



**BULLETIN
OF THE
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
FOR TOHOKU REGION**

Tohoku Nogyo Kenkyu Center Kenkyu Hokoku
No.113, March 2011

**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

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113号

所 長 岡 三 徳

編集委員会

編集委員長	松 田 長 生	
編 集 委 員	御子柴 義 郎	田 村 有希博
	持 田 秀 之	近 藤 恒 夫
	関 野 幸 二	

BULLETIN OF THE
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
FOR TOHOKU REGION

No.113

Director General
Mitsunori OKA

Editorial Board

Editor
Nagao MATSUTA

Associate Editors

Yoshiro MIKOSHIBA	Yukihiro TAMURA
Hideyuki MOCHIDA	Tsuneo KONDO
Koji SEKINO	

東北農業研究センター研究報告 第113号 (平成23年3月)

目 次

倒伏に強く大粒良質で高蛋白なダイズ新品種「里のほほえみ」の育成 菊池 彰夫・河野 雄飛・加藤 信・湯本 節三・高田 吉文 島田 信二・境 哲文・島田 尚典・高橋 浩司・足立 大山 田渕 公清・中村 茂樹	1 - 15
フェストロリウム新品種「東北1号」の育成 米丸 淳一・上山 泰史・久保田明人	17 - 28
Influence of Maceration Using a Screw-Type Threshing Combine on Roughage Value of Rice Straw in Japanese Black Cows Akinori OSHIBE, Ryuji OTANI, Tokushi KOMATSU, Naoki FKUJYU, Hidenori KAWAMOTO, Hiroyuki SEKIYA and Osamu TANAKA	29 - 32
東北地方における帰化雑草ハルザキヤマガラシおよびカミツレ類の生態と防除 橘 雅明	33 - 66
Analysis of Factors Related to Enhanced Sterility due to Coolness at the Young Microspore Stage under High Nitrogen Supply in Rice (<i>Oryza sativa</i> L.) Takami HAYASHI	67 - 96
新形質小麦品種・系統の小麦粉ブレンドによる製パン適性の向上技術 吉川 亮・中村 和弘・伊藤美環子	97 - 122
寒冷地小麦品種の穂発芽耐性に関するダイアレル分析 吉川 亮・中村 和弘	123 - 136

BULLETIN OF THE
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
FOR TOHOKU REGION
No.113 (March 2011)

CONTENTS

- KIKUCHI, A., KONO, Y., KATO, S., YUMOTO, S., TAKADA, Y., SHIMADA, S., SAKAI, T.,
SHIMADA, H., TAKAHASHI, K., ADACHI, T., TABUCHI, K. and NAKAMURA, S. :
A New Soybean Cultivar “Satonohohoemi”, with High Protein Content,
Lodging Resistance, Large Seed Size and Good Quality 1 – 15
- YONEMARU, J., UHEYAMA, Y. and KUBOTA, A. :
Breeding of a New Festulolium Cultivar, “Tohoku 1” 17 – 28
- OSHIBE, A., OTANI, R., KOMATSU, T., FKUJYU, N., KAWAMOTO, H., SEKIYA, H. and TANAKA, O. :
Influence of Maceration Using a Screw-Type Threshing Combine on Roughage
Value of Rice Straw in Japanese Black Cows 29 – 32
- TACHIBANA, M. :
The Ecology and Control of the Naturalized Weeds *Barbarea vulgaris* R.
Br., *Anthemis Cotula* L., and *Matricaria inodora* L. in the Northeastern
Part of Japan 33 – 66
- HAYASHI, T. :
Analysis of Factors Related to Enhanced Sterility Due to Coolness at the Young
Microspore Stage under High Nitrogen Supply in Rice (*Oryza sativa* L.) 67 – 96
- YOSHIKAWA, R., NAKAMURA, K. and ITO, M. :
Improvement in the Bread-making Qualities of Breads from Blends of Wheat
Cultivars and Lines with Different Flour Qualities 97 – 122
- YOSHIKAWA, R. and NAKAMURA, K. :
Diallel Analysis for Pre-harvest Sprouting Resistance in the Red-grained Wheat
Varieties in the Tohoku Region of Japan123 – 136

倒伏に強く大粒良質で高蛋白な ダイズ新品種「里のほほえみ」の育成

菊池 彰夫*¹⁾・河野 雄飛*¹⁾・加藤 信*¹⁾・湯本 節三*²⁾
 高田 吉丈*³⁾・島田 信二*⁴⁾・境 哲文*⁵⁾・島田 尚典*⁶⁾
 高橋 浩司*⁷⁾・故 足立大山*⁸⁾・田渕 公清*⁹⁾・中村 茂樹*¹⁰⁾

抄録：「里のほほえみ」は、東北農業試験場作物開発部大豆育種研究室（現 東北農業研究センター大豆育種研究東北サブチーム）において、ダイズモザイクウイルス抵抗性で大粒良質の品種育成を目標に、ダイズモザイクウイルス抵抗性の「東北129号」を母、極大粒系統の「刈交0264MYF₆」を父とした人工交配を1996年に行い、以後、選抜・固定を図り、2009年に育成した品種である。

「里のほほえみ」は、ダイズモザイクウイルスのA、B、C及びD系統に対して抵抗性である。倒伏抵抗性は強で、最下着莢位置が高く、裂莢性が難である。子実は大粒良質で蛋白質含量が「エンレイ」並に高く、豆腐加工に適する。

「里のほほえみ」の栽培適地は南東北地方等である。山形県では、ダイズモザイクウイルス抵抗性が不十分な主力品種「エンレイ」の一部及び中粒品種で蛋白質含量が低めの「スズユタカ」に置き換えて普及が見込まれる。

キーワード：新品種、ダイズ、ダイズモザイクウイルス抵抗性、倒伏抵抗性、大粒、蛋白質含量、豆腐加工適性

A New Soybean Cultivar, "Satonohohoemi", with High Protein Content, Lodging Resistance, Large Seed Size and Good Quality : Akio KIKUCHI*¹⁾, Yuhi KONO*¹⁾, Shin KATO*¹⁾, Setsuzo YUMOTO*²⁾, Yoshitake TAKASDA*³⁾, Shinji SHIMADA*⁴⁾, Tetsufumi SAKAI*⁵⁾, Hisanori SHIMADA*⁶⁾, Koji TAKAHASHI*⁷⁾, Taizan ADACHI*⁸⁾, Kohsei TABUCHI*⁹⁾ and Shigeki NAKAMURA*¹⁰⁾

Abstract : A new soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] cultivar called "Satonohohoemi" was developed at the National Agricultural Research Center for the Tohoku Region in 2009. This cultivar was selected from a cross between "Tohoku 129" and "Kariko 0264MYF₆" with the goal of developing a cultivar with resistance to soybean mosaic virus (SMV), large seed size and good quality.

"Satonohohoemi" is a late maturing variety based on the date of maturity at Kariwano, Akita (latitude 39° 32' N, longitude 140° 22' E). It has white flowers, gray pubescence and brown pods at maturity.

* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Kariwano, Daisen, Akita 019-2112, Japan)

* 2) 現・東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Yotsuya, Daisen, Akita 014-0102, Japan)

* 3) 現・近畿中国四国農業研究センター (National Agricultural Research Center for Western Region, Zentsuji, Kagawa 765-8508, Japan)

* 4) 現・中央農業総合研究センター (National Agricultural Research Center, Tsukuba, Ibaraki 305-8666, Japan)

* 5) 現・九州沖縄農業研究センター (National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Miyakonojo, Miyazaki 885-0091, Japan)

* 6) 現・北海道立総合研究機構北見農業試験場 (Hokkaido Research Organization Kitami Agricultural Experiment Station, Kunneppu, Tokoro, Hokkaido 099-1496, Japan)

* 7) 現・長野県野菜花き試験場 (Nagano Vegetable and Ornamental Crops Experimental Station, Shiojiri, Nagano 399-6461 Japan)

* 8) 元・国際農林水産業研究センター (Deceased, Japan International Research Center for Agricultural Sciences)

* 9) 元・中央農業総合研究センター (Retired, National Agricultural Research Center)

* 10) 元・近畿中国四国農業研究センター (Retired, National Agricultural Research Center for Western Region)

2010年12月7日受付、2011年2月3日受理

It has a medium stem height with determinate growth and high height of the lowest stem node with a pod. It is resistant to SMV strains A, B, C and D as well as to both lodging and pod dehiscence.

The seeds of "Satonohohoemi" are large, good, yellowish-white seeds with yellow hila. Since the protein content of "Satonohohoemi" is high, it is suitable for tofu processing.

"Satonohohoemi" showed high productivity and adaptability in the southern area of the Tohoku district. "Satonohohoemi" was released as a new recommended cultivar by Yamagata prefecture in 2009.

Key Words : Soybean, Large seed size, Soybean mosaic virus resistance, Lodging resistance, Protein content, Tofu processing suitability, New cultivar

I 緒 言

最近のダイズを巡る状況は、中国やインド等の人口超大国の経済発展による食料需要の増大、世界的なバイオ燃料の原料としての穀物需要の増大、及び、地球規模の気候変動の影響等によって、不安定要素が増大している。これらの要因によって穀物需給の逼迫からダイズの国際価格は上昇基調で推移しているため、実需者からは国産ダイズの安定供給が強く求められている。一方、国内では、2007年から水田・畑作経営所得安定対策（品目横断的経営安定対策）が導入され、土地利用型農業の体質を強化し、食料の安定供給、地域農業の維持・発展が図られようとしている。そのため、生産者からは規模拡大が見込まれる機械化適性が高く、栽培しやすく、収量・品質も確保できるダイズ品種の育成が望まれている。

国産ダイズの主たる用途は豆腐であり、その代表的な高蛋白品種に温暖地を栽培適地とする「エンレイ」がある。「エンレイ」は広域適応性を有することから南東北地方の山形県でも作付けされているが、この地域で主に発生するダイズモザイクウイルス（SMV）のC及びD系統に対して抵抗性を有していない。また、南東北地方で作付けされているダイズモザイクウイルスに強い中粒品種の「スズユタカ」は、蛋白質含量が低めで、かつ、湿害や連作等による小粒化が問題となっている。

以上のような問題解決のために、南東北地方向けの大粒でダイズモザイクウイルスに強く、さらに、耐倒伏性等の機械化適性を向上させた豆腐用の高蛋白品種の育成が必要であった。その結果、2009年にこれらの要望に応える優良品種「里のほほえみ」が育成され、山形県で認定品種に採用された。2010年に「里のほほえみ」は「だいで農林139号」とし

て農林認定され、福井県で奨励品種に採用された。本報告では、本品種の来歴、育成経過、特性等について記述する。

本品種の育成に当たり、山形県農業総合研究センター農業環境研究部（現 山形県農業総合研究センター土地利用型作物部）及び山形県農業総合研究センター農業生産技術試験場庄内支場（現 山形県農業総合研究センター水田農業試験場）の担当者各位には、奨励品種決定調査をはじめ各種試験の実施を通じ、その特性把握にご尽力いただいた。また、系統適応性検定試験、特性検定試験に当たられた関係公立農業試験研究機関の担当者及び加工適性試験に当たられた国産大豆協議会品質評価分科会の実需者の方々には、それぞれ多大なご協力をいただいた。さらに、東北農業研究センター大仙研究拠点の技術専門職員各位には育種業務の遂行にご尽力いただいた。ここに記して深く感謝する。

II 来歴及び育成経過

「里のほほえみ」は、1996年に東北農業試験場作物開発部大豆育種研究室（現 東北農業研究センター大豆育種研究東北サブチーム）において、ダイズモザイクウイルス抵抗性で大粒良質の品種育成を目標に、ダイズモザイクウイルス抵抗性系統の「東北129号」を母、極大粒系統の「刈交0264MYF₆」を父とした人工交配を行い、以後、選抜・固定を図って、育成した品種である（図1）。交配後の1997年にF₁個体を養成し、1998年及び1999年にF₂及びF₃集団を隔離圃場にそれぞれ栽植して、ダイズモザイクウイルスのC及びD系統を人工接種して抵抗性個体を選抜し、2000年にF₄集団から個体選抜を行って、以降、系統育種法により選抜・固定を進めた。2003年から「刈系703号」として生産力検定予備試

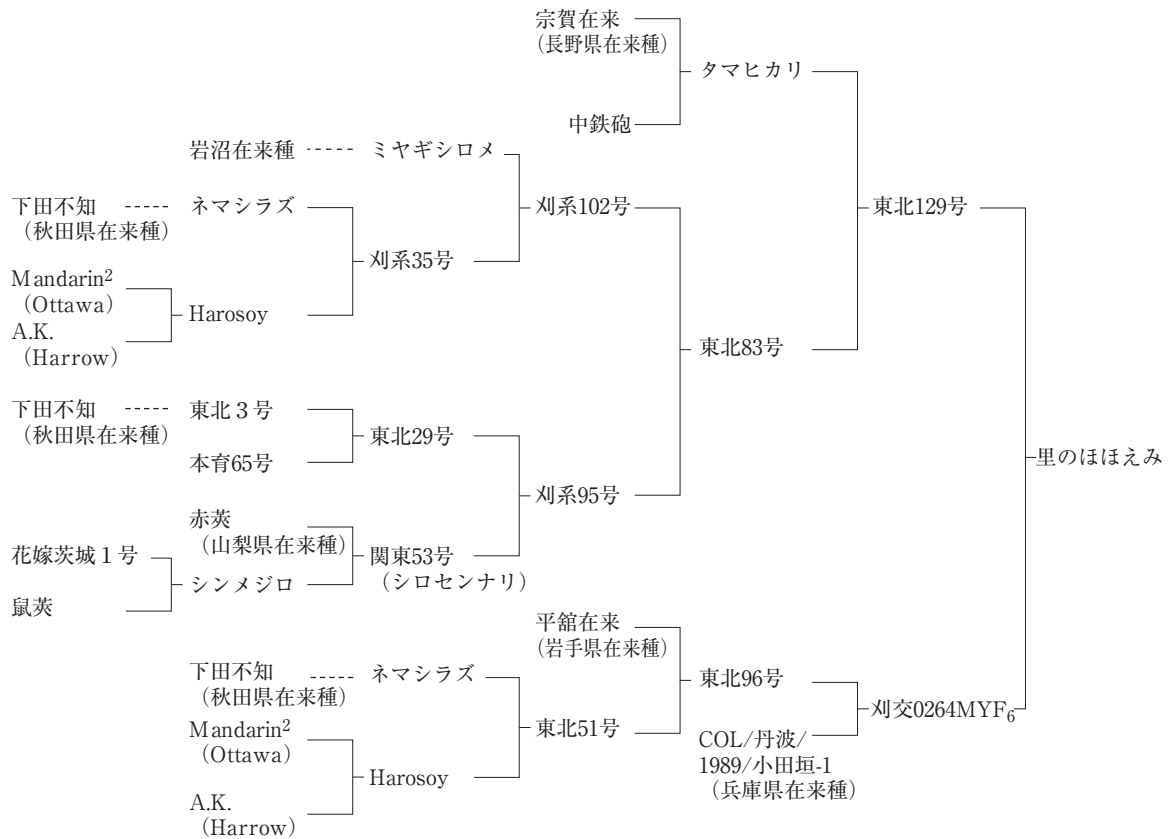


図1 「里のほほえみ」の系譜

表1 育成経過

年次	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
世代	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
供試	系統群数						10	2	2	1	1	1	1
	系統数					37	50	14	14	7	7	7	7
選抜	個体数	112花	7	900	800	1125	×25	×25	×25	×25	×25	×25	×25
	系統数						10	2	2	1	1	1	1
備考	個体数	4莢	3			37	50	14	14	7	7	7	7
	粒数	7	900	800	1125								15
備考			SMV (C、D系統) 接種選抜					刈系 703号		東北 160号			

験、系統適応性検定試験及び特性検定試験等に供試し、ダイズモザイクウイルスに強く、大粒良質で耐倒伏性も優れたことから2005年に「東北160号」の地方番号を付し、以後、生産力検定試験、奨励品種決定調査及び特性検定試験等に供試してきた(表1)。2008年における世代はF₁₂であり、主要な形質について系統間及び個体間の変異を調査し、実用的に支障のない程度に固定しているものと認められた(表2)。2009年に育成を完了し、山形県で認定品種に採用され、「里のほほえみ」の名称を付した。

2010年3月に「だいで農林139号」として農林認定され、山形県で優良品種に認められるとともに、福井県で奨励品種に採用された。なお、「里のほほえみ」(英語表記: Satonohohoemi)の品種名は、東北の「里」で健やかに生育して、生産者や実需者の顔に「笑み」がこぼれることを願って命名した。

III 特性の概要

「里のほほえみ」の主要な形態的特性、生態的特性及び品質特性について、奨励品種採用県の山形県

表2 固定度調査成績 (育成地)

品種名	変異係数(%)							
	主茎長		主茎節数		分枝数		百粒重	
	系統間	個体間	系統間	個体間	系統間	個体間	系統間	個体間
里のほほえみ	1.7	2.9	1.6	2.8	7.3	21.6	1.9	2.5
スズユタカ	1.8	3.8	1.3	4.4	10.8	25.3	4.4	5.8

注. 1) 試験年次は2008年。栽植様式は畦幅75cm、株間12cm、1株1本立。
2) 東北160号 (F₁₂) の7系統における系統間及び系統内個体間の変異係数。

表3 形態的特性

品種名	胚軸のアントシアニンの着色	小葉の形	花の色	毛茸		主茎の長さ	分枝の数	伸育型	熟莢の色	粒			種子の色	種皮の色	臍の色
				多	少					大さ	粒形	光沢			
里のほほえみ	無	鋭先卵形	白	中直	白	中	中	有限	中	かなり大	扁球	弱	黄	黄白	黄
エンレイ	有	鋭先卵形	紫	中直	白	中	中	有限	中	大	球	弱	黄	黄白	黄
スズユタカ	有*	鋭先卵形	紫	中*直	白*	中*	中*	中*	有限*濃*	中*	球	弱*	黄*	黄白*	黄*

注. 1) 審査基準国際統一委託事業調査報告書 (2004年3月) による。育成地 (東北農研大仙研究拠点) での観察、調査に基づいて分類した。
2) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。
3) 「エンレイ」の特性の一部は温暖地での分類とは必ずしも一致しない。

表4 生態的特性

品種名	開花期	成熟期	生育態型	裂莢の難易	最下着莢節位高	倒伏抵抗性	病害抵抗性				ウチ場抵抗性病性	シセンストウ
							モザイクウイルス	病原系統	A	B		
里のほほえみ	やや晩	晩	中間型	難	高	強	強	強	強	強	強	弱
エンレイ	中	やや晩	中間型	易	やや高	中	強	強	弱	弱	中	弱
スズユタカ	やや晩	やや晩	中間型	中*	中	中	強	強	強	強	強*	強*

注. 1) 審査基準国際統一委託事業調査報告書 (2004年3月) による。育成地 (東北農研大仙研究拠点) での観察、調査に基づいて分類した。
2) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。
3) 「エンレイ」の特性の一部は温暖地での分類とは必ずしも一致しない。

表5 品質特性

品種名	粗蛋白質含有率	粗脂肪含有率	裂皮の難易	品質
里のほほえみ	高	中	難	上・下
エンレイ	高	中	難	中・上
スズユタカ	中*	中*	中	中・上*

注. 1) 審査基準国際統一委託事業調査報告書 (2004年3月) による。育成地 (東北農研大仙研究拠点) での観察、調査に基づいて分類した。
2) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。
3) 「エンレイ」の特性の一部は温暖地での分類とは必ずしも一致しない。

で栽培されている代表的な品種である「スズユタカ」及び「エンレイ」とともに、審査基準国際統一委託事業調査報告書 (2004) に従い、主に特性検定試験並びに育成地における生産力検定試験に基づいて分類した (表3～表5)。

1. 形態的特性

「里のほほえみ」の胚軸のアントシアニンの着色は無、花色は白で、「エンレイ」及び「スズユタカ」と異なる。小葉の形は鋭先卵形、毛茸の色は白、その多少は中である。主茎長、主茎節数、分枝数はいずれも中で、「エンレイ」及び「スズユタカ」と同じである。伸育型は有限で、熟莢の色は中である

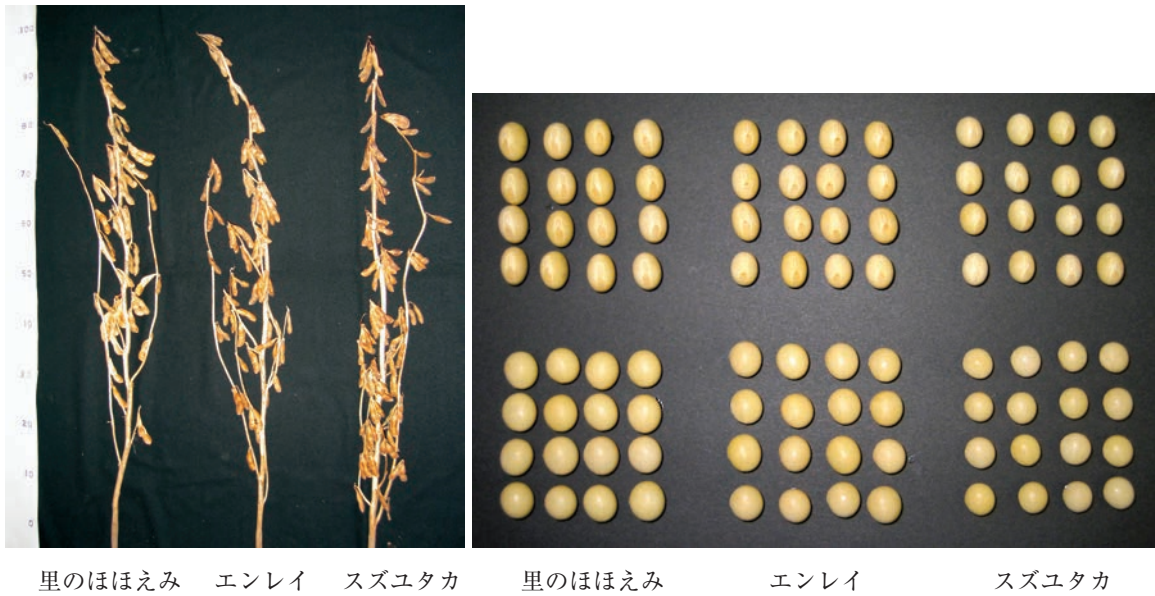


写真1 「里のほほえみ」の草本と子実の形態

注. 1) 2008年東北農業研究センター大仙研究拠点 普通畑産。
2) 2008年6月4日播種、畦幅75cm、株間16cm、1株2本立。



手前：エンレイ 後方：里のほほえみ

写真2 「里のほほえみ」の耐倒伏性

注. 1) 撮影：2008年10月20日。
2) 2008年東北農業研究センター大仙研究拠点 水田転換畑。
3) 2008年6月3日播種、畦幅75cm、株間16cm、1株2本立。

(写真1)。粒度分布は篩目7.9mm上に70%以上残ることから大粒規格を満たし(表6)、粒の大きさは「エンレイ」の大、「スズユタカ」の中に対してかなり大である。粒の形は「幅/長さ」及び「厚さ/幅」比から扁球に分類される(表7)。子葉色

は黄、種皮の地色は黄白、臍色は黄、粒の光沢は弱である(写真1)。

2. 生態的特性

1) 早晩性

「里のほほえみ」の開花期はやや晩で、成熟期は「エンレイ」及び「スズユタカ」のやや晩より遅い晩である。生態型は中間型である。

2) 機械化適性

(1) 裂莢の難易

熱風乾燥処理による裂莢性検定試験(土屋・砂田1978)の結果、「エンレイ」の易、「スズユタカ」の中に対して「里のほほえみ」の裂莢率は極めて低く、「タチユタカ」と同程度の難に分類される(表8)。

(2) 最下着莢節位高

最下着莢節位高は、「エンレイ」のやや高、「スズユタカ」の中に対してやや高く、「タチナガハ」と同程度の高に分類される(表9)。

(3) 倒伏抵抗性

倒伏抵抗性は、育成地における生産力検定試験から、いずれも倒伏程度が「エンレイ」及び「スズユタカ」の中～多に対して微～少と2ランク程度低いことから、強と判定される(表30、写真2)。

以上のことから、コンバイン収穫の際に重要となる裂莢性、最下着莢節位高、耐倒伏性について、

表6 粒度分布調査成績 (育成地)

品 種 名	試験条件	6.1mm	6.1~	6.7~	7.3~	7.9~	8.5~	9.1mm	百粒重 (g)
		未満 (%)	6.7mm (%)	7.3mm (%)	7.9mm (%)	8.5mm (%)	9.1mm (%)	以上 (%)	
里のほほえみ	普通畑標準播	0.0	0.0	0.1	1.2	20.2	58.7	19.8	39.2
	転換畑標準播	0.0	0.0	0.2	0.9	17.4	59.3	22.2	40.4
エンレイ	普通畑標準播	0.0	0.0	0.5	19.2	62.2	17.9	0.2	34.1
	転換畑標準播	0.0	0.0	1.4	16.7	61.9	19.7	0.3	34.3
スズユタカ	普通畑標準播	0.3	14.0	30.0	45.1	10.7	0.0	0.0	26.1
	転換畑標準播	0.0	0.0	17.5	60.4	21.5	0.4	0.0	27.4

注. 1) 普通畑標準播及び転換畑標準播は、各々、2005~2008及び2006~2008の平均。供試種子量は500g。2反復。
2) 粒度は重量比 (%)。

表7 粒形調査成績 (育成地)

品 種 名	長さ(mm)	幅(mm)	厚さ(mm)	幅/長さ	厚さ/幅	判定	既往の評価
里のほほえみ	9.36	8.56	7.16	0.91	0.84	扁球	-
エンレイ	8.97	8.09	6.95	0.90	0.86	球	楕円体
スズユタカ	8.06	7.30	6.47	0.91	0.89	球	扁球

注. 1) 2005~2008年の4ヶ年平均。
2) 普通畑標準播産、畦幅75cm、株間16cm、1株2本立。供試粒数は50粒。
3) 粒形の分類基準は以下の通り。
球 : 幅/長さが0.85以上で厚さ/幅が0.85以上
扁球 : 幅/長さが0.85以上で厚さ/幅が0.84以下
楕円体 : 幅/長さが0.84以下で厚さ/幅が0.85以上
扁楕円体 : 幅/長さが0.84以下で厚さ/幅が0.84以下

表8 熱風乾燥法による裂莢性検定試験成績 (育成地)

品 種 名	裂莢率 (%)	判定	既往の評価
里のほほえみ	4.3	難	-
エンレイ	97.0	易	中
スズユタカ	80.5	中	中*
タチユタカ	2.0	難	難*
タチナガハ	93.8	易	易

注. 1) 2005~2008年の4ヶ年平均。
2) 裂莢率は60℃、3時間(2008年は2時間)の熱風乾燥処理による。供試莢数は50莢、3反復。
3) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

「里のほほえみ」は「エンレイ」及び「スズユタカ」より優れていることから、これらの品種より機械化適性が十分備わっていると判断される。

3) 病虫害抵抗性

(1) ダイズモザイクウイルス抵抗性

育成地におけるダイズモザイクウイルスの病原系統別接種試験で、「里のほほえみ」はA、B、C及びD病原系統に対する抵抗性を有することが確認された(表10)。また、山形県農業総合研究センター(表11)及び長野県中信農業試験場(現 長野県野菜花き試験場)(表12)で実施された圃場における

表9 最下着莢節位高調査成績 (育成地)

品 種 名	最下着莢節位高(cm)			判定
	普通畑 標準播	転換畑 標準播	普通畑 晩播	
里のほほえみ	28.5	30.5	28.3	高
エンレイ	22.8	24.5	23.8	やや高
スズユタカ	15.8	18.8	18.8	中*
タチユタカ	19.8	20.8	19.8	中
タチナガハ	28.5	28.3	26.8	高

注. 1) 2005~2008年の4ヶ年平均。
2) 供試株数は10株、3反復。
3) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

表10 ダイズモザイクウイルス病原系統別抵抗性検定試験成績 (育成地)

品 種 名	ダイズモザイクウイルス病原系統			
	A	B	C	D
里のほほえみ	R (0.0)	R (2.0)	R (2.0)	R (4.5)
農林4号	S* (93.0)	S* (81.0)	S* (82.5)	S* (63.8)
デナムスメ	R* (0.0)	R* (0.0)	R* (2.3)	R* (0.0)

注. 1) 2003、2005、2006、2008年の4ヶ年平均。2003年は刈系703号の成績。
2) 病原系統別の人工接種による。
3) 抵抗性は括弧内の発病個体率から判定。分類基準は以下の通り。
R : 0~10%、(R) : 11~30%、(S) : 31~50%、S : 51~100%。
4) *印は当該形質について標準品種になっていることを示す。

表11 ダイズモザイク病抵抗性検定試験成績（山形県農業総合研究センター）

品 種 名	生育中における発病			子実における発病			既往の評価
	発病株率(%)	発病度	判定	褐斑粒率(%)	発病度	判定	
里のほほえみ	7.5	1.9	強	0.5	0.2	強	—
奥羽3号	100.0	51.9	弱	25.9	12.3	強	中
ネマシラズ	27.5	8.2	強	1.9	0.8	強	強
デウムスメ	12.5	3.2	強	1.4	0.9	強	強

- 注. 1) 2003年及び2008年の2ヶ年平均。2003年は刈系703号の成績。
 2) 試験は抵抗性弱の「ダルマサリ」の褐斑種子を一定間隔で栽培し発病を促した圃場で実施。供試株数は20株、供試粒数は300粒。
 3) 生育中における発病度は次式により算出した。
 病徴程度を、0：無病徴または病徴が判然としない、1：軽微なモザイク症状、2：縮葉症状が中程度、3：縮葉症状が甚だしい、4：縮葉症状が著しく生育が抑制、で判定し、
 $発病度 = \{ \sum (病徴程度 \times 該当個体数) / (4 \times 調査個体数) \} \times 100$ 、とした。
 4) 子実における発病度は次式により算出した。
 病徴程度を、0：褐斑が全くみられない、1：僅かに褐斑を有する、2：一見してわかる程度の褐斑を有する、3：臍の大きさ程度の褐斑を有する、4：それ以上、で判定し、
 $発病度 = \{ \sum (病徴程度 \times 該当粒数) / (4 \times 調査粒数) \} \times 100$ 、とした。
 5) 分類基準は以下の通り。
 発病度 0：極強、0.1～20：強、20.1～50：中、50.1～80：弱、80.1～：極弱。

表12 ダイズモザイク病抵抗性検定試験成績（長野県中信農業試験場）

品 種 名	生育中における発病			子実における発病			既往の評価
	発病株率(%)	発病度	判定	褐斑粒率(%)	発病度	判定	
里のほほえみ	11.7	11.3	強	5.4	3.0	強	—
農林2号	57.9	53.8	弱	61.4	52.6	弱	弱
タチナガハ	56.4	41.2	中	40.2	23.6	中	中
ギンレイ	3.3	4.4	強	0.3	0.2	強	強

- 注. 1) 2004年、2005年及び2008年の3ヶ年平均。2004年は刈系703号の成績。
 2) 試験は抵抗性中の「エンレイ」(2004)、「サチユタカ」(2005)、「信濃黒」(2008)の褐斑種子を一定間隔で栽培し発病を促した圃場で実施。供試株数は20～28株、供試粒数は300粒。
 3) 生育中における発病度は次式により算出した。
 病徴程度を、0：無病徴または病徴が判然としない、1：軽微なモザイク症状、2：縮葉症状が中程度、3：縮葉症状が甚だしい、4：縮葉症状が著しく生育が抑制、で判定し、
 $発病度 = \{ \sum (病徴程度 \times 該当個体数) / (4 \times 調査個体数) \} \times 100$ 、とした。
 4) 子実における発病度は次式により算出した。
 病徴程度を、0：褐斑が全くみられない、1：僅かに褐斑を有する、2：一見してわかる程度の褐斑を有する、3：臍の大きさ程度の褐斑を有する、4：それ以上、で判定し、
 $発病度 = \{ \sum (病徴程度 \times 該当粒数) / (4 \times 調査粒数) \} \times 100$ 、とした。
 5) 分類基準は以下の通り。
 発病度 0：極強、0.1～20：強、20.1～50：中、50.1～80：弱、80.1～：極弱。

ダイズウイルス病抵抗性検定試験での生育中及び子実の発病程度から、「里のほほえみ」のウイルス病圃場抵抗性は強と判定される。

(2) ダイズシストセンチュウ抵抗性

北海道立十勝農業試験場（現 北海道立総合研究機構十勝農業試験場）におけるダイズシストセンチュウ (*Heterodera glycines* Ichinohe) 抵抗性検定試験では、2ヶ年ともにレース3の寄生指数が抵抗性弱の標準品種「キタムスメ」並であり、「里のほほえみ」の抵抗性は弱と判定される（表13）。

(3) 紫斑病抵抗性

福島県農業総合センター会津地域研究所における紫斑病 (*Cercospora kikuchii* Matsumoto et Tomoyasu) 抵抗性検定試験では、指標品種の発病

表13 ダイズシストセンチュウ抵抗性検定試験成績（北海道立十勝農業試験場）

品 種 名	年次	シスト寄生指数 (レース3)	判定	既往の 評価
里のほほえみ	2004	78	弱	—
	2008	61		
キタムスメ (標準)	2004	80	弱	弱
	2008	60		
トヨムスメ (標準)	2004	13	強	強
	2008	1		

- 注. 1) 2004年は刈系703号の成績。
 2) シスト寄生指数は次式により算出した。
 根の雌成虫の着生密度を、0：無、1：少、2：中、3：多、4：甚、の階級値で表し、シスト寄生指数 = $\{ \sum (階級値 \times 該当個体数) / (4 \times 調査個体数) \} \times 100$ 、とした。
 3) 抵抗性の判定は、標準品種の寄生指数との比較による。

表14 紫斑病抵抗性検定試験成績 (福島県農業総合センター会津地域研究所)

品種名	年次	発病粒率(%)		総合判定	既往の評価
		自然感染区	発病促進区		
里のほほえみ	2003	0.8	5.3	強	-
	2007	6.5	5.8		
	2008	8.4	6.3		
赤莢(長野)	2003	0.1	0.4	強	強
	2007	0.3	1.3		
	2008	0.5	3.6		
タマヒカリ	2003	3.8	2.8	やや強	やや強
	2007	13.9	11.8		
	2008	14.5	11.9		
スズユタカ	2003	5.7	5.1	中	中
	2007	15.4	16.7		
	2008	18.7	13.8		
エンレイ	2003	5.5	4.7	中	中
	2007	19.8	22.0		
	2008	48.6	29.1		

注. 1) 2003年は刈系703号の成績。
 2) 発病促進区は、晩播で罹病種子の散布と冠水処理を実施。
 3) 判定は、年次ごとに指標品種の発病粒率を考慮して分級した。供試粒数は任意に抽出した子実100g。
 4) 「赤莢(長野)」は強、「タマヒカリ」はやや強、「スズユタカ」と「エンレイ」は中の指標品種である。

表15 立枯性病害抵抗性検定試験成績 (岩手県農業研究センター)

品種名	年次	発病株率(%)	平均発病度	同一株内「Harosoy」対比	総合判定	既往の評価
里のほほえみ	2003	100	2.23	0.79	やや強	-
	2007	100	2.55	0.68		
	2008	97	1.72	0.50		
ナンブシロメ	2003	100	2.65	0.91	弱	弱
	2007	100	3.20	0.83		
	2008	100	2.37	0.71		
スズカリ	2003	98	2.26	0.79	やや強	やや強
	2007	100	3.11	0.79		
	2008	100	2.12	0.63		

注. 1) 2003年は刈系703号の成績。
 2) 1株に供試品種・系統と「Harosoy」を混植し、「Harosoy」が罹病した株だけを調査対象とした。
 3) 平均発病度は、0：発病無し、1：地際部に褐変が認められる、2：褐変が地際部全体を取り巻いている、3：褐変が地際部を中心に長く伸びている、4：主根が腐朽、5：枯死とする階級値を個体毎に与え、下式によって算出した。

$$\text{平均発病度} = \{ \sum (\text{階級値} \times \text{該当株数}) / (\text{全調査株数} \times 5) \} \times 100$$

 4) 同一株内「Harosoy」対比は、同一株内の「Harosoy」の発病度に対する供試系統の発病度として算出した。
 5) 判定は、同一株内「Harosoy」対比を重点に、平均発病度及び発病株率から、年次ごとの指標品種を考慮して分級した。
 6) 「ナンブシロメ」は弱、「スズカリ」はやや強の指標品種である。

表16 吸水乾燥法による裂皮性検定試験成績 (育成地)

品種名	裂皮粒率(%)	判定	既往の評価
里のほほえみ	27.3	難	-
エンレイ	26.7	難	難
スズユタカ	50.3	中	中

注. 1) 2005年~2007年の3ヶ年平均。
 2) 30℃下、13時間吸水後、湿度80%で8時間以上乾燥後、裂皮の大きさが最大3mm以上の粒数を調査した。供試粒数は50粒、2反復。
 3) 「スズユタカ」は中、「エンレイ」は難の指標品種である。

粒率を比較した2ヶ年の結果から「里のほほえみ」の紫斑病抵抗性は強と判定される(表14)。

(4) 立枯性病害抵抗性

岩手県農業研究センターにおける立枯性病害抵抗性検定試験では、同一株内「Harosoy」対比を重点に判定した結果、「里のほほえみ」の立枯性病害抵抗性は3ヶ年の平均によりやや強と分類される(表15)。

3. 品質特性

1) 粒の外観品質

「里のほほえみ」の粒の外観品質は、育成地における生産力検定試験結果から、「エンレイ」や「スズユタカ」の中の上に対し下の下と判断される(表30)。

2) 裂皮の難易

吸水・乾燥処理(村田ら 1991)による裂皮性検定結果及び育成地における生産力検定試験結果から、「里のほほえみ」は「スズユタカ」の中に対して裂皮粒率が低く、「エンレイ」並の難に分類される(表16)。

3) 子実成分

育成地及び奨励品種採用県の山形県のいずれの栽培条件でも、「里のほほえみ」の粗蛋白質含有率は中の標準品種「スズユタカ」よりも高く、高の標準品種「エンレイ」に近いことから高に分類され、粗脂肪含有率は、中の標準品種「スズユタカ」並の中に分類される(表17、表18)。

4. 加工適性

1) 豆腐加工適性

育成地における転換畑標準播産を用いた豆腐加工適性試験では、年次によって多少ばらつきはあるものの、豆乳抽出率及び豆腐破断強度が国産大豆協議会品質評価分科会の豆腐の全国標準品である「フクユタカ」に比べて特に劣るような値を示さなかった(表19)。

表17 子実成分調査成績（育成地）

品種名	粗蛋白質含有率(%)				粗脂肪含有率(%)			
	普通畑標準播	転換畑標準播	普通畑晩播	判定	普通畑標準播	転換畑標準播	普通畑晩播	判定
里のほほえみ	44.3	45.5	44.7	高	20.4	20.0	19.6	中
エンレイ	44.3	45.1	44.9	高	20.0	19.2	18.8	中
スズユタカ	39.6	40.9	40.1	中	20.7	20.0	19.7	中

注. 1) 2005年~2008年の4ヶ年平均。
 2) 分析値は近赤外分光分析法による無水分中の含有率。窒素蛋白質換算係数は6.25。
 3) 「スズユタカ」は粗蛋白質及び粗脂肪含有率が中、「エンレイ」は粗蛋白質含有率が高い指標品種。

表18 子実成分調査成績（山形県農業総合研究センター）

品種名	粗蛋白質含有率(%)		粗脂肪含有率(%)	
	本場	庄内支場	本場	庄内支場
里のほほえみ	45.2	44.7	20.7	20.8
エンレイ	44.2	44.2	19.7	20.4
スズユタカ	39.4	39.9	21.3	21.4

注. 1) 2007年~2008年の2ヶ年平均。
 2) 分析値は近赤外分光分析法による無水分中の含有率。窒素蛋白質換算係数は6.25。

また、国産大豆協議会品質評価分科会のA社において2005年及び2006年の育成地産を用いた豆腐加工適性試験を実施した。その結果、2005年産で豆乳粘度がやや高めの値を示したが、両年産ともに豆腐破断強度は全ての凝固剤で基準値を上回り、豆腐に適するとの評価を得た（表20）。

一方、育成地における2007年及び2008年の山形県産を用いた豆腐加工適性試験では、生産場所間でやや変動はあるものの、「里のほほえみ」の平均豆腐破断強度は「スズユタカ」よりも高く、「エンレイ」よりは低い値を示した（表21）。

さらに、A社においても2008年の山形県産を用いた豆腐加工適性試験を実施した。その結果、豆腐破断強度は、新庄市の凝固剤GDLを除いて、全ての凝固剤で基準値を上回り、官能評価も良好であった。（表22）。

以上のことから、「里のほほえみ」は豆乳抽出率、豆腐の破断強度、豆腐の食味に関して特に問題はなく、豆腐加工適性は適と判断される。

2) 煮豆加工適性

国産大豆協議会品質評価分科会の3社において、2005~2007年の育成地産を用いた煮豆加工適性試験を実施した。煮豆の全国標準品である「トヨムスメ」と比べて、色調が明るく見栄えが良く、テクスチャーや食味も良好なことから、「里のほほえみ」の煮豆加工適性は適と判断される（表23~表25）。

表19 豆腐加工適性試験成績（育成地）

品種名	原料	吸水率	豆乳	豆乳	豆腐の
	生産		抽出率	粘度	破断応力
	年次	(倍)	(%)	(mPa·s)	(×1000Pa)
里のほほえみ	2006	2.2	76.3	86.2	11.0
	2007	2.3	73.0	40.6	11.2
	2008	2.2	72.6	41.8	10.4
スズユタカ	2006	2.2	75.3	29.0	11.8
	2007	2.3	73.9	16.7	10.4
	2008	-	-	-	-
エンレイ	2006	-	-	-	-
	2007	2.4	70.1	30.1	14.2
	2008	2.2	72.1	39.8	15.2
フクユタカ (標準)	2006	2.2	75.4	57.1	13.2
	2007	2.3	76.6	24.2	11.5
	2008	-	-	-	-

注. 1) 原料大豆は、「フクユタカ」(福岡県産、国産大豆協議会品質評価分科会の豆腐の全国標準品)を除き、育成地転換畑産。
 2) 豆腐の製造は、育成地において7倍加水、加熱搾りにより豆乳を抽出し、凝固剤に塩化マグネシウムを用いて充填豆腐を調整した。

3) 納豆加工適性

納豆加工適性試験は、国産大豆協議会品質評価分科会のE技術センターにおいて行った（表26）。納豆はやや硬かったが、官能評価ではいずれの項目も大粒納豆の全国標準品である「トヨコマチ」並であった。従って、「里のほほえみ」の納豆の評価は「トヨコマチ」と比較して遜色なく、納豆加工適性は適と判断される。

4) 味噌加工適性

味噌加工適性試験は、国産大豆協議会品質評価分科会の3研究所において行った（表27~表29）。いずれも蒸煮大豆の重量増加比や硬さは適正範囲内であり、淡色系味噌では色、香り、味、組成でその全国標準品である「トヨコマチ」を上回り、また赤色味噌でもその全国標準品である「エンレイ」を色で優った。従って、「里のほほえみ」は、淡色系味噌では「トヨコマチ」より優る評価が得られ、また赤色系味噌でも「エンレイ」と比較して遜色ないこと

表20 豆腐加工適性試験成績 (A社)

品種名	原料 生産 年次	豆乳							豆腐					
		抽出率 (%)	固形分 (%)	粗蛋 白質 (%)	粘度 (mPa·s)	色調			GDL		硫酸Ca		塩化Mg	
						L	a	b	破断応力 (g/cm ²)	pH	破断応力 (g/cm ²)	pH	破断応力 (g/cm ²)	pH
里のほほえみ	2005	78.2	9.83	4.63	52.1	77.6	-1.1	13.3	94	5.88	100	6.01	68	6.36
	2006	79.9	9.64	4.77	27.6	78.2	-2.3	13.4	102	5.98	105	6.07	78	6.40
フクユタカ (標準)	2005	81.7	9.50	4.47	11.8	79.6	-1.4	12.5	119	5.94	111	6.14	84	6.43
	2006	80.1	9.69	4.63	11.3	78.9	-2.6	14.9	109	5.96	117	6.02	78	6.38

注. 1) 「里のほほえみ」は育成地産、「フクユタカ」は福岡県産 (国産大豆協議会品質評価分科会の豆腐の全国標準品)。
 2) 豆腐の製造は、A社の定法による。
 3) 凝固剤の種類 GDL: グルコノデルタラクトン、硫酸Ca: 硫酸カルシウム、塩化Mg: 塩化マグネシウム。

表21 山形県産ダイズの豆腐加工適性試験成績 (育成地)

品種名	原料生 産年次	豆腐の破断応力 (×1,000Pa)									平均
		本場	庄内 支場	現地							
				三川町	山形市	中山町	川西町	新庄市	酒田市		
里のほほえみ	2007	10.0	-	9.3	10.4	-	9.1	11.4	8.2	9.7	
	2008	10.4	5.7	12.0	-	11.1	13.1	10.5	8.6	10.2	
エンレイ	2007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2008	11.2	8.3	15.7	-	14.1	8.0	13.0	12.0	11.8	
スズユタカ	2007	9.1	-	7.4	8.4	-	6.9	10.6	5.3	8.0	
	2008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

注. 1) 豆腐の製造は、育成地において7倍加水、加熱搾りにより豆乳を抽出し、凝固剤に塩化マグネシウムを用いて充填豆腐を調整した。

表22 山形県産ダイズの豆腐加工適性試験成績 (A社)

品種名	原料生 産場所	豆乳							豆腐					
		抽出率 (%)	固形分 (%)	粗蛋 白質 (%)	粘度 (mPa·s)	色調			GDL		硫酸Ca		塩化Mg	
						L	a	b	破断応力 (g/cm ²)	pH	破断応力 (g/cm ²)	pH	破断応力 (g/cm ²)	pH
里のほほえみ	本場	80.1	9.46	4.57	14.9	79.5	-2.7	13.5	100	5.87	123	5.91	84	6.33
	中山町	79.5	9.73	4.91	24.0	78.8	-2.9	14.1	96	5.92	131	6.00	96	6.41
	新庄市	79.7	9.47	4.58	15.8	78.8	-2.9	13.9	70	5.91	109	5.95	76	6.41
	川西町	80.4	9.65	4.55	18.1	79.2	-2.6	14.0	92	5.93	117	6.02	80	6.43
	三川町	80.1	9.62	4.68	20.8	78.8	-2.6	13.9	94	5.96	123	5.98	86	6.41
	平均	80.0	9.59	4.66	18.7	79.0	-2.7	13.9	90	5.92	121	5.97	84	6.40
エンレイ	本場	79.9	9.49	4.61	13.2	78.6	-2.6	13.6	98	5.89	111	5.89	82	6.33

注. 1) 原料大豆は2008年産。豆腐の製造は、A社の定法による。
 2) 凝固剤の種類 GDL: グルコノデルタラクトン、硫酸Ca: 硫酸カルシウム、塩化Mg: 塩化マグネシウム。

表23 煮豆加工適性試験成績 (B社)

品種名	原料		製造				官能評価							
	百粒重 (g)	不良 粒率 (%)	原 料 使用量 (g)	仕上り 製品糖度 (%)	製品 収量 (g)	製品歩合 (製品/原料) (倍)	色沢 (悪:1) (良:5)	光沢 (悪:1) (良:5)	香り (悪:1) (良:5)	舌触り (ざらつく:1) (なめらか:5)	豆の硬さ (硬:1) (軟:5)	皮残り (硬:1) (軟:5)	味 (悪:1) (良:5)	総合 (悪:1) (良:5)
里のほほえみ	34.1	0.3	400	40	880	2.20	4.0	3.5	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0	3.5
トヨムスメ (標準)	39.2	23.9	750	39	1643	2.19	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

注. 1) 「里のほほえみ」は育成地産、「トヨムスメ」は北海道産 (国産大豆協議会品質評価分科会の煮豆の全国標準品)、いずれも2005年産。
 2) 製造条件は、B社の定法による、8℃で17時間浸漬後98℃で2分30秒蒸煮、加糖量 BX40% 1時間蜜漬。

表24 煮豆加工適性試験成績（C社）

品種名	原料		製造				官能評価								
	百粒重 (g)	不良 粒率 (%)	原 料 使 用 量 (g)	仕 上 が り 製 品 糖 度 (%)	製 品 取 量 (g)	包 装 前 選 別 除 去 率 (%)	色 沢	光 沢	香 り	舌 触 り	豆 の 硬 さ	皮 残 り	味	総 合	
							(悪:1)	(悪:1)	(悪:1)	(ざらつく:1)	(硬:1)	(硬:1)	(悪:1)	(悪:1)	
里のほほえみ	38.3	2.4	600	29	1377	0.3	2.9	3.1	3.0	3.2	3.1	2.9	3.0	2.9	
トヨムスメ(標準)	37.7	16.2	600	29	1312	5.3	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	

注. 1) 「里のほほえみ」は育成地産、「トヨムスメ」は北海道産（国産大豆協議会品質評価分科会の煮豆の全国標準品）、いずれも2006年産。
2) 製造条件は、C社の定法による、20℃で12時間浸漬後105℃で5分蒸煮、加糖量485gで1時間蜜漬。

表25 煮豆加工適性試験成績（D社）

品種名	原料		製造				官能評価								
	百粒重 (g)	不良 粒率 (%)	原 料 使 用 量 (g)	仕 上 が り 製 品 糖 度 (%)	製 品 取 量 (g)	包 装 前 選 別 除 去 率 (%)	色 沢	光 沢	香 り	舌 触 り	豆 の 硬 さ	皮 残 り	味	総 合	
							(悪:1)	(悪:1)	(悪:1)	(ざらつく:1)	(硬:1)	(硬:1)	(悪:1)	(悪:1)	
里のほほえみ	38.0	0.0	7,300	BX35	17,760	0.0	4.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	
D社標準品	39.0	5.0	7,300	BX35	17,500	0.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	

注. 1) 「里のほほえみ」は育成地産、2007年産。
2) 製造条件は、D社の定法による、15℃で16時間浸漬後99℃で10分、124℃で6分蒸煮、加糖量5kgで10時間蜜漬。

表26 納豆加工適性試験成績（E技術センター）

品種名	納豆				官能評価								
	硬さ (g)	色調			菌かぶり (悪:1)	溶菌 (多:1)	割れつぶれ (多:1)	豆の色 (悪:1)	香り (悪:1)	硬さ (硬:1)	味 (悪:1)	糸引き (悪:1)	総 合 (悪:1)
		L*	a*	b*									
里のほほえみ	117.9	54.0	2.3	12.8	2.9	3.1	3.1	2.8	3.0	2.8	3.2	3.1	2.9
トヨコマチ(標準)	100.4	55.6	2.1	14.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0

注. 1) 「里のほほえみ」は育成地産、「トヨコマチ」は北海道産（国産大豆協議会品質評価分科会の大粒納豆の全国標準品）、いずれも2005年産。
2) 製造条件は、E技術センターの定法による。

表27 味噌加工適性試験成績（F研究所）

	淡色系味噌					赤色系味噌				
	色	香り	味	組成	総合	色	香り	味	組成	総合
良い(人数)	23	15	10	7	21	10	4	1	4	6
同じ(人数)	8	16	18	21	7	18	23	26	25	22
悪い(人数)	0	1	3	2	1	3	5	4	2	2

注. 1) 「里のほほえみ」は育成地産、「トヨコマチ」は北海道産（国産大豆協議会品質評価分科会の淡色系味噌の全国標準品）、「エンレイ」は新潟県産（同分科会の赤色系味噌の全国標準品）、いずれも2005年産。
2) 製造条件は、F研究所の常法による。
3) 評価は淡色系味噌では「トヨコマチ」、赤色系味噌では「エンレイ」を標準として良い、同じ、悪いの3段階で評価し、各評価の人数を示した。パネラーは32名。

から、味噌加工適性は淡色系では好適、赤色系では適と判断される。

IV 生産力及び栽培特性

1. 生産力検定試験成績

1) 育成地における成績

育成地において、普通畑標準播、普通畑晩播及び

表28 味噌加工適性試験成績 (G研究所)

	淡色系味噌				
	色	香り	味	組成	総合
良い (人数)	25	9	13	6	23
同じ (人数)	3	24	16	24	5
悪い (人数)	5	0	4	3	5

- 注. 1) 「里のほほえみ」は育成地産、「トヨコマチ」は北海道産 (国産大豆協議会品質評価分科会の淡色系味噌の全国標準品)、いずれも2006年産。
 2) 製造条件は、G研究所の常法による。
 3) 評価は「トヨコマチ」を標準として良い、同じ、悪いの3段階で評価し、各評価の人数を示した。パネラーは33名。

転換畑晩播で生産力検定試験を実施した (表30)。普通畑標準播における「里のほほえみ」は、「エンレイ」と比較して、成熟期が6日遅く、子実重はやや低いが、倒伏が少なく、百粒重が大きく品質も優った。転換畑標準播における「里のほほえみ」は、「エンレイ」と比較して、成熟期が4日遅く、子実重はやや低いが、倒伏が少なく、百粒重が大きく品質も優った。普通畑晩播における「里のほほえみ」は、「エンレイ」と比較して、成熟期が10日遅く、子実重はやや低いが、百粒重が大きく品質も優った。

以上のことから、「里のほほえみ」は「エンレイ」よりもやや遅く成熟するが、耐倒伏性が強く、百粒重が大きく外観品質も優れることが明らかとなった。

2) 奨励品種採用県 (山形県) における成績

「里のほほえみ」は、2005年～2008年に山形県総合農業研究センターと山形県総合農業研究センター

表29 味噌加工適性試験成績 (H研究所)

試験日	品種名	水分 (%)	窒素			直接還元糖 (%)	pH	総酸度 (%)	アルコール (%)	色調		
			全 (%)	水溶性 (%)	アミノ態 (%)					Y (%)	x y	
仕込み時	里のほほえみ	45.0	1.83	0.34	0.05	9.43	5.91	5.33	-	34.5	0.397	0.384
	エンレイ	44.7	1.84	0.41	0.07	10.32	5.83	6.87	-	33.4	0.399	0.381
150日目	里のほほえみ	46.9	1.99	1.19	0.40	14.23	5.02	20.47	1.75	8.2	0.485	0.389
	エンレイ	45.4	2.04	1.18	0.40	14.97	5.02	23.51	1.59	7.6	0.487	0.388

- 注. 1) 「里のほほえみ」は育成地産、「エンレイ」は新潟産 (国産大豆協議会品質評価分科会の赤色系味噌の全国標準品)、いずれも2006年産。
 2) 製造条件は、H研究所の定法による。

表30 育成地における生産力検定試験成績

試験条件	品種名	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節)	分枝数 (本/株)	生育中の障害程度				全子実重 (kg/a)	対標準比 (%)	百粒重 (g)	障害粒の程度			品質	
							蔓化	倒伏	ウイルス	立枯				紫斑	褐斑	裂皮		
普通畑標準播	里のほほえみ	7.30	10.21	85	16.4	7.5	0.1	2.0	0.0	0.8	82.6	37.7	92	39.4	0.2	0.2	0.3	3.0
	エンレイ	7.28	10.15	84	16.2	8.8	0.3	3.6	0.0	1.4	79.4	41.1	100	33.1	0.3	0.0	0.3	5.2
	スズユタカ	8.01	10.16	83	17.1	7.8	0.0	3.9	0.0	1.4	74.4	37.2	90	26.0	0.4	0.0	0.9	4.5
転換畑標準播	里のほほえみ	7.31	10.24	91	16.6	7.0	0.0	1.0	0.0	0.3	78.5	35.4	93	40.7	0.1	0.0	0.2	2.9
	エンレイ	7.30	10.20	88	16.2	8.7	0.0	3.0	0.0	0.5	77.1	38.1	100	34.7	0.3	0.1	0.0	4.5
	スズユタカ	8.05	10.19	93	17.7	6.8	0.0	3.3	0.0	1.2	74.4	37.8	99	27.7	0.2	0.0	1.0	4.3
普通畑晩播	里のほほえみ	8.12	10.30	73	14.2	6.1	0.1	0.4	0.0	0.0	55.7	28.1	95	39.5	0.0	0.0	0.0	2.5
	エンレイ	8.10	10.20	73	13.9	5.4	0.5	2.0	0.0	0.4	55.0	29.6	100	31.7	0.1	0.1	0.0	4.0
	スズユタカ	8.13	10.21	72	14.6	5.5	0.6	1.8	0.0	0.8	56.0	29.4	99	24.8	0.1	0.0	0.2	3.6

- 注. 1) 2005～2008年の4ヶ年平均。ただし、転換畑標準播は、前作の稲わら残渣による出芽不良となった2005年を除く3ヶ年平均。
 2) 生育中の障害程度及び障害粒の程度 0: 無、1: 微、2: 少、3: 中、4: 多、5: 甚。
 3) 品質 1: 上上、2: 上中、3: 上下、4: 中上、5: 中中、6: 中下、7: 下。

表31 山形県農業総合研究センターにおける奨励品種決定調査試験成績

試験条件	品種名	開花 期 (月日)	成熟 期 (月日)	主茎 長 (cm)	主茎節 数 (節)	分枝 数 (本/株)	生育中の障害程度				全重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	対標準比 (%)	百粒重 (g)	障害粒の程度			品質
							蔓 化	倒伏	ウイ ルス	立 枯					紫 斑	褐 斑	裂 皮	
本場	里のほほえみ	8.01	10.20	92	17.0	6.9	0.0	1.5	0.5	0.5	96.4	46.1	133	44.8	1.0	0.5	0.5	2.5
	エンレイ	7.30	10.12	85	16.1	7.6	0.5	1.0	0.5	2.5	71.9	34.7	100	35.0	1.5	0.5	1.0	5.5
	スズユタカ	8.02	10.13	86	17.6	7.5	0.0	2.0	0.5	1.5	88.1	46.4	134	27.9	1.0	0.0	2.0	3.0
庄内支場	里のほほえみ	7.31	10.18	87	17.5	5.0	0.0	0.8	0.0	0.0	85.1	34.1	92	32.8	0.0	0.5	0.5	-
	エンレイ	7.29	10.15	76	17.1	4.4	0.0	2.0	0.0	0.0	82.0	37.2	100	30.4	0.5	1.0	0.0	-
	スズユタカ	8.01	10.17	78	17.7	5.1	0.0	1.0	0.0	0.5	76.8	30.8	83	22.2	0.0	0.0	0.5	-

注. 1) 山形県における調査年次は2005~2008年であるが、そのうち「エンレイ」を供試した2007及び2008年の2ヶ年平均を示す。
 2) 生育中の障害程度及び障害粒の程度 0：無、1：微、2：少、3：中、4：多、5：甚。
 3) 品質 1：上上、2：上中、3：上下、4：中上、5：中中、6：中下、7：下。

表32 山形県現地における奨励品種決定調査試験成績

現地場所	試験年次	品種名	開花 期 (月日)	成熟 期 (月日)	主茎 長 (cm)	主茎節 数 (節)	分枝 数 (本/株)	生育中の障害程度				全重 (kg/a)	子実重 (kg/a)	対標準比 (%)	百粒重 (g)	障害粒の程度			品質
								蔓 化	倒伏	ウイ ルス	立 枯					紫 斑	褐 斑	裂 皮	
山形市	2006~	里のほほえみ	8.07	10.21	66	15.8	4.3	0.0	1.5	0.0	0.0	56.3	28.5	106	39.6	-	-	-	-
	2007	スズユタカ	8.08	10.18	57	15.4	4.9	0.0	2.0	0.0	0.0	49.8	26.8	100	25.4	0.5	0.0	0.5	-
中山町	2008	里のほほえみ	7.31	10.21	63	15.1	8.4	0.0	0.0	1.0	1.0	67.9	33.6	92	46.0	0.0	1.0	1.0	3.0
		エンレイ	7.29	10.08	68	17.1	8.0	1.0	2.0	1.0	2.0	62.2	36.7	100	37.6	1.0	1.0	0.0	3.0
新庄市	2006~	スズユタカ	8.03	10.11	63	16.5	8.0	0.0	1.0	1.0	1.0	60.4	33.2	90	26.2	0.0	1.0	1.0	3.0
		里のほほえみ	8.03	10.18	72	14.6	5.8	0.0	0.7	0.0	0.3	73.3	33.3	108	37.2	1.0	0.0	0.0	-
		エンレイ	7.28	10.08	89	15.1	8.0	0.0	4.0	0.0	0.0	49.9	24.5		29.1	1.0	0.0	0.0	-
川西町	2006~	スズユタカ	8.05	10.16	61	14.9	5.9	0.0	1.0	0.0	0.3	58.2	30.9	100	25.2	2.0	0.0	0.3	-
		里のほほえみ	8.02	10.14	60	13.7	5.6	0.0	0.3	0.0	0.7	53.5	29.0	122	35.7	1.0	0.0	1.0	-
		エンレイ	7.31	10.08	61	13.8	7.0	0.0	2.0	1.0	0.0	48.5	30.1		31.5	0.0	0.0	0.0	-
三川町	2006~	スズユタカ	8.04	10.17	50	14.5	5.1	0.0	0.0	0.0	0.3	47.4	23.8	100	21.9	0.3	0.0	1.0	-
		里のほほえみ	7.31	10.15	73	15.6	7.3	0.3	0.0	0.0	0.0	75.8	36.2	104	36.7	1.0	0.0	0.0	-
		エンレイ	7.28	10.09	70	16.3	12.8	0.0	3.0	0.0	0.0	74.7	38.1		33.1	1.0	1.0	0.0	-
酒田市	2006~	スズユタカ	8.03	10.11	64	16.0	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	73.3	34.7	100	22.3	0.3	0.0	0.0	-
		里のほほえみ	8.01	10.17	64	13.6	6.0	0.3	0.3	0.0	0.0	64.6	27.8	106	34.1	0.0	0.0	1.0	-
		エンレイ	7.28	10.15	68	13.9	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	77.0	39.8		33.1	0.0	0.0	1.0	-
		スズユタカ	8.03	10.08	53	13.6	7.6	0.3	0.3	0.0	0.0	57.3	26.2	100	20.8	0.0	0.0	0.0	-

注. 1) 新庄市、川西町、三川町、酒田市の「エンレイ」は2008年のみの供試。
 2) 生育中の障害程度及び障害粒の程度 0：無、1：微、2：少、3：中、4：多、5：甚。
 3) 品質 1：上上、2：上中、3：上下、4：中上、5：中中、6：中下、7：下。

農業生産技術試験場庄内支場（現 山形県総合農業研究センター水田農業試験場）の奨励品種決定調査に供試されるとともに、2006~2008年に延べ15箇所の現地調査に供試された（表31、表32）。

「エンレイ」とともに供試した奨励品種決定調査の2場所2ヶ年の平均で、「里のほほえみ」は、「エンレイ」より成熟期が6日遅く、子実重は同品種対比112%、品質は「エンレイ」の中上に対し上下で、百粒重は「エンレイ」の32.7gに対し38.8gであった。倒伏程度は「エンレイ」と同じ微であった（表31）。

また、粗蛋白質含有率は「エンレイ」の44.2%に対し45.0%であった（表18）。

一方、山形市を除く2008年の現地調査5箇所の平均で、「里のほほえみ」は、「エンレイ」より成熟期が7日遅く、子実重は同品種対比99%、品質は同等の中上で、百粒重は「エンレイ」の32.9gに対し41.3gであった。倒伏程度は「エンレイ」の少に対し微であった。

3) 採用県以外における成績

「里のほほえみ」の奨励品種決定調査を2005~

表33 採用県以外の奨励品種決定調査における成績の概評一覧

県名	試験場所 (試験条件)	2005年			2006年			2007年			2008年			標準品種
		成熟期の差 (日)	収量比 (%)	概評	成熟期の差 (日)	収量比 (%)	概評	成熟期の差 (日)	収量比 (%)	概評	成熟期の差 (日)	収量比 (%)	概評	
岩手	農研										+14	87	◇	スズカリ
宮城	古川農試(標準播)	0	106	○	-1	99	○	-1	106	○	+1	107	◇	タチナガハ
	古川農試(晩播)	0	106	○	-1	104	○	0	98	○	+5	102	◇	
秋田	農試(標準播)							+13	93	○	+18	92	×	リュウホウ
	農試(晩播)										+11	88	-	
	大館市										+16	89	-	
	能代市										-8	66	-	
	大仙市										-	94	-	
福島	農総	0	71	◇	0	79	◇	+5	88	◇	+2	83	△	ふくいぶき
新潟	農研(標準播)				+23	196	◇	+2	91	△	+6	115	△	あやこがね
	農研(晩播)							+8	105	△	+5	100	-	
富山	農技	+5	89	×				+10	116	◇	+3	91	△	エンレイ
石川	農総研(標準播)				0	107	△	-3	103	○	+5	86	△	エンレイ
	農総研(晩播)										+4	106	△	
福井	農試(標準播)	+10	98	○	+10	113	○	+6	112	◇	+6	105	◎	エンレイ
	農試(晩播)										+5	150	◎	
茨城	農総研	-2	89	△	0	102	△	-2	91	△				タチナガハ
	水田	-10	103	◇	-3	103	◇	+2	100	△				
	作物研							-9	90	◇				
	農試				+11	121	○	-4	102	○	0	84	△	
栃木	矢板市										+4	77	△	タチナガハ
	真岡市										+7	89	△	
岐阜	中山間				+1	105	×							エンレイ
	中津川				-9	103	×	+4	65	×				アキシロメ
広島	農技	-2	107	◇	+2	115	◇	-4	92	×				タチナガハ (2005,2006)、 ハタユタカ (2007)

注. 1) 成熟期の差、収量比は標準品種との比較を示す。

2) 概評 ◎：有望、○：やや有望、◇：再検討、△：やや劣る、×：劣る。

2008年の4ヶ年に延べ54箇所で行った成績概評を表33に示した。概評のうち、劣るが延べ6箇所、やや劣るが延べ15箇所、再検討が延べ14箇所、やや有望が延べ12箇所、有望が延べ2箇所であった。このうち、宮城県と栃木県では「タチナガハ」と比較して粒大や蛋白質含量が優ることから評価が良かった。また、有望とした福井県では「エンレイ」に比較して粒大や品質が優ることから評価が高く、2010年に奨励品種に採用された。

2. 栽培適地

成熟期、ダイズモザイク病抵抗性及び公立試験研究機関における奨励品種決定調査成績等の結果から、「里のほほえみ」の栽培適地は南東北地方、北陸地方等と判断される。

3. 栽培上の留意点

「里のほほえみ」はダイズシストセンチュウには「エンレイ」と同様に弱いので、過度の連作やセンチュウ被害の発生履歴がある圃場での栽培を避ける必要がある。

V 考 察

1. 期待される効果

山形県産大豆については、実需者から外観品質や加工適性の高い品種が求められているが、最近、しわ粒、裂皮粒、褐斑粒等の障害粒の発生がみられる他、百粒重低下が顕著となっていて、その要望に答えられていないのが現状である。また、百粒重低下に加え、生育量不足などにより収量が低迷しており、

品質向上のみならず収量水準の底上げが大きな課題となっている。

「里のほほえみ」は、山形県の主力品種である「エンレイ」と比べて、ダイズモザイクウイルスに強く、収量も安定している上、耐倒伏性が強い等の機械化適性を備えている。さらに、「スズユタカ」と比べて、大粒で外観品質に優れ、粗蛋白質含有率が高く、豆腐等の加工適性に関して高い評価が得られている。このため、「里のほほえみ」を奨励品種に採用し、普及させることにより、南東北地方を中心とした大豆生産振興や需要拡大、さらには加工業界の発展に繋がることが期待される。

折しも、2010年3月に策定された「新たな食料・農業・農村基本計画」には、世界の穀物等の需給が中長期的に逼迫基調にあると見込まれ、我が国の食料自給率を最大限向上させていくことが必要不可欠であると記載されている。その中で、ダイズ加工食品について国産ダイズの使用割合の大幅な引上げに取り組む必要があり、そのためにダイズの国内生産量を2008年の26万tから2020年の60万tにまで引き上げる数値目標が設定されている。

規模拡大を図りやすい高機械化適性、需要拡大が見込まれる種々の用途に対する高加工適性等の特長を生かして、今後、「里のほほえみ」が国産ダイズ振興の一翼を担うことを希望して止まない。

2. 今後の課題

現在、国内のダイズ生産の約9割が水田転換畑で行われている。転換畑での長期連作や畑地化が進むことにより、主に畑作地帯に分布していた主要土壌害虫のダイズシストセンチウも土壌中のセンチウ密度の高まりとともに顕在化する恐れがある。防除方法としては、適切な田畑輪換や抵抗性品種の作

付けが有効である。これまで、東北農業研究センターでは、白目中粒の抵抗性品種として「スズユタカ」、「リュウホウ」、「ふくいぶき」等を育成してきたが、白目大粒の抵抗性品種は育成されていない。また、これ以外にも、地球温暖化による気象変動は寒冷地等の気候区分を越えた病虫害の発生を招く危険性は大きいと考えられることである。こうした問題に対処するため、病虫害に対する複合抵抗性の付与が一層望まれる。

VI 育成従事者

() 内は育成担当世代を示す。

菊池彰夫 (交配 \sim F₁、F₁₂)、河野雄飛 (F₄ \sim F₁₂)、加藤 信 (F₈ \sim F₁₂)、湯本節三 (交配、F₇ \sim F₁₂)、高田吉丈 (交配 \sim F₁₁)、島田信二 (F₂ \sim F₆)、境哲文 (F₂ \sim F₆)、島田尚典 (F₁ \sim F₄)、高橋浩司 (交配 \sim F₃)、足立大山 (交配 \sim F₂)、田淵公清 (交配 \sim F₂)、中村茂樹 (交配)。

引用文献

- 1) 村田吉平, 菊池彰夫, 酒井真次. 1991. 大豆裂皮性簡易検定法 (吸水裂皮検定法) について. 日作東北支部会報 34 : 57-58.
- 2) 農林水産先端技術産業振興センター. 2004. 平成15年度審査基準国際統一委託事業調査報告書. 1-31.
- 3) 土屋武彦, 砂田喜与志. 1978. 大豆の裂莢性に関する育種学的研究. II 裂莢性の検定方法と品種間差異. 北海道立農試集報 39 : 19-26.

