から、土壌及び肥料由来の窒素吸収量は少なく（表８）、スィートコーンとの間の窒素競合は小さかったと考えられる。

緑肥作物からの窒素移行に関しては、緑肥作物の窒素が後作作物の窒素吸収に及ぼす影響（Wagger 1989、Yanoら　1993）や混作における窒素の動態（Broadbentら　1982、中條・大門　1984）につい

ての研究がみられる。平島ら（1971）は、レッドトップとシロクローバの混播草地において、レッドトップに対するシロクローバからの窒素移行量を単播区と混播区のレッドトップの窒素吸収量の差し引きから求めているが、リビングマルチ栽培における緑肥作物残さからの窒素移行を重窒素を用いて解析した例はみられない。本試験では、^{15}Nトレーサー試験の結果からリビングマルチ栽培したスィートコーンの窒素含有量の27.3%がシロクローバ残さ由来であった（表６）。このことは、シロクローバ残さが比較的速やかに分解されて、窒素がスィートコーンに移行されていることを示唆している。時期別には、播種時（10.5%）より中間刈取り時（16.7%）のシロクローバ残さから高い割合でスィートコーンに窒素が移行していたことから（表６）、中間刈取りはスィートコーンの生育最盛期における窒素供給と窒素競合の緩和に重要な役割を果たしていると考えられる。

本試験では、窒素溶脱量を土壌水分の測定と土壌浸透水中の硝酸態窒素濃度から推定した。TDR土壌水分計の設置本数が各区１～２本と少なく統計的な解析はできなかったが、リビングマルチ栽培における３年間平均の窒素溶脱量は、慣行栽培より小さいと推定された（図11）。リビングマルチ栽培では施肥に加えてシロクローバ残さがあることから、土壌表面から作土層におけるトータルの窒素量は慣行栽培より多いと考えられる。しかしながら、地表面から90cmの深さから採取した土壌浸透水の硝酸態窒素濃度は、慣行栽培で漸増したのに対し、リビングマルチ栽培区ではほぼ一定であった（図10）。このことは、リビングマルチ栽培ではスィートコーン生育期間中には、土壌表面から作土層において窒素が効率的に循環していることを示唆している。Angleら（1993）は、トウモロコシの耕起栽培と不耕起栽培において、土壌表面から210cm深までの硝酸態窒素濃度を比較した結果、土壌表面から60cm深以下では不耕起栽培の硝酸態窒素濃度が耕起栽培に比べて低く、溶脱量が減少したと報告している。その原因として、不耕起栽培では肥料などの無機化速度が遅いこと、余剰窒素の有機化が起こりやすいこと、脱窒やアンモニア揮発が起こりやすいことなどを示唆している。本試験の結果だけからリビングマルチ栽培における溶脱量が慣行栽培より小さかった原因は特定できないが、スィートコーン播種前までのシロクローバによる窒素吸収、シロクローバ残さからの窒素供給とスィートコーンへの窒素移行、施肥窒素の無機化速度などがバランスよく組み合わさったことが主要因になったと考えられる。本試験では、スィートコーン生育期間中の窒素溶脱量のみしか測定していないため、シロクローバによるリビングマルチ栽培が不作付け期間を含めて窒素溶脱量を抑える栽培法であるとは明言できない。これまでリビングマルチ栽培における窒素溶脱量を解析した報告はみられないことからも、さらに多くのデータの蓄積が必要であろう。

以上のように、シロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ栽培では、シロクローバとスィートコーン間の窒素の競合を抑制する要因が多く、これによりスィートコーンの乾物生産量や収量は慣行栽培と同等（表４）になったものと考えられる。そこで、リビングマルチ栽培と慣行栽培における窒素フローを比較した（表８、図13）。土壌からの窒素のアウトプット量は、リビングマルチ栽培では10.17gm^{-2}であったのに対し慣行栽培では12.39gm^{-2}と高かった。すなわち、リビングマルチ栽培では、シロクローバによる土壌からの窒素の収奪があるもののその量は少なく、一方で、シロクローバ残さからスィートコーンへの窒素移行や窒素溶脱量の減少により、系全体としては土壌からの窒素のアウトプット量が慣行栽培より２gm^{-2}程度小さいと推定された。

本試験では、脱窒、土壌水の表面流去による窒素の流出、シロクローバの地下部からの窒素の放出や吸収、施肥量を変えた場合の溶脱量の増減などは考慮にいれていないため明言はできないが、この結果はリビングマルチ栽培では作物の組み合わせや栽培管理によって窒素の施肥量を減らすことができる可能性を示唆している。また、窒素施肥量を変えた減肥実証試験では、リビングマルチ栽培したスィートコーンの収量が慣行栽培を上回り、特に窒素施肥量が少ない場合にその差は顕著であった（図15）。

これらより、リビングマルチ栽培における窒素減肥は可能であると考えられる。一般に畑地における窒素の利用率は40～60%であること（藤原　1994）を考慮すれば、シロクローバを利用したリビングマルチ栽培では、４gm^{-2}程度の窒素減肥が可能であると推察される。

４．小　　括

Ⅱでは、マメ科牧草（アルファルファ、アカクロ

ーバ、シロクローバ）によるリビングマルチを利用して、無除草剤でスィートコーンを不耕起栽培した場合の雑草の発生やスィートコーンの生育及び収量などを調査し、リビングマルチの持つ雑草抑制効果及びスィートコーンとリビングマルチ草種との競合について解析した。

マメ科牧草によるリビングマルチは、いずれの草種を利用した場合も雑草の発生を顕著に抑制することが明らかになった。しかし、スィートコーンの収量はマメ科牧草の種類により異なり、シロクローバをリビングマルチとして利用した場合にはスィートコーンの株立ち率が高く、慣行栽培と同等の収量や品質を得ることができたのに対して、アカクローバやアルファルファでは株立ち率が低く収量が低下した。一方、シロクローバによるリビングマルチ栽培の播種時期を変えた試験では、５月播種は６月播種に比べてスィートコーンの株立ち率、収量とも低かった。これは、５月播種では６月播種に比べて刈り取ったシロクローバの再生が早く、枯死した個体が増加したためと考えられた。また、スィートコーン及びシロクローバの相対生長率の比（RGRW/RGRC）とスィートコーンの株立ち率との間に有意な負の相関が認められたことから、株立ちを確保するためには、スィートコーンとシロクローバ相互の生長を考慮する必要があることが示唆された。

シロクローバによるリビングマルチ栽培では、窒素に対する競合が小さいと推測されたことから、リビングマルチ栽培の窒素フローを推定した。^{15}Nを利用した試験から、スィートコーンの栽培期間中のシロクローバの窒素吸収量の72%が固定窒素由来であること、スィートコーンの窒素吸収量の27%がシロクローバの刈り取り残さ由来であることが明らかになった。土壌浸透水量と硝酸態窒素濃度の積により算出した窒素溶脱量はリビングマルチ栽培区で慣行栽培区より少ないことが示唆された。窒素フロー図から計算した土壌からの窒素のアウトプット量は、リビングマルチ栽培で慣行栽培より２gm^{-2}程度少ないと推察された。また、窒素施肥量を変えた試験では、窒素施肥が少ない場合にリビングマルチ栽培したスィートコーンの収量が慣行栽培を上回っていたことから、シロクローバによるリビングマルチ栽培では窒素に対する競合は小さいことが証明され、窒素の減肥の可能性が示唆された。

以上より、スィートコーンのリビングマルチ栽培には、雑草の抑制や窒素などに対する競合の回避の点からシロクローバが最も適した草種であると判断された。シロクローバを利用したリビングマルチ栽培では、窒素などに対する競合は小さく、株立ち率を高めるような播種・栽培管理を行うことで、スィートコーンの収量を慣行栽培と同等にできると考えられた。

Ⅲ　秋播き性の高い麦類を利用したダイズのリビングマルチ栽培

わが国のダイズ作における雑草防除体系は、播種後の除草剤土壌処理と中耕（または培土）の組み合わせが基本となっている。東北地域では、ダイズの初期生育が緩慢なことなどから、播種後の除草剤土壌処理と中耕2回という雑草防除体系が一般的である。東北地域の中耕作業は、ダイズの３～５葉期に当たる６月中旬～７月中旬に行われる場合が多い。しかし、この時期は梅雨期となっていることから中耕作業ができないことがあり、結果として雑草害や倒伏による収量・品質の低下を招くことも少なくない。その対策として、ダイズ生育初期の茎葉処理除草剤の散布があげられるが、中耕作業と同様に除草剤の散布作業が天候に左右されやすいことやダイズを対象に登録されている茎葉処理除草剤は広葉雑草に対する効果が劣るものが多いことなどから、あまり利用されていない。加えて、除草剤に強く依存した雑草防除体系は、化学農薬の使用量の削減という視点から必ずしも奨励されない。

そこで、東北地域のダイズ作に適した耕種的防除法の開発を目的に、ダイズ作にリビングマルチを導入した場合の雑草抑制効果及びダイズの生育、収量及を調査・解析した。ダイズ栽培で利用するリビングマルチ草種として、Ⅱで取り上げたシロクローバも候補として考えられる。しかし、シロクローバはダイズわい化病の感染源となることや、不耕起栽培より通常の耕起栽培の方が生産者に受け入れられやすいことなどを勘案して、主として麦類によるリビングマルチ草種とダイズを同時に播種するという方法で、ダイズのリビングマルチ栽培の可能性について検討した。

１．ダイズ作に適したリビングマルチ草種の選定

本試験では、カバークロップ（緑肥作物）として広く利用されている３草種をリビングマルチとして利用してダイズを栽培した場合の、リビングマルチ

草種の生育、ダイズの収量及び収量構成要素、雑草抑制効果などについて調査し、無中耕・無除草剤によるダイズ栽培の可能性について検討した。

1）材料及び方法

試験は、2001年に東北農業研究センターの畑圃場（土壌は腐植質黒ボク土）で行った。リビングマルチ草種として、エンバク（商品名：ヘイオーツ）、六条オオムギ（品種：べんけいむぎ）及びヘアリーベッチを供試した（表９）。2001年５月28日（標準播種）及び６月21日（晩播）に、ダイズ（品種：スズユタカ）を条間60cm×株間15cm（2粒播き）で播種した直後に、上記のリビングマルチ草種を播種量10アール当たり８kgで条播（条間30cm）もしくは散播・覆土した。散播栽培期間中、除草剤は使用せず中耕も行わなかった。対照として、播種直後に土壌処理除草剤（トリフルラリン）を規定量散布し2回の中耕を行う慣行区及び無除草剤・無中耕の放任区を設けた（表９）。試験区面積は35㎡（７m×５m）で反復は設けなかった。施肥は10アール当たりN、P_2O_5、K_2Oをそれぞれ３kg、12kg、12kgを全量基肥として施用した。８月中旬から９月中旬にかけて、紫斑病防除剤（チオファネートメチル）及び殺虫剤（MEPまたはフェンバレレート＋MEP）を全処理区に２回散布した。

表９　試験区の構成

試験区名	除草剤	中耕	播種法
エンバク条播区	×	×	30㎝条播
六条オオムギ条播区	×	×	30㎝条播
六条オオムギ散播区	×	×	散播
ヘアリーベッチ散播区	×	×	散播
慣行区	○	○	ダイズのみ播種
放任区	×	×	ダイズのみ播種

注．各区とも５月28日（標準播種）、６月21日（晩播）に播種。

栽培期間中、ダイズ、緑肥作物及び雑草の草高を標準播種で６回、晩播で４回調査した。また、６月26日、７月19日、８月17日及び９月10日にダイズの乾物重（５個体）を調査した。９月４日には、各処理区60cm×２m内の雑草を地際から刈り取り、80℃で通風乾燥して乾物重を調査した。ダイズは標準播種で10月26日、晩播で10月30日に収穫し、収量及び収量構成要素を調査した。

2）結果

（１）リビングマルチ草種の生育

標準播種では、六条オオムギはダイズより３日、エンバクは２日早く出芽した（表10、図16）。ヘアリーベッチの出芽はダイズと同日であった。エンバクは７月18日に出穂し、草高は８月中旬まではダイズを上回っていたが、その後倒伏してダイズの生育を著しく阻害した。六条オオムギは条播区、散播区ともに７月上旬までは草高がダイズを上回っていたが、この時期以降葉が黄化しはじめ、７月下旬には枯死した。ヘアリーベッチは草高がダイズより低く、８月中旬には枯死した。

晩播では、エンバク、六条オオムギはダイズより１日早く出芽し、ヘアリーベッチは同日であった。エンバクは８月13日に出穂し、その後枯死した。六条オオムギは７月中旬以降葉が黄化し、８月上旬には枯死した。ヘアリーベッチは生育が著しく悪く、８月中旬には枯死した。

（２）雑草の乾物重

標準播種では、エンバク条播区、六条オオムギ条

表10　リビングマルチ草種及びダイズの生育の概要

播種期	試験区名	緑肥作物			ダイズ		
		出芽日	枯死日	出穂日	出芽日	開花日	収穫日
標準播種	エンバク条播区	6．4	−	7.18	6．6	7.29	10.26
５月28日	六条オオムギ条播区	6．3	7.21	−	↓	↓	↓
	六条オオムギ散播区	6．3	7.21	−			
	ヘアリーベッチ散播区	6．6	８月中旬	−			
	慣行区	−	−	−			
	放任区	−	−	−	↓	↓	↓
晩　播	エンバク条播区	6.26	−	8.13	6.27	8．7	10.30
６月21日	六条オオムギ条播区	6.26	8．8	−	↓	↓	↓
	六条オオムギ散播区	6.26	8．8	−			
	ヘアリーベッチ散播区	6.27	８月中旬	−			
	慣行区	−	−	−			
	放任区	−	−	−	↓	↓	↓

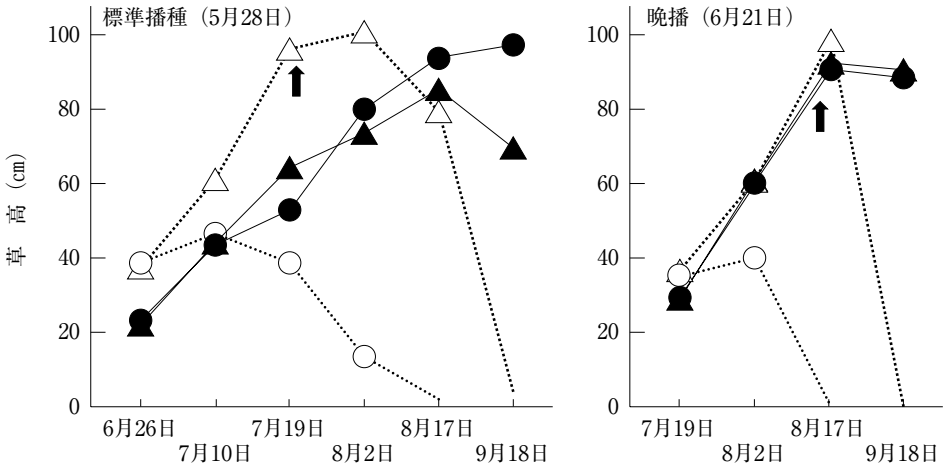


図16　リビングマルチを条播した区におけるエンバク、六条オオムギ及びダイズの草高

エンバク条播区のダイズ　　エンバク条播区のエンバク
六条オオムギ条播区のダイズ　　六条オオムギ条播区の六条オオムギ
図中の矢印はエンバクの出穂期。

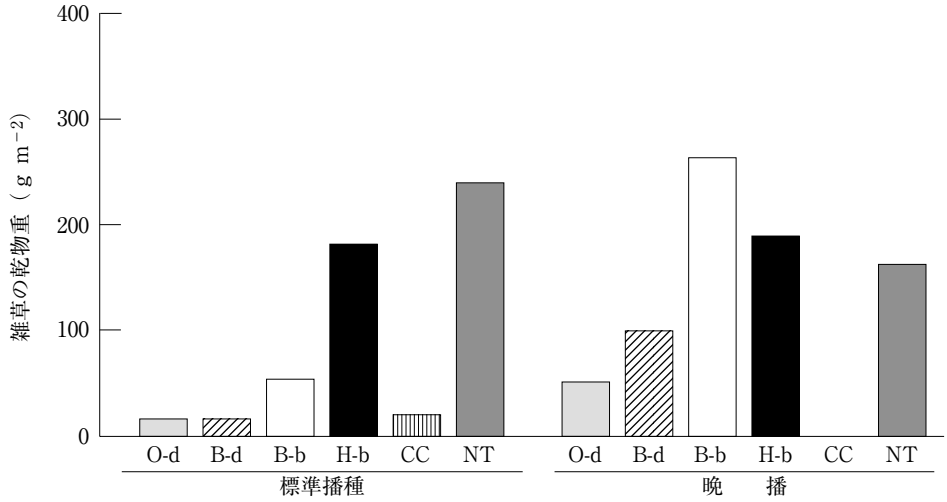


図17　雑草の乾物重（2001年９月４日調査）

O-d：エンバク条播区、B-d：六条オオムギ条播区、B-b：六条オオムギ散播区、
H-b：ヘアリーベッチ散播区、CC：慣行区、NT：放任区。

播区で雑草の生育が顕著に抑制され、雑草の乾物重（９月４日調査）の対放任区比は、両区とも約７％であった。しかしながら、晩播では雑草の生育抑制効果は小さく、対放任区比はエンバク条播区で約32%、六条オオムギ条播区で約61%であった。六条オオムギ散播区及びヘアリーベッチ散播区では雑草の乾物重が放任区を上回っていた（図17）。

（３）ダイズの生育と収量

ダイズの１個体当たり乾物重は、標準播種、晩播ともに栽培期間をとおして慣行区で最も大きく、六条オオムギ条播区がこれに次いで大きかった。エンバク条播区は９月10日時点で標準播種、晩播とも１個体当たり乾物重が最も小さかった（図18）。

子実重（収量）は、標準播種では六条オオムギ条播区で慣行区を上回ったが、六条オオムギ散播区ではやや劣り、エンバク条播区、放任区では著しく劣った。晩播では、いずれの区の子実重も慣行区を下回った。標準播種、晩播とも、慣行区で全重、分枝数及び茎の太さが最も大きく、主茎長と最下着莢主茎節高は最も小さかった（表11）。

３）考察

井上ら（2000）は六条オオムギとダイズの同時散播栽培においては、年次変動はあるものの高い雑草抑制効果が期待でき、ダイズの子実収量の確保も可

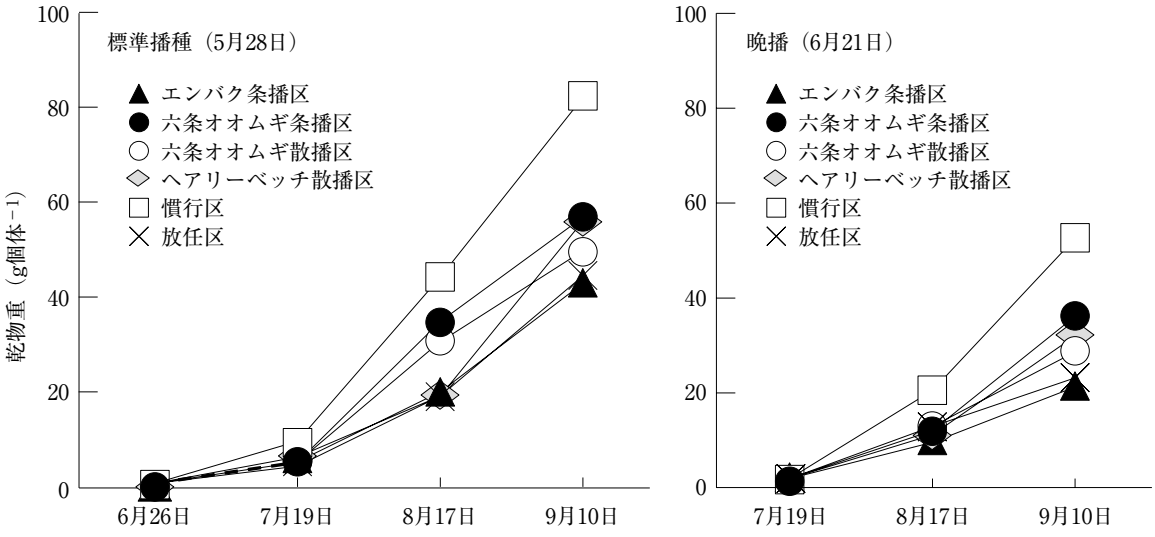


図18　ダイズの個体当たりの乾物重の推移

表11　ダイズの収量、地上部の形態及び倒伏程度

播種時期	試験区名	全　重 (gm⁻²)	子実重 (gm⁻²)	百粒重 (g)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	分枝数 (本/個体)	茎の太さ (mm)	最下着莢主茎節位 (節)	最下着莢主茎節高 (cm)	倒伏程度
標準	エンバク条播区	217.0	26.5	28.6	69.9	13.5	1.3	8.2	3.2	11.1	多
	六条オオムギ条播区	658.0	308.0	26.1	69.1	14.4	4.9	8.6	3.3	14.1	無
	六条オオムギ散播区	443.2	201.0	26.4	71.6	14.9	5.0	8.4	3.3	12.5	少
	ヘアリーベッチ散播区	372.3	162.7	30.4	65.2	15.8	3.2	8.6	4.7	14.0	多
	慣行区	687.8	275.4	25.9	64.9	16.0	5.3	9.3	2.6	6.9	無
	放任区	150.1	32.9	25.2	70.9	14.7	1.9	6.5	3.4	10.2	甚
晩播	エンバク条播区	251.2	108.4	28.9	88.7	12.8	0.8	7.1	6.4	23.7	中
	六条オオムギ条播区	345.0	177.6	25.5	62.3	13.5	3.7	7.7	4.5	15.1	少
	六条オオムギ散播区	212.3	104.3	26.8	64.8	13.4	3.7	7.2	4.4	14.4	中
	ヘアリーベッチ散播区	215.9	96.1	29.5	61.4	13.2	0.3	7.0	6.1	19.8	多
	慣行区	555.6	296.9	23.8	55.4	13.6	5.3	7.6	3.4	10.3	無
	放任区	297.6	140.7	26.6	65.8	13.8	4.4	7.3	4.2	11.9	多

能であると報告している。また、中村ら（2001）は、コムギ散播によるダイズ栽培では雑草が顕著に抑制されることを報告している。本試験では、六条オオムギを散播した場合には慣行栽培に比べてダイズの子実重が低下した。これは、散播では六条オオムギの被覆ムラができて雑草抑制効果が劣ったことが一因であると考えられる。一方、六条オオムギを条播しリビングマルチとして利用した場合には高い雑草抑制効果が得られ、標準播種ではダイズの子実収量も慣行栽培並に確保できた。さらに最下着莢主茎節高が高くなって機械化適性も高まることなどから、本栽培法はダイズの無中耕・無除草剤栽培に最も有望であると考えられた。本試験では、六条オオムギの播種量については検討していないが、本試験の結果から、条播であれば10アール当たり８kgは妥当な播種量と判断された。また、散播であれば被覆ムラを防ぐために10アール10kg以上の播種量が必要であり、この場合ダイズと六条オオムギとの養水分などに対する競合に留意する必要があると推察される。

一方、エンバクは雑草抑制効果は高いものの、ダイズとの競合が著しく倒伏を引き起こすことから、またヘアリーベッチはダイズとの同時播種では被覆が不十分で雑草抑制ができないことから、いずれもダイズの生育を阻害し、リビングマルチとして不適当であると考えられた。

２．秋播き性の高い六条オオムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培

Ⅲ－１の結果から、ダイズのリビングマルチ栽培

には秋播き性の高い六条オオムギを条播することが有効であるという結論を得た。そこで本試験では、条播した六条オオムギによるリビングマルチとダイズの播種時期に施用する土壌処理除草剤の組み合わせが、雑草の生育量、ダイズの生育及び収量にどのような影響を与えるかを詳細に調査し、東北地域における中耕作業の省略を目指したダイズのリビングマルチ栽培の可能性について考察した。

1）材料及び方法

試験は、2002年及び2003年に東北農業研究センターの畑圃場において実施した。試験圃場の土壌は厚層腐植質黒ボク土で、全炭素（T-C）は6.7%、全窒素（T-N）は0.45%、C-N比は14.9、pH（H_2O）は5.9であり、試験前2年間は夏作にトウモロコシまたはソルガム、冬作にライムギの均一栽培を行った。処理として、2002年は六条オオムギによるリビングマルチと土壌処理除草剤（以下、除草剤とする）を組み合わせたリビングマルチあり除草剤使用区（以下、ＬＭ＋除草剤区とする）、リビングマルチのみで無除草剤のリビングマルチあり除草剤不使用区（以下、ＬＭ区とする）及びリビングマルチも除草剤も使用しないリビングマルチなし除草剤不使用区（以下、無処理区とする）を設けた。2003年は前記の処理区に除草剤のみを使用するリビングマルチなし除草剤使用区（以下、除草剤区とする）を加え、リビングマルチと除草剤の有無を2因子とする要因試験とした。いずれの処理区も中耕培土は行わなかった。両年とも対照として、除草剤を使用し中耕培土を行う慣行区を設けた（表12）。試験は乱塊法（3反復）で行い、1処理区当たりの面積は35m²（5m×7m）とした。施肥は基肥のみで10アール当たりN、P_2O_5、K_2Oをそれぞれ3kg、12kg、12kg施用した。

2002年は5月22日、2003年は5月26日にダイズ（品種：タチナガハ）を条間60cm、株間15cm（2粒播き）で播種した。リビングマルチを利用する区（ＬＭ＋除草剤区及びＬＭ区：以下、リビングマルチ栽培区とする）では、ダイズ播種直後に六条オオムギ（品種：べんけいむぎ）を手押し式の播種機（アグリテクノ矢崎社製）を使ってダイズの条間に2列となるよう条間30cmで播種した。オオムギの播種量は10アール当たり8kgとした。除草剤を使用する区には、播種後にトリフルラリンを規定量散布した。慣行区では、2002年は6月17日及び7月18日に小型管理機を用いて中耕培土（ダイズの株元に5cm程度の培土、以下同じ）を行った。2003年は6月20日に中耕培土を行ったが、その後の降雨と低温、日照不足により2回目の中耕培土ができなかったため8月1日に手取除草を行った。両年とも8月中旬から9月中旬にかけて、紫斑病防除剤（チオファネートメチル）及び殺虫剤（MEPまたはフェンバレレート＋MEP）を全処理区に適宜散布した。

ダイズの栽培期間中、六条オオムギ及びダイズそれぞれ10個体の草高を2002年は5回、2003年は6回調査した。また、2002年は7月2日、8月6日及び9月12日、2003年は7月9日、8月1日及び9月1日に、六条オオムギは90cm×30cm（1条）、ダイズは90cm×60cm（1条）及び雑草は90cm×60cmの長方形の区画内の個体を刈り取り、通風乾燥機により90℃で2日間乾燥させて、それぞれの乾物重を測定した。ダイズは2002年は10月29日、2003年は10月31日に各区2.4m²内の個体を刈り取って全重を測定後、中庸な20個体について特性調査を行った。また、刈り取った全個体を脱穀・精選して、子実収量及び

表12　試験区の構成

試験区名	記号	リビングマルチ	土壌処理除草剤	中耕
ＬＭ＋除草剤区	LM^+H^+	○	○	○
ＬＭ区	LM^+H^-	○	×	×
除草剤区	LM^-H^+	×	○	○
無処理区	LM^-H^-	×	×	×
慣行区	CC	×	○	○

注．除草剤区は2003年のみ設定。
　　慣行区は2002年は中耕2回、2003年は中耕＋手取り除草を行った。

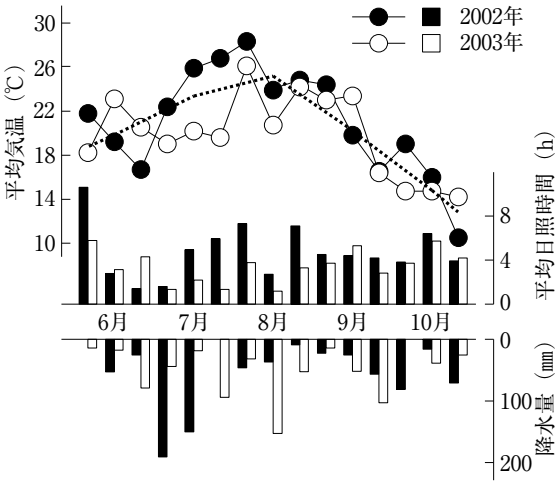


図19　平均気温、日照時間及び降水量の推移（福島市）

福島地方気象台の観測データより作図。
気温及び日照時間は旬別の平均値（点線は各月別の気温の平年値）。降水量は旬別の合計値。

百粒重を求めた。なお、2003年は収穫前に立毛で倒伏程度と最下着莢高を調査した。

2）結果

（1）試験地の気象条件

図19に栽培期間中の福島市の平均気温、平均日照時間及び降水量の推移を示した。2002年は、6月中～下旬にかけて気温が平年より低く平均日照時間も短かった。7月以降は8月上旬頃までは気温が高く平均日照時間も長かったが、台風6号の北上に伴い7月10日と11日の両日で241ｍｍの降雨があったため7月の降水量は多かった。8月中旬以降の気温は平年並みに推移し、平均日照時間も概ね4時間程度であった。2003年は、2002年とは逆に6月中旬頃の気温が高かった。しかし、7月は冷たく湿った東よりの風の影響で、気温が平年よりかなり低く日照時間が短く霧雨の多い気象であった。その後、8月中旬には雨天の日が続き気温が低く降水量も多かったが、それ以降の気温は平年並みに推移し、日照時間、降水量も2002年と大差はなかった。

（2）ダイズ及び六条オオムギの生育経過及び乾物重の推移

ダイズの出芽日は2002年が5月31日、2003年が6月4日であった。2002年はダイズの開花期が7月27日、成熟期が10月22日でいずれも処理区による違いは認められなかった。2003年はダイズの開花期が8月2～3日で無処理区のみ8月5日、成熟期が慣行区で10月19日で他の処理区では10月20～24日であった。

リビングマルチを利用したＬＭ＋除草剤区及びＬＭ区の六条オオムギの出芽日は2002年が5月28日、2003年が6月1日で、両年ともダイズより3日早く出芽した。図20にリビングマルチ栽培区と慣行区におけるダイズ及び六条オオムギの草高の推移を示した。六条オオムギの草高は、2002年は播種後37日目（6月28日）、2003年は播種後45日目（7月10日）までダイズを上回っていたが、この時期を境に六条オオムギの葉身は徐々に黄化しはじめて草高も低くなり、両年とも播種後70日目頃（8月上旬）にはほぼ枯死した。リビングマルチ栽培区のダイズの草高は、生育初期には慣行区と比べて若干高い傾向にあった。その後、2002年はリビングマルチ栽培区と慣行区の間に草高の差はなかったが、2003年は開花期頃から慣行区がリビングマルチ栽培区を上回り、播種後92日目の調査では約18cmの草高差がみられた（図21、図22）。

ダイズ1個体当たりの乾物重の推移を図23に示した。2002年は、ＬＭ＋除草剤区、ＬＭ区及び慣行区では、乾物重の増加に大きな違いは認められなかったが、無処理区では播種後76日目以降は乾物重が他の処理区より小さく、収穫期の1個体当たりの乾物重は17.3 gで慣行区の48％に当たる値であった。2003年は、67日目（8月1日）以降で慣行区の乾物重が最も大きく、ＬＭ＋除草剤区及びＬＭ区の乾物重は慣行区より若干小さく推移した。除草剤区の乾物重は67日目までは慣行区と同程度であったが、そ

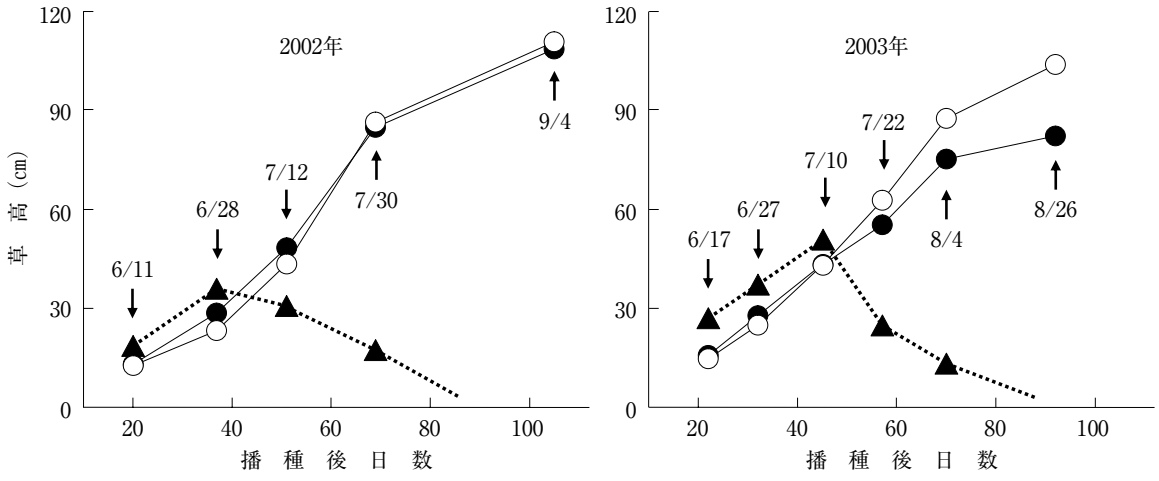


図20　慣行区とリビングマルチ栽培区におけるダイズ及び六条オオムギの草高の推移

○慣行栽培（CC区）のダイズの草高。
●リビングマルチ栽培のダイズの草高（LM⁺H⁺区とLM⁺H⁻区の平均値）。
▲リビングマルチ栽培の六条オオムギの草高（LM⁺H⁺区とLM⁺H⁻区の平均値）。
図中の日付は調査日。

ダイズと六条オオムギの発芽の状況
（LM区：2003年６月10日）

六条オオムギ生育盛期の状況
（LM区：2003年６月27日）
オオムギの草高がダイズを上回っている

ダイズ開花期頃の状況
（慣行区：2003年８月１日）
この後、条間の雑草を手取で除草した

ダイズ開花期頃の状況
（LM区：2003年８月１日）
六条オオムギはほとんど枯死している

図21　ダイズの発芽期から開花期頃までのダイズ及び六条オオムギの生育経過

の後は乾物重の増加が鈍化し、収穫期の１個体当たりの乾物重は20.9gで慣行区の49%であった。無処理区は2002年と同様に播種後67日目以降、乾物重が最も小さかった。

（３）雑草の発生状況と乾物重の推移

ダイズの発芽より少し遅れて、除草剤処理を行っていないＬM区及び無処理区では多くの雑草の発生が認められた。主要な雑草種は、イヌビユ、シロザ、オオイヌタデ、イヌビエ、スベリヒユ及びメヒシバであり、ダイズ開花期以降にはアキノエノコログサもみられた。雑草の乾物重の推移を表13及び表14に示した。2002年はＬM＋除草剤区、ＬM区及び慣行区間で、いずれの調査日においても雑草の乾物重に有意差は認められなかったが、無処理区の雑草の乾物重は他の処理区に比べて有意に大きく、８月６日には762gm^{-2}、９月12日には625gm^{-2}となりダイズをほぼ覆い隠していた。2003年においても、無処理区の雑草乾物重は全処理区の中で最も大きかった。除草剤区の雑草乾物重は９月１日には192.2gm^{-2}で無処理区に次いで大きかった。一方、リビングマルチ栽培区では雑草の乾物重は著しく少なく、特に除草剤を併用したＬM＋除草剤区ではダイズ栽培期間を通して雑草はほとんどみられなかった。リビングマルチ及び除草剤の有無を要因とする分散分析を行った結果、リビングマルチ及び除草剤ともに有意な雑草抑制効果が認められた。

ダイズの莢伸長期頃の状況
（慣行区：2003年９月５日）

ダイズの莢伸長期頃の状況
（LM＋除草剤区：2003年９月５日）
慣行区に比べて草高が低い

ダイズの莢伸長期頃の状況
（無処理区：2003年９月５日）
雑草によりダイズはほとんど見えない

ダイズの成熟期の状況
（LM区：2003年10月30日）
倒伏がやや多く、一部残草が見られる

図22　ダイズの莢伸長期から成熟期までのダイズの生育経過

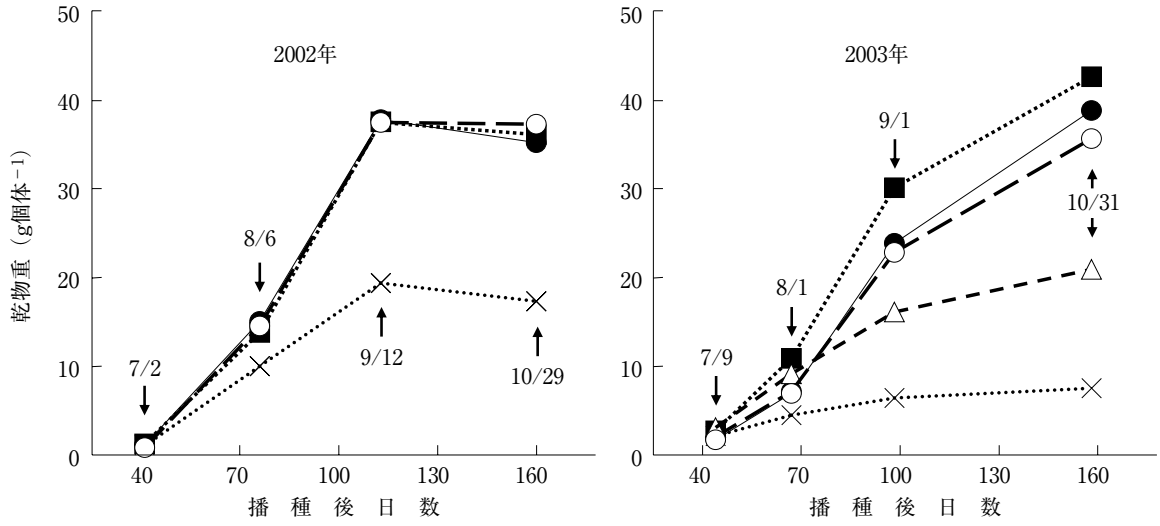


図23　ダイズの乾物重の推移

● ＬＭ＋除草剤区　○ ＬＭ区　△ 除草剤区　× 無処理区　■ 慣行区
図中の日付は調査日。

表13　各試験区における雑草の乾物重の推移（2002年）

試験区	雑草の乾物重（gm^{-2}）		
	7月2日	8月6日	9月12日
$LM^{+}H^{+}$	$4.4^{b}\pm 1.8$	$15.3^{b}\pm 7.9$	$15.1^{b}\pm 8.3$
$LM^{+}H^{-}$	$9.3^{b}\pm 2.9$	$60.8^{b}\pm 20.1$	$25.9^{b}\pm 4.9$
$LM^{-}H^{-}$	$62.2^{a}\pm 20.5$	$762.3^{a}\pm 58.4$	$624.6^{a}\pm 142.2$
CC	−	$13.7^{b}\pm 10.8$	$1.4^{b}\pm 0.7$

注．平均値±標準誤差（n=3）。
　同一調査日内の同一記号を付した数値には５％水準で有意差がない（Tukey法）。
　CC区の７月２日は雑草の乾物重＝０（有意差検定から除外）。

表14　各試験区における雑草の乾物重の推移と分散分析結果（2003年）

試験区	雑草の乾物重（gm^{-2}）		
	7月9日	8月1日	9月1日
$LM^{+}H^{+}$	$1.3^{b}\pm 0.4$	$6.4^{b}\pm 4.4$	$0.9^{b}\pm 0.5$
$LM^{+}H^{-}$	$14.3^{b}\pm 1.2$	$29.1^{b}\pm 10.6$	$21.9^{b}\pm 6.1$
$LM^{-}H^{+}$	$28.1^{b}\pm 10.1$	$109.2^{b}\pm 62.7$	$192.2^{b}\pm 59.9$
$LM^{-}H^{-}$	$123.4^{a}\pm 11.8$	$313.8^{a}\pm 45.0$	$432.5^{a}\pm 73.9$
CC	$4.0^{b}\pm 2.1$	$69.6^{b}\pm 14.5$	$0.7^{b}\pm 0.4$
分散分析			
除草剤の有無	**	*	*
リビングマルチの有無	**	**	**
交互作用	**	*	ns

注．平均値±標準誤差（n=3）。
　同一調査日内の同一記号を付した数値には５％水準で有意差がない（Tukey法）。
　CC区は８月１日の調査終了後に手取り除草を実施（分散分析には不使用）。
　＊は５％水準、＊＊は１％水準で有意。

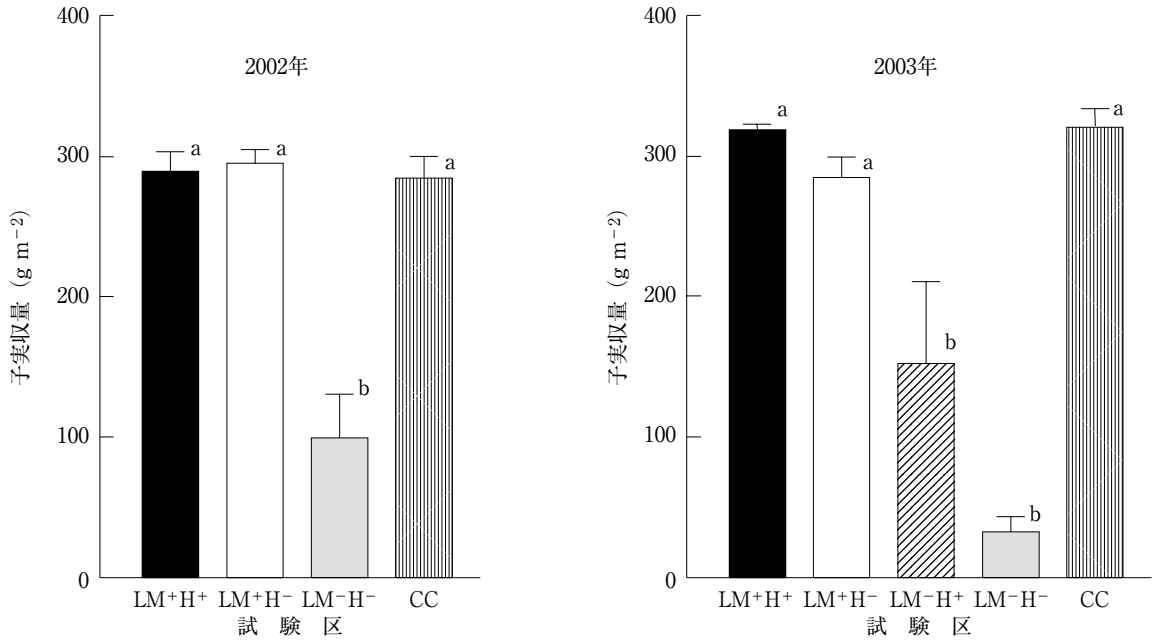


図24　ダイズの子実収量

$LM^{+}H^{+}$＝ＬＭ＋除草剤区、$LM^{+}H^{-}$＝ＬＭ区、$LM^{-}H^{+}$＝除草剤区、$LM^{-}H^{-}$＝無処理区、CC＝慣行区。
図中の縦線は標準誤差（n=３）。
年次内で同一記号を付した値の間には５％水準で有意差がない（Tukey法）。

（４）ダイズ収穫期の収量と特性

図24から、ダイズの子実収量は2002年及び2003年ともに慣行区とリビングマルチ栽培区間では有意な差は認められなかったが、無処理区及び除草剤区では有意に低下した。表15に示したように、収穫期に調査した全重、主茎長及び茎径は、両年とも慣行区及びリビングマルチ栽培区間で有意な差は認められなかったが、2003年はリビングマルチ栽培区で慣行区より小さい傾向にあった。稔実莢数は、両年とも慣行区で最も多く、ＬＭ＋除草剤区、ＬＭ区の順に減少し、無処理区で有意に少なかった。百粒重は全処理区とも有意な差はなく、最下着莢高はリビングマルチ栽培区で慣行区に比べ高かった。2003年は慣行区でダイズの倒伏はほとんど認められなかったが、リビングマルチ栽培区では中程度、除草剤区と無処理区では著しい倒伏が認められた。

表15　ダイズの収穫期の収量構成要素及び関連特性

試験年	試験区	全　重 (gm^{-2})	主茎長 (cm)	茎　径 (mm)	個体当り稔実莢数 (個)	百粒重 (g)	最下着莢高*1 (cm)	倒　伏程度*2
2002年	LM^{+}H^{+}	571.7^{a}	72.8^{b}	7.9^{a}	31.3^{a}	40.9^{a}	21.1^{ab}	−
	LM^{+}H^{-}	581.6^{a}	70.9^{b}	7.8^{a}	30.6^{a}	42.2^{a}	21.0^{ab}	−
	LM^{-}H^{-}	218.2^{b}	92.9^{a}	5.9^{b}	15.8^{b}	38.9^{a}	23.8^{a}	−
	CC	541.9^{a}	67.3^{b}	8.0^{a}	34.7^{a}	38.8^{a}	15.6^{b}	−
2003年	LM^{+}H^{+}	574.4^{a}	64.8^{b}	8.4^{a}	37.8^{a}	39.9^{a}	24.8^{a}	2.0
	LM^{+}H-	537.4^{a}	70.1^{b}	8.4^{a}	35.7^{ab}	40.0^{a}	24.8^{a}	2.3
	LM^{-}H^{+}	301.8^{b}	80.7^{ab}	6.7^{b}	20.3^{bc}	38.9^{a}	22.4^{a}	3.3
	LM^{-}H^{-}	91.1^{b}	94.3^{a}	5.0^{c}	6.0^{c}	38.8^{a}	18.4^{a}	4.0
	CC	580.8^{a}	72.3^{b}	8.8^{a}	39.7^{a}	39.6^{a}	22.5^{a}	0.2

注．年次内で同一記号を付した数値には５％水準で有意差がない（Tukey法）。
＊１：2002年は最下着莢主茎節高、2003年は立毛で測定した最下着莢高。
＊２：０(倒伏なし)～４(倒伏甚)の５段階（2002年は調査なし）。

３）考察

野口・中山（1978）は、関東地域のダイズ作における除草必要期間は約33日と報告している。一方、東北地域においてはダイズの播種時期から生育初期の気温が低くダイズの群落形成が遅れることから除草必要期間は45～55日程度とされている（野口・森田　1997）。通常、播種後に使用する土壌処理除草剤の効果の持続期間は処理後20～30日程度（野口・森田　1997）であるため、東北地域では中耕や生育期茎葉処理除草剤の散布による雑草管理が必須であるが、中耕適期が梅雨期と重なり中耕作業が困難になる場合があることから、リビングマルチの導入による雑草管理を試みた。

本試験では、六条オオムギ（品種：べんけいむぎ）を条播しリビングマルチとして利用した場合には、除草剤の有無にかかわらず、無中耕でも高い雑草防除効果が認められた。除草剤を使用しなかったＬＭ区では、雑草の発芽は無処理区と同様に認められたものの、六条オオムギの被覆により雑草の生育が阻害され、雑草の乾物重が無処理区に比べて著しく少なかった。特に、リビングマルチと除草剤を2要因とする試験を行った2003年では、分散分析の結果（表14）から、リビングマルチ、除草剤ともに雑草抑制効果は認められた。しかし、８月１日のＬＭ区の雑草乾物重が29.1gm^{-2}で、除草剤区や慣行区と比べても少なかったことから、六条オオムギを用いたリビングマルチは、トリフルラリンを用いた除草剤単独処理より効果が高かったといえる。さらに、リビングマルチと除草剤を組み合わせたＬＭ＋除草剤区ではＬＭ区より雑草乾物重が少なく、分散分析におけるリビングマルチと除草剤との交互作用が有意であることから、両者の組み合わせは雑草抑制効果を高めることがわかった。すなわち、土壌処理除草剤の主な効能は除草剤処理層から出芽してくる雑草の枯殺であることから（野口・森田　1997）、リビングマルチと除草剤を組み合わせた場合には雑草の発芽数が減少した上に、リビングマルチの被覆によって雑草の生育が抑制されたため、雑草がほとんどみられなかったと考えられる。除草剤による雑草抑制効果は、除草剤の有効成分、土壌の種類や水分、発生雑草の種類などにより変動する（野口・森田1997）ため、本試験の結果のみから評価はできないが、六条オオムギによるリビングマルチはダイズ作における除草剤の代替技術として期待できる。

リビングマルチ栽培におけるダイズの乾物重は、2002年の試験では慣行栽培とほぼ同じであったが、2003年では慣行栽培より劣った（図23）。この原因として、ダイズと六条オオムギとの間の光や養分に対する競合の程度が両年で異なっていたことが考えられる。すなわち、2002年は六条オオムギの生育最盛期である６月中頃から下旬の気温が16～19℃前後と低く、六条オオムギの草高が低く（図20）生育は抑えられた。加えて、７月以降は逆に高温に経過したため、六条オオムギの生育は鈍化して、ダイズの乾物重は急速に増加した（図23）ことから、六条オオムギとダイズの間の光や養分に対する競合は小さかったと推察される。それに対して2003年は、６月中～下旬の気温が20～23℃前後（図19）で六条オオ

ムギの生育適温といわれる20℃（星川 1985）に近かった。このため、六条オオムギの草高が高く（図20）生育が旺盛となり、この時期にダイズとの間の光や養分に対する競合が大きくなったと考えられる。さらに、2003年は、７月以降ダイズ開花終期の８月中旬頃まで低温で日照時間が少なかった(図19)ため、生育盛期を迎えていたダイズの生育が遅れ、六条オオムギが枯死した後もその影響が残って、ダイズの乾物重が慣行栽培に近い値まで回復しなかったと推察される。

しかしながら、本試験ではリビングマルチ栽培におけるダイズの子実収量は慣行栽培と同程度であった（図24)。Ateh and Doll（1996）は、ライムギをリビングマルチとして利用することで雑草を効果的に制御できるが、ダイズの収量を高めるには栽培途中にライムギを枯殺する必要があると述べている。中村ら（2001）は、秋播き性コムギを用いたダイズ栽培では無除草剤でも雑草抑制効果は期待できるとしているが、ダイズの発芽率が低く収量も高いとはいえない。松尾・窪田（1990）は、コンバインによる収穫ロス麦類の出芽・生育によって大型雑草の発生・生育は抑制されるが、麦類とダイズとの競合により、収量は40%程度減収したと報告している。このようにダイズと麦類の混作やリビングマルチ栽培では、ダイズが減収する場合が多い。

一方、Elkinsら（1983）は、イネ科牧草を用いたトウモロコシ及びダイズのリビングマルチ栽培試験で、ダイズは栽培期間にリビングマルチ植物の生育を抑制しなくても十分な収量が得られることから、トウモロコシよりもリビングマルチ栽培に適した作物であることを指摘している。星川（1985）は、ダイズは遮光などにより初期に生育の停滞があった場合でも、中期以降に十分な日照が得られるような気象条件であれば十分に回復し、収量に対する影響は少ないと論じている。また、酒井ら（1985）は、東北南部では９月の気象条件が子実重の決定に重要な要因となることを指摘している。本試験においてリビングマルチ栽培におけるダイズの乾物重が慣行栽培より劣った2003年も収量は同等であった主な理由は、ダイズの登熟期である９月以降に天候が良かったことから、稔実莢数や百粒重が慣行区と同程度だった（表15）ためと推察される。加えて、黄化しはじめる頃の六条オオムギのCN比は10程度（三浦未発表）と低く、枯死した８月中旬頃から分解が進んで土壌に窒素を放出すると考えられることから、この窒素がダイズへ供給されて減収が抑えられた可能性もある。

リビングマルチ栽培では、慣行栽培に比べて倒伏程度が高かった（表15)。本試験のリビングマルチ栽培では、有意差はなかったが茎径が慣行栽培に比べ小さかったことと、倒伏防止効果が高いといわれる中耕培土（田渕 1998）を行わなかったことにより、慣行栽培より倒伏程度が高まったと考えられる。

３．麦の種類の違いがダイズのリビングマルチ栽培に及ぼす影響

Ⅲ－１及びⅢ－２の結果から、秋播き性の高い六条オオムギをリビングマルチとしてダイズと同時に条播することで、雑草の発生・生育が抑制されることから、ダイズ作における中耕や除草剤処理が省略可能であることが示唆された。しかし、リビングマルチとして利用したのは、六条オオムギの1品種（べんけいむぎ）のみであった。わが国では、六条オオムギ以外のオオムギとして、六条ハダカムギ（以下、ハダカムギとする)、二条オオムギが栽培されている。わが国のハダカムギは、渦性（短型）品種が多いことから草型が六条オオムギとやや異なっている。また、二条オオムギの品種の多くは秋播き性が低いという特徴をもっている。一方、食用の麦類としてはコムギが最も多く栽培されており、形態的にオオムギとは明確に区別される。このように、麦の種類によって形態的な特徴が異なることから、リビングマルチとして利用する麦類の種類や品種が異なった場合、地表面の被覆の程度、雑草防除効果、ダイズの収量などが異なる可能性がある。そこで、本試験では、わが国において栽培面積が多く、秋播き性が高い麦類（六条オオムギ、ハダカムギ及びコムギ）をリビングマルチとして供試し、麦の種類や品種の違いが雑草及びダイズの収量などに及ぼす影響について調査、検討した。

１）材料及び方法

試験は、2002年及び2003年に東北農業研究センターの畑圃場において実施した。試験圃場の土壌は淡色黒ボク土で、全炭素（T-C）は1.8%、全窒素（T-N）は0.2%、C-N比は9.6、pH（H_2O）は6.4であり、ダイズの前作（冬作）はライムギによる均一栽培を行った。リビングマルチには、六条オオムギ、ハダカムギ、コムギを供試した。供試品種は、六条オオムギ、ハダカムギについては全国の奨励品種及び有

表16　リビングマルチとして供試した麦の種類、品種と生育盛期の草高、乾物重、植被率及び相対光量子束密度（RPD）

麦の種類	品種・系統名	草高(cm)		乾物重(gm^{-2})		植被率(%)		RPD
		2002年	2003年	2002年	2003年	2002年	2003年	2002年
コムギ	アオバコムギ	36.9	25.6	88.3	126.3	22.4	11.4	0.405
	ナンブコムギ	36.0	25.4	104.9	140.7	31.5	21.7	0.375
	ホクシン	34.7	24.1	83.2	120.4	38.7	27.4	0.389
	マルチムギ1)3)	36.7	−	121.9	−	29.6	−	0.395
	イワイノダイチ2)	−	24.0	−	68.9	−	23.5	−
六条オオムギ	シンジュボシ	42.8	29.7	174.8	127.8	39.3	38.5	0.062
	てまいらず1)3)	42.5	−	173.9	−	33.4	−	0.126
	ハマユタカ	31.1	24.5	99.2	135.9	35.9	22.4	0.292
	ファイバースノウ	43.2	30.6	125.2	107.8	35.4	32.0	0.274
	べんけいむぎ	48.6	35.1	155.6	165.2	31.8	28.6	0.092
	北陸皮35号	46.5	35.2	111.0	131.5	37.3	40.2	0.244
	ミノリムギ	48.5	35.7	121.4	127.4	33.4	29.1	0.267
	ミユキオオムギ	49.9	33.8	161.2	143.3	32.6	28.0	0.210
	早生坊主2)	−	23.4	−	134.4	−	22.6	−
ハダカムギ	イチバンボシ	32.4	23.8	86.3	119.3	24.1	15.3	0.468
	シラタマハダカ	38.5	16.9	115.4	98.5	32.7	10.9	0.247
	ナンプウハダカ	38.3	22.9	124.0	78.9	22.3	4.9	0.305
	ヒノデハダカ	39.1	24.5	139.6	103.7	27.8	15.1	0.252
	マンネンボシ	36.6	23.2	109.6	150.7	30.2	19.7	0.334
	宮崎裸	38.0	23.7	140.9	113.0	23.2	11.4	0.435

注.　1）2002年のみ供試。
　　2）2003年のみ供試。
　　3）カネコ種苗株式会社の商品名。
　調査日は、2002年が7月3日（草高、植被率、RPD）及び7月5日（乾物重）、2003年が6月27日（草高、植被率）及び7月14日（乾物重）。

望系統、コムギについては東北、北海道の奨励品種を抽出し、そのうち秋播き性程度がⅢ以上の品種・系統の種子について可能な限り入手及び自家採種し、発芽試験による発芽率が低かった品種を除く六条オオムギ8品種、ハダカムギ6品種、コムギ4品種とした（表16）。1処理区面積は35m^2（7m×5m）で、品種の反復のない完全無作為配列法とした。施肥は、基肥のみで10アール当たりN、P_2O_5、K_2Oを2002年はそれぞれ4kg、16kg、16kg、2003年はそれぞれ5kg、20kg、20kgを、播種1～2週間前に圃場全面に施用後ロータリ耕を行った。

2002年は5月27日、2003年は6月3日にダイズ（品種：タチナガハ）をロータリシーダにより条間60cm、株間15cm（2粒播き）で播種した。その後リビングマルチとして利用する麦類を手押し式の播種機（アグリテクノ矢崎社製）を使ってダイズの条間に2列となるよう条間30cmで播種した。麦類の播種量は10アール当たり8kgとし、播種後の土壌処理除草剤は使用しなかった。対照として、ダイズ播種後に土壌処理除草剤を施用し、中耕・培土を行う慣行区（CC区）とリビングマルチも除草剤も使用しない無処理区（NT区）を各2反復設けた。慣行区の中耕・培土は、2002年は6月17日、2003年は6月20日に行った。両年とも8月中旬から9月中旬にかけて、紫斑病防除剤（チオファネートメチル）及び殺虫剤（MEPまたはフェンバレレート＋MEP）を全処理区に3回散布した。

2002年は7月3日、2003年は6月27日に、麦類をリビングマルチとして播種した区（以下、リビングマルチ栽培区とする）の麦の草高と植被率を調査した。植被率を計算するため、デジタルカメラを用いて、処理区の群落を真下に方向に0.8×0.6mの範囲で撮影した。画像は画像解析ソフトを用いて白黒に二値化し、白色部分の比率を全体の植被率とし、リビングマルチ栽培区の植被率から慣行区の植被率（ダイズの植被率）を差し引いたものを麦類の植被率とした。麦類の乗算優占度（Multiplied Dominance Ratio：MDR）は、Kobayashiら（2002）

六条オオムギ（べんけいむぎ）

ハダカムギ（宮崎裸）

コムギ（アオバコムギ）

図25　麦の種類別の地表面の被覆状況
（2002年７月４日）

を参考に下記の計算式により算出した。

ＭＤＲ＝麦類の植被率（$m^2\ m^{-2}$）×麦類の草高（m）

2002年のみロング光量子センサー（LI-COR社）を用いて各処理区の群落内及び遮光のない場所において地表面の光量子束密度を測定し、下記の計算式により相対光量子束密度（Relative photosynthetic photon flux density：ＲＰＤ）を算出した。

ＲＰＤ＝群落内の地表面の光量子束密度／遮蔽がない場所の地表面の光量子束密度

雑草の調査は、2002年は８月６日、2003年は８月５日と８月28日に、90cm×60cmの長方形の区画内の個体を刈り取り、通風乾燥機により90℃で２日間乾燥させて、乾物重を測定した。ダイズは、2002年は10月24日、2003年は11月６日に立毛状態で倒伏程度を調査した後、2.4m^2内の個体を刈り取って、脱穀・精選して子実収量を求めた。

２）結果

（１）ダイズと麦類の生育経過

ダイズの出芽期は、2002年が６月７日、2003年が６月11日であった。2002年はダイズの生育は概ね順調で、開花期が７月29日、成熟期が10月22日で、いずれも処理区による違いは認められなかった。2003年は梅雨期の降雨により中耕を行った慣行区以外のダイズに著しい倒伏がみられた。開花期は８月８日で処理区による違いはなかったが、成熟期は、慣行区が10月23日で最も早く、リビングマルチ栽培区で10月24～30日、無処理区は10月30日で最も遅かった。

リビングマルチ栽培区の麦類の出芽期は、2002年が６月２～３日でダイズより４～５日早く、2003年が６月９日（シラタマハダカのみ６月11日）でダイズより２日程度早かった。両年とも、いずれの麦種も７月上旬頃まで旺盛に生育した。麦類の生育盛期における草高、植被率及び乾物重を表16に示す。品種や年次によるばらつきはあるが、六条オオムギは、全般に草高、植被率及び乾物重とも高い値を示した。

コムギとハダカムギは草高と乾物重はほぼ同じであるが、植被率はハダカムギの方がやや低かった。これは、ハダカムギの叢生（草型）が直立型であり、葉が横に広がりにくいという特性を表している（図25）。いずれの麦類も７月上旬頃を境に葉が黄化しはじめ、六条オオムギ及びハダカムギは７月下旬から８月上旬頃、コムギはやや遅れて８月上旬から中旬頃にほぼ枯死した。

2002年に測定した麦類品種別の地表面の相対光量子束密度（RPD）を表16に、麦の種類・処理別にまとめたRPDを図26に示す。全般にリビングマルチ栽培区のRPDは慣行区（0.72）より小さかったが、供試品種の違いによる差が大きく、シンジュボシ、べんけいむぎで0.1を下回っており、地表面がよく遮光されていると考えられた（表16）。一方、草高、植被率ともに低いイチバンボシではRPDが0.47で最も高かった。麦の種類別では、六条オオムギのRPDが全般に小さかった。

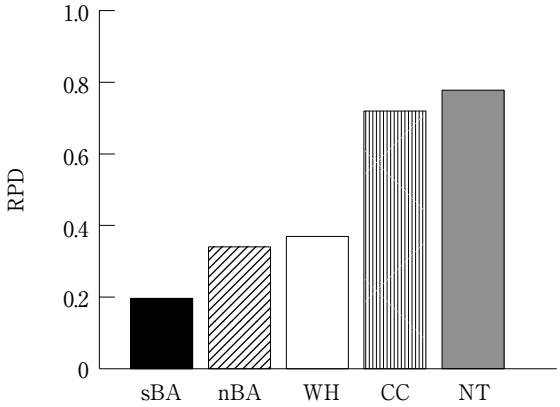


図26　群落内地表面における相対光量子束密度（RPD）

2002年７月３日調査。
sBA：六条オオムギ区、nBA：ハダカムギ区、WH：コムギ区、CC：慣行区、NT：放任区。

（２）麦の種類の違いが雑草の乾物重に及ぼす影響

図27に麦類の生育盛期における乗算優占度（ＭＤＲ）と雑草の乾物重との関係を示す。麦類のＭＤＲは、2002年、2003年ともに六条オオムギの品種で大きく、コムギ、ハダカムギの品種で小さい傾向があった。麦類のＭＤＲと雑草の乾物重との間には負の相関関係が認められた。

リビングマルチとして利用した麦の種類別に比較した雑草の乾物重を図28に示す。2002年は2003年に比べ、全般に雑草の乾物重が多かった。2002年、2003年とも六条オオムギ品種をリビングマルチとして利用した区（以下、六条オオムギ区とする）の雑草の乾物重がハダカムギやコムギ品種を利用した区（以下、それぞれハダカムギ区，コムギ区とする）より少なかった。雑草の乾物重の対無処理区比は、六条オオムギ区で18～22%であったのに対し、コムギ区では22～59%、ハダカムギ区では46～132%であり、抑草効果は六条オオムギで高く、コムギ、ハダカムギの順に低くなる傾向にあった。

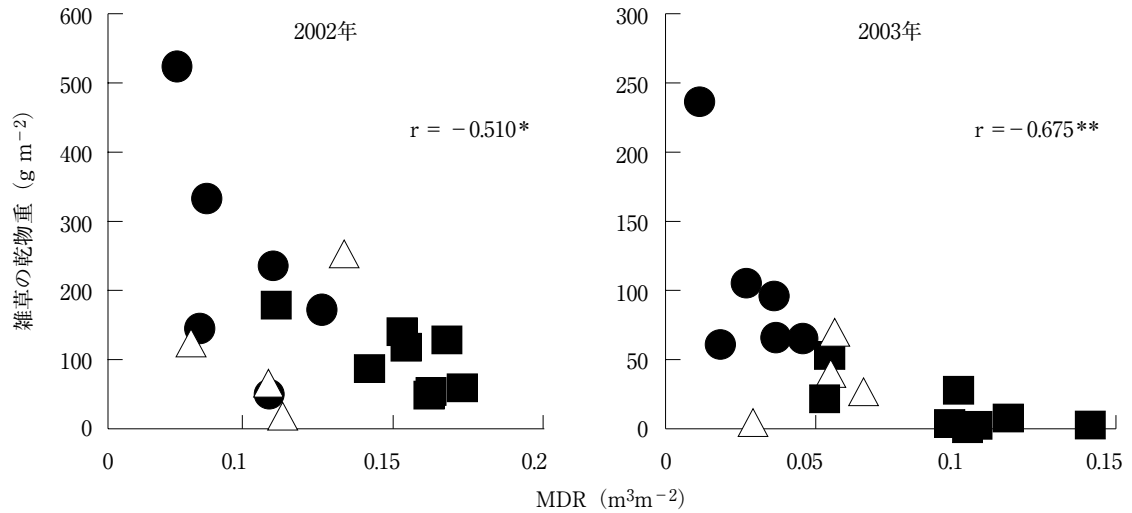


図27　リビングマルチ栽培区における麦類の乗算優占度（MDR）と雑草乾物重との関係

調査日は、2002年が７月３日（MDR）及び８月６日（雑草の乾物重）、2003年が６月27日（MDR）及び８月５日（雑草の乾物重）。
■は六条オオムギ品種、●はハダカムギ品種、△はコムギ品種をリビングマルチとした場合のデータ。
＊は５%水準、＊＊は１%水準で有意。

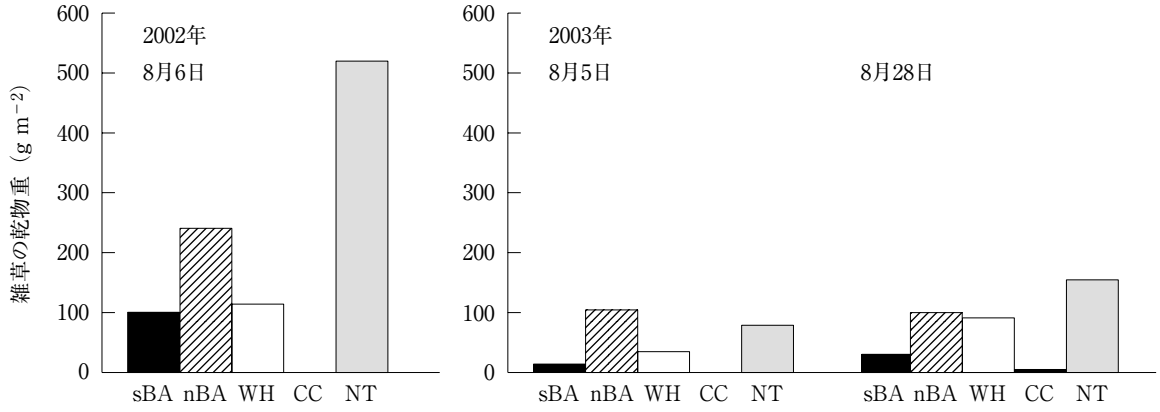


図28　雑草の乾物重

sBA：六条オオムギ区、nBA：ハダカムギ区、WH：コムギ区、CC：慣行区、NT：放任区。

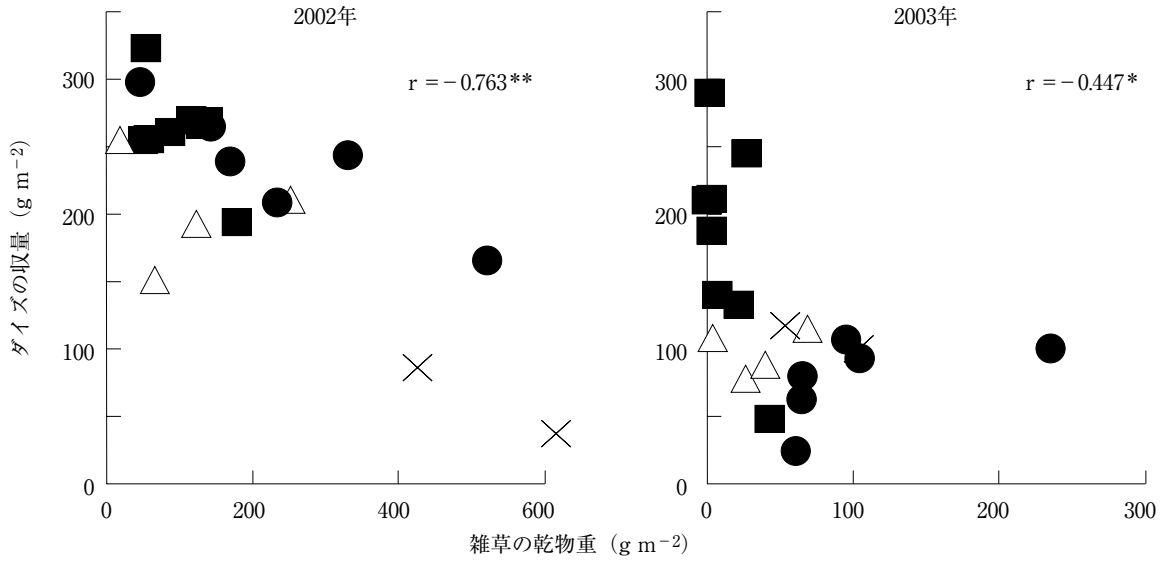


図29　雑草の乾物重とダイズの収量との関係

■は六条オオムギ品種、●はハダカムギ品種、△はコムギ品種をリビングマルチとした場合のデータ、×は放任区のデータ。
＊は５％水準、＊＊１％水準で有意。

（３）雑草とリビングマルチがダイズの収量に及ぼす影響

雑草の乾物重とダイズの収量との関係を図29に示す。雑草の乾物重とダイズの収量との間には、2002年、2003年とも負の相関関係が認められた。図30にリビングマルチとして利用した麦の種類別に比較したダイズの収量を示す。2002年、2003年ともダイズの収量は慣行区で最も高かった。リビングマルチ栽培区では、両年ともに六条オオムギ区が最も高く、コムギ区やハダカムギ区で低い傾向にあった。

３）考察

麦類を利用したダイズのリビングマルチ栽培では、麦類とダイズとの競合を最小限にしつつ、抑草効果を高める必要がある。本試験では、2002年は2003年に比べ、全般に雑草の乾物重が大きかった（図28）。これは、同年に行ったⅢ－２の試験結果と一致しており、2003年は2002年に比べて大豆播種直後の降雨量が少なく、梅雨期の気温が低かったため（図19）、雑草の発芽や生育などが遅れたことが一因と推測される。また、本試験では測定していないが、地温や土壌水分の違いが雑草の発生や生育に影響した可能性がある。一方、リビングマルチ栽培区では、2002年、2003年とも六条オオムギの品種をリビングマルチとして利用した区において雑草の乾物重が小

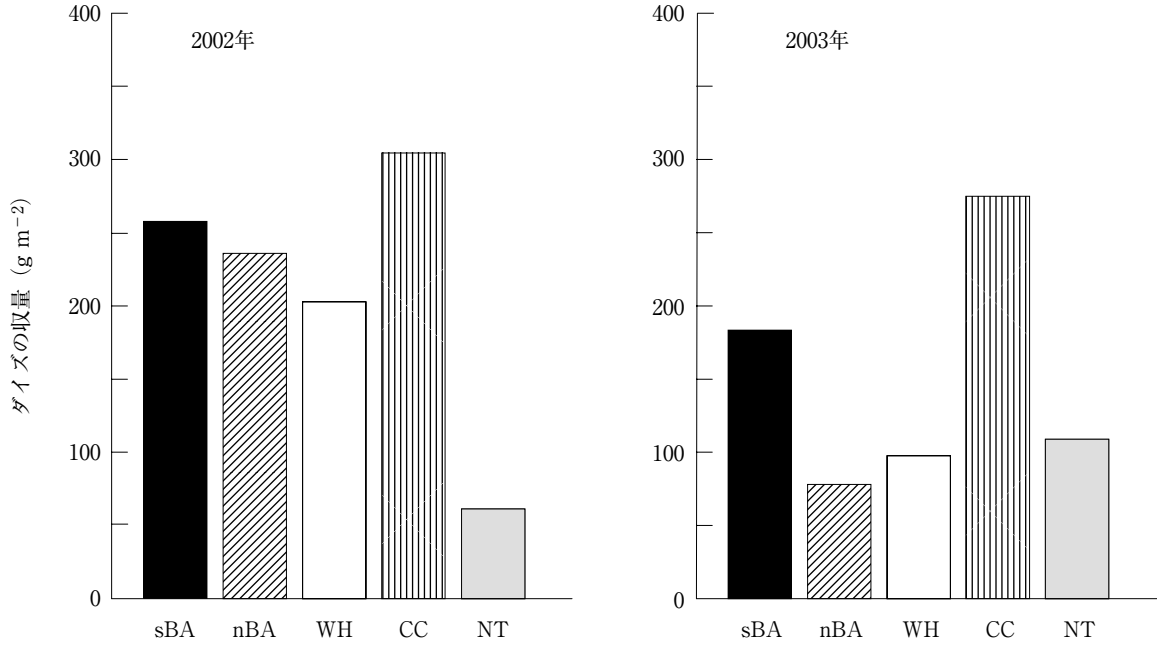


図30　ダイズの収量

sBA：六条オオムギ区、nBA：ハダカムギ区、WH：コムギ区、CC：慣行区、NT：放任区。

さかった（図28）。このことから、秋播き性の高い六条オオムギが、コムギやハダカムギに比べてリビングマルチとして優れた雑草抑制効果を有していると考えられる。コムギは、六条オオムギに比べて全般に草高が低く、葉幅が細いことから植被率が低かったため､雑草の乾物重が大きかったと考えられる。ハダカムギは、叢生が直立型であることから生育盛期までの被植率が低いため乗算優占度が低く、遮光率も低かったことから、十分な雑草抑制ができなかったと判断される。

しかし、除草剤と中耕を組み合わせた慣行区と比較すると六条オオムギ区においても雑草が十分に抑制されなかった（図28）。野口・中山（1978）は、雑草の生育が著しく抑制される遮光条件は、スベリヒユ、カヤツリグサで80%以上、オオイヌタデで80～90%、メヒシバで90%以上と報告している。本試験では、優占雑草種が比較的遮光に強いハルタデ、イヌビエ、メヒシバであったこと、六条オオムギ区の地表面の相対光量子束密度は、シンジュボシやべんけいむぎなどで0.1（遮光率90%）を下回っていたものの、平均すると0.2（遮光率80%）程度であったことから、十分な雑草抑制効果が得られなかったと推測される。中野ら（2003）は、夏期に播種した麦類茎葉の地表面遮光能力を評価した結果、コムギよりもオオムギに遮光率が高い品種が多く存在し、播種後28日目の遮光率が70%を超えるオオムギの品種があることを報告している。ダイズのリビングマルチ栽培では、麦類だけでなくダイズによる遮光も期待できるので、乗算優占度がより高い品種をリビングマルチとして利用したり、初期生育の早いダイズ品種と組み合わせることなどにより、本試験以上の遮光率が得られれば、雑草抑制効果は高まる可能性がある。

リビングマルチ栽培におけるダイズの収量は、2002年、2003年とも六条オオムギ区で高い傾向にあった（図30）。また、ダイズの収量と雑草の乾物重との間には負の相関関係が認められた（図29）。このことから、六条オオムギ区のダイズの収量がハダカムギ区やコムギ区に比べて高かったのは、六条オオムギ品種のリビングマルチにより雑草が抑制されていたことが主要因と考えられる。

一方、六条オオムギ区のダイズの平均収量は慣行区に対して2002年は85%、2003年は67%であり、リビングマルチ栽培による収量の低下が示唆された（図30）。ダイズのリビングマルチ栽培では、慣行栽培に匹敵する収量を得られるという報告（Elkinsら 1983）もあるが、リビングマルチである麦類とダイズの競合や雑草が十分に抑制されないことなどから、ダイズの収量は慣行栽培に比べて低下する場合が多い（Ateh and Doll 1996、中村ら　2001）。辻

ら（2005）は、コムギによるリビングマルチはダイズの収量を低下させるが、ダイズの密植により収量の低下を緩和できると報告している。本試験で六条オオムギ区のダイズの収量が慣行栽培より低かった原因は、先述したように六条オオムギによるリビングマルチの雑草抑制効果が慣行区に比べて不十分で、雑草が多く発生・生育したことが主な要因であったと考えられる。また、2003年は慣行栽培以外ではダイズが早期（７月上旬）に倒伏した。ダイズは生育初期の倒伏により収量が著しく減少する（Cooper 1971）ことから、2003年のリビングマルチ栽培では、生育初期のダイズの倒伏が生育を遅延させ、開花期以降も個体の生育が回復できなかったことから、雑草の乾物重が2002年より少なかったにもかかわらず、ダイズの収量は慣行栽培より大きく低下したと推察される。

４．小　　括

Ⅲでは、ダイズ作に適した耕種的防除法の開発を目的に、主として麦類によるリビングマルチとダイズを同時に播種した場合の雑草抑制効果及びダイズの生育、収量を調査・解析した。

数種の緑肥作物によるダイズのリビングマルチ栽培試験では、ヘアリーベッチは被覆が不十分で雑草が抑制できなかったこと、エンバクは雑草抑制効果は高いがダイズとも競合し収量が低かったことから、リビングマルチとして不適当と考えられた。一方、秋播き性の高い六条オオムギを条播することにより、無除草剤でも雑草は顕著に抑制され、さらにリビングマルチと土壌処理剤の併用により、雑草抑制効果が高まることが明らかになった。ダイズの初期生育はやや劣る場合が多いが、六条オオムギは、ダイズの開花期頃にはほぼ枯死することから生育は回復し、ダイズの収量はリビングマルチ栽培と慣行栽培とで有意な差はなかった。一方、形態的な特性が異なる麦類（六条オオムギ、ハダカムギ、コムギ）の品種をリビングマルチとして利用した試験では、雑草の乾物重は、六条オオムギを利用した区が最も少なく、コムギ区、ハダカムギ区では多かった。また、雑草の乾物重は、麦類の乗算優占度（ＭＤＲ）との間には有意な負の相関関係が認められた。さらに、ダイズの収量は、六条オオムギ区で最も高かった。

以上より、雑草の抑制効果やダイズの収量性の点から、秋播き性の高い六条オオムギの品種をダイズと同時に条播する方法が、ダイズのリビングマルチ栽培に最も適しており、本リビングマルチ栽培法により東北地域のダイズ作における中耕や除草剤処理が省略可能であると判断された。しかし、六条オオムギをリビングマルチとした場合でも、慣行栽培と比べると、ダイズの収量が低い場合がみられた。特に、ダイズと六条オオムギとの競合やダイズの倒伏などによって初期生育が著しく抑制された場合や雑草の抑制が不十分な場合には、減収程度が大きかった。今後は、ダイズとオオムギとの競合を最小限にし、雑草を効果的に抑制できるような栽培管理方法について検討する必要がある。