フェストロリウム新品種「東北1号」の育成

米丸 淳一*¹⁾・上山 泰史*²⁾・久保田明人*²⁾

抄録：「東北1号」は、イタリアンライグラスの優れた消化性及び飼料特性とメドウフェスクの優れた越冬性の両形質を付与した採草用品種を目標に、海外で育成されたフェストロリウム品種 (x *Festulolium* Aschers. et Graebn) の後代から選抜育成した国内初のフェストロリウム品種である。東北農業研究センターにおいて育成され、2009年7月22日に品種登録申請を行った。

年間乾物収量は、我が国唯一の流通品種である「パーフェスト」に比べて3年間6場所の試験平均で約10%多収である。播種翌年が最も多収で、年次経過とともに収量は低下するが、「パーフェスト」に比べてその程度は小さい。夏期が高温となる地域では利用2年目の越夏後の衰退が著しい傾向がみられるが、それ以外の地域では3年を経過しても100kg/a程度の収量が期待できる。出穂始は「パーフェスト」と同時期である。高い出穂期草丈、低い無芒個体率、及び高い根の蛍光反応率など、イタリアンライグラスに類似した表現型を示す。北東北における越冬性及び雪腐病抵抗性は「パーフェスト」よりもやや劣るが、低標高地や南東北以南の中標高以下では越冬に支障はない。耐湿性、冠さび病及び葉腐病抵抗性は「パーフェスト」よりも優れる。本品種は、北東北の低標高、南東北の太平洋側及び中標高地域、関東東山地域の中標高地 (概ね500m以上) の転作田や飼料畑における採草用草種としての普及が見込まれる。

キーワード：フェストロリウム、採草、乾物収量、耐湿性、越冬性、東北地域

Breeding of a New Festulolium Cultivar, “Tohoku 1”: Jun-ichi YONEMARU*¹⁾, Yasufumi UHEYAMA*²⁾ and Akito KUBOTA*²⁾

Abstract : A new festulolium cultivar, “Tohoku 1”, was developed at the National Agricultural Research Center for the Tohoku Region. We applied for registration of this cultivar in 2009 based on the Plant Variety Protection and Seed Act. This cultivar was selected from the basic population consisting of festulolium cultivars bred abroad. The mean value of dry matter yield of this cultivar was about 10% higher than that of “cv. Barfest” at six cool temperate zone locations in Japan over a three-year period. Yields of all entries were highest in the first harvest year and then decreased from year to year. The yield decline of “Tohoku 1” was smaller than that of “Barfest”. A depression in the summer of the second harvest year was marked in those regions with hot summer conditions, but in other areas, the yield of “Tohoku 1” of about 100 kg/a was maintained in the third harvest year. The head emergence date was at the same time as that of “Barfest”. The plant height at the heading stage, the percentage of awnless individuals and the number of individuals with the fluorecence at the root were close to those of Italian ryegrass. The winter hardiness and resistance to snow mold (*Typhula* spp. and *Fusarium nivale*) were slightly poorer than those of “Barfest” in the northern Tohoku region, but the damage was not severe in low altitude areas of northern Tohoku or in the middle altitude areas of southern Tohoku. “Tohoku 1” showed better wet endurance and resistances to crown rust (*Puccinia coronata*) and leaf rot diseases than that of “Barfest”. “Tohoku 1” is adapted to lowland and grasslands at the low altitude areas of northern Tohoku, the middle altitude regions of southern Tohoku and the high altitude areas (greater than 500 m) of the Kanto-Tosan region.

Key Words : festulolium, forage production, dry matter yield, wet endurance, winter hardiness, Tohoku region

* 1) (独) 農業生物資源研究所 〒305-8602 茨城県つくば市観音台2-1-2

National Institute of Agrobiological Sciences 2-1-2 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, Japan 305-8602

* 2) (独) 農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター 〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平4

National Agricultural Research Center for Tohoku Region 4 Akahira Shimo-kuriyagawa, Morioka, Iwate, Japan 020-0198

I 緒 言

1960年代から大規模草地開発が全国各地で行われ、本州では高原草地を基盤とする畜産が推奨された。しかし、この間の子牛価格や乳価の変動、幾度かの円高による輸入飼料価格の低下、高級肉生産指向と高泌乳牛飼養の推奨などにより、これらの草地の効率的利用による畜産は長くは続かず、近年では草地の老朽化による生産力低下とそれに起因する利用率の低下の悪循環に陥ったところも少なくない。

1970年以降、食用米の生産調整により転作田面積は拡大を重ね、2005年には全国で85万ha、東北地域だけでも19万ha近くに達している。これとともに耕作放棄地の増加も大きな問題になっており、その面積は全国で38万ha余り、東北地域で71千haになっている。このため、転作田や耕作放棄地を積極的に飼料作物栽培に利用することにより自給率の向上を図ろうとする施策も進められている。圃場の排水や面積・形状、搬入・搬出などの条件に優れる転作田であれば、トウモロコシ・ソルガムなど長大型作物や飼料イネなどの効率的な栽培も可能である。しかし、転作田や耕作放棄地は水田として栽培条件に劣るところが多い。一方、環境保全の観点から、低投入の農薬及び肥料で一定の生産物が得られる飼料作物の利用が期待されている。耐湿性に優れるイタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) は、その栽培適地である温暖地や暖地では高品質及び多収であるが、寒冷・積雪地では越冬時の障害が大きいため栽培が難しい。一方、同じライグラス類であるペレニアルライグラス (*Lolium perenne* L.) は、イタリアンライグラスに比べて高い越冬性と永続性を有するが、機械化された採草収穫には不向きな草型をもつ草種である。

フェストロリウムは、品質や収量性に優れるライグラス類と環境ストレス耐性や永続性に優れるフェスク類を交雑し、それぞれの長所を結合させることにより開発された新草種である。その研究はPeto (1933) により始められ、1950年代以降、欧米を中心に育種研究が行われた結果、2008年には19品種がOECD登録されるに至っている。欧州ではフェスク類が持つ越冬性、耐暑性及び耐旱性をライグラス類に付与する育種が、また米国ではライグラス類の高嗜好性や消化性をトールフェスク (*Festuca arundinacea* Schreb.) に付与する育種が行われて

おり、Bucknerら (1977) はトールフェスクと一年生ライグラスの後代から、初期生育性と消化性に優れたトールフェスク型フェストロリウム品種の「Kenhy」を育成した。しかし、海外で育成された品種には、寒冷地の転作田や耕作放棄地における採草利用などに適した品種が存在しないことから、日本の栽培条件に適したイタリアンライグラス型フェストロリウムの育成が急務となった。

そこで東北農業研究センターでは、越冬性と耐湿性に優れ、低投入で良質粗飼料生産を可能とする新草種としてフェストロリウムを位置づけ、2000年からその新品種開発に取り組んできた。懸念される採種性の問題については、海外で育成された品種を育種母材として利用し、喫緊の品種育成に対応した。その結果、寒冷地の中標高以下の転作田や畑地で3～5年程度の採草利用に向く新品種「東北1号」が育成され、2009年7月22日に品種登録申請を行った。本報告では、「東北1号」の水田転作物としての利用、及び里山草地や畑など低標高の草地基盤での有効利用と普及拡大に資するため、その育成経過や特性について述べる。

本品種の育成に当たり、系統適応性検定試験、特性検定試験、地域適応性検定試験を実施していただいた関係機関及び担当者各位に厚く御礼申し上げます。さらに、東北農業研究センター研究支援センター業務第1科の角掛慶哉氏、田村 恒氏、木村 秀氏、佐藤敏幸氏、井上義男氏、谷藤 彰氏の諸氏には栽培管理や生育・収量調査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お礼申し上げます。

II 育種目標、育種方法及び育成経過

1. 育種目標及び育種方法

「東北1号」は、寒冷地の転作田、畑及び中標高以下の草地に適する越冬性、越夏性及び耐湿性を備えた採草用品種の育成を目標に、フェストロリウムの既存品種で構成される選抜基礎集団を用いて、集団選抜法及び母系選抜法によって育成した。

2. 育成経過

「東北1号」の育成経過を図1に示した。2000年にフェストロリウムの既存品種「エバググリーン」、 「タンデム」及び「パウリタ」の1299個体による選抜基礎集団を養成した。以降、育種年限を短縮し越夏性などで循環選抜を行うための単年度栽培による

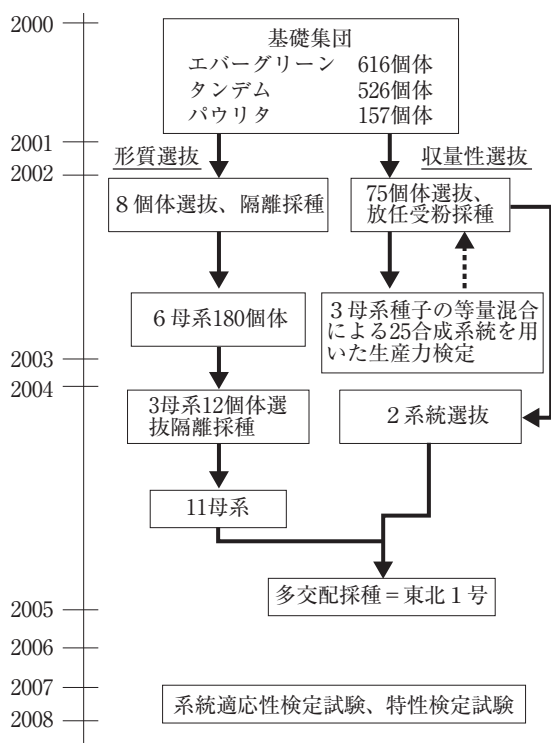


図1 東北1号の育成経過

形質評価と、収量性を評価する後代検定による収量性選抜を同時に行い、最終的に両選抜から得られた優良系統を多交配採種することにより、目標とする系統を育成した。

1) 形質選抜

2002年春に越夏性などの諸特性に優れる8栄養系を選抜し、2002年秋に隔離交配採種した。そのうち6母系について、各30個体による第2次世代評価を開始し、2004年春に3母系に由来する12栄養系を選抜し、隔離採種した。そのうち種子が十分に得られなかった1母系を除く11母系を最終的な系統育成のための多交配材料とした。

2) 収量性選抜

2002年春に、優良と認められる75栄養系について放任受粉により種子を採種した。採種した75母系種子を親栄養系の特性が類似した3母系ごとにまとめて種子を等量混合し、生産力検定に利用する25系統を作出した。これらの系統を2002年秋に条播で播種し、生産力検定を行い、優良な収量性を示した2系統を選抜した。

3) 系統合成

1) の11母系と2) の2系統を反復栽培し隔離圃場で採種を行い、「東北1号」の育種家種子とした。

この種子を系統適応性検定試験、特性検定試験、地域適応性検定試験及び育成地における特性検定試験に供試した。

3. 品種登録及び命名の由来

本品種は、ライグラス類に比べ優れた越冬性を示し、耐湿性及び飼料特性に優れ普及が見込めることから、2009年に「東北1号」の品種名で種苗法に基づく品種登録の出願を行った（出願番号：第23931号、出願年月日：2009年7月22日）。品種名については、東北地域など寒冷地での栽培に適し、我が国初のフェストロリウムの品種であることから「東北1号」とした。

III 育成従事者

育成に従事した者及びその期間を下記に示す。

米丸 淳一	2000年10月～2008年3月
上山 泰史	2001年4月～2009年3月
久保田明人	2002年7月～2009年3月

IV 特性

1. 試験方法

1) 系統適応性検定試験及び地域適応性検定試験
「東北1号」、「パーフェスト」及び「エバーグリーン」を2005年に秋播きし、2008年まで利用3年間の生産力検定試験を行った。試験は、青森県、宮城県、山形県及び長野県の各畜産試験場（以下、青森畜試、宮城畜試、山形畜試及び長野畜試）、家畜改良センター本所（福島県西白河郡西郷村、以下、家畜改セ）及び育成地（以下、東北農研）で行った。耕種概要及び調査内容は「飼料作物系統適応性検定試験実施要領（改訂5版）」に準拠し、細部については各場所の慣行法により行った（表1及び表2）。

2) 冠さび病抵抗性検定試験

宮崎県畜産試験場（以下、宮崎畜試）において、「東北1号」、「パーフェスト」及び「エバーグリーン」を供試し、単年試験を3回行った。播種は各年10-11月にそれぞれ行い、春に刈り取りを行い、初夏の再生草を用いて検定を行った。試験は、個体植（畝間0.6m、株間0.3m）、1区10個体、3反復で実施した。

3) 採種性検定試験

東北農研において、「東北1号」、「パーフェスト」及び「エバーグリーン」を供試し、単年試験を2005年から2007年に3回行った。播種量は200g/aとし、

表1 系統適応性検定試験の耕種概要

試験場所	播種日 年/月/日	播種量 (g/a)	播種法	条間 (m)	1区面積 (m ²)	調査面積 (m ²)	反復	基肥 (kg/a)				
								N	P ₂ O ₅	K ₂ O	炭カル	ようりん
青森畜試	2005/9/ 9	250	散播	-	6.0	2.0	4	0.5	0.5	0.5	13.0	2.5
東北農研	2005/9/12	200	条播	0.3	6.0	3.0	4	0.5	0.5	0.5	10.0	10.0
宮城畜試	2005/9/22	200	条播	0.3	6.0	3.6	4	1.0	2.0	1.0	10.0	4.0
山形畜試	2005/9/ 9	120	散播	-	6.3	2.1	4	0.6	0.6	0.6	0	0
家畜改セ	2005/9/26	250	条播	0.3	6.0	-	4	0.8	0	0	8.0	0
長野畜試	2005/9/13	200	条播	0.3	6.0	2.7	4	0.4	0.8	0.6	10.0	10.0

表2 系統適応性検定試験における刈り取り日と年間施肥量 (kg/a、播種年は除く)

試験場所 年次	刈取り日 (月/日)	施肥量			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
青森畜試	2006 6/16 7/12	10/ 5	1.35	0.90	0.90
	2007 6/ 5 7/17	8/28 10/ 1	2.10	1.40	1.40
	2008 6/ 4 7/10	8/22 10/ 2	2.10	1.40	1.40
東北農研	2006 6/14 7/12	8/25 10/16	2.70	2.70	2.70
	2007 6/12 7/17	8/23 10/18	2.30	2.30	2.30
	2008 6/10 7/15	9/ 2 10/23	1.80	1.80	1.80
宮城畜試	2006 5/23 6/28	8/11 11/ 1	2.50	1.25	2.50
	2007 5/22 6/28	8/20 10/25	2.50	1.25	2.50
	2008 5/26 6/26 7/23	10/31	2.00	1.00	2.00
山形畜試	2006 5/30 7/ 5	9/ 4 10/31	1.80	0.90	1.80
	2007 6/ 4 7/17	9/ 3 11/ 2	1.80	0.90	1.80
	2008 6/ 2 7/ 2	8/29 11/ 2	1.40	0.70	1.40
家畜改セ	2006 5/30 7/13	8/29 10/20	1.60	0.40	0.40
	2007 5/24 7/ 6	8/27 10/25	1.60	0.40	0.40
長野畜試	2006 5/29 7/11	9/ 9 10/26	2.40	0.79	0.79
	2007 5/29 7/ 6	8/30 10/31	1.60	3.20	2.40
	2008 6/ 2 7/ 7	8/28 10/15	1.25	2.50	1.88

1区6.0m² (条間0.5m×長さ3.0m)、4反復乱塊法で配置した。施肥は、各成分 (N:P₂O₅:K₂O) あたり、0.5kg/a (2005、2006年播種)、0.8kg/a (2007年播種) を施用した。

4) 個体植特性調査

東北農研において、「東北1号」、「パーフェスト」及び「エバーグリーン」を供試した。各品種とも硝子室で育苗した後、2006年9月20日に本圃に移植した。試験は、個体植 (栽植間隔0.75m×0.75m)、1区30個体、3反復乱塊法で行った。

5) 近縁の草種・品種との比較

東北農研の生産力検定試験 (少回刈り、年4回) において、フェストロリウム3品種にハイブリッドライグラス「ハイフローラ」、オーチャードグラス「キタミドリ」を加えて評価した。各刈り取り時期は、フェストロリウムの出穂期に揃えて行った。

6) 耐湿性検定

東北農研 (寒冷地飼料資源研究チームとの共同試験) において、「東北1号」、「パーフェスト」及び「エバーグリーン」を供試した。各品種とも1/500aコンテナを野外に設置し、湛水処理区と対照区を3反復で配置した。2005年秋に種子を散播 (播種量: 300g/a) し、野外栽培を行った。翌年3月21日から4月10日まで地上面10cmで湛水処理を行い、5月10日刈り取りを行い対照区とともに現存量を測定した。

2. 試験結果

1) 試験期間中の気象概況

試験期間中 (3年間) の各場所における夏期及び冬期 (積雪期間を含む) の気象概況を表3に示した。全場所において、栽培利用2年目 (2007年) の夏期 (7-9月) の平均気温は平年と比較してやや高い傾向がみられたが、他年はほぼ平年並みであった。一方、冬期の気象条件は、播種年である2005年と栽培利用1年目の2006年にまたがる4ヶ月間で、平年に比べて低温であり、積雪が多かった。逆に、その翌年の期間は平年に比べて温暖で積雪が少なかった。利用3年目 (2008年) の収穫期間の前冬期は平年並みであった。

2) 生産力及び季節生産性

「東北1号」の3カ年合計乾物収量は、適応性検定試験を実施した全場所平均で標準品種「パーフェスト」を100とする指数で111であった (表4)。青森畜試、宮城畜試及び長野畜試で有意に高く、その他の試験地でも2~13%多収であった。さらに「エバーグリーン」に対しても全場所で多収であった。夏期が比較的高温であった山形畜試と家畜改セでは、利用2年目越夏後の試験区の荒廃が進み、収量が低下した。なお、それ以外の場所でも年次が進むにつれて収量は低下したが、利用3年目においても年間100kg/a程度の乾物収量が得られた。

「東北1号」の利用形態として採草を想定していることから、各場所では年間4回または3回刈り取りの少回刈りを行った。各利用年次における季節生産性について図2に示した。ここでは、各調査時期におけるパーフェストに対する収量比として表した。利用1年目（2006年）の春期収量において「東北1号」は全ての場所で「パーフェスト」よりも低く、2年目以降の春期は青森畜試及び宮城畜試で「パーフェスト」並み、その他の場所ではそれよりも多収であった。利用1年目の「東北1号」の越夏

表3 試験場所（最寄りのアメダス地点）における試験期間中の気象概況

試験場所	アメダス地点	夏期平均気温（7-9月、℃）				冬期平均気温（12-3月、℃）				連続積雪日数（日）			
		2006	2007	2008	平年値 ^{a)}	2006	2007	2008	平年値 ^{a)}	2006	2007	2008	平年値 ^{a)}
青森畜試	青森県野辺地	19.9	20.3	19.9	19.9	-0.7	1.1	0.3	0.1	132	122	110	117
東北農研	岩手県盛岡	21.5	21.7	21.5	21.4	-0.8	1.1	0.2	0.0	89	9	67	58
宮城畜試	宮城県古川	21.6	22.1	21.7	21.9	0.4	2.6	1.6	1.6	51	3	10	26
山形畜試	山形県新庄	21.9	22.4	22.1	22.0	-0.1	1.3	0.7	0.6	108	44	86	90
家畜改七	福島県白河	21.6	22.1	21.9	21.9	1.2	3.4	2.3	2.2	10	3	13	14
長野畜試	長野県諏訪	21.9	22.6	22.2	22.2	0.2	2.1	0.7	0.9	3	18	43	19

a) 1995-2004年の10年間平均値

表4 各試験場所における年間乾物収量（kg/a）とパーフェストを100とした時の収量比（%）

年次	品種	青森畜試	東北農研	宮城畜試	山形畜試	家畜改七	長野畜試	平均
1 (2006)	東北1号	124.6(99)	193.6(99)	188.4(112)	89.1(101)	242.5(118)	251.1(111)	(107)
	パーフェスト	125.4	196.6	168.0	88.0	205.0	226.9	
	エバーグリーン	125.1(100)	196.1(100)	174.5(104)	88.6(101)	186.3(91)	217.2(96)	(99)
	L.S.D. (5%)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	30.9	18.8	
2 (2007)	東北1号	104.4(112)	171.0(107)	137.4(133)	90.7(106)	143.1(105)	184.4(121)	(114)
	パーフェスト	83.1	159.4	103.3	85.2	136.9	152.5	
	エバーグリーン	98.4(106)	159.6(100)	111.6(108)	83.5(98)	114.1(83)	166.8(109)	(101)
	L.S.D. (5%)	6.2	N.S.	19.0	N.S.	N.S.	N.S.	
3 (2008)	東北1号	103.5(111)	126.4(111)	103.6(114)	61.1(98)	-	96.3(149)	(117)
	パーフェスト	92.9	113.6	90.8	62.6	-	64.7	
	エバーグリーン	95.5(103)	116.4(102)	85.1(94)	65.4(104)	-	73.9(114)	(103)
	L.S.D. (5%)	N.S.	10.9	14.3	N.S.	-	13.6	
合計	東北1号	332.5(107)	491.0(105)	429.3(119)	240.9(102)	385.6(113)	531.8(120)	(111)
	パーフェスト	311.4	469.6	362.1	235.2	341.9	444.2	
	エバーグリーン	319.0(102)	472.0(101)	371.3(103)	237.5(101)	300.4(88)	457.8(103)	(100)
	L.S.D. (5%)	8.3	N.S.	38.8	N.S.	49.1	40.5	

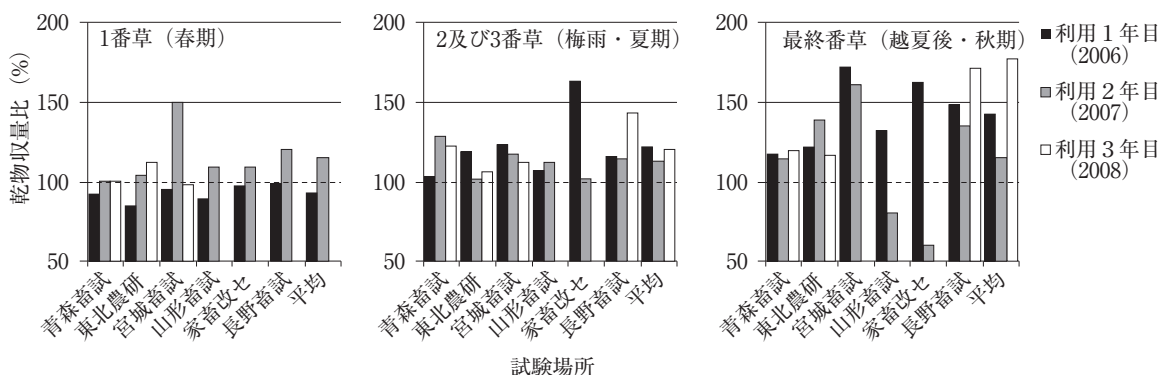


図2 「東北1号」の各刈り取り時期における乾物収量比（パーフェストを100とした%）

後の秋期収量は、全場所平均の「パーフェクト」比で142と多収を示し、1番草収量の不足を補う生長を示した。この結果、利用1年目における「東北1号」の収量は青森畜試、東北農研及び山形畜試では「パーフェクト」と同等、その他の場所で10%以上多収であった(表4)。利用2年目の夏期において、「東北1号」は「パーフェクト」及び「エバーグリーン」よりも多収であった。冬期が寒冷・積雪条件である青森畜試や東北農研では夏期及び秋期の収量が、無積雪の宮城畜試と長野畜試では年間収量が、「パーフェクト」よりもそれぞれ高かった。利

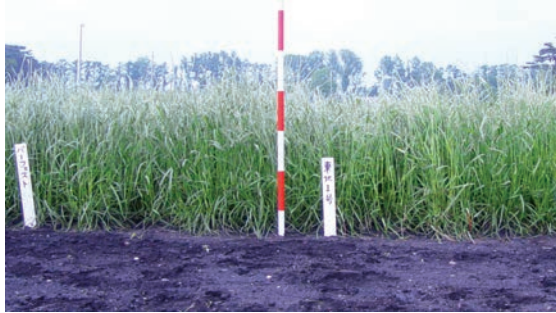


写真1 出穂期の草型 (育成地、2007年6月)
(右:「東北1号」、左:「パーフェクト」)

用3年目においては、宮城畜試の春期収量以外は全ての時期と試験場所で「パーフェクト」よりも高かった。

3) 1番草の出穂始及び出穂程度

「東北1号」の1番草の出穂始は、「パーフェクト」とほぼ同程度であり、「エバーグリーン」に比べると1日程度遅かった(写真1、表5)。2番草以降の出穂程度は、夏期において「パーフェクト」より若干少なく、秋期の最終番草では他の品種とともに出穂はほとんどみられなかった。

4) 越冬・越夏性及び季節生産性関連形質

低温・多雪年であった利用1年目の越冬性で、「東北1号」は青森畜試で他の2品種よりも劣った(表3、表6)。また、有意ではないものの、家畜改セと長野畜試でも「東北1号」は「パーフェクト」よりもやや劣る傾向がみられた。しかし、利用2年目以降は利用1年目とは異なり、「東北1号」は全場所で同等か若干優れていた。越冬後の葉枯れ程度では、「東北1号」は「パーフェクト」よりも利用1年目の東北農研で若干劣っていた(表7)。

早春草勢においても同様の傾向が認められ、利用1年目の宮城畜試と長野畜試以外の場所で「東北1

表5 1番草の出穂始(月日)と各刈り取り時の出穂程度(無:1-極多:9)

品種	1番草の出穂始(月日)						出穂程度(無:1-極多:9)			
	青森畜試	東北農研	宮城畜試	家畜改セ	長野畜試	平均	春期	梅雨期	夏期	秋期
東北1号	5/29	5/24	5/20	5/14	5/20	5/21	6.9	6.4	2.7	1.6
パーフェクト	5/29	5/24	5/20	5/13	5/21	5/21	7.1	7.2	3.6	1.3
エバーグリーン	5/29	5/21	5/19	5/13	5/21	5/20	6.6	6.8	3.7	1.1
備考	3カ年平均	3カ年平均	3カ年平均	2カ年平均	3カ年平均		6場所延 べ13評点 平均	5場所延 べ14評点 平均	5場所延 べ10評点 平均	4場所延 べ8評点 平均

表6 越冬性(不良:1-良:9)

年次	品種	青森畜試	宮城畜試	山形畜試	家畜改セ	長野畜試	平均
1 (2006)	東北1号	5.8	-	5.3	7.8	6.8	6.4
	パーフェクト	7.0	-	5.5	8.5	7.0	7.0
	エバーグリーン	7.0	-	4.3	8.0	7.0	6.6
	L.S.D. (5%)	0.5	-	N.S.	N.S.	N.S.	
2 (2007)	東北1号	4.0	6.0	6.0	6.8	7.5	6.1
	パーフェクト	4.0	4.8	6.0	6.5	6.0	5.5
	エバーグリーン	4.0	4.8	6.0	6.0	6.8	5.5
	L.S.D. (5%)	-	0.8	-	N.S.	N.S.	
3 (2008)	東北1号	5.0	5.8	2.5	-	4.8	4.5
	パーフェクト	5.0	4.5	4.8	-	4.5	4.7
	エバーグリーン	5.0	4.8	5.5	-	4.8	5.0
	L.S.D. (5%)	-	1.0	1.8	-	N.S.	

号」は「パーフェスト」よりも劣り、利用2年目以降は概ね「パーフェスト」と同程度であった(表8)。

越夏性及び秋期草勢においては、荒廃が進んだ利用2年目年以降の山形畜試と家畜改セ以外の場所

で、「東北1号」は「パーフェスト」よりも優れた(表9、表10)。以上の結果は、「エバーグリーン」に対してもほぼ同様であった。

5) 病害抵抗性

東北農研における検定試験結果では、「東北1号」の冠さび病罹病程度は3カ年平均で2.7と「パーフェスト」の6.5よりも低く、「東北1号」は「パーフェスト」に比べて抵抗性がみられた(表11)。その一方で、宮崎畜試では「東北1号」は「中」または「やや弱」であり、温暖地では「パーフェスト」及び「エバーグリーン」と差はみられなかった。また、葉腐病を含むその他の葉枯れ性病害罹病程度については、「東北1号」は3カ年平均3.0で「パーフェスト」及び「エバーグリーン」の4.3及び4.1よりも低く、各検定試験地での値も概ね「東北1号」が低く、抵抗性がみられた(表12)。

6) 年間乾物率及び飼料成分

年間乾物率は、いずれの年次においても各品種間

表7 越冬後の葉枯れ程度(雪腐病が主な要因；無微：1-甚：9)

年次	品種	東北農研	山形畜試	平均
1 (2006)	東北1号	5.5	3.3	4.4
	パーフェスト	5.0	3.0	4.0
	エバーグリーン	5.3	4.0	4.7
	L.S.D. (5%)	N.S.	N.S.	
2 (2007)	東北1号	3.0	-	3.0
	パーフェスト	3.3	-	3.3
	エバーグリーン	3.0	-	3.0
	L.S.D. (5%)	N.S.	-	
3 (2008)	東北1号	4.0	7.5	5.8
	パーフェスト	3.5	5.5	4.5
	エバーグリーン	3.5	6.5	5.0
	L.S.D. (5%)	N.S.	1.4	

表8 早春草勢(不良：1-良：9)

年次	品種	青森畜試	東北農研	宮城畜試	山形畜試	家畜改セ	長野畜試	平均
1 (2006)	東北1号	6.0	4.8	-	5.0	6.5	7.0	5.9
	パーフェスト	6.8	6.0	-	6.0	7.8	7.0	6.7
	エバーグリーン	7.0	5.5	-	5.0	7.3	7.3	6.4
	L.S.D. (5%)	0.5	0.9	-	-	N.S.	N.S.	
2 (2007)	東北1号	3.8	6.5	4.3	5.3	6.8	-	5.3
	パーフェスト	5.0	5.5	3.8	7.3	6.5	-	5.6
	エバーグリーン	4.8	6.0	3.5	6.3	6.0	-	5.3
	L.S.D. (5%)	1.0	N.S.	N.S.	0.8	N.S.	-	
3 (2008)	東北1号	4.3	-	5.8	5.0	-	-	5.0
	パーフェスト	4.5	-	4.8	5.0	-	-	4.8
	エバーグリーン	5.0	-	5.0	5.0	-	-	5.0
	L.S.D. (5%)	0.6	-	N.S.	-	-	-	

表9 越夏性(不良：1-良：9)

年次	品種	青森畜試	宮城畜試	山形畜試	長野畜試	平均
1 (2006)	東北1号	3.3	-	6.3	7.0	5.5
	パーフェスト	3.3	-	6.5	5.3	5.0
	エバーグリーン	3.5	-	6.5	4.0	4.7
	L.S.D. (5%)	N.S.	-	N.S.	1.0	
2 (2007)	東北1号	3.8	5.5	3.3	-	4.2
	パーフェスト	3.0	2.3	4.0	-	3.1
	エバーグリーン	3.0	3.0	4.0	-	3.3
	L.S.D. (5%)	0.5	2.2	N.S.	-	
3 (2008)	東北1号	6.8	2.3	2.8	-	4.0
	パーフェスト	6.5	1.0	4.0	-	3.8
	エバーグリーン	6.5	1.8	3.5	-	3.9
	L.S.D. (5%)	N.S.	N.S.	N.S.	-	

で差は認められなかった(表13)。また、飼料成分については、「東北1号」は「パーフェスト」及び「エバーグリーン」と比べて粗タンパク質(CP)が低かった。また、酸性デタージェント繊維(ADF)が低く、細胞内容物質(OCC)がやや高く、また低消化性繊維(Ob)がやや低く、消化性が高い傾向が認められた(表13)。

7) 採種性、形態的特性及び系統内変異

「東北1号」の採種性、形態的特性及び系統内変異について東北農研において他品種との比較調査を3カ年行った。その結果、「東北1号」の精選種子量は「パーフェスト」よりも有意に少なかった(表14)。他の採種性関連形質では、穂数が有意に減少

していた。「東北1号」は「パーフェスト」に比べて、長い稈長及び穂長、淡い葉色、低い無芒個体率、高い根の蛍光反応率など、イタリアンライグラスに

表11 冠さび病罹病程度(無微:1-甚:9)及び冠さび病抵抗性特性検定試験総合判定値

試験場所	調査年	東北1号	パーフェスト	エバーグリーン	L.S.D.(5%)
東北農研	2006	2.3	6.0	5.3	0.5
	2007	3.0	7.0	5.8	1.4
	2008	2.8	6.5	6.0	0.9
	平均	2.7	6.3	5.7	
宮崎畜試	2006	中	中	中	
	2007	やや弱	極弱	弱	
	2008	やや弱	弱	弱	

表10 秋期草勢(不良:1-良:9)

年次	品種	青森畜試	宮城畜試	山形畜試	家畜改セ	長野畜試	平均
1 (2006)	東北1号	4.3	-	-	-	7.3	5.8
	パーフェスト	4.5	-	-	-	6.8	5.7
	エバーグリーン	4.5	-	-	-	6.8	5.7
	L.S.D.(5%)	N.S.	-	-	-	N.S.	
2 (2007)	東北1号	6.0	5.3	3.5	1.8	8.0	4.9
	パーフェスト	5.0	3.8	4.0	2.3	7.0	4.4
	エバーグリーン	5.0	4.0	4.5	2.3	7.3	4.6
	L.S.D.(5%)	-	0.9	N.S.	N.S.	0.5	
3 (2008)	東北1号	-	3.3	2.5	-	7.0	4.3
	パーフェスト	-	2.0	3.5	-	5.5	3.7
	エバーグリーン	-	2.8	3.3	-	5.8	4.0
	L.S.D.(5%)	-	N.S.	0.8	-	0.9	

表12 その他葉枯れ性病害罹病程度(無微:1-甚:9)

試験場所	調査日	東北1号	パーフェスト	エバーグリーン	L.S.D.(5%)	主な病徴
東北農研	2006/ 8/24	2.5	3.3	3.5	N.S.	葉枯れ
	2008/ 8/23	3.5	7.0	5.5	1.7	葉腐れ
	2008/ 9/ 2	4.3	5.3	5.5	N.S.	葉腐れ
宮城畜試	2007/ 5/ 7	1.0	1.5	1.3	N.S.	
	2007/ 8/20	2.0	5.0	5.5	1.4	
	2007/10/25	2.5	3.3	3.0	N.S.	
	2008/ 5/26	2.0	2.5	2.3	N.S.	
	2008/ 6/26	4.5	5.8	5.3	N.S.	いもち
	2008/ 7/23	2.3	2.8	2.3	N.S.	葉枯れ
	2008/10/31	4.5	6.3	5.5	N.S.	葉腐れ
山形畜試	2007/10/29	4.3	5.5	6.3	1.1	
家畜改セ	2007/ 7/ 6	1.0	1.5	1.0	N.S.	
	2007/ 8/27	7.0	7.8	8.5	N.S.	
長野畜試	2006/ 7/11	1.0	2.0	1.0	N.S.	
	2006/ 9/ 9	3.3	4.8	6.0	1.2	
	2007/ 7/ 6	1.5	1.0	1.3	N.S.	
	2007/ 8/30	3.3	7.5	6.0	0.6	
	平均	3.0	4.3	4.1		

表13 年間乾物率(%, 6場所平均) および飼料成分(%, 2007年東北農研1-4番草平均値、分析は十勝農協連)

品種	年間乾物率(%)			飼料成分					
	2006	2007	2008	粗タンパク質 (CP)	酸性デタージェント繊維 (ADF)	細胞内容物 (OCC)	総繊維 (OCW)	高消化性繊維 (Oa)	低消化性繊維 (Ob)
東北1号	19.0	20.6	20.1	10.8	33.5	32.7	59.5	9.2	50.3
パーフェスト	18.9	20.8	20.0	12.3	35.4	29.7	62.6	9.4	53.2
エバーグリーン	18.6	20.2	19.9	11.9	35.0	30.0	62.1	9.3	52.8

表14 種子収量及び関連形質

形質	調査年度	東北1号	パーフェスト	エバーグリーン	L.S.D.(5%)
精選種子収量 (kg/a)	2006	4.4	9.0	9.4	1.2
	2007	9.2	12.9	12.4	N.S.
	2008	8.2	14.3	10.4	3.5
	平均	7.3	12.1	10.7	
穂数 (本/mi)	2006	194.3	400.3	335.3	103.9
	2008	407.3	616.0	538.5	162.3
	平均	300.8	508.2	436.9	
穂長 (cm)	2006	34.3	31.3	33.1	N.S.
	2007	38.2	33.0	31.6	4.4
	2008	33.6	31.9	33.3	N.S.
	平均	33.4	32.1	32.7	
千粒重 (g)	2006	3.6	3.5	3.7	N.S.
	2007	3.7	3.4	3.5	N.S.
	2008	4.0	3.5	3.8	0.4
	平均	3.7	3.5	3.7	
種子稔実率 (%)	2008	64.0	74.0	76.0	N.S.



写真2 圃場での草姿 (育成地、2006年6月)

類似する特性を示した(写真2、表15)。「東北1号」の草型、稈長、葉長、葉幅及び茎の太さに関する変動係数及び標準偏差は、「パーフェスト」及び「エバーグリーン」と比較して同程度かやや大きい傾向がみられたが、品種としての均一性に問題が無い範囲であった。

表15 個体植調査における諸特性の平均値と系統内変異(平均値±変動係数もしくは標準偏差)

形質	調査年度	東北1号	パーフェスト	エバーグリーン
出穂始 (5/1=1)	2007	27.3± 4.0	25.9± 4.8	25.2± 3.9
	2008	24.0± 3.9	22.4± 3.4	22.5± 3.9
草型 (立:1-ほふく:9)	2007	5.4± 1.0	5.4± 0.8	5.9± 0.9
	2008	5.7± 1.1	6.3± 0.9	6.1± 1.0
稈長 (cm)	2007	70.7± 15.7	66.8± 14.0	67.3± 13.0
	2008	82.5± 11.0	67.0± 9.8	68.3± 11.6
穂長 (cm)	2007	35.0± 15.5	32.1± 16.0	33.3± 19.3
	2008	34.0± 15.4	31.2± 23.6	32.3± 14.0
穂数 (少:1-多:9)	2007	5.6± 1.0	6.1± 0.9	5.5± 1.0
	2008	4.2± 0.9	5.6± 0.8	5.4± 1.0
葉長 (cm)	2007	26.1± 17.7	28.6± 15.2	28.3± 15.0
	2008	24.1± 18.5	25.8± 15.0	24.1± 14.4
葉幅 (mm)	2007	10.9± 17.0	10.4± 15.5	10.6± 16.3
	2008	9.5± 18.0	8.7± 15.3	8.7± 16.2
稈の太さ (mm)	2007	2.6± 16.7	2.3± 11.7	2.5± 14.5
	2008	2.0± 14.4	1.9± 12.1	2.0± 13.0
葉色 (淡:1-濃:9)	2007	5.1± 0.8	6.1± 1.0	6.0± 1.0
	2008			
無芒個体率 (%)	2008	8.9	95.8	83.2
蛍光反応率 (%)		70.6	70.6	41.8

8) その他の草種・品種との比較

他草種と比べた場合のフェストロリウムの特性を明らかにするため、「東北1号」を含むフェストロリウム3品種、オーチャードグラス「キタミドリ」及びハイブリッドライグラス「ハイフローラ」の比較栽培を東北農研で3カ年行った。その結果、乾物収量についてはフェストロリウムと「キタミドリ」及び「ハイフローラ」との間に有意差は認められなかった(表16)。雪腐病罹病程度はハイブリッドライグラス、フェストロリウム、オーチャードグラスの順に小さく、フェストロリウムは3草種の中間の値を示した。フェストロリウムの乾物消失率は、ハイブリッドライグラスと同等であり、オーチャードグラスより優れていた。利用3年を経過したフェストロリウムの秋の被度は、オーチャードグラスより

表16 少刈り (年4回) 区の年間乾物収量 (kg/a) と諸特性における他草種との比較 (東北農研)

草種 ^{a)}	品種	年間乾物収量 (kg/a) ^{b)}			雪腐病 ^{c)}	出穂始	乾物消失率 (Occ+Oa; %) ^{d)}				秋の被度 (%)
		1 (2006)	2 (2007)	3 (2008)			1 番草	2 番草	3 番草	4 番草	
FL	東北1号	193.6	171.0	126.4 ab	5.5	5月27日	32.2	48.8	39.7	46.8	83.0
FL	パーフェスト	196.6	159.4	113.6 b	5.0	5月26日	31.6	46.3	35.3	43.0	83.0
FL	エバーグリーン	196.1	159.6	116.4 b	5.3	5月27日	33.5	45.4	36.3	41.9	75.0
HR	ハイフローラ	180.7	163.5	136.7 ab	8.0	5月24日	30.9	44.9	39.7	50.0	71.0
OG	キタミドリ	191.0	153.2	125.8 ab	2.3	5月18日	25.5	38.1	34.7	44.1	95.0

a) FL=フェストロリウム、HR=ハイブリッドライグラス、OG=オーチャードグラス

b) Tukey 法による多重比較、異符号間に有意差有り

c) 罹病程度 (無微:1-甚:9)

d) 分析サンプルは2007年

表17 越冬後の湛水処理が現存量 (g/m²) に及ぼす影響 (東北農研、2006年)

品種	対照区	湛水区	湛水区/対照区 (%)
東北1号	641	622	97
パーフェスト	467	0	0
エバーグリーン	651	622	96

低かったが、ハイブリッドライグラスより高い値を示し、中間の永続性を示した。

9) 耐湿性

融雪水の侵入を想定した湛水処理の結果、「東北1号」は「エバーグリーン」とともに、ほぼ対照区並みの生長量を示したのに対して、市販品種「パーフェスト」は湛水区で枯死した (表17)。

V 考 察

フェストロリウムには、フェスク類に近いものからライグラス類に近いものまで、大きな変異がみられる。6倍体のトールフェスクを母材とする品種「Kenhy」や「Felina」などはライグラス類から高消化性のみを導入し、形態的にもトールフェスクに類似する6倍体品種である (Bucknerら 1977、Bergら 1979、Cernochら 2004)。OECD種子リストで「Kenhy」はトールフェスク (*Festuca arundinacea*) に、「Felina」はトールフェスクとフェストロリウム (*x Festulium* spp.) に重複して登録されている。これに対して、「東北1号」の育種素材となった「タンデム」及び「エバーグリーン」は4倍体品種であり、形態的にはライグラスに近く、ペレニアルライグラス×メドウフェスクの後代の *Festulium loliaceum* (Hudson) P. V. Fournier、またはイタリアンライグラス×メドウフェスクの後代の *Festulium braunii* K.A. に分類される品種群

である (Momotaz *et al.* 2003)。また「パウリタ」はイタリアンライグラス×メドウフェスクの後代であることが示されている (WackerとKaltfen 1987、Netzband 1991)。

消化性に関しては、ライグラス類に近いフェストロリウム品種はペレニアルライグラスと同等とされており (Caslar 1990)、フェスク類に近い品種やオーチャードグラスに比べて消化性が高いことが知られている (嶺野ら 2004、2006)。本試験の結果では、刈り取り時期における生育ステージの違いから1番草における乾物消失率の比較はできないが、2番草以降ではフェストロリウムがオーチャードグラスより高い値を示したことから、高消化性の特性を有すると考えられた。特に、「東北1号」は他のフェストロリウム品種と比較してより高い消化性を示し、ハイブリッドライグラス「ハイフローラ」と同等の高消化性を示したことから、採草向きの多年生ライグラス類に置き換わる草種としての利用が期待される。

一方、ライグラス類に近い特性を持つフェストロリウム品種はフェスク類に近い品種に比べて環境ストレスに対する耐性が劣ることから、東北地域など我が国の寒冷地で利用するためには越冬性と越夏性の付与が必要である。また、国内で販売されている「パーフェスト」はほふく型で茎数が多く、放牧向きの草型を示す。そこで、「東北1号」の育成選抜においては、越冬性と越夏性に優れるとともに、やや立ち型で稈長が長く茎数が少ない採草向きの草型を付与することを目標とした。

越冬性に関しては、越冬後の葉枯れ程度や早春草勢において、「東北1号」は茎数が多い放牧向きの草型の「パーフェスト」に比べてやや劣るものの、採草向きの草型のハイブリッドライグラス品種「ハ

イフローラ」より優れており、高い収量性を示した。なお、より優れた越冬性を有する品種の存在が明らかになっていることから（米丸ら 2006）、今後さらに強い越冬性を付与した国内向け採草用フェストロリウム品種の育成が期待される。また、採草向きの草型を選抜した結果、種子収量が減少する傾向がみられたことから、採草型のフェストロリウム品種の種子収量を確保するためには、穂数や他の穂関連形質の選抜を同時に行う必要があると考えられる。

フェストロリウムの越冬性については、冠さび病抵抗性との遺伝的相関が高いことが明らかになっており（米丸ら 2004a）、その研究過程で選抜された冠さび病抵抗性に優れる素材も「東北1号」の母材として利用した。「東北1号」の冠さび病抵抗性が「パーフェスト」及び「エバーグリーン」などの既存品種よりも優れていたのは、その結果と考えられる。また、葉腐れ病を含む種々の葉枯れ性病害に対する抵抗性も認められた。これは、越冬性の選抜により夏期に発生する葉枯れ性病害に対する抵抗性選抜も同時に行われた可能性があることを示しており、今後、冠さび病以外の葉枯れ性病害と越冬性との遺伝的相関についても明らかにしていく必要がある。なお、初夏（6-7月）に調査を行った宮崎畜試では、冠さび病罹病程度にほとんど系統間差異が見られなかったことから、フェストロリウムにおいても各種病害の発生程度は時期及び場所によって大きく変化する可能性がある。

なお、フェストロリウムの越冬性については、イタリアンライグラスを比較対象とした春播と秋播の試験で異なる結果が得られており、秋播利用時にはフェストロリウムの越冬性がイタリアンライグラスに比べて良好であることが明らかにされている（米丸ら 2004a）。これは、秋播利用の場合には播種直後の越冬により強い越冬性を示すストレス耐性に優れた個体が生き残り、さらに越冬前に十分な生育量を確保できたためと考えられる。多年生牧草ライグラスの持続性の向上には、越冬性と越冬性の両方の付与が必要であるが、越冬性については耐干性、耐暑性、葉枯れ性病害に対する抵抗性、また越冬性については耐寒性、積雪下における雪腐病等への抵抗性などの諸形質が、それぞれ深く関与しているものと考えられる。したがって、今後のフェストロリウム品種の育成において、さらに優れた越冬性と越冬性を付与するためには、暖地と寒地、あるいは乾燥

環境と湿潤環境など、環境が大きく異なる場所で選抜を交互に繰り返すことが望ましいと考えられる。持続性については、その指標となる利用3年目の秋の被度において、「東北1号」を含むフェストロリウムはオーチャードグラスより劣る傾向がみられ、その原因として不十分な越冬性が考えられた。すなわち、越冬条件が比較的厳しい家畜改セの試験区では利用2年目の越冬後の衰退が著しく、山形畜試でも利用3年目にはスタンドの荒廃が進んだことから、乾燥及び高温条件に対する耐性としての越冬性が持続性に大きく影響したものと考えられた。

以上のように、「東北1号」は採草向きのライグラス型草種の中では比較的強い越冬性を示すものの、越冬性は温暖地では十分でないことから、南東北の低標高地における持続利用には適さないと考えられた。

近年、食用米の生産調整により、水田における稲以外の作物の栽培が強く求められている。また、飼料自給率の向上も喫緊の課題となっている。これを背景として、水田等における飼料作物の低コスト生産が期待され、そのための技術開発が重要となっており、水田転換畑でも栽培利用できる耐湿性に優れた飼料作物が求められている。しかし、寒冷地の主力牧草であるオーチャードグラスは、耐湿性が劣っており（的場ら 2001、米丸ら 2004b、2007）、転作田等での栽培には適さない。一方、フェストロリウム品種の多くは、耐湿性が温暖地・暖地の水田裏作や転作田の主要作物であるイタリアンライグラスと同等であることが示されている（的場ら 2001、米丸ら 2004b）。また、「東北1号」は「パーフェスト」が枯死する湛水条件下においても無処理区とほぼ同程度の生育を示したことから、転換畑での栽培利用に十分な耐湿性を有すると考えられる。

以上をまとめると、「東北1号」は、寒冷地の転作田や休耕地、草地に栽培できる採草用品種として育成された国内初のフェストロリウム品種である。採草条件での安定多収を目標として選抜した結果、形態的特性、無芒個体率、及び根の蛍光反応率において、採草型草種であるイタリアンライグラスに近い特性を示す個体の割合が多い集団であり、放牧利用に適したペレニアルライグラスに近い特性を示す「パーフェスト」や「エバーグリーン」とは特性が異なる品種となった。なお、国内で普及しているイタリアンライグラス型の特性を示す草種の中では越

冬性に優れることから、東北地域における採草用の多年生ライグラスに置き換わる品種としての利用が期待できる。

VI 適応地域及び栽培・利用上の留意点

栽培期間中に2005-06年冬期のような低温・多雪に遭遇する可能性も考慮し、本試験場所の中で最も積雪期間が長い青森畜試よりもさらに冬期の環境条件が厳しい高標高地などでは栽培を控えることが望ましいことから、適応地域は北東北の低標高、南東北の太平洋側及び中標高地域、関東東山地域の中高標高地（概ね500m以上）の転作田や飼料畑とする。普及面積は、東北地域の耕作放棄地・転作田約19万haの1%（1900ha）と飼料畑・草地約400ha、関東東山地域で200ha、計2500haを見込む。栽培利用期間は、夏期が高温となる日本海側や南東北内陸部などでは利用2年目夏まで、その他の地域では3年間以上となる。なお、近年、温暖化傾向が認められるので、夏期の刈り取りでは若干高刈りするなど、越夏に配慮した管理を心がける必要がある。

引用文献

- 1) Buckner R. C., Burrus II P. B., Bush L.P.(1977) Registration of Kenhy tall fescue. Crop Sci. 17 : 672-673.
- 2) Caslar, M.D. 1990. Cultivar and cultivar x environment effects for relative feed value of temperate perennial grasses. Crop Sci. 30 : 711-728.
- 3) Cernoch, V.; Houdek, I.; Capka, R. 2004. Festulolium - grass for future. Bericht uber die 55. Tangung 2004 der Vereinigung der Pflanzenzuchter und Saatgutkaufleute Osterreichus. 87-89.
- 4) Berg, C. C.; Webster, G. T.; Jauher, P. P. 1979. Cytogenetics and Genetics. (Buckner, R. C.; Bush L. P. eds., Tall Fescue). ASA, CSSA, SSSA Inc., Madison, WI. USA.
- 5) 的場和弘, 田村良文, 伏見昭秀 (2001) フェストロリウム (*x Festulolium*) 品種の特性評価 -越冬性と耐湿性-. 日草誌. 47 (別) : 138-139.
- 6) Momotaz, A.; Forster, J. W.; Yamada, T. 2008. Identification of cultivars and accessions of *Lolium*, *Festuca* and *Festulolium* hybrids through the detection of simple sequence repeat polymorphism. Plant Breed. 123 (4) : 370-376.
- 7) Netzband K (1991) Breeding of tetraploid *Festulolium* fodder grasses with different maturity. In Proceedings of the 16th EUCARPIA Fodder Crops Section Meeting, Wageningen, The Netherlands, 47-48
- 8) Peto, F. H. 1933. The cytology of certain intergenetic hybrids between *Festuca* and *Lolium*. J. Genet. 28 : 113-156.
- 9) 嶮野英子, 近藤恒夫, 村井 勝. 2004. 北東北地域におけるフェストロリウム品種エバーグリーンの飼料栄養特性. 日草誌. 50 (4) : 355-359.
- 10) 嶮野英子, 新宮博行, 櫛引史郎, 篠田 満, 押部明德, 雑賀 優. 2006. フェストロリウム (*x Festulolium braunii*) 品種の1番草生育過程に伴う栄養特性の変化. 日草誌 52 (3) : 176-182.
- 11) 米丸淳一, 久保田明人, 上山泰史. 2004a. 寒冷地におけるフェストロリウム品種の越夏性に関する品種内変異と選抜効果. 日草誌. 50 : 415-420.
- 12) 米丸淳一, 久保田明人, 上山泰史. 2004b. 幼苗を用いたフェストロリウム品種の耐湿性検定. 東北農業研究. 57 : 149-150.
- 13) 米丸淳一, 久保田明人, 上山泰史. 2006. イタリアンライグラスおよびその類縁種品種の東北地域における適応性. 日草誌. 51 : 398-404.
- 14) 米丸淳一, 久保田明人, 上山泰史. 2007. オーチャードグラスのポット苗における耐湿性選抜. 東北農業研究. 60 : 83-84.
- 15) 農林水産技術会事務局, 農業技術研究機構畜産草地研究所, 家畜改良センター編. 2001. 飼料作物系統適応性検定試験実施要領 (改訂5版)
- 16) Wacker, G.; Kaltfen, H. 1987. Anbauempfehlungen zum Bastardfuttergras 'Paulita'. Feldwirtschaft. : 53-55.

Influence of Maceration Using a Screw-Type Threshing Combine on Roughage Value of Rice Straw in Japanese Black Cows

Akinori OSHIBE*¹⁾, Ryuji OTANI*¹⁾, Tokushi KOMATSU*¹⁾, Naoki FKUJYU*¹⁾,
Hidenori KAWAMOTO*¹⁾, Hiroyuki SEKIYA*¹⁾ and Osamu TANAKA*¹⁾

Abstract : The roughage value of macerated rice straw (MRS) discharged from a combine harvester equipped with a screw-type threshing mechanism was evaluated. Test diets were prepared containing approximately 50% MRS or non-treated rice straw. The chewing activity of four Japanese black cows fed each diet sequentially was measured by behavior observation. The roughage value index (RVI) was 59.6 ± 11.3 min/kg for cows on the MRS diet and 71.2 ± 14.2 min/kg for those on the non-treated rice straw diet. No statistical differences in RVI values and time spent ruminating were found between the two groups, though the total time spent eating in the MRS group was shorter ($p < 0.05$) than that of the control group. The results indicate that the roughage value of MRS is equivalent to that of typical roughage even with the shortened eating time, when the containing ratio of MRS in the diet is approximately 50%.

Key Words : Cattle, Macerate, Rice straw, RVI

汎用コンバインを用いた圧砕処理が黒毛和種雌牛における稲わらの粗飼料価に及ぼす影響：

押部明德・大谷隆二・小松篤司・福重直輝・河本英憲・関矢博幸・田中 治

抄 録：汎用コンバインを用いて調製した圧砕稲わらの粗飼料価を評価した。圧砕稲わら或いは無処理稲わらを約50%含む試験飼料を4頭の黒毛和種雌牛に給与し、行動観察により咀嚼時間を測定した。圧砕稲わら区および対照区における粗飼料価指数（RVI）はそれぞれ 59.6 ± 11.3 min/kg或いは 71.2 ± 14.2 min/kgであり、RVIおよび反芻時間について統計的な差はみとめられなかったが、圧砕稲わら区の採食時間は対照区に比べて短く（ $p < 0.05$ ）なった。これらの結果は、飼料組成中の割合が約50%では、圧砕稲わらは採食時間が短くなるものの、粗飼料価は代表的な粗飼料のそれと同等であることを示している。

キーワード：ウシ、稲わら、圧砕処理、粗飼料因子

* 1) 東北農業研究センター（National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198, Japan）

2010年6月29日受付、2010年12月21日受理

I Introduction

In many parts of the world, rice straw is an important source of roughage for ruminants. The Japanese government has promoted the use of rice straw as forage to increase the country's self-supplying feed rate of livestock. However, the rate of rice straw used for forage has remained approximately 10% (Food Safety and Consumer Affairs Bureau 2009). One of the issues preventing the use of rice straw for forage may be the difficulty of wilting the straw during harvest (Enishi 2002). Accordingly, to shorten the wilting period, Otani *et al.* (2009) have developed a method for macerating rice straw using a combine harvester equipped with a screw-type threshing mechanism. The characteristics of the macerated rice straw (MRS) such as the roughage value may not be the same as those of conventional rice straw. The present study attempted to evaluate the roughage value of MRS by comparing it with the roughage value of conventional rice straw.

II Material and Methods

1 Animals

Four Japanese black cows (mean bodyweight, 413 ± 40 kg; mean age, 9 ± 4 years) were used. Cows were housed individually and tied loosely in pens with chains. Animals were handled in accordance with the Guide for the Care and Use of Experimental Animals (National Agricultural Research Center for Tohoku Region).

2 Processing of rice straw

The rice variety Akitakomachi was cultivated in a paddy field at the National Agricultural Research Center for the Tohoku Region (Morioka, Iwate). Two types of rice straw were processed by the two procedures.

For processing one type of rice straw, the rice was harvested at the full ripe stage using a head-feeding combine (AR43, Kubota, Osaka, Japan), and rice straw was then discharged onto the paddy field. After 8 days of wilting with tedding by a rotary rake (GA320GM, Kuhn, Saverne, France), the discharged rice straw was then raked into windrows. The rice straw was then baled and wrapped using a trailer-type round baler (2210W, IHI STAR Machinery Corporation, Chitose, Japan) and a bale wrapper (WM1550R, Takakita Co., Ltd., Nabari, Japan) (non-treated rice straw).

To process the other type of rice straw, the rice was harvested using an axial-flow combine with a screw-type threshing mechanism (ARH 900, Kubota, Osaka, Japan) with a windrower attached and the straw cutting unit removed. The rice straw was then macerated by the screw-type thresher of the combine and discharged onto the paddy field. After 3 days of wilting without tedding, the macerated rice straw (MRS) was baled and wrapped as described for the non-treated rice straw.

3 Chemical analyses

The moisture content of the rice straw was determined by drying the samples at 70°C for 48 h. The neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) contents were determined by conventional methods (Association of Self-supply Feed Evaluation 2001). The organic cell wall (OCW) and organic cell contents (OCC) were determined using the methods described by Abe *et al.* (1979).

4 Diets and measurement of chewing time

Experimental diets consisted of 1.5 to 1.7 kg (dry matter; DM) of ground unhulled rice, 0.5 to 0.6 kg (DM) of soybean meal, and either 2.1 to 2.2 kg (DM) of MRS (MRS diet) or 2.0 kg (DM) of non-treated rice straw (control diet). The DM basis ratio of roughage to concentrate feed in both diets was approximately

one to one. Half the mixture ration was given twice daily at 0930 and 1600 hours. Cows were given the MRS diet from days 1 to 12 and the control diet from days 13 to 24.

The behavior of the cows was recorded for 24 h (from 1600 hours) on day 11 and again on day 23. Four color CCD cameras (WAT-230A, Watec, Tsuruoka, Japan), a switcher (WAT-SWC4, Watec), and a DVD recorder (DVR-330H, Pioneer Corporation, Tokyo, Japan) were used. Pictures from the CCD cameras set in front of each cow were captured by the switcher and edited into one picture. The edited picture was recorded by the DVD recorder. Time spent eating and ruminating for each cow was measured by the recorded picture. The roughage value index (RVI) was calculated using the following equation: RVI (min/kg) = time spent chewing (eating + ruminating) /DM intake.