Ⅳ　総 合 考 察

本研究では、わが国において研究蓄積が少ない畑作物のリビングマルチ栽培について、マメ科牧草を利用したスィートコーンのリビングマルチ不耕起栽培体系、麦類との同時播種によるダイズのリビングマルチ栽培体系という二つのプロトタイプを構築し、それぞれの体系について、雑草の発生状況、主作物の生育及び収量について調査・解析を行った。総合考察では、これまで明らかにした結果をまとめ、本研究で十分に触れることのできなかったリビングマルチ栽培の問題点、今後の研究方向や農業現場への普及について議論する。

リビングマルチ栽培には、土壌侵食の防止、土壌への有機物の供給、雑草の抑制、有用昆虫（天敵）の増加など多くのメリットがある（Hartwig and Ammon 2002）。一方、リビングマルチ栽培において最も問題となるのは、主作物とリビングマルチ草種の光や養水分に対する競合である（Echtenkamp and Moomaw 1989）。特に降雨量の少ない地域や気象条件では、水分競合が作物の収量低下を引き起こす主要因となる（Eberlein 1992）。このため、リビングマルチ栽培においては、主作物の播種前や栽培期間中に、非選択性の除草剤の散布や刈り取りなどの機械的な手法によりリビングマルチを抑制するのが一般的である。

本研究で構築した二つのリビングマルチ栽培体系のうち、マメ科牧草を利用したスィートコーンのリビングマルチ不耕起栽培体系では、除草剤を使用しないことを前提としたことから、スィートコーンの播種前にリビングマルチであるマメ科牧草をハンマーナイフモアで刈り取ることにより、生育初期の光競合を抑えてスィートコーンの株立ち率を向上させ

ようと試みた。その結果、シロクローバをリビングマルチとして利用した場合は、アルファルファやアカクローバに比べてスィートコーンの株立ち率が高かった（Ⅱ－１）。しかし、シロクローバをリビングマルチとして利用した場合においても、５月播種では６月播種に比べて株立ち率が低下したことから、スィートコーンの株立ちを確保するためには、スィートコーンとリビングマルチの相対的な生長を考慮し、スィートコーンの初期生育に有利な栽培環境を醸成することが重要であると考えられた（Ⅱ－２）。すなわち、本研究のようなリビングマルチ栽培体系では、シロクローバのような草丈の低いリビングマルチ草種の選定、リビングマルチの低刈り、気温が高い時期のスィートコーンの播種、移植栽培などが株立ち率を高めるのに有効と考えられる。本研究では、リビングマルチ草種を刈り取る高さがスィートコーンの株立ちに及ぼす影響については調査していないが、マメ科牧草は一般にイネ科牧草よりも生長点が低く、低刈りしても再生力が高いとされている（小阪・村山　1987）ことから、刈り取りの高さをより低くすることで、株立ち率を高めることは可能であり、播種に最適な期間も拡大すると考えられる。

本栽培体系では、播種時に加えて播種約１ヶ月後に条間のリビングマルチを刈り敷いた（中間刈取り）。シロクローバをリビングマルチとして利用した^{15}Nトレーサー試験では、スィートコーン収穫期の窒素吸収量のうち10.5%及び16.7%が、それぞれ播種時及び中間刈り取り時のシロクローバ残さ由来であったことから、２回の刈り取りはスィートコーンの生育期における窒素の供給と窒素に対する競合の緩和に重要な役割を果たしていると考えられた（Ⅱ－３）。このように栽培期間中のリビングマルチの刈り取りや抑圧は競合の回避に有効であるが、その反面、作業には労力を要する。そのため、近年では栽培期間中の管理作業を省略するような試みもなされている。魚住ら（2004）は、シロクローバを利用した飼料用トウモロコシのリビングマルチ栽培では、播種時期にシロクローバを刈り取るだけでも高いトウモロコシの収量が得られると報告している。また、筆者らも飼料用トウモロコシを条間60cmで不耕起播種することによって、トウモロコシの出穂期頃にはシロクローバはほとんど枯死し、中間刈り取りなどの管理作業をしなくても十分な乾物収量を得られることを経験していることから（図31）、今後、省力化と競合回避を両立させるような栽培管理法について、さらに検討する必要がある。

本栽培体系では、スィートコーンの播種前及び栽培期間中の雑草は顕著に抑制された（Ⅱ－１）。これは、既報（Grubinger and Minotti 1990、Fischer and Burill 1993、DeHaanら　1997）の結果とほぼ一致しており、わが国のような高温多湿で雑草の発生が多い地域においても、マメ科牧草によるリビングマルチ栽培が雑草防除に有効であることを示唆している。但し、スィートコーンの播種期にはナズナ、収穫期にはギシギシやメヒシバ、イヌビエなどのイ

図31　シロクローバを利用した飼料用トウモロコシのリビングマルチ栽培試験

トウモロコシは不耕起播種機を利用して条間60cmで播種，中間刈取りなし
周辺にはシロクローバが残っている（左）が、群落内は完全に枯死している（右）
（つくば市中央農業総合研究センター内の畑圃場：2005年９月）

ネ科雑草が散見された。これらは、本研究においてスィートコーンの株立ちや収量に影響を及ぼすものではなかったが、リビングマルチによる被覆が不十分でこれらの雑草が多く発生する可能性がある場合には注意を要する。シロクローバを利用したスィートコーンのリビングマルチ不耕起栽培体系では、株立ち率を高めることにより、スィートコーンの収量や品質は慣行栽培と同等かそれ以上であった（Ⅱ－１、Ⅱ－２、Ⅱ－３）。これは、前述したように、本体系における雑草抑制効果が高く、かつシロクローバの窒素固定や刈り取り残さからスィートコーンへの窒素の移行などにより窒素に対する競合が起こりにくかったためと考えられる。また、本試験で推定したリビングマルチ栽培の窒素フローや施肥量を変えた栽培試験（Ⅱ－３）の結果から、窒素については２～４kg程度施肥量を減らしても、慣行栽培と同等の収量が得られる可能性は高い。さらに、Deguchiら（2005、2007）は、シロクローバによる飼料用トウモロコシのリビングマルチ栽培では、トウモロコシの菌根菌の感染率が慣行栽培に比べて高く、リン酸の施肥量が少なくてもトウモロコシの収量が高いことを報告しており、本栽培体系では、窒素だけでなくリン酸の施肥量を減らせる可能性がある。

ダイズのリビングマルチ栽培体系については、数種の緑肥作物をリビングマルチとしてダイズと同時播種した結果、秋播き性の高い六条オオムギ８gm^{-2}程度をダイズの条間に条播する方法が最適と判断された（Ⅲ－１）。秋播き性の高い麦類を夏期に播種すると、発芽直後から旺盛に生育するが、徐々に生育は鈍化し、出穂せずに自然に枯死する（座止現象）が、このような麦類の座止現象を利用したリビングマルチ栽培試験は、海外ではみられない。そこで、本試験では、秋播き性の高い麦類をリビングマルチとして利用して、無中耕で雑草防除を行いつつ、ダイズの収量性を高めることができないかを検討した。

本栽培体系では、六条オオムギやコムギをリビングマルチとした場合に、無除草剤でも一定の雑草抑制効果が認められた。特に、六条オオムギをリビングマルチとした場合は、雑草の乾物重が無中耕・無除草剤でリビングマルチを使わない放任区の概ね20%以下になり、雑草抑制効果が大きいと判断された。麦類によるリビングマルチの雑草抑制効果は、主として被覆による遮光と考えられた（Ⅲ－２、Ⅲ－３）。

しかし、六条オオムギをリビングマルチとした場合でも、土壌処理除草剤を使用し中耕を行う慣行栽培と比べると、有意差はないものの雑草の乾物重が多く、必ずしも安定した雑草抑制効果が得られているとは言えない（Ⅲ－２、Ⅲ－３）。この理由として、リビングマルチによる雑草抑制効果が、発生する雑草の種類や量によって異なることがあげられる。本試験では、雑草の種類別に発生数や乾物重を調査していないが、リビングマルチ栽培区においては、イヌビエ、ハルタデ、メヒシバなどの草種が多くみられ、シロザやイヌビユは放任区に比べて少ない傾向が観察された。また、筆者らが農家圃場で行っているリビングマルチ栽培試験においても、ヒエ類やタデ類が多く残存し，雑草抑制が上手くいかないケースがみられる。野口（1986）は、遮光条件下で数種の雑草の成長を比較し、メヒシバ、シロザは遮光に強く、オオイヌタデは中間、スベリヒユは最も弱いことを報告しているが、上記の観察結果は必ずしもこれと一致していない。Creamerら（1996）は、カバークロップによる雑草抑制効果は、物理的な遮蔽だけでなく、アレロパシー作用により効果が高まることを指摘している。また、藤井（1995）は、アレロパシーによる雑草制御の可能性を示唆していることから、アレロパシーなど遮光以外の要因を含めて、麦類によるリビングマルチの持つ雑草抑制効果を雑草の種類別に評価することも必要と考えられる。

六条オオムギを利用したダイズのリビングマルチ栽培体系におけるダイズの収量は、慣行栽培と有意差がなかったが、平均値でみると慣行栽培より収量が劣る場合がみられる（Ⅲ－２、Ⅲ－３）。この原因として、Ⅲ－３の2002年のようにリビングマルチの雑草抑制効果が不十分である場合が考えられる。本試験の場合、イヌビエやハルタデが優占し発生量も多かったことから、雑草を十分に抑制することはできなかった。このようにリビングマルチで防除が困難と思われる雑草種が優占している圃場では、Ⅲ－２で示したような六条オオムギによるリビングマルチと土壌処理除草剤を組み合わせて雑草抑制効果を高めることがダイズの収量の向上に最も有効と思われる。

それに対して、Ⅲ－２及びⅢ－３の2003年のように、ダイズと六条オオムギとの競合によって、ダイズの初期生育が抑制されたり倒伏が起こることによって、収穫期までにダイズの生育が回復しない場合

にも収量は低下する。この対応策として、まず、ダイズとの光競合をできるだけ回避できるようなオオムギ品種を選択することがあげられる。本研究では、麦類の品種の反復を設けておらず、品種の違いがダイズの収量や雑草抑制効果に及ぼす影響については検討できなかった。しかし、オオムギの草丈、株の開閉などの形態的特性や座止時期など生理的特性、さらに中野ら（2003）の報告にあるような地表面遮光能力は品種によって大きく異なることから、ダイズのリビングマルチ栽培に適した生育初期の被覆力が高いなどの特性を持つオオムギ品種の選抜や育種は今後の研究課題と考えられる。本試験を行った福島市では、ダイズの生育初期の平均気温は概ね20℃前後であった（Ⅲ－２）。オオムギの生育は気温によって大きな影響を受けることから、ダイズの生育初期の気温が福島市より低い地域においては、オオムギの生育がより旺盛になり、ダイズとの競合を助長する可能性がある。このような地域では、オオムギだけでなく、中村ら（2001）や辻ら（2005）のようにコムギや他のカバークロップ草種をリビングマルチとして利用することも競合の回避には有効と考えられる。そのためには、Ⅲ－１で行ったようなダイズ作に適したリビングマルチ草種の選定試験を、より多くの草種、栽培条件で行うことも必要であろう。

ダイズと六条オオムギの競合を回避しダイズの収量を高めるためには、ダイズの播種密度を高めることが有効と考えられる。筆者ら（未発表）は、関東地域では、ダイズの狭畦栽培と六条オオムギによるリビングマルチの組み合わせにより、無中耕・無除草剤でも雑草防除効果が高く、ダイズの収量も慣行栽培と同程度であることを確認している。辻ら（2005）は、北海道でコムギによるリビングマルチ栽培試験を行い、通常の播種密度ではダイズの収量は低下するが、密植により収量の低下を緩和できると報告している。このように、ダイズの播種密度を高めることは、ダイズ自身の被覆により遮光効果を高めることから雑草防除にも有効と考えられる。一方、播種密度を高めることは、倒伏を助長する可能性が高い（川島 1965）。そのため、ダイズのリビングマルチ栽培においては、倒伏に強いダイズ品種を利用することも重要であり、リビングマルチに適した品種の選定や新品種の開発が必要である。

わが国におけるリビングマルチ栽培に関する研究は、本研究が始まった1990年代後半から多くみられるようになり、対象とする主作物も本研究で取り上げたスィートコーン（トウモロコシ）やダイズのほか水稲、野菜など多岐にわたっている。嶺田ら（1997）はレンゲ草生マルチ中に水稲を直播した場合、堀元ら（2002）はヘアリーベッチの立毛中に入水し水稲を移植した場合の雑草抑制効果について報告している。藤原（2000）は、ヘアリーベッチ立毛中にショウガなどの野菜を移植し、雑草抑制及び肥料効果について検討している。倉井ら（1999）は、コンニャク栽培において、ライムギの混作が根腐れ病防除に有効であることを報告している。このように、リビングマルチ栽培については、除草剤など農薬の削減や窒素などの養分の作物への供給が期待できるという研究結果がみられるが、研究蓄積は海外に比べて未だ少なく、リビングマルチは農業現場ではほとんど利用されていないのが実状である。

本研究で取り上げた二つのリビングマルチ栽培体系は、主として無除草剤による雑草防除を目指したものであり、優占する雑草の種類や発生量、気象など適用可能な条件はあるものの、一定の雑草防除効果を持ち、主作物の収量や品質も慣行栽培と同等に確保できる可能性が高いものである。加えて、ビニールマルチなどで問題となっている廃棄物処理の問題がないこと、シロクローバやオオムギの種子は安価で手に入りやすくコストがかからないこと、ダイズ作では中耕作業が省略できることなどのメリットがある。一方、リビングマルチ栽培が技術として普及するためには、播種作業の機械化は避けて通れない問題である。シロクローバによるリビングマルチ栽培では、シロクローバの刈り取り残さがある中でも播種精度の高い不耕起播種機の開発が必要であるが、わが国でもダイズなどを対象とした不耕起播種機が開発されており（唐橋　1990、濱口ら　2004）、これを利用・改良することで実用化は可能と考える。また、ダイズと麦類との同時播種機については、その開発と農家圃場での実証が進められている（小林ら　2008）。今後、リビングマルチ栽培が農業現場に普及することを期待したい。

引 用 文 献

1）Angle, J.S.; Gross, C.M.; Hill, R.L.; McIntosh, M. S. 1993. Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer applications. J. Environ. Qual. 22：141-147.

2）Araki, H.; Ito, M. 1998. Siol properties and vegetable production with organic mulch and notillage system, Japan. J. Farm Work Research 34：29-37.

3）Ateh, C. M.; Doll, J. D. 1996. Spring-planted winter rye (*Secale cereale*) as a living mulch to control weeds in soybean (*Glycine max*). Weed Technol. 10：347-353.

4）Boyd, N.S.; Gordon, R.; Asiedu, S.K.; Martin, R.C. 2000. The effects of living mulches on tuber yield of potato (*Solanum tuberosum* L.) Biological Agriculture and Horticulture 18：203-220.

5）Brandsæter, L.O.; Netland, J.; Meadow, R. 1998. Yield, weeds, pests and soil nitrogen in a white cabbage-living mulch system. Biol. Agric. Hortic. 16：291-309.

6）Broadbent, F.E.; Nakashima, T.; Chang, G.Y. 1982. Estimation of nitrogen fixation by isotope dilution in field and greenhouse experiments. Agron. J. 74：625-628.

7）中條博良, 大門弘幸. 1984. 混作, 間作, 輪作における作物の生長と窒素の動態. 第１報 アカクローバとの混作初期におけるイネ科牧草の生長. 日作紀 53：213-221.

8）Cooper, R. L. 1971. Influence of early lodging on yield of soybean. Agron. J. 63：449-450.

9）Corak, S.J.; Frye, W.W.; Smith, M.S. 1991. Legume mulch and nitrogen fertilizer effects on soil water and corn production. Soil Sci. Soc. Am. J. 55：1395-1400.

10）Costello, M.J. 1994. Broccoli growth, yield and level of aphid infestation in leguminous living mulches. Biological Agriculture and Horticulture 10：207-222.

11）Creamer, N.G.; Bennet, M.A.; Stinner, B.R.; Cardina, J.; Regnir, E.E. 1997. Mechanisms of weed suppression in cover crop-based production systems. HortScience 31：410-413.

12）DeGregorio, R.E.; Ashley, R.A. 1985. Screening living mulches and cover crops for weed suppression in no-till sweet corn. Proc. Northeast. Weed Sci. Soc. 39：80-84.

13）Deguchi, S.; Uozumi, S.; Tawaraya, K.; Kawamoto, H.; Tanaka, O. 2005. Living mulch with white clover improves phosphorus nutrition of maize of early growth stage. Soil Sci. Plant Nutr. 51：573-576.

14）Deguchi, S.; Shimazaki, Y.; Uozumi, S.; Tawaraya, K.; Kawamoto H.; Tanaka, O. 2007. White clover living mulch increases the yield of silage corn via arbuscular mycorrhizal fungus colonization. Plant Soil 291：291-299.

15）DeHaan, R.L.; Wyse, D.L.; Ehlke, N.J.; Maxwell, B.D.; Putnam, D.H. 1994. Simulation of spring-seeded smother plants for weed control in corn (*Zea mays*). Weed Sci. 42：35-43.

16）DeHaan, R.L.; Sheaffer, C.C.; Barnes, D.K. 1997. Effect of annual medic smother plants on weed control and yield in corn. Agron. J. 89：813-821.

17）Eberlein, C.V.; Sheaffer, C.C.; Oliveira, V.F. 1992. Corn growth and yield in an alfalfa living mulch system. J. Prod. Agric. 5：332-339.

18）Echtenkamp, G.W.; Moomaw, R.S. 1989. No-till corn production in a living mulch system. Weed Technol. 3：261-266.

19）江原 薫. 1971. 栽培学大要. 養賢堂. 東京：p.258-259.

20）Elkins, D.; Frederking, D.; Marashi, R.; McVay, B. 1983. Living mulch for no-till corn and soybeans. J. Soil Water Conserv. 38：431-433.

21）Ellis, D.R.; Guillard, K.; Adams, R.G. 2000. Purslane as a living mulch in broccoli production. Am. J. Alternative Agric. 15：50-59.

22）Fischer, A.; Burrill, L. 1993. Managing interference in a sweet corn-white clover living mulch system. Am. J. Alternative Agric. 8：51-56.

23）Fisk, J.W.; Hesterman, O.B.; Shrestha, A.; Kells J.J.; Harwood, R.R.; Squire, J.M.; Sheaffer, C.C. 2001. Weed suppression by annual legume cover crops in no-tillage corn. Agron. J. 93：319-325.

24）藤井義晴. 1990. ヘアリーベッチの他感作用によ

る雑草の制御－休耕地・耕作放棄地や果樹園への利用. 農業技術　50：199-204.
25）藤井義晴. 1995. 被覆作物や地被植物による雑草制御－アレロパシーの役割に注目する. 植調 29：152-159.
26）藤原伸介. 2000. 被覆性マメ科牧草を用いたライブマルチ栽培法. 農業及び園芸　75：691-699.
27）藤原俊六郎. 1994. 施肥法の原理. 松坂泰明・栗原淳監修, 土壌・植物栄養・環境事典 博友社, 東京. p.300-366.
28）Galloway, B.A.; Weston, L.A. 1996. Influence of cover crop and herbicide treatment on weed control and yield in no-till sweet corn (*Zea mays* L.) and pumpkin (*Cucurbita maxima* Duch.). Weed. Tech. 10：341-346.
29）Garibay, S.V.; Stamp, P.; Ammon, H.U.; Feil B. 1997. Yield and quality components of silage maize in killed and live cover crop sods. Eur. j. Agron. 6：179-190.
30）Grubinger, V.P.; Minotti P.L. 1990. Managing white clover living mulch for sweet corn production with partial rototilling. Am. J. Altern. Agric. 5：4-12.
31）濱口秀生, 中山壮一, 梅本雅. 2004. 汎用型不耕起播種機による大豆不耕起狭畦栽培マニュアル. 中央農研研究資料　5：1-21.
32）Hartwig, N.L.; Ammon, H.U. 2002. Cover crops and living mulches. Weed Sci. 50：688-699.
33）平島利昭, 能勢　公, 袴田共之, 奥村純一. 1971. 極寒冷地域における放牧草地の維持管理法. 第１報 イネ科牧草に対するシロクローバの窒素移譲. 北海道道立農試集報　23：44-54.
34）Hooks, C.R.R.; Valenzuela, H.R.; Defrank, J. 1998. Incidence of pests and arthropod natural enemies in zucchini grown with living mulches. Agric. Ecosys. Environ. 69：217-231.
35）堀元栄枝, 荒木　肇, 伊藤一幸, 藤井義晴. 2002. ヘアリーベッチ（*Vicia villosa* Roth）を利用した水田における雑草制御と水稲収量への影響. 雑草研究　47：168-174.
36）星川清親. 1985. 新編食用作物 訂正第５版. 養賢堂, 東京. p.1-697.
37）井上一博, 宮川英雄, 佐々木和則. 2000. 大麦のマルチ効果を利用した大豆の省力栽培法. 東北農業研究　53：103-104.
38）Jo, J.; Yoshida, S.; Kayama, R. 1981. Influence of soil acidity and applied nitrogen on the growth and chemical compositions of ladino clover and alfalfa. J. Japan Glassl. Sci. 27：79-84.
39）唐橋　需. 1990. 不耕起播種機. 農業及び園芸　65：162-168.
40）川島良一. 1965. 大豆の密植多収栽培法. 農業及び園芸　40：770-774.
41）Kobayashi, H.; Miura, S.; Oyanagi, A. 2004. Effects of winter barley as a cover crop on the weed vegetation in a no-tillage soybean. Weed Biol. Manage. 4：195-205.
42）小林浩幸, 宍戸力雄, 櫻井貴雄, 好野奈美子, 内田智子, 山下伸夫, 酒井真次, 坂上　修, 小柳敦史. 2008. ムギ類をリビングマルチとして利用するダイズ栽培のためのムギ類・ダイズ同時播種機. 雑草研究　53：63-68.
43）Komatsuzaki, M. 2002. New cropping strategy to reduce chemical fertilizer application to silage corn production using subterreanean clover reseeding. Japan. J. of Farm Work Research 37：1-11.
44）近岡一郎, 大林延夫, 椎名清治. 1982. 緑肥作物等の夏作への導入とキタネグサレセンチュウおよびサツマイモネコブセンチュウの発生動向. 日本線虫研究会誌　11：19-23.
45）小阪進一, 村山三郎. 1987. 混播草地における草種の競合に関する研究 第12報 刈取り高さの相違が生育, 収量および草種構成におよぼす影響－利用５年間の推移－. 北草研報　21：105-110.
46）Kumwenda, J.D.T.; Radcliffe, D.E.; Bridges, D.C. 1993. Reseeding of crimson clover and corn grain yield in a living mulch system. Soil Sci. Am. J. 57：517-523.
47）倉井耕一, 木村　守, 遠山明子. 1999. コンニャクの根腐病防除におけるライムギ混作の効果. 栃木農試研報　48：1-12.
48）Liebl, R.; Simmons, W.; Wax, L.M.; Stoller, E.W. 1992. Effect of Rye（*Scale cereale*）mulch on weed control and soil moisture in soybean（*Glycine max*）. Weed Technol. 6：838-846.
49）Mallarino, A.P.; Wedin, W.F.; Goyenola, R.S.; Perdomo, C.H.; West, C.P. 1990. Legume species

and proportion effect on symbiotic dinitrogen fixation in legume-grass mixtures. Agron. J. 82：785-789.

50）Masiunas, J.B.; Eastburn, D.M.; Mwaja, V.N.; Eastman, C.E. 1997 The impact of living and cover crop mulch systems on pests and yields of snap beans and cabbabe. J. Sustainable Agric. 9：61-89.

51）松尾和之, 窪田哲夫. 1990. 大豆晩播栽培における収穫ロス麦の雑草化による被害とその防除法. 農作業研究 25：236-241.

52）McCracken, D.V.; Smith, M.S.; Grove, J.H.; MacKown, C.T.; Blevines, R.L. 1994. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. Soil Sci. Soc. Am. J. 58：1476-1483.

53）McGourty, G. 1994. Cover crops for North Coast vineyards. Practical Winery and Vineyard 15：8-15.

54）御子柴義郎, 藤澤一郎, 本多健一郎. 1991. 東北地方における畦畔シロクローバのダイズわい化ウイルス保毒実態. 北日本病虫研報 42：31-33.

55）Miller S.S.; Eldridge, B.J. 1989. Plant growth regulators suppress established orchard sod and dandelion (*Taraxacum officinale*) population. Weed Technol. 3：317-321.

56）嶺田拓也, 日鷹一雅, 榎本敬, 沖陽子. 1997. レンゲ草生マルチを活用した不耕起直播水稲作における雑草の発生消長. 雑草研究 42：88-96.

57）Moore, M.J.; Gillespie, T.J.; Swanton, C.J. 1994. Effect of cover crop mulches on weed emergence, weed biomass, and soybean (Glycine max) development. Weed Technol. 8：512-518.

58）中村英明, 川村寿幸, 岩渕政博. 2001. 秋播き性コムギを用いた大豆の雑草防除法. 雑草研究 46：291-295.

59）中野尚夫, 杉本真一. 1999. 緑肥作物立毛中に不耕起播種した水稲の苗立ち. 日作紀 68：357-363.

60）中野和弘, 荒木肇, 福山利範, 濱田智和. 2003. 画像処理によるムギ類茎葉の地表面遮光能力の評価. 農業情報研究 12：105-112.

61）Nicholson, A.G.; Wien, H.C. 1983. Screening turfgrass and clover for use as living mulches in sweet corn and cabbage. J. Am. Hortic. Sci. 108：1071-1076.

62）西尾道徳. 1989. 土壌微生物の基礎知識. 農山漁村文化協会, 東京. p.66-67.

63）野口勝可, 中山兼徳. 1978. 畑作物と雑草の競合に関する研究. 第4報 作物群落内の光環境の時期的推移と除草必要期間の設定. 日作紀 47：381-387.

64）野口勝可. 1986. 畑作物と雑草の光競合に関する生態学的研究. 雑草研究 31：96-101.

65）野口勝可, 森田弘彦. 1997. 除草剤便覧. 農山漁村文化協会, 東京. p.1-461.

66）大段秀記, 大門弘幸. 1998. クロタラリア属植物の窒素固定量の評価とそのすき込みが後作コムギの窒素吸収に及ぼす影響. 日作紀 67：193-199.

67）大久保隆弘. 1976. 作物輪作技術論. 農山漁村文化協会. 東京：p.1-291.

68）大久保忠旦. 1984. マメ科飼料作物の共生窒素固定. 大久保忠旦他共著, 飼料作物学. 文永堂, 東京. p.141-152.

69）酒井真次, 長沢次男, 橋本鋼二. 1985. 生産力検定試験からみたダイズの収量変動と気象条件による東北地方の地域的特徴. 日作東北支部報 28：109-111.

70）坂本辰馬, 奥地 進, 円木忠志, 船上和喜. 1965. 温州ミカン園における各種の土壌管理法の10年間の比較. 園学誌 34：277-285.

71）佐藤節郎. 1998. 被覆作物の雑草防除への応用. 植調 32：196-203.

72）Sato, S.; Tateno, K.; Kobayashi, R.; Sakamoto K. 1998. Control of spiny amaranth (*Amaranthus spinosus* L.) with italian ryegrass (*Loloum multiflorum* Lam.) living mulch in forage corn (*Zea mays* L.). J. Weed Sci. Tech. 43：317-327.

73）Stott, K.G. 1967. The effects of competition from ground covers on apple vigor and yield. Proc. Assoc. Appl. Biol. 3：327-330.

74）田渕公清. 1998. ダイズ－基礎編－. 農業技術大系作物編 6, 農山漁村文化協会, 東京. p.111-115.

75）玉田哲男. 1975. ダイズ矮化病に関する研究. 北海道立農試報告 25：1-144.

76）Teasdale, J.R.; Daughtry, C.S.T. 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch

（*Vicia villosa*）. Weed Sci. 41：207-212.

77）辻　博之, 松尾和之, 山本泰由. 1995. 火山灰土壌における不耕起が畑作物の初期生育に及ぼす影響. 日作紀　64（別2）：181-182.

78）辻博之. 2000. 黒ボク土畑における陸稲干害に対する不耕起栽培と深根化による軽減効果. 根の研究　9：11-15.

79）辻　博之, 大下泰正, 渡辺治郎, 奥野林太郎. 2005. コムギによるリビングマルチがダイズ生産と雑草抑制に及ぼす影響. 農作業研究　40：79-88.

80）魚住順, 出口新, 伏見昭秀. 2004. シロクローバを用いたリビングマルチ栽培における飼料用トウモロコシの播種適期. 東北農研研報　102：93-100.

81）Wagger, M.G.; Cabrera, M.L.; Ranells, N.N. 1998. Nitrogen and carbon cycling in relation to cover residue quality. Soil and water conservation 53：214-218.

82）Wagger, M.G. 1989. Cover crop management and nitrogen rate in relation to growth and yield of no-till corn. Agron. J. 81：533-538.

83）山本泰由. 1995. 作付体系と持続的生産. 研究ジャーナル 18（10）：23-30.

84）Yano, K.; Daimon, H.; Mimoto, H. 1993. Effect of sunn hemp and peanut incorporated as green manures on growth and nitrogen uptake of the succeeding wheat. Jpn. J. Crop Sci. 63：137-143.

85）Yoneyama T. 1987. N_2 fixation and natural ^{15}N abundance of leguminous plants and *Azolla*. Bull. Natl. Inst. Agrobiol. Resour. 3：59-87.

Cultivational Studies on Field Crop Production with Living Mulches

Shigenori MIURA

Summary

Living mulches are cover crops planted either before or with a main crop, and are maintained as a living ground cover for all or part of the growing season. The objective of this research is to explore the practicality of employing living mulch systems in Japanese upland agriculture. Especially, weed control efficacy, nitrogen competition between main crops and living mulch plants, and the growth and yield of main crops were investigated in both sweet corn-legume and soybean-winter cereal living mulch systems. The results are summarized as follows.

Sweet corn-legume living mulch system

1）To select the most suitable living mulch plant, weed biomass and the growth and yield of sweet corn were examined in a sweet corn-legume living mulch system. Weed growth was effectively suppressed by alfalfa, red clover and white clover without herbicide application. Both the stand rate and yield of sweet corn with white clover as the mulch crop were larger than those of conventional cultivation, but alfalfa reduced the yield of sweet corn. Red clover also reduced the yield of sweet corn. The nitrogen absorption rate of sweet corn increased with its growth, but nitrogen absorption of mulch plants decreased with the growth of sweet corn. These results suggest that white clover is the best of the three legumes for weed control, without reduction of sweet corn yield.

2）The relationship between sowing times and sweet corn stand rate was investigated. Stand and yield of sweet corn sowing in May reduced compared to those sown in June. However, stand and yield in transplanted sweet corn were same as conventional regardless of sowing time. Sweet corn stand rates were correlated with the ratio of relative growth rate of sweet corn to relative growth rate of white clover.

3）To estimate nitrogen competition between crop and mulch plants, nitrogen flow in the sweet corn-white clover system was compared with that in conventional cultivation. During the sweet corn growing period, the amount of nitrogen supplied from white clover residue to the soil was approx. 11.7 g m^{-2}. Nitrogen uptake by sweet corn was 9.1 g m^{-2}, and by white clover was 7.1 g m^{-2}, 72% of which was from nitrogen fixation. Leached nitrate totaled 2.0 g m^{-2}, which is lower than in conventional cultivation. Tracer examination using ^{15}N showed that 27% of the nitrogen absorbed by sweet corn was from white clover residue. The estimation of nitrogen flow showed that nitrogen removal from soil in the living mulch system was about 2 g m^{-2} smaller than that in conventional cultivation. Sweet corn yields with living mulch were higher than with conventional cultivation when nitrogen fertilizer was applied at lower rates. These results suggest that nitrogen competition between sweet corn and white clover is small, and the amount of nitrogen fertilizer application could be reduced in a sweet corn-white clover living mulch system.

Soybean-winter cereal living mulch system.

1）To select the most suitable living mulch plant, weed biomass and the yields of soybean cultivated with 3 kinds of cover crops were examined. Weed growth was effectively suppressed by winter-type six-rowed hulled barley and oats drilled in the soybean inter-row spaces. Soybean yields with drilled barley living mulch was comparable to conventional cultivation using standard seeding, but yields with drilled oats reduced because of lodging in both soybean and oats. Hairy vetch broadcast into the inter-row spaces of soybean covered the ground slowly, resulting in high weed biomass and low soybean yields.

2）Because of the initial potential for weed suppression by the winter-type six-rowed hulled barley living mulch system, soybean growth and yields were investigated in detail. Inter-row barley drilled just after soybean seeding in late May emerged 3 days earlier than soybean. Barley grew taller than soybean until late June. The leaves of barley turned to yellow early in July, and died early in August. Weeds were suppressed without the use of herbicides or mechanical tillage. In addition, combination treatment of living mulch and herbicide suppressed weeds more effectively. The dry weight of soybean in the barley mulch system was the same or less than in conventional cultivation in growing period, but soybean yields showed same as conventional. The risk of soybean lodging increased with barley as the living mulch plant.

3）Weed control, and soybean growth and yield were investigated with three winter cereals. Six-rowed hulled barley, naked barley and wheat, which have different morphological and physiological characteristics, were used as living mulches. Each winter cereal grew well until the beginning of July. Six-rowed hulled barley and naked barley died off between the end of July and the beginning of August. Wheat lasted growing until the middle to end of August. Weed dry matter in the six-rowed hulled barley system was lower than controls, and was negatively correlated with the multiplied dominance ratio（MDR）. Soybean yields in the six-rowed hulled barley mulch system were the highest among the three cereals, but were only 67 to 85% of conventional cultivation yields because of weeds and lodging. Winter-type six-rowed hulled barley was more suitable than naked barley or wheat as a mulch crop because the MDR was higher, die-off was earlier, weed dry matter was lower, and soybean yields were higher in the six-rowed hulled barley living mulch.

In conclusion, this research shows that the sweet corn-white clover and soybean-winter barley living mulch systems showed high weed control efficacy without herbicides without significantly affecting main crop production, in part because nitrogen competition between the main crop and living mulch plants is small. These results may provide an effective contribution to crop and weed management in upland field agriculture in Japan.

リンゴのナミハダニ防除薬剤の実用性判定における葉片浸漬法の評価

高梨　祐明[*1)]・土師　　岳[*1)]・足立　嘉彦[*1)]・豊島　真吾[*2)]

抄　録：リンゴに発生するナミハダニの薬剤感受性を、従来より簡易に把握する技術として、ハダニを接種したインゲンマメ葉片を常用濃度の薬液に浸漬する方法の実用性を検討した。その結果、ハダニを採集した園地や時期により、同じ薬剤に対する感受性程度が異なる事例が認められた。また、同じ園地で採集したハダニについて、供試薬剤間で感受性程度に差異が認められた。このことから、本報告で用いた方法は、ナミハダニの薬剤感受性を簡易に評価する方法として、実用性があると考えられた。
キーワード：ナミハダニ、薬剤感受性、園地個体群、簡易検定法、リンゴ、葉片浸漬

A Simple Method for Testing the Susceptibility of Two-spotted Spider Mite to Several Acaricides

: Masaaki TAKANASHI[*1)], Takashi HAJI[*1)], Yoshihiko ADACHI[*1)] and Shingo TOYOSHIMA[*2)]

Abstract : A direct dipping method was tested for detecting differences in acaricide susceptibility among stock cultures of two-spotted spider mite originating from different orchards. Adults or eggs of each stock culture were dipped in the solution with a leaf disc of kidney bean. It was found that the susceptibility of each culture differed among the chemicals tested. Differences were also detected in the susceptibilities to the same chemical among stock cultures of different origin. Thus, this simple method could be utilized as a practical test for choosing an acaricide, for the efficient control of two-spotted spider mite.
Key Words : Two spotted spider mite, Susceptibility to chemicals, Stock culture, Simple test, Apple, Leaf dipping.

Ⅰ　緒　　言

ナミハダニはリンゴの難防除害虫であり、激発すると葉の褐変による果実糖度の低下や花芽形成の阻害など深刻な被害をもたらす。さらに、高密度状態のまま収穫期を迎えると、リンゴ果実の底あ部に休眠態成虫が集合し、消費者からのクレームの原因になる。こうした果実は、出荷前に一つずつ手作業でハダニを除去しなくてはならず、多大な労力を要する。そのため、生産者はナミハダニの防除に常に細心の注意を払っているが、それでも密度抑制がうまくいかず、夏秋季に異常な高密度に達する事例が頻発している。

リンゴにおけるナミハダニ多発の一因として、薬剤感受性の低下が指摘されている（羽田・熊谷2007）。ハダニ類では薬剤抵抗性が発達しやすいことが知られており（浜村　1997）、リンゴ主産県では、ハダニ類の薬剤感受性検定を励行し、効果の低下した薬剤を防除指針から外す対応をしてきた（木村ら　2005）。しかし、ハダニ類の薬剤感受性は空間的にも経時的にも変異が大きく、数年に一度発表される県や地域の代表値が、必ずしも自園の感受性に当てはまらないことがある。さらに、近年では比較的新しい剤に対する抵抗性が発達しているため、効果的な剤の選択肢が狭まっており、過去に防除指針等から削除された古い剤の感受性を再評価する必要も生じている。そこで、広範な薬剤を対象として、園地単位で迅速に実施できる簡易な薬剤感受性検定

＊1）東北農業研究センター（National Agricultural Research Center for Tohoku Region. Morioka, Iwate, 020-0198, Japan）
＊2）果樹研究所（National Institute of Fruit Tree Science. Morioka, Iwate 020-0123, Japan）
2008年７月30日受付、2008年12月26日受理

法が求められるようになった。

ハダニに対する薬剤の効果を判定するには、「散布処理」、「局所施用」、「浸漬処理」の３つの方法が知られている（真梶　1981）。「散布処理」とは、インゲンマメ葉片などにナミハダニを接種して薬液を噴霧する方法であり、薬液を均一に付着させるために、回転式薬剤散布塔などの専用の噴霧装置を必要とする。また、「局所施用」とは、特殊なシリンジで薬液をナミハダニ雌成虫に直接接種する方法である。通常、これらの方法では、数段階の希釈倍率の薬液を用いて検定し、50%死亡濃度（LC50）などを算出する。従って、感受性を精密かつ定量的に評価する上で有用であるが、特殊な装置と処理技術を保有する専門機関に依頼することになり、園地単位での迅速な検定に利用することは不可能と思われる。

それに対し、「浸漬処理」とは、ハダニが寄生している葉を薬液に直接浸漬する方法（葉片浸漬法）であり、特別な器具を必要としない利点を有する。この方法は、過去にチャに寄生するカンザワハダニの薬剤抵抗性個体群の検出に利用されている（小林・林　1983；澤崎・高城　1991）。ところが、葉の構造によっては薬液の付着量が不均一になる等の欠点を有するため（真梶　1981）、リンゴの栽培現場では活用された実績がない。

本研究は、ハダニの薬剤感受性検定をより簡便にし、園地単位で薬剤感受性を判定するという観点から、葉片浸漬法の実用性を再検証する。ここで検証する方法を「虫体と食草の同時処理」として区別する場合もあるが、本論文では、表記を簡便にするため「葉片浸漬（法）」として表記した。

なお、この研究は農研機構交付金プロジェクト「東北地域における農薬50%削減リンゴ栽培技術体系の確立」の一環として行われたものである。

Ⅱ　材料および方法

１．供試個体群と検定薬剤

岩手県盛岡市及び隣接する紫波町の合計10地点のリンゴ園から、採集時期の異なる合計22個体群を確立して検定に供した。これらの個体群を採集した園地、園地内の位置及び期日ついて表１にまとめて示した。また、感受性を調べた薬剤は表２に示した12種類である。過去３年間に調査地域で使用例のあっ

表１　供試個体群の特性と供試薬剤の対応表

個体群記号（採集園地）	園地のある地域名	採集した位置	採集期日	供試薬剤（記号）*											
				KOT	OS	MA	KOR	OM	RO	KA	BAS	HA	PI	SA	BAR
KH1	盛岡市黒川	株元下草	2006/4/30	○	○	○	○								
TY1	盛岡市黒川	株元下草	2006/5/1	○	○	○	○								
NCT1	紫波町長岡	株元下草	2006/5/1	○	○	○	○								
YTT1	紫波町長岡	株元下草	2006/5/1	○	○	○	○								
YS1	紫波町長岡	株元下草	2006/5/1	○	○	○	○								
KH2	盛岡市黒川	リンゴ粗皮下	2007/1/23	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
TY2	盛岡市黒川	リンゴ粗皮下	2007/1/23	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
NCT2	紫波町長岡	株元下草	2007/3/31	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
NCG2	紫波町長岡	リンゴ粗皮下	2007/1/23	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
YTT2	紫波町長岡	リンゴ粗皮下	2007/2/27	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
YTG2	紫波町長岡	リンゴ粗皮下	2007/2/27	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
YS2	紫波町長岡	リンゴ粗皮下	2007/1/23	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
KH3	盛岡市黒川	リンゴ葉	2007/9/17							○	○	○	○	○	△
KK3	盛岡市黒川	リンゴ葉	2007/10/8							○	○		○	○	△
KT3	盛岡市黒川	リンゴ葉	2007/10/8							○	○		○	○	△
TY3	盛岡市黒川	リンゴ葉	2007/9/2							○	○	○	○	○	△
NCT3	紫波町長岡	リンゴ葉	2007/8/20							○	○	○	○	○	△
NCG3	紫波町長岡	リンゴ葉	2007/8/20							○	○	○	○	○	△
YTT3	紫波町長岡	リンゴ葉	2007/9/2							○	○	○	○	○	△
YTG3	紫波町長岡	リンゴ葉	2007/9/2							○	○	○	○	○	△
YS3	紫波町長岡	リンゴ葉	2007/8/26							○	○	○	○	○	△
KF3	紫波町赤沢	リンゴ葉	2007/10/8								○	○	○	○	△
KR	盛岡市厨川	リンゴ葉	1999/10/15	○	○	○	○	○	○	○			○	○	△

注.　＊供試薬剤の記号については Table 2 を参照。
　　○は成虫を、△は卵を供試したことを示す。

表２　供試薬剤とその特性の一覧

記　号	一　般　名	商　品　名	剤　型	希釈倍率	登録年	備　　考
KOT	クロルフェナピル	コテツ	フロアブル	2000	1996	
OS	酸化フェンブタスズ	オサダン	フロアブル	2000	1980	
MA	ビフェナゼート	マイトコーネ	フロアブル	1000	2000	
KOR	ミルベメクチン	コロマイト	乳剤	1000	1990	
OM	BPPS	オマイト	水和剤	750	1967	
RO	フェンプロパトリン	ロディー	水和剤	1000	1988	
KA	アセキノシル	カネマイト	フロアブル	1000	1999	
BAS	グルホシネート	バスタ	液剤	100	(1984)	殺ダニ剤登録無し
HA	ビアラホス	ハービー	液剤	100	1992	
PI	テブフェンピラド	ピラニカ	水和剤	1000	1993	
SA	ピリダベン	サンマイト	水和剤	1000	1991	
BAR	エトキサゾール	バロック	フロアブル	2000	1998	成虫に活性無し

た殺ダニ剤と殺ダニ活性のある除草剤、及び近年の使用実績はないが、リンゴハダニやリンゴサビダニが混発した際に使用が予測される剤を供試した。展着剤は一切加用しなかった。

採集の際は、各園地のリンゴ葉、接ぎ木部の粗皮、あるいは株元の雑草を持ち帰った。それらからナミハダニ雌成虫を20～100個体採取し、インゲン葉片に移し、20℃、16時間照明の恒温室内で維持した。各個体群が互いに混じり合わないように、インゲン葉片は水を十分に含ませた脱脂綿に載せて、プラスティック製シャーレ（径100ｍｍ、高さ15mm）に入れたうえで、方形スチロールケース（220×300×60mm）内に隔離した。葉片浸漬にはその後代の雌成虫及び卵を使用した。

対照として、1999年10月18日に、盛岡市下厨川果樹研究所内のリンゴ園で採集した16頭の雌成虫をもとに、インゲンマメ葉を用いて室内で累代飼育してきた個体群（以下では厨川個体群）を供試した。今回の供試薬剤のうちアセキノシル（カネマイト）とビフェナゼート（マイトコーネ）は厨川個体群の確立された1999年以降に登録となっている。また、エトキサゾール（バロック）、ミルベメクチン（コロマイト）及びクロルフェナピル（コテツ）については厨川個体群の隔離前に同園地で使用実績がほとんど無かった。

２．葉片の浸漬処理

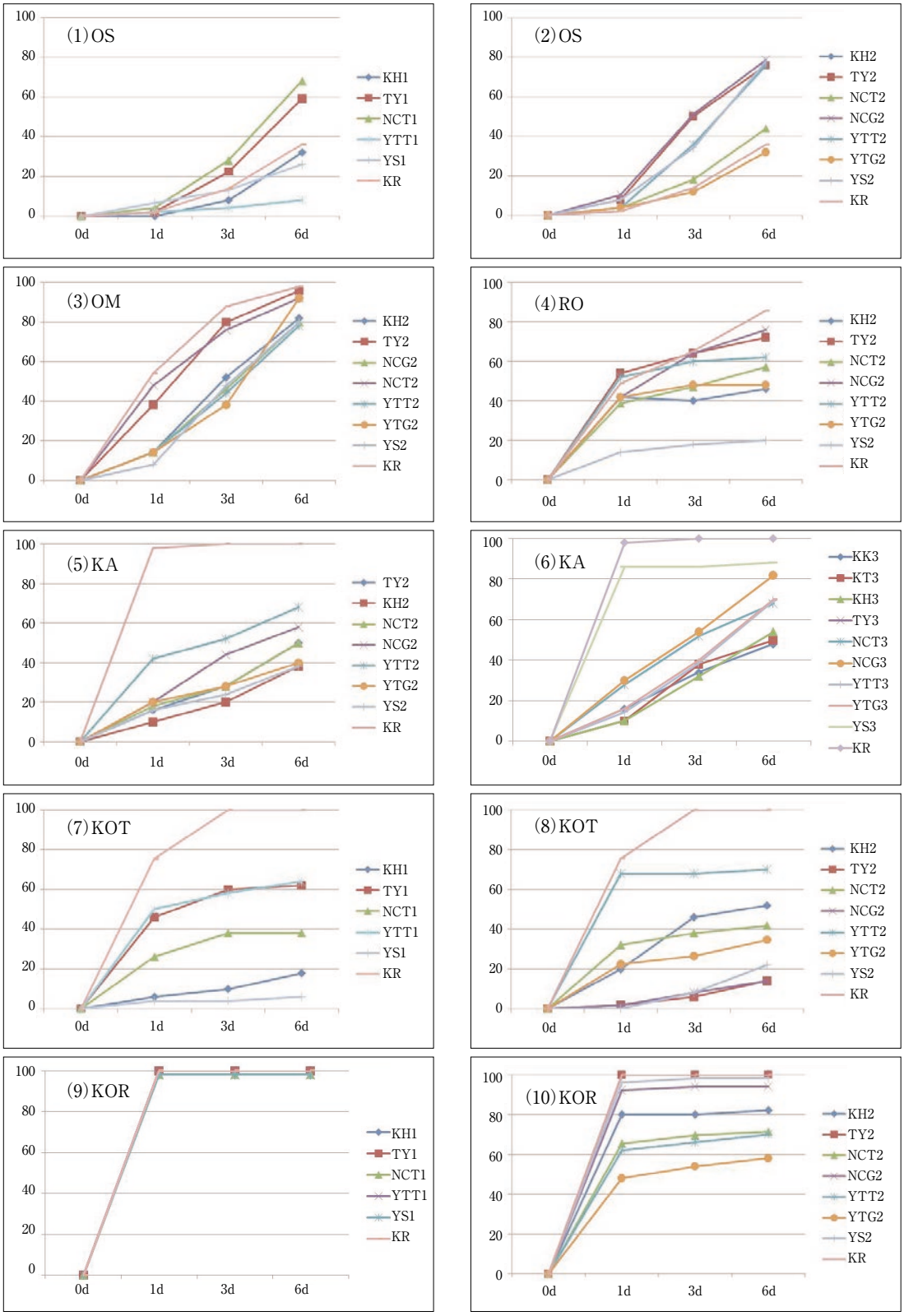
殺ダニ剤11剤と殺ダニ活性が知られている除草剤２剤の常用濃度（登録濃度の上限値）の希釈溶液を作製し、ナミハダニ雌成虫10頭を接種したインゲンマメ葉片（４×４cm）を５秒間浸漬した。取り出した葉片の両面に残った希釈液を濾紙で丁寧に吸い取って除去した。浸漬処理した葉片を、水を十分に含んだカット綿（５×６cm）に載せ、20℃に保存して、１日後、３日後、６日後に、雌成虫の生存、苦悶、死亡を区別して計数した。また、その間に生存個体によって産下された卵を数えた。６日後の計数の際には、ふ化幼虫と若虫も計数し、産下卵数に加算して、６日後までの総産卵数とした。各園地と薬剤の組み合わせについて、５葉片（計50成虫）ずつ反復処理した。

薬剤の特性として、殺卵効果が高く、殺成虫効果がないことが知られているエトキサゾール（バロック）フロアブルについては、卵に対する効果を調べた。すなわち、上記と同じサイズのインゲンマメ葉片に雌成虫10頭を接種し、24時間放置した後に成虫のみを除去し、齢期の揃った卵を40～100個伴う葉片を得た。これらの葉片を薬液に５秒間浸漬し、引き上げた後に濾紙に載せて風乾した。処理した葉片は水を十分に含んだカット綿（５×６cm）に載せ、20℃に保存し、処理６日後及び13日後にふ化した卵、生存幼虫及び死亡幼虫を計数した。各園地と薬剤の組み合わせについて、５葉片ずつ（計300卵程度）反復処理した。

Ⅲ　結　　果

(1) 成虫と卵の死亡率

処理後６日間の成虫の死亡率を図１に示した。雌成虫の死亡率は、供試した薬剤や個体群を確立した時期により傾向が分かれた。最も個体群確立の古い厨川個体群の成虫は、アセキノシルフロアブル（KA）、ミルベメクチン乳剤（KOR）、クロルフェ



成虫の死亡率（%）

浸漬処理後の経過日数

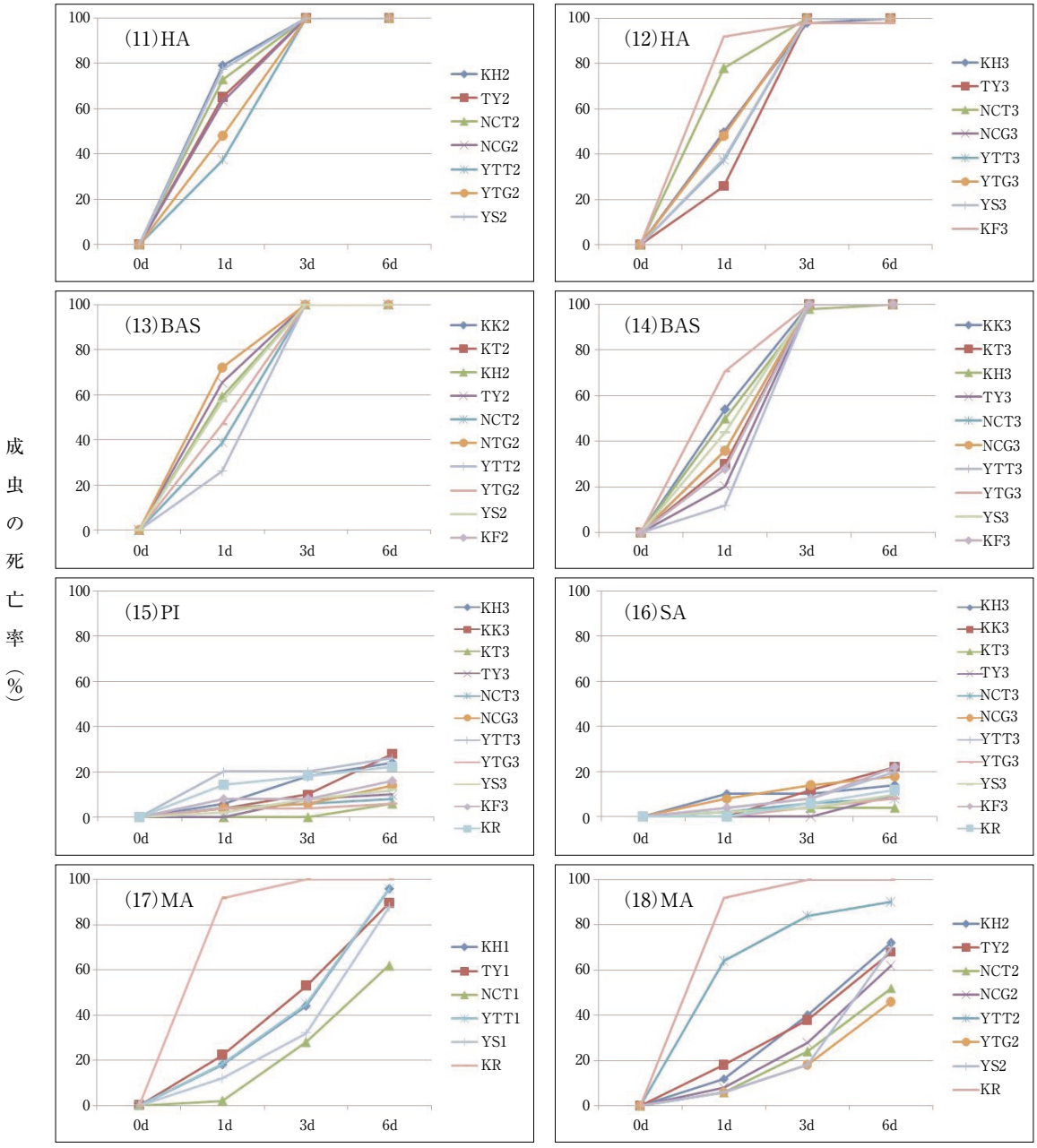


図１　浸漬処理したナミハダニ雌成虫の処理後の死亡率の推移
薬剤名の略称は表２を参照

ナピルフロアブル（KOT）及びビフェナゼートフロアブル（MA）の常用濃度に浸漬すると3日後までに全ての個体が死亡した。また、BPPS水和剤（OM）に対しても、6日後までに死亡率が100%に達した（図1の1、3、5、7、9、17）。

ビアラホス液剤（HA）及び除草剤登録のグルホシネート液剤（BAS）は、処理1日後の死亡率がすべての飼育個体群で成虫の死亡率がほぼ100%に達した（図1の11-14）。ミルベメクチン乳剤では、2007年春に採集した個体群の全てで3日後までの死亡率が100%に達したが、2007年秋に採集した個体群では死亡率にばらつきが見られ、6日後までの死亡率が100%に満たないものが5個体群存在した（図1の9、10）。BPPS水和剤は、処理1日後の死亡率に飼育個体群間でばらつきがあるものの、6日後までにほとんどの個体群で死亡率が80%を越えた（図1の3）。ビフェナゼートフロアブルは、2006年春に現地で採集した5個体群中4個体群で6日後の死亡率が100%近くになった。しかし、2007年春に採集した7個体群中6個体群で、死亡率が80%未満となった（図1の17、18）。酸化フェンブタスズフロアブル、フェンプロパトリン水和剤（RO）及びクロルフェナピルフロアブルでは、飼育個体群間に死亡率の差が大きく認められ、6日後の死亡率が90%を越えるものから、20%程度のものまで変異があったが、採集時期と死亡率の間に明瞭な関係は見いだせなかった（図1の1、2、4、7、8）。アセキノシルフロアブルは処理6日後までに40～80%の成虫が死亡したが、2007年秋に採集した個体群では、同年の春に採集した個体群に比べて死亡率が高い傾向が認められた（図1の5、6）。ピリダベン水和剤（SA）とテブフェンピラド水和剤（PI）では、処理6日後の死亡率が一様に20%程度に止まった。この2剤については、厨川個体群の死亡率も低く、2006年から2007年に現地圃場で採集したナミハダニと大差なかった（図1の15、16）。

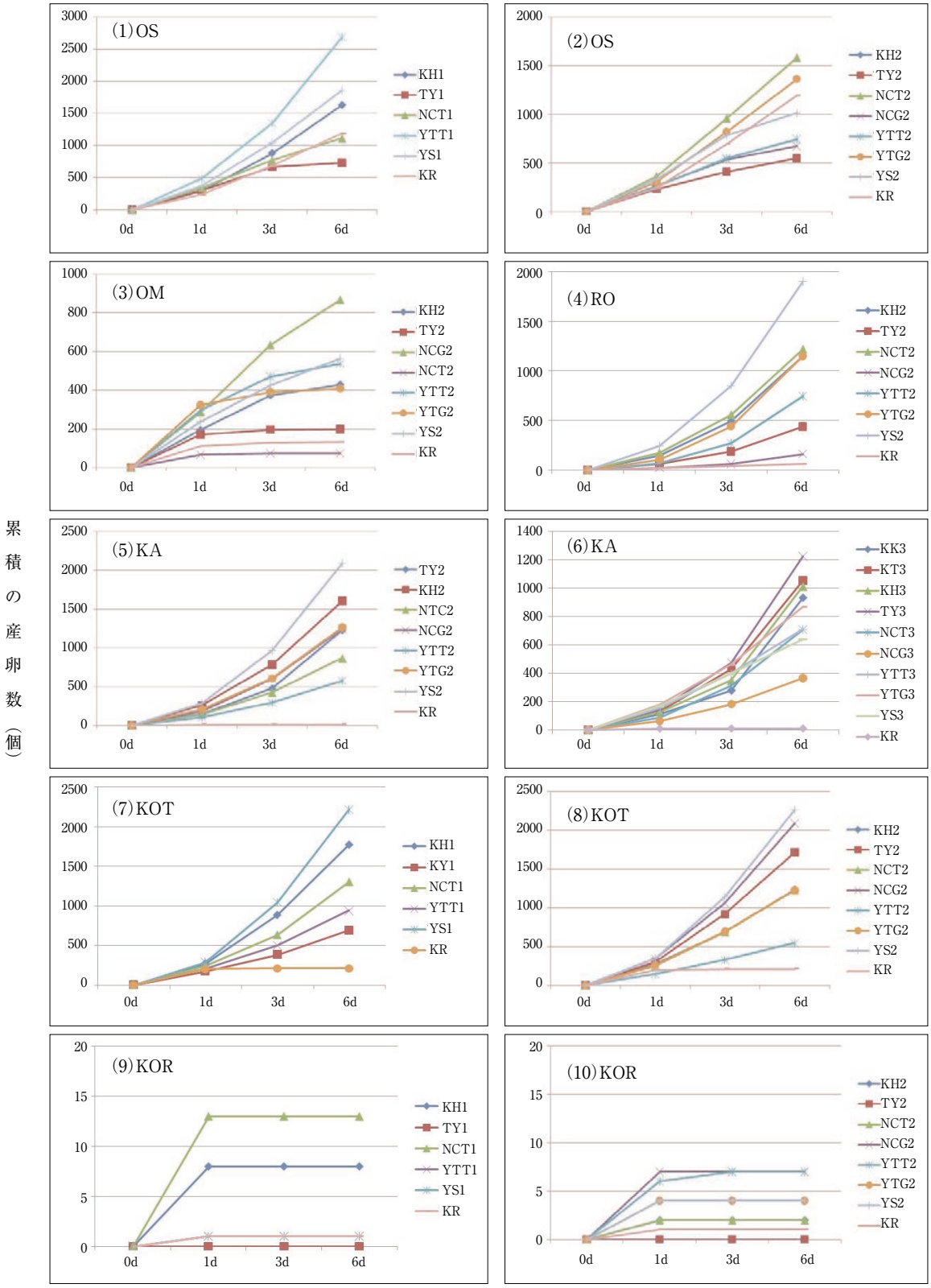
エトキサゾールフロアブル（BAR）に浸漬処理した各個体群の卵のふ化率を表3に示した。現地採集個体群のふ化率は69%から99%の間に分布したが、10個体群中7個体群のふ化率が90%台となった。13日目の生存個体数は葉片からの脱落による死亡や消失により減少したが、いずれの個体群でも処理13日後までに、ふ化個体の40～60%が成虫まで発育した（表3）。

各供試薬剤に浸漬処理した成虫による1日後、3日後及び6日後の産卵数を図2に示した。ミルベメクチン乳剤では、個体群の確立時期により成虫死亡率に顕著な差が生じたが、生存個体による産卵数には大きな差が認められなかった（図2の9、10）。一方、ビフェナゼートフロアブルでは、成虫死亡率と産卵数の両方に個体群間の変異が大きかったが、死亡率の低い個体群で産卵数の多い傾向が見られた（図2の17、18）。同様に6日後の成虫死亡率に変異が大きかった酸化フェンブタスズフロアブル、フェンプロパトリン水和剤及びクロルフェナピルフロアブルでは、生存個体による産卵数にも大きな差が認められ、生存率の高い個体群で産卵数も多くなる傾向が認められた。また、この2剤の成虫死亡率や死

表3　エトキサゾールフロアブルに対するナミハダニ卵の感受性

個体群	処理卵数	6日後			13日後				
		卵　数	幼若虫数	ふか率[a](%)	卵　数	幼若虫数	落下死数	成虫数	成虫化率[b](%)
KH3	316	6	309	98	0	71	23	188	59.5
KK3	345	18	327	95	18	93	27	174	53.2
KT3	336	5	325	99	0	40	119	137	40.8
TY3	337	23	314	93	11	115	29	148	45.4
NCT3	479	136	338	71	0	95	26	208	43.4
NCG3	446	25	421	94	0	90	56	251	56.3
YTT3	417	3	414	99	1	59	97	227	54.6
YTG3	356	51	301	85	12	69	35	209	60.8
YS3	426	27	388	91	0	154	0	198	46.5
KF3	310	95	209	67	91	78	8	108	49.3
KR	287	287	0	0	287	0	0	0	−

注.　a：（（処理卵数－6日後卵数）／処理卵数）×100
　　b：（13日後成虫数／（処理卵数－13日後卵数））×100



累積の産卵数（個）

浸漬処理後の経過日数

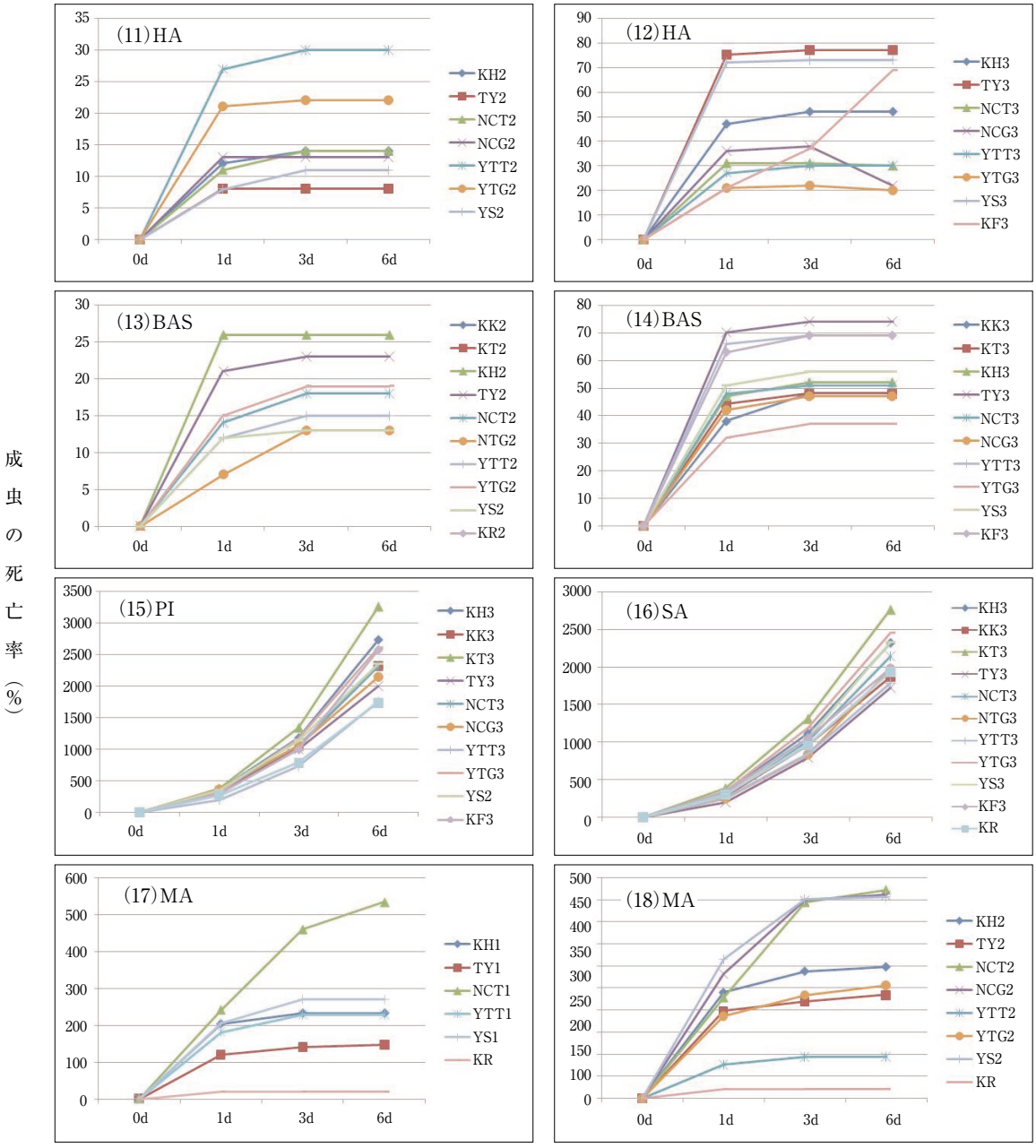


図２　浸漬処理したナミハダニ雌成虫による処理６日後までの累積産卵数
薬剤名の略称は表２を参照

亡曲線の形は類似していたが、生存個体による産卵数はフェンプロパトリンの方が少なくなる傾向が認められた（図２の１、２、４、７、８）。

ビアラホス液剤とグルホシネート液剤では、2007年春と同年秋の間で処理後６日までの死亡率に顕著な差がなかった（図１の11-14）が、生存個体による産卵数は、2007年秋確立個体群で多くなる傾向が認められた（図２の11-14）。６日後の成虫死亡率が高いがやや遅効的であったBPPS水和剤では、処理後６日間の産卵数が一様に多く、最大で約850個に達する個体群があった（図２の３）。

浸漬処理６日後の成虫死亡率が50％未満の個体群が多いアセキノシルフロアブル、テブフェンピラド水和剤及びピリダベン水和剤では、６日間の産卵数も多く、処理後６日間で葉片上の総産卵数が600～1,500個に達する個体群が大部分を占めた（図２の５、６、15、16）。

Ⅳ　考　　察

葉片浸漬法を用いる今回の検定により、同じ薬剤に対する感受性の違いを園地間で比較したり、感受性の程度を薬剤間で相対的に比較することが可能であった。処理後の死亡率を基に供試薬剤を大別すると、①園地個体群に関係なく効果が高い（ミルベメクチン、ビフェナゼート、BPPS、ビラアホス及びグルホシネート）、②園地個体群間で効果の差が大きい（フェンプロパトリン、酸化フェンブタスズ及びクロルフェナピル）、③園地個体群に関係なく効果が低い（アセキノシル、ピリダベン、フェンプロキシメート、テブフェンピラド、ピリミジフェン及びエトキサゾール）、の３グループに分類された。青森県や岩手県のリンゴ産地では、共同防除組合による防除に依存する生産者が多いが、この方法で園地に共通して効果の高い薬剤を絞り込むことにより、ハダニ防除の効率化を図ることが期待できる。また、個人散布する園主にとっては、この方法に基づいて、自園地の感受性実態に応じた薬剤選択が可能になると考えられる。

同じ薬剤に対する感受性について、個体群を採集した年次間での比較を加えると、さらに細かい傾向を検出することも可能であった。例えば、①に分類したビフェナゼートフロアブルは、2006年の春に採集した個体群を供試すると、１つの例外を除き90％以上の死亡率に達したが、同剤が広域に散布された2006年の防除シーズン後に採集した個体群では死亡率が一様に低下した。さらに、この剤の被爆履歴がない厨川個体群と比較すると、2006年春採集個体群においても死亡するまでの期間が長いことから、この時点で既に感受性が減退していることが示唆される。同様の現象がミルベメクチン乳剤についても認められた。ミルベメクチン乳剤は特定農薬に指定されており、特別栽培をする上で有利なため、調査地域では2007年まで４年連続で使用された経緯がある。採集時期間の死亡率の違いは、薬剤を使用することによる感受性低下を示唆している可能性が高い。

エトキサゾールは殺卵効果が高い点が特徴であったが、今回の試験では、供試した園地個体群全てでふ化率が70％以上となり、供試個体群の７割が90％を越えた。また、処理13日後までふ化幼虫の観察を継続したところ、ふ化個体の40～60％が成虫まで達し、発育阻害効果は顕著でないと考えられた。この剤が使用される前に隔離された厨川個体群に対して同様の処理を行うと、ふ化率が０％であることから、現地ではエトキサゾールが繰り返し散布されることにより、感受性の低い個体が選択されてきたものと推察される。

殺ダニ剤の効果判定の指標としては、死虫率の他に、産卵抑制や産下卵のふ化阻害など繁殖抑制に係る効果が考えられる。本報告の予備試験では、浸漬処理に供した成虫による産下卵のふ化率は、産卵数が多ければ薬剤間で差がない傾向が認められた（豊島、未発表）。従って、処理後の産卵数を数えることで、散布後の再増殖程度をより具体的に推定できるものと考えられる。そこで、本研究では処理後に生存した成虫による産卵数を併せて評価した。その結果、供試した多くの薬剤で、処理６日後の死亡率が低いほど、また死亡するまでの期間が長いほど産卵数が多いという結果になった。例えば、ビフェナゼートは成虫の浸漬処理６日後に大部分の個体群で死亡率が100％に達したが、死亡するまでの期間が長いため、処理１日後に大部分の成虫が死亡したミルベメクチンに比べると、産卵数が顕著に多くなった。また、②や③に分類された薬剤についても、成虫死亡率の低い個体群では産卵数が多かった。このように、今回の供試薬剤では、処理後の生存個体に及ぼす繁殖抑制効果が検出された例は少なかった。しかし、例外として、フェンプロパトリンでは、他薬剤による処理で同程度の死亡率が得られた場合に

比べ、生存個体による産卵数が少ない傾向が認められた。同様に、ミルベメクチンの成虫死亡率を2006年の防除の前後で比較すると、感受性の減退が認められるが、同じ比較で産卵数の増加は顕著でなかった。このような薬剤については、散布後に目覚ましい密度低下がないまでも、産卵抑制により密度上昇が減速することで、効果を実感できる可能性がある。これに対し、アセキノシルは多くの園地個体群で処理6日後までに50～75%の成虫死亡率が得られており、園地によっては殺虫効果に優れるように見える。しかし、生存個体による産卵数がほとんどの個体群で600以上になるため、散布した生産者にとっては、ハダニが減少したという実感を得ることができないであろう。

岩手県ではハダニの薬剤抵抗性対策として、殺ダニ剤を基幹薬剤と補助薬剤の2区分に分け、さらに同系統剤の連年使用を避けるための輪番制を基本とする技術指導を実施してきた。しかし、感受性低下により防除指針から削除される薬剤が増え、近年では基幹薬剤と補助薬剤がそれぞれ2剤ずつとなり、隔年で掛ける対応となっていた。そして、これらの薬剤で満足な防除効果が得られないために、追加散布をする生産者が増加し、年間の殺ダニ剤散布回数が3～4回になってきた。この状況は防除費用と労力の点で生産者の負担増になるとともに、殺ダニ剤の使用頻度が高まるために、感受性低下が加速する悪循環を招いている。さらに、追加散布される薬剤に統一性がないため、薬剤感受性の園地間差異が拡大しているように見受けられる。

今回試した葉片浸漬法は、感受性の精密な把握には向かないが、園地ごとの最適薬剤を選定するためには実用的であると判断された。供試した個体群を採集した園地は、いずれもリンゴの特別栽培に取り組む地域に位置する。特別栽培においては、シーズンの最初に提出した防除計画にそって薬剤散布を実施しなければ、認定の取得ができない。ハダニの基幹薬剤の効果が不十分で、夏季に密度が上昇し、計画外の薬剤を追加散布すれば認定が取り消されてしまう。さらに、追加散布した薬剤に効果がなければ、防除費用の高騰、認定の取り消し、実害の発生の中で、何も得るものがないという結果になってしまう。従って、特別栽培を推進する産地にあっては、薬剤感受性の把握がことさら重要であると考えられる。今回の葉片浸漬は薬液が均等に付着しやすいインゲンマメ葉を使用したため、感受性の把握に適していたと考えられる。この方法はインゲンマメ葉でのハダニ飼育を伴うので、生産者が用いる技術とはならないが、普及員や農協の指導員が習熟すれば、園地単位での感受性検定が可能になり、適切な薬剤選択に役立つものと期待される。さらに、葉片浸漬法を生産者自身が行う技術として普及を図る場合には、ハダニが寄生したリンゴ葉を常用濃度の薬液に直接浸漬して判定できることが望ましい。今後は、リンゴ葉を用いた浸漬法の精度について、今回行ったインゲンマメ葉を利用した葉片浸漬法との比較に基づいて評価する必要がある。

引 用 文 献

1）羽田　厚・熊谷拓哉, 2007. 2006年岩手県のリンゴ園地におけるナミハダニの多発事例. 北日本病害虫研究報告　58：201（講演要旨）.

2）浜村徹三. 1997. 農業害虫および天敵昆虫等の薬剤感受性検定マニュアル（15）野菜・花き害虫：ハダニ類.植物防疫　51（11）：547-549.

3）木村佳子・石栗陽一・櫛田俊明. 2005. 青森県のリンゴにおけるリンゴハダニおよびナミハダニの薬剤抵抗性の実態.北日本病害虫研究報告　56：194-197.

4）小林久俊・林　武嗣. 1983. 静岡県東部地域の茶園におけるカンザワハダニのケルセン抵抗性. 関東東山植物防疫研究会報　30：166

5）真梶徳純. 1981. 2. 2 その他の害虫. pp114-118. 農薬実験法1, 殺虫剤編（深見順一ら編）ソフトサイエンス社, 東京.

6）澤崎　肇・高城親義. 1991. カンザワハダニの薬剤抵抗性対策. 京都府立茶業研究所研究報告　20：7-15.