5 Statistical analyses

The student's t-test was performed to test significant differences between the chemical compositions of MRS and those of non-treated rice straw. The paired student's t-test was performed to test significant differences between the groups of RVI, total time spent eating, and total time spent ruminating.

III Results

All animals consumed all of the given feed during the experimental period. Total DM intake of the control group was in the range of 4.0 to 4.3 kg/day, while the total DM intake of the MRS group was in the range of 4.1 to 4.5 kg/day. No difference was observed between the chemical compositions of MRS and those of the non-treated rice straw (Table 1).

Table 1 Chemical composition of rice straws

	Moisture (% of FM)	Crude protein	Ether extract	OCW	OCC	NDF	ADF	Crude ash	Silica
		(% of DM)							
Non-treated rice straw	15.1 ± 1.0	3.7 ± 0.4	0.9 ± 0.4	65.7 ± 0.3	17.5 ± 0.8	64.0 ± 2.1	38.7 ± 0.1	16.8 ± 0.7	12.1 ± 0.7
MRS	8.6 ± 0.3	3.3 ± 0.4	0.9 ± 0.2	66.0 ± 2.2	17.4 ± 1.8	63.5 ± 2.1	38.6 ± 1.0	16.6 ± 0.3	11.6 ± 0.7

Values are mean ± standard error of three replicates.
DM : Dry matter, FM : Fresh matter, MRS : Macerated rice straw

The total time spent eating of the MRS group (19.2 ± 3.2 min/kg) was shorter ($p < 0.05$) than that of the control group (22.2 ± 3.2 min/kg). The total time spent ruminating was 40.4 ± 9.5 min/kg for the MRS group and 49.0 ± 13.1 min/kg for the control group. No statistical difference was found between the two groups. The RVI for the MRS group (59.6 ± 11.3 min/kg) as tended to be smaller than that of the control group (71.2 ± 14.2 min/kg), but no statistical difference was found between the two groups (Fig. 1).

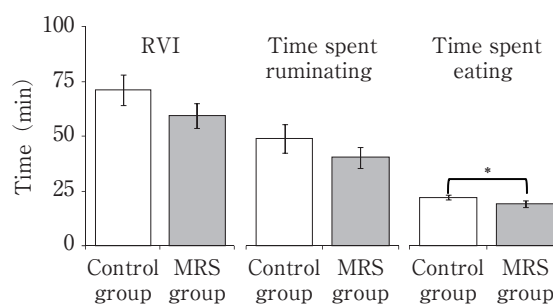


Fig. 1 Comparison of RVI, time spent ruminating, and time spent eating for the control and macerated rice straw groups

Vertical bar indicates standard error of four replicates.
MRS: Macerated rice straw.

Asterisk represents a significant difference between the two groups.
*: $p < 0.05$

IV Discussion

In the present study, no difference was observed between the chemical compositions of MRS and those of the non-treated rice straw. The result indicates that maceration does not change the chemical composition of rice straw. Sudweeks *et al.* (1981) have found that the physical characteristics of feed are quantitatively reflected in the chewing behavior of ruminants. Accordingly, they devised the RVI to represent the total chewing time per kilogram of DM. The chewing time consists of eating time and ruminating time. In the present study, the total time spent eating was shortened in the MRS group. The physical characteristics of MRS were not measured in the present study, but the change in the physical properties of the rice straw such as the rigidity that prolongs the eating behavior by maceration could be presumed. Enishi (2002) has reported that the RVI of rice straw is approximately 90 min/kg in fattening Japanese Black cattle given rice straw at the rate of 60% of total feed. As compared to his RVI, the RVI values in both the MRS and control groups of the present study were small. The containing ratios of rice straw in the MRS and control groups of the present study were approximately 50%. Sudweeks *et al.* (1981) have proposed that the RVI of mixed feed could be calculated using the RVI of individual feed ingredients and the mixing ratio. It is most likely that the difference between the RVI reported by Enishi and RVI of the present study is caused by the difference in the containing ratio of rice straw in the total feed. Furusawa *et al.* (2004) have reported RVI values of 77.6 ± 12.7 min/kg, 70.7 ± 9.1 min/kg, and 63.5 ± 7.4 min/kg for rice straw, whole crop rice silage, and timothy given to Japanese black cows at a rate of 35% of total feed. The present results indicate that the roughage value of MRS is equivalent to that of typical roughage, even with shortened eating time, when the containing ratio of the MRS in diet is approximately 50%.

References

- 1) Abe, A.; Horii, S.; Kameoka, K. 1979. Application of enzymatic analysis with glucoamylase, pronase and cellulase to various feeds for cattle. *J. Ani. Sci.* 48 : 1483-1490.
- 2) Association of Self-supply Feed Evaluation. 2001. Guide Book for Forage Evaluation. Japan Grassland Agriculture and Forage Seed Association. Tokyo, Japan. 1-196. (In Japanese)
- 3) Enishi, O. 2002. Reevaluation on feed characteristics of rice straw. *Grassl. Sci.* 48 : 371-378.
- 4) Furusawa, T.; Nishimura, T.; Matsuzaki, N.; Takashita, K.; Miyake, T.; Akitomo, I.; Nishimura, T.; Tsuda, S.; Ozawa, S. 2004. Studies on fattening method of Japanese black steers by the feeding on whole rice silage. *Bull. Zootechnical Experiment Station - Prefecture of Yamaguchi* 19 : 41-51. (In Japanese)
- 5) Food Safety and Consumer Affairs Bureau 2009. Circumstances surrounding the livestock. Material for the 3rd section of Council of Food. Agriculture and Rural Area Policies in fiscal year 2008: 8: 10. (In Japanese) Available from URL: <http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/tikusan/bukai/h2003/pdf/data8.pdf>
- 6) Otani, R.; Shibuya, Y.; Amaha, K.; Nishiwaki, K.; Oshibe, A. 2009. Rapid collecting and drying system for rice straw using screw type threshing combine. *Touhoku nogyo kenkyu seika jyouhou*. Available from URL: <http://tohoku.naro.affrc.go.jp/seika/jyouhou/H20/suitou/H20suitou018.html>
- 7) Sudweeks, E. M.; Ely, L.O.; Mertens, D.R.; Sisk, L.R. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets - roughage value index system. *J. Anim. Sci.* 53 : 1406-1411.

東北地方における帰化雑草ハルザキヤマガラシおよび カミツレ類の生態と防除

橋 雅 明*¹⁾

抄 録：帰化雑草ハルザキヤマガラシとカミツレ類の東北地方における分布と発生実態および人為的影響下における生理生態的特性を分析し、得られた知見に基づいて、防除法を検討した。ハルザキヤマガラシは東北地方に広く分布し、河川周辺および用排水路周辺の水田畦畔・路傍に発生が多く、河川や用排水路を媒体として分布拡散していると推定された。ハルザキヤマガラシは、畦畔とコムギ圃場で主とする繁殖様式を変え、耕起と草刈りなどの異なる管理作業に可塑的に対応して生存していた。そのため、周辺畦畔における適切な雑草管理と圃場内での種子発生個体を対象とした防除が重要と考えられた。カミツレモドキは、東北全県のコムギ圃場などにみられ、秋季と春季に盛んに出芽し、秋季に出芽した越冬個体がコムギの生育を抑制し、減収の原因となっていた。東北地方のコムギ栽培では、播種直後のリニuron水和剤土壌処理、秋季の出芽終期にあたる11月上旬のアイオキシニル乳剤処理、5月上旬の条間中耕またはアイオキシニル乳剤処理のうち、いずれか2つを用いるとハルザキヤマガラシとカミツレ類の防除は可能であった。

キーワード：ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキ、イヌカミツレ、帰化雑草、生態、コムギ、水田畦畔、雑草防除、除草剤

The Ecology and Control of the Naturalized Weeds *Barbarea vulgaris* R. Br., *Anthemis cotula* L., and *Matricaria inodora* L. in the Northeastern Part of Japan : Masaaki TACHIBANA*¹⁾

Abstract : Three naturalized weeds, *Barbarea vulgaris* R. Br., *Anthemis cotula* L., and *Matricaria inodora* L., that invaded from Europe are widespread in Tohoku, in the northeastern part of Japan. In this study, a control strategy based on the ecological traits of these naturalized weeds is presented. *B. vulgaris* alters its major reproductive mode of perennial or annual depending on the nature of its habitat in levees or wheat fields. The *B. vulgaris* population in tilled wheat fields is almost entirely maintained by sexual reproduction. In the Tohoku region, *A. cotula* emerges most frequently in the fall and spring. The overwintered adult plants arising from the seedlings emerge in the fall and become a serious problem in the spring in wheat fields. In the wheat fields, the three weed species were controlled effectively by the application of linuron (1,000 g a.i. ha⁻¹) to the soil immediately after sowing, the application of ioxynil (600g a.i. ha⁻¹) in early November, corresponding to the end of the annual emergence period of these species, and the employment of either inter-row cultivation or the application of ioxynil (600g a.i. ha⁻¹) in early May. The emergence and spread of the three weed species can be controlled by using a combination of any two of the three methods mentioned above.

Key Words : *Barbarea vulgaris* R. Br., *Anthemis cotula* L., *Matricaria inodora* L., Naturalized weeds, Ecology, Wheat, Levee, Weed control, Herbicide

* 1) 現・農業・食品産業技術総合研究機構本部 (Headquarters of National Agriculture and Food Research Organization) 2010年11月4日受付、2011年2月3日受理

目 次

I 緒論	34	3. 結果	
II ハルザキヤマガラシの分布	38	1) アンケート調査	
1. 緒言		2) 青森県の転換畑におけるカミツレモド キの発生	
2. 材料および方法		3) カミツレモドキの出芽時期	
1) 分布調査		4. 考察	
2) 秋田県仙北地域における発生実態		V ハルザキヤマガラシとカミツレ類の防除	51
3) 水中に保存した種子の発芽		1. コムギ作におけるハルザキヤマガラシと カミツレ類の防除	
3. 結果		1) 緒言	
1) アンケート調査と分布確認		2) 材料および方法	
2) 秋田県仙北地域における発生実態		(1) 土壌処理型除草剤の効果	
3) 水中保存後の種子の発芽		(2) 茎葉処理型除草剤の効果	
4. 考察		(3) コムギ圃場におけるハルザキヤマガ ラシとカミツレモドキの個体数の推移	
III ハルザキヤマガラシの生活史と生育地	42	(4) コムギ圃場における防除	
1. 緒言		3) 結果	
2. 材料および方法		(1) 土壌処理型除草剤の効果	
1) 自生地における生活史と繁殖		(2) 茎葉処理型除草剤の効果	
2) 根の断片の生存		(3) コムギ圃場におけるハルザキヤマガ ラシとカミツレモドキの個体数の推移	
3. 結果		(4) コムギ圃場における防除体系	
1) ハルザキヤマガラシの生活史と繁殖		4) 考察	
2) 根の断片の萌芽		2. ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における 防除	
4. 考察		1) 緒言	
IV カミツレモドキの分布と生活史	47	2) 材料および方法	
1. 緒言		3) 結果および考察	
2. 材料および方法		VI 総合考察	60
1) 分布調査		引用文献	62
2) 青森県の転換畑におけるカミツレモド キの発生			
3) カミツレモドキの出芽			

I 緒 論

近年の外来植物の侵入は、生物多様性の劣化要因となり、帰化した植物は耕地に蔓延して作物生産を著しく阻害している。東北地方の農耕地およびその周辺にも多数の帰化植物が認められており、とくにヨーロッパ原産のアブラナ科多年生草本のハルザキヤマガラシ (*Barbarea vulgaris* R.Br.) とキク科一年生草本のカミツレモドキ (*Anthemis cotula* L.) がコムギ圃場などで問題となっている(森田 1981、伊東 1988)。「特定外来生物による生態系などに係る被害の防止に関する法律」に関連し、一部の外来生物については注意を必要とすることから、環境省は要注意外来生物リストを公表しており、ハルザキヤマガラシとカミツレモドキはそのリストに記載されている。また、北海道のコムギ (*Triticum aestivum* L.) 圃場ではヨーロッパ原産のキク科一年生草本のイヌカミツレ (*Matricaria inodora* L.) が発

生し(森田 1981)、雑草害を引き起こしている。これら3種は、9月上旬から9月下旬に播種し、翌年7月上旬から7月中旬に収穫する北東北地域の秋播コムギ圃場では出芽から開花・結実までの越年生の生活環を完結できるため、問題雑草となりやすいと推定される。

一般に、新たに問題となった帰化雑草については、侵入地における人為的攪乱などの環境条件に対する生態的な反応や生理生態的特性の知見が少なく、戦略的な防除対策の確立にたちおくれる。このような問題の解決のために、本論文では、ハルザキヤマガラシとカミツレ類を事例として、帰化雑草に対する戦略的な防除対策のあり方を検討した。

帰化植物は、「帰化植物とは雑草と総括的に扱われるものの内で、外国から来たものを指す(久内1950)」、「人力によって、意識的にせよ、無意識的にせよ、一つの植物が本来の生育地から、そのもの

が自生していない新しい地域にもたらされて、野生化して繁殖し、その植物の歴史を知らなければその土地本来の自生種と一見区別のつかないようになっている状態をいう(津山 1968)、「自然の営力によらず、人為的営力によって、意識的または無意識的に移入された外来植物が野生の状態で見出されるものをいう(長田 1976)」などと定義されている。このうち、有史以前に人類の移動に伴って入ってきて定着し、自生するようになったと考えられる植物を史前帰化植物とよび(前川 1943)、それらは農耕技術の伝播に伴って日本に入ってきて定着し、自生するようになった植物を含む。一方、江戸時代末期より後に入ってきて定着し、自生するようになった植物を新帰化植物、それ以前に入ってきて定着した植物を旧帰化植物とよぶ。単に帰化植物という場合は新帰化植物を指すことが一般的である。帰化雑草とは、「農耕地を中心に、防除対策が必要になるほど定着した帰化植物」(森田 1990)と定義されるが、本論文では「帰化植物」を江戸時代末期以降に渡来し自生する植物に用い、そのうち作物の生産において有害となる植物を「帰化雑草」と定義して用いる。また、単に国外から入ってきた植物を外来植物と呼ぶことにする。

日本の帰化植物は、1910年頃には45種、1931年には133種、1950年には約300種存在したとされるが、1977年には716種に急増している(浅沼ら 1987)。増加の背景には、戦後の経済復興と地域開発および都市化の傾向などのほかに、1955年から1973年までの高度経済成長時代に道路の幹線や支線の拡張整備、市街の拡張、休耕などによる農地の荒廃などにより、帰化雑草が侵入・拡散しやすい環境が創出されたためとされる(須藤 1975)。さらに、近年、海外との交易の拡大に伴い、人と物資の流通が飛躍的に増大したため帰化植物は大幅に増加している。定着したか否かにかかわらず外来植物には、2002年現在で1,500種以上が知られている(村中 2002)。

人間の活動に伴う外来植物の侵入方法には、1) 人間の出入国に伴って着装物に付着する、2) 船舶や飛行機に付着あるいは積み荷に混入する、3) 鉱石や石炭、木材、食料品、飼料などの輸入品に混入する、4) 作物種子に混入する、5) 人工草地の造成用種子に伴って導入される、6) 砂防用や法面緑化の資材として導入されたのち逸出する、7) 観賞植物から逸出する、8) 研究用の植物から逸出する

などがある(近内 1988、浅井 1993、伊藤 1993、鷺谷 2002a)。また、港湾、空港、税関、農事および園芸試験場、植物園、薬用や有用植物の栽培試験場、牧場、養鶏・養豚場、ゴルフ場、醤油や豆腐製造工場、毛織工場、高速道路や宅地造成など建設関係の諸施設、動物園、園芸植物商などの場所は、外来植物が国内に侵入して最初に根をおろす一次帰化地とされる(浅井 1971)。外来植物には、一次帰化地において発芽はしたものの、生活環を完結するに至らず消滅してしまう種から、生活環を完結するが他の場所に拡がらない種、あるいは生活環を完結し分布を拡大する二次帰化に進む種まで様々な種がある(岩瀬 1978)。どのような状態に至るかはその種の生態的特性と環境条件によって決まると考えられる。

外来植物が侵入後、国内で生活環を完結し、定着して帰化雑草とよばれるようになると、様々な問題が生じる。在来種との交雑では、遺伝的な純潔の喪失により、在来種の絶滅や遺伝的な多様性の劣化が危惧される(鷺谷・村上 2002)。生物多様性に関しては、在来種が長い年月をかけて環境条件に適応し、その周辺植物・動物などと築いてきた生物間相互作用のバランスを帰化雑草の侵入によって崩される問題がある。北米原産のオオブタクサ(*Ambrosia trifida* L.)は河川の氾濫原の植生の種多様性を減少させ、北米原産のセイタカアワダチソウ(*Solidago altissima* L.)は在来種を駆逐する(鷺谷 2002b、服部 2002)。南アフリカ原産のシナダレスズメガヤ(*Eragrostis curvula* (Schrad.) Nees)は、河原に侵入すると、株元に砂をためて河原を砂質化し、環境条件を変更して河原に自生地をもつ固有種を衰退させる。ブタクサ(*Ambrosia artemisiifolia* L. var. *elatior* (L.) Desc.)やオオブタクサは市街地の空き地などに侵入し花粉症の原因となる。水路にみられる熱帯原産のボタンウキクサ(*Pistia stratiotes* L.)はすさまじく増殖して、水面を覆い、船の航行や漁労を妨害する。また、新しい帰化雑草が農業生産の場に侵入・蔓延した場合には作物の品質低下や減収を引き起こす(清水 2002b)。このように帰化雑草の侵入は生態系や人間の生活に大きな影響を及ぼしている。

近年、全国の草地・飼料畑で帰化雑草が発生し、急増して問題となっている。当初、輸入牧草種子への混入が侵入経路として予測されたが、種子協会の

検査では雑草種子はほとんど見出されず、この経路の可能性は極めて低い(清水 1992)。一方、堆厩肥の置き場や堆厩肥を施用した圃場での帰化雑草の発生は、輸入飼料への種子の混入によると推定され、鹿島港に荷降ろしされた輸入濃厚飼料が1年にわたり調査された。その結果、105検体から強害帰化雑草のイチビ (*Abutilon theophrasti* Medic.) など延べ1,481種の種子の混入が確認され、混入種子の多くは発芽能力をもっていた(清水 1995、清水ら 1996)。これまでに調べられた牛の採食による雑草種子の伝播実験によると、牛の消化管を通り排出された生糞から回収した雑草種子のうち3割から6割は発芽能力をもっていた(高林ら 1978、高林 1997)。雑草種子の混入した濃厚飼料が家畜に採食されると、排泄物や未熟な堆厩肥などを通して雑草種子が耕地にばらまかれる。一方、イチビでは濃厚飼料への種子の混入による侵入以外にも、古くに栽培された植物から逸出した系統が生育している可能性もあり、日本全国から採集された植物標本館所蔵のさく葉標本について形態的分析とDNA解析が行われている(Kurokawa *et al.* 2003a, b)。その結果から、飼料畑に蔓延している雑草のイチビは、輸入飼料を介した海外からの侵入による個体とされている(Kurokawa *et al.* 2003b、黒川 2006)。このような近年のできごとは、1990年代の円高による輸入飼料の低廉化に伴う濃厚飼料と牧草の輸入の急増および畜産農家の多頭化経営に伴った飼料畑への大量の糞尿の放置と関連している(清水 1992)。

濃厚飼料への種子の混入に由来すると推定される帰化雑草の蔓延は、日本の農耕地で作物の減収を引き起こし、収穫物や畜産物の品質を低下させ、家畜の忌避行動を発生させるなどの被害を及ぼしている。作物の減収の例には、インド原産の一年生草本のイチビによるトウモロコシ (*Zea mays* L.) の減収の事例(佐藤ら 1994)、熱帯アメリカ原産の一年生草本のハリビユ (*Amaranthus spinosus* L.) によるトウモロコシやソルガム (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) の減収の事例(佐藤 2001)、地中海地域原産の多年生草本シヨクヨウガヤツリ (*Cyperus esculentus* L.) によるトウモロコシ(飯塚ら 1995)の減収の事例などが挙げられ、帰化雑草の著しい繁茂を原因として作物の収穫が皆無となる場合もある。収穫物や畜産物の品質低下の原因として、イチビ、ヨーロッパ原産の越年生草本のカラクサナズナ

(*Coronopus didymus* (L.) J. E. Smith) および北アメリカ原産の多年生草本のワルナスビ (*Solanum carolinense* L.) などが挙げられる。イチビの成植物は2.5mに達し、木質化した茎が収穫作業に影響を与えるだけでなく、飼料に混入して飼料の品質を低下させる(稲垣・沖 2001、佐藤ら 1994、佐藤ら 2001)。カラクサナズナは、草丈も20cmから30cmと低く、イタリアンライグラス (*Lolium multiflorum* Lam.) の生育を抑制することはないが、特異的な強い異臭を持つため、牛がカラクサナズナの混入した飼料を採食するとその異臭が牛乳に移行し、牛乳は、風味の異常な飼料臭乳となり、廃棄される(Sato *et al.* 1996、佐藤ら 2001)。ワルナスビは、飼料などの収穫物への有毒のしょう果および茎葉の混入による品質低下などを引き起こす(Nishida *et al.* 1999a、Miyazaki *et al.* 2005)。家畜の忌避行動の原因として、ハリビユ、ワルナスビ、ヨーロッパ原産の可変性一年生草本のアメリカオニアザミ (*Cirsium vulgare* (Savi) Tenore) などが挙げられる。ハリビユは葉腋から鋭い棘を生じるので、牧草への混入によって牛の採食行動が阻害される(佐藤 2001)。ワルナスビは、葉脈や茎の鋭い棘による放牧地での採食忌避を引き起こす(Nishida *et al.* 1999a、Miyazaki *et al.* 2005)。アメリカオニアザミは、北海道の放牧地で牧草の生育不良を引き起こし、その鋭い棘によって家畜の通行を阻害する(佐藤ら 1981)。このように帰化雑草は日本の農産物の生産を阻害する大きな要因の一つとなっている。

農耕地における帰化雑草の蔓延には、何らかの対策が必要である。輸入濃厚飼料への混入による帰化雑草の侵入拡散経路には、外国からの侵入、家畜の採食、圃場への堆厩肥の施用および圃場内での拡散のいくつかの段階があげられる。この経路の遮断については、まず、外国からの侵入を防止する措置として検疫が考えられるが、日本では雑草の種子は検疫の対象になっていない(清水 2002a)。また、害虫の駆除に用いられる臭化メチル処理には種子を死滅させる効果はなく、飼料工場での穀物の加工処理もほとんどの雑草種子に損傷を与えないため(清水 1995)、外国からの侵入の段階での有効な対策はない。濃厚飼料に混入した雑草種子は、ふつう、家畜に採食されるが、上述したように牛や豚の消化作用では死滅しない種子も多い(高林ら 1978、高林

1997)。次に、家畜の排泄物から圃場に至る経路で、排泄物はふつう堆肥化処理され、堆肥は発酵すると発熱する。イチビ、ワルナスビ、ハリビユなど10種類の雑草種子は55℃で最長58時間または60℃で最長17時間加熱すると死滅するため (Nishida *et al.* 1999b, 2000)、完熟した堆肥の作成は、圃場への雑草の侵入を防止するのに有効な対策となる。しかし、実際には完熟した堆肥を作る施設は不足しており、寒冷地では冬季に野外で60℃以上の発酵温度を確保できないため、多くの堆肥は未熟のまま耕地へ施用されている。また、既に圃場に侵入・定着し、蔓延してしまった帰化雑草には、圃場での防除対策が必要である。

農耕地に蔓延した帰化雑草のいくつかについては対処方法が確立している。九州のトウモロコシ圃場では、イチビは短日に反応して開花し、種子を生産するため、4月に播種したトウモロコシでは作付の初期に発生したイチビが大きな雑草害を引き起こす (Sato *et al.* 1994)。そのためトウモロコシの播種時期を5月下旬まで遅らせてイチビの被害を回避している (佐藤 2002)。トウモロコシ圃場ではハリビユは明確な日長反応を示さずに開花するため、トウモロコシの播種時期を遅らせてもハリビユを抑制できない。ここではリピングマルチとしてイタリアンライグラスをトウモロコシと同時に播種し、ハリビユの生育を抑制している (Sato *et al.* 1998)。イタリアンライグラス圃場でのカラクサナズナに対しては、イタリアンライグラスを倍量播種してカラクサナズナの生育を許容基準以下に抑制している (Sato *et al.* 1996)。草地でのワルナスビの生育限界は、冬季の気温によって決まっているため (Nishida *et al.* 1999a)、温暖地に発生が多いが、ワルナスビの蔓延している温暖地の草地では、追播更新に際して8月下旬にグリホサートを処理し、ワルナスビを防除している (梨木ら 1985)。飼料畑のワルナスビは耕耘で切断された根茎から旺盛にシュートを発生させるため耕耘作業によっては防除できないが (浦川 2000)、ワルナスビの光合成産物の根茎への移動は秋季におこるため、移行性茎葉処理型除草剤を秋季に散布すると効率良く防除できる (Miyazaki *et al.* 2005, 宮崎 2005)。また、トウモロコシの播種後4週間目以降に根の断片から出芽したワルナスビの生育量は少ないため、必要除草期間はトウモロコシ播種後4週間とされている (Onen

et al. 2006)。

以上のように当初“見慣れない雑草”として農耕地で認識された帰化雑草のいくつかは、生育地における生理生態的特性などを詳細に調査し、得られた知見を基に防除対策が策定されている。日本からアメリカに帰化したクズ (*Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi) やヨーロッパに帰化したオオイトドリ (*Reynoutria sachalinensis* (Fr. Schmidt) Nakai) (浅井 1993) のように、新しい土地に侵入した帰化雑草はしばしば爆発的に繁殖する。帰化雑草の侵入した場所では病原菌や天敵や競争相手が欠落しているほか、原産地とは異なった農地管理が行われるため、そのような爆発的な繁殖が起こっている。そのため帰化雑草の制御には原産国における知見だけでは対処できない。生育生態に関する情報の少ない帰化雑草を効果的に制御するには、新しい環境の中で対象雑草がどのように生き残っているのかを詳細に把握し、予備的な防除を試行し、その防除に対する雑草の反応も含めて生理生態的知見を集積して、適切な対策を構築する必要がある。本論文では、今後も継続的な侵入が予想される帰化雑草に対する防除法を構築するために、北海道と東北地方の麦畑に広がっている3種の帰化雑草をモデルとして研究を行った。

本論文を作成するにあたり、大阪府立大学大学院生命環境科学研究科教授山口裕文博士には懇切なご指導とご校閲を賜った。また、大阪府立大学大学院生命環境科学研究科教授阿部一博博士、大門弘幸博士には本研究を取りまとめるにあたり有益なご助言とご校閲を頂いた。ここに厚くお礼を申し上げる。

本研究は1993年より4か年にわたり実施された農林水産省の特別研究「強害帰化植物の蔓延防止技術の開発」および東北農業研究センターの基盤研究の成果の一部である。研究の遂行にあたり、農林水産省東北農業試験場の伊藤一幸博士 (以下、いずれも当時)、農業技術研究機構東北農業研究センターの渡邊寛明室長、農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センターの中山壮一上席研究員には丁寧なご指導を頂いた。東北農業試験場の住吉正主任研究官、的場和弘主任研究官、内野彰博士、伏見昭秀博士、農業研究センターの芝山秀次郎博士、野口勝可博士、高柳繁博士、中谷敬子博士、澁谷知子主任研究官、浅井元朗博士、九州農業試験場の森田弘彦博士、児嶋清室長、佐藤節郎博士、川名義明主任研

究官、草地試験場の清水矩宏博士、北海道農業試験場の小川恭男博士、財団法人日本植物調節剤研究協会の村岡哲郎氏には数多くのご教示とご助言を頂いた。東北農業研究センターの業務科職員には研究の遂行にあたって多くの支援を頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

Ⅱ ハルザキヤマガラシの分布

1. 緒言

ハルザキヤマガラシはヨーロッパ原産のアブラナ科の多年草であり、無毛で光沢のある濃緑色の葉をつける(長田 1976)。田植えの頃にはナタネより小さい鮮黄色の花を密につける(図1)。ハルザキヤマガラシは、原産地ではサラダ菜として食用とされるが、北アメリカでは栽培品から逸出して野生化している(牧野 1989)。日本には明治末に渡来し(竹松・一前 1987c)、栽培されたとされ(牧野 1989)、第二次世界大戦後には東北地方や中部地方で野生化した群落がみられるようになっている(牧野 1989)。ハルザキヤマガラシは、牧草地、畑地、荒地、路傍などに広がり、北海道から九州まで分布するが、とくに本州中部以北に多いとされる(清水ら 2001)。秋田県での初記録は1973年である(須藤 1975)。ハルザキヤマガラシは、東北地方に急増した雑草の一つで(原田 1993)、秋田県大仙市の水田地帯および青森県の転換畑にもみられる。しかし、東北地方における現在の分布や発生の程度、農耕地およびその周辺での被害の有無など、その実態は全くわかっていない。ハルザキヤマガラシは、



図1 開花期のハルザキヤマガラシ
(秋田県大仙市四ツ屋、2006年5月25日)

世界の温帯域に分布し、牧草地や小麦畑、野菜畑に発生して作物の減収や牧草の品質低下、茎の喫食による家畜の嘔吐などの問題を引き起こしている(MacDonld and Caver 1991、竹松・一前 1987c)。東北地方においては発生が著しくなり農耕地において作物に雑草害を与える恐れがある。ここでは、アンケート調査によりハルザキヤマガラシの発生実態を把握し、車窓からの目視によってその分布を確認し、発生の著しい地域において発生密度と発生動態を把握し、拡散の経路と過程を考察した。また、ハルザキヤマガラシの種子の伝播に水流の関与が推定されたため、水中に保存した種子の生存状況についても調査した。

2. 材料および方法

1) 分布調査

ハルザキヤマガラシの分布については、農林水産省の特別研究「強害帰化植物の蔓延防止技術の開発」における「帰化雑草の分布に関するアンケート調査」の一部として調査した。1993年に東北地方の88カ所の農業改良普及所を対象とし、1996年には76カ所の農業改良普及センターを対象とした。アンケートの質問項目は、当該の管轄区域におけるハルザキヤマガラシの発生の有無、作付作物、発生程度、被害程度、侵入時期および発生動態とした。1993年の調査では、種を正しく同定するために、識別のための形態的特徴と対象植物の写真を掲載したパネルを作成し、アンケート調査票とともに配布した。1996年の調査では同定用資料として「写真で見る外来雑草(畜産技術協会編 1994)」を配布した。

2001年には東北地方におけるハルザキヤマガラシの発生状況を確認するため、主要な国道を調査経路とし、開花期にあたる5月中旬から5月下旬に車窓から観察を行った。

2) 秋田県仙北地域における発生実態

1994年および2001年の5月下旬に、ハルザキヤマガラシの多発地である秋田県横手盆地仙北地域において主要な道路を調査経路として、ハルザキヤマガラシの発生状況と生育場所を調査した。調査経路を1kmのトランセクトで143地点に分割し、発生量を5段階に分級して地点毎に地図上に記入した。発生量は、地点内の最高密度が㎡当たり15個体以上を「4」、9個体/㎡から14個体/㎡を「3」、4個体/㎡から8個体/㎡を「2」、1個体/㎡から3個体/㎡を「1」、全く発生しない場合を「0」として記録

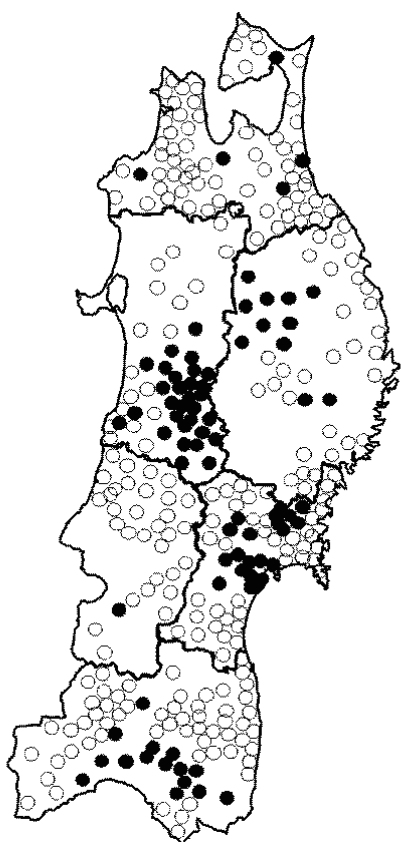


図2 1993年および1996年のアンケート調査による東北地方の市町村単位でのハルザキヤマガラシの発生
●：発生あり ○：発生なし

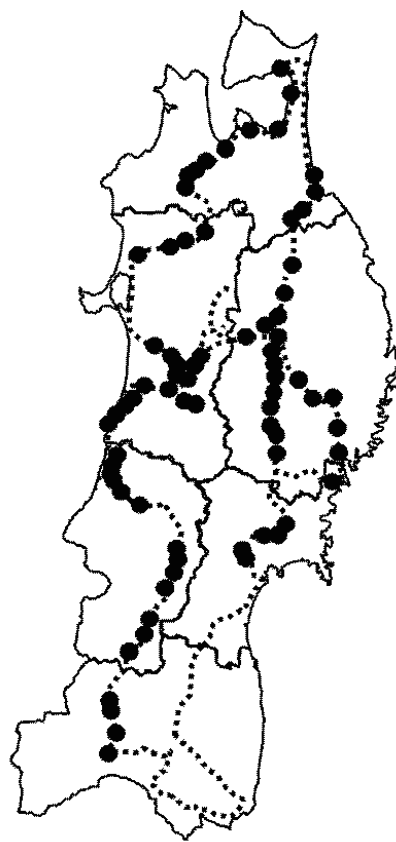


図3 主要国道での車窓調査による東北地方におけるハルザキヤマガラシの分布(2001年)
全調査地点数：147(1地点は1市町村)
点線：調査経路
黒丸：発生を確認した地点(74地点)

した。水田周辺の135地点については、ハルザキヤマガラシの生育場所近くの河川あるいは用排水路との位置関係を知るために、生育場所を「河川周辺および用排水路周辺の水田畦畔・路傍」、「その他の水田畦畔・路傍」に分け、地点毎に記録した。1地点の中で両方の生育場所がある場合は重複して記録した。

3) 水中に保存した種子の発芽

ハルザキヤマガラシの拡散要因をみるため、水中に種子を保存し、回収した種子の発芽率を調査した。1994年7月4日に秋田県大仙市の東北農業研究センター内で採集し、風乾後約3ヶ月室温貯蔵した種子を1994年10月19日に真ちゅうの網袋に入れて東北農業研究センターの貯水池の水深50cmに置いた。保存259日後および731日後に回収した種子を湿らせた濾紙を置いたシャーレーに置床し、15/25℃(12/12hr)の変温で12時間の明条件下で管理し14日目に発芽率を調査した。発芽試験を3反復とし、

1反復の供試種子数を100粒とした。

1998年4月8日にハルザキヤマガラシが発生している秋田県大仙市の畦畔に隣接した用水路の底に堆積した土(面積100cm²、深さ3cm分)を採取し、ワグネルポットに入れ野外で保存した。同年4月30日に炭酸カリウム50%溶液を用いてハルザキヤマガラシの種子を底土から高柳ら(1990)の方法に従って分離・回収し、水洗した。種子をシャーレー内の湿らせた濾紙に置床し、15/25℃(12/12hr)変温の12時間の明条件下で管理し12日目に発芽率を調査した。発芽しなかった種子を置床40日後にカミソリで半分に切断し生死を観察した。生死の不明な種子では切断してTTC(トリフェニルテラゾリウムクロライド)0.5%溶液に30℃暗黒条件下で24時間浸漬し、赤色に染色された種子を生存と判定した。

3. 結果

1) アンケート調査と分布確認

アンケート調査の回収率は、1993年には64.8%、

表1 ハルザキヤマガラシの発生状況^{a)} (アンケート調査結果)

項目		1993年	1996年
発生場所 (重複回答)	飼料畑	25	15
	草地	50	46
	普通畑	19	0
	転換畑	13	31
	樹園地	13	8
	野菜畑	6	8
	その他 ^{b)}	38	38
作付作物 (重複回答)	牧草	50	46
	コムギ	13	8
	トウモロコシ	25	15
	ダイズ	0	8
	野菜	6	8
	リンゴ	13	8
	ブドウ	6	0
発生程度	ナシ	0	8
	極多	6	8
	多	19	8
	中	31	15
	少	38	23
被害程度	散見	6	38
	甚	6	0
	大	6	8
	中	13	0
	小	44	46
侵入時期	無	25	38
	10年以前	- ^{c)}	8
	10～5年前	44	15
	5～3年前	31	31
	3～1年前	6	8
発生動態	今年から	0	0
	増加	31	23
	平衡	63	54
	減少	0	0

a) 値は回答数に対する項目の比率 (%)。

b) その他は、原野、堤防、畦畔などの非農耕地。

c) -は調査せず。

1996年には57.9%であった。回収数に対してハルザキヤマガラシの発生を認めたとする比率は、1993年には28.1%、1996年には29.5%であった。「発生を認めた」との回答は1993年と1996年をあわせて83市町村からあった(図2)。年次にかかわらず、平野部の市町村において発生が多かった。発生の場所としては草地が最も多く、次いで原野や堤防、畦畔などの非農耕地(調査項目:その他)であった(表1)。ハルザキヤマガラシは、転換畑や飼料畑においても発生していた。ハルザキヤマガラシが発生していた場所の作付作物としては牧草が多く、次いでトウモロコシ、コムギ、リンゴ(*Malus pumila* Miller)

var. domestica Schneider)の順であった。発生の程度では「中～散見」が多く、被害の程度では「中～無」が多かった。侵入時期は3年前から10年前とする回答が多く、発生動態は、「平衡」もしくは「増加」しているとの回答が多かった。

2001年の観察による分布調査では東北全県の74市町村で発生が確認された(図3)。青森平野、秋田県横手盆地、岩手県北上盆地、雫石盆地および遠野盆地において発生が著しかった。ハルザキヤマガラシの生育場所は路傍、河川の土手などが多かった。アンケート調査において発生が報告された福島県南東部では、発生を確認できなかった。

2) 秋田県仙北地域における発生実態

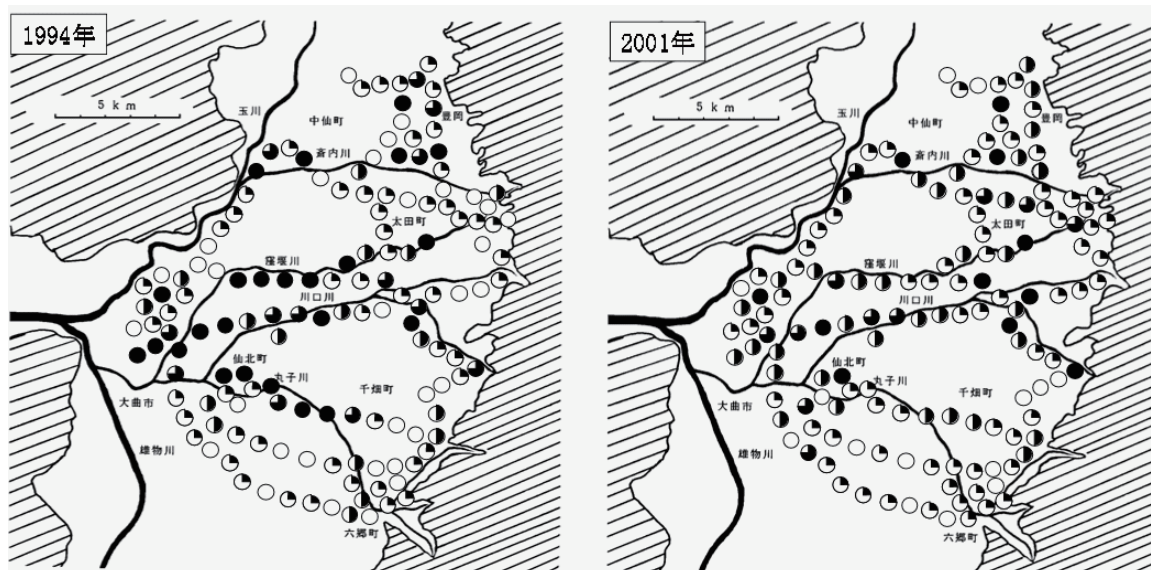
ハルザキヤマガラシは1994年には調査した143地点のうち77%にあたる110地点に発生していた。発生地点の34%では発生の程度が「3」から「4」と高密度で、高密度の発生地点の多くは河川の近傍にあった(図4)。ハルザキヤマガラシは、2001年には143地点のうち、90%にあたる129地点に発生し、発生地点数は1994年より増加した。しかし、発生程度が「3」から「4」の地点は全体の15%に減少していた。

秋田県仙北地域は水稲単作地帯であり、水路が網の目状に広がっている。水田地帯の135の調査地点におけるハルザキヤマガラシの生育場所としては、1994年と2001年ともに河川周辺および用排水路周辺の水田畦畔・路傍が多かった(表2)。ハルザキヤマガラシは仙北地域の主要な河川である齊内川では中州にも発生していた。また、用水整備などによって畦畔に上げられた用排水路の底土にハルザキヤマガラシの発生を確認した。また、地点数は少なかったが、草地や畑地、樹園地、休耕地、畜産農家周辺、空き地にも発生していた。

3) 水中保存後の種子の発芽

ハルザキヤマガラシの種子を259日間水中保存するとその種子の発芽率は $63.1 \pm 13.6\%$ (標準誤差)となり、731日間の保存では $31.3 \pm 3.8\%$ であった。ハルザキヤマガラシの種子の少なくとも3割程度は水中で2年間経過した後も発芽可能である。

用水路の底土から回収したハルザキヤマガラシの種子のうち30.0%は発芽した。残りの70%の種子のうち5.0%の種子は発芽しなかったが、この不発芽種子の切断面はTTCで赤色に染色されたので、種子は生存していると推定された。従って、底土から回



地点数 ○ : 33 ◐ : 56 ◑ : 17 ◒ : 13 ◓ : 24 地点数 ○ : 14 ◐ : 72 ◑ : 35 ◒ : 11 ◓ : 11

図4 秋田県仙北地域におけるハルザキヤマガラシの発生状況

発生程度 0 : ○ 1 : ◐ 2 : ◑ 3 : ◒ 4 : ◓
 全調査地点数 : 143 (1地点の範囲は1kmのトランセクト)
 発生程度の詳細は、本文参照。

表2 秋田県仙北地域におけるハルザキヤマガラシの主な生育場所

調査年	調査地点数	河川周辺および用排水路周辺の水田畦畔・路傍	左記以外の水田畦畔・路傍
1994年	135	85 (63%)	42 (31%)
2001年	135	104 (77%)	57 (42%)

注. 1) 図4の調査地点のうち水田周辺の地点について取りまとめた。
 2) 値は、発生を確認した地点数(重複を含む)。
 3) ()内は、調査地点数に対する割合。

収された種子のうち65.0%の種子は死滅していると判断された。ハルザキヤマガラシは、5月上旬に開花を始め、7月上旬に種子が成熟する。そのため、4月8日に採取した底土に含まれていた種子は前年より前に生産された種子と推定されるので、種子は少なくとも9カ月間は用水路において生存すると考えられる。

4. 考察

アンケート結果からハルザキヤマガラシは1993年には既に東北全県で発生していたと考えられる。1993年と1996年の発生場所の大部分では(図2)、2001年の現地調査でも発生が確認されたので、ハルザキヤマガラシは、東北全県に広く拡散し、定着していると言える。アンケート調査で発生が報告され

た福島県南東部では、車窓調査によってハルザキヤマガラシの発生を確認できなかった。これはこの地域での草刈り時期が早く、開花個体を目視できなかったためと考えられる。ハルザキヤマガラシは、日本には明治時代に栽培植物として渡来し、第二次大戦後東北地方や中部地方に群生していたとされる(牧野 1989)。しかし、アンケート調査では、ハルザキヤマガラシは3年前から10年前の間に目立ち始めたとの回答が多く、これは、原田(1993)が1987年から1992年にかけて耕地への侵入が増加しつつあるとした内容と一致する。筆者は1993年から1996年に青森県西津軽郡鰺ヶ沢町においてこぼれた濃厚飼料からのハルザキヤマガラシの発生を確認した。また、畜産農家からの堆肥を施用した転換畑でハルザキヤマガラシの発生を確認した。これらのことからハルザキヤマガラシは、他の帰化雑草種と同じように輸入濃厚飼料などに混入し(清水ら 1996)、海外から新規に供給された種子によって近年増加していると考えられる。ほかの経路としては、輸入牧草種子に混入したハルザキヤマガラシの種子が草地造成や道路法面の浸食防止用吹き付け工事の際に発芽し侵入する場合も考えられる(岩瀬 1978)。アンケート調査ではハルザキヤマガラシの発生は増加している傾向にあった。2001年の秋田県仙北地域に

における調査では高密度発生地点数は1994年より減少していたが、発生地点数は増加しており(図4)、この地域にハルザキヤマガラシは定着し、分布を拡大していると考えられる。

秋田県仙北地域では、ハルザキヤマガラシは河川の中州にも発生していた。また、この地域で年に1回から2回行われる用排水路整備によって農道・水路の法面や畦畔に上げられた底土にハルザキヤマガラシは発生していた。これは、上流から種子が水によって運搬されるなど、ハルザキヤマガラシの分布拡大には、水流が関与していることを暗示している。ハルザキヤマガラシの繁殖源となる種子は水没しても54日間から57日間は生存するとされ(MacDonld and Caver 1991)、本研究でも2年間水中保存した後でも3割程度の種子が発芽可能であった。これらの知見とともに、少なくとも9カ月以上前に散布されたと推定されるハルザキヤマガラシの生存種子が実際に用水路の底土から回収されたことは、河川や用排水路がハルザキヤマガラシの拡散経路の一つであることを示唆している。東北地方以外の日本においてハルザキヤマガラシの発生実態の詳細はよく判っていないが、ハルザキヤマガラシはこのような水を介した拡散経路により、ほかの地域においても分布を拡大させていると推定される。水田地帯である秋田県仙北地域では、本田へのハルザキヤマガラシの侵入は認められないが、ハルザキヤマガラシの発生する畦畔に隣接する水田が畑に転換された場合には、畦畔から侵入する可能性があり、今後の動向には注意を要する。

Ⅲ ハルザキヤマガラシの生活史と生育地

1. 緒言

東北地方では、ハルザキヤマガラシは水田灌漑水路の近くの畦畔や路傍に沿ってごく普通にみられ、コムギ圃場にも発生している(橘ら 2002)。東北地方では、5月から9月の水稻栽培期間中に、通常、畦畔に生育する植物を除草機で3回から4回刈り取る(高橋ら 1997)。一方、コムギは、9月下旬に圃場を耕起した後、播種し、翌年の7月上旬に収穫する(児玉 1992)。このように畦畔とコムギ圃場には農作業に伴う草刈りや耕起などの異なる攪乱があるが、ハルザキヤマガラシがそれらの生育地でどのように繁殖し、どのような生活史を持つのか、その詳細はよく判っていない。ハルザキヤマガラシ

は、有性繁殖と無性繁殖を行う。有性繁殖では長角果に種子をつけ、散布する。ハルザキヤマガラシの生産する種子数は、生育地によって異なり、イネ科植物に被われた乾燥地では個体あたり280粒程度であるが、耕起される圃場などでは個体あたり88,000粒程度である(MacDonld and Caver 1991)。散布された種子は、土壌の耕起によって埋没され永続的なシードバンクを形成し(Roberts 1986)、これがハルザキヤマガラシの耕地雑草としての成功の原因の一つとされる(MacDonld and Caver 1991)。一方、ハルザキヤマガラシは、根から生じる不定芽やロゼット葉の葉腋から生じる脇芽と茎上葉の葉腋に形成される茎上ロゼットの芽とによって無性的にも繁殖する(Klimesova et al. 2008、MacDonld and Caver 1974)。また、ハルザキヤマガラシは、多様な生活史を示す種として知られている。花芽分化に春化(低温の刺激)を必要とするため、秋の発芽個体は冬生一年生として、春の発芽個体は二年生として生育・繁茂する(Baskin and Baskin 1989)。一方、茎が刈られるか種子が成熟し地上茎が枯れると茎の基部につく芽から新しいロゼット葉を発達させる(Schreiber 1962)。刈り取りの損傷が栄養生長から生殖生長への資源分配の変更を遮り、親個体からの再生を増加させる現象はイヌガラシ属の一種 *Rorippa palustris* にもみられる(Klimesova et al. 2007)。ブタナ(*Hypochoeris radicata* L.)でも花の形成が妨げられると生殖生長から栄養生長および新しいロゼットの形成へ移行しやすい(Hartemink et al. 2004)。刈り取りなどの人為的攪乱によって次年あるいはそれ以降に開花が延ばされると、ハルザキヤマガラシは多年生として生育する場合がある(MacDonld and Caver 1991)。短命な植物種におけるこのような生活史の変動は、不安定で予測できない環境条件下で生き残るための戦略の一つと考えられている(Klimesova et al. 2007)。このように、海外におけるハルザキヤマガラシの繁殖方法や生活史についての基本的な知見はあるものの、アジアモンスーン気候下の低地において、ハルザキヤマガラシの個体群の維持に関する種子繁殖と栄養繁殖の貢献の程度についてはほとんど研究されていない。水田地帯においても田畑輪換によってコムギなどが作付されると、隣接した畦畔に自生するハルザキヤマガラシ個体に実った種子が圃場内にこぼれ、転換畑にハルザキヤマガラシの侵入する可能性がある。侵

入帰化雑草に対して雑草管理体系を確立するには、新しく定着した場所の環境条件やその場におけるハルザキヤマガラシの生態的特性に関する知識を蓄積する必要がある。ここでは、草刈りと耕起といった攪乱条件下におけるハルザキヤマガラシの繁殖様式を明らかにするために、畦畔とコムギ圃場という攪乱条件の異なる生育地においてハルザキヤマガラシの生活史を観察した。また、コムギ収穫後の圃場における耕起を想定し、根の断片の埋没実験を行い、その深度と土壤水分が根断片の生存にどのように関わるかを調査した。

2. 材料および方法

1) 自生地における生活史と繁殖

秋田県大仙市内において1992年から1996年までの5年間にわたり、灌漑水路近くの水田畦畔に自生するハルザキヤマガラシの生活史を観察した。1994年には、11月14日に水田への灌漑水路に近い畦畔に設置した1m×7mの方形区においてハルザキヤマガラシの繁殖様式を観察し、12月14日には東北農業研究センター（秋田県大仙市）のコムギ圃場に設置した1m×3mの方形区においてその繁殖様式を観察した。それぞれの個体が種子繁殖によるか栄養繁殖によるかを判定するために子葉の存在と肥大化した主根または茎基部の状態を調査した。子葉をつけ、栄養繁殖器官を欠く個体を種子繁殖した個体と判定し、肥大化した主根または茎の基部を残している個体を栄養繁殖した個体と判定した。

時期と頻度の異なる刈り取り条件下でのハルザキヤマガラシの生存を解析するために、1996年と2001年に東北農業研究センターにおいて2つの実験を実施した。1996年4月に、畦畔においた5つの1.5m×10mの調査区でハルザキヤマガラシの個体数を計数した。その後の評価のために全ての個体を標識し、抽だい後期（5月1日）、開花初期（5月13日）、開花盛期（5月26日）および成熟期（6月25日）に茎を除去した。また、無処理の対照（無刈り取り）区を設定した。畦畔の調査区内ではハルザキヤマガラシ以外の全ての植物を5月3日、6月14日、6月26日および8月9日の計4回除去した。1996年12月18日に各区でハルザキヤマガラシのロゼット個体数を数え、生存率を決定した。2001年には、年2回（6月18日と8月24日）草刈り区と年4回（5月18日、6月18日、7月23日および8月24日）草刈り区を設定した。1区の面積を1.5m×27mとした。

4月に畦畔に生育するハルザキヤマガラシの個体数を数え、個体を標識した。その後、それぞれの調査区において草刈り処理を実施した。2001年11月24日に、それぞれの調査区において生存しているハルザキヤマガラシの個体数を数えた。

2) 根の断片の生存

1994年12月16日に秋田県大仙市内の水田畦畔に自生しているハルザキヤマガラシ個体のうちロゼットの直径が200 mmから500 mmの範囲の大きさの20個体より根の断片を採集した。根の断片は地表面下50 mmから100 mmの深さにある長さ50 mmの根を選んだ。その後、根の断片を直径0.5 mm以下、直径0.5 mmから1.0 mm、直径1.0 mmから2.0 mm、直径2.0 mmから3.0 mmおよび直径3.0 mm以上のロットに分けた。湿った埴壤土を充填したプラスチック製のシードリングケースにロットあたり10個の断片を水平に置床した。その後、それぞれの断片の下方の2分の1を土で覆った。これを12時間30℃明条件/12時間20℃暗条件の日周条件で20日間培養した。実験期間を通じて土壤表面が乾燥しない程度にシードリングケースに毎日灌水した。20日間の培養後、萌芽数と葉数を数え、萌芽した断片についてそれぞれ最も長い葉の長さを測定した。

1998年11月6日に大仙市内の水田畦畔に自生するハルザキヤマガラシからロゼットの直径が200 mmから500 mmの50個体を選び、地表面より下20 mmから170 mmの位置にある根を採取した。その根を長さ50 mmの断片に切断した。埴壤土を充填したシードリングケースの土壤表面にこの断片を水平に置床し、また深さ10 mmに埋めた。その後25℃の恒温12時間明条件下でこれらの断片を4つの異なる土壤水分条件（最大容水量の20%、40%、60%、80%）で20日間培養した。1処理あたりの断片数を10個とした。根の断片の生存能力を評価するために、培養直後にそれぞれの断片を5つのカテゴリー（萌芽し出芽した；萌芽したが出芽せず；萌芽せず；腐敗で枯死した；乾燥で枯死した）に分類した。1処理あたり3反復とした。また、異なる水分条件下で根の生存能力を調査した。

1998年11月30日に大仙市内の水田畦畔に自生するハルザキヤマガラシのうちロゼット直径が200 mmから500 mmの範囲の大きさの50個体から上記と同様に根の断片を採取した。根の断片の埋設条件として埴壤土を充填したシードリングケースの（1）地

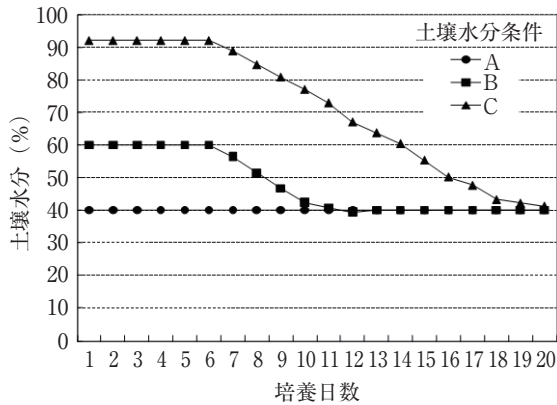


図5 ハルザキヤマガラシの根の断片の再生能力調査において設定した土壤水分条件（最大土壤含水量に対する比率）

表面に水平に置いた根の断片の下方半分を地表面の直下に埋設、(2) 地表下深さ10mm、(3) 地表下深さ30mm、の3種類とした。これらの断片を恒温25℃の12時間明条件下で以下に示す土壤水分条件(図5)で20日間培養した。すなわち、日本の雨期を想定し、(1) 全ての期間を通じて土壤を最大土壤含水量の40%で保持する(土壤水分条件A)、(2) はじめの6日間を最大土壤含水量の60%で保持し、次の6日間で自然に含水量40%まで減少させ、その後8日間を40%で保持する(土壤水分条件B)、(3) はじめの6日間を最大土壤含水量の92%で保持し、次の14日間で自然に40%まで減少させる(土壤水分条件C)の3種類とした。1シードリングケースあたり10個の根の断片を供試し、1シードリングケースあたり3反復とした。培養後、それぞれの断片について上記の試験と同様に生存能力を類別した。

3. 結果

1) ハルザキヤマガラシの生活史と繁殖

畦畔において越冬したハルザキヤマガラシのロゼット個体は、1992年から1996年の間、毎年4月中旬に花軸を抽だし、5月上旬から5月下旬に開花した。果実は6月中旬から7月上旬に成熟し、その後種子が散布された。この地域では水稻の移植時期は5月中旬から5月下旬であり、その場合、移植前に水田畦畔は草刈りされる。そのため、調査した畦畔に生育していたハルザキヤマガラシの茎の多くはこの時期に刈り取られた。茎を刈り取られたハルザキヤマガラシの一部の個体は、基部の腋芽から伸びた新しい茎に花をつけた。1993年の6月下旬には茎を刈り

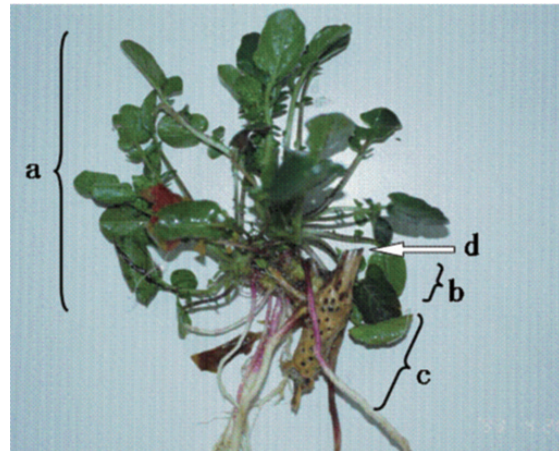


図6 1年前の株から再生したハルザキヤマガラシ個体

a : 新しく形成されたロゼット、b : 1年前の茎
c : 1年前の茎の基部、d : 除草機で刈られた跡

表3 畦畔とコムギ圃場におけるハルザキヤマガラシの繁殖

生育地	観察個体数		計	種子繁殖の割合(%)
	種子繁殖	栄養繁殖		
用排水路近くの畦畔	34 (78.3)	63 (18.7)	97	35.1
コムギ圃場	255 (210.7)	6 (50.3)	261	97.7
計	289	69	358	

注. 1) 括弧内、期待値。

2) $\chi^2=178.396$; d. f. = (2-1)(2-1) = 1; $P < 0.0001$

取られた114個体のうち、77個体は茎の基部に新しいロゼット葉を作っていた。4月にロゼット状の個体を掘り上げたところ、前年の春に茎を刈り取られた個体は茎の基部からロゼット葉を再生しており(図6)、草刈りによって主茎がなくなった後も、ロゼットを複数年にわたって形成するなど、畦畔の多くのハルザキヤマガラシ個体は多年生の性質を示した。

1994年には畦畔に生育していたハルザキヤマガラシの97個体、コムギ圃場に生育していたハルザキヤマガラシの261個体について繁殖様式を評価した(表3)。子葉をつけるか、栄養繁殖器官を欠く個体を種子繁殖と判断し、茎の残骸や古い主根をつけていた個体を栄養繁殖と判断した(図6)。種子繁殖と栄養繁殖個体は明瞭に判断できた。ハルザキヤマガラシの種子繁殖の割合は、畦畔よりもコムギ圃場において有意に高かった(表3、 $P < 0.0001$)。

表4 茎の刈り取り時期とハルザキヤマガラシの生存

刈り取り日	生存個体数	死滅個体数	計	生存率 (%)
5月1日 (抽だい後期)	30 (24.8)	13 (18.2)	43	69.8
5月13日 (開花初期)	24 (20.2)	11 (14.8)	35	68.6
5月26日 (開花盛期)	26 (24.8)	17 (18.2)	43	60.5
6月25日 (成熟期)	17 (23.1)	23 (16.9)	40	42.5
無刈り取り	18 (22.0)	20 (16.0)	38	47.4
計	115	84	199	

注. 1) 括弧内、期待値。
2) $\chi^2=9.848$; d. f. = (5-1) (2-1) = 4; P = 0.0431

表5 異なる草刈り頻度でのハルザキヤマガラシの生存

草刈り頻度	生存個体数	死滅個体数	計	生存率 (%)
年2回	57 (62.8)	25 (19.2)	82	69.5
年4回	67 (61.2)	13 (18.8)	80	83.8
計	124	38	162	

注. 1) 括弧内、期待値。
2) $\chi^2=4.572$; d. f. = (2-1) (2-1) = 1; P = 0.0325

1996年に時期を異にする刈り取りが生存に及ぼす影響を調査した。抽だい後期から開花初期にかけて刈り取った調査区では、開花盛期から成熟期に刈り取った調査区よりも生存率が高かった(表4)。生存率は刈り取り時期によって有意に異なった(P = 0.0431)。2001年に頻度を異にする刈り取りが生存に及ぼす影響を調査した。年4回草刈りされた個体の生存率は年2回草刈りされた個体よりも有意に高かった(表5)(P = 0.0325)。

2) 根の断片の萌芽

ハルザキヤマガラシの根の断片は、土壤表面に半分埋設した場合に不定芽を形成した。直径が1mm以上の根の断片は、100%萌芽し、直径1mm以下の根の断片でも50%から80%の高い萌芽率を示した。直径1mm以上の根の断片では、断片あたりの萌芽数や葉数が多く、生育が旺盛であった(表6)。ハルザキヤマガラシの根の断片は高い栄養繁殖能力を持っていた。

根の断片を土壤表面に置床した場合、土壤水分

表6 ハルザキヤマガラシの根の断片の萌芽能力

根の断片の直径	供試断片数 (個)	萌芽断片数 (個)	断片あたりの萌芽数 (個)	断片あたりの葉数 (枚)	最大葉長 (cm) ^{a)}
3.0mm<	10	10	7.3	34.0	7.7
2.0mm~3.0mm	10	10	7.2	31.6	10.4
1.0mm~2.0mm	10	10	7.5	24.6	8.2
0.5mm~1.0mm	10	8	3.8	9.4	4.0
<0.5mm	10	5	1.6	2.4	0.8

a) 萌芽した根断片における平均値。

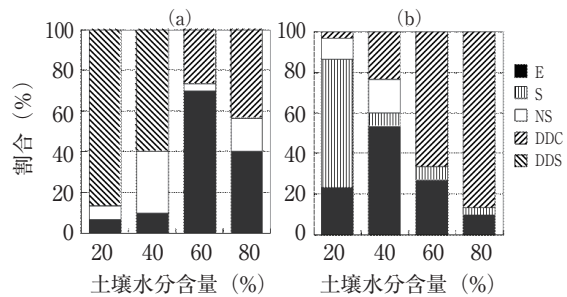


図7 ハルザキヤマガラシの根の断片の再生能力

(a) は土壤表面に置床、(b) は土中10mm深に埋設。E、萌芽し出芽した；S、萌芽したが出芽しなかった；NS、萌芽しなかった；DDC、腐敗で枯死した；DDS、乾燥で枯死した。割合は3反復の平均。土壤水分含量は最大土壤含水量に対する比率。

20%区と土壤水分40%区での根の断片の萌芽率は、土壤水分60%区よりも低く、その原因は乾燥による枯死であった。土壤水分80%区での根の断片の萌芽率は、土壤水分60%区よりも低く、その原因は腐敗による枯死であった(図7a)。一方、深さ10mmへの埋設では、土壤水分60%区と土壤水分80%区での根の断片の出芽率が土壤水分40%区よりも低く、これは断片がより多く腐敗したためであった。土壤水分20%区では、根の断片の出芽率は低く、これは新しいシュートが萌芽しても土の表面の上に出芽できなかったためであった(図7b)。

地表に置かれて下半分を土壤に埋設された根の断片は、深さ10mmまたは30mmの土中に埋設された同じ土壤水分条件の根の断片より高い萌芽率を示した。根の断片の埋設深度が深くなるに従って出芽率は減少し、とくに深さ30mmの土中に埋設した根の断片の出芽率は10%以下と低かった。埋設した根の深さにかかわらず、土壤水分条件Cで維持した根の断片は、腐敗によって多数死滅したため、土壤水

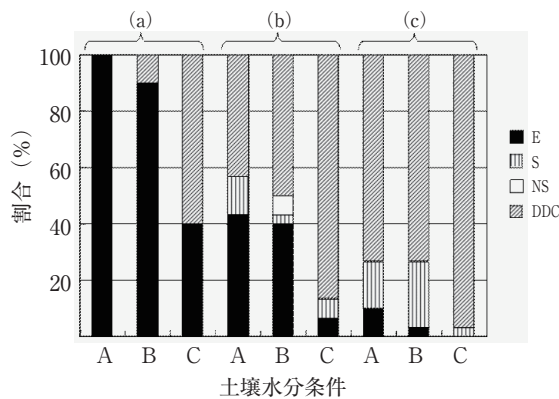


図8 異なる土壌水分と埋設の深さにおけるハルザキヤマガラシの根の断片の再生能力

A, B, C: 土壌水分条件、図5を参照。

(a), 土壌表面に半分だけ埋設; (b), 土壌表面下10mmに埋設; (c), 土壌表面下30mmに埋設。

E, 萌芽し出芽した; S, 萌芽したが出芽しなかった; NS, 萌芽しなかった; DDC, 腐敗で枯死した。

割合は3反復の平均。

分条件Aと土壌水分条件Bで維持した根の断片よりも低い萌芽率を示した(図8)。

4. 考察

耕起されず草刈りされている畦畔では、多くのハルザキヤマガラシの個体は多年生として生育し、耕起されるコムギ圃場では、ほとんどのハルザキヤマガラシの個体は冬生の一年生として生育していた(表3)。5年間のフェノロジー調査の間、畦畔ではハルザキヤマガラシの茎は、調査地域におけるイネの慣行栽培の田植え直前の最初の草刈りによってしばしば取り除かれた。しかし、畦畔では多くのハルザキヤマガラシ個体は最初の刈り取り後に新しいロゼットを形成していた。これは草刈りに伴いハルザキヤマガラシの生育相が生殖生長から栄養生長へ移行したことを示す。このような生育相の移行は、ブタナや *Rorippa palustris* でもみられる(Hartemink et al. 2004, Klimesova et al. 2007)。ハルザキヤマガラシの茎の刈り取り時期を変えた試験では、早期の刈り取りほどハルザキヤマガラシの生存率は高かった(表4)。このことは、刈り取りがなければ種子形成に消費される光合成産物が早期の刈り取りほど新しいロゼット葉に分配されることを示している。早期の茎の除去によってハルザキヤマガラシの栄養繁殖は促進され、生育期間も延長されている(MacDonld and Caver 1991)。

ハルザキヤマガラシは、花芽分化に春化を必要とするため、温帯では夏の間に草高の低いロゼット

ト状態で生育する(MacDonld and Caver 1974, Schreiber 1962)。しかし、一般に、草高の高い個体は受光に有利で、同じ生育地における草高の低い個体を被覆する(Falster and Westoby 2003)。一方で、匍匐あるいはロゼット型となる広葉雑草は、イネ科雑草と同様に、茎頂分裂組織を地表あるいは地表直下にもつため、低い位置での刈り取りに耐えられる(Murphy and McCarty 1999)。シュートが地表面近くにあるロゼット個体の生育は草高の高い植物の被覆によって抑制されるため、夏の間の植生管理の方法によって植物個体の生存率は異なると推定される。ハルザキヤマガラシの生存率は、高い草刈り頻度のもとで高くなるので(表5)、この地域の畦畔における水稲作期間中の3回から4回の草刈り(高橋ら 1997)はハルザキヤマガラシの生存に好ましく、結果としてハルザキヤマガラシが水田畦畔に多くなる(橘ら 2002)。畦畔における草刈りという農作業は、ハルザキヤマガラシの栄養繁殖を促進し、草高の高い植物との競合を回避して、ハルザキヤマガラシを多年生植物としての生活史に誘導し生き残りやすくしていると考えられる。畦畔の草刈り回数が少なくなると、一年生植物として生活するハルザキヤマガラシの割合が増え、一方で種子から出芽できる空間は少なくなるため、個体数は減少すると推定される。

ワルナスビやシヨクヨウガヤツリ、*Allium vineale*などは、根あるいは地下貯蔵器官によって新しい個体を再生できる(浦川 2000, Altland 2001)。そのため、耕起作業は根の断片や栄養繁殖体を圃場中に拡散させ、しばしば雑草を小さなパッチから圃場全体へ蔓延させる(浦川 2000, Altland 2001)。ハルザキヤマガラシの根の断片も高い萌芽能力をもつため(表6)、耕起によって個体数の増加する可能性はある。しかし、畦畔での栄養繁殖とは対照的にコムギ圃場において、ほとんどのハルザキヤマガラシ個体は種子によって繁殖していた(表3)。それは、北日本でコムギが6月から7月の梅雨の時期に収穫される(星野ら 1989)ことと関係するのかもしれない。ハルザキヤマガラシのほとんどの根の断片は土に埋まった条件や高い土壌水分条件では再生しなかった(図7、図8)。梅雨の期間中のコムギ収穫後の耕起は、雑草の植物体残渣を埋めてしまうので、ハルザキヤマガラシの再生を低下させていると推定される。そのため、北日

本のコムギ圃場ではハルザキヤマガラシの個体群の維持に種子繁殖が重要な役割を果たすと考えられる。

調査した地域では、耕起されず草刈りされる畦畔ではハルザキヤマガラシの個体群は主に栄養繁殖により維持されていたのに対し、耕起されるコムギ圃場ではハルザキヤマガラシはほとんど種子繁殖で維持されていた。ハルザキヤマガラシは2つの異なる管理作業に可塑的に対応してそれぞれの生育地でしぶとく生き残ることができると考えられる。

IV カミツレモドキの分布と生活史

1. 緒言

カミツレモドキはヨーロッパ原産のキク科の一年生草本で（長田 1972）、茎は直立あるいは斜上し、分枝が多く、高さは20cmから80cmである（図9）。葉は互生し、2回から3回羽状に深裂する。花は頭状花序で、舌状花は白色、筒状花は黄色、花床ははじめ円盤状だがやがて中軸が伸び円錐状になる。カミツレモドキには悪臭がある（長田 1972）。日本では1931年に渡来が確認され、全国に帰化している（竹松・一前 1987a）。東北地方においてもカミツレモドキの発生が報告され（原田 1993、的場 1998）、とくに青森県の転作コムギ圃場では異臭や草刈り時の皮膚のかぶれやコムギの品質低下などの



図9 開花期のカミツレモドキ
（秋田県大仙市四ツ屋、1994年6月24日）

問題となっている（伊東 1988）。しかし、東北地方における詳細な分布や発生の程度、農耕地での被害の有無など、その実態は不明である。ここでは、カミツレモドキの発生実態を把握するためにアンケート調査し、発生の著しい青森県鯉ヶ沢町の転換畑において圃場管理実態と発生状況を観察し、カミツレモドキの蔓延の原因を考察した。

2. 材料および方法

1) 分布調査

カミツレモドキの発生に関するアンケート調査は、IIに示したハルザキヤマガラシのアンケート調査と同時に行った。すなわち、1993年には東北地方の88カ所の農業改良普及所を対象とし、1996年には76カ所の農業改良普及センターを対象として、管轄区域におけるカミツレモドキの発生の有無、作付作物、発生の程度、被害の程度、侵入時期および発生動態を調査した。1993年には種を正しく同定した回答を得るために、カミツレモドキの形態の特徴と写真を掲載したパネルを作成し、アンケート調査票とともに配布した。1996年には同定用資料として「写真で見る外来雑草（畜産技術協会編 1994）」を配布した。

2) 青森県の転換畑におけるカミツレモドキの発生

青森県西津軽郡鯉ヶ沢町の転換畑28筆において1994年には4月6日、4月7日、7月29日、7月30日に、1995年には9月9日、9月10日、11月21日、11月22日に、1996年には4月14日、4月15日、7月11日、7月12日に、作付状況、圃場管理状況およびカミツレモドキの発生状況を調査した。3年間の作付体系と圃場管理状況の類似する圃場を16種類に分けて表8に示した。1994年7月30日、1995年9月10日および1996年7月12日には圃場内の最も発生密度の高い部分に20cm×20cm（0.04㎡）のコドラートを置き、その中の個体数を記録した。その個体数を5段階に分級して発生程度とした。個体数の分級は、㎡当たり101個体以上を「極多」、21個体/㎡から100個体/㎡を「多」、6個体/㎡から20個体/㎡を「中」、1個体/㎡から5個体/㎡を「少」、全く発生しない場合を「無」とした。16種類の管理状況別に3年間にわたって得られた発生程度の範囲を表8に示した。

3) カミツレモドキの出芽

カミツレモドキの出芽時期を知るため、1994年4月7日に青森県鯉ヶ沢町で前年のコムギ収穫後不耕

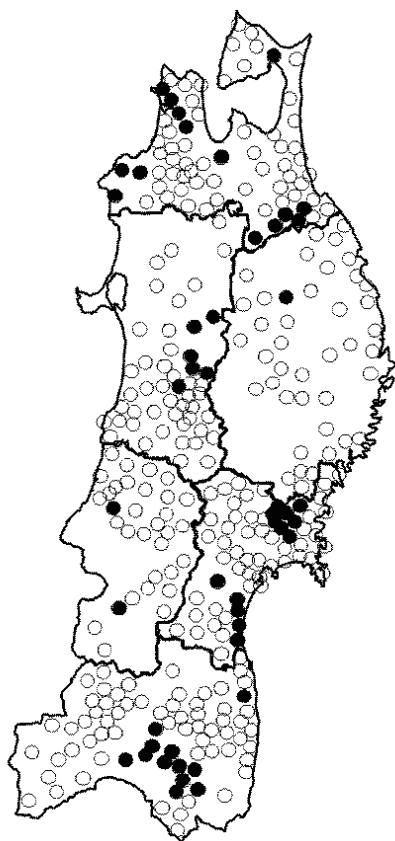


図10 1993年および1996年のアンケート調査による東北地方の市町村単位でのカミツレモドキの発生

●：発生あり ○：発生なし

起のままの圃場から採集した土壌を良く攪拌し、それを同年4月11日に秋田県大仙市の東北農業研究センター内の屋外に置いたコンクリートポット（縦60cm×横60cm）に厚さ5cmになるように充填した。その後、土壌を耕起しなかった。ポット中央部の30cm×30cm（0.09m²）に出芽したカミツレモドキの実生を毎日抜き取り、1995年5月8日まで約1年にわたって出芽個体数を記録した。

3. 結果

1) アンケート調査

アンケート調査の回収率はⅡのハルザキヤマガラシの場合と同様である。回収数に対する「カミツレモドキ発生」の比率は1993年には22.8%、1996年には18.2%であった。1993年と1996年を合わせると49市町村において「発生」の回答があった（図10）。発生地域は年次間に大きな違いはなく、平野部の市町村に「発生」は多かった。発生場所は普通畑で最も多く、次いで転換畑で多かった（表7）。発生場

表7 カミツレモドキの発生状況^{a)}（アンケート調査結果）

	項目	1993年	1996年
発生場所 (重複回答)	飼料畑	31	0
	草地	25	15
	普通畑	38	8
	転換畑	25	23
	樹園地	6	0
	野菜畑	6	8
	その他 ^{b)}	6	23
作付作物 (重複回答)	牧草	38	15
	コムギ	25	8
	トウモロコシ	19	0
	ダイズ	0	15
	野菜	6	15
	リンゴ	6	0
	ブドウ	6	0
発生程度	ナシ	0	0
	極多	0	0
	多	0	0
	中	25	0
	少	13	15
	散見	44	46
	甚	0	0
被害程度	大	0	0
	中	19	0
	小	13	15
	無	50	46
	10年以前	- ^{c)}	0
	10～5年前	25	23
	5～3年前	31	15
発生動態	3～1年前	6	0
	今年から	6	0
	増加	13	0
	平衡	31	31
	減少	19	8
	今年から	6	0
	今年から	6	0

a) 値は回答数に対する項目の比率（%）。

b) その他は、原野、堤防、畦畔などの非農耕地。

c) -は調査せず。

所の作付作物は牧草とコムギで多かった。発生の程度としては「散見」される事例が多く、被害の程度も小さかった。侵入時期は3年前から10年前とする回答が多く、発生動態は、「平衡」とする回答が多かった。

2) 青森県の転換畑におけるカミツレモドキの発生
調査した転換畑はコムギを主体とする作付体系となっていたが、1993年の冷害以降の転作面積の緩和によって1994年以降には一部の復元田にイネの作付がみられた（表8、番号12、13、14）。コムギを作付した圃場で4月上旬に生育していたカミツレモドキのほとんどの個体は子葉をつけておらず、これは

表8 青森県鯉ヶ沢町の転換畑における作付とカミツレモドキの発生状況

番号	作付 ^{a)}			圃場数	3年間の発生程度 ^{b)}	発生場所	備考(圃場管理など)
	1994年	1995年	1996年				
1	コムギ	コムギ	コムギ	3	無~少	圃場内	コムギ収穫後麦稈焼却・耕起
2	コムギ	コムギ	コムギ	2	中	圃場内	コムギ収穫後不耕起
3	コムギ	コムギ	休耕	1	無~少	圃場内	コムギ収穫後麦稈焼却・不耕起
4	コムギ	コムギ	休耕	3	少~中	圃場内	コムギ収穫後不耕起
5	コムギ	コムギ	休耕	6	少~極多	圃場内	コムギ収穫後不耕起、雑草害で収量が極めて少ない
6	コムギ	ソバ	ソバ	3	無~少	圃場内	コムギ収穫後耕起
7	コムギ	ソバ	ソバ	1	少~多	圃場内	コムギ収穫後耕起、ソバの出芽が不均一
8	コムギ	ソバ	休耕	1	無		コムギ収穫後耕起
9	コムギ	イネ	休耕	1	無~中	圃場内、水田畦畔に発生	コムギ収穫後不耕起
10	ダイコン	休耕	コムギ	1	無~極多	圃場内	コムギ生育量少ない
11	休耕	休耕	コムギ	1	無~中	圃場内	コムギ生育量少ない
12	イネ	イネ	イネ	1	無		
13	イネ	水張り休耕	イネ	1	無~少	水張り休耕の落水後に圃場内に発生	
14	水田造成	水張り休耕	イネ	1	無~中	水張り休耕の落水後に圃場内に発生	
15	メロン	休耕	メロン、スイカ	1	無	圃場の外縁には発生あり	マルチ栽培
16	スイカ	休耕	ジャガイモ	1	無~多	マルチ栽培ではないスイカ作で多発生、ジャガイモ中耕培土部分に発生なし	ジャガイモ栽培では中耕培土を実施

a) 作付の年次は収穫年次。

b) 無：0個体/m²、少：1~5個体/m²、中：6~20個体/m²、多：21~100個体/m²、極多：101個体/m²。

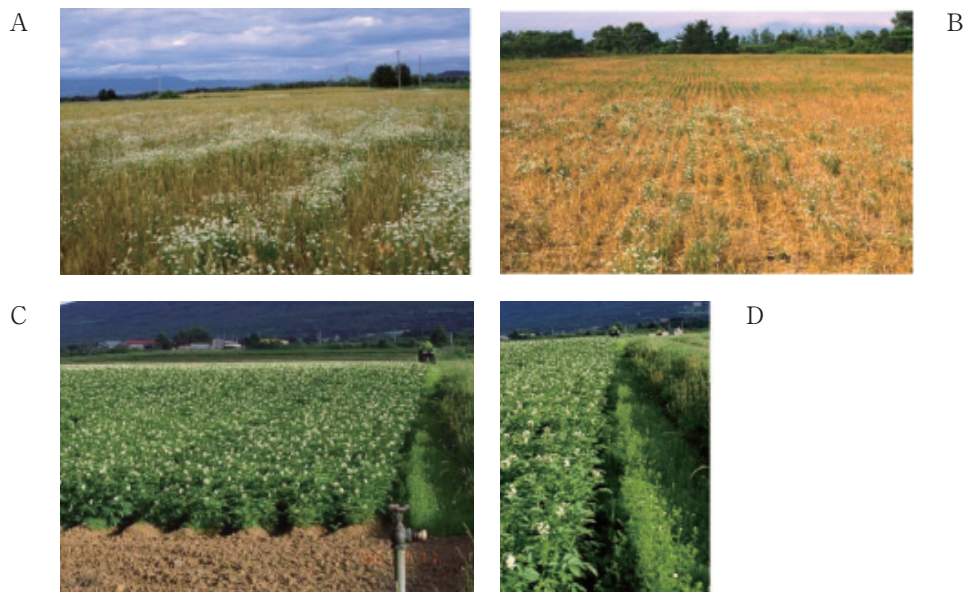


図11 青森県西津軽郡鯉ヶ沢町に発生したカミツレモドキ

- A：コムギ圃場における開花期のカミツレモドキ (1996年7月11日)
- B：コムギ収穫後のカミツレモドキ再生個体の開花 (1994年7月30日)
- C：ジャガイモ圃場における中耕培土による除草効果 (1996年7月11日)
- D：同左、中耕しない部分に残ったカミツレモドキ (1996年7月11日)

越冬した個体と推定された。それらの個体は、6月上旬以降に開花し、7月中旬には種子を散布した。多発圃場では、7月上旬のコムギの成熟期にはカミツレモドキの草冠がコムギを覆っており(図11A)、収量が極めて少ない圃場もあった(表8、番号5)。コムギの収穫後に土を耕起していない圃場では、主茎を刈り取られたカミツレモドキの個体が多数の側枝を出し、開花後には多数の種子をつけていた(図11B)。また、刈り取りされなかった圃場周縁部ではカミツレモドキの大きな個体が生育していた。コムギ収穫後に麦稈を焼却しない圃場や耕起しない圃場ではカミツレモドキの発生は多い傾向にあった(表8、番号2、4、5、9)。コムギの収穫後に耕起された圃場や麦稈を焼却した圃場(表8、番号1、6、8)では、残存するカミツレモドキは少なく、残存した個体も開花はせず、種子を生産しなかった。それらの圃場では、カミツレモドキの発生は少なかった。

カミツレモドキの発生していたコムギの圃場をイネに戻した水田の畦畔には多数のカミツレモドキが生育していた(表8、番号9)。畑状態から水田にもどした初年目に、イネを作付せず、水張り休耕した圃場では、落水後の9月にカミツレモドキの発生が認められた(表8、番号14)。夏季にソバを作付した圃場(表8、番号6)、メロンとスイカをマルチ栽培した圃場(表8、番号15)およびジャガイモ圃場で中耕培土した圃場(図11C、D、表8、番号16)では、カミツレモドキの発生は少なかった。春季に発生したカミツレモドキは、秋季に種子を生産した。

3) カミツレモドキの出芽時期

コンクリートポットに充填した土壌において、カ

ミツレモドキは、4月中旬から出芽を始め、5月下旬まで出芽した。秋季には9月上旬に出芽を始め、10月上旬まで引き続いて出芽した。翌年には4月上旬から5月上旬にかけて出芽した。1年目春季の発生量は1日あたり最高200本を超えていたが、当年の秋季と翌年の春季には約20本程度であった。すなわち、耕起による攪乱のない条件では年に2回出芽した(図12)。

4. 考察

カミツレモドキは1993年に東北全域で発生しており(図10)、耕地内での発生が多かった。カミツレモドキが発生していた市町村数はハルザキヤマガラスの発生していた市町村より少なく、発生量も少なかったため(表7)、カミツレモドキは3年前から10年前の間に目立ち始めたものの、それほど増加していないと判断された。しかし、1983年にカミツレモドキが大発生した青森県西津軽郡鯨ヶ沢町では(伊東 1988)、アンケート調査でも発生が確認され、カミツレモドキはここに定着していると推定される。カミツレモドキの種子は、カナダから輸入された春コムギに混入しており(Shimono and Konuma 2007)、畜産農家より供給された堆肥を施用した鯨ヶ沢町の転換畑でもカミツレモドキの発生は確認される。そのため、この地域のカミツレモドキは、種子の混入した輸入濃厚飼料を牛が採食し、その牛糞堆肥が圃場に施用されることによって蔓延していると推定される。

カミツレモドキの発生が多い青森県西津軽郡鯨ヶ沢町の転換畑において1994年から1996年に圃場の管理実態と発生状況を観察したところ、除草剤を適切に使用していないと考えられる圃場やコムギ収穫後に耕起しないなど、管理の粗雑な圃場が多くみられた。管理が行き届かない原因は、それらの転換畑を所有する農家がつがる市の平野の水田を主な耕作地とし、転作対策として遠距離にある岩木山麓の転換畑を耕作しているためと考えられる。

コンクリートポットでの試験では、カミツレモドキは、秋季と春季に盛んに出芽する周期性を示した(図12)。この出芽の周期性はイギリスの秋播き作物畑など(Kay 1971, Roberts and Neilson 1981)でも同様に認められている。冬作物のコムギ圃場では秋季に出芽し越冬した個体が大きな雑草害を引き起こすが、夏作物では春季に出芽した個体が夏雑草として害を生じる。しかし、青森県鯨ヶ沢町の夏作

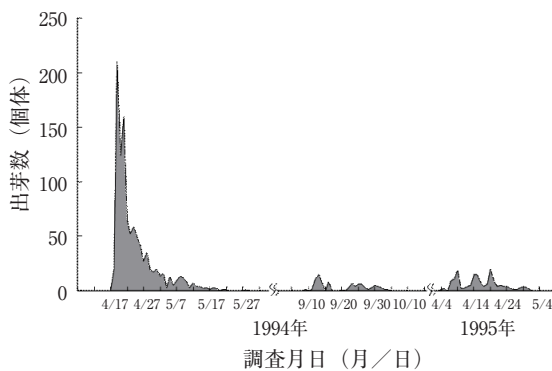


図12 カミツレモドキの出芽パターン
出芽数：0.09 m²あたりの値。

物の圃場では中耕培土などの中間管理作業によってカミツレモドキの発生は少なかった（図11 C、表8）。青森県の県南地域の輪作体系において、中耕培土する頻度の高いダイズやジャガイモの作付は、冬作物のナタネ栽培で増えた雑草を減少させる効果が期待されている（柳野・森行 1995）。同様に夏作物の作付に伴う中耕やマルチによってカミツレモドキは除草されるため、おそらくカミツレモドキの埋土種子量は減少し、カミツレモドキの発生が少なくなると考えられる。一方、コムギを連作した場合にはカミツレモドキの発生が多くなる傾向にある（表8）。また、復田初年目には秋季に本田内にカミツレモドキが発生していたので（表8）、少なくともイネ1作の期間の湛水ではカミツレモドキの種子は死滅せずに生存していると推定される。このように秋季の除草管理が不十分で収穫後管理が適切でない場合やコムギを連作するなど作付体系が適切でない場合に収穫期にカミツレモドキが残存すると推定される。

V ハルザキヤマガラシとカミツレ類の防除

1. コムギ作におけるハルザキヤマガラシとカミツレ類の防除

1) 緒言

ハルザキヤマガラシは、温帯地域の畑地に多い雑草であり、コムギ、オオムギ、アルファルファなどに雑草害を及ぼす（竹松・一前 1987c）。また、カミツレモドキおよびイヌカミツレは世界の温帯の農耕地に見られる雑草で、穀類や牧草、果樹など広範な作物に雑草害を及ぼす（竹松・一前 1987a、竹松・一前 1987b）。そのため、過去にこれらに対しては除草剤による防除が検討されている。ハルザキヤマガラシでは米国ウィスコンシン州のアルファルファ圃場において除草剤による防除が検討されており、日本でコムギ用として農薬登録されているベンタゾンでは9月中下旬の1.7kg a.i. ha⁻¹の処理によってハルザキヤマガラシの個体数は67%減少し（Dutt *et al.* 1983）、CATでは9月中旬の1.1 kg a.i. ha⁻¹から2.2kg a.i. ha⁻¹の処理で完全に防除されている（Hastings and Kust 1970）。カミツレモドキでは青森県農業試験場内のコムギ圃場において除草剤による防除が検討されており、日本でコムギ用として農薬登録されているプロメトリン・ベンチオカーブでは9月中旬の0.375、3.75kg a.i. ha⁻¹処理で、

CATでは9月中旬の0.5kg a.i. ha⁻¹処理で、リネロンでは9月中旬の0.75kg a.i. ha⁻¹処理でカミツレモドキは完全に防除され、アイオキシニルの9月下旬の0.45kg a.i. ha⁻¹処理でも99%防除されている（伊東 1988）。米国ミシガン州のコムギ圃場ではチフェンスルフロンメチルの4月中旬から5月中旬にかけての18g a.i. ha⁻¹処理でカミツレモドキは93%から99%防除され（Kells 1989）、ワシントン州のエンドウ圃場では6月上旬のベンタゾンの0.56kg a.i. ha⁻¹処理でカミツレモドキは84%防除されている（Yenish and Eaton 2002）。また、mecopropとアイオキシニルの混合剤によってイヌカミツレを含む麦畑の広葉雑草は89%以上防除されている（Glaser *et al.* 2006）。

除草剤による防除に関するいくつかの知見はあるが、ハルザキヤマガラシとカミツレモドキは東北地方で依然として雑草として問題となっており、有効な手立ては講じられていない。これは、両草種の出芽時期に関する情報が少なく、適切な除草剤処理のタイミングが明確でないことも一因である。

輸入濃厚飼料には多くの外来種の種子の混入が認められ（清水 1995）、2006年にカナダから輸入された春コムギにはカミツレモドキの種子の混入がみられている（Shimono and Konuma 2007）など、日本国内には輸入穀物と共に海外の雑草が常に運び込まれている。そして、これらの雑草種子を含む堆厩肥が圃場に施用されることなどによって外来雑草は耕地内に侵入し続けている。北海道では海外から侵入したイヌカミツレがコムギに雑草害を引き起こしており（森田 1981）、気象条件の似ている北東北地域でも輸入濃厚飼料等を介して侵入し、問題となることが予想されるため、これらの帰化雑草3種の除草体系を確立する必要がある。

そこで、本節では、日本で主にコムギ用に農薬登録されている除草剤について、ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレに対する効果を比較・整理し、適切な除草のタイミングを知るためにカミツレモドキの出芽時期およびハルザキヤマガラシとカミツレモドキの畑圃場における個体数の推移を調査した。得られた知見を基に除草剤処理および中耕による除草体系を検討し、コムギ圃場におけるハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの効率的な防除法について考察した。

2) 材料および方法

(1) 土壌処理型除草剤の効果

1995年8月29日に、埴壤土を1/5,000aの大きさのワグネルポットに充填し、カミツレモドキまたはイヌカミツレの種子100粒を齊一に播種し、表層5cmを良く攪拌した。青森県産のカミツレモドキの種子および北海道産のイヌカミツレの種子をワグネルポットに播種し、栽培した集団から1993年7月に採種し、乾燥後は室温で保存した種子を用いた。播種後3日目の8月31日にワグネルポットに灌水した後、CAT (50%水和剤、1%粒剤)、IPC (Chlorpropham 45.8%乳剤)、トリフルラリン・プロメトリン (14%・6%乳剤)、トリフルラリン (44.5%乳剤、2.5%粒剤)、プロメトリン・ベンチオカーブ (5%・50%乳剤、0.8%・8%粒剤)、プロメトリン (50%水和剤)、ペンディメタリン (30%乳剤、2%粉粒剤)、リニュロン (50%水和剤、1.5%粒剤) を土壌処理した。また、コムギ用に農薬登録されていないアトラジン (47.5%水和剤) も供試した。各剤の使用基準に基づき表9に示す薬量とし、水和剤と乳剤は手押し式噴霧器を用いて100L/10aの水量で散布した。東北農業研究センター内の雨よけハウスで試験し、1日に1回灌水した。処理後74日目にカミツレモドキおよびイヌカミツレを抜き取り、乾物重を測定した。1処理に対してワグネルポット3個を供試し、ワグネルポット1個を1反復とした。

2002年5月27日に、埴壤土を1/5,000aの大きさのワグネルポットに充填し、ハルザキヤマガラシの種子300粒を齊一に播種し、表層1cmを良く攪拌した。2001年の7月に東北農業研究センター内の畦畔に自生する集団より種子を集め、乾燥後、室温で保存した種子を用いた。5月28日にワグネルポットに灌水した後、上記の1995年の試験と同様に除草剤を処理した。雨よけハウス内で試験し、1日毎に灌水した。処理後30日目にハルザキヤマガラシを抜き取り、乾物重を測定した。1処理に対してワグネルポット3個を供試し、ワグネルポット1個を1反復とした。

(2) 茎葉処理型除草剤の効果

1996年に東北農業研究センター内の畑圃場において試験を実施した。9月16日にハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの種子をそれぞれ1gずつ (ハルザキヤマガラシ約5000粒/m²、カミツレモドキ約7000粒/m²、イヌカミツレ約10000粒/m²相当) 面積0.33m² (33cm×100cm) の試験区

に齊一に播種した。圃場に発生した集団より1995年7月に集め、乾燥した後、室温で保存した種子を用いた。播種後31日目 (ハルザキヤマガラシではロゼットの直径: 約9cm、カミツレモドキとイヌカミツレのロゼットの直径: 約12cm) に、DBN (45%水和剤)、DCMU (78.5%水和剤)、アイオキシニル (30%乳剤)、チフェンスルフロンメチル (75%水和剤)、ベンタゾン (40%液剤) を手押し式噴霧器を用い、各剤の使用基準に基づく表10に示す薬量を100L/10aの散布水量で茎葉処理した。また、コムギ用に農薬登録されていない2,4-PA Na (95%水溶剤)、MDBA (50%液剤)、アトラジン (47.5%水和剤)、メトリブジン (50%水和剤) についても同様に処理した。処理後50日目に20cm×20cm (0.04m²) 内に残った個体を抜き取り、草種ごとに乾物重を測定した。試験は3反復とした。

(3) コムギ圃場におけるハルザキヤマガラシとカミツレモドキの個体数の推移

1992年に青森県鯉ヶ沢町産のカミツレモドキと秋田県大仙市産のハルザキヤマガラシを東北農業研究センター内の圃場に導入した。その後両種が定着して自然に発生する畑圃場において試験を実施した。1区の面積を0.7aとして、1995年9月29日に成分比でN:P:K=1:1:1 (10aあたりN:10kg、P₂O₅:10kg、K₂O:10kg) の化成肥料を施用した後、耕起し、コムギ (品種: あきたっこ) を条間75cmで10aあたり10kg条播した。慣行のコムギ作の多くは条間25cmのドリル播きであるが、後述の試験での中耕による防除効果を検討するため、この試験では歩行式の中耕除草機を圃場に入れられるように条間を広く設定した。除草剤あるいは中耕の1回処理がハルザキヤマガラシとカミツレモドキの個体数の推移に及ぼす影響を調べるために、試験区として、9月29日にリニュロン (50%水和剤、1.5%粒剤) を土壌処理する区、11月13日にチフェンスルフロンメチル (75%水和剤) を茎葉処理する区、11月10日に中耕する区、および無除草区を設定した。1995年11月10日、12月6日および1996年5月1日に各区内のハルザキヤマガラシおよびカミツレモドキの全ての個体数を記録した。

(4) コムギ圃場における防除

ハルザキヤマガラシ (秋田県産)、カミツレモドキ (青森県産) およびイヌカミツレ (北海道産) を導入後、定着して自然に発生している東北農業研究センター内の4aの畑圃場において、1996年10月11

表9 ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキ、イヌカミツレに対する土壌処理型除草剤の効果

処理/除草剤	処理量 (10aあたり)	乾物重 (g/ポット)		
		ハルザキヤマガラシ ^{a)}	カミツレモドキ ^{b)}	イヌカミツレ ^{b)}
無処理		2.034±0.154 (100)	0.319±0.106 (100)	0.122±0.010 (100)
CAT 水和剤	75g	0.228±0.116 (11)	0.000±0.000 (0)	0.000±0.000 (0)
CAT 粒剤	4kg	0.666±0.148 (33)	0.036±0.043 (11)	0.036±0.024 (30)
IPC 乳剤	100g	-	0.133±0.131 (42)	0.125±0.139 (102)
アトラジン水和剤 ^{c)}	150g	0.000±0.000 (0)	0.000±0.000 (0)	0.000±0.000 (0)
トリフルラリン・プロメトリン乳剤	800ml	0.129±0.034 (6)	0.176±0.146 (55)	0.010±0.007 (8)
トリフルラリン乳剤	250ml	0.843±0.216 (41)	0.122±0.033 (38)	0.006±0.010 (5)
トリフルラリン粒剤	4kg	1.465±0.393 (72)	0.110±0.103 (35)	0.079±0.104 (65)
プロメトリン・ベンチオカーブ乳剤	600ml	0.057±0.020 (3)	0.007±0.010 (2)	0.008±0.012 (7)
プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤	5kg	0.757±0.607 (37)	0.063±0.076 (20)	0.003±0.005 (2)
プロメトリン水和剤	175g	-	0.018±0.031 (6)	0.000±0.000 (0)
ベンディメタリン乳剤	400ml	0.000±0.000 (0)	0.005±0.009 (2)	0.002±0.003 (1)
ベンディメタリン粉粒剤	5kg	0.111±0.111 (5)	0.029±0.017 (9)	0.003±0.004 (3)
リニュロン水和剤	150g	0.000±0.000 (0)	0.013±0.023 (4)	0.000±0.000 (0)
リニュロン粒剤	6kg	0.000±0.000 (0)	0.000±0.000 (0)	0.004±0.007 (3)

注. 数値：平均値 (3 反復) ± 標準偏差、()：対無処理比 (%)、-：実施せず。

a) 2002年試験。除草剤処理30日後の残草量。

b) 1995年試験。除草剤処理74日後の残草量。

c) コムギに農薬登録なし。

表10 ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキ、イヌカミツレに対する茎葉処理型除草剤の効果

処理/除草剤	処理量 (10aあたり)	乾物重 (g/m ²)		
		ハルザキヤマガラシ	カミツレモドキ	イヌカミツレ
無処理		214.775±45.107 (100)	442.400±68.415 (100)	360.300±45.328 (100)
2,4PA水和剤 ^{a)}	40g	114.992±46.602 (54)	409.967±92.637 (93)	292.842±36.746 (81)
DBN 水和剤	250g	119.192±38.229 (55)	377.783±96.472 (85)	101.925±64.440 (28)
DCMU 水和剤	100g	13.158±14.556 (6)	42.800±57.247 (10)	62.792±51.689 (17)
MDBA 液剤 ^{a)}	200g	57.708±32.867 (27)	290.700±104.760 (66)	246.083±46.875 (68)
アイオキシニル乳剤	200ml	0.058± 0.101 (0)	1.533±2.548 (0)	0.000±0.000 (0)
アトラジン水和剤 ^{a)}	200g	8.467±12.879 (4)	19.317±23.075 (4)	0.292±0.347 (0)
チフェンスルフロンメチル水和剤	10g	92.325±23.208 (43)	39.392±26.671 (9)	0.917±1.287 (0)
ペンタゾン液剤	200ml	1.367± 2.367 (1)	0.000±0.000 (0)	19.542±18.887 (5)
メトリブジン水和剤 ^{a)}	100g	0.000± 0.000 (0)	9.208±8.370 (2)	284.392±43.132 (79)

注. 数値：平均値 (3 反復) ± 標準偏差、()：対無処理比 (%)。

a) コムギに農薬登録なし。

日、1997年9月30日、1999年9月18日および2000年9月29日にそれぞれコムギ (品種：あきたっこ) を条間75cm で10aあたり10kg条播した。成分比でN:P:K = 1:1:1 (10aあたりN:10kg, P₂O₅:10kg, K₂O:10kg) の化成肥料を施用した。その後、対象とする帰化雑草に効果の高かったリニュロン (50%水和剤、1.5%粒剤)、アイオキシニル (30%乳剤) およびチフェンスルフロンメチル (75%水和剤) の処理および中耕を表12に示すように実施した。5月から7月の間に50cm×50cm (0.25m²) のコドラート内に生育していた対象種を抜き取り、乾物重を測定した。試験は3反復としたが、一部の処理区では反復を設けなかった。

3) 結果

(1) 土壌処理型除草剤の効果

ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレに対するベンディメタリン乳剤、リニュロン水和剤および同粒剤の除草効果は高く、3種の乾物重は無処理区の4%以下になった。アトラジン水和剤でも3種は完全に枯殺された。また、CAT水和剤、プロメトリン・ベンチオカーブ乳剤およびプロメトリン水和剤はカミツレモドキとイヌカミツレを乾物重比で無処理区の7%以下に抑えた (表9)。

(2) 茎葉処理型除草剤の効果

アイオキシニル乳剤は、ハルザキヤマガラシ、カ

表11 秋播コムギ畑におけるハルザキヤマガラシ、カミツレモドキの個体数の推移

管理	ハルザキヤマガラシ (個体/m ²)			カミツレモドキ (個体/m ²)		
	1995年	1995年	1996年	1995年	1995年	1996年
	11月10日	12月6日	5月1日	11月10日	12月6日	5月1日
無除草	7.21 (100)	10.53 (146)	21.76 (302)	0.47 (100)	0.47 (100)	0.48 (103)
リニュロン水和剤土壌処理 ^{a)}	2.91 (100)	9.19 (315)	19.16 (658)	0.32 (100)	0.35 (110)	0.48 (152)
チフェンスルフロンメチル水和剤茎葉処理 ^{b)}	5.27 (100)	7.54 (143)	14.41 (274)	0.45 (100)	0.45 (100)	0.15 (33)
条間中耕 ^{c)}	9.77 (100)	1.20 (12)	7.45 (76)	0.83 (100)	0.35 (42)	0.41 (49)

注. (): 1995年11月10日の個体数に対する比率 (%)。

a) 9月29日に薬量150g/10a、散布水量100 l/10aで処理。

b) 11月13日に薬量7.5g/10a、散布水量100 l/10aで処理。

c) 11月10日にシバウラ管理機畑楽 KF5525でロータリ耕 (268rpm)。

ミツレモドキおよびイヌカミツレに高い効果を示し、乾物重比で無処理区の1%以下に抑えた。ペンタゾン液剤はハルザキヤマガラシとカミツレモドキを乾物重比で無処理区の1%以下に抑え、メトリブジン水和剤はハルザキヤマガラシを完全に枯殺した。チフェンスルフロンメチル水和剤とアトラジン水和剤はイヌカミツレを乾物重比で無処理区の1%以下に抑えた (表10)。

(3) コムギ圃場におけるハルザキヤマガラシとカミツレモドキの個体数の推移

無除草区においてハルザキヤマガラシは、11月10日には1 m²あたり7.2個体みられたが、12月6日には1 m²あたり10.5個体に増加し、翌年の春季にも新たに萌芽し、5月1日には11月10日の個体数の3倍 (21.8個体/m²) になった。リニュロン水和剤を播種後土壌処理した区では11月10日には個体数が無除草区の半分以下となった。しかし、この区では11月上旬以降の萌芽により12月6日には無除草区と同程度の個体数 (9.2個体/m²) になった。チフェンスルフロンメチル水和剤を処理した区では効果はほとんど認められず、個体数は無除草区と同様に増加した。条間中耕区では中耕後に個体数は大きく減少し、12月6日の個体数は11月10日の12%となった。全ての区でハルザキヤマガラシは3月下旬の融雪後から5月1日までに多数萌芽した (表11)。しかし、春季に萌芽したハルザキヤマガラシの個体は抽だいせず、ロゼットの大きさも小さかった。

カミツレモドキは、無除草区では11月10日には1 m²あたり0.5個体であったが、それ以降から年内には増加しなかった。リニュロン水和剤を播種後土壌処理した区では、11月10日の個体数が無除草区より少なかった。カミツレモドキは11月上旬以後にはほとんど萌芽せず、年内には個体数は増えなかった。チフェンスルフロンメチル水和剤の処理ではカミツ

レモドキに黄変が認められたが、根雪となる前の12月6日までにはカミツレモドキは枯死しなかった。しかし、翌春5月1日には個体数は11月10日の33%に減少した。条間中耕区では個体数は、中耕後に減少し、12月6日には11月10日の42%となった (表11)。個体数は、3月下旬の融雪後から5月1日までに全区で増加したが、最も増加したりニュロン水和剤区でも12月6日の個体数の37%増となり、ハルザキヤマガラシに比べると少なかった。

ハルザキヤマガラシもカミツレモドキも中耕後に土中に埋没されずに植物体の一部を土壌表面に露出した個体は死滅せず、生育し続けていた。

(4) コムギ圃場における防除体系

ハルザキヤマガラシでは①コムギ播種後の9月下旬にリニュロン水和剤を土壌処理し、11月上旬または翌年5月上旬にアイオキシニル乳剤を茎葉処理する系 (表12、処理番号3、6)、②11月上旬にアイオキシニル乳剤を茎葉処理し、翌年5月上旬に条間中耕または再度アイオキシニル乳剤を処理する系 (表12、処理番号9、11)、③11月下旬に条間中耕し、翌年5月上旬にアイオキシニル乳剤を処理または条間中耕する系 (表12、処理番号25、27) において、収穫期の乾物重が無処理区の4%以下となり、高い効果がみられた。

カミツレモドキとイヌカミツレでは、④9月下旬にリニュロン水和剤を土壌処理し、11月上旬にアイオキシニル乳剤または翌年5月上旬にチフェンスルフロンメチル水和剤を茎葉処理する系 (表12、処理番号3、7)、⑤11月上旬にアイオキシニル乳剤を茎葉処理し、翌年5月上旬にチフェンスルフロンメチル水和剤あるいはアイオキシニル乳剤を茎葉処理、または条間中耕する系 (表12、処理番号9、10、11)、⑥11月上旬にチフェンスルフロンメチル水和剤を茎葉処理し、翌年5月上旬にアイオキシニル乳

表12 コムギ畑に発生したハルザキヤマガラシおよびカミツレ類に対する除草剤と中耕の除草効果

処理 番号	処理時期				残草量 (乾物重)							
	9月下旬	10月下旬	11月中旬	4月下旬	ハルザキヤマガラシ				カミツレ類			
	10月中旬	11月中旬		5月中旬	播種年次				播種年次			
					1996年	1997年	1999年	2000年	1996年	1997年	1999年	2000年
			無処理		16.9	17.2	21.8	14.1	561.0	585.0	339.4	42.5
					g/m ²							
					対無処理区比%							
1	Li	Io	-	Io	-	-	0	-	-	-	0	-
2	Li	Io	-	Th	-	-	0	-	-	-	0	-
3	Li	Io	-	-	-	-	0	1	-	-	0	1
4	Li	Th	-	Io	-	-	0	-	-	-	0	-
5	Li	Th	-	-	-	-	82	58	-	-	0	18
6	Li	-	-	Io	-	-	0	-	-	-	11	-
7	Li	-	-	Th	-	-	378	-	-	-	0	-
8	Li	-	-	-	67	-	96	87	5	-	17	115
9	-	Io	-	Io	-	0	0	-	-	0	0	-
10	-	Io	-	Th	-	0	0	-	-	0	0	-
11	-	Io	-	IT	-	3	-	-	-	0	-	-
12	-	Io	-	-	109	0	0	1	0	0	3	3
13	-	Th	-	Io	-	-	0	-	-	-	0	-
14	-	Th	-	-	396	-	183	153	3	-	1	15
15	-	-	-	Io	87	15	4	-	62	38	96	-
16	-	-	-	Th	990	69	282	-	25	1	2	-
17	-	IT	IT	Io	2	1	-	-	7	0	-	-
18	-	IT	IT	Th	48	3	-	-	0	0	-	-
19	-	IT	IT	IT	34	12	-	-	23	13	-	-
20	-	IT	-	Io	30	0	-	-	11	3	-	-
21	-	IT	-	Th	113	6	-	-	0	1	-	-
22	-	IT	-	IT	6	2	-	-	51	44	-	-
23	-	IT	IT	-	34	2	-	-	-	2	-	-
24	-	IT	-	-	95	35	-	-	49	7	-	-
25	-	-	IT	Io	-	1	-	-	-	6	-	-
26	-	-	IT	Th	-	20	-	-	-	0	-	-
27	-	-	IT	IT	-	1	-	-	-	42	-	-
28	-	-	IT	-	61	14	-	-	71	9	-	-
29	-	-	-	IT	80	35	-	-	70	39	-	-

注. 1) Li：リニュロン水和剤 (200g/10a) 土壌処理、Io：アイオキシニル乳剤 (200ml/10a) 茎葉処理、Th：チフェンスルフロメチル水和剤 (10g/10a) 茎葉処理、IT：条間中耕 (シバウラ管理機畑楽 KF5525・ロータリ耕 268rpm)。-：処理を実施せず。
 2) カミツレ類：カミツレモドキとイヌカミツレの合計。
 3) 数値：平均値 (3反復)、斜字：無反復。

剤を茎葉処理する系 (表12、処理番号13)、⑦11月に条間中耕し、翌年5月上旬にチフェンスルフロメチル水和剤を茎葉処理する系 (表12、処理番号26) において、収穫期の乾物重が無処理区の1%以下となり、高い効果がみられた。

4) 考察

一般的に、暖地や温暖地における秋播コムギの雑草は秋から春にかけて継続して出芽する (森田 1994、大段ら 2002) が、北東北地域では冬季に根

雪に覆われるため、雑草はコムギ播種期から12月中下旬の根雪前までの期間と融雪後の4月以降の期間の2つの時期に出芽する (鳥山・豊川 1956)。麦作の強害雑草であるカラスムギでは、その出芽時期が早いほどコムギの減収率は高くなるとされており (O'Donovan *et al.* 1985)、通常、早期に出芽した雑草は大きく生育し、散布する種子量も多くなる。また、コムギと競合する期間も長くなるため、雑草害が大きくなる。したがって、コムギ作では秋季に

出芽する個体の防除が除草管理の上で重要である。しかし、北東北地域のコムギの播種期は9月上旬から下旬であり、播種から根雪までの期間が2ヵ月から3ヵ月となるため、20日間から40日間の残効を示す播種後土壌処理型除草剤だけでは完全に防除できない(浅井ら 2001、日本植物調節剤研究協会編 1987)。そのため、それぞれの草種の出芽時期を把握し、最も効果的な時期に除草管理すると効率的に雑草を防除できると推定される。

IVで述べたように青森県の転換畑でのカミツレモドキは越年生の生活環を秋播コムギ圃場で完結しており、前年の秋季に出芽した大型の越冬個体がコムギの収穫期に残存する(図11 A)。これは、除草剤の播種後土壌処理だけでは防除が完全ではなく(表11)、薬剤の効果が消失した後に発芽したためであろう。カミツレモドキを適切に防除するには、秋季の出芽終了時期を把握して、最も効果的な時期に除草剤を処理するか、中耕する必要がある。カミツレモドキは11月上旬以降にほとんど出芽せず(表11)、一方で12月の低温下では茎葉処理剤の効果が遅れて発現することもあるため、11月上旬が効果的な除草管理時期の一つである。この時期に天候などの事情で除草管理できないと、東北地方では12月から3月の積雪期間には防除できなくなる。その場合は、越冬個体が旺盛に生育する前の翌春5月上旬に除草管理する必要がある。

カナダのオンタリオ州では8月に散布されたハルザキヤマガラシの種子は夏季の乾燥によって休眠に入り、冬季の低温で休眠を覚醒し、春に出芽する(MacDonld and Caver 1991)。一方、イギリスでは春に出芽数が多いものの、出芽は12月を除く全ての月にみられる(Roberts 1986)など、ハルザキヤマガラシの出芽パターンは気候によって変動する。東北地方の夏季の気候は降雨量も多く湿潤であるため種子は完全に休眠しないと推定され、秋季にも旺盛に出芽する(表11)。ハルザキヤマガラシはカミツレモドキに比べると11月上旬から12月上旬の期間および春季に多く出芽した(表11)。しかし、ハルザキヤマガラシの花芽形成には、5葉期以降に低温を受ける必要があり(MacDonld and Caver 1991)、春季に出芽した個体は年内に抽だいせず、その生育量も小さくなる。そのためコムギ作におけるハルザキヤマガラシの除草管理の時期はカミツレモドキと同様で良いと考えられる。

除草管理の主体となる除草剤の効果は、麦類に農薬登録されている土壌処理型除草剤のリニュロン水和剤および同粒剤、茎葉処理型除草剤のアイオキシニル乳剤において3種に対してともに高く(表9、表10)、青森県でのカミツレモドキに対する防除試験の結果(伊東 1988)もこれを支持している。したがって、これらの剤を除草体系に組み込むのが有効と考えられる。カミツレモドキとイヌカミツレは外観の似ている近縁種であるが、カミツレモドキではイヌカミツレよりトリフルラリン・プロメトリン乳剤およびD BN水和剤の効果が低く、チフェンスルフロンメチル水和剤でも効果は若干低かった(表9、表10)。このように両種の除草剤に対する反応は異なるので、薬剤防除にあたっては防除対象種を正確に同定する必要がある。コムギ用には農薬登録されていないアトラジン水和剤は、土壌処理と茎葉処理で3種ともに高い除草効果を示し、農薬登録のあるトウモロコシ圃場におけるこれらの草種には有効である。

上記の知見を基に10ヵ月と極めて長い期間にわたって作物が圃場を占有する北東北地域のコムギ圃場におけるハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの除草体系を検討した。その結果、効果的な除草時期である播種直後、11月上旬、翌春5月上旬のうち、いずれか2つの時期にそれぞれ適切に除草管理をすれば3種が防除できることが明らかになった(表12)。また、これらの3種が同所的に発生した場合は、①播種直後のリニュロン水和剤と11月上旬のアイオキシニル乳剤を組み合わせた処理体系(表12、処理番号3)、あるいは②11月上旬のアイオキシニル乳剤と5月上旬の条間中耕またはアイオキシニル乳剤を組み合わせた処理体系によって防除できる(表12、処理番号9、11)。コムギの条播栽培において実施可能な条間中耕は除草効果が高く、化学薬剤の投入量を軽減できる有効な手段である。中耕によって条内あるいは条に近い部分に雑草が残る場合には茎葉処理剤と組み合わせた処理体系をとれば良い。以上のように東北地方のコムギ圃場において雑草の出芽する時期を踏まえた除草体系の最適化によって問題となる雑草を防除できることが判った。

2. ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における防除

1) 緒言

北東北地域では、コムギを9月に播種し、翌年7

月に収穫する。そのため作物の圃場占有期間が長くなり、他の作物を作付しにくくなるので、コムギの連作が継続する（伊東 1988、松田ら 1980）。冬作物の連作は作物の生育に同調した生活史をもつ越冬型の雑草の増加を招き（鳥山・豊川 1956）、これまで述べてきたようにコムギ圃場にはハルザキヤマガラシとカミツレモドキが発生している（原田 1993、的場 1998、橋ら 2002、橋ら 2008a）。

近年、1年1作の作付体系を主としていた北東北地域においてダイズとコムギを前作物の収穫前に播種する立毛間播種栽培法が確立され、二毛作が可能となっている（伊藤 2002）。立毛間播種栽培の第2作目以降では、収穫前の前作物の立毛条間に次の作物を播種するため、播種から前作物の収穫までの2週間から1ヵ月間を間作状態とする。そのため、雑草対策に慣行栽培のように土壌処理型除草剤を利用できない（橋ら 2008b）。また、乗用管理機を転用した部分耕播種方式の立毛間播種機（伊藤 2002）を用いると、同一圃場内に作物を条播した耕起部と前作物の条の不耕起部が混在するため、コムギの単作とは異なる環境条件が生じる。そのため立毛間播種栽培法の普及に備えて、蔓延の危惧される帰化雑草の防除対策が必要となる。本研究では、ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの制御に関する知見を得る目的で、ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における3種の出芽特性を明らかにするとともに、茎葉処理型除草剤の処理と中耕による3種の防除法を検討した。

2) 材料および方法

ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレを導入後、定着して自然に発生している東北農業研究センター内の4aの畑圃場において、ダイズとコムギの立毛間播種栽培の試験を3年間にわたって実施した。第1作目のダイズ栽培では、2001年6月5日に品種「リュウホウ」の種子を10aあたり4.0kg条播し、同年10月9日にダイズを収穫した。第2作目のコムギ栽培では、2001年9月26日にダイズ作物の条間を部分耕起し、品種「ネバリゴシ」の種子を10aあたり6.4kg条播し、2002年7月5日にコムギを収穫した。第3作目のダイズ栽培では、2002年6月25日にコムギ作物の条間を部分耕起し、品種「リュウホウ」の種子を10aあたり5.4kg条播し、同年10月18日にダイズを収穫した。第4作目のコムギ栽培では、2002年9月26日にダイズ条間を部分耕

起し、品種「ネバリゴシ」の種子を10aあたり6.4kg条播した。第4作目では収穫前の2003年5月に雑草の生育量を調査して試験を終了した。ダイズ作およびコムギ作とも条間をすべて75cmとし、部分耕起の幅を50cmとした。ダイズ作では成分比でN:P:K = 3:10:10（10aあたりN:3kg、 P_2O_5 :10kg、 K_2O :10kg）、コムギ作では成分比でN:P:K = 1:1:1（10aあたりN:10kg、 P_2O_5 :10kg、 K_2O :10kg）の化学肥料を施用した。

第1作目のダイズの播種直後に動力散布機でトリフルリン（44.5%乳剤）を土壌処理した。2001年7月2日に中耕し、7月10日には手取り除草を行い、それ以前に出芽した雑草を除去した。9月10日に圃場の2.9 aの調査区において7月中旬以降に出芽した3種の実生およびロゼット個体、抽だい個体の個体数と乾物重を測定した。

第2作目のコムギ圃場において対象とする帰化雑草の発消長を把握するため、2001年10月から2002年6月までの間、1週間毎に調査区内に出芽した3種を抜き取り、出芽数を記録した。1調査区の面積を0.75m×1m（0.75m²）とし、3区を設定した。3調査区の出芽数の合計で帰化雑草3種の傾向を把握し、出芽の消長を分析した。カミツレモドキとイヌカミツレの実生は識別できなかったため、カミツレ類として集計した。また、別に標識した出芽個体について2002年5月14日にハルザキヤマガラシを、同年6月11日にイヌカミツレを出芽の時期ごと（コムギ播種前、播種後15日、25日、35日、45日および春季）にそれぞれ5個体ずつ抜き取り、乾物重を個体ごとに測定した。

第3作目のダイズ圃場では2002年7月24日と8月8日に中耕した。7月22日と8月8日（中耕直前）および8月22日に前作から続いて生育していた3種の個体数を記録した。反復を設けず、3aの調査区内に生育する個体を調査した。

第4作目のコムギ圃場において播種後35日目の2002年10月31日にアイオキシニル（30%乳剤）またはチフェンスルフロンメチル（75%水和剤）を茎葉処理する区（除草剤処理区）および中耕する区（秋季中耕区）を設定した。さらにこれらの区の一部を2003年5月6日に中耕した（春季中耕区）。2003年5月22日には全ての処理区において0.75m×4m（3m²）の調査区内に残存したハルザキヤマガラシとイヌカミツレを抜き取り、乾物重を個体ごとに測

定した。試験は3反復とした。

3) 結果および考察

ダイズ・コムギ立毛間播種栽培の第1作目にあたるダイズ圃場では7月10日以降に出芽したハルザキヤマガラシおよびカミツレモドキ、イヌカミツレの実生個体の数とロゼット個体の数および抽だい個体の数は9月10日の時点で少なく、3種を併せた乾物重は0.5g/m²以下であった(表13)。この乾物重の低さは土壌処理剤と中耕などの除草に加えて、生育しているダイズに被蔭されたためと考えられる。イヌカミツレの抽だいはみられなかったが、カミツレモドキでは圃場外縁部に出芽した個体が抽だい・開花し、少量の種子をつけていた。

第2作目のコムギ圃場ではハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレはダイズの収穫後に出芽を始めた(図13)。カミツレ類の出芽は、ダイズ刈り株跡の不耕起部分でコムギを条播した

耕起部分より37%少なく、出芽の様式も耕起部では10月中旬に大量に一斉であるのに対し、不耕起部では10月中旬から11月上旬にかけて耕起部より少なく、耕起の有無によって異なっていた(図13)。この結果は、耕耘される場所で多く出芽し、攪乱されない土地には生育しないカミツレモドキの性質(Kay 1971)を反映しているようである。ハルザキヤマガラシは、不耕起部分において耕起部分より19%多く出芽したが、土の耕起の有無によって出芽の様式に違いはなかった(図13)。コムギの播種後40日目(11月5日)以降から翌年6月下旬までの3種の出芽数は全期間の出芽数の26%以下であった(図13)。ハルザキヤマガラシは、耕起による植物体の土中への埋没によって死滅し易い(Tachibana et al. 2010)とされ、ダイズ作期間中に出芽した個体は不耕起部分だけに残っていた。この残存個体の最終生育量はコムギ播種後15日目(10月11日)に出芽

表13 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における第1作目ダイズ畑でのハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの生育

草種	実生		ロゼット個体		抽苔個体			
	個体数 /m ²	個体数 /m ²	直径 cm	乾物重 g/m ²	個体数 /m ²	草丈 cm	乾物重 g/m ²	開花した個体数 /m ²
ハルザキヤマガラシ	0.08	0.61	9.0	0.118	0.00	-	-	-
カミツレモドキ	0.00	0.01	8.0	0.006	0.12	37.2	0.328	0.03
イヌカミツレ	0.00	0.07	11.8	0.034	0.00	-	-	-

注. 2001年7月10日以降に出芽した個体を9月10日に調査。

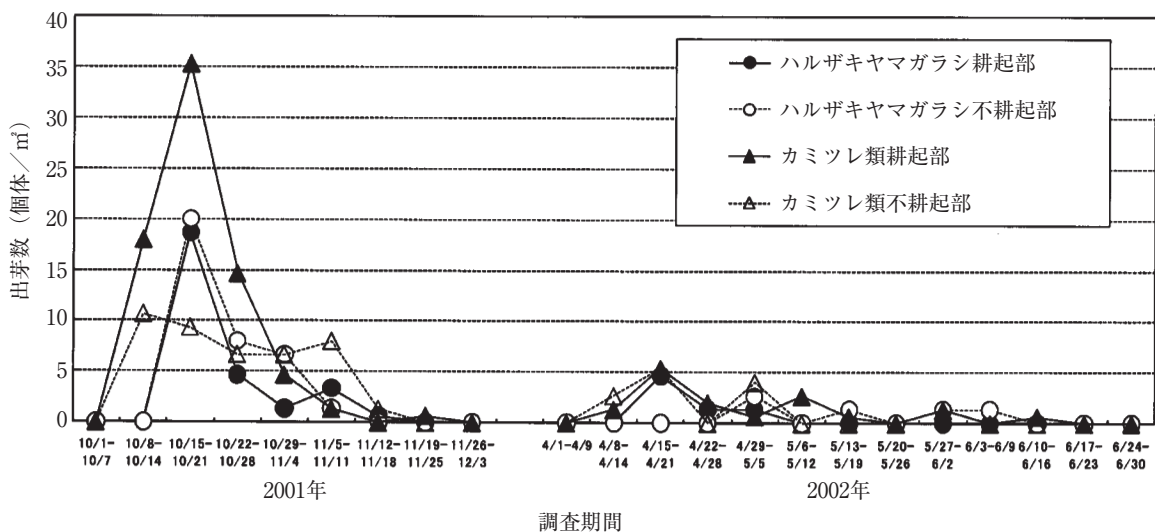


図13 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培の第2作目のコムギ圃場における帰化雑草の出芽パターン
カミツレ類: カミツレモドキとイヌカミツレの合計

した個体より3倍以上大きかった（表14）。また、コムギ播種後35日目に出芽した個体の最終生育量は、ハルザキヤマガラシで1.5g、イヌカミツレで12gと少なく（表14）、大きな雑草害を及ぼさないと考えられた。

コムギ作の期間中に出芽し、第3作目のダイズ圃場に残っていた個体数は、カミツレモドキでは約0.01本/m²、イヌカミツレでは約0.1本/m²と少なく、ハルザキヤマガラシでは約1.9本/m²であった。これ

らの個体の多くはコムギ収穫跡のダイズ条間に生育していたが、2回の中耕によって大部分が除草されていた（表15）。その結果、第4作目のコムギの播種時に生育していた個体の乾物重は、ハルザキヤマガラシでは2.3g/m²、カミツレモドキでは0.1g/m²、イヌカミツレでは1.1g/m²と少なく、ダイズ作においてこれらの草種は雑草害を及ぼさないと考えられた。

第4作目のコムギ圃場のハルザキヤマガラシに対する除草効果は、アイオキシニル乳剤の秋季処理と春季の中耕との組み合わせで最も高く、5月下旬の調査時にハルザキヤマガラシはみられなかった。イヌカミツレに対する除草効果は、秋季のアイオキシニル乳剤またはチフェンスルフロンメチル水和剤あるいはそれらの除草剤と春季の中耕を組み合わせた処理で高く、調査時にイヌカミツレの乾物重は無処理区の2%未満であった（表16）。このとき試験圃場内のカミツレモドキの個体数は、イヌカミツレよ

表14 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における第2作目コムギ圃場でのハルザキヤマガラシとイヌカミツレの出芽時期と生育量

草種	出芽時期		乾物重(g/個体) ^{b)}	
	コムギ播種後日数	(暦日)	耕起部	不耕起部
ハルザキヤマガラシ	前作期 ^{a)}		-	76.34
	15日目	(10月11日)	14.50	21.00
	25日目	(10月21日)	5.26	6.72
	35日目	(10月31日)	1.45	1.07
	45日目	(11月10日)	0.23	0.55
	春季発生		0.02	0.06
イヌカミツレ	前作期		-	166.76
	15日目	(10月11日)	19.80	20.52
	25日目	(10月21日)	19.47	14.67
	35日目	(10月31日)	4.60	12.11
	45日目	(11月10日)	-	5.73
	春季発生		0.11	0.11

注. 2001年9月26日にコムギを播種し、ハルザキヤマガラシは2002年5月14日に、カミツレモドキは6月11日に調査。

a) 第1作目ダイズ栽培期間中。

b) 乾物重：5個体の平均値。-：発生無し。

表15 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における第3作目ダイズ圃場でのハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレに対する中耕の効果

草種	生育個体数 (/m ²)		
	2002年7月22日 (第1回中耕前)	2002年8月8日 (第2回中耕前)	2002年8月22日 (第2回中耕後)
ハルザキヤマガラシ	1.860 (100)	0.413 (22)	0.197 (11)
カミツレモドキ	0.013 (100)	0.007 (50)	0.003 (25)
イヌカミツレ	0.097 (100)	0.013 (14)	0.007 (7)

注. 1) 2002年7月24日と8月8日の計2回中耕を実施。

2) (): 7月22日の個体数に対する比率 (%)。

表16 ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における第4作目コムギ畑でのハルザキヤマガラシとイヌカミツレに対する除草剤および中耕の効果

処理	生育量 (乾物重) ^{d)}	
	ハルザキヤマガラシ	イヌカミツレ
無処理	65.10 ± 52.42 (100)	51.06 ± 47.62 (100)
秋季アイオキシニル乳剤処理 ^{a)}	3.49 ± 4.71 (5)	0.05 ± 0.05 (0)
秋季アイオキシニル乳剤処理 + 春季中耕	0.00 ± 0.00 (0)	0.16 ± 0.23 (0)
秋季チフェンスルフロンメチル水和剤処理 ^{b)}	42.72 ± 46.76 (66)	0.62 ± 0.67 (1)
秋季チフェンスルフロンメチル水和剤処理 + 春季中耕	2.23 ± 0.86 (3)	0.42 ± 0.31 (1)
秋季中耕	6.03 ± 3.57 (9)	6.32 ± 7.07 (12)
秋季中耕 + 春季中耕 ^{c)}	1.35 ± 1.16 (2)	4.20 ± 2.52 (8)

注. 数値：平均値 (3反復) ± 標準偏差、(): 対無処理比 (%)。

a) 2002年10月31日に薬量200ml/10a、散布水量100 l/10aで茎葉処理。

b) 2002年10月31日に薬量10g/10a、散布水量100 l/10aで茎葉処理。

c) 秋季中耕は2002年10月31日、春季中耕は2003年5月6日にシバウラ管理機畑楽 KF5525でロータリ耕 (268rpm)。

d) 2003年5月22日採取。

り非常に少なかった。

以上のように、夏季のダイズ作では帰化雑草3種はあまり発生せず、コムギ作時に出芽して不耕起部に生育する個体もダイズ播種後の中耕により防除できた。冬季のコムギ作では、土壌を耕起した条播部分でカミツレモドキとイヌカミツレの出芽が多くなるため、中耕よりも茎葉処理型除草剤の使用が効果的である。また、コムギの播種後40日目以降に出芽する雑草の個体は少なく、その生育量も小さいため、コムギ単作での除草管理(橘ら 2008a)と同様に茎葉処理型除草剤は積雪前の11月上旬に用いるのが適切である。ハルザキヤマガラシでは、前作時に出芽した大きな個体が不耕起部に生育するが、アイオキシニル乳剤の秋季の処理と春季の中耕を組み合わせた体系で防除できる。

VI 総合考察

近年、農耕地へ侵入した帰化雑草は、作物生産に大きな被害を及ぼしており、被害を最小限に抑えるため、帰化雑草に対する迅速な対応が求められている。問題となる帰化雑草の制御を考えるうえで、新しい生育環境における生態などの情報を詳細に把握し、それらの知見に基づいて戦略的に対策をたてるのが最も効率的で効果的な方法と考えられる。すなわち、実態の把握からはじまって、適する手法を適用し、その効果を査定し、戦略的な観察を準備することによってその目的は達成される。