燃料利用を視野に入れたナタネ生産振興と有機農業運動の連携の可能性

野　中　章　久*1)

抄　録：バイオ燃料への社会的関心の高まりを背景として搾油からバイオディーゼル転換まで行うナタネ産地が増えている。しかしナタネの作付定着にあたっては生産コストの高さがボトルネックとなる。そこで油かすを有利販売できれば生産コストを圧縮することが可能となる。油かすは有機質肥料であり、国産ナタネは無農薬栽培であるなど、有機農業と共通する要素が多い。これは国産ナタネ振興と有機農業運動の連携の可能性を示唆するものである。そこで本稿はナタネ油かすの購買者として有機農業者を位置づけることが可能か、有機農業者はバイオ燃料生産の推進者に位置づけることが可能かを明らかにすることを課題とする。有機農業者を対象としたアンケート調査結果の分析から、有機農業者は国産ナタネ油かすに強い興味を持っていることが明らかとなった。その興味は、国産であること、無農薬栽培であること、非ＧＭであることなど、有機農業運動の主旨に沿った性格に依拠するものであり、国産ナタネの取り組みと有機農業運動の親和性を示すものであった。また、彼らはバイオ燃料にも強い興味を持っており、農業分野におけるバイオ燃料利用を進める主体としても期待できる。
キーワード：二酸化炭素排出削減、ナタネ、搾油、燃料利用、油かす、バイオディーゼル、有機農業者

The possibility of cooperation between organic farming and the extension of rapeseed including biodiesel use in Japan : Akihisa NONAKA*1)

Abstract : Rapeseed is attracting attention because of the nationwide interest in biodiesel, and the number of farmers and related groups who grow rapeseed and own extraction machines and small biodiesel plants is increasing. The production cost of rapeseed in Japan is high, but if farmers and related groups were able to merchandise the rapeseed oil cake, they would recover a large fraction of the production cost. The rapeseed in Japan is non-GM and pesticide-free, and the rapeseed oil cake is an organic fertilizer; therefore, its characteristics suggest the possibility of cooperation between rapeseed growers and the organic farming movement. This article examines whether organic farmers would be users of the domestic rapeseed oil cake, and if they would be promoters of biofuel. The results of our questionnaire research with organic farmers shows that they are keenly interested in the domestic rapeseed oil cake. They are interested in the similarities between the characteristics of the rapeseed oil cake, such as its non-GM, pesticide-free status, and the values of organic farming; there is, therefore, an affinity between the increase of rapeseed production aiming at biodiesel extension and the organic farming movement. Organic farmers are also keenly interested in befouls, and they are likely to be promoters of biofuel.
Key Words : Reduction of CO_2, rapeseed, oil milling, fuel use, rapeseed oil cake, biodiesel, organic farmers

＊1）東北農業研究センター（National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198, Japan）
2008年８月４日受付、2008年12月16日受理

Ⅰ　はじめに

地球温暖化対策への関心が高まる中、バイオ燃料に対する関心も高まっている。内燃機関の燃料とするバイオ燃料にはバイオエタノールとバイオディーゼル*1がある。バイオエタノールは原料を発酵、蒸留する必要があるため、プラントは複数の行程に分かれ、ある程度の規模を必要とする。このため、市町村や農家、営農集団が取得・運営することは容易ではない。一方、バイオディーゼルは小さなプラントでも生産可能で、農家が片手間で生産することもできる。また廃食油も原料として利用できることから、地域経済活性化の施策としての関心が高まっている。Pahl[5]、Carriquiry[1]のように、バイオディーゼルに関し転作地の活用や地域経済の活性化効果が活発に議論され、政策の国際比較が盛んであるが、背景にはバイオディーゼルは生産が容易であり、分散的な生産に適していることがあるといえる。ただし、その議論はバイオディーゼル転換プラントを中心としたもので、油糧作物の生産振興そのものについてはあまり議論されていない。これは、北米およびヨーロッパでは油糧作物が既に大量に生産されており*2、バイオディーゼルの普及・振興に関する議論として油糧作物振興の方策に関する議論が先行する必要はないためである。これに対し日本では、地域振興の視点からバイオディーゼルの普及・振興を議論する場合、油糧作物の生産振興の議論から始めなければならないという特有の問題がある。ナタネは日本の油糧作物の代表であったが、作付面積は324ha（2007年度）まで減少した*3。しかし現時点での作付け面積が小さいとしても、二酸化炭素排出削減の視点から農業における燃料生産を展望する必要があること、水田利用面で水稲からの転作が大きな課題となっていること、耕作放棄地が拡大していることから、バイオ燃料利用を射程に入れた油糧作物の生産振興方策の解明は社会的に重要な課題であるといえる。

一方、野中[8]は、油かすの有利販売が実現できるならば、ナタネの物財費のかなりの部分を回収でき、搾油したナタネ油を直接バイオディーゼルに転換する合理性も見えてくることを示した*4。ナタネ油かすは搾油の過程で生じるため、乾燥したナタネを販売していた従来のナタネ経営では意識されなかった副産物である。しかし、最近ナタネ栽培を始めた産地では搾油機を導入するケースも見られるようになってきている。このため、ナタネ生産地が油かすを販売することが課題となりつつある。先述の野中[8]では、ナタネ油かすの販売先は考察されていなかったが、搾油会社からの聞き取りでは近隣の有機農業者が高価で購入していたことが確認された。ナタネ油かすの性質からしても有機農業者が購買者として有力な候補と考えられる。

環境に配慮した農業としては有機農業*5が代表的であるが、Dalgaarら[2]、Jorgensenら[3]、Sartoriら[6]が示すように、有機農業における生産物当たりの化石資源使用量は慣行農法よりも低く、二酸化炭素排出削減の視点からも評価されるべきものといえる。この有機農業の化石資源使用量の低さは主に化学肥料および化学薬品を使わないことに由来するが、収量が慣行栽培よりも低くなる傾向があることから、機械作業に限って見れば収穫物当たりの燃料使用量は高くなる傾向にある（Sartoriら[6] *Fig.1*）。したがって有機農業を二酸化炭素排出削減の方策に位置づける場合、トータルの排出量の低さを評価すると同時に、今後さらに削減するためにバイオ燃料の使用が検討されると考えられる。またこの有機農業運動と二酸化炭素排出削減を結びつける視点は、国内で生産された有機農産物と輸入有機農産物の競合

＊1　「ＢＤＦ」の呼称が一般化しているが、これは（有）染谷商店の登録商標である。化石燃料の代替として植物油から生成される脂肪酸メチルエステルが普及している国では、Biodieselが一般的な呼称であり、文献でもこの呼称が使われる（Pahl[5]、Kemp[4]）。よって本稿ではバイオディーゼルと呼ぶ。なおdieselはエンジンの形式を示すと同時にディーゼルエンジン用の燃料を指す（Oxford English Dictionary, ninth edition）。

＊2　ヨーロッパにおける燃料用ナタネは政策的に普及が図られてきたため、アメリカにおける大豆とは位置づけが異なる。しかし、議論の前提としては両地域とも既に油糧作物が広範に生産されており、日本との差は著しい。

＊3　高品質なたね産地確立対策事業の対象面積。なお、本稿が事例とした山形県金山町のように、近年新たに作付けが開始されたナタネはこれに含まれていない。

＊4　自家労賃評価をゼロとする仮定に基づく試算であるため、まだ運動的・試験的取り組みとしての位置づけである。ただし、企業経営においてもその後の生産効率の向上や価格上昇を見込んで採算がとれない新製品を製造するケースはあるため、これに類するものとしての位置づけは可能である。

＊5　有機農業については認証制度や各種の視点から厳密な概念規定があるが、本稿では環境に配慮して化学合成された薬品や肥料を排除するよう努力する農業を有機農業、そのような農業を推進しようとする運動を有機農業運動と呼ぶ。有機農産物も同様に、本稿の言う有機農業により生産された農産物およびOrganicとして現実に流通しているものを言う。

といった、今後生じうる問題に対処する論理を構築する基礎ともなりうる。その意味では有機農業の振興上重要な視点となると考えられる。このことから、バイオ燃料生産振興において有機農業をどのように位置づけるかが重要な論点の一つとなるといえる。

以上のようにナタネ油かすは有機質肥料・飼料であることから、有機農業運動における利用が期待される。しかし、国産ナタネ油かすは極めて少量しか生産されていないため、現時点で有機農業側において関心が持たれるものかどうかは不明である。また、より本質的には有機農業がバイオ燃料生産振興と連携しうるものかどうかも明らかにされる必要がある。そこで、本稿はバイオ燃料利用を射程に入れたナタネ生産振興の鍵となる油かすの購買者として有機農業者を位置づけられるかを検討することを第一の課題とする。そして有機農業者はバイオ燃料利用拡大、あるいはバイオディーゼル生産拡大の推進者に位置づけられるかを明らかにすることを第二の課題とする。

Ⅱ　調査対象と方法

1　アンケート調査の対象と方法

課題解明のために日本有機農業研究会を対象に郵送アンケートを実施した。日本有機農業研究会を対象とした理由は、第一に会員名簿が公開されていること、第二に日本の有機農業運動を牽引した集団として知られるM農園が含まれることから、有機農業者を代表しえると考えられたこと、第三に新規参入者も多いなど、多様な農業者が含まれているためである。同会員257名に2007年11月にアンケートを郵送し、08年５月末までに回収した89について集計・分析した。

アンケートは回答者が関心の有る・無しを答える設問と価格を回答する設問により構成されている。関心の有る・無しを回答する項目は、質問文に対して肯定・否定の程度を５段階の目盛のついた線上の任意の位置に印を付ける形式で回答するものとしている。この場合、５を最も強い肯定あるいは興味、１を最も強い否定あるは興味がないものとし、回答者が付けた印を数値として読み取った。価格も同様に、０円から225円まで25円刻みの目盛りを入れた回答欄の任意の位置に印を付けるものとした。なお回答用紙は無記名としたが、経営規模、生産する作物を記入する欄を設け、規模階層別の傾向を分析出来るようにした。

2　ナタネ油かすの用途および先行研究

1）ナタネ油かすの特徴

一般にナタネの搾油および油かすの特徴が広く理解されている訳ではないため、分析に入る前に議論の前提となる点を整理しておきたい。

現在日本で食用として栽培されているナタネは、収穫後乾燥した状態で重量の約40%の油脂分が含まれている。これを機械で搾油した場合、重量の30%程度を搾油できる。言い換えればこの時点で重量の70%が油かすとなる。この油かすには油脂分が残っているが、現在一般的に流通しているキャノーラ油は、機械搾油とヘキサン抽出法を併用してナタネからほぼ全ての油脂分を抽出して得られたものである。ヘキサン抽出するためには化学薬品を循環的に使用する工場が必要となる。一方搾油機は小型のものもあることから、機械による搾油だけならばごく小規模の施設でよい。このため、最近増えつつあるナタネ産地における搾油は機械搾油が一般的である。また現在、国産ナタネには登録農薬がほとんど無いため、無農薬栽培のケースが多い。この特徴を活かすため、新しくナタネ生産に取り組む産地では搾油機を導入し、地場産の無農薬栽培のナタネ油として製品化しているケースが多く見られる。このため、油かすが地域に残ることとなり、この有利販売が課題となりつつある。また、量が多いことから、油かすを有利に販売できれば、ナタネ生産に要したコストの大きな部分を回収することも期待できる。

これまでナタネ経営における油かすの販売は農業関係者の間では意識されてこなかった。これは、油かすは搾油時に生じる副産物であり、搾油業者が販売する物であったからである。農家も農協もナタネの生産から乾燥調製までが携わる部分であり、乾燥ナタネの販売後の搾油過程は意識しなかった部分である。

油脂会社等において生産されるナタネ油かすは飼料および肥料として一般的に流通している。もちろん、これらは輸入ナタネを原料としている。その価格を飼料用のものにみると、表１に示したように、キロ35～40円である（全国酪農業協同組合連合会工場入荷時・2007年10月現在）。全酪連からの聞き取り調査時点では、価格は2007年後半の石油および食糧価格高騰の影響で全般的に上昇基調であるが、非GMのプラス５円の評価は下がりつつあるのではな

いかとのコメントもあった。全酪連の買い付けは乳牛用の飼料であり、その場合の評価は栄養分である。したがって表１に見る大豆粕と油かすの価格の差はタンパク質の量に起因する。また、油かすは養鶏用の餌としても重要なものであり、後藤[7]に見るように２％程度配合されている。

表１　飼料用油かすの価格

	水分	粗タンパク質	TDN(%)	価格/kg	備考
大豆粕	11.7	52.2	86.8	45	
綿実油	11.5	40.0	65.4	52	希少のため高価
ナタネ粕	12.3	42.3	73.6	35	非GM＋５円

資料：全酪連聞き取り調査（2007年10月）

さて、輸入ナタネ油かすに対して、国産のナタネ油かすは①ＧＭ（遺伝子組み替え）ではない、②無農薬栽培である（登録農薬がほとんどないため、結果的に無農薬で栽培する場合が一般的）、③国産という点に特徴がある。したがってこの特徴によって差別化が図られ有利な販売が可能であるかどうかが問題となる。全酪連における調査でのコメントでは、栄養価における違いがなければ価格は変わらないだろうとのことであった。これは、例えば一戸の農家が差別化を図ろうとして特徴のある資材を使うことを想定した場合、野菜等であれば容易に取り組めるが、牛乳は製造過程が地域を一括する工場で行われるため、このような差別化が難しいという背景がある。このため、仮に国産であっても一般に流通するナタネ油かすと同様の評価となり、栄養価が変わらない限り同じ値段となる。ただし、ナタネを生産地において機械搾油する場合は、油かすに10%程度の油が残る（前述のように乾燥ナタネには40%程度の油が含有されているが、機械搾油では30%程度の搾油率となる）ため、これがＴＤＮ値を上げる可能性がある。ＴＤＮ値が高くなれば価格は比例して上がる。ただし、乳牛用飼料としてナタネ油かすを販売する場合、次のような要素が必要である。第一に安定供給、第二に安定した品質、第三に栄養価の検査・証明である。これはこれから作付けを開始するナタネ産地にとって難しい条件である。すなわち安定供給のためには一定の量を継続して搾油する必要があるが、小面積の単一産地だと難しい*6。また品質の安定は小規模機械搾油の場合難しい場合がある。それは伝統的な機械搾油では表２に見るように油を効率的に搾れる温度にするため、焙煎（温度を上げる）する行程がある。Ｋ製油の聞き取り調査によると、スキルを要する過程はこの焙煎である。これはスキルによっては油かすに残る油の量が異なり、油かすの品質が変わることを意味している。品質が安定しないとなると、商品としての評価に関わり、これは第三の点にも関わるが、栄養価の証明は小規模な事業者にはコスト的に負担となる。

表２　Ｋ製油（福島県）の搾油工程

行程	焙煎	搾油	沈殿	加熱	濾過	缶詰
使用機材	釜・薪	エキスペラー＊			濾紙	

＊：かつて国内で盛んに使われていた国産搾油機を再生しながら使用。
　なお、現在も小規模な搾油施設向け搾油機は販売されている。
資料：聞き取り調査（2006年）

一方、国産ナタネ油かすは、飼料として見るとき、成分面で問題がある場合がある。松本[9]が示すように、ナタネには豚・鶏の甲状腺の障害を引き起こすグルコシノレートが含まれる品種があり、すべての国産油かすが豚・鶏用の飼料に適している訳ではない。松本[9]では牛の飼料として問題は見いだされていないとされているが、反芻動物以外の畜種では健康障害を引き起こすことが示されている。ただし、鶏に関しては後藤[7]、松本[9]によればグルコシノレートが含有されていても一定量を超えて与えなければ問題はないとされる。しかし、やはりグルコシノレートの含有量が低い品種の方がのぞましいであろう。現在栽培面積の大きい北海道や青森県で栽培されている品種はキザキノナタネが主流であり、グルコシノレートが含有されている。グルコシノレート含有量が極めて低いキラリボシ（東北農業研究センター育成）もあるが、収量・耐寒性がキザキノナタネよりやや劣るため、両地域では普及していない。一方で輸入量の多いカナダ産ナタネはグルコシノレート含有量が極めて低い品種である。このため現在一般的に流通している飼料用油かすは畜種の制限はないといえる。

この飼料としての利用は、油かすのタンパク質をそのまま利用するため、資源循環の観点からすれば合理的な利用である。しかし、上の条件を考慮すると、飼料として販売するのはナタネ産地として一定

＊6　油かすは酸化、腐敗しやすいため、飼料用油かすは生産直後に給餌される方が望ましい。

の規模に達し、安定した搾油が出来るようになった段階でのものであって、ナタネの導入時には他の用途として検討されなければならないだろう[*7]。そのため、栽培面積が小さい段階では肥料とする方が問題は少ないといえる。この場合、先に述べたナタネ油かすの特徴である、国産、非ＧＭ、無農薬栽培という特徴を最大限に活かした販売は、有機農業に代表されるような、環境への配慮を重視する農業者が需要者として期待される。

2）ナタネの採算性と油かす

野中[8)]は、油かすの有利販売が実現できるならば、ナタネを直接バイオディーゼルに転換する合理性が生じる可能性を示した。この試算は地域内で搾油して食用油を販売するケースにおいて、ナタネ生産のコストを油だけから回収しようとする場合と、油かすの販売を加えた場合の差の大きさを示していた。

野中[8)]が事例とした山形県金山町においてナタネを経営する営農集団の調査結果と、利用できる直近年次の生産費調査における青森県と鹿児島県の値を表３に示した。表は生産コストとして物財費を見ているが、通常は生産コストには賃金（労働報酬）分が含まれる。表に賃金分が含まれないのは、バイオディーゼルを自家利用するケースを考えており、小農経営の場合は自家労賃をゼロとしても再生産は最低限確保されると考えられるためである。いわば、自給型バイオディーゼルの最低限の採算性を示している。

金山町の営農集団は構成員18人で町内の転作作物の全作業を一括受託している。転作作物は主に大豆、そば、ナタネで、2005年は大豆12haそば80ha、ナタネ10haを作付けている。

表では鹿児島県の物財費が青森県よりもかなり低い数値となっているが、これは青森県の方が鹿児島県よりも機械化されているためである。機械化により青森県の60kg当たり投下労働時間は1.05時間であるのに対し、鹿児島県は24.19時間である。事例とした金山町の集団も大豆、ソバと共用の機械を使用してナタネを栽培しており、投下労働時間は3.13時間となっている。60kg当たり投下労働時間が青森の約３倍となっているのは、主に単位面積当たりの収量の差による。金山町で2005年に収穫されたナタネの収量は108kg/10aであったが、表に示した2000年産の青森県は227kg/10aであった。なお同年、鹿児島の収量は190kg/10aであった。金山町は10a当たり収量が低いにもかかわらず機械に関する費用がかなり小さいのは、他の転作作物と機械を共用しているためである。

表３　ナタネ物財費と油かす販売

		金山町	青森県	鹿児島県
①ナタネ物財費（60kg当）		3,975	4,598	3,458
	機　械	2,362	3,195	1,223
	種　子	89	82	37
	肥　料	1,524	1,321	2,198
労働時間（60kg当）		3.13	1.05	24.19
②油かす50円/kgで販売した場合の物財費の残額（60kg当）		1,875	2,498	1,358
油かす100円/kgで販売した場合の物財費の残額（60kg当）		△225	398	△742
③油１ℓ当たりの②		104	139	75
④③をバイオディーゼル化した場合		128	163	99

注：物財費には、このほかに光熱動力費、建物費等を入れるべきだが、金山町の事例では建物、乾燥機は他の作物と共用であり、実質的な耐用年数が不明であること、光熱動力費も他の作物と峻別が難しいことに加え、電気代、灯油代とも少額となると考えられたため計算から除外している。また他の資材も極めて少額となるため、計算から除外した。
資料：聞き取り調査（2005年）『平成12年産工芸作物等の生産費』農林水産省統計情報部、2002年

さて、表に示したように、油かすを販売することが出来れば、物財費のかなりの部分が回収できる。50円/kgであれば、金山町では1,875円、青森県では2,498円まで圧縮できる。これを油１L当たり[*8]としてみれば、物財費は金山町で104円、青森県で139円となる。これを直接バイオディーゼルに転化するとして、その場合に必要となる資材費、電気代（24円/L）のみ付加するとすれば、それぞれ128円、163円となる。金山町の数値でみれば、2008年７月現在の市販の軽油価格（120円／Ｌ前後）に近い水準となる。この試算は、上に述べたような営農集団による効率的な栽培に加え、搾油機・バイオディーゼル転換機を農協や役場で導入し、ランニングコストのみを製品に転化することを想定している。商品生産の観点からすれば、機械のランニングコストだけでなく減価償却費を、さらには賃金分も計算に含めるべきである。しかし搾油機およびバイオディーゼル転換機の実質的な耐用年数が不明であること、取

＊７　肉牛用の飼料としての可能性もあるが、地域的に銘柄牛生産に取り組んでいる場合、飼料が統一されているケースが多い。このため、肉牛用の飼料化も肥料に比べれば容易ではない。
＊８　計算を単純化するために、１kgのナタネから300gの油と700gの油かすが生産されるとし、油１L＝１kgとした。

り組みは運動的な側面が強いこと、市町村からの補助も期待できることから、ここでは計算に入れていない。

Ⅲ　有機農業研究会会員に対するアンケート調査結果の分析

1　会員の属性

アンケートには89の回答があった。回答のあった者を経営面積規模で表４のように１ha未満、１～２ha、２～４ha、４ha以上に分類すると１ha未満が最も多く、次いで２～４ha、１～２ha、４haの順である。このうち最大規模の４ha以上層は11戸あり、うち最大のものは120haを超える集団である。他の10戸は夫婦で農業に従事する農家がほとんどである。かれらの特徴として、販売先として生協、有機農産物販売組織、小売店・市場が多いという点がある。他の分類と比較すると生協と小売店・市場の比率が高いが、これは経営面積が大きいことから、大規模な販売先を得ていることを示唆しているといえる。この階層は戸数としては小さいものの、回答者の経営面積の総計に占めるシェアは圧倒的に高く、最大面積の集団をのぞいても過半を占める。一方、２～４ha層と１～２ha層は戸数としてみると４ha以上層の約４倍あるものの、それぞれの経営面積を合計しても93ha弱であり、４ha以上層と比較して約1/4の面積シェアとなっている。また２～４ha層と１～２ha層は１ha未満層ほどの自給的性格は明確ではなく、生協・有機農産物販売組織とも取引がある。一方、１ha未満では生協、有機農産物販売組織、小売店・市場への販売がかなり少数となり、販売なしの農家も8.9%含まれる。１ha未満層販売先の「他」はイベントでの販売や直売所が多い。名簿に記載されているプロフィールには有機農業を実践するために農村に移り住んだ者が多く見られるが、これは１ha未満の階層に多い。このように回答者は、４ha以上層の組織体や専業的経営が圧倒的な面積シェアとなっているが、自給的な生産者を含んだ多数の小規模生産者が含まれている。なお、水稲を生産している農家は４ha以上層では11戸中７戸（63.6%）、２～４ha層で26戸中14戸（53.8%）、１～2ha層で17戸中８戸（47.1%）、１ha未満層で35戸中10戸（28.6%）である。したがって水稲は規模の大きい層の方が生産している率が高く、小規模層の自給的性格は畑作を中心としたものといえる。

2　国産ナタネ油かすのどのような特徴に関心があるか

表４に見るように、回答者の中には畜産を経営している者が含まれている。アンケート作成時点では導入が比較的容易であることから、鶏を飼育するケースが多いのではないかと考え、先述のようにナタネ油かすは養鶏において必須的に用いられるエサであるため、鶏のエサとしての興味は高いのではないかと考えた。しかし、畜産を経営する者は全体の約34%にとどまることもあり、ナタネ油かすに対して飼料として興味があるとする回答は、全体の19.1%で、肥料としての興味が圧倒的であった。

国産ナタネの油かすに関しては、表４に示したように、全体の８割強が「興味が有る」と回答しており、関心の高さがうかがわれる。この場合、国産ナ

表４　アンケート回答者の経営面積

経営面積による農家分類	戸数	畜産		販売先					ナタネ油かすへの興味			各分類の面積合計（ha）
		計	うち鶏	生協	有機農産物販売組織	小売店・市場	他	販売なし	興味あり	肥料として	飼料として	
４ha以上	11	4	2	5 45.5%	6 54.5%	5 45.5%	8 72.7%		11 100.0%	10 90.9%	2 18.2%	377
２～４ha	26	7	4	4 15.4%	14 53.8%	8 30.8%	19 73.1%		23 88.5%	21 80.8%	6 23.1%	69
１～２ha	17	5	5	6 35.3%	3 17.6%	6 35.3%	12 70.6%	1 5.9%	15 88.2%	13 76.5%	3 17.6%	24
１ha未満	35	14	12	2 5.7%	8 22.9%	4 11.4%	25 71.4%	3 8.6%	26 74.3%	24 68.6%	6 17.1%	20
合　計	89	30	23	17 19.1%	31 34.8%	23 25.8%	64 71.9%	4 4.5%	75 84.3%	68 76.4%	17 19.1%	490

資料：アンケート調査（2007年11月）

表５　油かすへの特徴に対する興味の詳細

国産ナタネ油かすの特徴	4ha以上	4ha未満
非ＧＭ	4.73	4.70
国産	4.64	4.75
無農薬栽培	4.64	4.74
油が残る	3.73	4.01

注：価格以外の数値は５を最も強い肯定あるいは興味、１を最も強い否定あるは興味がないとし、回答者が定規状の解答欄につけた印を数値として集計したもの。
資料：アンケート調査（2007年11月）

タネのどのような特徴に興味があるのかが問題となる。この国産ナタネ油かすの特徴に対する設問への回答を表５に示した。表は「４ha以上」の層と「４ha未満」の層の二つに分けて集計している。これは４ha以上の階層が面積シェアにおいて圧倒的であること、専業的経営としての性格が強いと考えられるからである。

アンケートでは「非ＧＭであること」「無農薬であること」「物理的搾油法の場合油が残ること」「国産であること」という国産ナタネの主な特徴を示し、それぞれどの要素に興味があるかを回答するものとした。それぞれの要素に対する評価は表５に示したとおり、「油が残る」点以外は５（最も強い肯定）に近い数値となっている。これは油かすに対する興味は主に肥料であることが関係していると考えられる。なぜなら飼料ならば油が残ることは栄養価を上げるものとなり、肉や鶏卵の風味・栄養分への影響も期待できるからである。しかし肥料ならば、油脂分は成分的に期待されるものとはならない。これが「油が残る」点が相対的に低い評価である背景と考えられる。一方、「非ＧＭであること」「無農薬であること」「国産であること」に対しては高い評価である。これらの条件は有機農業運動の主旨と共通する部分であるため、高い評価であったと考えて良いだろう。この質問項目に関しては階層間の違いは見られなかった。

３　国産ナタネ油かすの購入希望上限価格

国産ナタネ油かすに興味のある回答者を対象に、購入する場合の希望価格の上限を質問した。この回答を表５と同様に４ha以上層とそれ以下の階層に分けた場合、表６に示されているように４ha以上層は平均65.56円/kg、４ha未満層は平均80.75円/kgであった。これは表１の油かすの価格よりも高価であり、有機農業者の国産、無農薬栽培の油かすに対する関心の高さを反映していると言って良いだろう。この場合、４ha未満層は４ha以上層よりも高い平均価格を示しているが、その背景は①購入が小口となる小規模経営は大規模経営よりも全般的に割高な資材を購入している、②自給的性格が強い小規模経営は肥料の購入自体が少なく、「相場」的な感覚が薄い等の理由が考えられる。

表６に集計した回答をヒストグラムとして示したものが図１である。アンケートの回答は25円刻みの

表６　油かす購入の上限価格

	4ha以上	4ha未満
国産ナタネ油かすを買う場合の上限価格（円/kg）	65.56	80.75*

注. *：10%水準で有意
資料：アンケート調査（2007年11月）

金額の目盛りのついた線の任意の位置に印を付ける形式としたが、この回答を図の目盛りの金額の±12.5の幅で頻度を集計し図に示した。図は50円と100円にピークがあることが示されている。図に０円が示されているが、これは０円よりも大きく12.5円未満の金額の回答数で、０円（買う意思なしと判断できる）の回答は含んでいない。なお、０円の回答は１人のみであった。50円と100円の回答が多い背景の一つとして、大まかな金額に関する問いにはキリの良い数値を答える傾向があると考えられる。事実、アンケートの回答の過半は目盛り上（キリの良い数値）である。そのため、４ha以上層の65.56円／kg、４ha未満層の80.75円/kg、あるいは全体の平均78.8円／kgをそのまま期待することは出来ないと考えられるが、最頻値である50円/kg水準は有る程度期待できると言えよう。

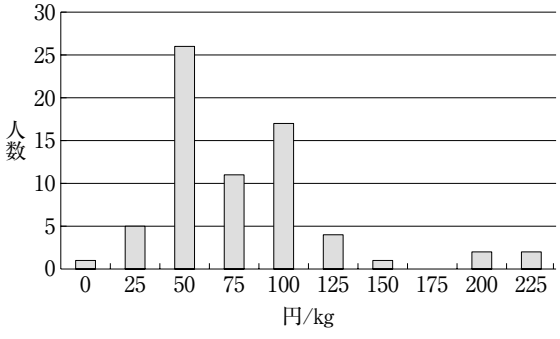


図１　国産ナタネ油かすの購入上限価格
資料：アンケート調査（2007年11月）

表７　販売面での効果への期待

	4ha以上	4ha未満
無農薬栽培、非ＧＭのナタネ油かす利用により、より消費者にアピール出来ると思うか	4.09	4.09

資料：アンケート調査（2007年11月）

このように、示された価格は、通常の油かすよりも高価となるが、その背景には希少であることもあるが、有機農業運動の主旨に沿っている部分への評価であると考えられる。他方で国産油かす利用により生産する有機農産物がより有利に販売できるならば、経済合理的でもある。そこでアンケートでは、国産ナタネ油かす利用が消費者へのアピールにつながると考えるかどうかについても質問した。その回答は表７に見るように、規模に関係なく４という回答である。表５はじめ他に集計した質問項目に対する肯定が４と５の間に有るのに対してこの回答は若干低いが、おおむね肯定的であるといえる。表７では階層間の差はないが、これを油かす購入上限価格75円を境に、それよりも高い価格を付けたグループと低い価格を付けたグループに分けて集計しても、有意差は見られない（4.19, n=37 ; 4.00, n=32）。

４　バイオ燃料への関心

表８　バイオ燃料への興味

	4ha以上	4ha未満
バイオディーゼルに興味がある	4.45	4.25
バイオエタノールに興味がある	4.36	4.17
木質バイオマスに興味がある	4.18	4.18

資料：アンケート調査（2007年11月）

次に、有機農業者のバイオ燃料に対する興味についてである。バイオディーゼル、バイオエタノール、木質バイオマスのそれぞれについて、興味があるかどうかを質問した。それぞれのバイオ燃料に対する回答の平均値を、４ha以上の層と４ha未満の層に分けて表８に示した。表に示されているように、両分類ともバイオディーゼル、バイオエタノール、木質バイオマスの全てに関して４と５の間にあり、肯定的な回答となっている。バイオ燃料全般に対する高い関心が示されているといえる。

次に、具体的にどのような用途としてバイオ燃料に興味があるかを見ておきたい。アンケートではバイオ燃料の用途について表９の選択肢を示し、興味の有無を複数回答するものとした。４ha以上、４ha未満の２つの分類のそれぞれの選択肢への回答数を表９に示した。その特徴は以下のように整理できる。

表９　興味のあるバイオ燃料

	4ha以上	4ha未満
トラクター等農業用機械の燃料	11 100.0%	54 81.8%
トラック等輸送用の燃料	9 81.8%	35 53.0%*
乾燥機の燃料	4 36.4%	12 18.2%
ハウスの暖房用燃料	0 0%	7 10.6%
自宅の暖房のような生活用の燃料	3 27.3%	42 63.6%**
興味がある（５～４の回答）	11	66

注.　*：10%水準で有意（フィッシャーの正確確率検定）
　　**：５%水準で有意（　〃　）
資料：アンケート調査（2007年11月）

まず、トラクター等農業用機械用の燃料が両分類とも共通してもっとも回答が多かった。これは有機農業者のバイオ燃料への興味が農業生産と関わっていることを示している。農業生産活動と環境の調和をはかろうとする有機農業運動の一環としてバイオ燃料に興味があると考えられる。一方、農業生産用の燃料であっても乾燥機、ハウスに対しては共通して回答率が低い。これは乾燥機、ハウスはそもそも全員が利用しているとは限らないため、回答率が低いと考えられる。トラック等に関してもおおむね関心が高いが、４ha以上層がより高い関心を示している。これは４ha以上層は専業的経営の性格が強く、小面積の生産者は自給的な性格が強いという違いから、生産物の出荷、流通における環境への配慮という視点に強弱が生じていると考えて良いだろう。

生活用燃料も階層間に差が示されている。４ha未満層は６割強の関心を示しているのに対して、４ha以上層では３割を切る。規模が小さい方が自給的農業の性格が強くなるとしたが、自家用燃料への興味もこれと同様の傾向を示していると言えよう。

さらに、「石油の高騰は経営を圧迫すると思うか」

表10　バイオ燃料の自家生産に対する意向

	4ha以上	4ha未満
石油の高騰は経営を圧迫すると思う	4.36	4.13
バイオ燃料の自家生産に興味がある	4.40	3.75**

注. **：５%水準で有意
資料：アンケート調査（2007年11月）

との問いに対して全般に肯定的な回答となっており、石油代替燃料に対する興味の背景には、昨今の石油高騰もあることが示唆される。一方、バイオ燃料の自家生産に関しては4 ha未満では3（どちらでもない）と4の中間を示しているのに対して、4 ha以上層は4を超える強い興味を示している。これはトラクターやコンバイン、乾燥機といった機械を使用する機会が多いかどうかが関係していると考えられる。機械利用の度合いの高い水稲を経営する場合には、燃料自給への関心も高くなると考えられる。水稲を経営していると回答した者は4 ha以上では11中7（64%）、4 ha未満では78中32（41%）であり、4 ha以上層は水稲経営農家と重複する率が高い。いま「バイオ燃料の自家生産に興味がある」に対する回答を、水稲経営の有無によって二つのグループに分けて集計すると、水稲経営有りのグループの平均は4.1、水稲経営なしのグループの平均は3.6と、表5と近似となり、有意差も同様に5％水準となる。常識的にも経営規模が大きいほど機械の使用が多くなるため、機械利用の度合いが高い階層の方がバイオ燃料の自家生産に興味を持つ傾向を有すると考えて良いだろう。

Ⅳ　考　　察

アンケート調査の結果、有機農業者の国産油かすに対する興味は高いことが明らかとなった。その国産油かすに対する興味は、国産であること、ＧＭでは無いこと、無農薬であることといった、環境配慮的な要素に対してであった。この三つの要素は肥料としての使用価値に影響を及ぼさないものといえる。それは物的特徴というよりも由来的特徴といえ、このような特徴を評価するのは、有機農業運動の主旨に沿うためと考えられる。このため広く有機農業者に共通すると考えられる。このことから、国産ナタネ振興にとって重要となる油かすの有利販売の有望な購買者として、有機農業者が位置づけられるといえよう。

二酸化炭素排出削減を目的としたバイオディーゼルの振興は、国内における油糧作物の生産拡大とセットで考えられる必要がある。このとき、ナタネはかつて国内で広範に栽培されていたこと、油の含有量が高いことから普及が期待される油糧作物である。また、小規模な機械搾油に適合的であり、産地による搾油が可能であるため、ナタネ生産から搾油までが地域内で行える。加えて、小型のバイオディーゼル転換機が普及しているため、油糧作物の生産から燃料化まで地域内で行える。このため地域振興の側面からも期待が大きい作物である。

一方で、ナタネは輸入品との競争によって作付面積が極端に縮小してしまった作物である。したがって食用の油糧作物が大量に生産されている国と異なり、日本では、農業におけるバイオディーゼルの生産に関する議論は、油糧作物の生産拡大から始めなければならない。そのため、農業におけるバイオディーゼルの生産・利用の議論と輸入品と対抗できるナタネ経営の議論を同時に行う必要がある。バイオディーゼルは廃食油を原料とするものであれば、既に都市部で普及しつつある。しかし農業における燃料目的の油糧作物の生産は、ごく限られた例*9以外はなく、それを構想することも難しい。これはそもそも現実に燃料化するほどの量の油糧作物が無いためであるが、その背景には輸入品価格と比較した場合の生産コストの高さがある。そのため食用・燃料用を問わずナタネの生産拡大が図られる必要があるが、それを可能とする新しいナタネ経営の在り方を模索することが、第一の関門となる。これについては野中[8]が示すように、営農集団により他の作物と機械を共有しながら効率的に栽培・収穫しつつ、地域内で搾油して地域特産品として販売する形態が一つの答であろう。実際に、新たにナタネ生産に取り組む産地では、自ら搾油するケースが見られる*10。ただし、国産ナタネ油は輸入品と比べ高価となるため、販売に苦労する例が多い。このため、食用油として販売できる範囲にナタネの作付けを制限せざるを得ないケースも出ている*11。もし、油かすが有利に販売できれば、食用油の販売に苦戦したとしても、ある程度のナタネ栽培面積を維持することが出来る。したがって機械作業の効率上、また栽培スキルの蓄積*12上、ある程度の栽培面積を確保することは、ナタネ普及上極めて重要である。

＊9　宗教施設や伝統行事の灯明用のナタネ油生産など。
＊10　岩手県一関市、秋田県小坂町、岩手県雫石町など
＊11　野中[8]が事例とした山形県金山町では、ナタネの作付面積は食用油の販売に連動したものとなっている。
＊12　ナタネ栽培が途絶えてから久しい地域がほとんどである。このため、ナタネの栽培スキルも失われている。播種時期、肥料の量、適する土壌等ナタネの収量に影響を与える要素は大きい。また、登録農薬がほとんど無い中で、病気を出さない事も重要であるが、ナタネは菌核病、根コブ病などアブラナ科に共通する病気にかかる。

野中[8]が示した油かすを有利販売した場合のナタネ普及の可能性は試算の範囲であり、油かすの購買者としてどのような農業者が期待できるか、どの程度の価格で販売できそうかといった具体的な点は不明であった。本稿で検討したアンケート調査結果は、有機農業者は国産ナタネ油かすに高い関心を持っており、野中[8]が自給型バイオディーゼルの可能性が見えてくる油かす価格とした50円／kgは現実性の有る水準であることを示していた。この水準は、自給的性格の強い4 ha未満層のみならず、面積的に圧倒的なシェアを占める4 ha以上層も含めた水準であった。このことから、国産ナタネ振興において有機農業者は油かすの需要者として重要な位置づけとなることが明らかになったといえる。

有機農業は化学薬品や化学肥料を使わないという点において、化石資源の使用削減を先取りしていた側面がある。このため二酸化炭素排出削減の視点から有機農業運動の先進性はあらためて評価されるべきものである。一方、二酸化炭素排出削減の視点は、有機農業におけるバイオ燃料への切り替えの議論を促すものとなろう。ただし、バイオディーゼルが農村部において、農家が利用できる免税軽油と同等の価格で安定的に流通することは、現状の軽油価格、バイオディーゼルのコストから考えて難しい。現在各地でバイオディーゼルが普及しつつあるとはいえ、都市部における廃食油を原料としたものが主流である*13。そのため、有機農業におけるバイオ燃料利用の問題は将来的な議論となろう。しかし、この二酸化炭素排出削減と有機農業の議論は、国産有機農産物と輸入有機農産物の競合を回避する議論に展開する要素を持っており、その意味で国内の有機農業運動を強化する可能性を持っている。有機農産物の輸入は無農薬バナナや有機栽培コーヒーの民衆貿易などの取り組みとして先駆的に行われてきたが、青果物の輸入拡大に伴って国内で生産されている野菜と直接競合する有機野菜の輸入が可能な状況となっている。実際に有機農産物が大量に輸入される可能性も否定できない。この時、有機農業運動が化学薬品等の排除の視点のみにとどまれば国産品と輸入品の間に違いはないことになる。しかし、有機農業運動が二酸化炭素排出削減の視点を備えるならば、輸送の過程でより多くの二酸化炭素を排出している輸入品との違いを明確化することが出来る。これは国内の有機農業を強化する要素ともなる。この点において有機農業運動にはバイオ燃料普及に合流する可能性を内包しているといえる。そのため、彼らはバイオ燃料普及を主体的に担うかどうかも明らかにすべき課題となる。

アンケート調査結果によれば、有機農業者はバイオ燃料に対しても、高い関心を持っていた。また、規模の大きい層はバイオ燃料の自家生産に対する関心が高かった。この背景には、最近の石油価格の高騰があると考えられるが、同時にバイオ燃料が有機農業運動の主旨に一致することがあるといえよう。ただし、規模が小さい層は消費財としてのバイオ燃料に高い興味を示したが、規模が大きい層は生産財としてのバイオ燃料に対する興味が強かった。規模が大きい層の興味が生産財としての興味であるということは、消費財以上にコスト的な側面が重要になると考えられる。今日、軽油の価格が上昇しているが、農業生産用機械には免税軽油が利用可能である。野中[8]の自給型バイオディーゼルの試算も免税軽油と入れ替わるには価格差が大きいことを示している。そのため現時点では彼らに利用可能なバイオディーゼル転換プラントが安価に利用できる条件が揃ったとしても、急速に普及するものとは考えにくい。消費財としての軽油は免税ではない上に、商品としての性格から考えても、高価格に対する許容度は生産財よりも高いと考えて良いだろう。そのため、農村部におけるバイオディーゼルの普及の戦略を考える場合、生活用バイオ燃料の普及の重要性が指摘できる。この点において小規模の有機農業者のバイオ燃料への興味も重要な要素であるといえる。

以上、本稿はバイオ燃料利用を射程に入れたナタネ生産振興の鍵となる油かすの需用者として有機農業者が位置づくかどうか、そして有機農業者はバイオ燃料利用拡大の推進者に位置づくかどうかを明らかにすることを課題とした。調査結果の分析により、有機農業者は国産ナタネ油かすの購買者として期待できることが明らかとなった。またバイオ燃料利用拡大の推進者となる可能性が示された。

本稿執筆時点では高品質なたね産地確立対策事業

＊13 廃食油は食品工場や小売店の物流基地（総菜を一括して加工するケースが多い）に集中して存在するが、このような施設は都市部および都市近郊に多い。このため、廃食油系バイオディーゼルは都市および都市近郊において生産し、生産した近隣で消費される事が合理的であり、現実にもそのような形で普及していると言える。なお、バイオディーゼルの購買者は岩手県盛岡市の事例では市役所，生協が主であり，岩手県雫石町の事例でも同様である。普及しつつあるとはいえ、軽油と同列というわけではない。

は終了することが予定されている。これに伴い水田転作としてナタネに取り組んできた産地では転作関係の交付金が残るが、畑作としてナタネに取り組んできた産地では交付金は基本的に無くなることになる。これは事業の対象となっていた産地にとって大きな問題であり、これを契機にナタネの作付面積が縮小する可能性を含んでいる。同事業の対象となっていない新しい産地でも油が売れないために作付けを制限する例も見られる。社会的な関心が高まっているとはいえ、ナタネを巡る状況は厳しいままであり、油かすの有利販売を含め、多様な生産支援システムを構築する必要がある。本稿の議論に沿って言えば、市町村や農協のような地域農業振興を立案する主体が転作集団の育成・支援、とくに土地利用調整面での支援を行うことが求められる。最近の新たなナタネ生産への取り組みは水田転作として取り組まれる場合が多いため、転作集団が生産する場合が多い。ナタネの効率的な生産のためには他の転作作物と同様、機械の効率的な利用、圃場の団地化が不可欠であり、この局面において地域農業振興を立案する主体の果たす役割は大きい。また、有機農業者は転作集団と関わらないケースも多いため、ナタネ生産と有機農業を連携させる局面においても、彼らの役割は大きいだろう。加えて、実際にバイオディーゼルを産地で生産する場合にはバイオディーゼル転換機およびその施設に対する支援も必要である。本稿では油かすの有利販売によるナタネ普及の可能性を示したが、その前提としてここに述べたような地域農業振興を立案する主体の支援・調整は不可欠である。

Ⅴ　本稿の分析・考察の位置づけ

日本では油糧作物の栽培は盛んではないため、国内で流通する食用油のほとんどは輸入された油糧作物を原料とする。現在、バイオディーゼル生産がさかんになりつつあるが、その原料は輸入原料由来の廃食油である。輸入原料由来であっても廃食油利用によるバイオディーゼルの普及は二酸化炭素排出削減の一環となるため、積極的に推進されるべきものである。この油糧作物の現状のため、日本におけるバイオディーゼルに関する議論は端緒的には廃食油利用に関するものが多くならざるを得ない。しかし、輸入原料由来のバイオディーゼル生産には、地域農業活性化や遊休農地の有効利用といった効果は期待できない。バイオ燃料生産を農業振興や地域活性化につなげるためには、国産油糧作物の生産拡大と連動して考えなければならない。そして、より本質的には燃料生産のための油糧作物普及も視野に入れる必要がある。

現状では国産ナタネは食用としてもコスト高となるため、バージンオイルの直接燃料化は、食用として搾ったものの在庫処理として考えることが現実的であろう。このとき、直接バイオディーゼル化したナタネの生産にかかったコストのうち、労働報酬は含まないにしても資材費として支払った分が回収できればギリギリの経済合理性は確保できるだろう。そして、食用として販売できる分はバイオディーゼルよりも高い価格が期待できるので、その価格に応じた労働報酬が得られるはずである。野中[8)]では収穫したナタネをすべてバイオディーゼル化する場合の試算であったが、食用油として販売できる部分があれば、その売上げに比例して労働報酬となる収入が得られる。本稿は野中[8)]の試算に立脚した議論だが、これは自家労賃評価をゼロまで切り下げることを前提とした、農家に負担を強いるナタネ普及の議論を意味するのではない。できるだけ早い時点で充分な収益性が確保される必要がある。そのためには効率的な機械作業、安定した収量が必要であり、この条件を実現するためにはナタネの栽培スキルが地域に根付く必要がある。したがって議論の性格としては、野中[8)]および本稿はナタネ普及を図る初期段階のものである。また、農業における燃料生産は、食糧生産と競合しない方策も極めて重要である。これは本稿の課題の範囲を超えているが、ナタネが大量に生産される段階では、耕作放棄地をはじめ、食糧生産と競合しない方式が必ず必要となる。その意味においても本稿はナタネ普及を図る初期段階の議論として位置づくものである。

現時点ではナタネに対する社会的な関心が高まる反面、栽培面積はごくわずかである。二酸化炭素排出削減を目的としたバイオディーゼルの普及は油糧作物の生産拡大を伴うことが望まれる。これを現実に推進することは長い時間を要する。一方で、バイオディーゼルのように小規模のプラントで生産可能なバイオ燃料の場合、出来るところから進めるという戦略も有効であろう。本稿はこのような視点に基づいたナタネ普及を図るための議論として位置づけられる。

Ⅵ 結　　語

本稿は有機農業者がナタネ生産振興の鍵となる油かすの購買者として、さらにバイオ燃料利用拡大の推進者に位置づくかどうかを明らかにすることを課題とした。日本有機農業研究会会員を対象とした郵送アンケート調査の結果、有機農業者の国産ナタネ油かすおよびバイオ燃料への関心の高さから、油かすの購買者として位置づけられることが明らかとなった。

地球温暖化対策としてバイオ燃料生産を振興するならば、ナタネを栽培し、地域で搾油・バイオディーゼル化する方式を模索しなければならない。国産ナタネの生産費は輸入ナタネよりも高いため、普及は容易ではないが、これまで農家側の販売品となっていなかったナタネ油かすを有利販売できれば、食用および燃料用のナタネ普及の可能性は大きくなる。有機農業者はバイオ燃料にも高い興味を示していることから、農業部門における温暖化対策を推進する主体として位置づく可能性が明らかとなった。

ナタネ普及が進み、大量の国産ナタネ油かすが国内で生産される段階では、石油由来の化学肥料を国産ナタネ油かすに置き換えることにより、農業部門における温暖化対策はさらに進むのだが、国産ナタネが極めて少量しか生産されていない現状では、ごく小規模の産地の育成のスケールで生産振興を考える必要がある。本稿はこのような現実に対応したものである。

燃料用油糧作物の生産は食糧生産と競合させない方式が不可欠である。食用として売れ残ったものをバイオディーゼル化する方式が端緒的に考えられるとしても、他の作物を生産できる農地を利用していることに変わりはない。耕作放棄地の利用を含め、食糧生産との競合回避のシステムが考えられなければならないが、残された課題となる。

引 用 文 献

1）Carriquiry, Miguel A..2007. A Comparative Analysis of the Development of the United States and Europiean Union Biodiesel Industries. Center for Agricultural and Rural Development Iowa State University, Briefing Paper 07-BP51.