1. 分布状況と発生実態の把握

帰化雑草の同定と分布状況の調査は、国内への侵入後の状態を把握するために必須であり、それらの情報から今後拡大の予測される地域や環境条件などを特定し、対策の緊急性などを診断する。ハルザキヤマガラシとカミツレモドキは、両種とも東北地方全県に及んで発生し、ハルザキヤマガラシは牧草地やコムギ畑と水田畦畔などに生育し、カミツレモドキは牧草地やコムギ畑などに多く生育していた(図2、図3、図10、表1、表7)。また、3年の間隔をあけたアンケート調査では、ハルザキヤマガラシは増加しつつあり、カミツレモドキは変わらないか減少傾向にあった。帰化雑草には、全国的に広がっているイチビやハリビユ、ワルナスビから局地的にみられるアメリカキンゴジカ(*Sida spinosa* L.)やダンバイナズナ(*Thlaspi arvense* L.)まで様々な種がある(清水 1995)。一般に広い地域に分布し、

圃場内に侵入すると発生量が著しく多く、作物に雑草害を及ぼす草種については防除対策を急いで確立する必要がある。ハルザキヤマガラシとカミツレモドキは、東北地方における対策を要する種と判断される。カミツレモドキは耕地に多く発生し、ハルザキヤマガラシは耕地のみならず非農耕地にも発生するので、それぞれの場に応じた対策を確立する必要がある。ハルザキヤマガラシは耕地内のみで防除しても分布の拡大は防止できないので、水田畦畔などでも防除を進める必要がある。ハルザキヤマガラシは日本には明治時代に栽培植物として渡来したとされ(牧野 1989)、カミツレモドキの渡来は昭和初期に確認されている(竹松・一前 1987a)。しかし、文献(伊東 1988、原田 1993)やアンケート調査の結果(表1、表7)をみると両種の発生が増加し目立ち始めたのは、1980年から1990年頃と推定され、この時期は、イチビなどの帰化雑草が耕地で蔓延した時期と一致する(清水 1992)。また、牛糞堆肥を施用した圃場にハルザキヤマガラシとカミツレモドキの発生がみられるので、両者の侵入経路はイチビなどと同様に輸入飼料への種子の混入によると推定される。両種の耕地への新たな侵入を防止するには、圃場に堆厩肥を還元する際に、堆厩肥を十分に発酵させる必要がある。このように帰化雑草の分布状況と発生実態の把握は、防除の優先順位や防除の対象とする場を明確にし、侵入経路の推定や今後の発生拡大の予測に有用な情報を提供する。

2. 局所生育地での生態的反応の把握

局所生育地での帰化雑草の生態的反応の把握からは、個体群の維持や拡散に関する性質を読み取ることができる。ハルザキヤマガラシは水路近くの水田畦畔に多く発生し(図4、表2)、その種子は耐水性を示し、ハルザキヤマガラシは水流によって拡散していると推定された。緑化資材として用いられるシナダレスズメガヤでも河川の上流での工事の後に下流へ種子が拡散している(鷲谷 2002a)。これらの事例を踏まえると、帰化雑草の拡散を防止するには、外来植物を緑化資材として使わず、資材自体への雑草種子の混入を監視するなどの対策が必要である。とくに日本の水田地帯では、水路は網の目状に張りめぐらされており、水流によって帰化雑草の種子が拡散しやすく、水路の整備などに伴って水路の底の土が畦畔に上げられ、そこに帰化雑草が定着することもある(表2)。畦畔に生育する帰化アサガ

オ類が転作大豆畑に侵入した事例のように（平岩ら 2007）、水田を畑に転換すると、隣接する畦畔から畑圃場内に帰化雑草が侵入し蔓延する可能性もあり、畦畔に発生している強害帰化雑草は防除の対象とすべきである。カミツレモドキは、春と秋に出芽する発芽の季節周期性を示すが（図12）、青森県鯉ヶ沢町のコムギ圃場では秋季に出芽した個体の生育量が大きく雑草害を及ぼしていた。一方、夏作物のジャガイモ圃場では、春季に出芽していた（図11）。作物の栽培暦に同調して生活環を完結するのは、定期的な攪乱に適応する雑草の性質と考えられる。このような性質をもつ帰化雑草の繁茂に対しては、栽培期間中の中耕培土などの中間管理作業による防除が有効である（図11、表8）。このように発生の著しい生育地における帰化雑草の生態の把握は、その種が繁茂する要因の抽出に有効であり、防除対策の策定に資することができる。

3. 物理的攪乱への生態的反応の把握

人間による農作業などの物理的攪乱に対して帰化雑草がどのように生態的に反応するかは、帰化雑草の生存戦略に関わる。ハルザキヤマガラシは、水田畦畔では頻繁な草刈りによって栄養繁殖を促進し、多年生として生育し、個体群を維持していた（図6、表3、表4、表5）。一方、ハルザキヤマガラシの根の断片の再生能力は、土壤水分の高い条件や土壤に埋没する条件では低下するため、耕起されるコムギ圃場では、ほとんど種子繁殖であり、ハルザキヤマガラシは一年生として生育していた（図7、図8、表3）。草刈りに伴う生殖生長から栄養生長への生育相の移行は、ブタナや *Rorippa palustris* にもみられる（Hartemink *et al.* 2004, Klimesova *et al.* 2007）。このような人為的攪乱の種類に応じた生活史の変更は、世界各地の様々な環境に適応し定着するための生存戦略として有効と考えられる。これらの知見から、畦畔におけるハルザキヤマガラシの個体数を減少させるには、結実期直前に草刈りし栄養生長への光合成生産物の配分を低下させ、その後の草刈り回数を少なくし、他種との競争を強める必要がある。また、コムギ圃場におけるハルザキヤマガラシの栄養繁殖を妨げるには、収穫後などに耕起する必要がある。以上のように人為的攪乱に適応した帰化雑草の生態的特性の把握は、その種の生態の弱点を明確にし、それを標的とした防除法の開発に役立つ。

4. 除草剤に対する反応

日本の飼料畑に発生している帰化雑草の多くは、アメリカの穀物畑で発生し、防除が困難とされている雑草であり（清水 1992）、その中には除草剤の効果が低い種もある。また、海外で帰化雑草に効果の高いことが知られている除草剤も、日本においては農業登録されていないために使用できないことがある。したがって、効果的な化学的防除を行うためには、日本国内で農業登録のされている除草剤に対する帰化雑草の反応を把握する必要がある。そこで、ハルザキヤマガラシとカミツレモドキおよびイヌカミツレに対しては、主にコムギ用に農業登録のある土壤処理型除草剤14剤と茎葉処理型除草剤9剤の効果を試験し、リニュロン水和剤やアイオキシニル乳剤の除草効果が3種ともに高いことを明らかにした（表9、表10）。同様に、いくつかの帰化雑草においても除草剤に対する反応が調査され、トウモロコシ圃場で問題となるイチビには、ハロスルフロロンメチル水和剤などの除草効果の高いことが明らかにされている（的場 1998）。除草剤の効果は、種によって異なるため（表9、表10）、正確な種の同定が必要であり、化学的防除を迅速に効果的に行うためには、国内で使用可能な除草剤に対する帰化雑草の反応を正確に整理しておく必要がある。

5. 現実の場における防除法の試行

防除法を確立するには、実際に帰化雑草の発生する場において、計画された防除法がどの程度の効果を示すのかを把握し、問題点を明らかにする必要がある。コムギ圃場においてハルザキヤマガラシとカミツレ類に対し、除草剤試験で効果の高かったリニュロン水和剤をコムギ播種後に土壤処理した。その結果、播種後20日目頃までは除草効果がみられるものの、その後ハルザキヤマガラシとカミツレ類が出芽し（表11）、土壤処理型除草剤の残効期間は不足していた。この場合、茎葉処理型除草剤や中耕などの除草管理と組み合わせる必要が生じる。トウモロコシ圃場ではイチビとハリビユによる被害の緩和を目的として播種期が検討され、晩播によってイチビは抑草されるが、ハリビユは抑草されないことがわかった。そこで、トウモロコシの早播とイタリアンライグラスのリビングマルチの組み合わせが検討され、その体系によりハリビユの防除が可能となった（佐藤 2002）。このように現実の場において帰化雑草を対象とした防除法を試行し、問題点を抽出し、

その解消のために新たな手段を講じるといった防除対策の構築が知見の少ない帰化雑草の防除にあたって有効である。

6. 防除体系の構築

寒冷地では、暖地・温暖地に比べると早春、晩秋には気温が低く、作物の生育速度も遅く、雑草の出芽が長期間に及ぶため、雑草防除が難しい。効果的で効率的な防除を行うためには、帰化雑草の出芽特性に基づいた除草管理時期の最適化が必要となる。防除法の試行で明らかになったとおり、コムギに雑草害を及ぼす帰化雑草の秋季の出芽個体は、播種後土壌処理型除草剤の処理のみでは完全に防除できないため、残効がなくなった後に出芽する個体を効率的に防除しなければならない。そこで、ハルザキヤマガラシ、カミツレモドキおよびイヌカミツレの出芽時期を調査し、適切な除草管理時期が11月上旬と5月上旬であることを明らかにし、茎葉処理型除草剤や中耕を組み合わせた防除体系を確立した(表12)。同様にダイズ・コムギ立毛間播種栽培においても帰化3種の出芽特性を中心に調査した結果、茎葉処理型除草剤は積雪前の11月上旬に処理するのが適当と判断され、前作時に出芽した大きな個体も中耕によって防除できた(表16)。トウモロコシ圃場では、出芽時期別に根の断片から出芽したワルナスビの生育量が調査された結果、必要除草期間は播種後4週間と判明し、残効性の観点から土壌処理剤のクロロプロファムの使用が推奨された(Onen *et al.* 2006)。このように、現実の場において侵入帰化雑草の生理生態的特性を明らかにし、その知見に基づき最も効率的で効果的な防除法を構築する必要がある。

7. 将来展望

物質が地域内で循環し、人力で除草が行われ、帰化雑草の少なかった時代には、寒冷地の麦作において、収穫皆無になるほどの大きな雑草害はみられなかった。ところが近年、国際的な流通の拡大と輸入濃厚飼料への多量かつ多量の雑草種子の混入により(清水 1995、清水ら 1996)、海外の穀物畑で発生し、収穫期に残存する防除の難しい雑草の多くが直接日本の圃場に持ち込まれている(清水 1992)。また、除草剤処理により圃場における雑草の生育量は少なくなり、新たな雑草の侵入できる空間が存在する。このような背景もあり、帰化雑草が蔓延して大きな雑草害を引き起こしている。本論文では、帰化雑草の侵入と拡大という問題に対処する

ために、ハルザキヤマガラシとカミツレ類を対象として東北地方における分布と発生実態を把握し、人為的影響下における生理生態特性を把握し、得られた知見に基づき北日本の通常のコムギ栽培およびダイズ・コムギ立毛間播種栽培における防除法を構築した。今後、イネ科雑草の繁茂や継続的な帰化雑草の侵入が問題となると予測されることから、監視を十分に行い、初期対策や拡大拡散への対策、拡大後の対策を準備しておく必要がある。また、全国で得られた帰化雑草に関する情報のすべてをデータベース化し、問題化した場合に迅速に対応できる体制を整える必要がある。

一般に、帰化雑草の多くは、侵入地から分布を広げるための機構をもち、農作業などの人為的干渉に可塑的に対応して生活史を変更するなど、幅広い環境に適応して生き残り増殖する攪乱適応性を有する。そのため、問題化した帰化雑草を制御するには、まず、新しい侵入地における分布と発生実態を調査し、拡散経路を特定し、拡散経路の遮断を試みる必要がある。次に発生の著しい場所において、帰化雑草が人為的攪乱にどのように適応して、生存し繁殖しているかを明らかにし、生存と繁殖を助長する要因を取り除くか、あるいは変更して帰化雑草の反応を調査する必要がある。こうして得られた帰化雑草の生存に関わる生理生態的特性などの科学的知見に基づき、実際の作物栽培環境において耕種的・化学的防除法を適切に用いると、帰化雑草による被害の防止という困難な課題に戦略的・効率的に対処できる。また、新たな雑草の侵入は今後も続くと考えられることから、帰化雑草に関する知見を集積し、利用できる体制を構築することが重要である。本論文で提示した手法は、広く帰化雑草の侵入と拡大という問題に対して有効である。

引用文献

- Altland, J. 2001. Weed Control in Nursery Field Production. [Cited 2 September 2008.] Available from URL: <http://extension.oregonstate.edu/catalog/pdf/em/em8899-e.pdf>
- 浅井元朗, 中村直紀, 與語靖洋. 2001. カラスムギの発生消長とトリフルラン剤の効果. 雑

- 草研究 46 (別) : 70-71.
- 3) 浅井康宏. 1971. 帰化植物の由来. 遺伝 25 : 5-10.
- 4) 浅井康宏. 1993. 緑の侵入者たち. 東京. 朝日新聞社. 294p.
- 5) 浅沼昌平, 狩山俊悟, 榎本 敬, 小島裕子. 1987. 岡山県の帰化植物 - 侵入から定着へ -. 岡山. 倉敷市立自然史博物館. p.5-6.
- 6) Baskin, J. M.; Baskin, C. C. 1989. Seasonal changes in the germination responses of buried seeds of *Barbarea vulgaris*. Can. J. Bot. 67 : 2131-2134.
- 7) 畜産技術協会編. 1994. 写真で見る外来雑草. 東京. 畜産技術協会. 46p.
- 8) Dutt, T.E.; Harvey, R.G.; Fawcett, R.S. 1983. Influence of herbicides on yield and botanical composition of alfalfa hay. Agron. J. 75 : 229-233.
- 9) Falster, D.S.; Westoby, M. 2003. Plant height and evolutionary games. Trend. Ecol. Evol. 18 : 337-343.
- 10) Glaser, B.; Konradt, M.; Laux, P. 2006. Certrol Top - the new formulation. J. Plant Dis. Pro. Sp. Iss. 20 : 1061-1066.
- 11) 原田二郎. 1993. 東北地域の帰化雑草. 雑草研究 38 (別) : 80-81.
- 12) Hastings, R.E.; Kust, C.A. 1970. Control of yellow rocket and white cockle in established alfalfa. Weed Sci. 18 : 329-333.
- 13) Hartemink, N.; Jongejans, E.; De Kroon, H. 2004. Flexible life history responses to flower and rosette bud removal in three perennial herbs. Oikos 105 : 159-167.
- 14) 服部 保. 2002. セイタカアワダチソウ (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.196.
- 15) 平岩 確, 林 元樹, 杉浦和彦, 野村有美. 2007. 愛知県水田輪作ほ場における帰化アサガオ類の発生动向と畦畔除草剤の効果. 雑草研究 52 (別) : 38-39.
- 16) 久内清孝. 1950. 帰化植物. 東京. 科学図書出版社. 272p.
- 17) 星野次汪, 友岡憲彦, 福永公平, 瀬古秀文. 1989. コムギの穂発芽検定法と難穂発芽性遺伝資源の系譜. 育雑 39 : 365-372.
- 18) 飯塚弘明, 板橋正六, 高橋 厚. 1995. 強害外来雑草の初期発生本数とトウモロコシ生産 (農業研究センター編, 研究成果情報平成7年度生産環境・畜産 - 草地関東東海農業). 茨城. 農業研究センター. p.233-234.
- 19) 稲垣栄洋, 沖 陽子. 2001. イチビ (*Abutilon theophrasti* Medic.) の密度の差異がトウモロコシの生育に及ぼす影響. 雑草研究 46 : 261-266.
- 20) 伊東秀則. 1988. カミツレモドキの発生生態と防除法. 日植調東北支部会報 23 : 10-15.
- 21) 伊藤操子. 1993. 雑草学総論. 東京. 養賢堂. p.101-103.
- 22) 伊藤信雄. 2002. 小麦・大豆の立毛間播種栽培について. 水田輪作 - 東北農研センターにおける研究 - 10 : 1-4.
- 23) 岩瀬 徹. 1978. 人里植物, 帰化植物の生活 (沼田 真編, 植物生態の観察と研究). 東京. 東海大学出版会. p.39-55.
- 24) Kay, Q.O.N. 1971. *Anthemis cotula* L. J. Ecol. 59 : 623-636.
- 25) Kells, J.J. 1989. Chemical control of mayweed chamomile (*Anthemis cotula*) in winter wheat (*Triticum aestivum*). Weed Technol. 3 : 686-689.
- 26) Klimesova, J.; Sosnova, M.; Martinkava, J. 2007. Life-history variation in the short-lived herb *Rorippa palustris*: effects of germination date and injury timing. Plant Ecol. 189 : 237-246.
- 27) Klimesova, J.; Kocianova, A.; Martinkava, J. 2008. Weeds that can do both tricks: vegetative versus generative regeneration of the short-lived root-sprouting herbs *Rorippa palustris* and *Barbarea vulgaris*. Weed Res. 48 : 131-135.
- 28) 児玉 徹. 1992. 小麦の生育・栄養診断による安定多収栽培. 東北農業試験場研究資料 13 : 37-50.
- 29) 近内誠登. 1988. 帰化雑草と除草法の変遷. 化学と生物 26 : 667-673.
- 30) 黒川俊二. 2006. 分子生物学的手法によるイチビの種内変異および日本への侵入経路の解明. 雑草研究 51 : 165-171.

- 31) Kurokawa, S.; Shimizu, N.; Uozumi, S.; Yoshimura, Y. 2003a. Intra-specific variation in morphological characteristics and growth habit of newly and accidentally introduced velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) into Japan. *Weed Biology and Management* 3 : 28-36.
- 32) Kurokawa, S.; Shimizu, N.; Uozumi, S.; Yoshimura, Y. 2003b. ISSR variation in a worldwide collection of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and the genetic background of weedy strains mingled in grains imported into Japan. *Weed Biology and Management* 3 : 179-183.
- 33) MacDonald, M. A.; Cavers, P.B. 1974. Cauline rosettes – an asexual means of reproduction and dispersal occurring after seed formation in *Barbarea vulgaris* (yellow rocket). *Can. J. Bot.* 52 : 913-918.
- 34) MacDonld, M. A.; Caver, P.B. 1991. The biology of Canadian weeds. 97. *Barbarea vulgaris* R. Br. *Canadian Journal of Plant Science* 71 : 149-166.
- 35) 前川文夫. 1943. 史前帰化植物について. *植物分類地理* 13 : 274-279.
- 36) 牧野富太郎. 1989. 改訂増補牧野新日本植物図鑑. 東京. 北隆館. 208p.
- 37) 的場和弘. 1998. 寒冷地強害帰化雑草の生存戦略の解明と制御技術の開発 イチビ (農林水産省農林水産技術会議事務局編, 強害帰化植物の蔓延防止技術の開発). 東京. 農林水産省農林水産技術会議事務局. p.86-89.
- 38) 松田幹男, 堀江正樹, 本田勝雄, 志村英二. 1980. 畑輪作に関する研究第11報 42年間にわたる連・輪作方式における畑作物収量の推移について. *日作紀* 49 : 548-558.
- 39) 宮崎 桂. 2005. 多年生雑草ワルナスビ (*Solanum carolinense* L.) の根系による栄養繁殖. 根の研究 14 : 99-104.
- 40) Miyazaki, K.; Ito, M.; Urakawa, S. 2005. Seasonal pattern of shoot emergence and its endogenous control in horsenettle (*Sonalum carolinense* L.). *Weed Biol. Manag.* 5 : 14-18.
- 41) 森田弘彦. 1981. 北海道における帰化雑草の特徴と防除上の問題点. *雑草研究* 26 : 200-214.
- 42) 森田弘彦. 1990. 1980年代の帰化雑草の概観. *農業技術* 45 : 342-347.
- 43) 森田弘彦. 1994. 水田麦作 (草薙得一編, 雑草管理ハンドブック). 東京. 朝倉書店. p.220-227.
- 44) 森田弘彦, 中山壮一. 1992. 暖地水田でのシヨクヨウガヤツリ (*Cyperus esculentus* L.) の発生と生育. *雑草研究* 37 : 267-275.
- 45) 村中孝司. 2002. 外来種リスト維管束植物 (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.320-353.
- 46) Murphy, T. R.; McCarty, L.B. 1999. Turfgrass weed management-1999. [Cited 1 September 2008.] Available from URL: <http://commodities.caes.uga.edu/turfgrass/georgiaturf/WeedMngt/weedcontrol/ASAWEED.PDF>
- 47) 梨木 守, 野本達郎, 目黒良平. 1985. ワルナスビ発生草地の追播更新におけるグリホサートの散布適期. *雑草研究* 30 : 131-136.
- 48) 日本植物調節剤研究協会編. 1987. 改訂最新除草剤解説. 東京. 植調編集印刷事務所. p.523-676.
- 49) Nishida, T.; Kitahara, N.; Harashima, N.; Watanabe, O.; Shibata, S. 1999a. Factors affecting presence of horsenettle (*Solanum carolinense* L.) in pastures of central Japan. *J. Weed Sci. Tech.* 44 : 356-360.
- 50) Nishida, T.; Kurokawa, S.; Shibata, S.; Kitahara, N. 1999b. Effect of duration of heat exposure on upland weed seed viability. *J. Weed Sci. Tech.* 44 : 59-66.
- 51) Nishida, T.; Harashima, N.; Kitahara, N.; Shibata, S. 2000. Effect of temperature on germination behavior of horsenettle (*Solanum carolinense* L.) seeds. *J. Weed Sci. Tech.* 45 : 182-189.
- 52) O'Donovan, J.T.; De St Remy, E.A. ; O'Sullivan, P.A.; Dew, D.A.; Sharma, A.K. 1985. Influence of the relative time of emergence of wild oat (*Avena fatua*) on yield loss of barley (*Hordeum vulgare*) and wheat (*Triticum aestivum*). *Weed Sci.* 33 : 498-503.
- 53) 大段秀記, 住吉 正, 児嶋 清, 小荒井晃. 2002.

- 暖地の小麦早播き栽培における雑草制御技術の確立（農林水産省農林水産技術会議事務局編，研究成果第397集 麦新品種緊急開発プロジェクト），東京，農林水産省農林水産技術会議事務局，p.165-167.
- 54) Onen, H.; Ito, M.; Imaizumi, T. 2006. Horsenettle (*Solanum carolinense* L.) plants emerged at different times after corn (*Zea mays* L.) planting. *Weed Biol. Manag.* 6 : 55-58.
- 55) 長田武正. 1972. 日本帰化植物図鑑. 東京. 北隆館. 254p.
- 56) 長田武正. 1976. 原色日本帰化植物図鑑. 大阪. 保育社. 425p.
- 57) Roberts, H.A.; Neilson, J.E. 1981. Seed survival and periodicity of seedling emergence in twelve weedy species of Compositae. *Ann. Appl. Biol.* 97 : 325-334.
- 58) Roberts, H.A. 1986. Seed persistence in soil and seasonal emergence in plant species from different habitats. *J. Appl. Ecol.* 23 : 639-656.
- 59) 佐藤久泰, 佐藤辰四郎, 佐藤正三. 1981. 北海道における「アメリカオニアザミ」の発生分布と被害実態. *雑草研究* 26 (別) : 113-114.
- 60) 佐藤節郎. 2001. ハリビユによる痛い被害（清水矩宏, 森田弘彦, 廣田伸七編著, 日本帰化植物写真図鑑）. 東京. 全国農村教育協会. p.71.
- 61) Sato, S.; Tateno, K.; Kobayashi, R. 1994. Influence of seeding date on flowering and seed production of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.). *Weed Research, Japan* 39 : 243-248.
- 62) 佐藤節郎, 館野宏司, 小林良二. 1994. 帰化侵入草イチビについて. *日草九支報* 24 : 35-42.
- 63) 佐藤節郎. 2002. 暖地飼料畑における主要帰化雑草の総合的防除技術の確立. *雑草研究* 47 : 185-191.
- 64) Sato, S.; Tateno, K.; Kobayashi, R.; Sonoda, Y. 1996. Cultural control of swinecress (*Coronopus didymus*) in Italian ryegrass (*Lolium multiflorum*) sward by dense sowing. *Weed Research, Japan* 41 : 107-110.
- 65) Sato, S.; Tateno, K.; Kobayashi, R.; Sakamoto, K. 1998. Control of spiny amaranth (*Amaranthus spinosus* L.) with Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) living mulch in forage corn (*Zea mays* L.). *J. Weed Sci. Tech.* 43 : 317-327.
- 66) 佐藤節郎, 館野宏司, 小林良二. 2001. 難防除雑草の被害を回避する飼料作物栽培. *雑草研究* 46 : 41-47.
- 67) Schreiber, M.M. 1962. Growth, development and perennial nature of yellow rocket. *Weeds* 10 : 91-95.
- 68) 清水矩宏. 1992. 輸入飼料に由来する飼料畑の外来雑草の発生と対策. *植調* 26 : 64-71.
- 69) 清水矩宏. 1995. 草地・耕地への強害外来雑草の侵入経路. *植調* 29 : 274-283.
- 70) 清水矩宏. 2002a. 飼料穀物輸入がもたらす強害雑草(日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.48-49.
- 71) 清水矩宏. 2002b. 飼料畑にまん延する外来雑草(日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.208-209.
- 72) 清水矩宏, 榎本 敬, 黒川俊二. 1996. 外国からの濃厚飼料に混入していた雑草種子の同定 I. 種類とバックグラウンド. *雑草研究* 41 (別) : 212-213.
- 73) 清水矩宏, 森田弘彦, 廣田伸七編著. 2001. 日本帰化植物写真図鑑. 東京. 全国農村教育協会. 555p.
- 74) Shimono, Y.; Konuma, A. 2007. Effects of human-mediated processes on weed species composition in internationally traded grain commodities. *Weed Research* 48 : 10-18.
- 75) 須藤孝久. 1975. 秋田県の帰化植物概報. *秋田自然史研究* 4 : 1-15.
- 76) Tachibana, M.; Itoh, K.; Watanabe, H.; Nakayama, S. 2010. Mode of reproduction in *Barbarea vulgaris* in two different habitats in Tohoku, Japan. *Weed Biol. Manag.* 10 : 9-15.
- 77) 橋 雅明, 伊藤一幸, 渡邊寛明, 中山壮一, 山口裕文. 2008a. 北東北地域のコムギ作における帰化雑草ハルザキヤマガラシ (*Barbarea vulgaris* R. Br.), カミツレモドキ (*Anthemis cotula* L.), イヌカミツレ (*Matricaria inodora* L.) の出芽時期と防除体系. *雑草研究* 53 : 175-184.
- 78) 橋 雅明, 伊藤一幸, 渡邊寛明, 中山壮一, 山

- 口裕文. 2008b. ダイズ・コムギ立毛間播種栽培における帰化雑草ハルザキヤマガラシ, カミツレモドキ, イヌカミツレの出芽特性とその防除. 雑草研究 53 : 196-199.
- 79) 橋 雅明, 渡邊寛明, 伊藤一幸. 2002. 東北地域における帰化雑草ハルザキヤマガラシ (*Barbarea vulgaris* R. Br.) の分布. 雑草研究 47 : 235-241.
- 80) 高林 実. 1978. 家畜による雑草の種子の伝播 (山口裕文編著, 雑草の自然史). 札幌. 北海道大学図書刊行会. p.103-113.
- 81) 高林 実, 窪田哲夫, 阿倍 林. 1978. 牛の採食による雑草種子の伝播に関する研究. 農事試験報 27 : 69-91.
- 82) 高橋 聡, 近藤義典, 徐 錫元. 1997. 東北地方における水田畦畔雑草防除の特徴. 植調 31 : 346-353.
- 83) 高柳 繁, 中谷敬子, 草薙得一, 松永順子, 野口勝可. 1990. 浮選法による土壤中雑草種子分離回収装置の試作. 雑草研究 35 : 189-191.
- 84) 竹松哲夫, 一前宣正. 1987a. 世界の雑草 I - 合弁花類 -. 東京. 全国農村教育協会. p.40-42.
- 85) 竹松哲夫, 一前宣正. 1987b. 世界の雑草 I - 合弁花類 -. 東京. 全国農村教育協会. p.213-215.
- 86) 竹松哲夫, 一前宣正. 1987c. 世界の雑草 II - 離弁花類 -. 東京. 全国農村教育協会. p.395-397.
- 87) 鳥山国土, 豊川良一. 1956. 畑雑草の防除に関する研究 第1報 輪作様式と雑草との関係. 青森県農事試験場研究報告 3 : 31-38.
- 88) 津山 尚. 1968. 帰化雑草 (小倉 謙監修, 増補 植物の事典). 東京. 東京堂出版. p.96-97.
- 89) 浦川修司. 2000. ワルナスビの栄養繁殖能力と耕耘の影響. 雑草研究 45 (別) : 120-121.
- 90) 鷺谷いづみ. 2002a. 緑化による外来牧草の侵入 (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.46-47.
- 91) 鷺谷いづみ. 2002b. オオブタクサ (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.197.
- 92) 鷺谷いづみ, 村上興正. 2002. 日本における外来種問題 (日本生態学会編, 外来種ハンドブック). 東京. 地人書館. p.7-9.
- 93) 柳野利哉, 森行勝也. 1995. 畑輪作3年4作体系における雑草発生と防除. 東北農業研究 48 : 149-150.
- 94) Yenish, J. P.; Eaton, N. A. 2002. Weed control in dry pea (*Pisum sativum*) under conventional and no-tillage systems. Weed Technol. 16 : 88- 95.

Analysis of Factors Related to Enhanced Sterility Due to Coolness at the Young Microspore Stage under High Nitrogen Supply in Rice (*Oryza sativa* L.).

Takami HAYASHI*¹⁾

Abstract : Effects of high nitrogen (High-N) supply combined with cooling on increased sterility in rice plant were examined. High-N enhanced the suppression of pollen germination caused by cooling and the results of comparative proteome analysis and gene expression analysis revealed that a number of expansins (*EXPs*) were downregulated by High-N plus cooling (High-N-cooling). *EXPs* act on cell wall loosening and are involved in pollen tube penetration. As many *EXPs* were repressed under High-N-cooling, it appears that these *EXPs* may be involved in the enhanced damages on pollen grains, and, consequently, the enhanced sterility. It is concluded these findings about the effects of High-N on cool-temperature damages in rice plants will contribute to forming a physiological basis for future research on the prevention of such damage under various nutrient conditions and to the development of damage reduction technologies.

Key Words : Anther, Expansin, Gene expression, High nitrogen, Pollen germination, Proteome, Rice, Cool temperature, Sterility, Young microspore stage

多窒素施肥がイネ小孢子初期の冷温による不稔を助長する要因の解析：林 高見*¹⁾

抄 録 : 本研究では、冷温によるイネの不稔を窒素施肥が助長する要因を明らかにするため、冷害の主な要因の一つである花粉の発育障害に注目した。多窒素条件では小孢子初期の冷温によって小孢子数や充実花粉数の減少が助長されるだけでなく、柱頭上の受粉数と発芽花粉数が著しく減少することを見出した。そこで花粉発芽に注目し、成熟葯を用いて障害の生理的側面を検討した。比較プロテオーム解析および遺伝子発現解析から、多くのエクспанシン (*EXP*) 遺伝子の発現が多窒素・冷温によって抑制されることが示された。*EXP*は細胞壁を緩める働きをもち、花粉管伸長にも関与する。多窒素・冷温によって多くの*EXP*遺伝子の発現が抑制されたことから、これらの*EXP*は花粉発芽の抑制に関与し、結果として多窒素栽培における冷温障害の助長に関係することが示唆された。以上のように冷温障害における多窒素の影響について重要な知見が得られた。これらの知見は、冷温障害発生と栄養条件との関係の解明や、被害軽減技術の開発に向けた手がかりになると考える。

キーワード : 葯、エクспанシン、遺伝子発現、多窒素、花粉発芽、プロテオーム、イネ、冷温、不稔、小孢子初期

* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198, Japan)

2010年9月29日受付、2010年12月21日受理

Contents

I	Introduction	68
II	Effects of high nitrogen supply and cooling at the young microspore stage on factors related to sterility	70
III	Proteome analysis of rice mature anthers	77
IV	Gene expression analysis in rice mature anthers	82
V	Discussion	89
	References	92

I Introduction

Rice is one of humankind's major sources of carbohydrates. In 2007, world cereal production was 2.2×10^9 t, of which rice accounted for 30%, 6×10^8 t (overseas statistical information, <http://www.toukei.maff.go.jp/world/index.html>). In the same year, rice production in Japan was 8.7×10^6 t, of which 3.7×10^6 t was produced in the Tohoku region (Statistics of Agriculture, Forestry and Fisheries; <http://www.maff.go.jp/j/tokei/index.html>). This large amount of rice production in the Tohoku region is associated with the long day length in the summer season and the large diurnal range of temperature (Uchijima, T. 1983), and the highly improved cultivation technique, breeding and farming technology (Nishiyama, 1985).

One drawback of the Tohoku region is the high risk of cool summer temperatures, mainly caused by cool air from high pressure systems originating in the Sea of Okhotsk (Bokura, 2001). Rice farming in the Tohoku region was advanced by the 16th century (Uchiyamada and Watanabe, 1996). In Japan, a famine year was recorded 64 times from 1600 to 1867, meaning that cool temperature reduces crop production once every 4.1 years during this period (Nishiyama, 1985). In Iwate Prefecture, it was 59 times from 1611 to 1817 (Seki, 1986).

In 1993, Japan was hit by a historically cool summer, which reduced rice production nationwide. Yield losses in northern Japan were particularly catastrophic. The Japanese Government thus urgently imported 2.6×10^6 t of rice (Statistics Bureau, <http://www.stat.go.jp/data/getujidb/index.htm>), which was equivalent to a quarter of Japan's average annual rice production. Research by the Tohoku National Agricultural Experiment Station and the prefectural governments to record and analyze this event showed that the extraordinary yield reduction was a result of sterility, caused by continuous cool temperatures from the end of July to the middle of August (Mayumi, 1994), a period that extended across the booting stage, when the rice plant is most sensitive to cool temperature. These studies also showed that the larger nitrogen supply in 1993 reduced the yield under cool weather (Kodama, 1994; Miyamori, 1994; Takeda, 1994; Tamagawa, 1994).

Nitrogen is one of the most important elements for living organisms. About 90% of the dry weight of plants consists of carbon and oxygen, and only about 3% consists of nitrogen (Tadano, 2002); however, nitrogen is involved in all physiological processes of plant development, proliferation and differentiation, and is a major limiting factor in plant growth (Yoneyama, 2002). Historical research has shown that Japan's capacity for rice production was 1 t ha^{-1} to 1.5 t ha^{-1} until the mid 18th century. It was in the 1960s that rice production began to increase dramatically due to the application of chemical nitrogen fertilizer (Nishio, 2005). Nitrogen improves rice growth and yield (Shiga, 1984; Goto *et al.*, 2006;

Fukushima, 2007). Paradoxically, if sufficient amount of nitrogen is used based on normal weather patterns, it severely decreases yield in unexpected cool summer because of sterile spikelets (Sasaki and Wada, 1975; Amano and Moriwaki, 1984; Satake *et al.*, 1987; Watanabe and Takeichi, 1991). The amount of nitrogen supply tends to decreasing in 1990's because the taste of rice deteriorates when nitrogen levels of plants are high (Ishima *et al.*, 1974, Yamashita and Fujimoto, 1974). The fact that, however, cool-temperature damage still occurred in 1993 indicates that much remains to be learned about the effects of nitrogen on cool-temperature damage.

Cool-temperature damages in rice plants are categorized into two types: damage due to delayed growth and damage due to floral impotency (Nishiyama, 1985). Like the case in 1993, floral impotency causes irreparable damage, and much research has been done on floral impotency caused by cool weather.

Cool weather at the booting stage causes pollen abortion. The young microspore stage, tetrad stage and early microspore stage just after the microspores are released from the tetrad, in particular, are the stages when rice is most sensitive to cool temperature (Hayase *et al.*, 1969; Satake and Hayase, 1970). Cool temperature during these critical stages severely represses pollen development, and the decrease in the number of engorged pollen grains is thought to be a major factor in sterility (Nishiyama, 1982; Satake *et al.*, 1988; Satake, 1991).

Satake and Shibata (1992) proposed four factors involved in sterility caused by cool-temperature damage: 1, the number of differentiated microspores; 2, the percentage of developed pollen grains; 3, the percentage of shed pollen grains; 4, the fertilization efficiency of shed pollen grains. Among these, they noted that the number of pollen grains is the major factor. When the nitrogen supply intensifies cool-temperature damage, the repression of pollen development is considered to be an important factor in sterility.

In this study, the combined effects of high nitrogen and cooling on the factors that affect fertility were examined, such as the numbers of microspores, engorged pollen grains, pollen grains shed on the stigma and germinated pollen grains on the stigma (Chapter II). To clarify the physiological aspects of the damage to anthers caused by High-N-cooling, protein expression patterns were observed by comparative proteome analysis (Chapter III) and gene expression analysis (Chapter VI).

I wish to express my sincere gratitude to Professor Setsuo Koike, National Agricultural Research Center for Tohoku Region (NARCT), for his courteous guidance and encouragement, and to Professor Yoshihito Takahata, Iwate University, Professor Shuichi Sugiyama, Hirosaki University, Professor Toshinori Abe, Yamagata University, and Dr. Tomoya Yamaguchi, NARCT, for their continuous support and invaluable suggestions and discussions. I also wish to express my deep gratitude to Dr. Setsuko Komatsu, National Institute of Agrobiological Sciences (NIAS), presently at the National Institute of Crop Science and Dr. Mika Fujita, NIAS, presently at National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, for their special guidance and advice on proteome analysis. I am indebted to Dr. Patricia Vrinten, National Agricultural Research Center for Tohoku Region, presently Bioriginal Food and Science Corporation, Saskatchewan, Canada, for her useful suggestions on my research and excellent English coaching. I wish to thank my collaborators, Mr. Katsuhiko Nakayama, Mr. Akira Tanifuji, Mr. Eisaku Kumagai, Mr. Akio Yoshida, Mr. Kazuhiro Hayasaka, Mr. Kunihiko Tamura, Mr. Yuichi Otsubo, Mr. Nobuyuki Yoshizawa, Mr. Toshihiko Fujisawa, Ms. Keiko Iwabuchi, Ms. Hiromi Suzaki and Ms. Akemi Tagiri, NARCT, for their skillful technical assistance. I also wish to express my thanks to the staff of NARCT for their courteous support and encouragement throughout my research. This research was previously published as a series of original papers (Hayashi *et al.* 2000, Hayashi *et al.* 2006, Hayashi *et al.* 2009), and in its present form is a revision of my dissertation for the doctoral degree at Iwate University.

II Effects of high nitrogen supply and cooling at the young microspore stage on factors related to sterility

A sufficient supply of nitrogen is necessary for optimal plant growth and yield in rice (Shiga, 1984; Kobayashi and Horie, 1994; Goto *et al.*, 2006; Fukushima, 2007). In cooler-than-average summers, however, higher numbers of sterile spikelets are found in rice plants grown under sufficient nitrogen conditions, resulting in a decrease in yield. This yield decrease is a major problem in rice production, and the physiological mechanisms of the increased sterility are still uncertain.

The young microspore stage is the time during the reproductive period when rice is most sensitive to cool temperatures (Hayase *et al.*, 1969; Satake and Hayase, 1970). Cool temperature at this stage decreases the numbers of microspores and engorged pollen grains (Nishiyama, 1982; Satake *et al.*, 1988, Satake, 1991), and the numbers of engorged pollen grains are highly correlated with fertility (Nishiyama, 1982; Satake *et al.*, 1988).

Satake *et al.* (1987) clearly showed that High-N from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage greatly increased sensitivity to coolness at the young microspore stage. Tatsuta (1999) reported that High-N decreased anther length and numbers of engorged pollen grains, but did not examine the effects of cooling. Lee (1990) showed that cool temperature decreases the number of engorged pollen grains as the nitrogen level increases.

From these results, researchers have concluded that the sterility caused by cool temperature at the critical stage is mainly due to a decrease in the numbers of engorged pollen grains. With High-N, the decrease in pollen grain numbers is also thought to be a major factor in increasing sterility.

Shading causes a decrease in fertility (Shimazaki, *et al.*, 1964; Wada *et al.*, 1972); however, the effects of shading vary among rice cultivars (Wada *et al.*, 1972). Since cool summer weather is often accompanied by some degree of low insolation, the effects of shading on the cool-temperature damage should be clarified. Therefore, in this study, the combined effects of High-N, cooling and shading on the factors that affect fertility, such as anther length, and also the numbers of microspores, engorged pollen grains, pollen grains shed on the stigma and germinated pollen grains on the stigma were investigated.

Materials and Methods

Experiment 1 Effects of High-N and cooling on flower components

An early-maturing rice variety (*Oryza sativa* L. *japonica* cv. Hayayuki) from Hokkaido was used in this experiment. Twenty seeds were sown in a circular pattern on vermiculite in plastic sieves in pots 18 cm in diameter and 20 cm in height, following the methods of Satake *et al.* (1969) and Satake and Koike (1983) (Fig. 1). Plants were grown using tap water until the third leaf stage, after which a culture solution (Satake and Koike, 1983) including a standard level of nitrogen (Standard-N: 10 ppm of N) was used. The culture solution was changed once every 2 to 3 days. Plants were grown in an artificially lit chamber (Plant Growth Chamber, Conviron, Winnipeg, Manitoba, Canada) under an illumination of $300 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ just above the plants for a 14-hour day length and with a day/night temperature regime of 24/19°C until the young microspore stage. Tillers were removed as they appeared. Stages were checked using a microscope. To obtain uniform samples, the third to the fifth spikelets from the top on the first and the second primary branches of the main stem were examined following the methods of Satake and Hayase (1970) and Satake *et al.* (1987) (Fig. 2). From the spikelet differentiation stage to the date when the specified spikelets were at the young microspore stage, half the pots were grown under High-N (80 ppm of N) conditions. Thereafter, all plants were grown under Standard-N conditions.

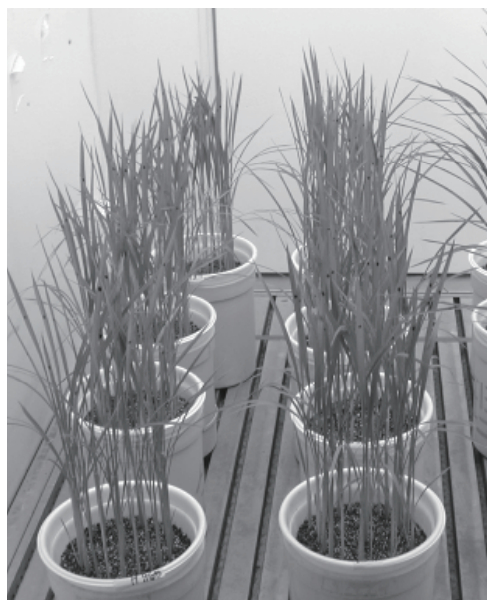


Fig. 1 Twenty plants in a circular pattern grown with water culture.

Water culture was used to control nitrogen level. Plants were grown under standard-N (10 ppm) until the spikelet differentiation stage when half the plants were grown under High-N until the young microspore stage, after which all plants were grown under standard-N. Nitrogen supply was stopped at the end of flowering.

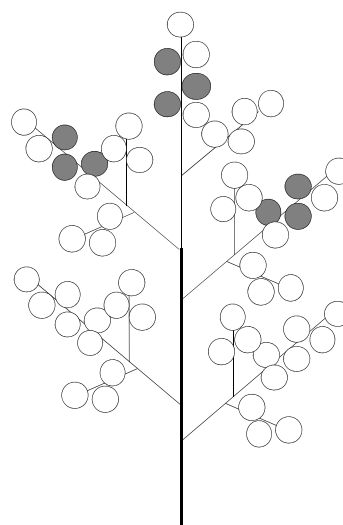


Fig. 2 Spikelets at the uniform stage on a panicle.

To obtain uniform samples, the third to the fifth spikelets from the top on the first and the second primary branches of the main stem (gray circles) were examined following the methods of Satake and Hayase (1970) and Satake et al. (1987).

At the young microspore stage, plants that were to undergo cool-temperature treatment were transferred to a cool chamber (12/12°C) for 4 days, and then transferred back to the 24/19°C chamber. The nutrient solution supply was discontinued after the end of flowering.

To determine the number of microspores per anther, spikelets from 5 to 7 panicles were fixed with 50% (v/v) ethanol at the young microspore stage, or, for cooled plants, at 1 day after the end of the cool treatment. One day after heading, spikelets were fixed with 50% (v/v) ethanol to determine the numbers of pollen grains.

Anthers were excised from all of the fixed spikelets, and the number of microspores per anther was determined from an average of 8 to 10 anthers randomly selected from the excised anthers. The number of pollen grains per anther was determined from an average of 20 to 25 anthers. Each anther was dissected and stained with iodine/potassium iodide solution (Satake *et al.*, 1988), and microspores and fully stained engorged pollen grains were counted. To determine average anther length, 30 anthers were measured per treatment. Fertility was determined by spikelets sampled from 20 to 30 panicles.

Experiment 2 Combined effects of High-N, shading and cooling on flower components

For shading treatments, Hayayuki plants were grown under the same conditions as in experiment 1 except for light conditions, which in this experiment were 419 instead of 300 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Two days after the start of the High-N treatment, half the pots from both Standard-N and High-N plants were shaded with white mesh cloth until the start of cooling. The light condition under shading was 107 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, which was 74% lower than the unshaded condition. At the young microspore stage, plants were cooled for 3 days with a temperature regime of 12/12°C, and then transferred back to the

24/19°C chamber. The nutrient solution supply was discontinued after the end of flowering. Flower components were observed as in experiment 1.

Stigmas were removed from the closed spikelets about 4 hours after flowering to determine the numbers of engorged pollen grains and germinated pollen grains on the stigma. Nine to 19 stigmas from 8 to 10 panicles were placed on slide glasses. After adding 50% (v/v) ethanol, stigmas were stained with acetocarmine solution (Nacalai Tesque, Kyoto, Japan), and the numbers of fully stained pollen grains and germinated pollen grains with elongated pollen tubes were counted under a microscope (BX40; Olympus, Tokyo, Japan).

Experiment 3 *In vivo* and *in vitro* pollen germination

For microscopic observation of *in vivo* and *in vitro* pollen germination, Hayayuki were grown under the same conditions as in experiment 1. At the young microspore stage, plants for cooling were transferred to a chamber where they were cooled (12/12°C) for 3 days, and then transferred back to the 24/19°C chamber. The nutrient solution supply was discontinued after the end of flowering.

Stigmas for pollen tube observation were fixed and immersed in 50% (v/v) ethanol, and callose walls of pollen tubes were stained with 0.05% (w/v) aniline blue (Carland *et al.*, 1999). Ten or more stigmas from each treatment were observed with a fluorescence microscope (BX60 with filter set BP 330 385, DM 400, BA 420; Olympus, Tokyo, Japan).

Pollen germination on an agar plate was observed so that the effects of stigma conditions could be eliminated. As soon as the flowers began to open, 8 or more spikelets were removed and gently shaken above a medium containing 1% (w/v) agar, 20% (w/v) sucrose and 20 ppm $K_2B_4O_7$ (Kariya, 1989) in petri dishes (35 mm ϕ). After incubating for 20 min at 20°C and staining with iodine/potassium iodide solution (Fig. 3), total numbers of fully stained pollen grains and germinated pollen grains were counted under a microscope (BX50; Olympus, Tokyo, Japan).

Results

Experiment 1 Effects of High-N and cooling on flower components

Without cooling, fertilities were close to 100%, regardless of the nitrogen conditions. After cooling, fertility declined and was much lower under High-N (11%) than under Standard-N (41%). High-N decreased microspore numbers by 23%. Cooling further decreased these numbers, resulting in a total decrease of 34%, but cooling alone caused only a 9% decrease under Standard-N. High-N decreased engorged pollen grain numbers, but this decrease did not result in low fertility. After cooling, engorged pollen grain numbers decreased by 66% under Standard-N and by 83% under High-N (Fig. 4).

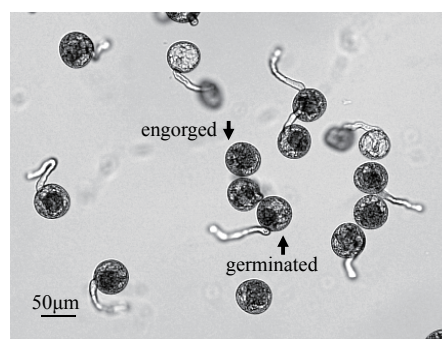
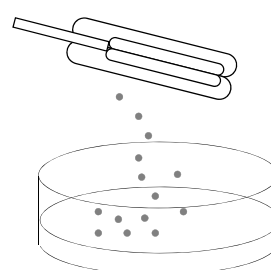


Fig. 3 *In vitro* pollen germination on agar plates.

Anthers were removed from the spikelets when the spikelets began to open. Pollen grains were sprinkled on the agar plate containing 1% agar, 20% sucrose and 20 ppm $K_2B_4O_7$ (Kariya, 1989) and incubated at 20°C for 20 min. The pollen germination was observed under a microscope. Engorged pollen grains and germinated pollen grains (arrows) were counted.

Experiment 2 Combined effects of High-N, shading and cooling on flower components

Shading decreased numbers of microspores under both Standard-N and High-N conditions. High-N decreased microspore numbers as in experiment 1, which were lowest under High-N plus shading (Fig. 5).

Without cooling, High-N decreased engorged pollen grain numbers more than did shading. The ratio of numbers of engorged pollen grains to numbers of microspores was smallest under High-N plus shading. Cooling decreased engorged pollen grain numbers by 29% under Standard-N, and the numbers were further decreased under High-N for a total decrease of 40%. Shading decreased these numbers by only 13% under Standard-N, while shading plus cooling decreased these numbers by 39%. High-N enhanced the decrease caused by shading plus cooling, resulting

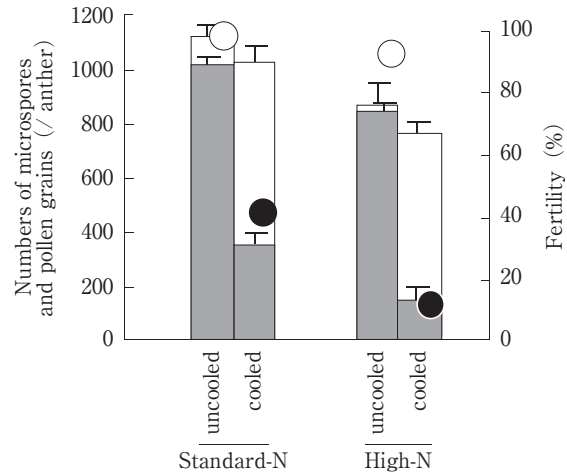


Fig. 4 Effects of nitrogen level and cooling treatments on fertility, and numbers of microspores and pollen grains per anther.

Percentage of fertility is indicated by open circles for uncooled plants and solid circles for cooled plants. Open bars show microspore numbers and gray bars show pollen grain numbers. Standard-N ; standard nitrogen conditions (10 ppm), High-N : high nitrogen conditions (80 ppm), narrow bars : standard errors.

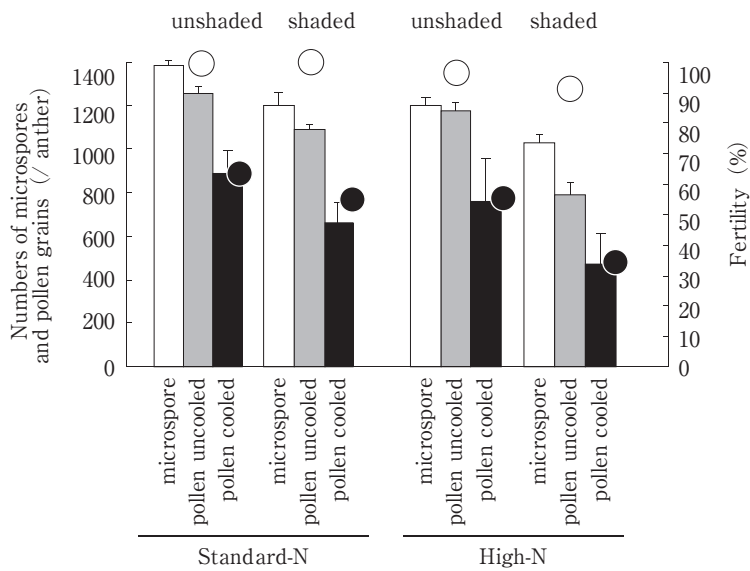


Fig. 5 Effects of nitrogen level, cooling and shading treatments on fertility, numbers of microspores and pollen grains per anther

Shading decreased numbers of microspores and pollen grains. Shading enhanced the decrease in pollen grain numbers under High-N.

Percentage of fertility is indicated by open circles for uncooled plants and solid circles for cooled plants. Bars showed the numbers of microspores and pollen grains : open bars indicate microspores, gray and black bars indicate pollen grains for uncooled and cooled plants, respectively. Standard-N : 10 ppm, High-N : 80 ppm. Narrow bars : standard errors.

Numbers of microspores in cooled plants were not counted.

Table 1 Effects of nitrogen level, light conditions and cooling treatment on anther length.

Light conditions	Nitrogen conditions	Anther length(mm)			
		Experiment 1		Experiment 2	
		not cooled	cooled (12°C/4days)	not cooled	cooled (12°C/3days)
unshading	Standard-N	2.09 ± 0.02	1.97 ± 0.05	2.28 ± 0.02	2.09 ± 0.02
	High-N	1.98 ± 0.02	1.67 ± 0.06	2.27 ± 0.02	1.97 ± 0.02
shading	Standard-N			2.15 ± 0.02	1.98 ± 0.03
	High-N			2.00 ± 0.02	1.88 ± 0.03

Values are shown as means ± standard error. Standard-N ; 10 ppm of N. High-N ; 80 ppm of N.

Table 2 Effects of nitrogen level, light conditions and cooling treatment on the number of pollen grains on stigma in experiment 2.

Light conditions	Nitrogen conditions	Temperature treatment	Number of pollen grains (/stigma)		Germinated /Shed (%)
			Shed	Germinated	
			unshading	Standard-N	
		cooled	245 ± 38	20 ± 4	10 ± 1
	High-N	not cooled	132 ± 21	14 ± 3	11 ± 2
		cooled	97 ± 20	3 ± 1	4 ± 1
shading	Standard-N	not cooled	191 ± 21	13 ± 2	7 ± 1
		cooled	133 ± 25	9 ± 3	5 ± 1
	High-N	not cooled	219 ± 38	22 ± 4	12 ± 2
		cooled	115 ± 20	5 ± 1	5 ± 1

Values are shown as means ± standard error. The cooling treatment was started at the young microspore stage and treated at 12°C for 3days. Standard-N ; 10 ppm of N. High-N ; 80 ppm of N.

in a 62% decrease. Fertility was nearly 100% under Standard-N and over 90% under High-N, even in shaded uncooled plants. Cooling decreased fertility by 36% under Standard-N and by 42% under High-N, whereas cooling plus shading decreased fertility by 45% under Standard-N and by 64% under High-N (Fig. 5).

High-N and cooling decreased anther length, which is a parameter of pollen grain number. In experiment 1, High-N decreased anther length by 5% and cooling further decreased it by 16% (Table 1) ; the decreases in anther length were smaller than the decreases in engorged pollen grain numbers. Without shading, High-N did not change anther length, whereas High-N-cooling resulted in a 13% decrease. Shading decreased anther length by 6% under Standard-N and by 12% under High-N (Table 1).

Table 2 shows the numbers of engorged pollen grains and germinated pollen grains on the stigma. High-N under unshaded conditions decreased the numbers of both pollen grains and germinated pollen grains shed on the stigma. Cooling enhanced these decreases. Pollen grain numbers on the stigma were over 90, even under High-N combined with cooling and shading, but very few germinated pollen grains were observed. Without cooling, the ratio of germinated pollen grain numbers to pollen grain numbers shed on the stigma was around 10%, while after cooling, this ratio was around 5%, except for under Standard-N. Plants of High-N plus shading conditions showed a smaller decrease in the numbers of pollen grains shed on the stigma and germinated pollen grains than did plants subjected to High-N without shading.

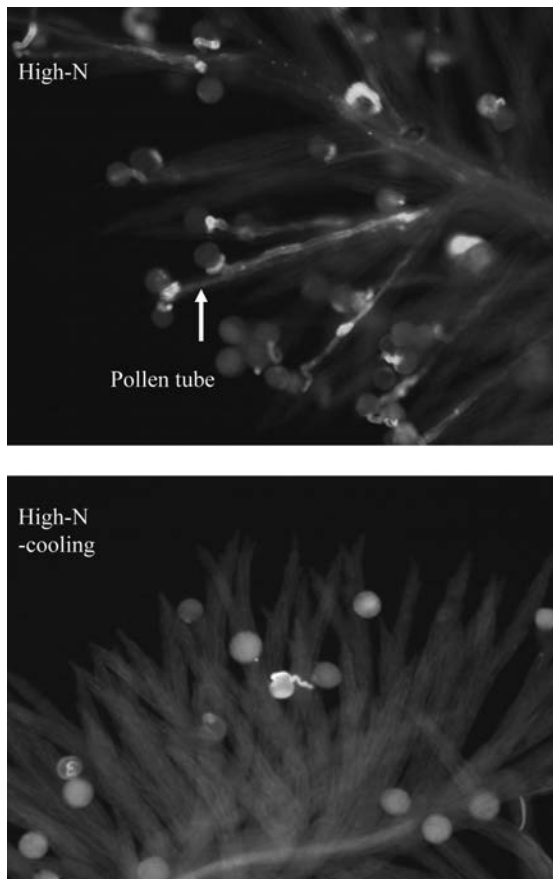


Fig. 6 Pollen germination on the stigma under High-N.

High-N: 80 ppm; High-N-cooling: High-N and 12°C cooling for 3 days at the young microspore stage. Pollen tubes were stained by aniline blue (green fluorescence). Cooling at the young microspore stage suppressed pollen germination and pollen tube elongation.

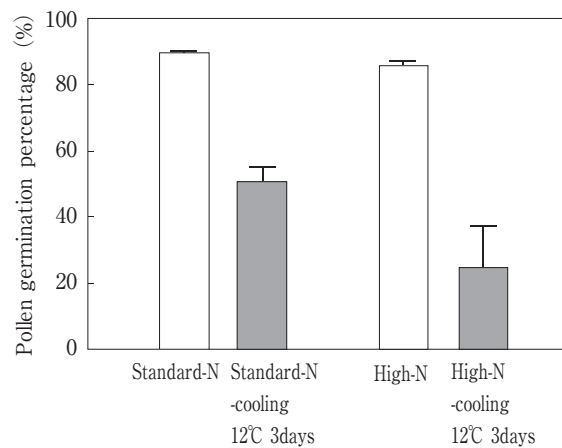


Fig. 7 Effects of High-N and cooling on pollen grain germination

Standard-N : 10 ppm ; High-N: 80 ppm ; High-N-cooling : High-N and 12°C cooling for 3 days at the young microspore stage. Numbers of spikelets used : 21 for Standard-N, 21 for Standard-N plus cooling, 11 for High-N, 8 for High-N-cooling. Bar : standard error.

$$\text{pollen germination percentage} = \frac{\text{germinated pollen grains}}{(\text{engorged pollen grains} + \text{germinated pollen grains})} \times 100$$

Experiment 3 pollen germination

Under High-N condition, many of pollen grains germinated and elongated pollen tubes well in plants grown without cooling. After 3 days of cooling, few pollen grains germinated and pollen tubes were stunted (Fig. 6).

A reduction in the pollen germination ratio by cooling was also observed in the experiment with agar plates. After cooling, the pollen germination ratio was 51% in plants grown under Standard-N and 25% in plants grown under High-N, decreasing to half of that under Standard-N (Fig. 7).

Discussion about the combined effects of High-N, cooling and shading on the factors that affect fertility

High-N has been reported to reduce engorged pollen grain numbers and anther lengths (Tatsuta, 1999; Gunawardena *et al.*, 2003) and to increase numbers of sterile spikelets (Yamada and Kono, 1976; Gunawardena *et al.*, 2003). Pollen grain numbers are limited by the number of differentiated microspores, and environmental conditions affect microspore formation. For example, microspore numbers increase as water temperature increases (Satake, 1989), and they decrease with High-N application (Lee, 1990). In the variety Sangpung, a 3% reduction in microspore numbers was observed under High-N (Lee, 1990). In this study, the decrease in microspore numbers as a result of High-N ranged from 23% (experiment 1) to 13-14% (experiment 2). Along with the reduction in microspore numbers, anther length, numbers of engorged pollen grains and germinated pollen grains on the stigma (Tables 1,

2) were also decreased. However, these decreases in microspore numbers did not appear to be large enough to affect percentage fertility, which was close to 100% without cooling (Figs. 4, 5), in agreement with the results of Lee (1990).

In contrast, High-N-cooling had a greater effect on pollen grain development than that of High-N alone. The decrease in engorged pollen grain numbers was accompanied by a large decrease in fertility (Figs. 4, 5).

In experiments using the variety Sangpung, Lee (1990) showed that a 3-day treatment at 12°C reduced fertility by 13% under Standard-N and 19% under High-N, while the same temperature regime in the present experiment led to 36% and 42% decreases, respectively (Fig. 5). Cooling for 4 days had a much greater effect on fertility, reducing it by 58% under Standard-N and by 88% under High-N (Fig. 4).

Cool summer weather is often accompanied by low intensity of sunlight. Kiyosawa and Aimi (1959) noted no effect of shading on the reduction of fertility owing to cooling, while Wada *et al.* (1972) showed that the effects of shading on cool injury differed among genotypes. In the case of "Hayayuki", shading alone did not decrease percentage fertility, though it decreased the numbers of microspores and of engorged pollen grains per anther. Shading plus cooling caused larger decreases in engorged pollen grain numbers, resulting in lower fertility (Fig. 5). These results suggest that study of the microspore development under shading in varied cultivars is important to clarify the combined effects of shading and cooling.

It is interesting to consider the similarity between the male sterility caused by cooling and the cytoplasmic male sterility (CMS) used for plant breeding. Based on the results of a reciprocal crossing experiment, the cool tolerance of Hayayuki has been thought to exist in the nucleus (Sawada 1978). In Norin-PL8, a highly cool-tolerant breeding line developed by the cross Silewah/Hokkai241, the cytoplasm is not associated with cold tolerance (Saito, 2006). Hokkai241 was developed by the cross Norin-22/Hayayuki. From these observations, it appears likely that the sterility caused by cooling in Hayayuki is generated by a different mechanism from that of CMS.

Nishiyama (1983) reported that 143 engorged pollen grains per anther were necessary to obtain 10% fertility, 392/anther for 50% fertility and 640/anther for 90% fertility. Using the rice cultivars Hayayuki and Norin 20, Satake (1991) estimated that 360 engorged pollen grains per anther were necessary for 50% fertility and 650/anther for 90% fertility. In this study, in the absence of cooling, spikelets showed over 90% fertility and had over 800 engorged pollen grains per anther, corresponding to the results of Satake (1991) and Nishiyama (1983). With cooling, the relationship between percentage fertility and engorged pollen grain numbers observed in experiment 1 was similar to the results of Satake (1991) and Nishiyama (1983). However, in experiment 2, percentage fertility was lower than that estimated by engorged pollen grain numbers, indicating that these numbers alone are not sufficient to estimate percentage fertility.

Moriwaki (1959) found that sterility and pollen grain numbers on the stigma were correlated. Satake and Shibata (1992) reported that more than 40 grains were shed on the stigma when fertility was higher than 90%. In this study, pollen grain numbers shed on the stigma were near or over 100 in all cases. These numbers were much larger than those reported by Satake and Shibata (1992).

It is interesting to note that, even in the plants with similar pollen grain numbers shed on the stigma, fertility was lower in cooled plants, and was much lower in plants under High-N-cooling. Satake (1989) also showed that when pollen grain numbers shed on the stigma were almost the same, fertility of cooled plants was lower than that of uncooled plants. These results suggest that pollen grains in cooled plants,

which seemed to be normal, might have lower activity.

In summary, High-N starting from the spikelet differentiation stage and continuing to the young microspore stage decreased microspore and engorged pollen grain numbers, and shading caused further decreases. Cooling under both Standard-N and High-N slightly decreased microspore numbers but notably decreased engorged pollen grain numbers in the anthers of High-N plants. Further, High-N-cooling conspicuously suppressed pollen germination and pollen tube elongation. These results suggest that the reduction in fertility under High-N is the result of a reduction in engorged pollen grain numbers and pollen viability.

III Proteome analysis of rice mature anthers

At anthesis, the number of pollen grains on the stigma is an important factor in fertility, and about 40 grains are enough for fertilization (Satake and Shibata, 1992). In cooled plants, however, the fertility of plants grown under High-N was lower than that of plants grown under Standard-N, even though they had almost the same numbers of pollen grains on the stigma (Table 2). This result suggested that High-N affected the activity of mature pollen of normal appearance. In this chapter, to investigate the physiological changes caused by cooling under High-N, comparative proteome analysis was performed on mature anthers and searched for proteins that might reduce the ability of pollen to germinate.

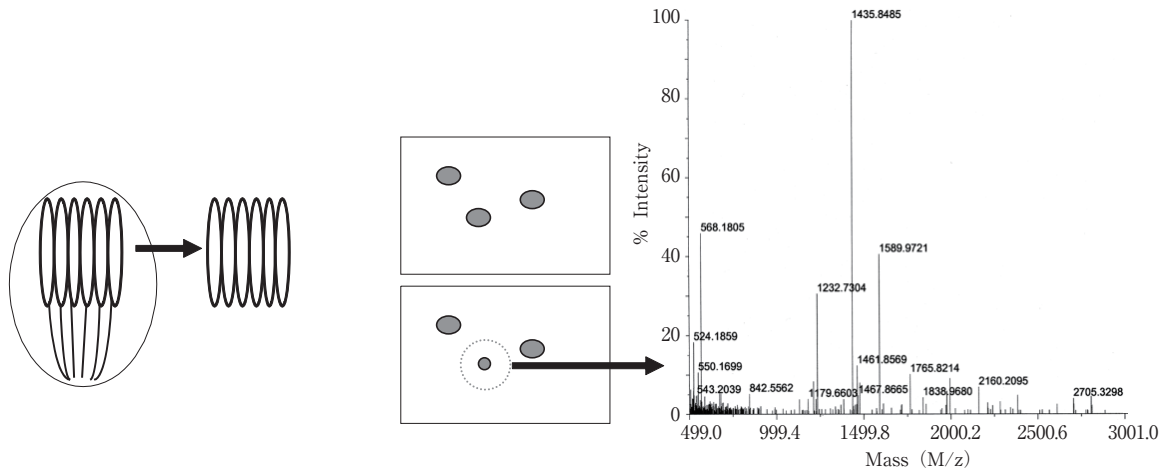
Materials and Methods

Plant materials

The plant materials and the growing conditions were the same as in experiment 1 in Chapter II. On the assumption that physiological changes brought about by High-N and by High-N-cooling at the young microspore stage are involved in enhanced sterility of rice plants, three treatments were set as follows: 1) Standard-N (10 ppm of N), 2) High-N (80 ppm of N) and 3) High-N-cooling. To obtain uniform samples, the third to the fifth spikelets from the top on the first and the second primary branches of the main culms were used. When the spikelets mentioned above were at the young microspore stage, plants for cooling were transferred to a cool chamber (12/12°C) for the High-N-cooling treatment. The cooling treatment lasted for 3 days in the pollen germination experiment. For proteome analysis, cooling lasted for 5 days to enhance the changes in proteins. After cooling, pots were transferred back to the 24/19°C chamber. The nutrient solution supply was discontinued when flowering ended.

Proteome analysis

Spikelets were detached from plants about 2 hours before flowering, and then mature anthers from which filaments had been carefully removed were collected and kept at -80°C (Fig. 8-1). One hundred to 150 anthers were homogenized in lysis buffer containing 8 M urea, 2% (v/v) NP-40, 4% (v/v) ampholine (pH 3.5-10 and pH 5-8; equal volumes), 5% (v/v) mercaptoethanol and 5% (v/v) PVP-40, and then centrifuged twice at 13,000 g for 5 min. The supernatant was used for two-dimensional polyacrylamide gel electrophoresis (2-DE). Protein extraction and 2-DE were carried out based on the protocol of Rakwal and Komatsu (2000). The proteins on preparative gels were stained with coomassie brilliant blue (CBB) solution. The protein spots whose density was changed by High-N or High-N-cooling were examined (Fig. 8-2). At least 3 gels from the different experimental sets were compared. Proteins were identified using the Rice Proteome Database (<http://gene64.dna.affrc.go.jp/RPD/>) or by peptide mass fingerprinting (PMF) analysis (Mascot Search, Matrix Science, <http://www.matrix->



8-1. Obtaining uniform anthers

About 2 hours before flowering, mature anthers from which filaments were carefully removed were collected and kept at -80°C .

8-2. Differential analysis of the electrophoresis images

Protein spots changed by treatments were cut out. After the digestion by trypsin, partially degraded proteins were analyzed by MALDI-TOF MS.

Fig. 8 Uniform anthers and peptide mass fingerprinting analysis

8-1. Anthers were removed from the spikelets about 2 hours before flowering. 8-2. Protein spots that were changed by High-N or High-N-cooling were picked up and partially degraded, then the protein mass spectrum analyzed by MALDI-TOF MS (Voyager DE-PRO, Applied Biosystems). Proteins were identified from the mass spectrum data by PMF analysis.

science.com/home.html) from mass spectra from matrix-assisted laser desorption/ionization-time of flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) (Voyager DE-PRO, Applied Biosystems, Carlsbad, CA, USA).

Results

Over 1000 protein spots were detected on 2-DE gel images (Fig. 9), and 11 spots whose densities changed under High-N and High-N-cooling treatments were found. Nine of the 11 protein spots (spots 732, 761, 783, 442, 839, 912, 722, 634 and 802) were identified by a database search, but 2 protein spots (spots 505 and 545) did not have matched protein data. Among the 9 proteins identified, 7 were categorized into 3 groups: those involved in 1) cell elongation (spots 732, 761 and 783), 2) stress responses (spots 442, 839 and 912) and 3) sugar metabolism (spot 722) (Table 3).

The 3 protein spots involved in cell elongation were identified as expansins (EXPs). All of these were upregulated under High-N, whereas under High-N-cooling, spot 783, identified as β -expansin 13 (EXPB13), was upregulated, spot 732, identified as α -expansin 18 (EXPA18), was downregulated, and spot 761, identified as EXPB1, was not changed (Table 3, Fig. 12).

The 3 spots involved with stress response were also upregulated under High-N, and 2 of them, spot 442 and spot 912, were downregulated by High-N-cooling. Spot 442 was identified as calcium-dependent protein kinase isoform 11 (CDPK11), and spot 912 was identified as heat shock protein 82 (HSP82). Spot 839, which was not changed by High-N-cooling, was identified as putative aldehyde dehydrogenase (ALDH) (Table 3, Figs. 9, 10, 11). Spot 722, identified as fructokinase II (FKII), was not changed under High-N and was increased by High-N-cooling (Table 3, Fig. 9).

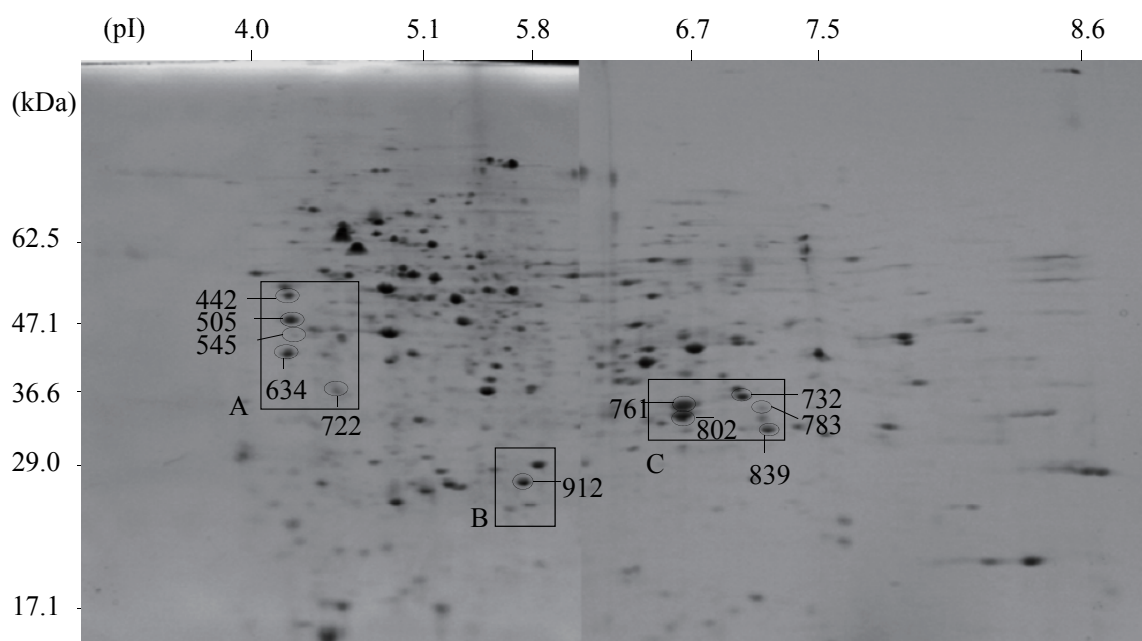


Fig. 9 2-DE image of rice mature anther proteins.

Over 1,000 protein spots were separated. Protein spots changed by treatments were circled and numbered based on the rice proteome database (<http://gene64.dna.affrc.go.jp/RPD/>). A to C indicated areas described in Figure 10 to 12.

Table 3 Changes in anther proteins caused by high nitrogen and cooling treatments.

Spot No.	Standard -N	High-N	High-N -cooling	Accession No.	Matched Protein	Organism
<u>Cell elongation</u>						
732*	+	++	+	AF394453	α -expansin 18 (EXPA18)	<i>Oryza sativa</i>
761	-	++	++	Q9LD01	β -expansin 1 (EXPB1)	<i>Oryza sativa</i>
783*	+	+	++	AF391106	β -expansin 13 (EXPB13)	<i>Oryza sativa</i>
<u>Stress responses</u>						
442	+	++	+	P53684	calcium-dependent protein kinase, isoform 11 (CDPK11)	<i>Oryza sativa</i>
839*	+	++	++	AF148877	putative aldehyde dehydrogenase (putative ALDH)	<i>Oryza sativa</i>
912	+	++	+	Z15018	heat shock protein 82 (HSP82)	<i>Oryza sativa</i>
<u>Sugar metabolism</u>						
722	+	+	++	Q944F5	fructokinase II (FKII)	<i>Oryza sativa</i>
<u>Others</u>						
505	+	++	+	not identified		
545	-	-	+	not identified		
634*	+	-	+	AC1454	protein gp18 from bacteriophage A118 homolog	<i>Listeria innocua</i>
802*	+++	++	++	P31417	fatty acid binding protein 2	<i>Manduca sexta</i>

Protein spots were numbered based on the rice proteome database (<http://gene64.dna.affrc.go.jp/RPD/main.html>). Proteins were identified by PFM analysis, but protein spots with asterisks were identified with the rice anther gel image of the rice proteome database. Standard-N : 10 ppm of N, High-N : 80 ppm of N, High-N-cooling : High-N and treated at 12°C for 5 days. "-" indicated that the protein spot was absent, + ; weak, ++ ; present, +++ ; larger.

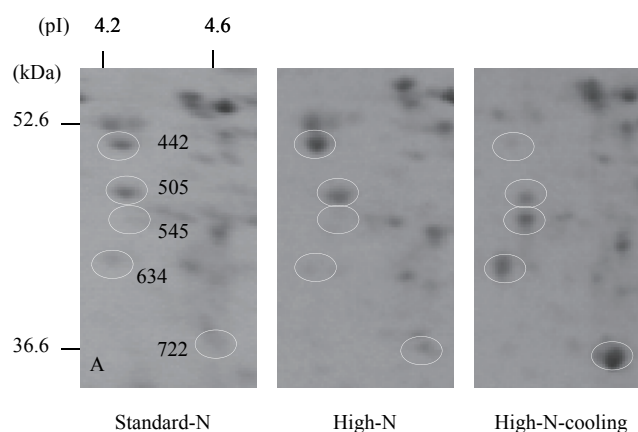


Fig. 10 Comparison of some of the proteins in the area A in Fig. 9 that were differentially displayed by treatments (circled).

Protein spots were numbered based on the rice proteome database (<http://gene64.dna.affrc.go.jp/RPD/>).

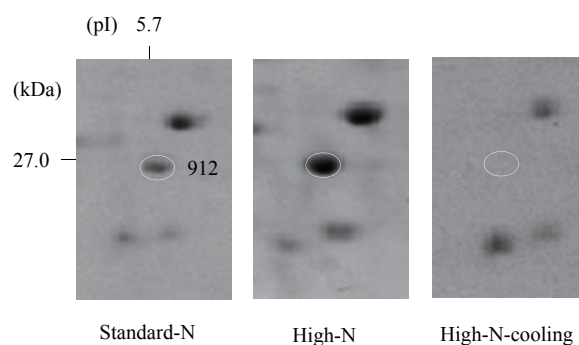


Fig. 11 Comparison of some of the proteins in the area B in Fig. 9 that were differentially displayed by treatments (circled).

Protein spots were numbered based on the rice proteome database (<http://gene64.dna.affrc.go.jp/RPD/>).

Discussion of the combined effects of High-N and cooling on the protein expression patterns in mature anthers

Numbers of engorged pollen grains per anther are highly correlated with fertility (Nishiyama, 1982), and the decrease in numbers of engorged pollen grains caused by cooling is the major factor in floral impotency. High-N supply decreases anther length and engorged pollen grain numbers (Lee, 1990; Tatsuta, 1999), and High-N strongly enhanced the decrease in engorged pollen grain numbers caused by cooling (Figs. 4, 5). Interestingly, even in plants with almost the same pollen grain numbers on the stigma, fertility was lower in cooled plants and became much lower with High-N-cooling (Table 2). High-N-cooling strongly reduced the germination ratio of pollen grains (Fig. 7). These results suggest that High-N enhances pollen grain damage caused by cool temperature at the young microspore stage and that High-N induces changes in the physiological conditions of pollen grains and additional cooling damages to pollen germination.

It is necessary to identify the proteins which are changed by treatments to clarify the physiology of what occurs under High-N-cooling. Proteome analysis of mature anthers was used to clarify the changes in the protein expression patterns with 2-DE and to identify separated proteins by N-terminal amino acid

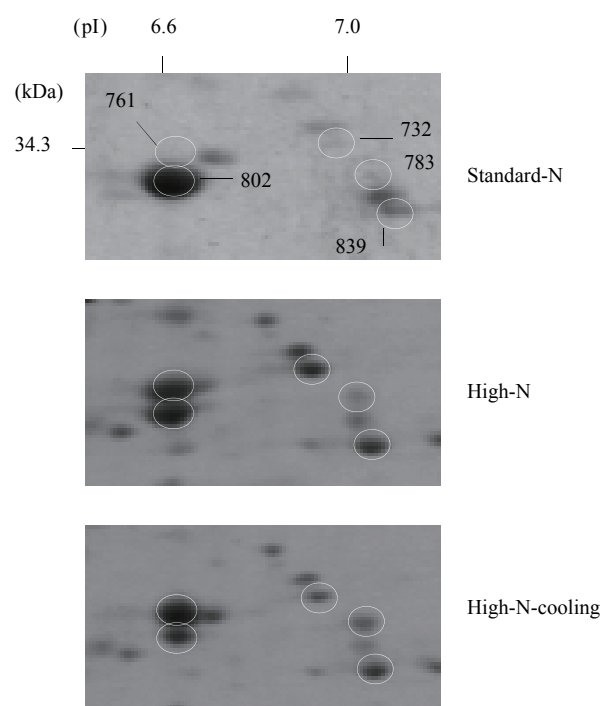


Fig. 12 Comparison of some of the proteins in the area C in Fig.9 that were differentially displayed by treatments (circled).

Protein spots were numbered based on the rice proteome database (<http://gene64.dna.affrc.go.jp/RPD/>).

sequencing and PMF analysis. Comprehensive 2-DE analysis of mature anthers was performed for plants grown under Standard-N, High-N and High-N-cooling. Over 1000 protein spots were detected on the 2-DE gels, but the treatments changed an extremely small number of protein spots (0.1% of total protein spots). Changes in protein spots involved in nitrogen metabolism were not observed, but changes in protein spots involved in cell elongation (EXPs), stress responses (CDPK11, putative ALDH, HSP82) and sugar metabolism (FKII) were detected.

EXPB1 (spot 761) was not detected under Standard-N, but large EXPB1 spots were found in anthers under both High-N and High-N-cooling. There were no differences in intensity of EXPB1 spots between cooled and uncooled plants. This result is in good agreement with that of Imin *et al.* (2004).

These are first evidences on changes in expression of EXPA18 and EXPB13 protein in rice anthers by stress conditions. It was reported neither of proteins are expressed in vegetative tissues (Lee and Kende, 2001; Lee and Kende, 2002). High-N-cooling decreased EXPA18 but increased EXPB13. These results support the idea that EXPA18 might be related to pollen germination.

CDPK, HSP and ALDH are categorized to proteins that are associated with stress responses. OsCDPK11 protein has been reported to accumulate in spikelets (Frattini *et al.*, 1999). In the present study, changes in CDPK11 protein in anthers were observed for the first time. CDPKs are involved in signal transductions in response to stimuli. Rice has 29 genes encoding CDPKs that are classified into 4 groups (Asano, 2005), and OsCDPK11 is classified into group I, whose gene expression is upregulated by a low temperature, salt stress and gibberellins, as in OsCDPK7 and OsCDPK13 (Saijo *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2003; Abbasi *et al.*, 2004). Both OsCDPK7 and OsCDPK13 are involved in cold tolerance in rice seedlings (Saijo *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2003). The increase in CDPK11 under High-N suggests that

High-N itself may be a kind of stress stimulus and that CDPK11 acts as a stress response factor. The decrease in CDPK11 after cooling indicates that CDPK11 may also act as a stress response factor not only in the very short term but also in the long term in plant tissues. HSPs were found as proteins induced by high temperature stress. Recently, HSPs were revealed as chaperones that play a role in protein folding (Vierling, 1991). Small molecular HSPs participate in stress resistance (Sabehat *et al.*, 1998). The role of HSP82, which was decreased by cooling in this study, remains to be clarified. Plants have many ALDH genes, some of which are induced by stresses such as osmotic stress, low temperature and anaerobic conditions (Nakazono *et al.*, 2000; Kirch *et al.*, 2004). The increase in these proteins, which are related to stress responses, suggests that High-N itself might induce some stress responses in rice anthers. CDPK11 and HSP82 were downregulated in cooled anthers, indicating that the decreases of these proteins might be related to cooling damage.

FK is an important enzyme involved in energy production and also in sugar storage (Pego and Smeeckens, 2000). Sink organs receive sucrose transported from source organs, and then sucrose is used for their development or is converted into starch (Schaffer and Petreikov, 1997). The amount of FK protein is highest several days before anthesis and decreases at anthesis (Kerim *et al.*, 2003), suggesting a role for this enzyme in the production of starch grains in pollen. Our observation that a small amount of FKII exists in uncooled anthers is consistent with the results of Kerim *et al.* (2003). On the other hand, higher amounts of FKII protein were observed in cooled anthers which contained a smaller number of engorged pollen grains. The increase in FKII may indicate that cooling treatments changed the sugar or starch metabolism in mature anthers, which may be related to pollen grain damage in cooled anthers.

In summary, the proteins participating in cooling damage were analyzed using the proteome method. Eleven spots on 2-DE gels were found to be changed by High-N and High-N-cooling, 7 of which were identified as proteins involved in cell elongation, stress responses or sugar metabolism. Taken together, these results indicate that cell elongation and sugar metabolism may be involved in the lower pollen germination ability after cooling at the young microspore stage. The increases in proteins related to stress responses suggest that High-N itself might be a stress condition, and the stress responses caused by High-N may enhance cool-temperature damage.

IV Gene expression analysis in rice mature anthers

Experiments reported in Chapter II showed that High-N-cooling at the young microspore stage strongly reduced the pollen germination ratio and that the number of engorged pollen grains was notably low. Because High-N alone did not decrease the pollen germination ratio, it is possible that the changes in metabolism under High-N, which do not affect pollen germination under normal temperature, enhance cooling damage and reduce pollen viability.

In Chapter III, changes in proteins under High-N and/or High-N-cooling, and changes in 11 proteins involved in cell elongation, stress responses and sugar metabolism were examined by proteome analysis of rice mature anthers. It is noteworthy that 3 of these 11 proteins were identified as EXPs, which are involved in cell elongation by loosening cell walls (Cosgrove, 2000). The hypothetical action of EXPs is a transient release of a short segment of matrix glycans attached to cellulose microfibrils, and, in consequence, the sliding of cellulose and matrix polymers occurs (Cosgrove, 1998). In maize, pollen allergen protein *Zea m 1*, which consists of at least 4 beta-expansins (EXPBs), functions by loosening the silk cell wall and is assumed to play a role in pollen tube elongation (Cosgrove *et al.*, 1997; Wu *et al.*, 2001; Li

et al., 2003; Wei *et al.*, 2004). In addition, an EXP-like protein is present on the wall of the pollen tube tip (Suen *et al.*, 2003). It is therefore speculated that EXPs may play similar roles also in rice plants.

In this chapter, besides candidate genes found in proteome analysis, the gene expression patterns of almost all rice alpha-expansin genes (*EXPAs*) and *EXPBs* in the mature anthers were analyzed by semiquantitative reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR) with gene-specific primers, focusing on the changes under High-N and High-N-cooling. In total, 18 *EXPAs* and 6 *EXPBs* were down-regulated under High-N-cooling, and *EXPAI* and *EXPBI* were upregulated under High-N and High-N-cooling. Molecular phylogenetic characteristics of these EXPs and their involvement in enhanced sterility of rice plants are discussed.

Materials and Methods

Plant Materials

Plant materials and the growing conditions were the same as in experiment 1 in Chapter II. Genes whose expressions were changed by High-N and by High-N-cooling were assumed to be involved in enhanced sterility of the rice plant. On this basis, 3 treatments were set up: 1) Standard-N (10 ppm of N), 2) High-N (80 ppm of N) and 3) High-N-cooling. Plants were cooled at the young microspore stage for 3 days at 12 °C. Spikelets were detached from the plants about 2 hours before flowering, and the mature anthers from which filaments had been carefully removed were immediately frozen in liquid nitrogen and kept at -80°C until analysis.

Semiquantitative RT-PCR

Total RNA was extracted from 100 μ g fresh weight of frozen samples of the anthers with an RNeasy Plant Mini Kit (Qiagen, Tokyo, Japan) according to the manufacturer's protocol. The first strands of the cDNA mixture were generated from 1.0 μ g of total RNA and 10 pmol Oligo d (T) 20 primer. Reverse transcription was done for 30 min at 42°C using ReverTra Ace - α - (Toyobo, Osaka, Japan). The resulting cDNA solution was then diluted 10-fold with TE (10 mM Tris-HCl, pH 8.0, 1 mM EDTA). The PCR reaction mixture (20 μ L) contained 1.0 μ L of diluted reverse transcribed first strands of cDNA in 15 mM Tris-HCl (pH 8.0), 50 mM KCl, 0.2 μ M each of two primers, 200 μ M dNTPs mixture (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA) and 0.04 units of AmpliTaq Gold DNA polymerase (Applied Biosystems, Foster City, CA, USA).

Genes for RT-PCR were selected based on proteome analysis of rice mature anthers (Table 3). Gene expressions of calcium dependent protein kinase 11 (*CDPK11*), heat shock protein 82 (*HSP82*), putative ALDH, fructokinase II (*FKII*) and *EXPs* were analyzed. Genes encoding these proteins were searched through BLAST program on DDBJ (Sugawara *et al.*, 2008) with deduced amino acid sequences. Gene-specific primer sets are shown in Table 4. For *EXPs*, 26 *EXPAs* and 16 *EXPBs* were examined. Primer sequences of *EXPs* that are not shown in Table 4 were taken from Lee and Kende (2001) and Lee and Kende (2002). The primer sets of actin (*Act1*; AB047313) were from Yamaguchi *et al.* (2002). The temperature cycling parameters were: 95°C for 10 min; 30-35 cycles of 94°C for 1 min, 52-55°C for 1 min, 72°C for 12 min. The number of amplification cycles and temperature conditions are shown in Table 4. The PCR conditions for all *EXPs* were fixed to 35 cycles of 55°C except for 30 cycles of 55°C for *EXPBI*. To confirm the uniformity of cDNA synthesis, cDNAs for actin were amplified at 27 cycles of 55°C. PCR products were separated by electrophoresis in 1.5% agarose gel, stained with ethidium bromide and visualized with the BioDoc-It System (UVP, Upland, CA, USA).

Table 4 Gene-specific primer sets used for the RT-PCR amplifications.

Gene Name	Primer Sequence 5' to 3'	Product	Accession No.		RT-PCR	
		Size bp	cDNA	Genomic DNA	temp. °C	cycle
<i>CDPK11</i>	CACCTGCTGGCAGCTTTTAC GTAAAAGCTGCCGCAGGTGC	215	X81393		52	32
<i>HSP82</i>	GTTTATGGAGGCACTGGCTG TCTCAGTGGTCTTCTCAGTCC	334	Z11920		55	30
putative <i>ALDH</i>	GGAGCGAAATGGTCTACTTGTGC ATCCCCATCTTGTACTCGTCCC	352	AF148877		52	30
<i>FK II</i>	CGCCAACGACGAGAAGAACG CTTGGTGGTGCAGATGGCTC	360	AF429947		55	30
<i>EXPA5</i>	CATCGTCGTGGTAGTTGCAGT GTTTCATAAGCAGCACACAGG	425	AF247162		55	35
<i>EXPA6</i>	CTTCGAGGGCAGGCAGTTCTAG GGAGTGAGTAGCAAACAAGC	378	AF247163		55	35
<i>EXPA7</i>	TGCAGGAAGAAGGGAGGGGTT TGCAGGAAGAAGGGAGGGGTT	464	AF247164		55	35
<i>EXPA10</i>	GGCAAAACATACACTGGCAAGC CATCAAGCCTCTGTAGTGC	256	AF247165		55	35
<i>EXPB15</i>	TTCTCCATCCGCCTCACGTC CCTCTGCATCTCGCCGTTATTA	68		AF391108	55	35
<i>EXPB17</i>	TACACCTCGCGCCTCAACTTC AACGCTCTCTTCTCCTTCGG	331		AF391110	55	35
<i>EXPB18</i>	CGACGGTGAATACTAATGATCGC TGGTAAATCATCTGCGCCTCC	214	Os05g0246300		55	35

Primer sets for *EXPs* which were not shown in this table were adopted from Lee and Kende (2001) and Lee and Kende (2002). RT-PCR conditions ; 35 cycles of 55°C for *EXPs* but 30 cycles of 55°C for *EXPB1*, 27 cycles of 55°C for *Act1*.

Phylogenetic analysis

The sequences of *EXPs* examined by RT-PCR were taken from the database of Expansin central (<http://www.bio.psu.edu/expansins/>) and RAP-DB (Rice Annotation Project, 2008; The Rice Annotation Project, 2007). Multiple alignment of deduced amino acid sequences of *EXPs* from rice and Arabidopsis were done by the ClustalW ver. 1.83 program on DDBJ (Sugawara *et al.*, 2008; Thompson *et al.*, 1994), and the results were displayed using the TreeView program ver. 1.6.6 (Page, 1996).

Results

Gene expression analysis of *EXPs*

In the previous proteome analysis of rice mature anthers from plants grown under High-N and High-N-cooling, changes in the following proteins were observed: *EXPA18*, *EXPB1* and *EXPB13*, *HSP82*, *CDPK11*, putative *ALDH* and *FKII* (Table 3). For these candidate genes found by proteome analysis, gene expression patterns in mature anthers were analyzed by semiquantitative RT-PCR with gene specific primers. All semiquantitative RT-PCR experiments were carried out at least 3 times for each gene, and one series of data is shown in Figs. 13, 14 and 15. Gene expression of *EXPA18* was repressed under High-N-cooling. *EXPB1*, putative *ALDH* and *FKII* were upregulated under High-N, and *EXPB1* and *FKII* were intensified under High-N-cooling. On the other hand, gene expression of *EXPB13*, *CDPK11* and *HSP82* was not changed under High-N or under High-N-cooling (Fig. 13).

The rice genome contains 33 *EXPA*s and 18 *EXPB*s (<http://www.bio.psu.edu/expansins/>). From these *EXPs*, gene expression of 26 *EXPA*s and 16 *EXPB*s in the anthers were examined (Figs. 14, 15).

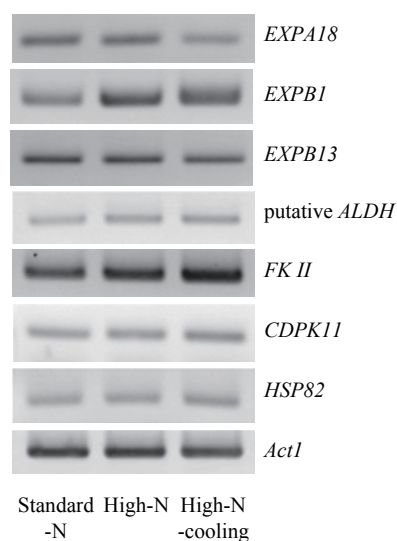


Fig. 13 Semi-quantitative RT-PCR analysis of genes selected based on proteome analysis of rice mature anther.

EXPA; alpha-expansin, *EXPB*; beta-expansin, *ALDH*; aldehyde dehydrogenase, *FK*; fructokinase, *CDPK*; calcium dependent protein kinase, *HSP*; heat shock protein. The first strand of the cDNA mixtures were generated from the total RNA of mature anther. The PCR products were electrophoresed in agarose gel and visualized with the ethidium bromide. The template cDNA are the anthers about two hours before glumes opening. Standard-N; 10 ppm, High-N; 80 ppm, High-N-cooling; High-N and 12°C for 3 days at the young microspore stage.

The RT-PCR images of *EXPA18*, *EXPB1*, *EXPB13* and *Act1* were identical to those in Fig. 13.

For *EXPAs*, gene expressions of all *EXPAs* except *EXPA12* in the anthers were observed (Fig. 14). High-N did not change gene expressions of most of *EXPAs*, but *EXPA1* was upregulated. High-N-cooling did not change gene expressions of *EXPA1*, *EXPA2*, *EXPA4*, *EXPA5*, *EXPA6*, *EXPA7* or *EXPA10*. It is noteworthy that 18 of 26 expressed *EXPAs* (*EXPA3*, *EXPA8*, *EXPA9*, *EXPA11*, *EXPA13*, *EXPA14*, *EXPA15*, *EXPA16*, *EXPA17*, *EXPA18*, *EXPA19*, *EXPA20*, *EXPA21*, *EXPA22*, *EXPA23*, *EXPA24*, *EXPA25*, *EXPA26*) were repressed under High-N-cooling (Fig. 14).

All *EXPBs* examined were expressed in the anthers (Fig. 15). Similar to the expression patterns of *EXPAs*, High-N did not change gene expressions of *EXPBs* except *EXPB1* and *EXPB5*, which were upregulated under High-N. High-N-cooling repressed 6 *EXPBs* (*EXPB5*, *EXPB7*, *EXPB11*, *EXPB12*, *EXPB14* and *EXPB17*) (Fig. 15).

Phylogenetic analysis of EXPs

Including *EXPA18*, *EXPB1* and *EXPB13*, a total of 25 *EXPAs* out of 26 *EXPAs* and 16 *EXPBs* were also expressed in the anthers. Among these genes, 18 *EXPAs* and 6 *EXPBs* were repressed under High-N-cooling. To infer the evolutionary relationship among these *EXPs*, phylogenetic analysis were undergone based on the deduced amino acid sequences of rice *EXPAs* and *EXPBs*. The phylogenetic tree showed that these *EXPs* were divided into 3 groups for *EXPAs* and 4 groups for *EXPBs* (Fig. 16). Group A1 contains 15 *EXPAs* including *EXPA18*, and 13 *EXPs* in this group were downregulated under High-N-cooling. In group A1, *EXPA18*, *EXPA19* and *EXPA20* were clustered in the same clade, and these 3 *EXPAs* were all downregulated under High-N-cooling. As expressions of a large number of *EXPAs* in group A1 were downregulated by High-N-cooling, phylogenetic analysis was executed between rice *EXPAs* in group A1 and 26 fully assigned Arabidopsis *EXPAs*. Only Arabidopsis *EXPA11* (*AtEXPA11*)

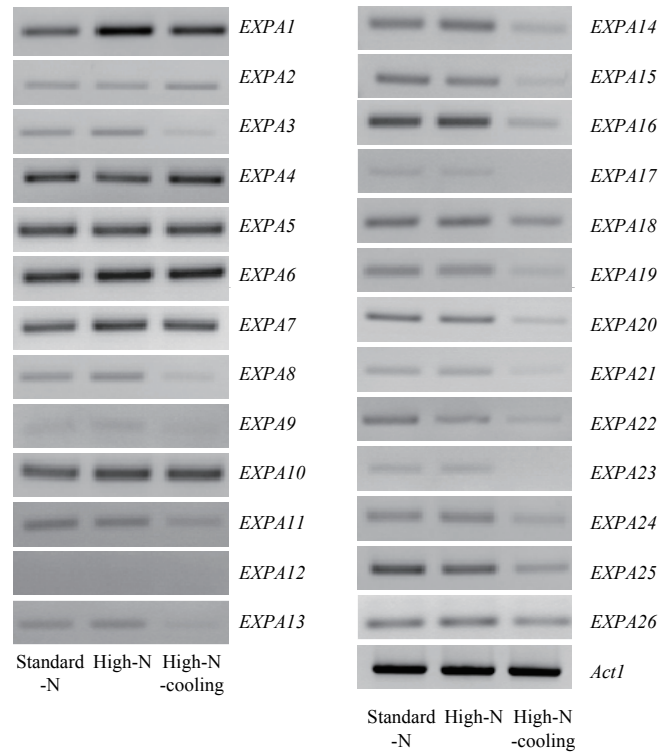


Fig. 14 Semiquantitative RT-PCR analysis of rice *EXPA*.

The RT-PCR image of *EXPA18* and *Act1* was identical to that in Fig. 13, respectively. Standard-N; 10 ppm, High-N; 80 ppm, High-N-cooling; High-N and 12°C for 3 days at the young microspore stage.

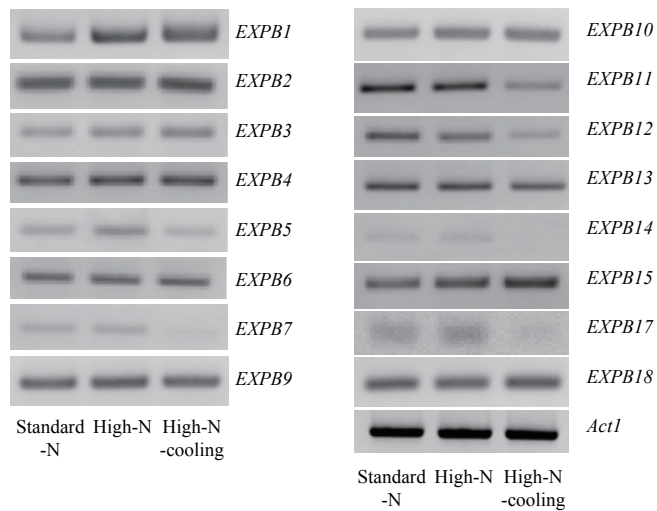


Fig. 15 Semiquantitative RT-PCR analysis of rice *EXPB*.

The RT-PCR image of *EXPB1*, *EXPB13* and *Act1* was identical to that in Fig. 13, respectively. Standard-N; 10 ppm, High-N; 80 ppm, High-N-cooling; High-N and 12°C for 3 days at the young microspore stage.

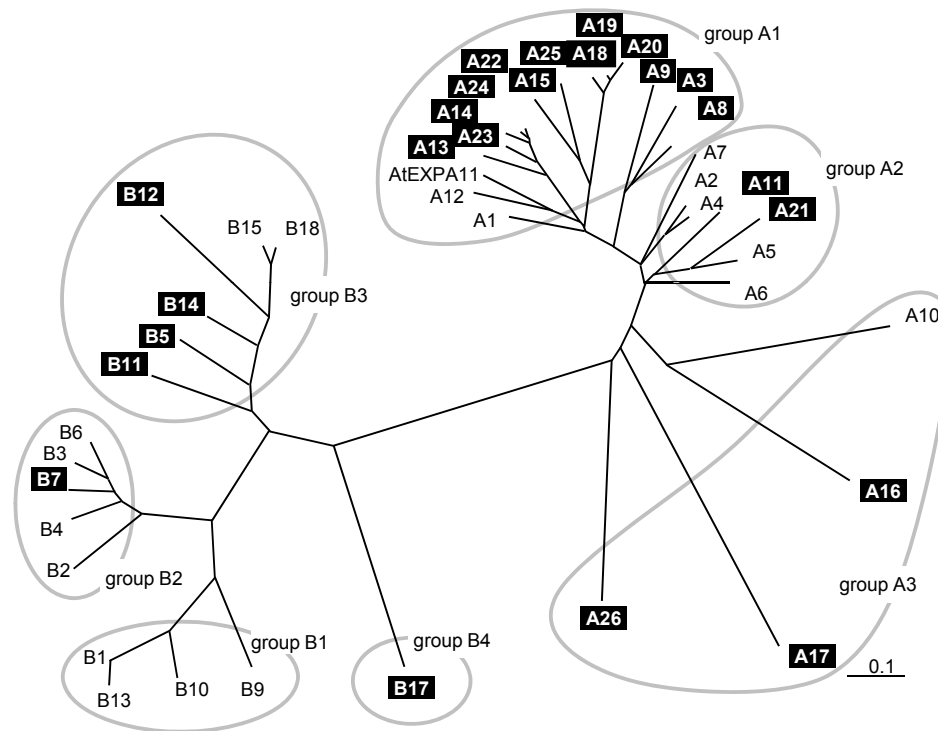


Fig. 16 Phylogenetic tree of rice EXPs.

A; EXPA, B; EXPB. AtEXPA11; Arabidopsis EXPA11. White letters in the black background indicated EXPs down-regulated under High-N-cooling. EXP family was divided into 3 groups of EXPAs and 4 groups of EXPBs. The sequences of EXPs were adopted from the Expansin Central (<http://www.bio.psu.edu/expansins/>), and RAP-DB (Rice Annotation Project 2008; Itoh et al., 2007).

A multiple sequence alignment was performed with ClustalW ver. 1.83 program (Sugawara et al., 2008) and the results were displayed using the TreeView program (Page, 1996). Scale bar; 0.1 amino acids substitutions per site.

was phylogenetically linked to group A1 among 26 AtEXPAs (data not shown). According to the phylogenetic analysis of group A1 between rice and Arabidopsis, AtEXPA11 was more closely related to EXPA1 and EXPA12 than to EXPA18 (Fig. 16).

Discussion of the combined effects of High-N and cooling on the gene expression in mature anthers

High-N enhances the repression of pollen development and pollen viability by cooling at the young microspore stage (Chapter II). To clarify the physiological aspects involved in this enhancing effect of High-N, a comparative proteome analysis of the mature anthers was undertaken. Eleven proteins in the anthers altered under High-N and/or High-N-cooling were observed (Chapter III).

Because of the similarity between the expression patterns of protein and genes, changes in EXPA18, EXPB1, putative ALDH and FKII proteins in the anthers are assumed to be regulated at the transcriptional level. However, the gene expression patterns of *EXPB13*, *CDPK11* and *HSP82* were not similar to the pattern of proteins, suggesting the possible post-transcriptional modulation of these genes, such as the regulation of translation, protein maturation and protein turnover.

At flowering, pollen grains swell rapidly for anther dehiscence (Matsui *et al.*, 1999), and pollen grains shed on the stigma start to germinate and elongate pollen tubes. It is assumed that EXPs might be involved in these events, because cell wall loosening is thought to be essential for pollen grain swelling,

germination and pollen tube elongation. At the time of pollen tube penetration, glucanase and xylanase in the pollen coat are thought to break down the stigma wall, and an EXP-like protein is reported to be present on the wall of the pollen tube tip in maize (Suen *et al.*, 2003).

As described in the introduction, *Zea m 1* protein, which is abundant in maize pollen grains and consists of at least 4 EXPBs, is assumed to play a role in pollen tube elongation by loosening silk cell walls (Cosgrove *et al.*, 1997; Wu *et al.*, 2001; Li *et al.*, 2003; Wei *et al.*, 2004). Based on the abundance of EXPB1 protein in mature anthers (Table 3, Fig. 12) and the close similarity between the amino acid sequences of EXPB1, EXPB13 and *Zea m 1*, it is likely that rice EXPB1 and EXPB13 have similar functions to those of *Zea m 1* and may be related to decreased fertility. Protein and gene expression of EXPB1 was, however, upregulated by High-N and was not downregulated by High-N-cooling in the present study. Imin *et al.* (2004) observed partially degraded EXPB1 proteins in trinucleate stage anthers after cooling at the young microspore stage and suggested protein abnormality. These results suggest that EXPB1 is highly expressed under High-N-cooling, but the partially degraded EXPB1 protein caused by cooling might have some inhibitory effects on loosening of stigma cell walls and subsequent pollen tube elongation.

Different members of the large *EXP* gene family in rice have been observed to be expressed in different tissues. *EXPA1*, *EXPA4*, *EXPA5*, *EXPA10*, *EXPA13* and *EXPA16* are expressed both in leaves and roots (Cosgrove, 2000; Lee and Kende, 2001; Shin *et al.*, 2005), whereas *EXPA5*, *EXPA10*, *EXPA18* and *EXPA26* are expressed in anthers (Kerim *et al.*, 2003; Shin *et al.*, 2005; Dai *et al.*, 2007) and *EXPA26* is considered as anther specific (Shin *et al.*, 2005). *EXPB2*, *EXPB3*, *EXPB4* and *EXPB6* are expressed in both above-ground tissues and roots, while *EXPB11* and *EXPB12* are expressed only in above-ground tissues (Lee and Kende, 2002). These results, however, were obtained under normal conditions, and the changes in gene expression under stress conditions are not well known. Therefore, expression patterns of members of the *EXP* gene family in the anthers under High-N and High-N-cooling were examined.

Comprehensive gene expression analysis showed that all *EXPAs* examined (*EXPA1* to *EXPA26*) except for *EXPA12* were expressed in anthers, and High-N-cooling repressed 18 *EXPAs* (Fig. 14). As mentioned above, *EXPA5*, *EXPA10*, *EXPA18* and *EXPA26* are expressed in rice anthers (Shin *et al.*, 2005). Among these 4 *EXPs*, High-N-cooling downregulated *EXPA18* and *EXPA26*. Gene expression of *EXPBs* in anthers has not been well studied. In this study, 16 *EXPBs* were expressed, and High-N-cooling repressed 6 of them (Fig. 15).

High-N-cooling repressed a total of 18 *EXPAs* and 6 *EXPBs* but upregulated EXPB1. The downregulation of large numbers of *EXPs* by High-N-cooling indicates that these *EXPs* may be involved in decreases in pollen germination and fertilization. Under High-N-cooling, HSP82 and CDPK11 were downregulated (Table 3, Figs. 10, 12). Arabidopsis *AtHSP81*, which belongs to the same HSP90-family as rice HSP82, is expressed in pollen grains (Yabe *et al.*, 1994). CDPK is transcribed in both mature and germinating pollen. It is required for pollen germination (Taylor, 1997) and has been shown to participate in cold stress signaling (Abbasi *et al.*, 2004). These properties of HSP and CDPK suggest that HSP82 and CDPK11 may be involved in the downregulation of *EXPs* in rice anthers under cooling stress.

To infer the evolutionary relationship among these *EXPs*, a phylogenetic analysis was undergone. The generated phylogenetic tree was divided into 3 groups for *EXPAs* and 4 groups for *EXPBs*. As High-N-cooling repressed most *EXPAs* in group A1, including *EXPA18*, a phylogenetic analysis was executed between rice *EXPAs* in group A1 and Arabidopsis *EXPAs*, and only *AtEXPA11* was phylogenetically linked to group A1. *AtEXPA11* was similar to rice *EXPA18* (61% identity); however, *AtEXPA11* had much stronger similarities to *EXPA1* (79% identity), whose gene expression was increased by High-N-cooling and *EXPA12* (73% identity), whose gene expression was not detected in the anthers, indicating

that AtEXPA11 is functionally not orthologous to EXPA18 (Fig. 16).

The rice *EXP* genes examined in this study are located on all chromosomes except chromosomes 9 and 11. Chromosome 3 harbors the largest number of *EXPs*, 10 *EXPA*s including *EXPA18*, *EXPA19*, *EXPA20* and 7 *EXPB*s (Expansin Central; <http://www.bio.psu.edu/expansins/>). Especially, *EXPA18*, *EXPA19* and *EXPA20* are arranged in tandem on the long arm of chromosome 3 and showed high similarity to each other. In addition to these sequence similarities and gene arrangements, High-N-cooling repressed gene expression of all 3 of these *EXPs* and downregulated EXPA18 protein. Therefore, it is hypothesized that EXPA18, EXPA19 and EXPA20 form a distinct subfamily that may be similarly regulated by environmental conditions in rice and play a crucial role in responding to the repression of pollen germination under High-N-cooling. It is also possible that monocotyledonous plants, including rice, have diversified group A1-type *EXPs* from a common ancestor of monocotyledons and dicotyledons, to adapt to environmental stresses such as cool temperature during anther development and pollen germination under different nitrogen conditions.

In summary, when gene expression patterns of rice anther genes in relation to the effects of High-N on cool-temperature damage were analyzed, a total of 25 *EXPA*s and 16 *EXPB*s were expressed in the anthers. *EXPA1* and *EXPB1* were upregulated under High-N, and 18 *EXPA*s, including *EXPA18*, and 6 *EXPB*s were downregulated under High-N-cooling. As High-N-cooling repressed numbers of *EXPs*, it appears that these *EXPs* may be involved in the enhanced decreases in the pollen germination ratio under High-N-cooling.

V Discussion

Conquering the cool-temperature damages caused by frequent cool weather in the summer season has been a big challenge for rice cultivation in northern Japan. In 1993, Japan experienced the coolest weather it had had in a century, which caused a catastrophic decrease in the rice yield, especially on the Pacific Ocean side of northern Japan, because of spikelet sterility. In the special research following this extraordinary event, it was concluded that the yield reduction was a result of the sterility caused by the continuous cooling during the booting stage, which is the stage most sensitive to coolness (Mayumi, 1994). Study results also confirmed that the decrease in the yield caused by cool weather correlated with the increase in nitrogen level (Kodama, 1994; Miyamori, 1994; Takeda, 1994; Tamagawa, 1994).

Satake *et al.* (1987) clearly demonstrated that High-N supply from the spikelet differentiation stage to the young microspore stage increased the sensitivity to coolness at the critical stage. The anther length and the number of pollen grains decrease under High-N conditions (Lee, 1990; Tatsuta, 1999). As the nitrogen level increases, the number of engorged pollen grains in cooled plants decreases (Lee, 1990). A variety of studies showed that cool temperature at the young microspore stage is the period most harmful to rice reproduction and causes a decrease in the number of engorged pollen gains, resulting in increased sterility (Hayase *et al.*, 1969; Satake and Hayase, 1970; Nishiyama, 1982; Satake *et al.*, 1988; Satake, 1991; Satake and Shibata, 1992). From these reports, it is speculated that the decrease in the suppression of pollen development is a major factor in increased sterility also in the case of High-N.

Often cool summer weather is accompanied by a low amount of solar radiation; however, the effects of shading vary among rice cultivars (Shimazaki, *et al.*, 1964; Wada *et al.*, 1972). In the present study, the influence that both High-N and shading exerted on the cool-temperature damage was examined focusing on pollen development.

1 Effects of high nitrogen supply and cooling at the young microspore stage on factors related to sterility

The effects of High-N-cooling at the young microspore stage on the factors involved in sterility, such as the numbers of microspores, engorged pollen grains and pollen grains on the stigma as well as the pollen germination ratio were analyzed with Hayayuki, an early-maturing japonica rice variety that has been used for research on cool-temperature damage. The number of microspores is the limiting factor for the number of pollen grains and cool tolerance increases as the microspore increases (Satake, 1989). It was reported that High-N decreases the number of microspores (Lee, 1990). In the present study, the number of microspores was reduced by High-N and/or shading, and it was strongly reduced by High-N plus shading even under normal temperatures. These results suggest that the pollen production ability is lowered by High-N and shading by decreasing the number of microspores.

The number of engorged pollen grains was markedly decreased by cooling at the young microspore stage. These decreases were enhanced by High-N and shading. The decreases in the number of engorged pollen grains were more notable than the decreases in the number of microspores. As the number of engorged pollen grains was decreased, the fertility declined.

Cooling decreased both the number of engorged pollen grains shed on the stigma and the number of germinated pollen grains on the stigma. High-N caused further decreases. The number of engorged pollen grains on one stigma was close to 100 even under High-N-cooling plus shading, and this was enough pollen for setting a seed. Even in plants with similar numbers of pollen grains shed on the stigma, the fertility in cooled plants was lower, and it was much lower under High-N and shading. These results suggest that pollen grains in cooled plants, which seemed to be normal, might have lower activity.

After gaining these results, the viability of pollen grains in plants grown under High-N and High-N-cooling conditions was solely focused on. Pollen germination and pollen tube elongation were notably suppressed by High-N-cooling. To exclude the effect of the stigma and to quantify the pollen viability, the pollen germination was tested on an agar plate, and conspicuous suppression of pollen germination by High-N-cooling was observed.

Taken together, the enhanced suppression of pollen development and pollen viability are likely to be involved in the intensified reduction in fertility under High-N-cooling. The suppression of pollen germination by High-N-cooling was notable and may have a direct effect on sterility.

2 Proteome analysis and gene expression analysis

Recently, the map-based sequencing of the rice genome was completed, and about 37,000 genes were detected (Rice Genome Sequencing Project, 2005). From the gene expression analysis, we can identify genes that may contribute to physiological phenomena. Because the transcript levels of genes are, however, sometimes inconsistent with the levels of translated proteins (Hirano, 2001), it is desirable to examine of both gene expression and protein expression in the tissue. Proteome analysis is a powerful tool and has been remarkably developed in the last 10 years. In proteome analysis, a large number of proteins are analyzed by separation and purification of proteins and identification of protein by protein or genome database (Hirano, *et al.*, 2004).

To clarify the changes in physiological aspects of the damages on pollen grains caused by High-N-cooling, protein expression patterns in mature anthers were observed by comparative proteome analysis. In mature anthers, only 11 spots whose densities were changed by High-N and High-N-cooling treatments were observed, and 7 out of 11 protein spots were identified as known rice proteins. Three proteins were expansins (EXPs) that are involved in cell elongation. Alpha-EXP18 (EXPA18) and beta-EXP1 (EXPB1)

were increased by High-N. EXPA18 was decreased and EXPB13 was increased by High-N-cooling. Three other proteins involved in stress responses, namely, calcium-dependent protein kinase 11 (CDPK11), putative aldehyde dehydrogenase (ALDH) and heat shock protein 82 (HSP82), were increased by High-N. Although CDPK11 and HSP82 were decreased by High-N-cooling, Fructokinase II (FKII), which is involved in sugar metabolism, was increased by the same treatment. These results indicate that these proteins might be associated with a repression in the pollen activity.

As noted above, the level of protein expression is not always consistent with the level of gene expression, so the gene expression patterns of those candidate genes detected from the proteome analysis were analyzed. From the similarities between the patterns of gene expression and protein expression, the changes in EXPA18, EXPB1, putative ALDH and FKII proteins in the anthers are assumed to be regulated at the transcriptional level. Gene expression of EXPB13, CDPK11 and HSP82 were not changed by High-N or High-N-cooling. This may suggest the post-transcriptional modulation of these genes, such as the regulation of translation, protein maturation and protein turnover. Taken together, changes in cell elongation and sugar metabolism might be involved in damages to pollen grains. Since these 3 proteins known to be involved in stress responses were increased by High-N, it is also speculated that High-N itself might act as a kind of stressor.

It is interesting to note that 3 out of 7 changed proteins were EXPs. As EXPs have cell wall loosening activity, it seems likely that EXPs are involved in pollen grain swelling, germination and pollen tube elongation. Since the cell wall loosening is thought to be essential for these processes, expression patterns of members of the *EXP* gene family, 26 *EXPAs* and 16 *EXPBs*, in the anthers under High-N and High-N-cooling were examined. All 26 *EXPAs* and 16 *EXPBs* examined were expressed in the anthers, except *EXPA12*, and 18 *EXPAs* and 6 *EXPBs* were found to be repressed under High-N-cooling.

The downregulation of large numbers of *EXPs* by High-N-cooling suggest that these *EXPs* might be involved in the decreases in pollen germination and fertilization. In addition, HSP82 and CDPK11 were downregulated by High-N-cooling. Arabidopsis *AtHSP81*, which belongs to the same HSP90 family as rice HSP82, is expressed in pollen grains (Yabe *et al.*, 1994). CDPK is reported to be transcribed in both mature and germinating pollens and to be required for germination (Taylor, 1997). It is also reported to participate in cold stress signaling (Abbasi *et al.*, 2004). These properties of HSP and CDPK suggest that HSP82 and CDPK11 may be involved in the downregulation of *EXPs* in rice anthers under cooling stress. Among these downregulated *EXPs*, *EXPA18*, *EXPA19* and *EXP20* had high similarities in the deduced amino acid sequences, suggesting that these three genes may constitute a distinct functional gene subfamily related to the decrease in the pollen germination ability caused by High-N-cooling.

In this study, the effects of High-N and High-N-cooling on increased sterility in rice plants were examined, and it was revealed that a number of *EXPs* were downregulated by High-N-cooling. It appeared that these *EXPs* might be involved in the enhanced decreases in pollen germination ratio, and consequently, cool-temperature damage under High-N-cooling. These results were obtained using mature anther samples, including various sporophytic anther tissues such as anther walls and vascular bundles, and gametophytic pollen grains. These individual tissues have a diverse range of transcriptional activity. Studies on the expression patterns and localization of transcripts and products of these genes in the germinated and/or sterile pollen grains are needed to clarify the role of *EXPs*, CDPK11 and HSP82 in rice pollen grains. Further studies on *EXPs* may contribute to improving the fertility potential of rice plants.

As the world population is increasing rapidly, food production must increase, which includes the production of rice, a major food crop. To improve the productivity of rice, it is of great importance to improve the cultivating technology in various environments. Even in tropical and subtropical areas, the

double-cropping of rice is occasionally difficult because of the cool temperature during the dry season (Farrell, 2006; Nishiyama, 1985). The early cropping of rice can also be subjected to cool weather in spring (Nishiyama, 1985). Nitrogen application systems must be renovated to guarantee both high yield and less damaging effects due to unpredictable cool weather. The findings obtained in the present study regarding the effects of High-N on cool-temperature damages in rice plants will form an important basis for future research to improve rice tolerance against cool weather in various soil conditions, as well as providing useful information for other areas of plant reproduction science.

References

- 1) Abbasi, F.; Onodera, H.; Toki, S.; Tanaka, H.; Komatsu, S. 2004. OsCDPK13, a calcium-dependent protein kinase gene from rice is induced by cold and gibberellin in rice leaf sheath. *Plant Mol. Biol.* 55 : 541-552.
- 2) Amano, T.; Moriwaki, R. 1984. Studies on cool injuries with special reference to cultural improvements in rice plants. III. The effect of compost application on cool temperature-induced sterility at the booting stage. *Jpn. J. Crop Sci.* 53 : 7-11.
- 3) Asano, T.; Tanaka, N.; Yang, G. Hayashi, N.; Komatsu, S. 2005. Genome-wide identification of the rice calcium-dependent protein kinase and its closely related kinase gene families: comprehensive analysis of the CDPKs gene family in rice. *Plant Cell Physiol.* 46 : 356-366.
- 4) Bokura, T. 2001. Meteorological Books 010, Yamase and Cool-Temperature Damage: History of rice farming in Tohoku region. (Kisho books 010, Yamase to Reigai: Tohoku inasaku no ayumi). Seizando, Tokyo**.
- 5) Carland, F.M.; Berg, B.L.; FitzGerald, J.N.; Jinamornphongs, S.; Nelson, T.; Keith, B. 1999. Genetic regulation of vascular tissue patterning in *Arabidopsis*. *Plant Cell* 11 : 2123-2138.
- 6) Cosgrove, D.J. 1998. Cell wall loosening by expansins. *Plant Physiol.* 118 : 333-339.
- 7) Cosgrove, D.J. 2000. New genes and new biological roles for expansins. *Current Opinion in Plant Biology* 3 : 73-78.
- 8) Cosgrove, D.J.; Bedinger, P.; Durachko, D.M. 1997. Group I allergens of grass pollen as cell wall-loosening agents. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 94 : 6559-6564.
- 9) Dai, S.J.; Chen, T.T.; Chong, K.; Xue, Y.B.; Liu, S.Q.; and Wang, T. 2007. Proteomic identification of differentially expressed proteins associated with pollen germination and tube growth reveals characteristics of germinated *Oryza sativa* pollen. *Mol. Cell. Proteomics* 6 : 207-230.
- 10) Farrell, T.C.; Fukai, S.; William, R.L. 2006. Minimising cold damage during reproductive development among temperate rice genotypes. I. Avoiding low temperature with the use of appropriate sowing time and photoperiod-sensitive varieties. *Aust. J. Agr. Res.* 57 : 75-88.
- 11) Frattini, M.; Morello, L.; Breviario, D. 1999. Rice calcium-dependent protein kinase isoforms OsCDPK2 and OsCDPK11 show different responses to light and different expression patterns during seed development. *Plant Mol. Biol.* 41 : 753-764.
- 12) Fukushima, A. 2007. Effects of timing of nitrogen topdressing on morphological traits in different rice varieties. *Jpn. J. Crop Sci.* 76 : 18-27.*
- 13) Goto, E.; Nomura, M.; Inatsu, O. 2006. Effect of the time of topdressing on the recovery rate of applied nitrogen, and its distribution in rice plant in a cold district. *Jpn. J. Crop Sci.* 75 : 443-450.*
- 14) Gunawardena T.A.; Fukai S.; Blamey F.P.C. 2003. Low temperature induced spikelet sterility in rice.

- I. Nitrogen fertilization and sensitive reproductive period. Aust. J. Agric. Res. 54 : 937-946.
- 15) Hayase, H.; Satake, T.; Nishiyama, I.; Ito, N. 1969. Male sterility by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. II. The most sensitive stage to cooling and fertilizing ability of pistils. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 38 : 706-711.
 - 16) Hayashi, T.; Kashiwabara, K.; Yamaguchi, T.; Koike S. 2000. Effects of high-nitrogen supply on the susceptibility to coolness at the young microspore stage in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Prod. Sci. 3 : 323-327.
 - 17) Hayashi, T.; Yamaguchi, T.; Nakayama, K.; Komatsu, S.; Koike, S. 2006. Susceptibility to coolness at the young microspore stage under high-nitrogen supply in rice (*Oryza sativa* L.). Proteome analysis of mature anthers. Plant Prod. Sci. 9 : 212-218.
 - 18) Hayashi, T.; Yamaguchi, T.; Nakayama, K.; Koike, S. 2009. Effects of High Nitrogen Supply on the Susceptibility to Coolness at the Young Microspore Stage in Rice (*Oryza sativa* L.) : Gene Expression Analysis in Mature Anthers. Plant Prod. Sci. 12 : 271-277
 - 19) Hirano, H. 2001. Proteome analysis-Theory and methods- (Proteome Kaiseki -Riron to Houhou-), Tokyo Kagaku Dojin, Tokyo. 1-14.
 - 20) Hirano, H. Islamb, N.; Kawasaki, H. 2004. Technical aspects of functional proteomics in plants. Phytochemistry 65 : 1487-1498.
 - 21) Imin, N.; Kerim, T.; Rolfe, B.G.; Weinman, J.J. 2004. Effect of early cold stress on the maturation of rice anthers. Proteomics 4 : 1873-1882.
 - 22) Ishima, T.; Taira, H.; Taira, H.; Mikoshiha, K. 1974. Effect of nitrogenous fertilizer application and protein content in milled rice on organoleptic quality of cooked rice. Rep. Natl. Food Res. Inst. 29 : 9-15.
 - 23) International Rice Genome Sequencing Project 2005. The map-based sequence of the rice genome. Nature 436 : 793-800.
 - 24) Kerim, T.; Imin, N.; Weinman, J.J.; Rolfe, B.G. 2003. Proteome analysis of male gametophyte development in rice anthers. Proteomics 3 : 738-751.
 - 25) Kariya K. 1989. Sterility caused by cooling treatment at the flowering stage in rice plants. III. Establishment of method of *in vitro* pollen germination. Jpn. J. Crop Sci. 58 : 96-102.
 - 26) Kirch, H.H.; Bartels, D.; Wei, Y.; Schnable, P.S.; Wood, A.J. 2004. The ALDH gene superfamily of Arabidopsis. Trends Plant Sci. 9 : 371-377.
 - 27) Kiyosawa, S.; Aimi, R. 1959. The influence of temperature and shading on the development of rice panicle. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 27 : 417-421.*
 - 28) Kobayashi, K.; Horie, T. 1994. The effect of plant nitrogen condition during reproductive stage on the differentiation of spikelets and rachis-branches in rice. J. Crop Sci. 63 : 193-199.*
 - 29) Kodama, T. 1994. Akita-ken. In Matsubara, S and Tohoku Agric. Exp. Stn. ed., Annals of Cool-temperature Damage in 1993 (Tohoku Chiiki ni Okeru Heisei 5 Nen Reigai no Kiroku). Tohoku Agric. Exp. Stn., Morioka. 88-101.**
 - 30) Lee, S.Y. 1990. Studies on the changes of cold tolerance at the young microspore stage caused by the different previous conditions in rice. Ph. D. thesis. Sapporo: Hokkaido Univ. 53-89.**
 - 31) Lee, Y.; Kende, H. 2001. Expression of α -expansins is correlated with internodal elongation in deep-water rice. Plant Physiol. 127 : 646-654.
 - 32) Lee, Y.; Kende, H. 2002. Expression of α -expansin and expansin-like genes in deepwater rice. Plant Physiol. 130 : 1396-1405.
 - 33) Li, L.C.; Bedinger, P.A.; Volk, C.; Jones, A.D.; Cosgrove, D.J. 2003. Purification and characterization of four β -expansins (*Zea m 1* isoforms) from maize pollen. Plant Physiol. 132 : 2073-2085.