2）Dalgaar, Tommy; Halberg, Niels; Porter Jhon R.. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. Agriculture ecosystems & Environment. 87：51-65

3）Jorgensen, Uffe; Dalgaard, Tommy; Kristensen, Erick, S. 2005. Biomass energy in organic farming - the potential role of short rotation coppice. Biomass & Bioenergy. 28：237-248

4）Kemp, William. 2006. Biodiesel: basics and beyond. Ontario. Aztext Press.

5）Pahl, Greg. 2005. Biodiesel Growing a New Energy Economy. Vermont. Chelsea Green Publishing Company

6）Sartori L.; Basso, B.; Bertocco, M.; Oliviero, G.. 2005. Energy use and Economic Evaluation of a Three Year Crop Rotation for Conservation and Organic Farming in NE Italy. Biosystems Engineering. 91(2)：245-256

7）後藤悦男. 1990. 養鶏. ゴトウテクニカル.

8）野中章久. 2007. 農家自給型ＢＤＦの可能性. 農業と経済. vol.73 No. 2：63-72.

9）松本達郎. 1977. 飼料中のグルコシノレートと家畜・家禽への影響. 日畜会報. 48(12)：691-700.

遺伝子組換えによるダイズわい化病抵抗性ダイズの作出

藤　郷　　誠*1)

抄　録：本研究では、北日本において甚大な被害を起こしているダイズわい化病の病原ウイルスである*Soybean dwarf virus*（SbDV）に抵抗性を持つ遺伝子組換えダイズの作出を行った。SbDVの外被タンパク質（*CP*）遺伝子の逆位反復配列とセンスSbDV *CP*遺伝子を導入したダイズをそれぞれ1と6系統作出した。SbDV *CP*遺伝子の逆位反復配列を導入して作出した後代系統はSbDV抵抗性を示し、その抵抗性は逆位反復配列由来のshort interfering RNA（siRNA）によるRNAサイレンシング機構によるものと考えられた。センスSbDV *CP*遺伝子を導入したダイズ6系統のうち、SbDV抵抗性が高いと考えられた系統番号6の個体群について、詳細にSbDV抵抗性機構を解析した。系統番号6のT_1個体群で、導入遺伝子の分離が確認され、3つの分離系統を獲得した。これら3系統のT_2個体群はSbDV抵抗性を示したが、そのうちの1系統は閾値モデルによるRNAサイレンシング機構によってSbDV抵抗性が付与されたと考えられた。以上のように、2種類の異なる構造の遺伝子の導入を行い、RNAサイレンシング機構によるSbDV抵抗性ダイズを作出した。

キーワード：ダイズ、ダイズわい化病、RNAサイレンシング、遺伝子組換え、抵抗性

Production of *Soybean dwarf virus*-resistant transgenic soybeans : Makoto TOUGOU*1)

Abstract : In an attempt to generate soybean plants resistant to *Soybean dwarf virus* (SbDV), which causes serious damage to soybean production in northern Japan, we transformed a construct containing inverted repeat-SbDV coat protein (*CP*) genes spaced by *β*-glucuronidase (*GUS*) sequences or sense *CP* gene into soybean somatic embryos via microprojectile bombardment. One and 6 independent T_0 plants were obtained, respectively. Former progenies exhibited SbDV resistance two months after inoculation by aphid. It was considered that these plants acquired the resistance to SbDV by an RNA-silencing-mediated process. Among the latter 6 transgenic lines, progenies of one line were subjected to further extensive analysis of SbDV-resistant response. In T_1 plants, the segregation of transgenes was confirmed, and three different lines were obtained. After inoculation of SbDV by the aphids, most T_2 plants of these lines remained symptomless. One transgenic line among the three lines acquired, presumably, resistance to SbDV by the RNA-silencing-mediated process from the threshold model. We transformed two different constructs into soybeans and produced SbDV-resistant transgenic soybeans mediated by RNA silencing.

Key Words : soybean, RNA silencing, SbDV, transgenic, resistance

＊1）東北農業研究センター（National Agricultural Research Center For Tohoku Region,Morioka,Iwate,020-0198, Japan）
2008年5月23日受付、2008年12月16日受理

目　　次

Ⅰ　緒論 ……201
Ⅱ　SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列を導入したSbDV抵抗性ダイズの解析 ……204
1　緒言 ……204
2　材料および方法 ……204
1）SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列発現プラスミドの構築 ……204
2）ダイズ遺伝子導入法 ……205
3）PCRによる導入遺伝子の確認 ……206
4）サザンブロット解析 ……206
5）ノーザンブロットによる導入遺伝子の発現解析 ……207
6）ノーザンブロットによるSbDV特異的RNAの検出 ……207
7）低分子RNA解析 ……207
8）アブラムシによる接種試験 ……207
3　結果 ……208
1）組換えダイズの作出 ……208
2）サザンブロットとノーザンブロットによるT_1組換えダイズの解析 ……208
3）T_1、T_2個体におけるSbDV接種試験 ……208
4）T_3個体におけるSbDV接種試験 ……209
4　考察 ……211
1）SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列導入ダイズの遺伝解析 ……211
2）SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列導入ダイズのSbDV抵抗性におけるsiRNAの関与 ……211
3）SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列導入ダイズのSbDV抵抗性の個体間差 ……212
Ⅲ　センスSbDV *CP*遺伝子を導入したSbDV抵抗性ダイズの解析 ……212
1　緒言 ……212
2　材料および方法 ……212
1）センスSbDV *CP*遺伝子強発現プラスミドの構築 ……212
2）ダイズ遺伝子導入法 ……213
3）PCRによる導入遺伝子の確認 ……213
4）サザンブロット解析 ……213
5）ノーザンブロットによる導入遺伝子の発現解析 ……213
6）ノーザンブロットによるSbDV特異的RNAの検出 ……213
7）低分子RNA解析 ……213
8）アブラムシによる接種試験 ……214
9）RNAドットブロットによるSbDV特異的RNAの検出 ……214
3　結果 ……214
1）組換えダイズの作出 ……214
2）T_1、T_2ダイズにおけるSbDV接種試験 …214
3）サザンブロットによる系統番号6の組換えダイズの解析 ……215
4）ノーザンブロットによる系統番号6のT_2ダイズの解析 ……215
5）系統番号6のT_2ダイズにおけるSbDV抵抗性と特異的RNAの検出 ……217
4　考察 ……218
1）系統番号6の遺伝解析 ……218
2）系統番号6の個体において想定されるSbDV抵抗性機構 ……218
3）系統番号6の個体間におけるSbDV抵抗性の程度の違い ……219
4）安定したSbDV抵抗性組換えダイズを獲得するために ……219
Ⅳ　総合考察 ……220
Ⅴ　引用文献 ……220

Ⅰ　緒　　論

ダイズわい化病は北日本において発生が確認され、特に北海道、青森県および岩手県で甚大な被害を及ぼしている（玉田　1975）。病原ウイルスは*Soybean dwarf virus*（SbDV）であり、感染したダイズは株全体のわい化、もしくは縮葉や葉の脈間黄化などの症状を示すとともに子実形成が著しく阻害されて大幅な収量減となり、また、収穫期になっても枯れ上がらない青立ち株となる（Fig. 1）。

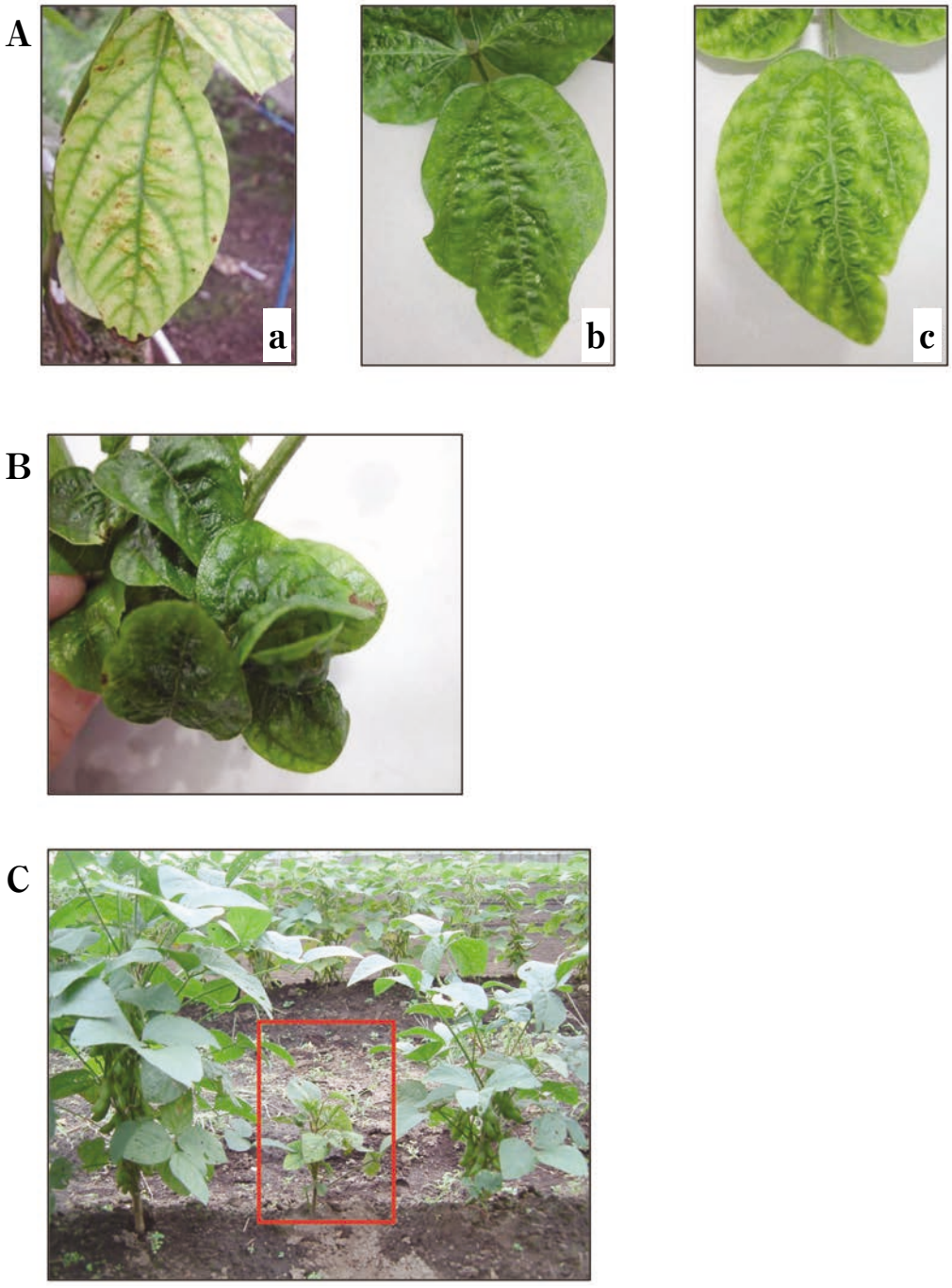


Fig. 1　Symptoms of SbDV infected soybean plants. Soybean plants ‘A’ were infected with SbDV Y strain. Symptoms of ‘a’, ‘b’ and ‘c’ were yellowing, shrinking and combination of yellowing and shrinking, respectively. Soybean plants ‘B’ was infected with SbDV D strain and exhibited symptoms of dwarfing. ‘C’ is appearance of SbDV infected soybean in the field.

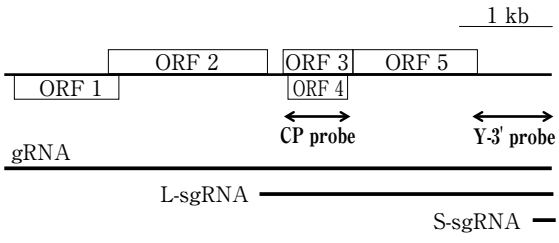


Fig. 2 Genome organization of SbDV

Open reading frames (ORFs) 1 and 2 encode replication-related proteins, ORFs 3, 4, and 5 encode the coat protein, a putative movement protein, and a readthrough domain (RTD), respectively. gRNA, genomic RNA; L-sgRNA, large subgenomic RNA; S-sgRNA, small subgenomic RNA. CP probe and Y-3' probe (Yamagishi *et al*. 2003) specific for *CP* region and 3' region of SbDV were used for Southern and northern hybridization analysis.

SbDVはルテオウイルス科（*Luteoviridae*）ルテオウイルス属（*Luteovirus*）に属し、5.7～5.9 kbのプラス鎖一本鎖RNAゲノムを持つ直径約25 nmの球状ウイルスである（土居ら 1968; 玉田 1975; Damsteegt *et al.* 1990; Rathjen *et al.* 1994）（Fig. 2）。SbDVは感染したダイズの病徴と宿主範囲の特異性からYP、YS、DPとDS系統に分類される（Terauchi *et al.* 2001）（Table 1）。YPとYS系統は、ダイズに縮葉や脈間黄化などの病徴を引き起こし、シロクローバ（*Trifolium repens* L.）に感染するがアカクローバ（*T. pretense* L.）には感染しない（玉田 1973; 玉田 1975; Damsteegt 1990; 御子柴ら 1991）。DPとDS系統はダイズにわい化や葉の小型彎曲化などの病徴を引き起こし、アカクローバに感染するがシロクローバには感染しない（玉田 1973; 玉田 1975; 高橋ら 1980; Damsteegt *et al.* 1990: 御子柴ら 1991; 本多ら 1999）。YSとDS系統はジャガイモヒゲナガアブラムシ（*Aulacorthum solani*）によって、YPとDP系統はエンドウヒゲナガアブラムシ（*Acyrthosiphon pisum*）とツメクサベニマルアブラムシ（*Nearctaphis bakeri*）によって永続的に伝搬される（玉田 1973; 玉田 1975; 御子柴ら 1991; 本多ら 1999）。SbDVは種子伝染せず、また、特定のアブラムシ種以外のアブラムシ種もしくは他の昆虫類では媒介されない。この媒介アブラムシ種が厳密に限定されるという性質は、SbDVが含まれるルテオウイルス科ウイルスの際だった特徴のひとつである（Herrbach 1999）。また、SbDVは、アブラムシによって永続的に媒介されるが虫体内では増殖せず、媒介様式は循環型である（Damsteegt *et al.* 1990）。国内に分布するSbDVの4系統それぞれに属する分離株のゲノム解析の結果により、YS（分離株M93-1, DDBJ. accession no. 038147）は5853塩基、YP（同M94-1, 038148）は5841塩基、DS（同HS97-8, no.038147 およびHS99-5, 076038）とDP（同M96-1, 038150）は5708塩基のゲノムRNAをそれぞれ持つことが明らかとなった（Terauchi *et al.* 2001）。SbDVはゲノムRNAが5つの翻訳読み取り枠（ORF）をコードしている（Rathjen *et al.* 1994）（Fig. 2）。SbDVは感染細胞においてゲノムRNA（gRNA）に加えて大小2種類のサブゲノムRNA（L-sgRNA, S-sgRNA）を合成する（Yamagishi *et al.* 2003）。L-sgRNAはORF 3 、 4 および 3 - 5 の翻訳を行い、S-sgRNAはSbDV感染葉において大量に安定して蓄積する。

SbDVが引き起こすダイズわい化病は北日本における大豆生産に深刻な被害を及ぼしているため、早急な抵抗性品種の育成が求められている。これまでに、北海道では「ツルコガネ」、「ツルムスメ」や「いわいくろ」といった抵抗性品種が育成・登録されてきたが、抵抗性強度は必ずしも充分ではないため、栽培には媒介アブラムシを減らすために殺虫剤の土壌施用と葉面散布が必要である。また、耕種的防除としてアブラムシの飛来時期をずらすための遅播があるが、北海道北部では利用できない技術であるため防除法としては不十分である。さらに、東北地方では有効なダイズわい化病抵抗性品種が未だ登録されていない。そこで、ダイズわい化病に対して、高度な抵抗性を持つ遺伝資源が見いだされていなか

Table 1 Classification of SbDV strains distributed in Japan.

Symptoms	Strain	Host plants		Aphid vector species	
		White clover (*Trifolium repens*)	Red clover (*T. pratense*)	*Aulacorthum solani*	*Acyrthosiphon pisum* *Nearctaphis bakeni*
Yellowing	YS	●		●	
	YP	●			●
Dwarfing	DS		●	●	
	DP		●		●

った背景より、本研究では遺伝子組換え技術を利用して、ダイズへわい化病抵抗性付与の可能性を調査することを目的とした。

植物ウイルスの遺伝子の一部を植物に導入することによってウイルス抵抗性植物の作出がこれまでに行われている。このような抵抗性付与技技術はPathogen-derived resistance（PDR）と呼ばれており（Sanford *et al.* 1985）、Powell-Abel *et al.*（1986）がタバコモザイクウイルス（*Tobacco mosaic virus*, TMV）の外被タンパク質（Coat protein, CP）遺伝子を導入した組換えタバコのTMVに対する病徴発現の遅延を報告して以来、数多くのウイルス抵抗性組換え植物が作出されてきた。Fitch *et al.*（1992）のパパイヤ輪紋ウイルス（*Papaya ring spot virus*, PRSV）抵抗性組換えパパイヤ、Tricoli *et al.*（1995）のキュウリモザイクウイルス（*Cucumber mosaic virus*, CMV）抵抗性組換えスクアッシュ、Wang *et al.*（2000）のオオムギ黄化萎縮ウイルス（*Barley yellow dwarf virus*, BYDV）抵抗性組換えオオムギやMissiou *et al.*（2004）のジャガイモYウイルス（*Potato virus Y*, PVY）抵抗性組換えジャガイモなどが実用作物の例として挙げられる。その中でもPRSV抵抗性組換えパパイヤとCMV抵抗性スクアッシュは一般圃場にて商業栽培されおり、防除が困難なウイルス病にPDRによって抵抗性を付与することは有効であることが認められている。

PDRにより、植物はタンパク質を仲介とした（protein-mediated）機構（Beachy 1999）あるいは、RNAを仲介とした（RNA-mediated）機構、特にRNAサイレンシング（Wang and Metzlaff 2005）と呼ばれる機構によりウイルス抵抗性を獲得することができると考えられている。タンパク質を仲介としたウイルス抵抗性の詳しいメカニズムは解明されていない（Bazzini *et al.* 2006）が、ウイルスの外被タンパク質遺伝子を蓄積した組換え植物は、*CP*遺伝子の由来となったウイルスに抵抗性を持つことが知られており、TMV抵抗性、CMV抵抗性（Cuozzo *et al.* 1988）、PVY抵抗性（Hemenway *et al.* 1988）等の組換えタバコを挙げることができる。一方、RNAを仲介としたウイルス抵抗性の組換え植物では、ウイルスのゲノムRNAを塩基配列特異的に分解するため、ウイルスの増殖が抑制される。これらの植物体が獲得した抵抗性は、転写後型ジーンサイレンシング（post-transcriptional gene silencing, PTGS）による現象と類似した機構によるものであること明らかになっている（Dougherty and Parks 1995; Baulcombe 1996; Wang and Metzlaff 2005）。PTGSを含む、相同性のあるRNAの分解機構はRNAサイレンシングと総称されている。このようなウイルス抵抗性は相同性依存型抵抗性（homology-dependent resistance）（Mueller *et al.* 1995）としても知られている。RNAサイレンシングと、その結果として起こるウイルス抵抗性を説明するために、二本鎖RNAによるモデルが提唱されており（Metzlaff *et al.* 1997; Waterhouse *et al.* 1998; Bass 2000）、それは次のように説明される。すなわち、二本鎖RNAはRNAサイレンシング機構において重要な役割を担っており、Dicer-like enzyme（DCL）（Carmell and Hannon 2004）と呼ばれる二本鎖特異的リボヌクレアーゼによって短い21から25塩基の二本鎖RNAに分解される。この短い二本鎖RNAはshort interfering RNA（siRNA）と呼ばれ、RNAサイレンシングが生じている指標とされている（Hamilton and Baulcombe 1999; Zamore *et al.* 2000; Elbashir *et al.* 2001）。siRNAはRNA-induced silencing complex（RISC）（Hammond *et al.* 2000）というエンドリボヌクレアーゼ活性を持つタンパク質の複合体に取り込まれ、相同性のある一本鎖RNAを切断する。ウイルス由来のsiRNAがRISCにプログラムされている植物は、RNAウイルスが侵入すると、RISCが速やかにウイルスRNAの分解を行うため、抵抗性を示すと考えられている。

また、二本鎖RNAは不安定な分子として、相同性のあるRNA分解を引き起こす要因となっている（Voinnet *et al.*1999; Bass 2000; Vaucheret and Fagard 2001）。RNAウイルスは感染細胞において二本鎖RNAを複製中間体として形成するため、この複製中間体がRNAサイレンシングの分解ターゲットともなりえる。ウイルスのゲノム領域と相同性のあるRNAが転写後に二本鎖RNAになるような構造を植物に導入すれば、積極的にRNAサイレンシングを起こすことで、相同性のあるウイルスRNAを特異的に分解し、抵抗性を付与することが可能であると考えられている（Waterhouse *et al.* 1998）。二本鎖RNAを生成する構造は逆位反復（inverted repeat , IR）配列と呼ばれる。Wang *et al.*（2000）はBYDVのポリメラーゼ領域のIR構造をオオムギに導入し、RNAサイレンシング機構によるBYDV

抵抗性オオムギを作出した。これまでに数多くの植物において、この方法により抵抗性組換え植物が得られている（Smith *et al.* 2000; Kalantidis *et al.* 2002; Chen *et al.* 2004; Missiou *et al.* 2004）。

しかし、RNAサイレンシング機構によるウイルス抵抗性メカニズムが明らかになるまでは、センス鎖のウイルス*CP*遺伝子のみが主に導入されてきた。すなわち、*CP*遺伝子が逆位に導入されるか、過剰発現することによって異常なRNAが転写され、偶発的にウイルス抵抗性が獲得できる。スクアッシュモザイクウイルス（*Squash mosaic comovirus*, SqMV）の22 kDaと42 kDaの2種類の*CP*遺伝子を導入した組換えスクアッシュは、RNAサイレンシング機構によりSqMV抵抗性となった（Jan *et al.* 2000; Pang *et al.* 2000）。この組換えスクアッシュ個体では、*CP*遺伝子のmRNAの蓄積はわずかであったが、核でのmRNAの転写は高レベルに行われていることが示された。

SbDVに対して抵抗性を持つ組換えダイズの報告はこれまでにないことから、本研究ではSbDVのゲノムRNA情報をもとにして、遺伝子領域をダイズに導入することによってSbDV抵抗性組換えダイズの作出を試みた。なお、SbDV *CP*遺伝子のIR構造とセンス鎖SbDV *CP*遺伝子の2種類の異なる導入用ベクターを準備し、SbDV抵抗性組換えダイズの作出を行ったことから、本研究はⅡ章とⅢ章に分けて説明する。

本研究の取りまとめに際し、岩手大学農学部・高畑義人教授、横井修司准教授、弘前大学農学生命科学部・原田竹雄教授、山形大学農学部・阿部利徳教授には、始終ご指導と本研究の審査、並びに校閲を賜った。また、東北農業研究センター　日高　操博士には研究推進全般にわたりご支援とご助言を頂いた。同センター（現所属　岩手大学）山岸紀子博士には導入遺伝子の解析手法のご指導とSbDV抵抗性検定法の確立に尽力を頂いた。同センター兼松誠司博士、酒井淳一博士、寺内英貴博士にはSbDVに関する基礎研究に尽力を頂いた。同センター　非常勤職員小林元子氏には実験支援にご協力頂いた。さらに、業務1科齋藤文隆氏には実験試料となる大豆生産に関して圃場の維持管理に協力を頂いた。また、京都府農業資源研究センター応用研究部　古谷規行博士にはパーティクルボンバードメントによるダイズ遺伝子導入法に関して、東北農業研究センターでのダイズ遺伝子導入実験系の確立にご指導とご教示を頂いた。さらに、同センター　静川幸明氏には農林水産省交付金プロジェクト研究「遺伝子組換え技術を応用した次世代型植物の開発に関する研究」における分担協力を頂いた。野菜茶業研究所　石田正彦博士には先輩職員として様々な助言を頂いた。これらの方々に感謝の意を表する。

Ⅱ　SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列を導入したSbDV抵抗性ダイズの解析

1　緒　　言

緒論で述べた通り、ウイルスのゲノム領域をIR構造に導入すれば、IR構造由来のウイルスの塩基配列と相同な二本鎖RNAがDCLによって分解され、siRNAになった後に、RISCに取り込まれ、相同性のあるウイルスRNAを切断すると予想される。こうして、難防除ウイルスに対し、植物に効果的に抵抗性を付与することが可能であると考えられる。

本研究ではSbDV *CP*遺伝子領域をIRに配置した構造をダイズに導入し、作出した遺伝子組換えダイズのSbDV抵抗性を調査した。

本研究の研究結果の一部は既に投稿論文にて発表されており（Tougou *et al.* 2006）、本研究では改変並びに補充されたデータを追加して記した。

2　材料および方法

1）SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列発現プラスミドの構築

SbDV *CP*遺伝子のセンス鎖断片とアンチセンス鎖断片を逆位反復に配列するため、SbDVのYP系統のcDNAクローン（DDBJ accession No. AB038148）（Terauchi *et al.* 2001）よりPCR反応にてそれぞれの断片を増幅した。*CP*遺伝子をコードする領域は塩基配列位置3035番目から3637番目である。SbDV *CP*遺伝子センス鎖とアンチセンス鎖断片の作製には制限酵素*Sac*Ⅰ認識サイトを含むフォワードプライマー（5′-TTGAGCTCATGGTCGCGGTTAGCAATGT-3′）と制限酵素*Kpn*Ⅰ認識サイトを含むリバースプライマー（5′-TTGGTACCCTATTTAGCATTCTGCGTTA-3′）を用いた。SbDV *CP*遺伝子センス鎖断片とアンチセンス鎖断片のスペーサー配列である*GUS*遺伝子の断片（670 bp）の作製には制限酵素*Bam*HI認識サイトを含むフォワードプライマー（5′-GGATCCGCAACGTCTGGATTCAGCGC-3′）と制限酵素*Kpn*Ⅰ認識サイトを含むリバー

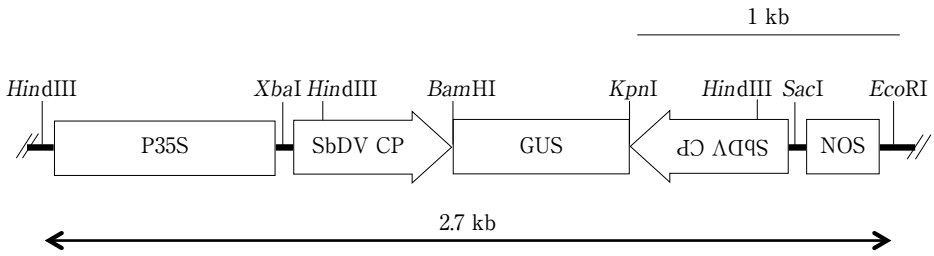


Fig. 3　Structure of plasmid used for transformation of inverted repeat-SbDV coat protein gene.

Plasmid pCP/IR/G contains inverted repeat-SbDV-*CP* genes, which are spaced by a *GUS* sequence, and driven by the 35S CaMV promoter.

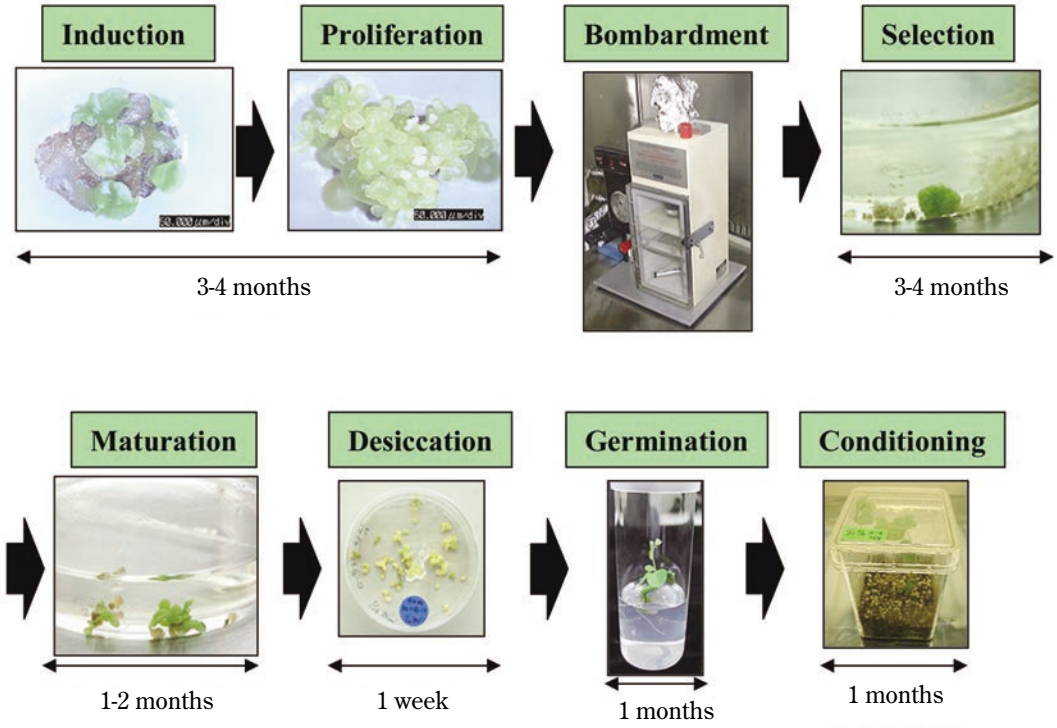


Fig. 4　Process of production of transgenic soybeans.

スプライマー（5′-GGTACCACGGTTTGTGGTTTAATCAGG-3′）を用いた。作製したPCR断片を、SbDV *CP*センス鎖、*GUS*遺伝子配列とSbDV *CP*アンチセンス鎖断片の順に*Cauliflower mosaic virus*（CMV）の35Sプロモーターと NOSターミネーターを持つプラスミドpBR322に挿入した。SbDV *CP*センス鎖断片の挿入の際には、5′末端の*Sac*I認識サイトと3′末端の*Kpn*I認識サイトを除去した平滑末端断片を35Sプロモーターの3′末端の*Xba*I認識サイトと*GUS*遺伝子の断片の5′末端の*Bam*HI認識サイトの間に挿入した。作製したプラスミドはpCP/IR/Gと名付けた（Fig. 3）。以上のように作製されたプラスミドは東北農業研究センター　日高操博士により分譲して頂いた。

2）ダイズ遺伝子導入法

ダイズへの遺伝子導入はパーティクルガンによるダイズ不定胚への導入法（Furutani and Hidaka 2004）を採用した（Fig. 4）。不定胚形成能が高い品種‘Jack’をガラス温室にて春期から夏期にかけて栽培した。開花後約10日の莢を採取し、表面を70%エタノールで消毒殺菌し、クリーンベンチ内で無菌操作により未熟種子を取り出した。滅菌シャーレ上で未熟種子の種皮を除去し、胚軸部位を切除した子葉部分の向軸側を下にして不定胚誘導用

MSD40固形培地（MS 無機塩、B5 ビタミン、サッカロース 30 g/l、2.4-D 40 mg/l、ゲルライト 2 g/l）に置床した。培養 3 週間後に、置床した子葉片の表面に不定胚が形成されるため、新鮮なMSD 40培地に移植した。さらに、 3 週間後に増殖した不定胚塊をMSD20固形培地（MS 無機塩、B5 ビタミン、サッカロース 30 g/l、2.4-D 20 mg/l、ゲルライト 2 g/l）に移植して増殖させた。同様の操作を 3 週間毎に行い、遺伝子導入用不定胚を増殖し、不定胚への遺伝子導入にはパーティクルガン（PDS 1000/He particle gun（Bio-Rad））を用いた。遺伝子導入条件はFurutani and Hidaka（2004）の条件に従った。すなわち、100 µlの金粒子（直径 1.0µm）懸濁液（60 mg/ml（50%グリセロール））に0.5 µgの導入用ベクターpCP/IR/Gと選抜マーカー遺伝子としてハイグロマイシン耐性遺伝子（hygromycin phosphotransferase, *hpt*）のベクターpE2113-HPT 0.5 µgをコーティングした。MSD20培地を入れたシャーレの中心部分（直径約 5 cm以内）に約20個の不定胚塊を置床し、ヘリウム圧1100 psi、ターゲット距離 9 cmで不定胚塊に 2 回ずつの遺伝子打ち込みを行った。打ち込み 7 日後に、遺伝子打ち込み操作をしたシャーレから半数の不定胚塊を、FNL液体培地（FN マクロ、MSマイナー、Fe-EDTA、B5ビタミン、サッカロース 10 g/l、2.4-D 5 mg/l、アスパラギン 1 g/l）を入れたカルチャーボトルに投入して、80 rpmで振とうして培養した。ハイグロマイシンによる遺伝子導入不定胚の選抜は、不定胚塊の液体培地投下 7 日後より開始した。 7 日ごとに液体培地を交換しハイグロマイシン濃度を徐々に上げていった。継代 2 回目までは20 mg/l、次の継代 4 回は30 mg/l、以降は40 mg/lで、ほとんどの不定胚塊が白化する中で、緑色を呈したハイグロマイシン耐性不定胚塊が生じるまで選抜培養を行った。ハイグロマイシン耐性と思われる不定胚塊を 1 個ずつ0S3SGM液体培地（FN マクロ、MSマイナー、Fe-EDTA、B5 ビタミン、サッカロース 30 g/l、ソルビトール 30 g/l、アスパラギン 1 g/l）に投入し80 rpmで振とう培養した。液体培地は 2 週間後に 1 度交換した。子葉型成熟胚を、培地等を含まない空の滅菌シャーレに置床し、発根を促すために乾燥処理を 7 日間行った。乾燥させた成熟胚をMS0 固形培地に置床して発根・発芽させた。発根・発芽し、生育旺盛な再分化個体は順化処理を行い、最終的に閉鎖温室にて育成した。

3）PCRによる導入遺伝子の確認

組換えダイズと非組換えダイズ（品種 Jack）の新葉（約50 mg）より、川崎（1997）の方法を改変した簡易ゲノム抽出法を用いてゲノムDNAを抽出した。すなわち、ダイズ組織に800 µlの抽出溶液（200 mM Tris-HCl（pH 7.5）、250 mM NaCl、25 mM EDTA、0.5% SDS）を加えてMicro Smash MS-100（TOMY）を用いて液状になるまで完全に破砕した。遠心分離（15,000 rpm、30分間、室温）を行い、磨砕液より植物残渣を取り除いた。上清液に中性TE飽和フェノールとクロロホルムをそれぞれ250 µlずつ添加し、完全に混和した。遠心分離（15,000 rpm、30分間、室温）を行い、水層を分離し、さらにクロロホルムを500 µl添加し、完全に混和した。遠心分離（15,000 rpm、 5 分間、室温）した後に水層において、アルコール沈殿を行い、最終的に200 µlのTEに溶解した。SbDV *CP*遺伝子の導入を検出するため、得られた抽出ゲノム溶液 1 µlを鋳型としてフォワードプライマー（ 5′-GGTCGCGGTTAGCAATGTCGCA-3′）とリバースプライマー（ 5′-ATTCTGCGTTAGGACATTGATCGA-3′）によるPCR反応を行った。反応条件は94℃、 5 minの後、94℃、1 min; 58℃、1 min; 72℃、 2 minを30サイクルプラス72℃、7 minで行った。増幅産物（592 bp）は1.5%アガロースゲル電気泳動により分画し、エチジウムブロマイド染色により確認した。

4）サザンブロット解析

組換えダイズと非組換えダイズの新葉（約50 mg）をMicro Smash MS-100を用いて粉砕し、DNeasy kit（Qiagen）を用いて付属マニュアルに従ってゲノムDNAを抽出した。5 µgのゲノムDNAを100 Unitの制限酵素*Eco*RIで16時間切断した後、0.8%のアガロースゲル電気泳動を行った。分画したDNAをナイロンメンブラン（Hybond-N$^+$; GE Healthcare Bio Sciences）にブロットした。SbDV *CP*遺伝子検出用のプローブには、PCRにより増幅したSbDV *CP*遺伝子のPCR産物（592 bp、CPプローブ（Fig. 2））を用いた。CPプローブのラベリング、ハイブリダイゼーションはAlkPhos Direct labeling module（GE Healthcare Bio Sciences）にて行った。ハイブリダイゼーション条件は58℃で18時間とした。メンブランに付着した過剰なプローブを、60℃プライマ

リーウオッシュバッファーを用いて30分間で3回、室温セカンドウオッシュバッファーを用いて5分間で2回洗浄した。標識の検出にはCDP Star Chemiluminescent Substrate（New England Biolabs）により付属マニュアルに従って行った。洗浄したメンブランをラップで包んでオートラジオグラフィー用カセットに入れ、Hyperfilm ECL（GE Healthcare Bio Sciences）をメンブランに密着させ、室温で2時間から12時間感光させることにより、導入遺伝子を確認した。

5）ノーザンブロットによる導入遺伝子の発現解析

組換えダイズと非組換えダイズの新葉（約50 mg）をMicro Smash MS-100を用いて粉砕し、Trizol Reagent（Invitrogen）を用いてtotal RNAを付属マニュアルに従って抽出した。SbDV *CP*遺伝子の転写を確認するため、total RNA 5 μgを、22%ホルムアルデヒドと1×MOPS（0.02 M 3-（N-モルホリノ）プロパンスルホン酸、5 mM酢酸ナトリウム、1 mM EDTA・2 Na、pH 7.0）を含む1.5%アガロースゲルで電気泳動を行い、ナイロンメンブランにブロットした。SbDV *CP* mRNA検出用のプローブのラベリング、ハイブリダイゼーションと標識の検出はサザンブロット解析と同様の手法と条件を用いた。

6）ノーザンブロットによるSbDV特異的RNAの検出

後述するアブラムシによる媒介試験において、SbDV感染の有無をウイルスゲノムRNAレベルで検出するため、ノーザンブロットによるSbDV特異的RNAの検出を行った。Trizol Reagentを用いて抽出したSbDV YP系統接種および非接種の組換えダイズと非組換えダイズの新葉（約50 mg）のtotal RNAを、ノーザンブロットによる導入遺伝子の発現解析と同様の方法を用いて電気泳動、ブロッティングおよびハイブリダイゼーションを行った。SbDV YP系統特異的検出用プローブにはYamagishi *et al.*（2003）によるY-3′プローブを用いた（Fig. 2）。

7）低分子RNA解析

前述と同様に抽出したtotal RNA 15 μgを15%変性ポリアクリルアミドゲルで電気泳動分画し、ナイロンメンブランにエレクトロブロットした。SbDV *CP*遺伝子由来siRNA検出のためジゴキシゲニン（DIG）標識RNAプローブを以下のように調整した。pBluescript SK（−）（Stratagene）の*Hinc*Ⅱサイトにアンチセンス SbDV *CP*遺伝子が導入されたプラスミド（pSV-CP4）を*Eco*RV処理し、in vitro転写用の鋳型を作製した。続いて、Megascript T7 kit（Ambion）とDIG RNA Labeling Mix（Roche Diagnostics）を用いた転写反応により、DIG標識SbDV *CP*アンチセンスRNAを合成した後、アルカリ加水分解により平均70から100塩基にしたものをプローブとした。メンブランをハイブリダイゼーション液（50% formamide, 2.5×SSC, 2% blocking reagent [Roche Diagnostics], 0.1% sarcosyl, 0.02% SDS）中で40℃、2時間プレハイブリダイゼーションした後、上記プローブを加えた新しいハイブリダイゼーション液に交換し、40℃で20時間ハイブリダイゼーションを行った。ハイブリダイゼーション終了後、洗浄液1（2×SSC、0.1% SDS）で5分間（室温）を2回、洗浄液2（0.1×SSC、0.1% SDS）で15分間（40℃）を2回洗浄し、メンブランに付着した過剰なプローブを除去した。次に、メンブランをバッファー1（0.1 M マレイン酸、0.15 M NaCl、pH 7.5）で5分間室温処理した後、ブロッキングバッファー（Blocking reagent：バッファー1＝1：9）で45分室温処理しブロッキングを行った。ブロッキング終了後、メンブランはAnti-Digoxigenin. AP. Fab fragments（Roche Diagnostics）をブロッキングバッファーで1/20000に希釈した抗体液中で30分間（室温）反応させた。抗体反応終了後、メンブランを洗浄液3（0.45% Tween-20を含むバッファー1）で20分間（室温）3回洗浄し、さらにバッファー4（0.1 M Tris-HCl、0.1 M NaCl、50 mM $MgCl_2$、pH 9.5）中で3分間（室温）振盪した。続いて1/150に希釈したCDP-Star Chemiluminescent Substrateをメンブラン上で5分間反応させ、メンブランをラップに包み、Hyper film ECLに30分間感光させた。

8）アブラムシによる接種試験

ウイルスを保持していない（ウイルスフリー）エンドウヒゲナガアブラムシ（北海道・芽室系統）をSbDV YP系統を維持したシロクローバ葉上に置き、15℃で5日間獲得吸汁させた後に健全ソラマメに移して15℃、7日間吸汁させ、SbDV YP系統感染ソラマメを作出した。このSbDV YP系統感染ソラマメにウイルスフリーのエンドウヒゲナガアブラムシを移し、15℃で7日間以上吸汁させて保毒させた。

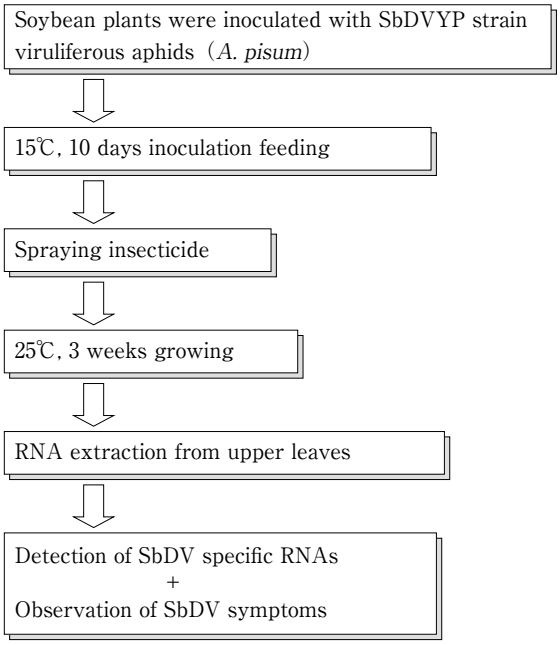


Fig. 5 Flow chart of testing soybean plants for SbDV resistance.

Fig. 6 Growing appearance of a transgenic soybean with the inverted repeat-coat protein genes of SbDV in glasshouse.

次に、SbDV YP系統保毒エンドウヒゲナガアブラムシ10頭を、播種後約１週間の組換えダイズと非組換えダイズの芽生えに移して15℃で10日間吸汁させた。接種期間終了後の各ダイズ芽生えに殺虫剤を噴霧した後、植物体を25℃、10,000 lux、16時間明期/８時間暗期に設定したグロースチャンバーにおいて生育させた。ウイルス感染の判定は、上葉における病徴の発現とノーザンブロットによるSbDV 由来RNAの検出により行った。アブラムシによる媒介試験のフローチャートをFig. 5に示した。

3 結　　果

１）組換えダイズの作出

ベクターpCP/IR/Gのダイズ不定胚への導入操作を70回（１回の導入操作は約20個の不定胚塊への２回のボンバードメントに相当）行い、３個体の再分化個体（T_0）を得た。*CP*遺伝子の導入は、PCRで*CP*遺伝子配列を増幅させることにより確認した（データ非掲載）。得られた３個体の再分化個体を閉鎖温室にて育成したが、２個体は枯死し、１個体のみからT_1種子が得られた。育成したT_1ダイズの閉鎖系温室における生育状況をFig. 6に示した。

２）サザンブロットとノーザンブロットによるT_1組換えダイズの解析

ベクターpCP／IR／G を導入して得られたT_1種子を播き、育成したT_1ダイズを供試した。56個体のT_1ダイズのうち38個体でPCR解析にて*CP*遺伝子の導入が確認された。38個体のPCRポジティブであった個体のうち３個体でCPプローブを用いたサザンブロットによる導入遺伝子の確認を行った。９本の*Eco*RI断片（3.2、3.5、4、4.4、4.9、5.2、5.5、6、7 kb）が検出され、調査した３個体のT_1ダイズ全てで同様なバンドパターンを示した（Fig. 7）。

サザンブロットを行ったT_1ダイズと同じ個体においてCPプローブを用いたノーザンブロットによる*CP*遺伝子の発現確認を行った（Fig. 8）。その結果、*CP*遺伝子の配列に相同なRNAの蓄積は認められなかった。一方、ポジティブコントロールであるSbDV YP系統感染個体のレーンでは、６ kb付近にゲノムRNAと３ kb付近に高分子サブゲノムRNAが検出された。

３）T_1、T_2個体におけるSbDV接種試験

PCR解析によりSbDV *CP*遺伝子が確認された38個体のT_1ダイズのうち、26個体にSbDV YP保毒アブラムシを接種した。８個体はSbDVの病徴を示さなかったためT_2種子を採取した。一方、ポジティブコントロールとして35個体の非組換え体のダイズにSbDV YP保毒アブラムシを接種したところ、30個体がSbDVに特異的な病徴を示した。サザンブロットとノーザンブロット解析を行ったT_1ダイズではSbDV YP保毒アブラムシ接種は行わず育成し、T_2

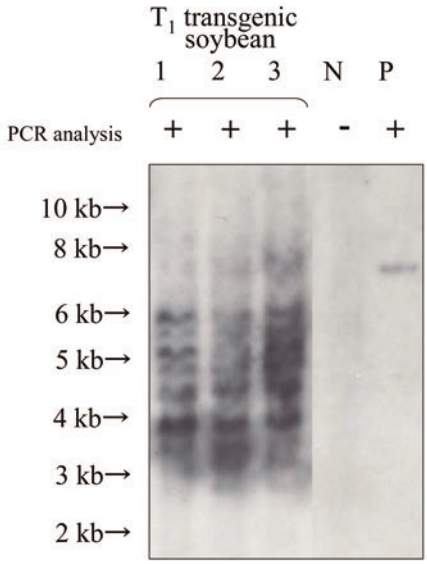


Fig. 7 Southern blot hybridization analysis of T_1 soybean plants.
Genomic DNA (5 μg) was digested with *Eco*RI, separated in 0.8% agarose gel, blotted onto membrane, and hybridized with *CP* gene probe. 'N', non-transformed soybean (cv. Jack); 'P', positive control (pCP/IR/G digested with *Eco*RI). 'PCR analysis' shows the presence or absence of amplified, 592-bp, SbDV-*CP* transgene PCR product.

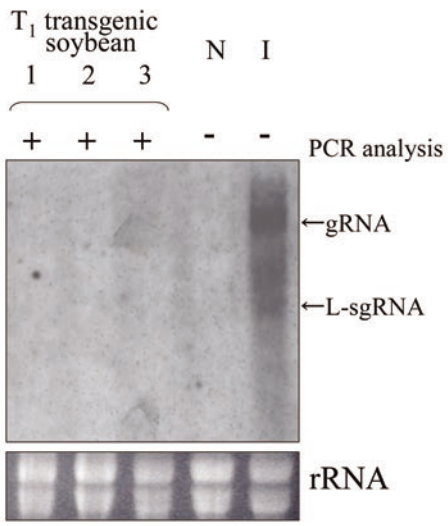


Fig. 8 Northern blot hybridization analysis of T_1 soybean plants.
Total RNA (5 μg) was used for northern blots, separated in denaturing 1.5% agarose gels with formaldehyde, blotted onto membrane, and hybridized with *CP* gene probe. 'N', non-transformed soybean (cv. Jack); 'I', infected soybean plant. gRNA, genomic RNA; L-sgRNA, large subgenomic RNA. 'PCR analysis' shows the presence or absence of amplified, 592-bp, SbDV-*CP* transgene PCR products. 'rRNA' shows equal loading from corresponding plant samples.

種子を採取した。Fig. 8の個体番号1のT_1ダイズから採取したT_2種子より育成した9個体について、PCRでSbDV *CP*遺伝子の有無を調査したところ、7個体についてSbDV *CP*遺伝子の保持が確認された。これら7個体のT_2ダイズとポジティブコントロールとして7個体の非組換え体のダイズにSbDV YP保毒アブラムシを接種した。接種1ヶ月後にSbDV特異的RNAの蓄積をノーザンブロットにて解析した。7個体のT_2ダイズ中3個体においてSbDV特異的RNAは検出されなかった（Fig. 9 A）。これらの個体は接種2ヶ月後においてもSbDV特異的病徴を示さず、ELISA検定によりウイルスタンパク質の蓄積も確認できなかった（データ非掲載）。一方、非組換えダイズでは、7個体中6個体において、SbDV特異的病徴が観察され、着莢しなかった。

一本鎖CP RNAプローブを用いてノーザンブロットによるSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAの検出を行った（Fig. 9 B）。SbDVに感染したダイズにはSbDV特異的RNAとSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAの両方が蓄積していた。一方、SbDVに感染しなかった3個体のT_2ダイズではSbDV特異的RNAは検出されなかったが、SbDV *CP*遺伝子特異的siRNAは蓄積していた。

4）T_3個体におけるSbDV接種試験

SbDV YP保毒アブラムシ接種後、SbDV抵抗性を示した13個体のT_3ダイズを選抜して、さらに解析を行った（Fig. 10）。これらのT_3ダイズはT_1世代でサザンブロット解析とノーザンブロット解析、T_2世代でSbDV接種試験を行った個体群とは異なり、別に閉鎖温室にて世代を促進させるために得られたものである。13個体のSbDV抵抗性T_3ダイズの葉よりtotal RNAをSbDV接種前と接種後1ヶ月目に抽出した。これらのT_3ダイズにおいて接種後1ヶ月目ではSbDV特異的RNAは検出されなかったが（Fig.

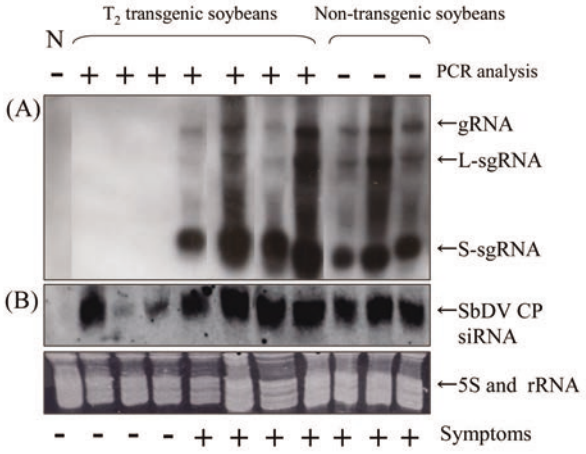


Fig. 9 Detection of SbDV virion by northern blot hybridization analysis with Y-3' probe and accumulation of SbDV-*CP* homologous siRNA.

（A）Detection of SbDV specific RNAs. Total RNA（10μg）inoculated with SbDV was used for northern blot hybridization using Y-3' probe to detect the SbDV virion.

（B）Detection of SbDV-*CP* homologous siRNA. Total RNA（15μg）inoculated with SbDV was used to detect the accumulation of siRNA. Hybridization was performed with single-stranded *CP* RNA probe, which was hydrolyzed to lengths averaging 100 nt.

'N', non-inoculated soybean（cv. Jack）. gRNA, genomic RNA; L-sgRNA, large subgenomic RNA; S-sgRNA, small subgenomic RNA. '5S and rRNA' shows equal loading across the lanes. 'PCR analysis' and 'Symptoms' show the presence or absence of amplified, 592-bp, SbDV-*CP* transgene PCR products and severity of viral symptoms in mature plants from corresponding plant samples.

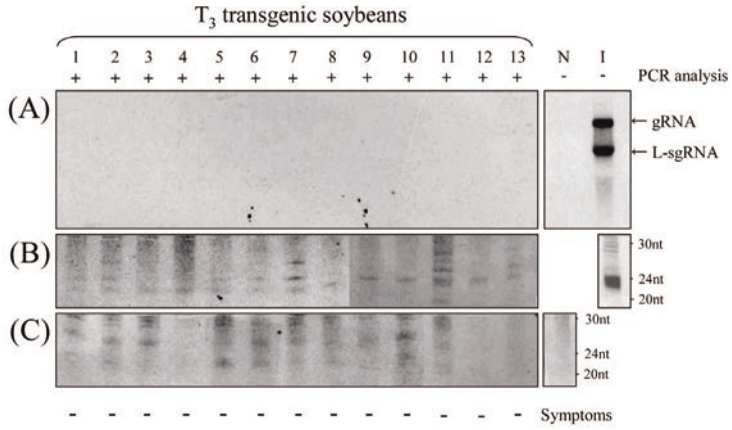


Fig.10 Detection of SbDV virion in T_3 soybean plants by northern blot hybridization analysis with the CP probe and accumulation of SbDV-*CP* homologous siRNA before and after inoculation with SbDV.

（A）Detection of SbDV specific RNAs. Total RNA（10μg）inoculated with SbDV was used for northern blot hybridization using the CP probe to detect the SbDV virion.

（B）Detection of SbDV-*CP* homologous siRNA after inoculation.

（C）Detection of SbDV-*CP* homologous siRNA before inoculation.

Total RNA（15μg）inoculated with SbDV was used to detect the accumulation of siRNA. Hybridization was performed with single-stranded *CP* RNA probe, which was hydrolyzed to lengths averaging 100 nt.

'N', non-inoculated soybean（cv. Jack）. 'I', infected soybean plant. gRNA, genomic RNA; L-sgRNA, large subgenomic RNA. 'PCR analysis' and 'Symptoms' show the presence or absence of amplified, 592-bp, SbDV-*CP* transgene PCR products and severity of viral symptoms in mature plants from corresponding plant samples.

10 A)、SbDV *CP*遺伝子特異的siRNAは蓄積していた（Fig. 10 B)。一方、接種前に抽出しておいたtotal RNAを用いて、SbDV *CP*遺伝子特異的siRNAの検出を試みたところ、蓄積が確認された（Fig. 10 C)。

4 考　　察

1）SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列導入ダイズの遺伝解析

T_1ダイズ56個体について、PCRによりSbDV *CP*遺伝子を増幅したところ、遺伝子特異的バンドが検出された個体と検出されなかった個体の比率が、38：18であった。この分離比についてカイ2乗検定を行ったところ、χ^2=1.52（0.3 > p > 0.1）となり、3：1の分離比に近似していた。このことより、サザンブロット解析により示された導入断片は同一染色体上に存在し、連鎖していると考えられた。

導入したSbDV *CP*遺伝子の全長を含む、35Sプロモーター5′末端の*Hin*d IIIサイトからNOSターミネーター3′末端の*Eco*RIサイトまでの領域の距離は約2.7 kbである。一方、得られたSbDV *CP*遺伝子IR配列導入ダイズの9本の*Eco*RI断片はいずれも2.7 kb以上であるため、導入遺伝子の分断も考えられるものの、いずれかの断片は35SプロモーターからNOSターミネーターまでの全長の導入単位が含まれていると考えられる。

サザンブロット解析でSbDV *CP*遺伝子の導入が確認された3個体のT_1ダイズにおいて、ノーザンブロットによる同遺伝子のmRNAの発現解析行ったところ、3個体全てmRNAの蓄積が認められなかった。この発現抑制は、SbDV *CP*遺伝子をIR配列として導入することにより、目的通りRNAサイレンシングが生じた結果であるか、あるいは、導入遺伝子のメチル化によって転写が阻害された結果である可能性がある。しかし、導入遺伝子の断片化やリアレンジメントの可能性も否定できない。パーティクルボンバードメントによる遺伝子導入にはプラスミド全体が利用され、目的遺伝子とともに余分なベクターバックボーンの配列もホスト生物のゲノムDNAに導入される（Fu *et al.* 2000; Reddy *et al.* 2003)。ベクターバックボーン配列は導入遺伝子のリアレンジメントを引き起こす。また、パーティクルボンバードメントによる遺伝子導入では、一般的に、導入遺伝子がゲノム上に多コピー導入される。同じプロモーター領域が多コピー導入されると、プロモーター領域のメチル化、転写因子の結合阻害、クロマチン構造の変化などにより、しばしば転写型ジーンサイレンシング（transcriptional gene silencing, TGS）が起こり、導入遺伝子のmRNAが転写されなくなる（Ng and Bird 1999; Matzke *et al.* 2000; Vaucheret and Fagard 2001)。本研究でサザンブロットとノーザンブロット解析を行ったT_1ダイズでは、SbDV保毒アブラムシ接種前のSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAの検出を実行していないが、これらの解析をしたT_1ダイズとは別に育成したT_1とT_2ダイズから得られたT_3ダイズにおいてSbDV保毒アブラムシ接種前に抽出したtotal RNAを用いて、SbDV *CP*遺伝子特異的siRNAの検出を試みたところ、蓄積が確認された。このことにより、本研究で得られたSbDV *CP*遺伝子IR配列導入ダイズは、導入遺伝子由来のRNAが自己相補的にヘアピン構造を取り、二本鎖RNAとなり、RNAサイレンシングを誘導している可能性が示された。

2）SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列導入ダイズのSbDV抵抗性におけるsiRNAの関与

サイレンシングされた遺伝子の塩基配列に特異的な21から23塩基のsiRNAの生産は、RNAサイレンシングの指標である。SbDVに感染した4個体のT_2ダイズでは、SbDV特異的RNAとSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAが蓄積していた。一方、SbDV特異的病徴を示さなかった3個体のT_2ダイズでは、SbDV特異的RNAは検出されず、SbDV *CP*遺伝子特異的siRNAのみが蓄積していた。ウイルス由来の遺伝子を導入した植物のウイルス抵抗性は、RNAサイレンシング機構が重要な役割を果たしており、これらの抵抗性植物において蓄積したsiRNAを検出している（Vazquez Rovere *et al.* 2001; Kalantidis *et al.* 2002)。pCP/IR/Gを導入したT_2ダイズはRNAサイレンシングによるSbDV抵抗性を獲得したと考えられた。しかし、サザンブロットとノーザンブロット解析を行ったT_1ダイズでは、SbDV保毒アブラムシ接種前のSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAの検出を実行していなかった。従って、その抵抗性がRNAサイレンシングによるものである確証を得るために、SbDV YP保毒アブラムシ接種後、SbDV抵抗性を示した13個体のT_3ダイズを選抜して、さらに解析を行った。これらのT_3ダイズは、接種前後でSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAは蓄積しており、接種後1ヶ月目ではSbDV特異的RNAは検出されなかった。このことより、本研究で得られたSbDV *CP*遺伝子

IR配列導入ダイズは、RNAサイレンシング機構によるSbDV抵抗性を示したと考えられる。

3）SbDV *CP*遺伝子逆位反復配列導入ダイズのSbDV抵抗性の個体間差

ルテオウイルス属のウイルスは遺伝子組換えによる抵抗性付与が困難であるといわれている（Barker and Waterhouse 1999）。Wang *et al.*（2000）はアグロバクテリウム法により、ルテオウイルス属であるBYDVのポリメラーゼ領域の二本鎖RNAを転写する構造を導入した組換えオオムギを作出し、その子孫の解析で、1コピーの導入遺伝子がBYDV抵抗性に関与することを明らかにしている。一方、パーティクルボンバードメントで作出した遺伝子組換え植物は遺伝子が複雑に導入されることが知られており、本研究においても、導入遺伝子が含まれていると考えられる9本の*Eco*RI断片が検出された。PCR解析にてSbDV *CP*遺伝子の導入が確認された7個体のT_2ダイズのうち4個体は、導入遺伝子を保持しているにもかかわらずSbDV保毒アブラムシ接種試験においてSbDV特異的病徴を示した。すなわち、T_2世代では抵抗性個体と感受性個体が混在していた。パーティクルボンバードメント法により多コピーの*GUS*遺伝子が導入された組換えダイズのT_2個体間において、*GUS*遺伝子の発現に顕著な差があり、その差はプロモーター、あるいはコード領域のメチル化の程度によって異なることが報告されている（Reddy *et al.* 2003）。本研究においても、導入したSbDV *CP*遺伝子IR配列のメチル化の程度が個体ごとに異なり、生産されるsiRNAの量に影響を及ぼしていることが考えられる。今後は35Sプロモーター領域やSbDV *CP*遺伝子IR配列のメチル化の程度を調べ、SbDV抵抗性の有無との関連を調査する必要がある。

さらに、本研究でSbDV保毒アブラムシを接種したSbDV *CP*遺伝子IR配列導入個体群は、導入遺伝子がホモとヘミの状態が混在した個体群である。導入遺伝子がホモ化されると、ゲノム中の目的遺伝子量が2倍になるため、ヘミ個体とmRNAの転写量に差が生じることが考えられる。Aida and Shibata（1998）は、*GUS*遺伝子を導入したトレニアを作出し、*GUS*遺伝子がヘミ状態のトレニアはGUSが発現しているが、ホモ状態になると、転写されるmRNA蓄積量がある一定値以上を超えると、mRNA分解の方向に働き出す、閾値モデル（Smith *et al.* 1994）によるRNAサイレンシングが起こり、GUSが発現しなくなると報告している。従って、導入遺伝子がホモあるいはヘミ状態のいずれであるのかが、RNAサイレンシングによるSbDV抵抗性に影響を及ぼしていると考えられる。

本研究で得られたSbDV *CP*遺伝子IR配列導入ダイズのT_4世代以降の個体で、SbDV保毒アブラムシ接種による抵抗性検定を継続するとともに、それらの個体において導入遺伝子の分離とメチル化の2点について詳細に解析することによって、SbDV *CP*遺伝子IR配列から安定したsiRNAの生産が行われ、RNAサイレンシング機構によるSbDV抵抗性を持つ遺伝子組換えダイズ固定系統を得ることができると考えられる。

Ⅲ　センスSbDV *CP*遺伝子を導入したSbDV抵抗性ダイズの解析

1　緒　　言

Ⅱ章においてSbDV抵抗性のSbDV *CP*遺伝子IR構造導入組換えダイズを作出した。しかし、緒論で述べた通り、組換え植物でRNAサイレンシング誘導によるウイルス抵抗性メカニズムが明らかになるまでは、センス鎖のウイルス*CP*遺伝子のみが主に導入されてきた経緯がある。すなわち、*CP*遺伝子が過剰発現することによって異常なRNA転写と認識され、偶発的にRNAサイレンシングが誘導され、ウイルス抵抗性が獲得できる。もしくは、導入した*CP*遺伝子よりmRNAが転写され、CPへと翻訳され、タンパク質を仲介とした機構によりウイルス抵抗性を獲得することも考えられる。

Ⅲ章ではセンス鎖のSbDVの*CP*遺伝子領域を導入した遺伝子組換えダイズを作出し、そのSbDV抵抗性を調査した。

本研究の結果の一部は既に投稿論文にて発表されており（Tougou *et al.* 2007）、本研究では改変並びに補充されたデータを追加して記した。

2　材料および方法

1）センスSbDV *CP*遺伝子強発現プラスミドの構築

Ⅱ章のSbDV *CP*遺伝子IR配列発現プラスミドの構築時と同様に、SbDVのYP系統のcDNAクローンより制限酵素*Xba*I認識サイトを含むフォワードプライマー（5′-TTTCTAGAATGGTCGCGGT-TAGCAATGT-3′）と制限酵素*Sac*I認識サイトを

含むリバースプライマー（ 5′-TTTTTGAGCTC-TATTTAGCATTCTGCGTTA-3′）を用いたPCR反応にて、SbDV *CP*遺伝子をコードする領域を増幅し、得られたPCR産物を*Xba*Iと*Sac*Iで処理し、pE2113（Mitsuhara *et al.* 1996）の同制限酵素サイトに導入した。pE2113は35Sプロモーターの上流部にエンハンサーが二つ並んだEl2を持ち、下流部にΩ配列をもつ高発現タイプのベクターである。作製したプラスミドをpEl2Ω-SbDVCPと名付けた（Fig. 11）。以上のように作製されたプラスミドは東北農業研究センター　日高　操博士により分譲して頂いた。

2）ダイズ遺伝子導入法

ダイズへの遺伝子導入は、Ⅱ章と同様のパーティクルガンによるダイズ不定胚への導入法を用い、pEl2Ω-SbDVCPとpE2113-HPTをCo-transformationにより遺伝子導入を行った。

3）PCRによる導入遺伝子の確認

Ⅱ章と同様の方法を用い、作出した遺伝子組換えダイズのPCRによるSbDV *CP*遺伝子の導入確認を行った。

4）サザンブロット解析

作出した遺伝子組換えダイズ葉のゲノムDNAを制限酵素*Sac*Iで切断する以外は、Ⅱ章と同様の方法を用いて、ハイブリダイゼーションによる導入遺伝子の検出を行った。

5）RNA抽出

RNA抽出はacid-guanidium-phenol-chloroform method（AGPC法）（van den Heuvel *et al.* 1999）を用いた。すなわち、組換えダイズと非組換えダイズの新葉（約50 mg）に750 µlのGTC溶液（4 Mグアニジンチオシアン酸塩、25 mM クエン酸二ナトリウム水和物、0.5%ザルコシル、100 mM 2-メルカプトエタノール）を加えてMicro Smash MS-100を用いて液状になるまで完全に磨砕した。磨砕液に75 µlの2 M 酢酸ナトリウム溶液（pH 4.0）を加えて激しく撹拌し、続いて水飽和フェノールを750 µl加えて激しく撹拌した後、150 µlのクロロホルムを加えて激しく撹拌して完全に混合した。氷水中に静置した後遠心分離（15,000 rpm、15分間、 4 ℃）を行い、RNAを含む水層を回収した。回収した水層に等量の2-プロパノールを加えて撹拌し、氷水中に1時間静置した。静置後遠心分離（15,000 rpm、10分間、 4 ℃）により得たRNAの沈殿を100 µlの滅菌蒸留水に溶解した（RNA粗抽出液）。RNA粗抽出液より、導入遺伝子の転写産物やSbDVゲノムRNAを含む高分子量RNA（high-molecular-weight RNA, HMW-RNA）とsiRNAを含む低分子量RNA（low-molecular-weight RNA, LMW-RNA）を分画するために、50 µlの24%ポリエチレングリコール6000・2.2 M NaCl溶液を添加し、氷水中に1時間静置した。HMW-RNAを含む沈殿は20 µlの滅菌蒸留水に溶解し、ノーザンブロットに利用した。LMW-RNAを含む上清はエタノール沈殿を行った後、12 µlの滅菌蒸留水に溶解し、siRNAの解析に用いた。

6）ノーザンブロットによる導入遺伝子の発現解析

上記により得られたHMW-RNA溶液の半量である10 µlを用いて、SbDV *CP*遺伝子の転写を確認した。プローブには加水分解処理を行わない全長一本鎖DIG標識SbDV CPアンチセンスRNAを用い、ハイブリダイゼーションと洗浄を35℃で行った以外は、Ⅱ章と同様の方法を用い、ハイブリダイゼーションとシグナルの検出を行った。

7）低分子RNA解析

上記により得られた12 µlのLMW-RNA溶液を用

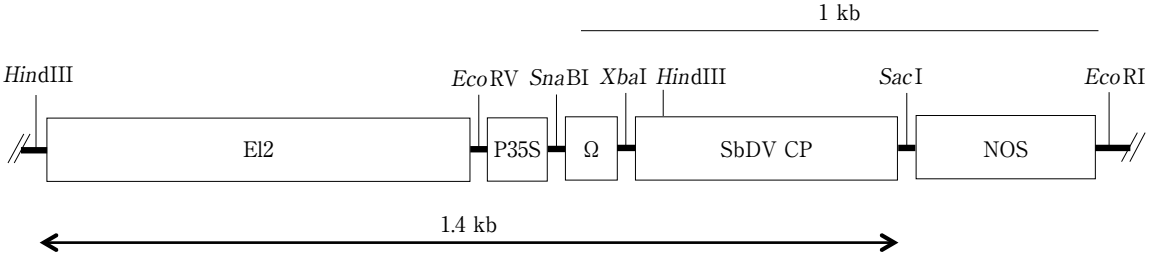


Fig. 11　Structure of plasmid used for transformation of sense SbDV-*CP* gene.

Plasmid pEl2Ω-SbDVCP contains the sense SbDV-*CP* gene. 'El2', 5' upstream sequence of the CaMV 35S promoter ×2; 'P35S', CaMV 35S promoter; 'Ω', 5' untranslated sequence of TMV.

いてSbDV *CP*遺伝子と相同性のあるsiRNAの検出を行った。ハイブリダイゼーションと洗浄を35℃で行った以外はⅡ章と同様の方法を用い、ハイブリダイゼーション、シグナルの検出を行った。

8）アブラムシによる接種試験

SbDV YP保毒アブラムシの増殖とダイズへの接種は、媒介アブラムシにツメクサベニマルアブラムシを用いること以外はⅡ章と同様の方法を用いた。ウイルス感染の判定は、接種3週間後のRNAドットブロット分析によるSbDV由来RNAの検出と、接種2ヶ月後の上葉における病徴の発現観察により行った。

9）RNAドットブロットによるSbDV特異的RNAの検出

アブラムシによる接種試験において、SbDV感染の有無を簡便にウイルスゲノムRNAレベルで検出するため、Yamagishi *et al.*（2006）によるRNAドットブロットによるSbDV特異的RNAの検出を行った。すなわち、前述の方法により得たSbDV YP接種・非接種の組換えダイズと非組換えダイズの新葉（約50 mg）のtotal RNA を含む40 μlのRNA粗抽出のうち、10 μlを30 μlの変性溶液（10×SSC、18.6%ホルムアルデヒド液）を加えて混和し、65℃で20分間処理したあと、氷水中にて急冷し、ドットブロットに供するサンプルとした。RNAドットブロットは次の通り行った。20×SSCで全処理したHybond-N$^+$をImmnodot AE-6190 dot blotting apparatus
（ATTO）にセットし、ウェルを10×SSCで洗浄し、RNAをウェルにアプライした。続いて、ウェルを10×SSCで洗浄し、洗浄後のメンブランを20×SSCで処理した後、ベーキングを行い、RNAをメンブランに固定した。メンブランのハイブリダイゼーションおよびシグナルの検出はⅡ章と同様の方法を用いた。

3 結　　果

1）組換えダイズの作出

ベクターpEl2Ω-SbDVCPのダイズ不定胚への導入操作 を294回行い、10個体の再分化個体（T_0）を得た。SbDV *CP*遺伝子の導入は、PCRで*CP*遺伝子配列を増幅させることにより確認した（データ非掲載）。得られた10個体の再分化個体を閉鎖温室にて育成したが、4個体は枯死し、6個体からT_1種子が採取された。それぞれの再分化個体は、異なるハイグロマイシン選抜カルチャーボトルより生じたことから独立の遺伝子導入個体である。T_0再分化個体から得られたT_1種子群に、収穫した順に1から6番の系統番号を付した。

2）T_1、T_2ダイズにおけるSbDV接種試験

SbDV *CP*遺伝子導入個体群のSbDV接種試験の結果をTable 2に示した。導入遺伝子の確認はSbDV保毒アブラムシを接種する前にPCR解析にて行った（データ非掲載）。SbDV保毒アブラムシ接種2ヶ月後に特異的病徴を示したものをSbDV感染ダイズと判定した。系統番号1のT_2ダイズは11個体中8個体がSbDVに感染しなかったが、T_1とT_2ダイズの合計では34個体中20個体がSbDV特異的病徴を示したので、SbDV抵抗性は低いと考えられた。系統番号2のT_1とT_2個体群は検体数が少ないが、合計で11個体中8個体がSbDV特異的病徴を示したので、SbDV抵抗性は低いと考えられた。系統番号3のT_1個体群は調査した9個体全てがSbDVに感染しなかったが、T_2個体群において26個体中18個体がSbDV特異的病徴を示したので、SbDV抵抗性は低いと考えられた。系統番号4と5では、採取できた種子が少なかったため、T_1ダイズではSbDV接種を実行せず、T_2ダイズでも接種検体数が少ないため、SbDV抵抗性を判別するには不十分であった。系統番号6のT_1ダイズは3個体全てSbDVに感染せず、T_2ダイズは39個体中10個体でSbDV特異的病徴を示した。しかしながら、T_2ダイズの残りの29個体はSbDV特異的病徴を示さず、正常の発育を示し、多数の種子を付けて非組換え体との生育に差異を示さなかったことから系統番号6の個体群をSbDV抵抗性の詳細な解

Table 2 Infection rates of transgenic soybean lines with SbDV-*CP* transgene inoculated with SbDV by aphid.

Line	T_1	T_2	Total
1	17/23[a](14/15)[b]	3/11(7/ 8)	20/34(21/23)
2	0/1(16/20)	8/10(11/13)	8/11(27/33)
3	0/9(29/34)	18/26(14/16)	18/35(43/50)
4	n.t[c]	4/ 7(10/10)	4/ 7(10/10)
5	n.t	1/11(12/12)	1/11(12/12)
6	0/3(5/ 6)	10/39(16/16)	10/42(21/22)

[a] Number of infected transgenic soybeans/total number of inoculated transgenic soybeans
[b] Number of infected non-transgenic soybeans (cv. Jack)/ total number of inoculated non-transgenic soybeans (cv. Jack)
[c] Infection rate was not tested

析に供試した。

3）サザンブロットによる系統番号6の組換えダイズの解析

系統番号6について、PCR解析にてSbDV *CP*遺伝子の導入が確認された11個体のT_1ダイズでCPプローブを用いたサザンブロットによる導入遺伝子の確認を行った。これら11個体のT_1ダイズは導入遺伝子のバンドパターンにより3種類に分類された（Fig. 12　T_1）。1個体は2.7 kbの1本の*Sac*I断片を、2個体は0.6、1.9、2.2、3、4、4.6 kbの6本の*Sac*I断片を、そして8個体は0.6、1.9、2.2、3、4、4.6 kbの7本の*Sac*I断片を所持していた。本研究では便宜上、2.7 kbの1本の*Sac*I断片を「A」インサート、0.6、1.9、2.2、3、4、4.6 kbの6本の*Sac*I断片を「B」インサートと分類した。そして、0.6、1.9、2.2、2.7、3、4、4.6 kbの7本の*Sac*I断片を持つT_1ダイズは、「A」と「B」インサート両方をもつ（A+B）ことが泳動像のバンドパターンより推測された。A、BとA+Bインサートを持つT_1ダイズ個体から採種し育成したT_2世代で、それぞれ4個体を無作為に選び出し、同様にCPプローブを用いたサザンブロットによる導入遺伝子の確認を行った。検定したそれぞれ4個体のT_2ダイズは全て、親であるT_1ダイズ個体と同じバンドパターンを示した（Fig. 12　T_2）。さらに、サザンブロット解析を行わなかった残りのT_2ダイズもPCR解析にてSbDV *CP*遺伝子の導入が確認された（データ非掲載）。従って、解析に選んだT_1とT_2ダイズ個体はそれぞれのインサートがホモ化した固定系統であることが分かった。これらのA、BとA+Bインサートがホモ化した系統番号6の組換えダイズには、それぞれ系統番号6A、6Bと6ABとした新系統名を与えた。育成した系統番号6のT_1ダイズの閉鎖系温室における生育状況をFig. 13に示した。

4）ノーザンブロットによる系統番号6のT_2ダイズの解析

系統番号6A、6Bと6ABのT_2ダイズにおいてCPプローブを用いたノーザンブロットによるSbDV *CP*遺伝子の発現確認を、SbDV保毒アブラムシを接種する前に行った（Fig. 14　A）。系統番号6Aの

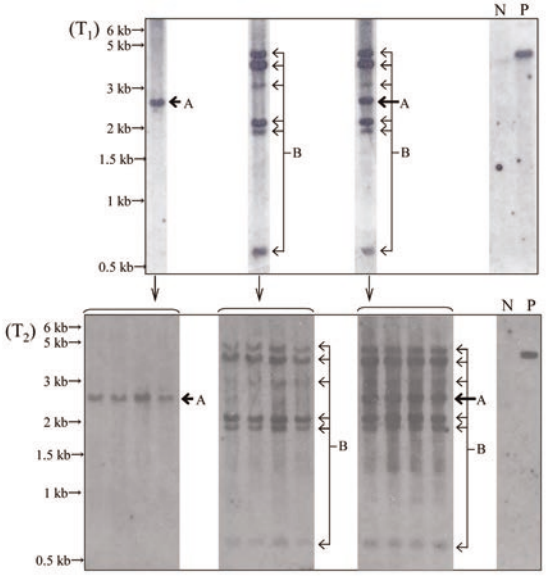


Fig.12　Southern blot hybridization analysis of T_1 and T_2 soybean plants in line 6.
Genomic DNA（5 μg）was digested with *Sac*I, separated in 1 % agarose gel, blotted onto membrane and hybridized with a CP probe. 'N', non-transgenic soybean（cv. Jack）; 'P', positive control（pEl2 Ω-SbDVCP digested with *Sac*I）. The transgene insertions in this line were grouped into two fragments, 'A' and 'B'.
The upper panel（T_1）shows the insertion patterns of three representative T_1 plants which contain different fragments.
The bottom panel（T_2）shows the insertion patterns of the T_2 progenies of each T_1 plant. The arrows connecting（T_1）to（T_2）show that all four T_2 plants were progenies of the original T_1 plant.