- 34) Matsui, T.; Omasa, K.; Horie, T. 1999. Rapid swelling of pollen grains in response to floret opening unfolds locule in rice. *Plant Prod. Sci.* 2 : 196-199.
- 35) Mayumi, H. 1994. Fertilization and damages. In Matsubara, S and Tohoku Agric. Exp. Stn. ed., *Annals of Cool-temperature Damage in 1993 (Tohoku Chiiki ni Okeru Heisei 5 Nen Reigai no Kiroku)*. Tohoku Agric. Exp. Stn., Morioka. 163-164.**
- 36) Miyamori, Y. 1994. Cool-temperature damage and the management of soil fertilization. *Misc. Pub. Hokkaido Prefect. Agric. Exp. Stn.* 22 : 117-118.**
- 37) Moriwaki, T. 1959. Studies on responses of rice plants to cold water irrigation. I. On varietal differences of the number of pollen grains adhered on the stigma. *Proc. Crop Sci. Soc. Japan.* 27 : 43-44.*
- 38) Nakazono, M.; Tsuji, H.; Li, Y.; Saisho, D.; Arimura, S.; Tsutsumi, N.; Hirai, A. 2000. Expression of a gene encoding mitochondrial aldehyde dehydrogenase in rice increases under submerged conditions. *Plant Physiol.* 124 : 587-598.
- 39) Nishio, M. 2005. *Agriculture and Environmental Pollution: Soil environmental policy and the technology of the world and Japan. (Nogyo to Kankyo Osen – Nihon to Sekai no Dojyo Kankyo Seisaku to Gijyutsu)*. Rural Culture Association, Tokyo**
- 40) Nishiyama, I. 1982. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXIII. Anther length, pollen number and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. *Jpn. J. Crop Sci.* 51 : 462-469.
- 41) Nishiyama, I. 1983. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVI. The number of ripened pollen grains and the difference in susceptibility to coolness among spikelets on the panicle. *Jpn. J. Crop Sci.* 52 : 307-313.
- 42) Nishiyama, I. 1985. *Physiology of Cool-weather Damages in Rice Plant*. Hokkaido University Press, Sapporo. 1-15.
- 43) Page, R.D.M. 1996. TREEVIEW: An application to display phylogenetic trees on personal computers. *CABIOS* 12 : 357-358.
- 44) Pego, J.V.; Smeekens, S.C.M. 2000. Plant fructokinases: a sweet family get-together. *Trends Plant Sci.* 5 : 531-536.
- 45) Rakwal, R.; Komatsu, S. 2000. Role of jasmonate in the rice (*Oryza sativa* L.) self-defense mechanism using proteome analysis. *Electrophoresis* 21 : 2492-2500.
- 46) Rice Annotation Project 2008. The rice annotation project database (RAP-DB) : 2008 update. *Nucleic Acids Res.* 36 (Database issue) : D1028-1033. <http://rapdb.dna.affrc.go.jp/>.
- 47) Sabehat, A.; Lurie, S.; Weiss, D. 1998. Expression of small heat-shock proteins at low temperatures. A possible role in protecting against chilling injuries. *Plant Physiol.* 117 : 651-658.
- 48) Saijo Y.; Hata S.; Kyozuka J.; Shimamoto K.; Izui K. 2000. Over-expression of a single Ca²⁺-dependent protein kinase confers both cold and salt/drought tolerance on rice plants. *Plant J.* 23 : 319-327.
- 49) Sasaki, K and Wada, S. 1975. Effects of nitrogen, phosphoric acid and potash on the percentage of sterile grains in rice plant. *Proc. Crop Sci. Soc. Jpn.* 44 : 250-254.**
- 50) Satake T. 1989. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXIX. The mechanism of enhancement in cool tolerance by raising water temperature before the critical stage. *Jpn. J. Crop Sci.* 58 : 240-245.
- 51) Satake T. 1991. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXX. Relation between fertilization and the number of engorged pollen grains among spikelets cooled at different pollen developmental stages. *Jpn. J. Crop Sci.* 60 : 523-528.
- 52) Satake, T.; Hayase, H. 1970. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage

- in rice plants V. Estimations of pollen developmental stage and the most sensitive stage to coolness. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 39 : 468-473.
- 53) Satake, T.; Koike, S. 1983. Circular dense planting water culture of rice plants, with the purpose of obtaining many uniform panicles of main stems from a pot. Jpn. J. Crop Sci. 52 : 598-600.**
- 54) Satake, T. Lee, S.Y.; Koike, S.; Kariya, K. 1987. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage in rice plants. XXVII. Effect of water temperature and nitrogen application before the critical stage on the sterility induced by cooling at the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 56 : 404-410.
- 55) Satake, T.; Lee, S.Y.; Koike, S.; Kariya, K. 1988. Male sterility caused by cooling treatment at the young microspore stage. XXVIII. Prevention of cool injury with the newly devised water management practices - effects of temperature and depth of water before the critical stage. Jpn. J. Crop Sci. 57 : 234-241.
- 56) Satake, T.; Nishiyama, I. Ito, N.; Hayase, H. 1969. Male sterility by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. I. Methods of growing rice plants and inducing sterility in the phytotron. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 38 : 603-609.
- 57) Satake, T.; Shibata, M. 1992. Male sterility caused by cooling temperature at the young microspore stage in rice plants. XXXI. Four participating in fertilization. Jpn. J. Crop Sci. 61 : 454-462.
- 58) Sawada, S. 1978. Study of sterile-type cool injury in rice plants with special reference to the mechanism and inheritance of sterility. Res. Bull. Obihiro Univ. 10 : 837-883.**
- 59) Schaffer, A.; Petreikov, M. 1997. Sucrose-to-starch metabolism in tomato fruit undergoing transient starch accumulation. Plant Physiol. 113 : 739-746.
- 60) Seki, S. 1986. Cool-temperature damage: Mechanism and farmer's actions (Reigai: Sono kouzou to nouka no taio). Meibundo Shobo, Tokyo. 24-26**.
- 61) Shiga, H. 1984. Criteria for application of organic materials in paddy soils. J. Sci. Soil and Manure, Japan. 55 : 374-380.**
- 62) Shimazaki, K.; Satake, T.; Watanabe, K.; Ito, N. 1964. Effects of day and night-temperature accompanied by shading treatment during the booting stage upon the induction of sterile spikelets in rice plants. (Studies of cool weather injuries of rice plants in northern of Japan IV). Res. Bull. Hokkaido Natl. Agric. Exp. Stn. 83 : 10-16.*
- 63) Shin, J.H.; Jeong, D.H.; Park, M.C.; An, G. 2005. Characterization and transcriptional expression of the α -expansin gene family in rice. Mol. Cells 20 : 210-218
- 64) Suen, D.F.; Wu, S.S.H.; Chang, H.C.; Dhugga, K.S.; Huang, A.H.C. 2003. Cell-wall reactive proteins in the coat and wall of maize pollen: potential role in pollen tube growth on the stigma surface and through the style. J. Biol. Chem. 278 : 43672-43681.
- 65) Sugawara, H.; Ogasawara, O.; Okubo, K.; Gojobori, T.; Tateno, Y. 2008. DDBJ with new system and face. Nucleic Acids Res. 36, Database issue D22-D24. <http://clustalw.ddbj.nig.ac.jp/>.
- 66) Tadano, T. 2002. Nutrient requirement. In Editorial committee of encyclopedia of plant nutrition and fertilization eds. Encyclopedia of Plant Nutrition and Fertilization (Syokubutsu Eiyō-Hiryō no Jiten), Asakura publishing Co. Ltd. 68-71.**
- 67) Takeda, M. 1994. Yamagata-ken. In Matsubara, S and Tohoku Agric. Exp. Stn. ed., Annals of Cool-temperature Damage in 1993 (Tohoku Chiiki ni Okeru Heisei 5 Nen Reigai no Kiroku). Tohoku Agric. Exp. Stn., Morioka.102-123.**
- 68) Tamagawa, K. 1994. Results of various experiments. In Matsubara, S and Tohoku Agric. Exp. Stn. ed., Annals of Cool-temperature Damage in 1993 (Tohoku Chiiki ni Okeru Heisei 5 Nen Reigai no Kiroku). Tohoku Agric. Exp. Stn., Morioka. 32-41.**
- 69) Tatsuta, H. 1999. Influence of nitrogen application on anther length, anther width and number of

- engorged pollen grains as characters related to cooling injury in rice plants. Jpn. J. Crop Sci. 68 : 187-193.*
- 70) Taylor, P. 1997. Pollen germination and tube growth. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 48 : 461-491.
- 71) The Rice Annotation Project. 2007. Curated genome annotation of *Oryza sativa* ssp. *japonica* and comparative genome analysis with *Arabidopsis thaliana*. Genome Res. 17 : 175-183.
- 72) Thompson, J.D.; Higgins, D.G.; Gibson, T.J. 1994. CLUSTAL W: improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. Nucleic Acids Res. 22 : 4673-4680.
- 73) Uchijima, T. 1983. Agrometeorological studies on the safety cropping season of paddy rice in Hokkaido and Tohoku districts. Bull. Natl. Inst. Agro-Environ. Sci. 31 : 23-113.*
- 74) Uchiyama, H.; Watanabe, S. 1996. The history of rice cultivars in Tohoku region. In Toriyama *et al.*, ed. Rice research in Tohoku region (Tohoku no Ine Kenkyu). The 100th anniversary of rice research in Tohoku Agricultural Experiment Station, Akita. 11-19.**
- 75) Vierling, E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 42 : 579-620.
- 76) Wada, S.; Yasui, K.; Honda, A. 1972. Effect of some environmental factors during meiosis stage in the fertility of grains in rice plant. Proc. Crop Sci. Soc. Jpn. 41 : 340-347.*
- 77) Watanabe, T.; Takeichi, Y. 1991. Floral impotency due to cool weather in paddy rice plants in the early-season culture area I: Relationship between light-intercepting characteristics and sterility. Jpn. J. Crop Sci. 60 : 225-233.*
- 78) Wei, W.; Scali, M.; Vignani, R.; Milanesi, C.; Petersen, A.; Sari-Gorla, M.; Cresti, M. 2004. Male-sterile mutation alters *Zea m 1* (β -expansin 1) accumulation in a maize mutant. Sex. Plant Reprod. 17 : 41-47.
- 79) Wu, Y.; Meeley, R.B.; Cosgrove, D.J. 2001. Analysis and expression of the α -expansin and β -expansin gene families in maize. Plant Physiol. 126 : 222-232.
- 80) Yabe, N.; Takahashi, T.; Komeda, Y. 1994. Analysis of tissue-specific expression of *Arabidopsis thaliana* HSP90-family gene HSP81. Plant Cell Physiol. 35 : 1207-1219.
- 81) Yamada, N.; Kono Y. 1976. Studies on the developmental physiology in rice pollen. III. Effects of excessive nitrogen top-dressed at meiotic stage on the amino acid metabolism and the development of pollens. Jpn. J. Crop Sci. 45 : 279-287.
- 82) Yamaguchi, T.; Nakayama, K.; Hayashi, T.; Tanaka, Y.; Koike, S. 2002. Molecular cloning and characterization of a novel β -1,3-glucanase gene from rice. Biosci. Biotechnol. Biochem. 66 : 1403-1406.
- 83) Yamashita, K.; Fujimoto, T. 1974. Studies on fertilizers and quality of rice II: The effects of nitrogen fertilization on eating quality and some physico-chemical properties of rice starch. Bull. Tohoku Natl. Agric. Exp. Stn. 48 : 65-79
- 84) Yang, G.; Shen, S.; Yang, S.; Komatsu, S. 2003. OsSDPK13, a calcium-dependent protein kinase gene from rice, is induced in response to cold and gibberellin. Plant Physiol. Biochem. 41 : 369-374.
- 85) Yoneyama, T. 2002. Nitrogen. In Editorial committee of encyclopedia of plant nutrition and fertilization eds. Encyclopedia of Plant Nutrition and Fertilization (Syokubutsu Eiyo-Hiryō no Jiten), Asakura publishing Co. Ltd. 72-74.**

* In Japanese with English abstract or summary.

** In Japanese.

新形質小麦品種・系統の小麦粉ブレンドによる 製パン適性の向上技術

吉川 亮*¹⁾・中村 和弘*²⁾・伊藤美環子*¹⁾

抄 録：高分子量グルテニンサブユニット5+10 (HMW-GS 5+10) の有無、アミロース含量及びもち・うるち性などの異なる品種・系統を用いて、小麦粉のブレンドによる生地物性および製パン適性（中種生地法）のそれぞれの改良効果について検討した。①パン用2品種・系統間の50%：50%のブレンドでは、少なくとも片方の品種・系統がHMW-GS 5+10を持つ場合、生地物性および製パン適性の改良効果が高かった。一方、HMW-GS 5+10を持たない品種・系統のブレンドでは、それらの改良効果は低かった。②超強力系統「東北221号」は通常のパン用強力品種・系統と50%：50%でブレンドすると、一般に生地物性が飛躍的に改善されてカナダ産「1CW」並の強い生地特性を示し、HMW-GS 5+10を持たない品種・系統の製パン適性を改善した。③低アミロース品種・系統とパン用品種「ハルイブキ」または市販強力粉との50%：50%のブレンドでは、パン体積が大きく、パン内相が柔らかく、パンの味が良くなり、官能評価が向上した。④もち性品種・系統とうるち性品種との小麦粉ブレンド（もち性ブレンド比率10～20%）でも、うるち性にHMW-GS 5+10を持つ品種を用いると製パン適性の改良効果が高かったが、それを持たない品種では改良効果はみられなかった。また、パン用品種「ハルイブキ」に、もち性有望系統を0～100%ブレンドした場合、一般にもち性ブレンド比率30%において製パン適性が最も高かった。

キーワード：小麦品種、小麦粉、ブレンド、製パン適性、中種生地法、高分子量グルテニンサブユニット5+10、超強力、低アミロース含量、もち性、ファリノグラム

Improvement in the Bread-making Qualities of Breads from Blends of Wheat Cultivars and Lines with Different Flour Qualities : Ryo YOSHIKAWA*¹⁾, Kazuhiro NAKAMURA*²⁾ and Miwako ITO*¹⁾

Abstract : We examined the improved effects of the dough-mixing properties and bread-making qualities (sponge and dough method) of wheat flour blends between bread wheat cultivars with the presence or absence of the high-molecular-weight glutenin subunit 5+10 (HMW-GS 5+10), between a bread wheat cultivar with extra strong flour and a normal bread wheat cultivar, between a Japanese noodle wheat cultivar with low amylose content and a bread wheat cultivar with normal amylose content, and between a waxy wheat cultivar and a nonwaxy bread wheat cultivar.

1. In the flour blend (blend ratio 50% : 50%) between two bread wheat cultivars, the improved effect of the dough-mixing properties and bread-making qualities was high in the blends for which at least one cultivar had HMW-GS 5+10. Also, the blend performance of the cultivars with HMW-GS 5+10 was high. In contrast, those improved effects were low in the blend between cultivars that did not have HMW-GS 5+10.
2. The flour blend (blend ratio 50% : 50%) between a bread wheat line "Tohoku 221" with extra-strong flour and a bread cultivar with normal strong flour was indicated to have very strong dough-mixing properties and good bread-making qualities.
3. In the flour blend (blend ratio 50% : 50%) between a Japanese noodle wheat cultivar with low amylose content and a bread wheat cultivar or a patent strong flour with normal amylose content and HMW-GS 5+10, the loaf volume was large, the loaf crumb was soft, the bread taste was good,

*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) 現・東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan)

and the sensory evaluation was improved.

4. In the flour blend (waxy blend ratio 10-20%) of a waxy wheat cultivar and a nonwaxy wheat bread cultivar, the blends that used the nonwaxy cultivars with HMW-GS 5+10 showed improved bread-making qualities. On the other hand, the improved effects were low in the blend of nonwaxy cultivars without HMW-GS 5+10. Moreover, in the flour blend between a waxy elite line and the bread wheat cultivar "Haruibuki", the bread-making qualities were the highest with a waxy blend ratio of 30%.

Key Words : Wheat cultivar, Flour, Blend, Bread-making quality, Sponge and dough method, High molecular weight glutenin subunit 5+10, Extra strong, Low amylose content, Waxy, Frarinoqram

I 緒 言

近年、パン用の国産小麦に対する需要が高いため、東北農業研究センター作物機能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）においても最近製パン適性の高い「ハルイブキ」（吉川ら 2004）や「ゆきちから」（吉川ら 2009）などのパン用品種や、「東北221号」（2002年度育成）のような超強力系統を育成している。また、従来のパン用粉にブレンドして食感の改良が期待できるもち性小麦品種「はつもち」、「もち乙女」（吉川ら 2009）と、これらの製粉性および粉色を改良した「もち姫」（谷口ら 2008）なども育成している。さらに、パン用ではないが、アミロース含量が低く製めん適性が優れた「ネバリゴシ」（吉川ら 2002）も育成している。

これらの品種の多くは東北地域等で栽培され、単品種でパン用、めん用および菓子用としてそれぞれ特長ある製品が製造されている。しかし、これらの品種とのブレンドにより製パン性の改良効果を検討した報告は少なく、関村ら（2004）、島津ら（2005）、増山ら（2006）の報告があるに過ぎない。また、グルテンが強靱な超強力品種とのブレンドによる製パン試験の報告（Yamauchi *et al.* 2001, Yamauchi *et al.* 2003）はあるが、製パン性に大きく関与している高分子量グルテニンサブユニット（Payne *et al.* 1987）が異なるパン用品種・系統のブレンドによる製パン適性への影響についての報告は、筆者らが本報告の一部をとりまとめた報告（吉川ら 2000）とPonzio *et al.*（2008）の報告以外、見あたらない。

そこで、新形質の品質特性を有する高分子量グルテニンサブユニット5+10（以下、HMW-GS 5+10）を持つ品種、超強力系統、低アミロース含量の品

種・系統及びもち性品種・系統のそれぞれの小麦粉を用い、これらを東北地域で栽培されているパン用品種や北海道産およびカナダ産のパン用品種・銘柄の各小麦粉にブレンドして、生地特性および製パン性の改良効果を明らかにしたので、その概要を報告する。なお、本報告の結果の一部はすでに著者らにより報告（吉川ら 2000）されているが、本報告ではさらに試験を重ね、データを大幅に追加した。

本試験に当たり、企画調整部業務第1科の業務科職員および契約職員には研究支援の面で、麦育種研究室の契約職員には研究補助の面でそれぞれご尽力していただいた。また、岩手県農業研究センター、秋田県農業試験場の担当者の方々には奨励品種決定調査材料を提供していただいた。さらに、東北製粉協同組合からは、岩手県農業研究センター現地試験（玉山村）材料の工場製粉小麦粉の提供を受けた。これらの方々に感謝を申し上げる。

II 材料と方法

1. 供試材料と試験方法

表1に本試験で用いた全材料とその主な品質特性を示した。材料は、主に最近、東北農業研究センターで育成されたパン用、めん用およびもち性の小麦品種・系統である。また、供試品種・系統はほとんど東北農業研究センター麦育種研究室で栽培された1998～2000年産（1997～1999年度）の生産力検定試験材料である。その他に、一部は岩手県玉山村の現地試験および秋田県農業試験場奨励品種決定調査の「ネバリゴシ」、「ハルイブキ」（いずれも1999年産）、食糧庁から移管された北海道産「ハルユタカ」（1998～1999年産）、カナダ産「1CW」（1998～2000年産）、そして家庭用の市販強力粉（日清製粉「カメリヤ」）を用いた。これらの材料は、岩手県玉山

表1 供試品種・系統の60%粉品質特性および高分子量グルテニンサブユニット (HMW-GS) 構成

試験名 および ブレンド 方法	年産	品種名 または 系統名	産地	60%粉			アミロ グラム 最高粘度 (BU.)	高分子量グルテニン サブユニット (HMW-GS) 構成			備考	
				蛋白 含量 (%)	アミロース 含量 (%)	灰分 含量 (%)		1 A	1 B	1 D		
				試験1 うるち性 パン用 2品種・ 系統の ブレンド	1998	1 CW		カナダ	13.2	25.6		0.48
		ハルイブキ	東北農研	12.9	27.1	0.39	340	1	7+8	5+10		
		コユキコムギ	東北農研	11.0	26.9	0.43	843	1	7+9	2+12		
		ナンブコムギ	東北農研	13.0	25.0	0.39	887	1	7+8	4+12		
		ゆきちから	東北農研	13.4	26.2	0.42	805	1	7+8	4+12		
		東北215号	東北農研	14.8	26.8	0.42	550	1	7+9	2+12		
		ハルユタカ	北海道	13.0	26.1	0.59	175	1	17+18	2+12		
	1999	1 CW	カナダ	14.1	27.5	0.45	790	2*/1	7+9/7+8	5+10	総当たりの ブレンド	
		ハルイブキ	東北農研	13.8	28.4	0.46	467	1	7+8	5+10		
		コユキコムギ	東北農研	12.9	27.8	0.44	842	1	7+9	2+12		
		ナンブコムギ	東北農研	14.1	25.4	0.45	982	1	7+8	4+12		
		ゆきちから	東北農研	14.4	27.2	0.45	862	1	7+8	4+12		
		東北215号	東北農研	16.3	28.0	0.47	545	1	7+9	2+12		
		ハルユタカ	北海道	15.4	29.2	0.50	684	1	17+18	2+12		
	2000	ハルイブキ	東北農研	12.4	25.4	0.41	588	1	7+8	5+10	ブレンド比 率	
		ゆきちから	東北農研	11.9	25.2	0.46	980	1	7+8	4+12		
		東北215号	東北農研	13.5	26.3	0.43	672	1	7+9	2+12		
		1 CW	カナダ	13.0	26.7	0.55	676	2*/1	7+9/7+8	5+10		
試験2 超強力系 パンとのブ レンド	1998	東北221号	東北農研	13.3	27.2	0.37	711	1	7+9	5+10	「東北221号」 は超強力系 系統	
		ハルイブキ	東北農研	12.9	27.1	0.39	340	1	7+8	5+10		
		コユキコムギ	東北農研	11.0	26.9	0.43	843	1	7+9	2+12		
		ナンブコムギ	東北農研	13.0	25.0	0.39	887	1	7+8	4+12		
		ゆきちから	東北農研	13.4	26.2	0.42	805	1	7+8	4+12		
		東北215号	東北農研	14.8	26.8	0.42	550	1	7+9	2+12		
		ハルユタカ	北海道	13.0	26.1	0.59	175	1	17+18	2+12		
		1 CW	カナダ	13.2	25.6	0.48	812	2*/1	7+9/7+8	5+10		
	2000	東北221号	東北農研	12.6	25.5	0.36	932	1	7+9	5+10	ファリノグ ラムとエキ ステンソグ ラムの調査 のみ	
		ハルイブキ	東北農研	12.4	25.4	0.41	588	1	7+8	5+10		
		コユキコムギ	東北農研	10.9	26.4	0.42	1018	1	7+9	2+12		
		ナンブコムギ	東北農研	11.7	25.8	0.42	1118	1	7+8	4+12		
		ゆきちから	東北農研	11.9	25.2	0.46	980	1	7+8	4+12		
		東北215号	東北農研	13.5	26.3	0.43	672	1	7+9	2+12		
試験3 低アミロ ース品種 ・系統と のブレンド	1998	ネバリゴシ	東北農研	11.1	21.4	0.51	896	2*	17+18	2+12	工場製粉材 料	
		ハルイブキ	東北農研	13.4	27.2	0.40	326	1	7+8	5+10		
	1999	ネバリゴシ	東北農研	12.8	22.6	0.47	1039	2*	17+18	2+12		
		ハルイブキ	東北農研	14.0	28.4	0.38	312	1	7+8	5+10		
	2000	ネバリゴシ	東北農研	9.1	22.6	0.37	1214	2*	17+18	2+12		
		ハルイブキ	東北農研	12.4	25.4	0.41	588	1	7+8	5+10		
		ゆきちから	東北農研	11.9	25.2	0.46	980	1	7+8	4+12		
	1999	ネバリゴシ	岩手県玉山村	8.5	-	0.42	900	2*	17+18	2+12		
		ハルイブキ	岩手県玉山村	11.8	-	0.41	570	1	7+8	5+10		
	1999	ネバリゴシ	秋田農試	8.3	22.4	0.41	1119	2*	17+18	2+12		
		ハルイブキ	秋田農試	10.7	28.7	0.34	50	1	7+8	5+10		
		強力市販粉(カメラア)	-	12.0	28.0	0.35	-	2*/1	7+9/7+8/17+18	5+10		
	2000	ネバリゴシ	東北農研	9.1	22.6	0.37	1214	2*	17+18	2+12		
		東北213号	東北農研	11.7	21.5	0.43	1298	1	7+9	145kDa+12		軟質
		東北212号	東北農研	11.4	22.0	0.46	1190	2*	7+8	145kDa+12		硬質
		盛系C-B2661	東北農研	13.5	19.0	0.45	1304	1	7+8	145kDa+12		硬質
		ハルイブキ	東北農研	13.8	25.8	0.43	460	1	7+8	5+10	硬質	
試験4 もち乙女 種・系統 とのブレ ンド	1998	もち乙女	東北農研	13.0	0.0	0.56	671	n	7+8	145kDa+12	「もち乙女」 はもち性	
		1 CW	カナダ	13.5	25.3	0.50	591	2*/1	7+9/7+8	5+10		
		ハルイブキ	東北農研	12.9	27.1	0.39	340	1	7+8	5+10		
		東北221号	東北農研	13.3	27.2	0.37	711	1	7+9	5+10		
		コユキコムギ	東北農研	11.0	26.9	0.43	843	1	7+9	2+12		
		ナンブコムギ	東北農研	13.0	25.0	0.39	887	1	7+8	4+12		
	2000	ハルイブキ	東北農研	13.8	25.8	0.43	460	1	7+8	5+10		
		もち盛系C-B3129	東北農研	13.4	0.9	0.42	740	2*	7+8	5+10	もち性	
		東北糯216号	東北農研	14.4	0.5	0.45	928	1	7+9	145kDa+12	もち性	
		東北糯217号(もち姫)	東北農研	12.2	1.2	0.45	930	2*	7+9	2+12	もち性	

注. 高分子量グルテニンサブユニット構成は2001年産材料のデータ。

村の現地試験材料と市販強力粉を除いて、いずれもビューラーテストミルで製粉した60%粉をブレンド試験に用いた。また、岩手県玉山村の現地試験材料は、工場製粉された小麦粉を用いた。これら材料の品質特性は、表1に示すように、もち・うるち性、小麦粉(60%粉)の蛋白含量、灰分含量、アミロース含量、アミログラム最高粘度、HMW-GS 5+10の有無およびグルテンの強さ(超強力粉または通常の強力粉)が異なる。

ブレンド試験は次の4試験を行った。

1) うるち性パン用小麦2品種・系統のブレンド試験

1998~1999年産のうるち性で通常のアミロース含量を持ち、HMW-GS 5+10の有無が異なるパン用の「1CW」、「ハルイブキ」(以上HMW-GS 5+10有)、「ゆきちから」、「コユキコムギ」、「ハルユタカ」、「東北215号」(以上HMW-GS 5+10無)6品種・系統・銘柄とめん・パン用の「ナンブコムギ」(HMW-GS 5+10無)の各60%粉を用いて、これら2品種・系統の総当たりブレンドを行い、製パン適性とファリノグラム特性を調査した。各年産とも製パン適性は2反復、ファリノグラムは反復なしで調査し、ブレンド比率は50%:50%とした。そしてHMW-GS 5+10の有無がブレンドの製パン適性に及ぼす影響を検討し、ブレンドに適したパン用品種・系統と最適なブレンド組合わせを選定した。

また、本試験で特に有望な「1CW」+「ゆきちから」、「ゆきちから」+「ハルイブキ」および「1CW」+「東北215号」の3つのブレンド組合せについては、ブレンド比率を100%:0%、75%:25%、50%:50%、25%:75%および0%:100%の5段階に変えて製パン適性を調査し、最適なブレンド比率を調査した。

2) 超強力系統と通常のパン用小麦品種・系統とのブレンド試験

うるち性の超強力系統「東北221号」は高蛋白・低灰分含量でHMW-GS 5+10を持ち、生地が強韌でエクステンソグラムの面積(A)がカナダ産パン用強力小麦「1CW」よりやや大きいのが特徴である。この「東北221号」の60%粉に、HMW-GS 5+10の有無が異なる通常のパン用の「ハルイブキ」、「コユキコムギ」、「ゆきちから」、「東北215号」、「ハルユタカ」、「1CW」の6品種・系統・銘柄およびめん・パン用「ナンブコムギ」の各60%粉をそれぞれ

ブレンドし、製パン適性(1998年産のみで2反復)、ファリノグラム特性(1998年産、2000年産で各年産とも反復なし)およびエクステンソグラム特性(2000年産のみで反復なし)を調査した。ブレンド比率は50%:50%とした。

3) 低アミロース含量のめん用小麦品種・系統と通常のアミロース含量のパン用小麦品種とのブレンド試験

低アミロース含量の品種・系統には、W_x-A1およびW_x-B1の両W_xタンパク質が欠失したものをを用いた。東北農業研究センター産(1998~2000年産)、岩手県玉山村現地試験産および秋田県農業試験場産(以上1999年産)の低アミロースのめん用中力品種「ネバリゴシ」とパン用強力品種「ハルイブキ」(HMW-GS 5+10有)の60%粉または工場製粉1等粉(岩手県玉山村現地試験産のみ)を供試して、「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」および「ネバリゴシ」+市販強力粉(日清製粉「カメリヤ」)とのブレンドによる製パン適性およびファリノグラム特性を調査した。製パン適性は2反復、ファリノグラム特性は反復なしとし、ブレンド比率は50%:50%とした。

また、「ネバリゴシ」と「ハルイブキ」のブレンド比率を100%:0%、75%:25%、50%:50%、25%:75%および0%:100%と5段階に変えた場合の製パン適性を、2反復で調査した。

次に、2000年産の硬軟質性の異なる低アミロース4品種・系統(軟質:「ネバリゴシ」、「東北213号」、硬質:「東北212号」、「盛系C-B2661」)の60%粉に、それぞれ「ハルイブキ」の60%粉または市販強力粉(カメリヤ)を50%:50%の比率でブレンドして、製パン適性は2反復、ファリノグラム特性は反復なしで調査した。そして、低アミロース品種・系統の硬軟質性がブレンドの製パン適性に及ぼす影響を検討した。

4) もち性小麦品種とパン用小麦品種・系統のブレンド試験

本試験のもち性品種・系統には、W_x-A1、W_x-B1およびW_x-D1の3つW_xタンパク質が欠失した、アミロース含量が2%未満のものを用いた。

1998年産のもち性小麦品種「もち乙女」の60%粉に、うるち性でHMW-GS 5+10の有無が異なるパン用の「1CW」、「ハルイブキ」、「東北221号」(以上HMW-GS 5+10有)、「コユキコムギ」(HMW-GS 5+10無)の4品種・系統およびめん・パン両用の

「ナンブコムギ」(HMW-GS 5+10無)の各60%粉をそれぞれブレンドして、製パン適性(2反復)とファリノグラム特性(反復なし)を調査した。「もち乙女」のブレンド比率は0%、10%および20%の3段階とした。そして、HMW-GS 5+10の有無がブレンドの製パン適性に及ぼす影響を検討し、もち性小麦とのブレンドに適したうるち性品種を選定した。

次に、もち性小麦のブレンド比率が製パン適性に及ぼす影響を検討するため、「もち乙女」に比べて品質特性が大幅に改良された、2000年産の硬質のもち性小麦系統「東北糯216号」、「東北糯217号(もち姫)」および「もち盛系C-B3129」の3系統のそれぞれの60%粉に、うるち性のパン用品種「ハルイブキ」の60%粉をブレンドし、2反復で製パン適性を調査した。もち性系統のうち「もち盛系C-B3129」だけはHMW-GS 5+10を持つが、他の2系統はHMW-GS 5+10を持たない。もち性小麦のブレンド比率は0%、10%、20%、30%、40%、50%および100%の7段階とした。そして、通常の製パン適性ととも食感のもちもち感も調査した。

2. 小麦粉品質試験方法

製粉は一部の材料(工場製粉、市販強力粉)を除いて、ビューラーテストミルで行い、60%歩留に調整した60%粉を試験に用いた。60%粉(小麦粉)の灰分含量、アミログラム最高粘度、ファリノグラムおよびエキステンソグラム(2000年産のみ)の各特性は、農林水産技術会議事務局(1968)に従い調査した。蛋白含量は元素分析装置(パーキンエルマー社PE2410型)で窒素含量を測定し、蛋白質係数は5.70を用いた。また、アミロース含量はJuliano(1971)に準じた方法で測定した。HMW-GSはBietz *et al.*(1972)によるSDSポリアクリルアミド電気泳動法で泳動後、その構成をBlackman and Payne(1987)、Payne *et al.*(1987)の方法により調査した。

3. 製パン試験方法

製パン試験法は中種生地法で、吉川ら(1999)の試験法に従った。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(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)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)。

製パン試験における材料1点当たりの60%粉(小麦粉)量は70gであるが、上記3)の低アミロース品種のブレンド試験は硬軟質性の異なる低アミロース材料は70g、その他の試験は300gとした。中種生地法による製パン試験法は次のとおりである。70g製パン試験の場合、中種を作るため、小麦粉の49gにドライイースト1.4g、イーストフード70mg及び水33mlを加え、家庭用製パン機(松下電器産業(株)製SD-BT152型)で10分間ミキシングした後、温度28℃、湿度85%のホイロ中で中種発酵を4時間行った。中種発酵後、発酵生地に残りの小麦粉4.9gと砂糖2.8g、食塩1.4g、スキムミルク1.4g、ショートニング1.4gおよび水12.8~15.2ml(ファリノグラム吸水率を参考)を加え、再び10分間の本捏ミキシングを行った。なお、本捏ミキシング時間はほとんどの材料は10分間としたが、ミキシングが長いと生地がだれやすいナンブコムギ、コユキコムギなどとこれらのブレンドはミキシング時間を5~9分間と短めにし、これらの材料は生地状態を観察して生地がべたつく前にミキシングを止めた。300g製パン試験の場合、各材料の量は70g製パン試験の30/7倍とした。その後、フロアタイムを20分間とり生地分割・丸めを行い、ベンチタイムを20分間とった。パン型に整形・型詰後、温度37℃、湿度85%で最終発酵を行い、生地が型から1~2cm程度は盛り上がった段階で、204℃にセットしたガスオーブンに入れ、70g製パン試験では23分間、300g製パン試験では34分間、それぞれ焼成した。焼成後は直ちに型にショックを与えてパンを取り出し、竹ざるにのせて自然冷却させた。室温まで冷却後、パン重を測定するとともに、ナタネ置換法でパン体積を測定し、小麦粉100g当たりのパン体積とパン1g当たりの比容積(パン体積/パン重)を算出した。パンをビニール袋に入れ25℃で保存し、約1日後にパンをパンスライサーで1.5cm(300g製パン試験は2cm)の厚さに切って官能評価試験に供した。

官能評価試験前に、製パン作業中にパン生地の吸水性と作業性をそれぞれ20点満点で評価した。吸水性は、中種生地を作る際、ファリノグラムの吸水率

(Ab)を参考にして水を加えミキシングし、加えた水量が多いほど評点を高くした。作業性は本捏を終えた生地の状態(べたつき程度)と生地の分割、丸め、整形の難易により総合的に評価し、生地のべたつきが少なく、生地が扱いやすいものほど評点を高くした。

官能評価試験の調査項目とその配点は日本イースト工業会(1990)に準じ、表皮の焼色、皮質、形の均整、内相の色、すだち、触感、香りおよび味のそれぞれを評価して評点を付けた。パン体積の評点はパン体積 $\times 0.03$ により算出した。そして、官能評価の各項目を合計してパン官能評価合計点(100点満点)を算出した。もち性小麦とのブレンド試験では従来の官能評価項目とは別に、もちもち感の官能評価を5点満点で調査した。官能評価試験の標準として、1)のブレンド比率試験を除く2品種・系統の総当たりのブレンド試験と2)の超強力系統ブレンド試験は「コユキコムギ」、その他の試験は市販強力粉「カメリヤ」を用いた。また、官能評価試験のパネラー数は小麦粉70gの製パン試験の場合6~7名で、300gの場合は9名とし、パネラーは出来る限り同じメンバーになるようにした。

以上の吸水性、作業性および官能評価合計点から、パン総合評価点(100点満点)を次式より算出した。

パン総合評価点 = 吸水性 + 作業性 + (官能評価合計点 $\times 0.6$)

Ⅲ 結 果

1. うるち性パン用小麦の2品種・系統のブレンド試験

1)パン用2品種・系統の総当たりブレンド試験
同一品種においては、60%粉蛋白含量が1998年産に比べ1999年産は0.9~2.4%(平均1.4%)高かった(表1)。このため、1999年産は1998年産に比べてファリノグラム特性は全般的に強力的傾向になり、品種・系統間差異およびブレンド間差異が小さくなった。また、製パン適性も品種・系統間差異およびブレンド間差異が小さくなった。

60%粉蛋白含量およびファリノグラム特性を表2に、製パン試験成績を表3に示した。両表とも1998~1999年産の2カ年平均値で示した。供試品種・系統のうち、HMW-GS 5+10を持つ品種は「1CW」と「ハルイブキ」のみで、その他の5品種・系統はHMW-GS 5+10を持たない。ブレンドに用いた品

種・系統においては、60%粉蛋白含量は「東北215号」は最も高く、次いで「ハルユタカ」、「ナンブコムギ」、「1CW」、「ゆきちから」、「ハルイブキ」の順で、「コユキコムギ」が最も低かったが、「東北215号」と「コユキコムギ」を除く品種は蛋白含量の差は小さかった。また、ファリノグラム特性のVV(パロリメーターバリュウ)はHMW-GS 5+10を持つ「1CW」と「ハルイブキ」は高く、生地が強力的であった。一方、HMW-GS 5+10を持たない「ゆきちから」、「コユキコムギ」、「東北215号」および「ハルユタカ」のVVが「1CW」、「ハルイブキ」よりやや低く生地が準強力的で、「ナンブコムギ」はVVが低く中力的であった。

ファリノグラム特性(表2)について、HMW-GS 5+10を持つ品種・銘柄とのブレンド群(A群)とHMW-GS 5+10を持たない品種・系統同士のブレンド群(B群)の2つの群に分けて、A群とB群の各平均値の差のt検定の結果、DT(生地の形成時間)、Stab(生地の安定時間)およびVVの3特性において有意差が認められた。一方、60%粉蛋白含量、Ab(吸水率)とWk(生地の弱化度)には有意差が認められなかった。この結果、HMW-GS 5+10を持つ品種・銘柄とのブレンドはそれを持たない品種・系統とのブレンドよりDTが長く、StabとVVが大きく、生地が強力的な傾向がみられた。

A群、B群こみにして、ブレンドとブレンドに用いた2品種・系統・銘柄の平均値(以下品種平均値と呼ぶ)を比較した場合、Abは各ブレンドともにブレ品種平均値に近い値を示した。DTは品種平均値よりブレンドの方が長くなる組合せが多く、特に「1CW」とのブレンドで品種平均値よりかなり長くなった。StabとWkはいずれも、ブレンドと品種平均値との差が小さい組合せが多かった。VVは、品種平均値よりやや高いブレンドが多かった。

次に、製パン試験(表3)においては、A群・B群の間にパン体積、比容積の各平均値には有意差がみられなかったものの、すだち、香り、味、官能評価合計点、作業性およびパン総合評価点の各平均値において有意差が認められた。この結果、少なくとも一方の品種・系統にHMW-GS 5+10を持つ品種を用いたブレンドは、それを持たないブレンドより製パン適性が優れる傾向にあった。また、A群においては、ブレンドのパン総合評価点は品種平均値より高くなるブレンドがほとんどであったが、B群のブ

表2 うるち性小麦2品種・系統の総当たりの50%：50%ブレンドにおける60%粉蛋白含量およびファリノグラム

群名	品種・系統名またはブレンド組合せ	HMW-GS 5+10 有無	蛋白含量 (%)	ファリノグラム					ブレンド2品種・系統・銘柄の平均値				
				Ab (%)	DT (min)	Stab (min)	Wk (B.U.)	VV	Ab (%)	DT (min)	Stab (min)	Wk (B.U.)	VV
	1CW	有	13.7	66.3	10.0	19.4	20	85	-	-	-	-	-
	ハルイブキ	有	13.4	65.0	17.3	11.4	67	89	-	-	-	-	-
	ゆきちから	無	13.6	68.1	9.0	10.8	54	68	-	-	-	-	-
	コユキコムギ	無	12.0	68.7	10.0	8.6	80	72	-	-	-	-	-
	ナンブコムギ	無	13.9	61.2	3.2	5.4	63	48	-	-	-	-	-
	東北215号	無	15.6	70.4	9.3	5.4	103	68	-	-	-	-	-
	ハルユタカ	無	14.2	62.0	10.8	18.6	37	74	-	-	-	-	-
A	1CW+コユキコムギ	有+無	12.9	66.7	14.5	14.3	43	86	67.5	10.0	14.0	50	79
	1CW+ナンブコムギ	有+無	13.8	64.0	13.4	14.4	49	82	63.8	6.6	12.4	41	67
	1CW+ハルイブキ	有+有	13.6	65.9	19.2	13.8	44	93	65.7	13.6	15.4	43	87
	1CW+ゆきちから	有+無	13.7	67.3	13.5	15.7	43	83	67.2	9.5	15.1	37	77
	1CW+東北215号	有+無	14.0	68.4	13.5	8.6	72	83	68.4	9.7	12.4	61	77
	1CW+ハルユタカ	有+無	14.7	63.4	14.6	18.0	41	80	64.2	10.4	19.0	28	80
	ハルイブキ+ハルユタカ	有+無	14.5	63.8	14.7	15.0	50	82	63.5	14.0	15.0	52	82
	ハルイブキ+コユキコムギ	有+無	12.7	67.3	13.9	12.0	59	83	67.5	13.6	10.0	73	81
	ハルイブキ+ナンブコムギ	有+無	13.7	64.0	12.5	11.0	72	80	63.1	10.2	8.4	65	69
	ハルイブキ+ゆきちから	有+無	13.5	66.9	14.7	12.6	71	85	66.6	13.1	11.1	60	79
	ハルイブキ+東北215号	有+無	13.8	68.3	12.4	7.3	85	79	67.7	13.3	8.4	85	79
	A群平均値		13.7	66.0	14.2	12.9	57	83	65.9	11.3	12.8	54	78
B	ナンブコムギ+コユキコムギ	無+無	13.0	65.3	7.7	7.4	73	63	65.0	6.6	7.0	71	60
	ナンブコムギ+東北215号	無+無	14.1	66.1	8.1	6.7	96	64	65.8	6.2	5.4	83	58
	ハルユタカ+コユキコムギ	無+無	13.8	65.2	10.0	12.2	48	70	65.4	10.4	13.6	58	73
	ハルユタカ+ナンブコムギ	無+無	14.7	61.9	6.1	11.3	40	61	61.6	7.0	12.0	50	61
	ハルユタカ+ゆきちから	無+無	14.6	66.0	12.5	13.4	58	74	65.1	9.9	14.7	45	71
	ハルユタカ+東北215号	無+無	14.9	66.2	11.0	10.0	76	72	66.2	10.0	12.0	70	71
	ゆきちから+コユキコムギ	無+無	12.8	68.4	11.1	11.1	66	76	68.4	9.5	9.7	67	70
	ゆきちから+ナンブコムギ	無+無	13.8	64.4	8.0	10.5	68	64	64.7	6.1	8.1	58	58
	ゆきちから+東北215号	無+無	14.6	69.3	11.1	9.6	86	76	69.3	9.1	8.1	78	68
	東北215号+コユキコムギ	無+無	13.1	69.4	9.3	7.0	86	69	69.6	9.6	7.0	91	70
	B群平均値		13.9	66.2	9.5	9.9	69	69	66.1	8.4	9.7	67	66
	A群とB群の平均値差のt検定		ns	ns	**	*	ns	**	-	-	-	-	-

注. 1) 1998~1999年産の2カ年平均値。1CWはカナダ産で品質が同様な複数の品種がブレンドされたパン用銘柄、ハルユタカは北海道産で、いずれも食糧庁管理替え材料(表3も同じ)。
 2) Ab: 吸水率、DT: 生地形成時間、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(以下の表も同じ)。
 3) A群とB群の平均値差のt検定: nsは有意差なし、*、**はそれぞれ5%、1%水準で有意。

ブレンドではそのようなブレンドは少なかった。

パン総合評価点から見て、特に有望なブレンドは「1CW」+「コユキコムギ」、 「1CW」+「ゆきちから」、 「1CW」+「東北215号」および「ハルイブキ」+「ゆきちから」の4組合せで、これらのブレンドでは「1CW」よりパン総合評価点が高かった。

次に、パン総合評価点の年次間関係を図1に、ファリノグラムのVVとパン総合評価点の関係を図2に、それぞれ示した。パン総合評価点の年次間相関係数は0.739、ファリノグラムのVVとパン総合評価点の間の相関係数は0.834と、いずれも有意で高い

相関を示した。また、両図ともに、HMW-GS 5+10を持つ品種とのブレンドはこれを持たないブレンドより、明らかにパン総合評価点が高く、VVが大きい傾向がみられた。

2) ブレンド比率を変えた場合の製パン適性の変動
 上記の試験において有望なブレンド組合せである「1CW」+「ゆきちから」、 「ゆきちから」+「ハルイブキ」および「1CW」+「東北215号」の3つについてブレンド比率を変えて、パン総合評価点を調査し、最適なブレンド比率を検討し、図3に示した。また、写真1に「ゆきちから」+「1CW」および

表3 うるち性小麦2品種・系統の総当たりの50%：50%ブレンドにおける製パン試験成績

群名	品種・系統名 またはブレンド 組み合わせ	HMW-GS 5+10 有無	パン 体積 (cm ³)	比容 (cm ³ /g)	パン官能評価試験										吸水 性 (20)	作業 性 (20)	官能 評価 合計点 (60)	パン 総合 評価点 (100)	ブレンド 2品種の 評価点 平均*	
					パン表皮の皮質		形の内相		すだ触感		香り		味							合計
					体積	焼色	(30)	(10)	(5)	(5)	(10)	(5)	(15)	(15)						
	1CW	有	772 b	5.7	23.2	6.7	4.0	3.7	4.0	7.2	4.3	13.2	12.8	79.0 ab	16.5	20.0 a	47.4 ab	83.9 ab	-	-
	ハルイブキ	有	808 b	5.9	24.2	7.6	4.1	4.1	3.7	6.6	4.1	12.4	12.3	79.2 ab	16.0	18.6 ab	47.5 ab	82.1 ab	-	-
	ゆきちから	無	837 ab	6.1	25.1	7.9	4.1	4.2	4.0	7.1	4.4	12.7	12.9	82.3 ab	18.5	15.7 ab	49.4 ab	83.6 ab	-	-
	コユキコムギ	無	763 b	5.6	22.9	6.9	3.5	3.3	4.0	6.4	3.7	12.0	9.5	72.1 b	15.0	13.3 ab	43.3 b	71.5 bc	-	-
	ナンブコムギ	無	841 ab	6.2	25.2	6.9	3.5	3.9	3.2	6.6	3.6	11.5	10.1	74.5 ab	10.8	14.3 ab	44.7 ab	69.8 c	-	-
	東北215号	無	842 ab	6.2	25.3	7.6	3.7	4.2	3.2	6.6	4.0	12.1	11.6	78.2 ab	18.0	13.8 ab	46.9 ab	78.7 abc	-	-
	ハルユタカ	無	940 ab	7.1	28.2	7.9	3.9	4.4	3.9	6.6	4.4	11.4	10.2	80.9 ab	12.8	8.0 c	48.5 ab	69.3 bc	-	-
A	1CW+コユキコムギ	有+無	818 ab	6.0	24.6	7.8	4.5	4.5	4.1	7.5	4.2	12.8	12.5	82.5 ab	17.0	20.0 a	49.5 ab	86.5 a	◎	77.7
	1CW+ナンブコムギ	有+無	846 ab	6.1	25.4	6.6	4.4	4.6	3.8	7.8	4.5	13.2	12.6	82.7 ab	15.0	18.0 ab	49.6 ab	82.6 ab	○	76.9
	1CW+ハルイブキ	有+有	775 b	5.7	23.2	6.7	4.2	4.0	3.6	7.1	4.2	12.6	12.8	78.5 ab	16.8	19.0 ab	47.1 ab	82.9 ab	○	83.0
	1CW+ゆきちから	有+無	853 ab	6.3	25.6	7.0	4.4	4.6	4.2	8.0	4.6	13.6	13.5	85.5 a	18.0	20.0 a	51.3 a	89.3 a	◎	83.8
	1CW+東北215号	有+無	854 ab	6.3	25.6	7.3	4.5	4.8	4.0	8.0	4.5	13.4	13.4	85.3 a	18.5	18.0 ab	51.2 a	87.7 a	◎	81.3
	1CW+ハルユタカ	有+無	907 a	6.8	27.2	7.8	3.9	4.2	4.1	7.1	4.4	12.1	11.3	82.2 ab	14.6	12.7 ab	49.3 ab	76.6 abc	△	76.6
	ハルイブキ+ハルユタカ	有+無	885 ab	6.6	26.5	7.2	4.3	4.5	3.9	6.9	4.2	11.9	11.7	81.0 ab	15.3	13.0 ab	48.6 ab	76.9 abc	△	75.7
	ハルイブキ+コユキコムギ	有+無	800 ab	5.9	24.0	8.5	3.9	3.9	3.8	6.9	4.0	12.1	12.2	79.2 ab	17.8	17.5 ab	47.5 ab	82.8 ab	○	76.8
	ハルイブキ+ナンブコムギ	有+無	871 ab	6.3	26.1	8.1	4.1	4.3	3.7	7.1	4.2	12.8	12.8	83.3 ab	15.5	15.5 ab	50.0 ab	81.0 abc	○	76.0
	ハルイブキ+ゆきちから	有+無	863 ab	6.4	25.9	8.3	4.2	4.3	4.0	7.7	4.5	13.0	13.2	85.0 ab	17.8	18.0 ab	51.0 ab	86.8 a	◎	82.9
	ハルイブキ+東北215号	有+無	842 ab	6.2	25.2	8.3	3.7	4.2	3.3	6.9	4.2	12.5	12.4	80.7 ab	18.8	15.5 ab	48.4 ab	82.7 ab	○	80.4
	A群平均値		842	6.2	25.4	7.6	4.2	4.4	3.9	7.4	4.3	12.7	12.6	82.4	16.8	17.0	49.6	83.2		79.2
B	ナンブコムギ+コユキコムギ	無+無	833 ab	6.1	25.0	7.9	3.6	3.7	3.8	6.5	3.8	12.0	10.9	77.3 ab	14.0	12.0 ab	46.4 ab	72.4 bc	×	70.7
	ナンブコムギ+東北215号	無+無	814 ab	5.9	24.4	8.2	3.4	3.4	3.2	5.8	3.6	11.8	10.8	74.5 ab	15.0	12.0 ab	44.7 ab	71.7 bc	×	74.3
	ハルユタカ+コユキコムギ	無+無	810 ab	6.0	24.3	7.9	4.1	4.2	4.0	6.4	4.1	11.9	10.5	77.3 ab	13.5	11.0 b	46.4 ab	70.9 bc	×	70.4
	ハルユタカ+ナンブコムギ	無+無	866 ab	6.5	26.0	7.4	3.9	4.1	3.5	6.8	4.2	12.0	11.1	78.9 ab	11.5	9.0 c	47.3 ab	67.8 c	×	69.6
	ハルユタカ+ゆきちから	無+無	883 ab	6.4	26.5	8.0	4.3	4.7	3.9	7.0	4.5	12.3	11.5	82.5 ab	17.0	11.5 ab	49.5 ab	78.0 abc	△	76.5
	ハルユタカ+東北215号	無+無	909 a	6.7	27.3	7.8	4.3	4.4	3.7	7.4	4.6	12.3	11.8	83.5 ab	15.0	11.0 b	50.1 ab	76.1 abc	△	74.0
	ゆきちから+コユキコムギ	無+無	827 ab	6.0	24.8	8.0	4.2	4.3	4.0	7.0	4.2	12.4	11.5	80.4 ab	18.5	14.0 ab	48.2 ab	80.7 abc	△○	77.6
	ゆきちから+ナンブコムギ	無+無	857 ab	6.2	25.7	7.8	3.6	3.8	3.8	6.5	4.0	12.3	12.1	79.6 ab	15.8	13.0 ab	47.8 ab	76.5 abc	△	76.7
	ゆきちから+東北215号	無+無	831 ab	6.1	24.9	8.0	3.9	4.2	3.5	6.7	4.1	12.2	12.1	79.7 ab	19.0	12.5 ab	47.8 ab	79.3 abc	△	81.2
	東北215号+コユキコムギ	無+無	823 ab	6.1	24.7	8.1	4.0	4.1	3.9	7.0	3.9	12.3	11.9	79.8 ab	17.5	12.5 ab	47.9 ab	77.9 abc	△	75.1
	B群平均値		845	6.2	25.4	7.9	3.9	4.1	3.7	6.7	4.1	12.1	11.4	79.3	15.7	11.9	47.6	75.1		74.6
	A群とB群の平均値差のt検定		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	**	*	ns	**	**	**		

注. 1) 1998～1999年産の2カ年平均値。

パン総合評価点は生地特性の吸水性、作業性及び官能評価合計点（パン官能評価試験×0.6）を合計した値。

2) ブレンド2品種の評価点平均はブレンドした2品種のパン総合評価点の平均値を示す、

3) A群とB群の平均値差のt検定：nsは有意差なし、*、**はそれぞれ5%、1%水準で有意。英文字が異なる値の間には、Tukey多重検定における5%水準で有意差があることを示す。

「ゆきちから」+「ハルイブキ」の各ブレンド組合せにおけるパン断面を示した。3つのブレンド組合せともパン総合評価点にピークがみられ、最高値を示したブレンドではブレンドした2品種・系統よりパン総合評価点が高かった。

パン総合評価点から見た最適なブレンド比率は、「ゆきちから」+「1CW」のブレンドでは75%：25%および50%：50%、「ゆきちから」+「ハルイブキ」では75%：25%、「1CW」+「東北215号」では50%：50%であった。写真1のパン断面からも同様な傾向が伺われる。また、これらの最適なブレンド

比率では市販強力粉に近いまたはそれ並の高いパン総合評価点を示した。

2. 超強力系統系統と通常のパン用小麦品種・系統とのブレンド試験

1998年産材料を用いて、超強力系統「東北221号」の60%粉とパン用7品種・系統・銘柄の各60%粉を50%：50%の比率でブレンドし、ファリノグラム特性を調査して図4に示した。なお、図には、「東北221号」とのブレンド組合せとの比較として、通常のパン用品種の組合せである「ハルイブキ」+「コユキコムギ」および「1CW」+「コユキコムギ」

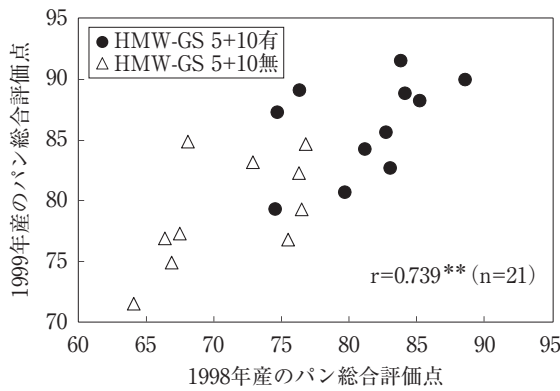


図1 HMW-GS5+10の有無の異なる2品種・系統のブレンドにおけるパン総合評価点の年次間関係

注. 1) 凡例の5+10サブユニット有はブレンドした2品種・系統の内少なくとも1品種が本サブユニットをもち、5+10サブユニット無は2品種・系統とも本サブユニットをもたないことを表す(図2も同様)。
2) ブレンド比率は50% : 50%。

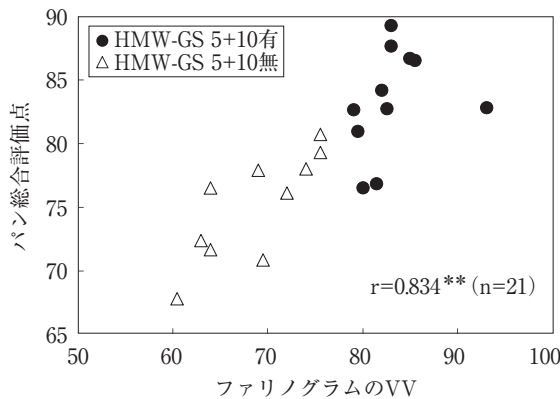


図2 HMW-GS5+10の有無の異なる2品種・系統のブレンドにおけるファリノグラムのVVとパン総合評価点との関係

注. 1998~1999年産の2カ年平均値で、ブレンド比率は50% : 50%。

も合わせて示した。「東北221号」は「ハルイブキ」と同様に高蛋白含量、アミロース含量が普通でHMW-GS 5+10を持つ(表1)が、ファリノグラム特性は「ハルイブキ」に比べDTおよびStabが短く、VVが小さかった。図4から、Abについては、ブレンドはブレンドした2品種・系統の間である場合が多く、これは通常のパン用品種の「ハルイブキ」+「コユキコムギ」および「ICW」+「コユキコムギ」の各ブレンドと同様な傾向であった。一方、DTおよびStabは、「ハルユタカ」を除いたブ

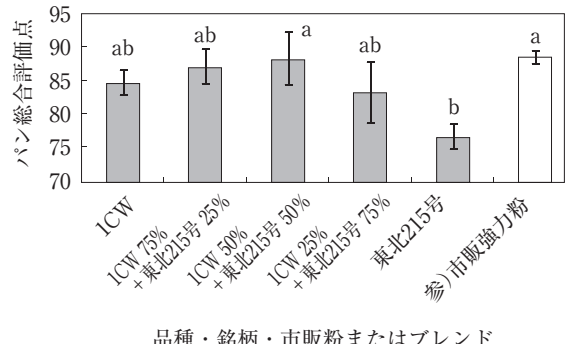
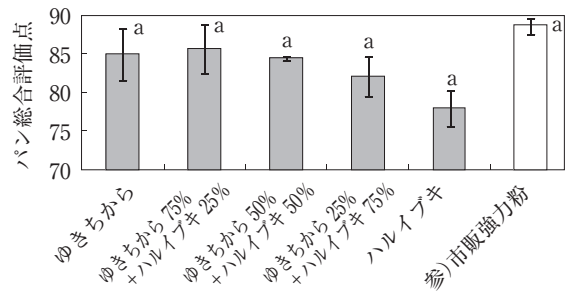
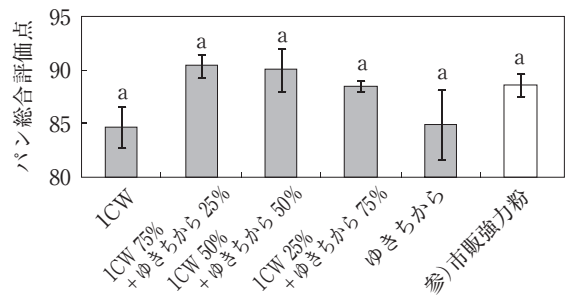


図3 有望なブレンド組合せにおけるブレンド比率を変えた場合のパン総合評価点の変動

注. 図中のゴシック英文字が異なる値の間には、Tukey多重検定における5%水準で有意差があることを示す。

レンドにおいて、いずれもブレンドした2品種・系統よりかなり高い値を示した。特に、2品種・系統ともHMW-GS 5+10を持つ「東北221号」+「ハルイブキ」と「東北221号」+「ICW」の各ブレンドでは、DT、Stabとも高い値を示し、ブレンドした2品種・系統をかなり超越した値を示した。VVもこれらの2特性と同様な傾向を示し、「東北221号」+「ハルイブキ」と「東北221号」+「ICW」の各ブレンドではそれぞれ98、100ときわめて高い値を示し、ブレンドした2品種・系統をかなり超越した。

1998年産と2000年産の2カ年材料を用い、「東北221号」に「コユキコムギ」、「ハルイブキ」、「ゆきちから」および「東北215号」をそれぞれブレンド

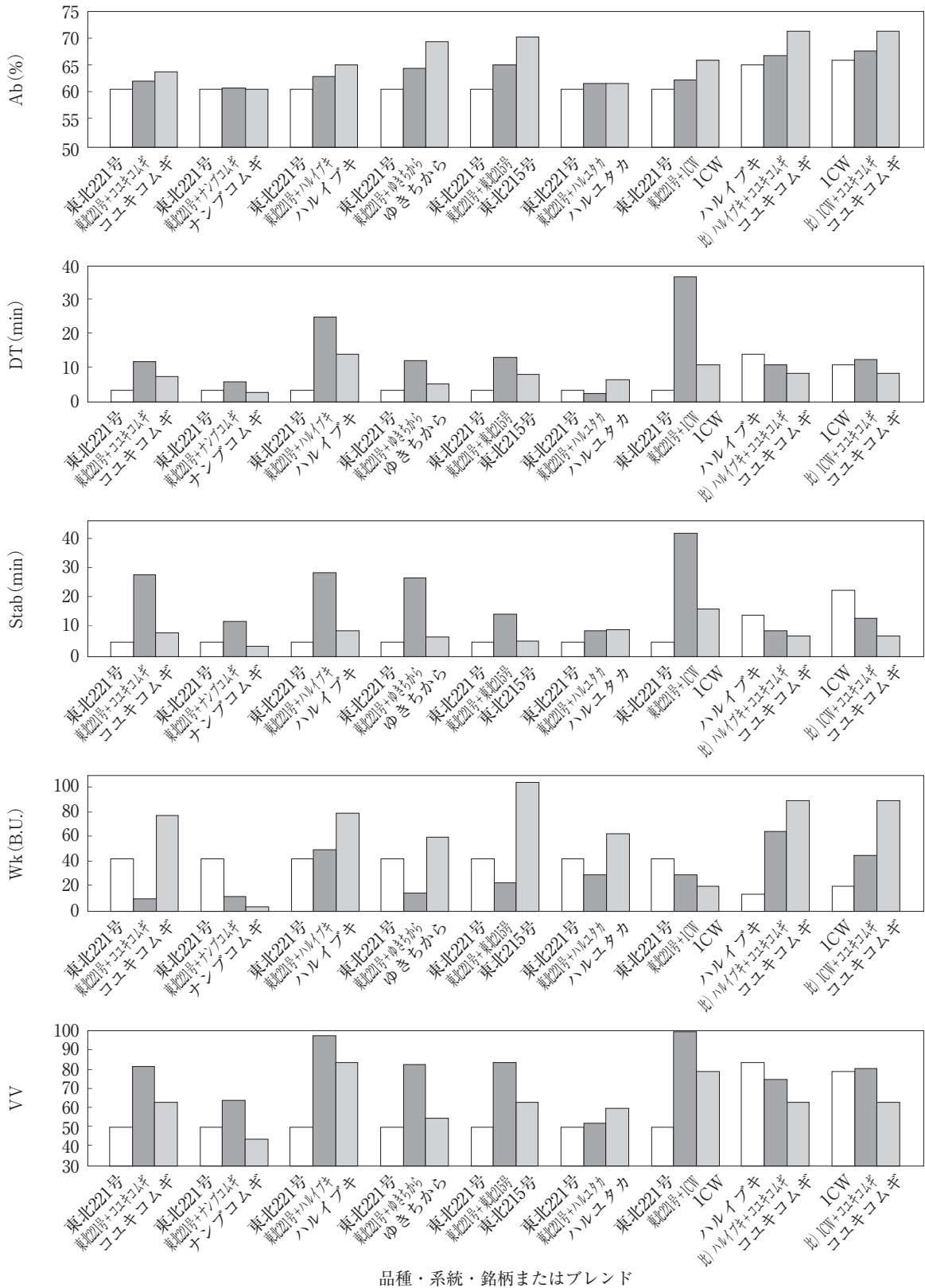


図4 超強力系統「東北221号」との60%粉ブレンドにおけるファリノグラム特性

注. 1998年産材料で、2品種・系統のブレンド比率は50%：50%。

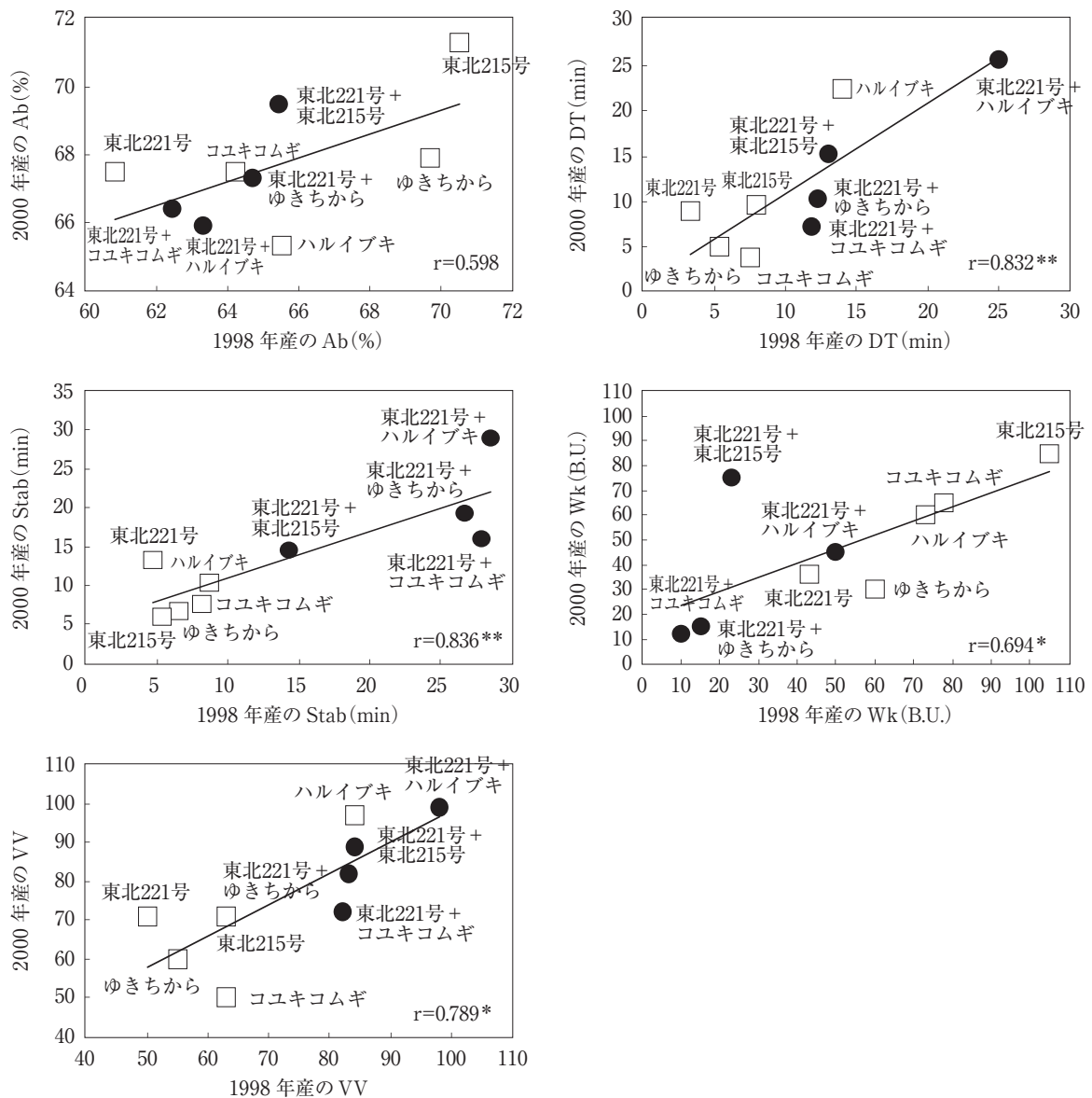


図5 超強力系統「東北221号」との60粉ブレンドにおけるファリノグラム特性の年次間関係

注. 1) 2品種・系統のブレンド比率は50%：50%。
 2) 相関係数の*、**はそれぞれ5%、1%水準で有意。

した材料におけるファリノグラムの各特性の年次間関係を図5に示した。相関係数はDTが0.832、Stabが0.836、Wkが0.694、VVが0.789といずれも有意で高い値を示し、これらの特性は年次が変わっても安定していた。また、Abを除く特性においては、ブレンドした値はブレンドに用いた2品種・系統の値を超越している傾向がみられた。