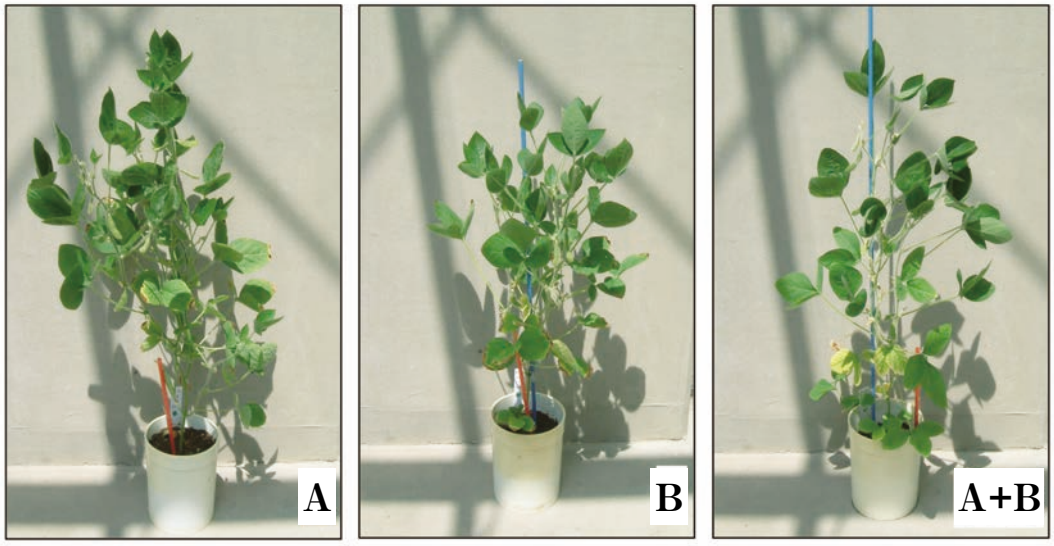


Fig.13 Growing appearance of transgenic soybeans with the SbDV-*CP* gene in glasshouse.
Left panel, 'A', middle panel, 'B', and right, 'A+B', show T_2 soybean plants (line 6) that had the A, B and A+B transgene insertion patterns, respectively,

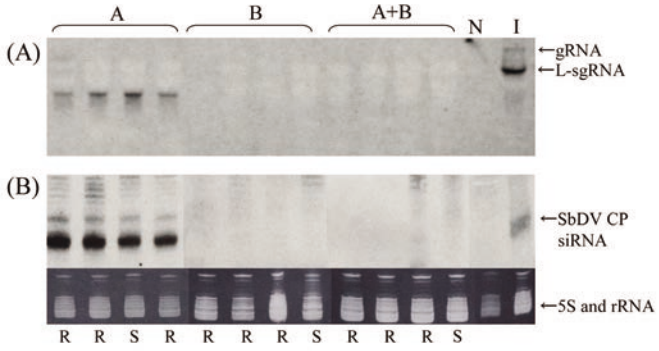


Fig.14 Detection of mRNA derived from the SbDV-*CP* transgene and the SbDV-*CP* homologous siRNA in T_2 soybean plants (line 6) prior to inoculation with SbDV.
(A) Northern blot hybridization analysis of SbDV-*CP* mRNA in T_2 plants.
HMW-RNA was used for northern blots, separated in denaturing 1.5% agarose gels with formaldehyde, blotted onto membrane and hybridized with a CP probe. 'A', 'B' and 'A+B', T_2 plants that had the A, B and A+B transgene insertion patterns, respectively. 'N', non-transgenic soybean (cv. Jack); 'I', infected soybean plant. gRNA, genomic RNA; L-sgRNA, large subgenomic RNA.
(B) Detection of SbDV-*CP* homologous siRNA in T_2 plants.
HMW-RNA was used to detect the accumulation of siRNA. Hybridization was performed with a single-stranded CP RNA probe, which was hydrolyzed to lengths averaging 100 nt.
The bottom panel of '5S and rRNA' shows loading control across the lanes. 'R' and 'S' indicate resistant and sensitive response to SbDV two months after inoculation, respectively.

T_2ダイズにおいてSbDV *CP*遺伝子のmRNA（約600 bp）の蓄積が確認されたが、系統番号6Bと6ABのT_2ダイズでは蓄積は認められない、もしくは検出限界以下であった。(Fig. 14 A)。これらのT_2ダイズにおいて、SbDV保毒アブラムシを接種する前にSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAの検出を試みた（Fig. 14 B)。系統番号6AのT_2ダイズにおいてSbDV *CP*遺伝子特異的siNRAの蓄積が確認された。一方、系統番号6Bと6ABのT_2ダイズではsiRNAの蓄積は認められない、もしくは検出限界以下であった（Fig. 14 B)。

5）系統番号6のT_2ダイズにおけるSbDV抵抗性と特異的RNAの検出

系統番号6AのT_2ダイズに関しては、14個体中12個体がSbDV抵抗性であった（Fig. 15 A)。これら12個体では、SbDV特異的RNAは検出されない、もしくはわずかにしか検出されなかった。しかしその一方、系統番号6AのT_2ダイズ全個体からSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAは検出された。この結果は、これら12個体のT_2ダイズはRNAサイレンシングによるSbDV抵抗性を獲得したことを示している。SbDVのRNAドットブロット解析により、4個体のT_2ダイズ（個体番号5、9、10、14）においてわずかにSbDV特異的RNAの蓄積が認められた（Fig. 15 A)。これらの4個体のうち2個体（同5、10）が最終的にSbDV特異的病徴を接種2ヶ月後に示した。残り

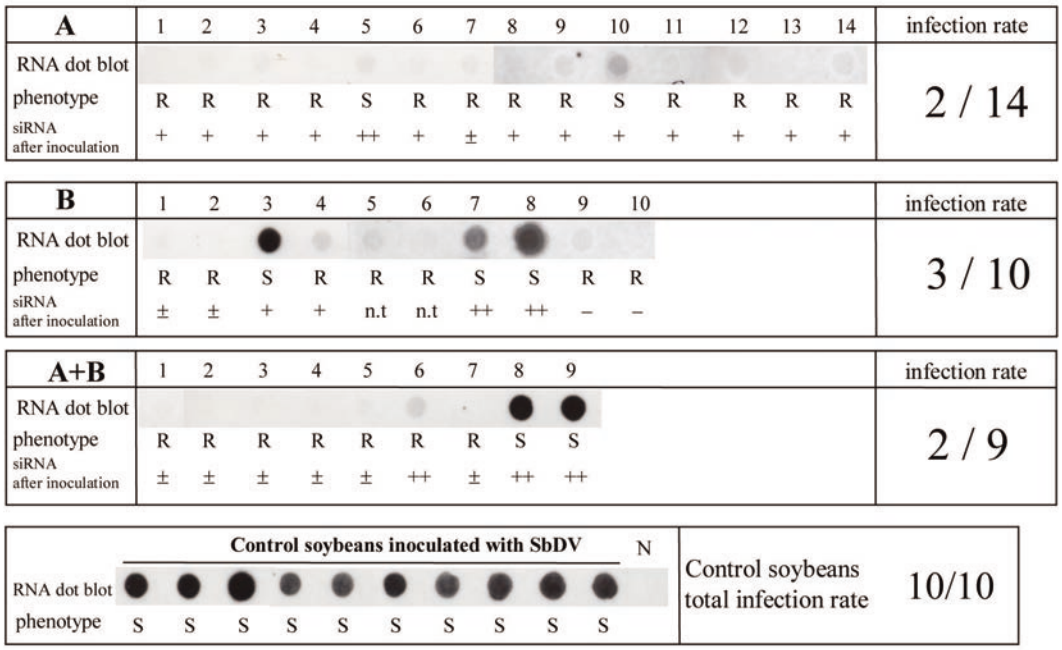


Fig.15　Testing for SbDV resistance in T_2 plants（line 6）by RNA dot-blot analysis.
The upper panel, 'A', second panel, 'B', and third panel, 'A+B', show the results of T_2 plants（line 6）that had the A, B and A+B transgene insertion patterns, respectively, as confirmed by Southern hybridization analysis when digested with *Sac*I. Image films of 'RNA dot-blot' show the results of detection of SbDV-YP strain RNAs by RNA dot-blot hybridization analysis with a Y-3' probe. One-fourth volume of total RNA extracted from a soybean plant leaf（80 mg）three weeks after inoculation with SbDV-YP strain was dot-blotted onto membrane and hybridized with a Y-3' probe. 'R' and 'S' indicate resistant and sensitive response to SbDV two months after inoculation, respectively, judged visually based on the appearance or lack of appearance of SbDV-specific symptoms. The accumulation levels of SbDV-*CP* homologous siRNA in soybean plants one month after inoculation are discriminated with '+' high, '++' very high, '±' weak, '−' not detectable and 'n.t', not tested in this plant. The bottom panel shows a sample image figure of RNA dot-blot analysis in the control SbDV-YP strain-infected non-transgenic soybean（cv. Jack). 'N', non-inoculated soybean.

の2個体（同9、14）は生育後期においてもSbDV特異的病徴は示さなかった。

系統番号6BのT$_2$ダイズに関しては、10個体中7個体がSbDV抵抗性であった（Fig. 15 B）。SbDV抵抗性7個体のうち、3個体のT$_2$ダイズ（個体番号1、2、4）でSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAが検出され、2個体（同9、10）では検出されなかった。残りの2個体（同5、6）については、siRNAの検出実験を行わなかった。接種2ヶ月後にSbDV特異的な病徴を示していた3個体のT$_2$ダイズ（同3、7、8）では、SbDV RNAドットブロット解析により接種3週間目で、非常に高レベルでSbDV特異的RNAが蓄積していた（Fig. 15 B）。

系統番号6ABのT$_2$ダイズに関しては、9個体中7個体がSbDV抵抗性であった（Fig. 15 A+B）。これら7個体のT$_2$ダイズではSbDV特異的RNAは検出されず、SbDV *CP*遺伝子特異的siRNAが検出された。接種2ヶ月後にSbDV特異的な病徴を示した残りの2個体のT$_2$ダイズ（個体番号8、9）では、SbDV RNAドットブロット解析により接種3週間目で、非常に高レベルでSbDV特異的RNAが蓄積していた。

SbDV接種から3週間後のRNAドットブロット解析によりSbDV特異的RNAが高レベルに検出された組換えダイズは、接種2ヶ月後においてもSbDV特異的病徴を示した。一方、接種3週間後にSbDV特異的RNAがわずかに検出された組換えダイズでは、接種2ヶ月後にSbDVの病徴を示した個体と病徴を示さない個体に分かれた。一方、ポジティブコントロールとして非組換え体のダイズにSbDV保毒アブラムシを接種し、SbDVのRNAドットブロット解析と病徴発現の確認を行い、接種効率を調査した。その結果、調査した10個体全てがSbDVに特異的な病徴を示し、接種効率は100%であった（Fig. 15）。

4 考　　察

1）系統番号6の遺伝解析

本研究において、センスSbDV *CP*遺伝子を導入し、SbDV抵抗性を獲得した組換えダイズを作出した。系統番号6のT$_1$ダイズにおいて、サザンブロットによるSbDV *CP*遺伝子の導入確認を行い、3種類の導入パターンを確認した。T$_1$ダイズのサザンブロットのバンドパターンから、T$_0$ダイズではパーティクルボンバードメントによって1コピーのSbDV *CP*遺伝子がある染色体上に（Aインサート）、6コピーのSbDV *CP*遺伝子が別の染色体上（Bインサート）に導入されたと推測された。T$_0$ダイズより得られた系統番号6Aと6BのT$_1$ダイズは、これら2つのインサートのうちどちらかが遺伝し、系統番号6ABのT$_1$ダイズは両方のインサートが遺伝したと考えられる。導入遺伝子の目的領域のうち、35Sプロモーター5′末端の*Hin*dIIIサイトからSbDV *CP*遺伝子の3′末端の*Sac*Iサイトまでの距離は約1.4 kbであることから、導入遺伝子の分断も考えられるが、本研究で得られた系統番号6AのT$_2$個体の2.7 kbの*Sac*I断片には、SbDV *CP*遺伝子のmRNAを転写させる全長領域が含まれると考えられる。系統番号6BのT$_2$ダイズは0.6、1.9、2.2、3、4、4.6 kbの6本の*Sac*I断片を持ち、1.4 kb以上の断片を含んでいるため、系統番号6Aと同様にSbDV *CP*遺伝子転写領域を持つと考えられる。しかし、SbDV *CP*遺伝子のmRNAの蓄積は認められなかった。また、系統番号6ABのT$_2$ダイズでも、系統番号6Aの個体と同様にSbDV *CP*遺伝子のmRNA発現に関わると考えられるAインサートを持つにもかかわらず、mRNAの蓄積は認められなかった。

これらのT$_2$ダイズにおいて、SbDV保毒アブラムシを接種する前にSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAの検出を試みた。系統番号6AのT$_2$ダイズにおいてSbDV *CP*遺伝子特異的siNRAの蓄積が確認された。この結果は、検出したsiRNAは導入したSbDV *CP*遺伝子由来であって、この個体においてRNAサイレンシングが起こっていることを示している。検出したsiRNAは過剰発現したSbDV *CP*遺伝子のmRNAが分解した産物であると考えられる。一方、系統番号6Bと6ABのT$_2$ダイズではsiRNAの蓄積は認められなかったため、SbDV *CP*遺伝子のmRNAの転写後分解は行われていない、もしくは検出限界以下と考えられる。これらの結果から、Bインサートを持つ個体はSbDV *CP*遺伝子のmRNA発現と導入遺伝子由来のsiRNAの蓄積が何らかの要因により阻害されたと考えられる。

2）系統番号6の個体において想定されるSbDV抵抗性機構

本系統のT$_2$ダイズにおいて、高度なSbDV抵抗性が観察された。特に、SbDV接種前にSbDV *CP*遺伝子由来のsiRNAが蓄積している系統番号6AのT$_2$ダイズは個体群の中で高頻度に抵抗性個体が存在した。SbDVを接種する前と後でSbDV *CP*遺伝子特異的siRNAが検出されたことから、系統番号6Aでは

導入遺伝子が過剰発現し、mRNAが分解される閾値モデルによるRNAサイレンシングが誘導されていると考えられ、SbDVが分解されて、系統番号6AのT₂ダイズにSbDV抵抗性が付与されたと考えられた。

一方で、系統番号6Bと6ABのT₂ダイズのほとんどがSbDV抵抗性であったが、RNAサイレンシングによる抵抗性であることの十分な証拠を得ることができなかった。さらに、これらの個体ではSbDV *CP*遺伝子のmRNAが発現していないことから、タンパク質を仲介とした（protein-mediated）機構による抵抗性の可能性はないと考えられる。従って、この系統でのSbDV抵抗性の機構は現在のところ不明であるが、本研究で用いた実験手法での検出限界以下のわずかな量のSbDV *CP*遺伝子由来のsiRNAが、RNAサイレンシングによるSbDV抵抗性を誘導している可能性もある。

系統番号6ABの個体はAインサートを持っているにもかかわらず、SbDV *CP*遺伝子のmRNAもsiRNAも蓄積しておらず、系統番号6Bと同様の傾向を示していた。系統番号6Bと6ABの個体では、TGSが誘導されている可能性がある。TGS化した外来遺伝子のローカスが同じプロモーターを持つ他の遺伝子を同様にTGS化することが報告されており（Park *et al.* 1996; Mourrain *et al.* 2007）、本研究でも同様に系統番号6ABの個体において、TGS化したBインサートがAインサートをTGS化してSbDV *CP*遺伝子のmRNA転写を阻害しているかもしれない。これまでに、TGSがウイルス抵抗性を誘導しているという報告はないことから、系統番号6Bと6ABで確認されたSbDV抵抗性はこれまでに知られていない機構で誘導された抵抗性であるかもしれない。この仮説を検証するためにも、今後メチル化解析など詳細な研究を継続する必要がある。

3）系統番号6の個体間におけるSbDV抵抗性の程度の違い

系統番号6において、SbDV抵抗性のあったT₂個体と同じ導入遺伝子を持つにもかかわらず、SbDV感受性の個体が存在した。系統番号6A、6Bと6ABでは導入遺伝子は固定している。従って、T₂個体間における導入遺伝子のホモとヘミによる転写量の差の可能性は排除できる。

本研究と同様に、ウイルスの塩基配列の一部を植物に導入したところ、ウイルス抵抗性の個体を得たが、同時に感受性の個体も存在し、個体間において導入遺伝子のプロモーターやコード領域のDNAメチル化に違いが観察された報告がある（Sijen *et al.* 1996; Ingelbrecht *et al.* 1999）。導入遺伝子のメチル化とウイルス抵抗性の明確な関係は証明されていないが、PTGSは導入遺伝子の些細な変化に非常に影響を受け（English and Baulcombe 1997）ることから、組換え植物の導入遺伝子のメチル化による些細な変化は、RNAサイレンシング機構によるウイルス抵抗性に影響を及ぼすかもしれない。さらに、遺伝子導入に用いた植物の遺伝的背景、環境要因や発育ステージがRNAサイレンシングによるウイルス抵抗性に影響を及ぼすことも示唆されている（Pang *et al.* 1996; Kalantidis *et al.* 2002）。本研究における系統番号6のセンスSbDV *CP*遺伝子導入ダイズにおいても、導入遺伝子の些細な変化や環境要因が個体間で異なり、導入遺伝子の転写量やSbDV抵抗性に差異が生じているのかもしれない。

4）安定したSbDV抵抗性組換えダイズを獲得するために

数多くの研究グループがダイズ組換え体を作出するためにパーティクルボンバードメントによる導入法を採用している。これは、組換えダイズを獲得するために比較的効率が良く、ルーチン化されているからである。一方、アグロバクテリウム法は断片化されていない遺伝子が少数導入される点が優れているものの、パーティクルボンバードメントを用いる方法よりも遺伝子導入効率が劣る。しかしながら、近年効率的なアグロバクテリウム法によるダイズ組換え体の作出が報告されている（Olhoft *et al.* 2003; Zeng *et al.* 2004; Paz *et al.* 2006）。本研究では、多数の系統を得るために、パーティクルボンバードメントによってSbDV *CP*遺伝子をダイズに導入した。導入した遺伝子のうち、いくつかはプロモーター領域が失われ、断片化し、その結果、導入遺伝子が発現していない可能性もある。また、多数の遺伝子が導入されると、導入遺伝子のリアレンジメントやメチル化、さらにはTGSを引き起こすといわれていることから導入遺伝子の発現予測は容易ではない。しかし、ウイルス抵抗性を付与する目的で組換え体を作出する上では、必ずしもプロモーター領域からターミネーター領域を含んだ全長領域を導入し、目的通りのmRNAを転写させる必要はないと考えられる。偶発的にIRとして導入されて、転写された二本鎖

RNAや過剰発現による異常なRNAがRNAサイレンシングを誘導してウイルス抵抗性を結果として付与する可能性もある。しかし、ウイルス抵抗性に関与する導入遺伝子がメチル化され、TGSが誘導されるとウイルス抵抗性に影響を及ぼすかもしれない。今後は導入遺伝子のメチル化や環境要因の影響を受けにくいSbDV抵抗性組換えダイズを選抜していく必要がある。

Ⅳ 総合考察

本研究では、北日本におけるダイズ生産に深刻な被害を及ぼしているダイズわい化病に抵抗性を持つ遺伝子組換えダイズの作出を試みた。この研究において、SbDVの*CP*遺伝子を逆位反復配列に導入したダイズとセンス方向に導入したダイズを作出して、それぞれの系統よりRNAサイレンシング機構によるSbDV抵抗性個体を得た。RNAサイレンシング機構による植物へのウイルス抵抗性付与は、実験植物であるシロイヌナズナやタバコで確立した技術であり、主要農作物であるダイズで、その感染ウイルスであるSbDVに対する抵抗性を付与した組換え植物を作出した報告は本研究が初めてである。この研究を開始した2001年の時点では、ダイズわい化病に抵抗性を持つダイズ遺伝資源は存在しないといわれていた。従って、遺伝子組換え技術によるSbDV抵抗性付与は有効な手段であると考えられていた。しかしその後、北海道立中央農業試験場の研究グループが、インドネシア原産のダイズ品種「WILIS」を新たなダイズわい化病抵抗性遺伝資源として、人工交配により高度抵抗性育種素材「植系32号」を育成した（田澤ら 2005）。今後、「WILIS」を利用して実用品種の育成が行われると考えられる。日本国内の遺伝子組換え作物利用の状況から、SbDV抵抗性組換えダイズよりも抵抗性遺伝資源の利用によるダイズわい化病抵抗性ダイズの品種育成が有力であると考えられる。しかし、抵抗性育種は常に、品種への抵抗性の付与と、それを打破する病原体系統の出現との戦いである。病原体がウイルスである場合には、感染した植物体内で爆発的に増殖することにより塩基配列の変化が生じやすい。この塩基配列の変化により、既存の抵抗性品種を打破するウイルス系統が出現する可能性もある。例えば、トマトモザイクウイルス（*Tomato mosaic virus*, ToMV）に抵抗性を示す*Tm-2*遺伝子を持つ抵抗性品種のトマトは、細胞間移行タンパク質にアミノ酸変異が認められたT_0MV変異株Ltb1に全身感染することが報告されている（Meshi *et al.* 1989）。従って、遺伝資源の利用のみならず、本研究のように遺伝子組換え技術を利用した抵抗性付与の研究の継続も抵抗性の無力化に対する、危険分散の上でも重要である。また、ウイルス抵抗性組換え体の作出には、必然的にウイルス自体の基礎的知見も必要とされるため、ウイルスの研究分野の発展にも貢献できると考えられる。

引用文献

1）Aida, R.; Shibata, M. 1998. Developmentally regulated transgene silencing in Torenia. Breed. Sci. 48：63-69.

2）Barker, H.; Waterhouse, .P. M. 1999. The development of resistance to luteoviruses mediated by host genes and pathogen-derived transgenes.（Smith, H. G.; Barker, H. eds., *The Luteoviridae*）. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK, p 169-210.

3）Bass, B. L. 2000. Double-stranded RNA as a template for gene silencing. Cell 101：235-238.

4）Baulcombe, D. C. 1996. Mechanisms of pathogen-derived resistance to viruses in transgenic plants. Plant Cell 8：1833-1844.

5）Bazzini, A. A.; Hopp, H. E.; Beachy, R. N.; Asurmendi, S. 2006. Posttranscriptional gene silencing does not play a significant role in potato virus X coat protein-mediated resistance. Virology 96：1175-1178.

6）Beachy, R. N. 1999. Coat-protein-mediated resistance to Tobacco mosaic virus：discovery mechanisms and exploitation. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 354：659-664.

7）Carmell, M. A.; Hannon, G.J. 2004. RNaseIII enzymes and the initiation of gene silencing. Nat. Struct. Mol. Biol. 11：214-218.

8）Chen, Y. K.; Lohuis, D.; Goldbach, R.; Prins, M. 2004. High frequency induction of RNA-mediated resistance against Cucumber mosaic virus using inverted repeat constructs. Mol. Breed. 14：215-226.

9）Cuozzo, M.; O’ Connell, K. M.; Kaniewski, W.; Fang, R. X.; Chua, N. H.; Tumer, N. E. 1988. Viral protection in transgenic plants expressing the Cucumber mosaic virus coat protein or its antisense RNA. Bio/Technology 6：549-557.

10）Damsteegt, V. D.; Voegtlin, D. J. 1990. Morphological and biological variation among population of *Aulacorthum solani* (Homoptera: Aphididae), the vector of Soybean dwarf virus. Ann. Entomol. Soc. Am. 83：949-955.

11）土居養二, 木村 登,与良 清, 明日山秀文. 1968. 北海道の大豆矮化病（異常生育）の茎葉から見出されたウイルス粒子について. 日植病報 34：37.

12）Dougherty, W. G.; Parks, T. D. 1995. Transgenes and gene suppression：telling us something new? Curr. Opin. Biotechnol. 7：399-405.

13）Elbashir, S. M.; Lendeckel, W.; Tuschl, T. 2001. RNA interference is mediated by 21- and 22-nucleotide RNAs. Genes Dev. 15：188-200.

14）English, J. J.; Baulcombe, D. C. 1997. The influence of small changes in transgene transcription on homology-dependent virus resistance and gene silencing. Plant J. 12：1311-1318.

15）Fitch, M. M. M.; Manshardt, R. M.; Gonsalves, D.; Slightom, J. L.; Sanford, C. 1992. Virus resistant papaya derived from tissues bombarded with the coat protein gene of papaya. Bio/Technology 10：1466-1472.

16）Fu, X.; Duc, L. T.; Fontana, S.; Bong, B. B.; Tinjuangjun, P.; Sudhakar, D.; Twyman, R. M.; Christou, P.; Kohli, A. 2000. Linear transgene constructs lacking vector backbone sequences generate low-copy-number transgenic plants with simple integration patterns. Transgenic Res. 9：11-19.

17）Furutani, N.; Hidaka, S. 2004. Efficient production of transgenic soybean using a co-transformation method. Breed. Sci. 54：91-98.

18）Hamilton, A. J.; Baulcombe, D. C. 1999. A species of small antisense RNA in posttranscriptional gene silencing in plants. Science 286：950-952.

19）Hammond, S. M.; Bernstein, E.; Beach, D.; Hannon, G. J. 2000. An RNA-directed nuclease mediated post-transcriptional gene silencing in Drosophila cells. Nature 404：293-296.

20）Hemenway, C.; Fang, R. X.; Kaniewski, W. K.; Chua, N. H.; Tumer, N. E. 1988. Analysis of the mechanism of protection in transgenic plants expressing the potato virus X coat protein or its antisense RNA. EMBO J. 7：1273-1280.

21）Herrbach, E. 1999. Introduction, (Smith, H. G.; Barker, H. eds., The Luteoviridae). CAB International, Oxon, United Kingdom. p. 85-88.

22）本多健一郎, 兼松誠司, 御子柴義郎. 1999. ツメクサベニマルアブラムシとエンドウヒゲナガアブラムシによって媒介されるダイズわい化ウイルス（SbDV）のわい化系統. 日植病報 65：387-388.

23）Ingelbrecht, I. L.; Irvine, J. E.; Mirkov, T. E. 1999. Posttranscriptional gene silencing in transgenic sugarcane. Dissection of homology-dependent virus resistance in a monocot that has a complex polyploid genome. Plant Physiol. 199：1187-1197.

24）Jan, .F. J.; Pang, S. Z.; Tricoli, D. M.; Gonsalves, D. 2000. Evidence that resistance in squash mosaic comovirus coat protein-transgenic plants is affected by plant developmental stage and enhanced by combination of transgenes from different lines. J. Gen. Virol. 81：2299-2306.

25）Kalantidis, K.; Psaradakis, S.; Tabler, M.; Tsagris, M. 2002. The occurrence of CMV-specific short RNAs in transgenic tobacco expressing virus-derived double-stranded RNA is indicative of resistance to the virus. Mol. Plant. Microbe. Interact. 15：826-833.

26）川崎 努. 1997. PCR解析用の簡便なイネゲノムDNAの単離法.（島本 巧, 佐々木卓治 監修, 新版 植物のPCR実験プロトコール 核酸の単離法とゲノム・遺伝子発現の最新解析法PCR解析用の簡便なイネゲノムDNAの単離法）. 秀潤社 東京 pp.67-68.

27）Meshi, T.; Motoyoshi, F.; Maeda, T.; Yoshioka.

S.; Watanabe, H.; Okada, Y. 1989. Mutations in the Tobacco mosaic virus 30-kD protein gene overcome Tm-2 resistance in tomato. Plant Cell 1：515-522.

28）Matzke, M. A.; Mette, M. F.; Matzke, A. J. 2000. Transgenic silencing by the host genome defence: implications for the evolution of epigenetic control mechanisms in plants and vertebrates. Plant Mol. Biol. 43：401-415.

29）Metzlaff, M.; O' Dell, M.; Cluster, P. D.; Flavell, R. B. 1997. RNA-mediated RNA degradation and chalcone synthase A silencing in petunia. Cell 88：845-854.

30）御子柴義郎, 藤澤一郎, 本多健一郎. 1991. ダイズわい化ウイルス（SbDV）のエンドウヒゲナガアブラムシ伝搬系統.日植病報 57：448.

34）Missiou, A.; Kalantidis, K.; Boutla, A.; Tzortzakaki, S.; Tabler, M.; Tsagris, M. 2004. Generation of transgenic potato plants highly resistant to potato virus Y (PVY) through RNA silencing. Mol. Breed. 14：185-197.

35）Mitsuhara, I.; Ugaki, M.; Hirochika, H.; Ohshima, M.; Murakami, T.; Gotoh, Y.; Katayose, Y.; Nakamura, S.; Honkura, R.; Nishimiya, S.; Ueno, K.; Mochizuki, A.; Tanimoto, H.; Tsugawa, H.; Otsuki, Y.; Ohashi, Y. 1996. Efficient promoter cassettes for enhanced expression of foreign genes in dicotyledonous and monocotyledonous plants. Plant Cell Physiol. 37：49-59.

36）Mourrain, P.; van Blokland, R.; Kooter, J. M.; Vaucheret, H. 2007. A single transgene locus triggers both transcriptional and post-transcriptional silencing through double-stranded RNA production. Planta 225：365-379.

37）Mueller, E.; Gilbert, J.; Davenport, G.; Brigneti, G.; Baulcombe, D. C. 1995. Homology-dependent resistance: transgenic virus resistance in plants related to homology-dependent gene silencing. Plant J. 7：1001-1013.

38）Ng, H. H.; Bird, A. 1999. DNA methylation and chromatin modification. Curr. Opin. Genet. Dev. 9：158-163.

39）Olhoft, P. M.; Flagel, L. E.; Donovan, C. M.; Somers, D. A. 2003. Efficient soybean transformation using hygromycin B selection in the cotyledonary-node method. Planta 216：723-735.

40）Pang, S. Z.; Jan, F. J.; Carney, K.; Stout, J.; Tricoli, D. M.; Quemada, H. D.; Gonsalves, D. 1996. Post-transcriptional transgene silencing and consequent tospovirus resistance in transgenic lettuce are affected by transgene dosage and plant development. Plant J. 9：899-909.

41）Pang, S. Z.; Jan, .F. J.; Tricoli, D. M.; Russell, P. F.; Carney, K. J.; Hu, J. S.; Fuchs, M.; Quemada, H. D.; Gonsalves, D. 2000. Resistance to squash mosaic comovirus in transgenic squash plants expressing its coat protein genes. Mol. Breed. 6：87-93.

42）Park, Y. D.; Papp, I.; Moscone, E. A.; Iglesias, V. A.; Vaucheret, H.; Matzke, A. J. M.; Matzke, M. A. 1996. Gene silencing mediated by promoter homology occurs at the level of transcription and results in meiotically heritable alterations in methylation and gene activity. Plant J. 9：183-194.

43）Paz, M. M.; Martinez, J. C.; Kalvig, A. B.; Fonger, T. M.; Wang, K. 2006. Improved cotyledonary node method using an alternative explant derived from mature seed for efficient *Agrobacterium*-mediated soybean transformation. Plant Cell Rep. 25：206-213.

44）Powell-Abel, P.; Nelson, R. S.; De, B.; Hoffman, N.; Rogers, S. G.; Fraley, R. T.; Beachy, R. 1986. Delay of disease development in transgenic plants that express the Tobacco mosaic virus coat protein gene. Science 232：738-743.

45）Rathjen, J. P.; Karageorgos, L. E.; Habili, N.; Waterhouse, P. M.; Symons, R. H. 1994. *Soybean dwarf luteovirus* contains the 3rd variant genome type in the luteovirus group. Virology 198：671-679.

46）Reddy, M. S. S.; Dinkins, R. D.; Collins, G. B. 2003. Gene silencing in transgenic soybean plants transformed via particle bombardment. Plant Cell Rep. 21：676-683.

47）Sanford, J. C.; Johonston, S. A. 1985. The concept of parasite-derived resistance: Deriving resistance genes from the parasites own genome. J. Theor. Biol. 115：395-405.

48）Sijen, T.; Wellink, J.; Hiriart, J-B.; van Kammen, A. 1996. RNA mediated virus resistance: role of repeated transgene and delineation of targeted regions. Plant Cell 8：2277-2294.

49）Smith, H. A.; Swaney, S. L.; Parks, T. D.; Wernsman, E. A.; Dougherty, W. G. 1994. Transgenic plant virus resistance mediated by untranslatable sense RNAs: expression, regulation, and fate of nonessential RNAs. Plant Cell 9：1441-1453.

50）Smith, N. A.; Singh, S. P.; Wang, M. B.; Stoutjesdijk, P. A.; Green, A. G.; Waterhouse, P. M. 2000. Total silencing by intron-spliced hairpin RNAs. Nature 407：319-320.

51）高橋孝吉，田中敏夫，飯田 格，津田保昭．1980 日本におけるダイズのウイルス病と病原ウイルスに関する研究．東北農試研報 62：1-130.

52）玉田哲男．1973．ダイズわい化ウイルスの系統．日植病報 39：27-34.

53）玉田哲男．1975．ダイズわい化病に関する研究．北海道立農試報告 25：1-144.

54）田澤暁子，神野裕信，手塚光明，三好智明，鴻坂扶美子，田中義則．2005．「WILIS」を用いたダイズわい化病高度抵抗性育種素材 平成16年度「新しい研究成果－北海道地域－」北海道農業試験研究推進会議 （独）北海道農業研究センター．

55）Terauchi, H.; Kanematsu, S.; Honda, K.; Mikoshiba, Y.; Ishiguro, K.; Hidaka, S. 2001. Comparison of complete nucleotide sequences of genomic RNAs of four *Soybean dwarf virus* strains that differ in their vector specificity and symptom production. Arch. Virol. 146：1885-1898.

56）Tougou, M.; Furutani, N.; Yamagishi, N.; Shizukawa, Y.; Takahata, Y.; Hidaka, S. 2006. Development of resistant transgenic soybeans with inverted repeat-coat protein genes of *soybean dwarf virus*. Plant Cell Rep. 25：1213-1218.

57）Tougou, M.; Yamagishi, N.; Furutani, N.; Shizukawa, Y.; Takahata, Y.; Hidaka, S. 2007. *Soybean dwarf virus*-resistant transgenic soybeans with the sense coat protein gene. Plant Cell Rep. 26：1967-1975.

58）Tricoli, D. M.; Carney, K. J.; Russell, P. F.; McMaster, J. R.; Groff, D. W.; Hadden, K. C.; Himmel, P. T.; Hubbard, J. P.; Boeshore, M. L.; Quemada, H. D.; 1995. Field evaluation of transgenic squash containing single or multiple virus coat protein gene constructs for resistance to Cucumber mosaic virus. Bio/Technology 13：1458-1465.

59）van den Heuvel, J. F. J. M.; Hougenhout, S. A.; van den Wilk, F. 1999. Recognition and receptors in virus transmission by arthropods. Trends Microbiol. 7：71-76.

60）Vaucheret, H.; Fagard, M. 2001. Transcriptional gene silencing in plants: targets, inducers and regulators. Trends Genet. 17：29-35.

61）Vazquez Rovere, C.; Asurmendi, S.; Hopp, H. E. 2001. Transgenic resistance in potato plants expressing potato leaf roll virus(PLRV) replicase gene sequences is RNA-mediated and suggests the involvement of post-transcriptional gene silencing. Arch. Virol. 146：1337-1353.

62）Voinnet, O.; Pinto, Y. M.; Baulcombe, D. C. 1999. Suppression of gene silencing: a general strategy used by diverse DNA and RNA viruses of plants. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96：14147-14152.

63）Wang, M. B.; Abbott, D. C.; Waterhouse, P.M. 2000. A single copy of a virus-derived transgene encoding hairpin RNA gives immunity to barley yellow dwarf virus. Mol. Plant Pathol. 1：347-356.

64）Wang, M.B.; Metzlaff, M. 2005. RNA silencing and antiviral defense in plants. Curr. Opin. Plant Biol. 8：216-222.

65）Waterhouse, P. M.; Graham, M.W.; Wang, M. B. 1998. Virus resistance and gene silencing in

plants can be induced by simultaneous expression of sense and antisense RNA. Proc. Natl. Acad. Sci. USA　95：13959-13964.

66）Yamagishi, N.; Terauchi, H.; Kanematsu, S.; Hidaka, S. 2003. Characterization of the small subgenomic RNA of Soybean dwarf virus. Arch. Virol.　148：1827-1834.

67）Yamagishi, N.; Terauchi, H.; Honda, K.; Kanematsu, S.; Hidaka, S. 2006. Discrimination of four Soybean dwarf virus strains by dot-blot hybridization with specific probes. J. Virol. Methods.　133：219-222.

68）Zamore, P. D.; Tuschl, T.; Sharp, P. A.; Bartel, D. P. 2000. RNAi: Double-stranded RNA directs the ATP-dependent cleavage of mRNA at 21 to 23 nucleotide intervals. Cell 101：25-33.

69）Zeng, P.; Vadnais, D. V.; Zhang, Z.; Polacco, J. C. 2004. Refined glufosinate selection in *Agrobacterium*-mediated transformation of soybean [*Glycine max*（L.）Merrill]. Plant Cell Rep.　22：478-482.

東北農業研究センター研究報告　第 110 号

平成 21 年 3 月　　発　行

編集兼発行　　東北農業研究センター
代表者　　八　巻　　正
〒 020-0198　盛岡市下厨川字赤平 4
電　話　　（019）643-3414, 3417
（情報広報課）
印　刷　所　　河北印刷株式会社
〒 020-0015　盛岡市本町通 2 － 8 － 7