次に、2000年産材料の「東北221号」との4ブレンドについて、エキステンソグラム特性を図6に示した。「東北221号」はカナダ産強力小麦「1CW」に比較して、A（面積）はやや大きく、R（伸長抵

抗）は同程度で、E（伸長度）は大きく、R/E（形状係数）はやや小さく、超強力粉の特徴を示した。Aにおいては「東北221号」とのブレンドはブレンドした2品種・系統の中間よりやや低い値を示した。一方、比較で示した「1CW」+「ゆきちから」ではほぼ中間の値を示した。Rは「東北221号」+「ハルイブキ」を除く3つのブレンドにおいて、ブレンド2品種・系統のほぼ中間値を示した。Eはブレンドにより一定した傾向を示さなかった。また、R/Eについては、「東北221号」とのブレンドはブレンド2品種・系統のほぼ中間値を示した。以上の結

果、「東北221号」とのブレンドでは、エクステンソグラム特性はファリノグラム特性のようにブレンドした品種・系統を超越することはなく、中間的な値

を示す特性が多かった。

図7に各ブレンドにおける重要な製パン特性を示した。また、写真2にパン断面を示した。超強力系

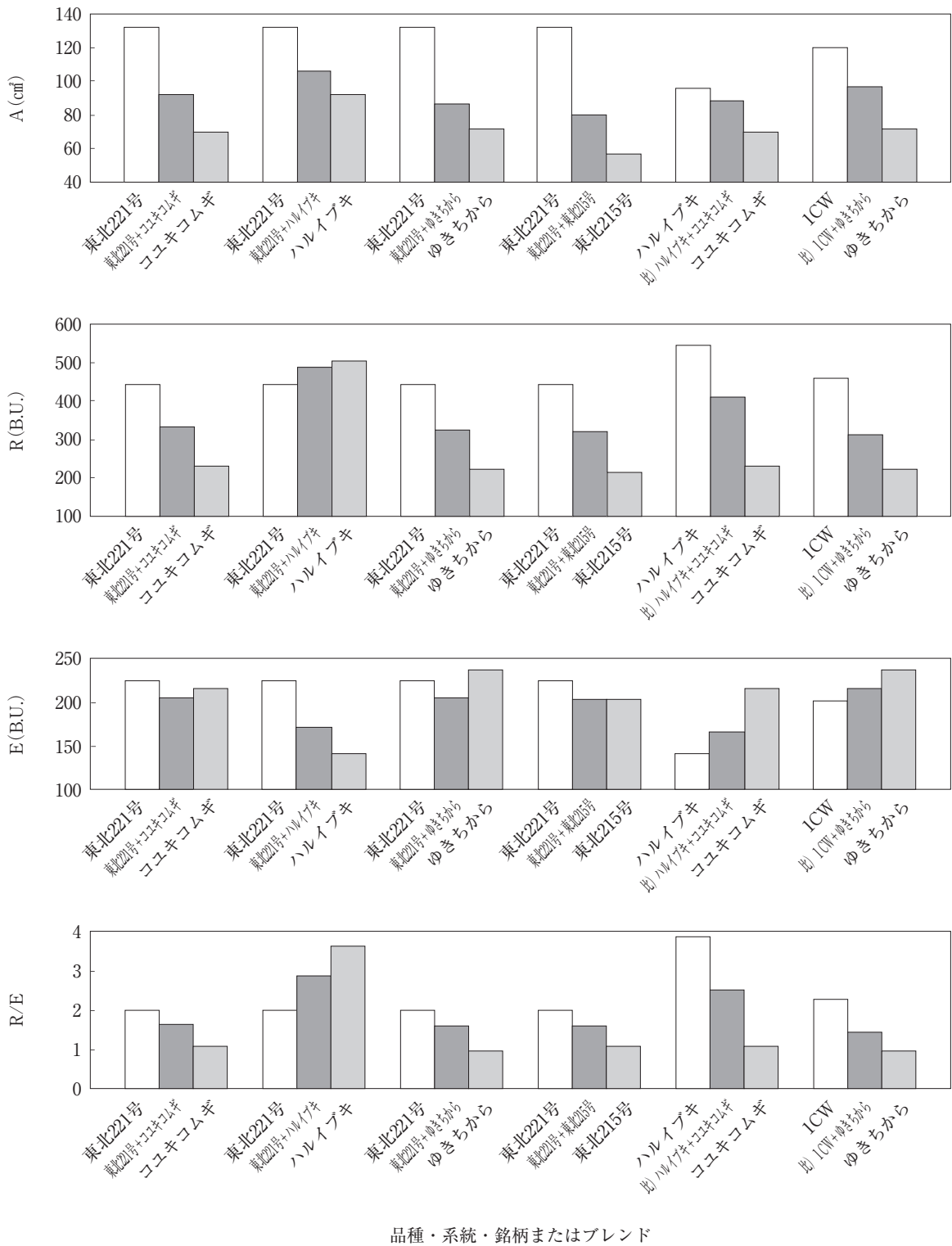


図6 超強力系統「東北221号」との60%粉ブレンドにおけるエクステンソグラム (135分) 特性

注. 1) 2000年産材料で、2品種・系統のブレンド比率は50%：50%。
 2) 比較の1CW+ゆきちからは強力粉同士のブレンド。
 3) A：面積，R：伸長抵抗，E：伸長度，R/E：形状係数。

統「東北221号」はブレンドに用いた品種・系統に比べてパン体積は小さく、官能評価合計点は中程度、作業性は良く、パン総合評価点も中程度であった。

「東北221号」とHMW-GS 5+10を持たない「コユキコムギ」、「ナンブコムギ」、「ゆきちから」、「東北215号」および「ハルユタカ」との各ブレンドで

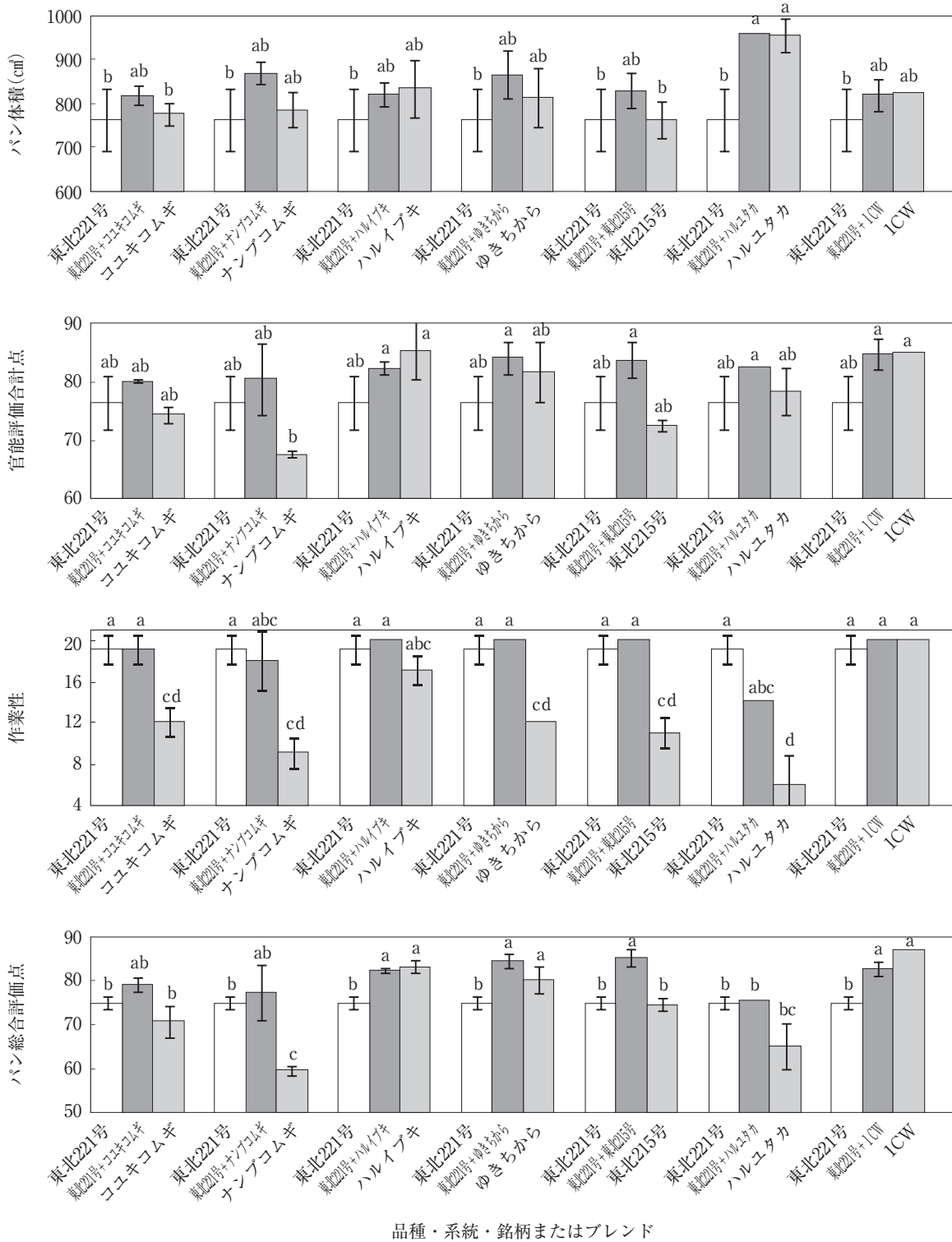


図7 超強力系統「東北221号」とパン用品種・系統とのブレンドにおける製パン特性

注. 1) 1998年産材料で、2品種・系統のブレンド比率は50%：50%。
 2) 全材料において、図中の英文字が異なる値の間には Tukey 多重検定 5%水準で有意差があることを示す。

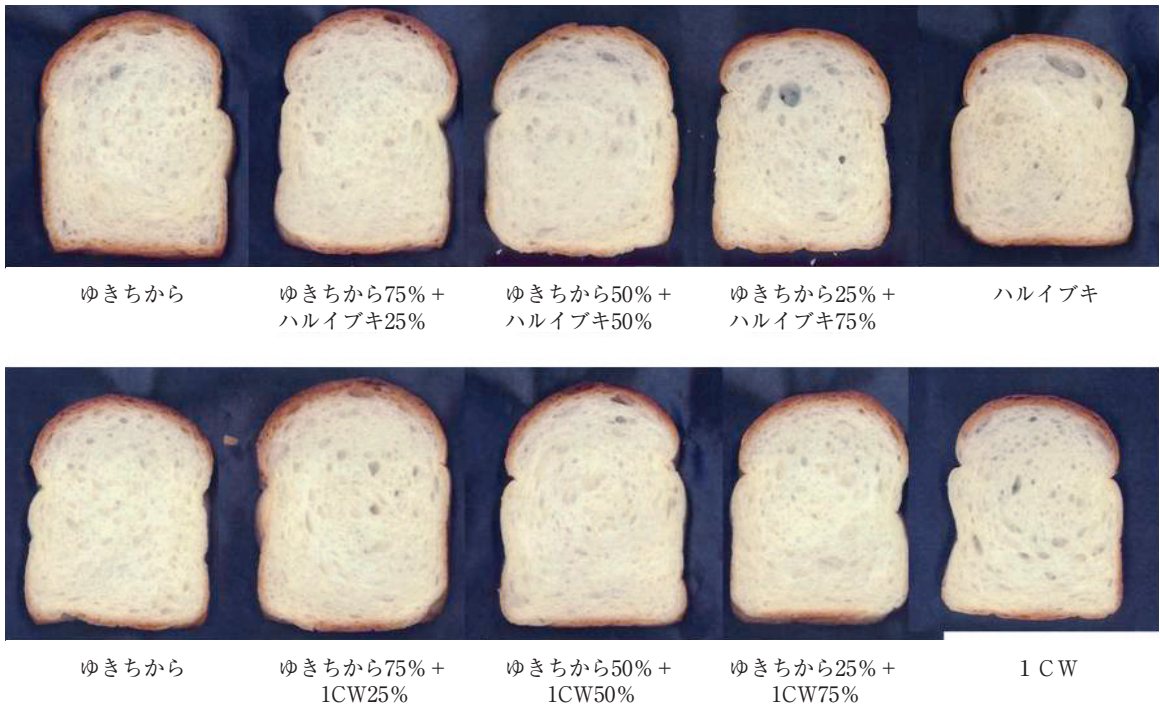


写真1 「ゆきちから」 + 「ハルイブキ」 および 「ゆきちから」 + 「1CW」の各ブレンド組合せにおける60%粉ブレンド比率を変えた場合の製パン適性の変動

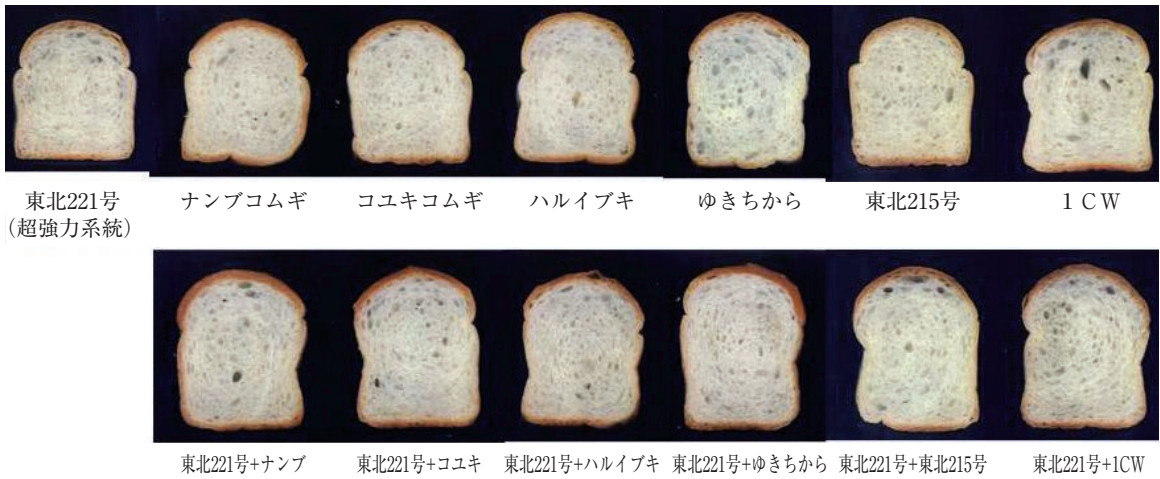


写真2 超強力系統「東北221号」とパン用品種・系統・銘柄との50%：50%の60%粉ブレンドにおける製パン適性

は、パン体積、官能評価合計点およびパン総合評価点ともに、ブレンドした2品種・系統より大きい値を示した。一方、「東北221号」とHMW-GS 5+10を持つ「ハルイブキ」、「1CW」との各ブレンドではこれらの品種・銘柄よりやや小さい値を示した。写

真2のパン断面からも「東北221号」とHMW-GS 5+10を持たない品種・系統とのブレンドではパン断面が大きくなっていることがわかる。

作業性は、「ハルユタカ」とのブレンドを除いたすべてのブレンドにおいて東北221号並かやや高くなり、20満点のブレンドも4つあった。

以上の結果から、超強力系統の「東北221号」とブレンドする場合、HMW-GS 5+10を持たない品種・系統をブレンドすると製パン適性の改善効果が期待できることが判明した。パン総合評価点からみた最適なブレンド組合せは「東北221号」+「ゆきちから」および「東北221号」+「東北215号」であった。

表4 低アミロースめん用品種「ネバリゴシ」と市販強力粉及びパン用品種「ハルイブキ」とのブレンドにおけるファリノグラム特性

産地 名	品種・系統名 またはブレンド 組合せ	ブレンド 比率 (%)	Ab	DT	Stab	Wk	VV
			(%)	(min)	(min)	(BU)	
東北農研産	市販強力粉 (カメリヤ)	-	69.0	23.6	18.0	38	98
	ハルイブキ	-	64.2	23.0	9.9	55	97
	ネバリゴシ	-	59.2	3.7	4.3	80	47
	ネバリゴシ+市販強力粉	50:50	64.1	12.3	12.1	55	80
	ネバリゴシ+ハルイブキ	50:50	62.1	11.2	15.3	40	81
岩手県現地産 (玉山村)	市販強力粉 (カメリヤ)	-	67.6	25.0	23.5	25	98
	ハルイブキ	-	63.3	19.5	23.2	50	94
	ネバリゴシ	-	58.1	1.5	2.1	60	43
	ネバリゴシ+市販強力粉	50:50	61.1	10.2	23.6	35	78
	ネバリゴシ+ハルイブキ	50:50	57.4	2.0	17.7	20	55
秋田農試産	市販強力粉 (カメリヤ)	-	67.6	25.0	23.5	25	98
	ハルイブキ	-	65.3	4.6	1.3	115	35
	ネバリゴシ	-	57.4	2.1	2.1	80	41
	ネバリゴシ+市販強力粉	50:50	62.5	8.4	13.4	29	71
	ネバリゴシ+ハルイブキ	50:50	62.1	1.8	1.0	110	35

3. 低アミロース含量のめん用小麦品種・系統と通常のアミロース含量のパン用小麦品種とのブレンド試験

低アミロース含量で中力のめん用品種「ネバリゴシ」を用いて、「ネバリゴシ」+市販強力粉および「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」の50%：50%の比率のブレンドにおけるファリノグラム特性を表4に、製パン試験成績を表5に示した。材料は東北農業研究センター産（東北農研産）、岩手県玉山村現地試験産（岩手現地産）および秋田県農業試験場産（秋田農試産）の3つである。「ネバリゴシ」と「ハ

表5 低アミロースめん用品種「ネバリゴシ」と市販強力粉及びパン用品種「ハルイブキ」とのブレンドにおける製パン試験成績

産地 名	品種・系統名 またはブレンド 組合せ	ブレンド 比率 (%)	パン 体積 (cm ³)	比容 (cm ³ /g)	パン官能評価試験								吸水 性 (%)	作業 性 (%)	官能 評価 (60)	パン 総合 評価 点 (100)		
					パン 体積 (30)	表皮の 焼色 (10)	皮質 均整 (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 (100)
東北農研産	市販強力粉 (カメリヤ)	-	815 ab	5.7 ab	24.5 ab	8.3 a	4.4 a	3.9 ab	4.7 a	7.8 ab	4.3 ab	12.0 ab	12.5 ab	82.5 ab	18.0	18.8 a	49.9 ab	86.6 a
	ハルイブキ	-	762 b	5.3 b	22.9 b	7.3 ab	3.7 ab	3.5 b	3.5 ab	6.4 bc	3.4 bc	10.8 bc	10.8 bc	72.3 b	18.0	16.8 ab	42.4 b	77.1 ab
	ネバリゴシ	-	742 b	5.3 b	22.3 b	6.1 b	3.0 b	3.1 b	2.8 b	5.5 c	2.7 c	9.6 c	9.1 c	64.2 c	13.7	14.5 b	38.5 c	61.5 b
	ネバリゴシ+市販強力粉	50:50	909 ab	6.3 a	27.3 ab	8.8 a	4.6 a	4.6 a	4.3 a	8.6 a	4.6 a	12.8 ab	13.6 a	89.2 a	16.0	18.8 a	53.5 a	88.3 a
	ネバリゴシ+ハルイブキ	50:50	925 a	6.5 a	27.7 a	8.0 ab	4.4 ab	4.6 a	4.2 a	8.5 a	4.6 a	12.7 a	13.3 a	88.1 a	15.5	18.5 a	53.8 a	87.8 a
岩手県現地産 (玉山村)	市販強力粉 (カメリヤ)	-	843 a	5.7 a	25.3 a	8.5 a	4.8 a	4.0 a	5.0 a	8.0 ab	4.5 a	12.0 ab	13.0 a	85.0 ab	18.5	20.0 a	51.0 ab	89.5 a
	ハルイブキ	-	807 a	5.4 a	24.2 a	6.7 a	3.9 a	3.9 a	3.6 a	6.4 c	3.3 b	10.6 c	10.4 b	73.1 b	14.0	11.5 a	43.8 b	69.3 cd
	ネバリゴシ	-	912 a	6.2 a	27.4 a	6.7 a	4.0 a	4.4 a	3.8 a	7.0 bc	3.7 b	10.9 bc	11.2 b	79.1 ab	8.0	7.0 b	47.5 ab	62.5 d
	ネバリゴシ+市販強力粉	50:50	924 a	6.2 a	27.7 a	8.4 a	4.8 a	4.4 a	4.7 a	8.9 a	4.7 a	13.1 ab	13.9 a	90.6 a	13.0	16.0 a	54.4 a	83.4 ab
	ネバリゴシ+ハルイブキ	50:50	932 a	6.3 a	28.0 a	8.2 a	4.4 a	4.1 a	4.5 a	8.7 a	4.5 a	12.6 ab	13.4 a	88.3 a	10.5	12.0 a	53.0 a	75.5 bc
秋田農試産	市販強力粉 (カメリヤ)	-	829 ab	5.6 a	24.9 ab	9.0 a	5.0 a	4.0 a	5.0 a	8.0 a	4.0 ab	13.0 a	12.0 a	84.9 a	18.5	20.0 a	50.9 a	89.4 a
	ハルイブキ	-	733 b	4.9 b	22.0 b	8.4 ab	3.8 ab	3.3 b	3.7 bc	6.3 ab	3.1 bc	11.4 b	10.4 b	72.3 b	11.5	10.0 c	43.4 b	68.6 bc
	ネバリゴシ	-	739 b	5.0 b	22.2 b	6.7 b	3.7 b	3.0 b	3.2 c	5.6 b	2.8 c	10.8 b	9.6 b	67.4 b	8.5	15.0 b	40.5 b	64.0 c
	ネバリゴシ+市販強力粉	50:50	857 a	5.8 a	25.7 a	8.3 ab	4.7 ab	4.2 a	4.4 a	7.9 a	4.4 a	12.9 a	13.1 a	85.5 a	14.5	19.0 a	51.3 a	84.8 a
	ネバリゴシ+ハルイブキ	50:50	841 a	5.7 a	25.2 a	8.0 ab	4.6 a	4.3 a	4.2 b	7.6 a	4.2 a	12.8 a	12.6 a	83.5 a	13.8	10.5 c	50.1 a	74.3 b

注. 1) 東北農研の材料は1998～2000年産の3カ年平均値、他の産地の材料は1999年産。
2) 同じ産地においては、英文字が異なる値の間には、Tukey 多重検定における5%水準で有意差があることを示す。

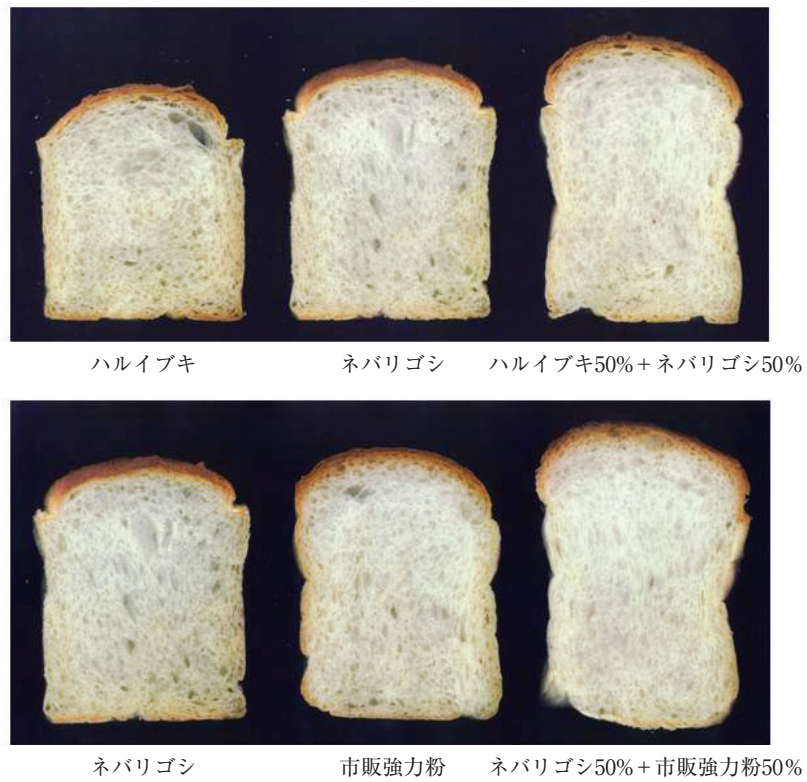


写真3 低アミロース・めん用中力品種「ネバリゴシ」とパン用強力品種「ハルイブキ」または「市販強力粉」の60%粉(小麦粉)ブレンドによるパン体積および内相の改善効果

注. 市販強力粉以外の材料は東北農業研究センター産。60%粉(小麦粉)を300g使用。

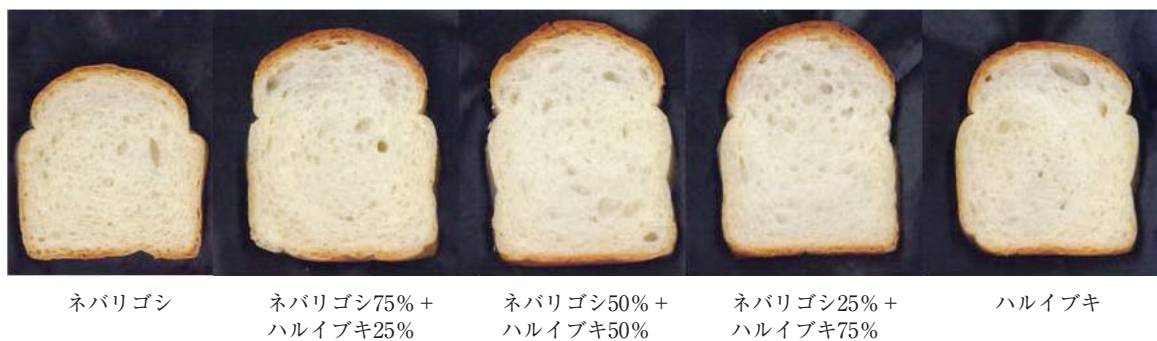


写真4 「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」の60%粉ブレンド比率を変えた場合の製パン適性の変動

ルイブキ」の60%粉蛋白含量は、岩手現地産および秋田農試産は東北農研産より低かった。また、その蛋白含量は産地間で「ネバリゴシ」は8.3~12.8%、「ハルイブキ」は10.7~14.0%の差異が見られた。なお、秋田農試産の「ハルイブキ」はアミログラム最高粘度が極端に低く低アミロであった（表1）。

ファリノグラムのAbは、各産地とも、ブレンド組合せはブレンドした品種・材料の中間の値を示した。また、VVは東北農研産はいずれのブレンドも、

岩手現地産と秋田農試産では「ネバリゴシ」+市販強力粉のブレンドで、2品種の中間より市販強力粉または「ハルイブキ」に近い値を示した。一方、岩手現地産および秋田農試産の「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」では2品種の中間より小さい値であった。

次に、製パン試験においては、パン体積と比容積は、各産地の2ブレンドともに、ブレンドに用いた2品種に比べて大きくなった（写真3）。パン官能評価試験では、いずれの産地においてもブレンドす

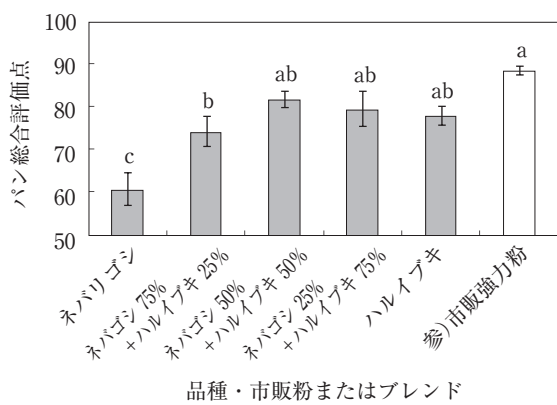


図8 低アミロース品種「ネバリゴシ」とパン用品種「ハルイブキ」との60%粉ブレンドにおけるブレンド比率を変えた場合のパン総合評価点の変動

注. 図中のゴシック英文字が異なる値の間には、Tukey 多重検定における5%水準で有意差があることを示す。

表6 硬軟質性が異なる低アミロース品種・系統とのブレンドにおけるファリノグラム特性

品種・系統名 またはブレンド 組合せ	硬軟 質性	ブレ ド比 率 (%)	Ab (%)	DT (min)	Stab (min)	Wk (B.U.)	VV
ネバリゴシ	軟質	-	57.1	4.0	3.9	75	49
東北213号	軟質	-	61.3	4.2	4.3	120	44
東北212号	硬質	-	68.8	4.9	7.7	70	53
盛系C-B2661	硬質	-	73.8	6.2	6.0	85	56
市販強力粉 (カメリヤ)	硬質	-	70.4	22.2	12.5	50	97
ハルイブキ	硬質	-	65.3	22.4	10.3	60	97
ネバリゴシ+市販強力粉	軟質+硬質	50:50	63.4	7.8	18.5	20	76
東北213号+市販強力粉	軟質+硬質	50:50	65.7	11.0	9.7	80	80
東北212号+市販強力粉	硬質+硬質	50:50	68.2	16.0	17.5	62	91
盛系C-B2661+市販強力粉	硬質+硬質	50:50	-	-	-	-	-
ネバリゴシ+ハルイブキ	軟質+硬質	50:50	62.0	9.5	20.0	20	80
東北213号+ハルイブキ	軟質+硬質	50:50	63.5	11.0	9.0	85	79
東北212号+ハルイブキ	硬質+硬質	50:50	67.5	14.0	14.5	80	86
盛系C-B2661+ハルイブキ	硬質+硬質	50:50	-	-	-	-	-

表7 硬軟質性が異なる低アミロース品種・系統とのブレンドにおける製パン試験成績

品種・系統名 またはブレンド 組合せ	ブレ ド比 率 (%)	パン 体積 (cm ³)	比容 積 (cm ³ /g)	パン官能評価試験										吸水 合計 (20)	作業 性 (20)	官能 評価 合計 (60)	パン 総合 評価 点 (100)	
				パン 体積 (30)	表皮の 焼色 (10)	皮質 均整 (5)	形の 内相 (5)	すだ ち (10)	触感 (5)	香り (15)	味 (15)							
ネバリゴシ	軟質	-	841 a	6.3 ab	25.2 a	5.3 a	3.2 bc	4.1 ab	3.4 bc	6.8 bc	3.5 bc	11.1 bc	10.9 bc	73.4 c	8.0	14.0	44.0 c	66.0 b
東北213号	軟質	-	701 b	5.4 b	21.0 b	6.0 a	2.4 c	2.9 b	2.9 c	4.5 c	2.4 c	9.2 d	9.4 e	60.5 d	10.0	6.0 b	36.3 d	52.3 c
東北212号	硬質	-	807 ab	6.1 ab	24.2 ab	6.3 a	3.5 b	3.6 ab	3.8 b	6.9 bc	4.0 ab	11.6 b	12.0 b	75.8 bc	17.0	14.0	45.5 bc	76.5 ab
盛系C-B2661	硬質	-	705 b	5.4 b	21.2 b	5.4 a	2.8 c	2.8 b	3.0 bc	5.3 bc	3.3 bc	10.4 c	10.8 cd	64.9 cd	20.0	12.0	38.9 cd	70.9 b
強力市販粉 (カメリヤ)	硬質	-	780 ab	5.8 ab	23.4 ab	6.5 a	4.0 b	3.8 ab	4.3 ab	7.0 bc	3.8 bc	12.0 ab	12.0 b	76.7 bc	20.0	20.0 a	46.0 bc	86.0 a
ハルイブキ	硬質	-	780 ab	5.7 ab	23.4 ab	6.5 a	3.8 b	3.9 ab	3.7 b	7.3 bc	3.9 ab	11.4 b	11.9 bc	75.7 bc	14.0	19.0 a	45.4 bc	78.4 ab
ネバリゴシ+強力市販粉	軟質+硬質	50:50	871 a	6.4 ab	26.1 a	6.7 a	4.4 a	4.8 a	4.5 ab	8.3 ab	4.7 ab	12.6 a	13.7 a	85.7 ab	12.0	18.0 a	51.4 ab	81.4 ab
東北213号+強力市販粉	軟質+硬質	50:50	898 a	6.7 a	26.9 a	6.5 a	4.7 a	4.7 a	4.7 ab	8.4 a	4.9 a	12.7 a	13.2 ab	86.6 a	14.0	15.0	49.9 a	80.9 ab
東北212号+強力市販粉	硬質+硬質	50:50	871 a	6.4 a	26.1 a	7.0 a	4.5 ab	4.4 a	4.6 ab	8.2 ab	4.7 ab	12.6 a	13.2 ab	85.2 ab	18.0	18.0 a	51.1 ab	87.1 a
盛系C-B2661+強力市販粉	硬質+硬質	50:50	842 a	6.4 ab	25.3 a	7.9 a	4.4 ab	4.2 a	4.8 a	7.8 ab	4.7 ab	12.7 a	13.4 a	85.0 ab	20.0	17.0 a	51.0 ab	88.0 a
ネバリゴシ+ハルイブキ	軟質+硬質	50:50	838 a	6.1 ab	25.1 a	6.5 a	4.1 ab	4.7 a	4.5 ab	8.2 ab	4.4 ab	12.5 a	12.7 ab	82.6 ab	12.0	18.0 a	49.6 ab	79.6 ab
東北213号+ハルイブキ	軟質+硬質	50:50	881 a	6.5 a	26.4 a	6.4 a	4.4 ab	4.6 a	4.4 ab	8.2 ab	4.6 ab	12.6 a	13.1 ab	84.6 ab	12.0	17.0 a	50.8 ab	79.8 ab
東北212号+ハルイブキ	硬質+硬質	50:50	858 a	6.2 ab	25.7 a	7.6 a	4.5 a	4.6 a	4.2 ab	7.7 ab	4.6 ab	12.5 a	13.2 ab	84.5 ab	17.0	16.0 a	50.7 ab	83.7 a
盛系C-B2661+ハルイブキ	硬質+硬質	50:50	874 a	6.4 ab	26.2 a	8.4 a	4.2 ab	4.7 a	4.4 ab	8.4 a	4.9 a	12.8 a	13.7 a	87.6 a	18.0	16.0 a	52.6 a	86.6 a

注. 英文字が異なる値の間には、Tukey 多重検定における5%水準で有意差があることを示す。

ることにより形の均整、すだち、触感、香り、味および合計が高くなり、特に「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」のブレンドでは顕著に高まった。なお、各官能評価項目とも2つブレンド間の差は小さかった。吸水性は、秋田農試産の「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」を除いたブレンドはブレンドに用いた2品種の中間を示し、ファリノグラムのAbの結果と同じであった。作業性は秋田農試産の「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」を除いて2品種の中間より高かった。パン総合評価点は「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」ではいずれの産地でもブレンドした2品種より高い値を示した。一方、「ネバリゴシ」+市販強力粉では東北農研産では2品種よりやや高いものの、岩手現地産および秋田農試産では市販強力粉より低かった。

以上の結果、低アミロースの「ネバリゴシ」とパン用品種をブレンドすることにより、パン体積、比容積が大きくなって、パン官能評価の品質全般、特に触感(柔らかさ)および味が改善され、「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」ではその改善効果が顕著であった。

そこで、ブレンド効果の高い「ネバリゴシ」+「ハルイブキ」について、ブレンド比率を5段階に変えて製パン試験を行い、パン総合評価点について図8に示した。パン総合評価点は、ブレンド比率50%:50%で最大値を示し、次いで25%:75%、75%:25%の順であった。写真4のパン断面も同様な結果で、ブレンド比率50%:50%で最大のパン体積を示した。

次に、硬軟質性が異なる低アミロース4品種・系統と市販強力粉または「ハルイブキ」とのブレンドを行い、ファリノグラム特性を表6に、製パン試験成績を表7に示した。ブレンド組合せのファリノグラム特性は、硬質・低アミロース品種・系統とのブレンドは軟質・低アミロース系統とのブレンドに比べ、Ab、DTおよびVVが高かった。

製パン試験のパン体積と比容積は、ほとんどのブレンド組合せにおいてブレンドした品種・系統・材料より大きくなった。また、パン官能評価試験の各項目、特に触感、香り、味などはブレンドにより評点が高くなり、官能評価の合計も高くなった。ブレンド組合せ間のパン体積およびパン官能評価試験の各項目の差は小さく、いずれのブレンド組合せも、パン用の「ハルイブキ」より優れた官能評価を示し

表8 もち性系統とうるち性品種・系統のブレンドにおけるファリノグラム

群名	品種・系統名 またはブレンド 組合せ	HMW -GS 5+10 有無	ブレ ン ド 比 率 (%)	Ab (%)	DT (min)	Stab (min)	Wk (B.U.)	VV
	もち乙女	無	-	74.3	7.0	3.5	155	57
	1CW	有	-	65.7	10.7	20.5	5	80
	ハルイブキ	有	-	65.5	14.0	8.7	73	84
	東北221号	有	-	60.8	3.3	4.7	43	50
	標)コユキコムギ	無	-	64.2	7.5	8.2	78	63
	ナンブコムギ	無	-	60.8	2.8	3.6	80	44
A	1CW+もち乙女	有+無	90:10	66.5	16.0	16.5	45	89
	1CW+もち乙女	有+無	80:20	67.5	10.0	12.0	48	74
	ハルイブキ+もち乙女	有+有	90:10	65.8	13.0	13.2	90	81
	ハルイブキ+もち乙女	有+無	80:20	67.2	11.7	10.4	95	77
	東北221号+もち乙女	有+無	90:10	61.8	5.4	9.2	28	60
	東北221号+もち乙女	有+無	80:20	63.0	4.7	9.6	30	58
	A群平均値			65.3	10.1	11.8	56	73
B	コユキコムギ+もち乙女	無+無	90:10	65.5	4.0	5.5	83	48
	コユキコムギ+もち乙女	無+無	80:20	66.6	6.0	4.9	95	55
	ナンブコムギ+もち乙女	無+無	90:10	63.6	4.5	5.2	87	48
	ナンブコムギ+もち乙女	無+無	80:20	64.9	4.0	3.8	105	45
	B群平均値			65.2	4.6	4.9	93	49
	A群とB群の平均値差のt検定			ns	*	**	*	**

注. 1) 1998年産、1CWはカナダ産。

2) A群とB群の平均値差のt検定のnsは有意差なし、*は5%水準で有意、**は1%水準で有意。

た。一方、吸水性は硬質・低アミロース系統(東北212号、盛系C-B2661)とのブレンド組合せの方が軟質・低アミロース品種・系統(ネバリゴシ、東北213号)のブレンド組合せより高かったが、作業性は両者の差が小さかった。このため、パン総合評価点は硬質・低アミロース系統とのブレンド組合せの方が軟質・低アミロース品種・系統ブレンドよりやや高かった。

以上の結果、低アミロース品種・系統とパン用品種とのブレンドはいずれも製パン適性、特にパン体積、比容積が大きくなり、パンの内相品質、味などの改善につながるが、吸水率の高い硬質の品種・系統を用いるとさらに製パン適性が高まることわかった。

4. もち性小麦品種とパン用小麦品種・系統のブレンド試験

うるち性でHMW-GS 5+10の有無が異なるパン用5品種・系統に、もち性品種「もち乙女」を10%、20%ブレンドして、ファリノグラム特性と製パン性を調査した。そしてファリノグラム特性を表8に、製パン試験成績を表9に示した。「もち乙女」は、

表9 もち性系統とうるち性品種・系統のブレンドにおける製パン試験成績

群名	品種・系統名 またはブレンド 組み合わせ	HMW-GS 5+10 有無	ブレンド 比率 (%)	パン体積 (cm ³)	比容 (cm ³ /g)	パン官能評価試験										吸水 性 (20)	作業 性 (20)	官能 評価 合計点 (60)	パン 総合 評価点 (100)	作業 性 (20)	有 望 度	
						パン表皮の皮質		形の内相		すだ触感		香り		味								合計 (100)
						体積	焼色	均整	の色	ち	(15)	(15)	(15)									
						(30)	(10)	(5)	(5)	(5)	(10)	(5)	(15)	(15)								
もち乙女	無	-	500 b	3.5 b	15.0 b	5.0 b	2.5 d	1.1 c	1.1 c	2.7 b	1.6 d	8.6 c	8.3 d	46.0 c	20.0	18.0 ab	27.6 c	65.6 c	4.6 a			
1CW	有	-	840 a	6.1 a	25.2 a	7.9 a	4.6 ab	4.7 ab	4.8 a	8.6 a	4.3 a	13.9 a	13.6 a	87.6 a	15.0	20.0 a	52.6 a	87.6 a	2.9 bc			
ハルイブキ	有	-	870 a	6.4 a	26.1 a	7.7 a	4.3 ab	4.8 ab	4.6 ab	8.6 a	4.8 a	12.9 ab	13.3 ab	87.0 a	15.0	20.0 a	52.2 a	87.2 a	2.5 bc			
東北221号	有	-	818 a	5.9 a	24.5 a	6.9 a	4.0 ab	3.8 ab	4.4 ab	7.6 a	3.6 b	12.6 ab	12.0 abc	79.5 ab	10.0	20.0 a	47.7 ab	77.7 bc	2.8 bc			
標)コユキコムギ	無	-	798 a	5.9 a	23.9 a	7.7 a	3.4 bc	4.0 ab	4.5 ab	7.6 a	3.7 b	12.6 ab	11.3 bc	78.8 ab	14.0	12.0 bc	47.3 ab	73.3 bc	2.0 c			
ナンブコムギ	無	-	812 a	6.0 a	24.4 a	7.6 a	3.3 bc	4.2 ab	3.5 ab	7.3 a	3.4 b	11.7 ab	10.3 cd	75.6 b	10.0	12.0 bc	45.4 b	67.4 c	2.4 bc			
A 1CW+もち乙女	有+無	90:10	907 a	6.6 a	27.2 a	8.0 a	4.7 ab	5.0 ab	4.9 a	8.6 a	4.6 a	13.7 a	13.9 a	90.6 a	16.0	20.0 a	54.4 a	90.4 a	3.2 b	◎		
1CW+もち乙女	有+無	80:20	876 a	6.3 a	26.3 a	8.0 a	4.8 ab	4.1 ab	4.3 ab	8.1 a	4.7 a	13.7 a	13.6 a	87.7 a	17.0	20.0 a	52.6 a	89.6 a	3.3 b	◎◎		
ハルイブキ+もち乙女	有+有	90:10	893 a	6.6 a	26.8 a	7.7 a	4.8 ab	4.6 ab	4.7 ab	8.8 a	4.6 a	13.6 a	13.5 a	89.1 a	15.0	18.0 ab	53.5 a	86.5 a	3.2 b	○		
ハルイブキ+もち乙女	有+無	80:20	901 a	6.7 a	27.0 a	7.8 a	4.7 ab	4.6 ab	4.3 ab	8.3 a	4.7 a	13.3 a	13.4 ab	88.1 a	17.0	18.0 ab	52.8 a	87.8 a	3.2 b	○		
東北221号+もち乙女	有+無	90:10	866 a	6.3 a	26.0 a	7.3 a	4.9 ab	4.6 ab	4.5 ab	7.9 a	4.5 a	13.4 a	12.9 ab	86.0 ab	11.0	20.0 a	51.6 ab	82.6 ab	3.0 bc	○		
東北221号+もち乙女	有+無	80:20	880 a	6.3 a	26.4 a	7.3 a	4.8 ab	4.4 ab	4.3 ab	7.8 a	4.5 a	13.4 a	13.0 ab	85.8 ab	13.0	20.0 a	51.5 ab	84.5 a	3.1 b	○		
A群平均値			887	6.4	26.6	7.7	4.8	4.6	4.5	8.3	4.6	13.5	13.4	87.9	14.8	19.3	52.7	86.9	3.2			
B コユキコムギ+もち乙女	無+無	90:10	777 a	5.7 a	23.3 a	7.6 a	3.5 bc	3.4 b	3.8 ab	6.3 a	3.1 c	11.4 b	10.6 c	73.0 b	15.0	9.0 c	43.8 b	67.8 c	2.5 bc	×		
コユキコムギ+もち乙女	無+無	80:20	780 a	5.7 a	23.4 a	7.9 a	3.6 bc	3.6 ab	3.7 ab	6.3 a	2.9 c	11.1 b	10.6 c	73.1 b	16.0	10.0 c	43.8 b	69.8 c	2.5 bc	×		
ナンブコムギ+もち乙女	無+無	90:10	764 a	5.7 a	22.9 a	7.2 a	2.7 c	3.3 b	3.1 b	6.0 a	3.0 c	11.2 b	9.3 cd	68.6 b	13.0	10.0 c	41.2 b	64.2 c	2.4 bc	×		
ナンブコムギ+もち乙女	無+無	80:20	803 a	5.8 a	24.1 a	7.6 a	3.3 c	3.6 ab	3.3 b	6.5 a	3.4 b	11.9 ab	10.3 cd	74.0 b	14.0	12.0 bc	44.4 b	70.4 c	2.6 bc	×		
B群平均値			781	5.7	23.4	7.6	3.3	3.5	3.5	6.3	3.1	11.4	10.2	72.2	14.5	10.3	43.3	68.1	2.5			
A群とB群の平均値差のt検定			**	**	**	ns	**	**	**	**	**	**	**	**	ns	**	**	**	**	**		

注. 1) 1998年産、1CWはカナダ産。
 2) A群とB群の平均値差のt検定のnsは有意差なし、*は5%水準で有意、**は1%水準で有意。
 3) 英文字が異なる値の間には、Tukey多重検定における5%水準で有意差があることを示す。

60%粉蛋白含量が13.0%で、「ハルイブキ」、「ナンブコムギ」と同程度であるが、アミロース含量が0%で60%粉灰分含量が高かった(表1)。ファリノグラム特性について、HMW-GS 5+10の有無によりブレンド組合せを片方の品種・銘柄がHMW-GS 5+10を持つブレンド組合せ群をA群、これを持たない品種・系統のブレンド組合せ群をB群として、各群の特性平均値を比較したところ、DT、Stab、WkおよびVVに有意差が認められ、A群の方がB群よりDT、StabおよびVVが高く、Wkが小さかった。一方、Abには有意差がみられなかった。

Abは「もち乙女」は極めて高い値を示すが、いずれのブレンドとも、もち性ブレンド比率が高くなるにつれAbが高くなった。一方、DT、StabおよびVVは一般に低くなった。

製パン試験でも、ファリノグラムと同様に、HMW-GS 5+10の有無でブレンド組合せをA群とB群とに分け、A群とB群の平均値の有意差検定を行った。その結果、表皮の焼色を除く全項目で有意差が認められ、A群の方がB群より製パン性およびもちもち感が優れていた。また、A群はもち性品種と

のブレンドにより製パン性が向上したが、B群の場合は逆にブレンドにより製パン性が低下した。もち性品種のブレンド比率間の製パン性の差はA群、B群とも小さかった。

以上の結果から、もち性品種とうるち性品種のブレンドでも、HMW-GS 5+10を持つもち性品種を用いることにより製パン性が改善できたが、HMW-GS 5+10を持たないもち性品種とのブレンドでは、製パン性の向上はみられなかった。

次にHMW-GS 5+10をもつもち性品種「ハルイブキ」とHMW-GS 5+10の有無の異なるもち性有望系統の「もち盛系C-B3129」(HMW-GS 5+10有)、「東北糯216号」および「東北糯217号(もち姫)」(以上2系統はHMW-GS 5+10無)の3系統を供試して、もち性小麦ブレンド比率0~100%の7段階に変えて製パン試験を行った。そして、もち性小麦ブレンド比率(以下ブレンド比率)による製パン品質の変動を図9に示した。これらのもち性3系統は「ハルイブキ」と比較して、60%粉蛋白含量は同程度かやや低く、60%粉灰分含量は同程度で(表1)、製粉性と粉色は「もち乙女」より大幅に改善されて

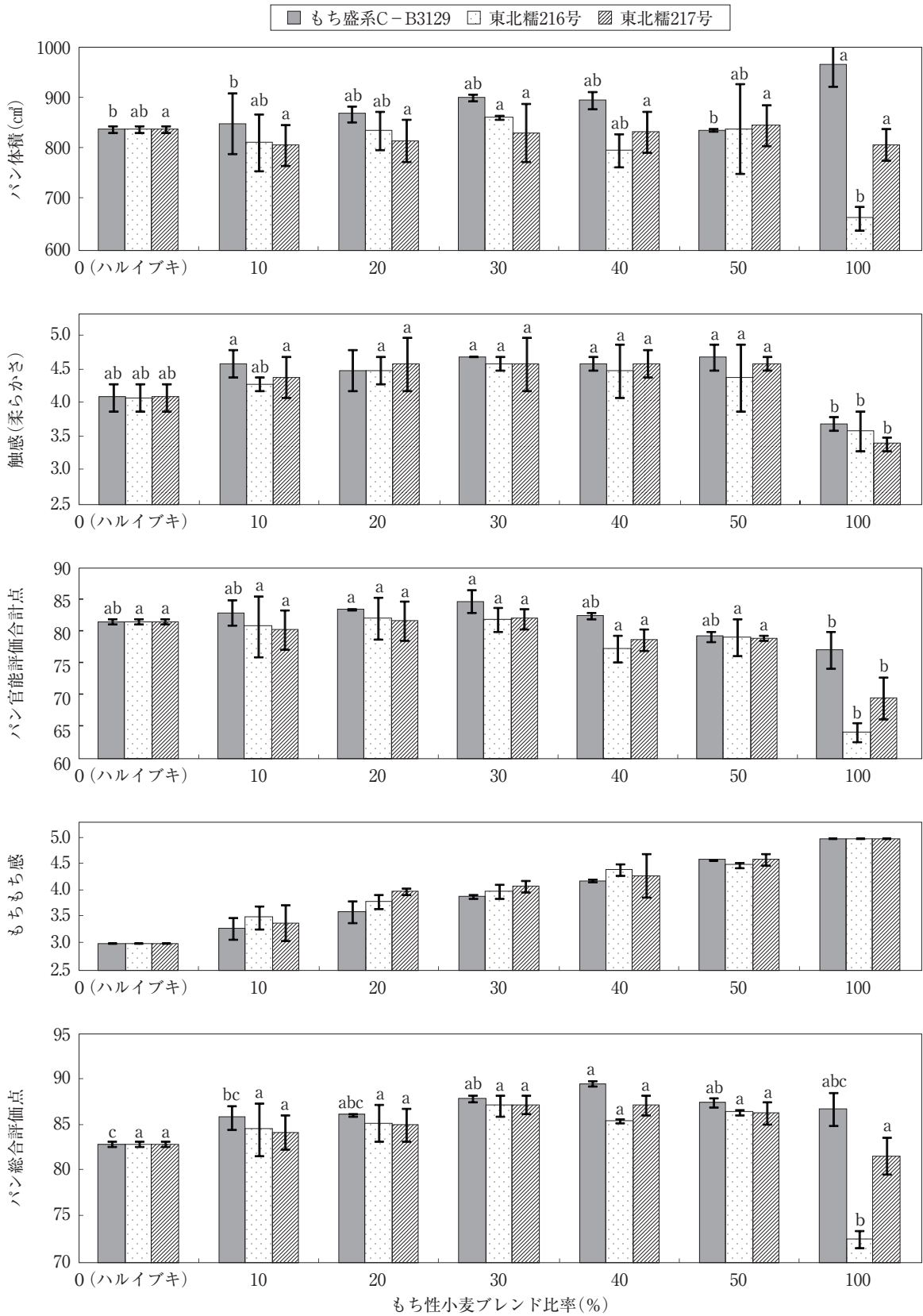


図9 もち性小麦系統とハルイブキとの60%粉ブレンドにおけるブレンド比率を変えた場合の製パン適性の変動

注. 同一系統において図中の英文字が異なる値の間には、Tukey 多重検定における5%水準で有意差があることを示す。

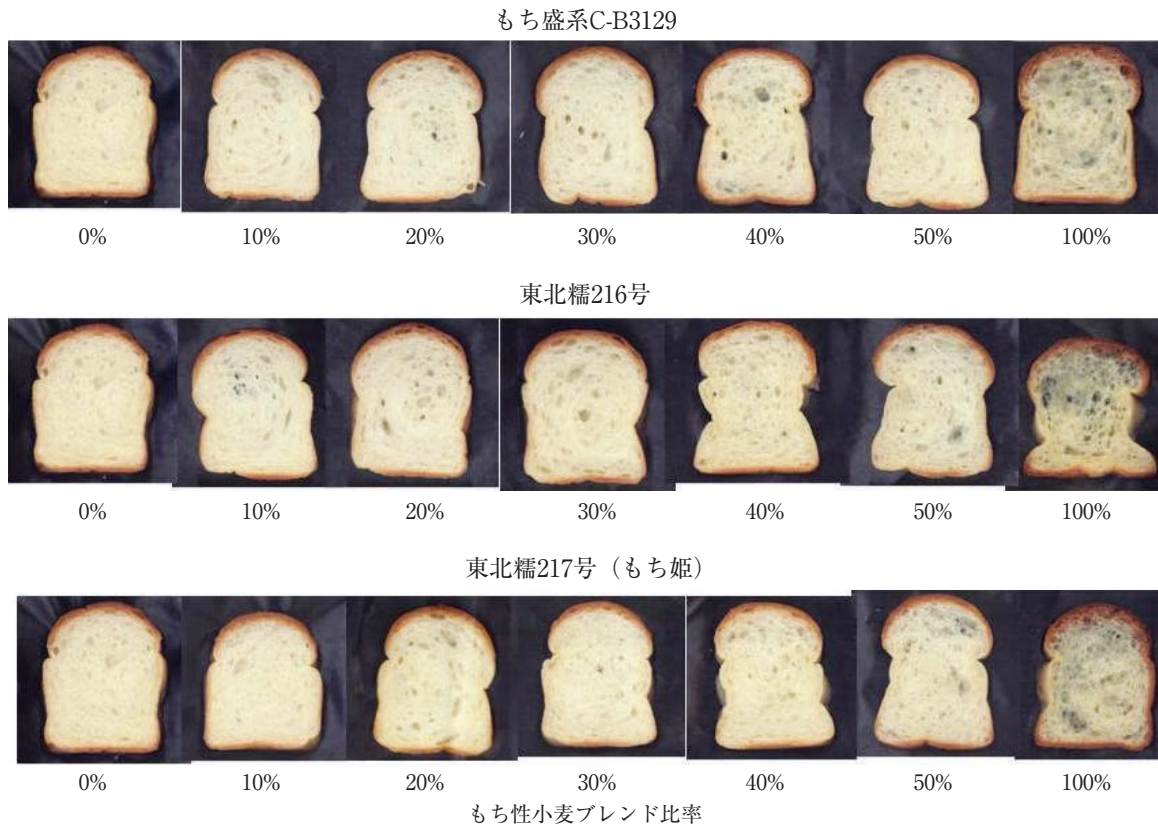


写真5 もち性小麦の60%粉ブレンド比率を変えた場合の製パン適性の変動

注. パン用品種「ハルイブキ」の60%粉にブレンド。

いる。「もち盛系C-B3129」のブレンド比率が高まるにつれパン体積が大きくなり、30%、40%でピークに達し、50%では減少した。ブレンド比率10～40%の間では他の2系統よりパン体積が大きかった。一方、「東北糯216号」と「東北糯217号」はブレンド比率10%では0%よりパン体積がやや小さいが、20%、30%とブレンド比率が高まるにつれパン体積が増加し、「東北糯216号」はブレンド比率30%でパン体積が最大に、「東北糯217号」は50%までわずかに増加し、50%で最大となった。もち性小麦100%では、HMW-GS 5+10を持つ「もち盛系C-B3129」はパン体積がかなり大きく、もち性小麦パン特有の焼成後のパン冷却に伴うパンの収縮が少なかった。一方、「東北糯216号」と「東北糯217号」は焼成後のパンの収縮がみられ、特に「東北糯216号」の収縮はやや大きく、パン体積が小さかった。以上の結果、もち性系統によってブレンド比率によるパン体積の変動は異なったが、パン体積からみてブレンド

比率30%が最適であった(写真5)。

パン官能評価合計点は、もち性3系統ともパン用品種「ハルイブキ」に比べ劣り、特に「東北糯216号」と「東北糯217号」はかなり劣った。パン官能評価合計点はブレンド比率との関係はパン体積と同様な傾向を示し、いずれのもち性系統も10～30%の間はブレンド比率が高まるにつれ合計点が高くなり、30%で最大値を示した。それ以上にブレンド比率が高まると、合計点が低下する傾向を示した。以上の結果、パン官能評価合計点の面でも、ブレンド比率30%が最適であった。

もちもち感は、いずれのもち性系統でも、ブレンド比率が高くなるにつれ強くなる傾向がみられたが、ブレンド比率30%では「東北糯217号」>「東北糯216号」>「もち盛系C-B3129」の順となった。

パン総合評価合計点は「もち盛系C-B3129」はブレンド比率40%で最大値となったが、「東北糯216号」では30%で、「東北糯217号」30%および40%で最大

値を示した。以上の結果、パン総合評価合計点の面では、ブレンド比率30~40%が最適であった。

IV 考 察

パン用2品種の小麦粉ブレンドにおいては、少なくとも一方の品種・系統にHMW-GS 5+10を持つ品種とのブレンドは、それを持たないブレンドより生地物性が強力的になり、製パン適性が優れる傾向にあった。また、うるち性品種・系統にもち性品種をブレンドした場合でも、HMW-GS 5+10を持つうるち性品種を用いることで、うるち性単独より製パン適性がやや優れるが、HMW-GS 5+10を持たないうるち性品種とのブレンドでは、製パン適性の向上はほとんど見られなかった。以上の結果から、2品種・系統のブレンドにおいては、製パン適性の改良にはHMW-GS 5+10を持つ品種・系統を1つ以上用いる必要があると考えられる。準同質遺伝子系統においては、HMW-GS 5+10を持つ系統はこれを持たない系統より、一般に製パン適性が優れる傾向にあることが報告されている (Payne *et al.* 1987、Takata *et al.* 2000、Pirozi *et al.* 2008)。本報告の小麦粉のブレンドにおいても同様な結果が得られ、ブレンドにおけるHMW-GS 5+10を持つ品種の重要性があらためて認識された。

製パン適性からみた最適なブレンド比率を有望なブレンド組合せについて検討した結果、ブレンド組合せにより最適なブレンド比率が異なった。この一つの要因として、グルテンin/グリアジン比の変動が関与していると考えられる。Uthayakumaran *et al.* (2005) は、同一の品種内では、生地のグルテンを再構成してグルテンin/グリアジン比を上げると、ミキソグラフの生地形成時間が長く、生地最大抵抗およびパン体積などが大きくなって、生地や最終製品に有意な効果が見られたと報告している。また、木村ら (2004) は、パン用品種「ハルユタカ」、「春のあけぼの」、「北見春63号」、「ゆきちから」のグルテンin/グリアジン比は、子実タンパク質含有率が変化してもめん用品種「ふくさやか」、「シラサギコムギ」より高く、「ナンブコムギ」はめん用品種であるが2つのグループの中間の値を示したと報告している。以上の報告から、今後ブレンド試験において最適なブレンド比率を解明するためには、生地物性と併せてグルテンin/グリアジン比の面からも検討する必要があると考えられる。

東北農業研究センターで最近育成した「ハルイブキ」および「ゆきちから」を用いたブレンド試験については、関村ら (2004) と島津ら (2005) の報告がある。関村ら (2004) は、岩手県産の「ゆきちから」(小麦粉蛋白含量11.4~11.6%) と秋田県産の「ハルイブキ」(同9.2~9.8%) にカナダ産パン用粉(同12.6%) を混合した場合、中種法製パンでは「ゆきちから」はパン用粉の配合が0、2.5、10%と多いほどがボリューム比(比容積)大きくなり、一方、「ハルイブキ」ではパン用粉への25%までのブレンドでは生地のハンドリングも良くなくボリューム比も小さかったが、50%ではそれらが改善されたと報告した。本試験結果でも、「ゆきちから」とカナダ産「1CW」の50%:50%ブレンドは比容積大きくなり、上記の報告と同様な結果が得られた。一方、「ハルイブキ」と「1CW」の50%:50%ブレンドでは、上記報告と異なり、生地のハンドリング(作業性)、比容積とも改善効果はほとんどみられなかった。「ハルイブキ」は本試験のように高蛋白の場合製パン適性が高いが、関村らが用いた秋田県産「ハルイブキ」は低蛋白であったので、パン用粉とのブレンドにより製パン適性が改善されたものと考えられる。

また、島津ら (2005) は、「ナンブコムギ」に「ゆきちから」をブレンドすることにより、「ナンブコムギ」パンの食感や老化に改善効果が認められることを報告している。本試験においても同じブレンドについて製パン適性を検討したが、「ゆきちから」をブレンドすることにより「ナンブコムギ」よりパン官能評価の香り、味が良くなって官能評価合計も高くなったので、パン食感改善効果の面では島津らの結果と一致した。

入来ら (2001) は、北海道産の硬質春播小麦品種「ハルユタカ」と軟質秋播小麦品種「ホクシン」のブレンドは、吸水率以外のファリノグラム特性はブレンド比率に比例した値を示したが、パン比容積とブレンド比率との間に関連は見られなかったことを報告している。この「ハルユタカ」と「ホクシン」はどちらもHMW-GS 5+10を持たないので、ファリノグラムおよび製パン適性の改善効果がみられなかったのではないかと考えられる。

超強力系統「東北221号」とのブレンドでは、ほとんどの組合せでファリノグラム特性は強力的な生地物性を示し、DT、StabおよびVVがブレンドし

た2品種・系統より超越した値を示した。また、製パン適性は超強力系統にHMW-GS 5+10を持たないパン用品種・系統をブレンドすると、製パン適性の改善効果が大きいことが判明した。

Yamauchi *et al.* (2001) は、国産中力・軟質粉の「ホクシン」と超強力粉の「Wildcat」をブレンドしたパンの比体積、すだちは、内相の色およびパンの硬化を除いて、市販外国産強力粉「カメリヤ」と類似しているか優れていると報告している。また、Yamauchi *et al.* (2003) は、適量の超強力粉を用いることによって、低製パン性の国産小麦粉は改質され、パン用の外国産小麦が一般的にもっている製パン特性が付与され、その主要因が、生地物性の改善（生地破断力）の向上であることを明らかにしている。本試験でも、超強力系統にHMW-GS 5+10を持たない製パン性が不十分な品種・系統をブレンドすると製パン適性の改善効果が大きく、上記のYamauchi *et al.* の結果と類似した結果を得た。このため、一般的に、超強力粉品種と製パン性が十分でない品種（本試験ではHMW-GS 5+10無の品種・系統）をブレンドすることにより、製パン適性が向上すると考えられる。この製パン適性の向上の要因は、上記のYamauchi *et al.* (2003) の報告のように、生地物性の改善によるものであると考えられる。本試験でも、超強力系統「東北221号」とのブレンドの多くは、フェリノグラム特性がパン用に適した強力粉となり、VVはカナダ産「1CW」並を示した。

超強力粉品種として、最近、北海道農業研究センターでは2008年度に「ゆめちから」（田引ら 2009）、長野県農事試験場では2005年度に「ハナマンテン」（中村ら 2005）が育成されている。超強力小麦は強靱なグルテンを持っているので、「ホクシン」、「きたほなみ」に代表される中力小麦とブレンドすることで、通常の強力小麦粉と同等の小麦粉を調整することができる（山内 2009）。このため、製パン性が不十分な国産小麦のパンへの有効利用を図るためには、超強力新品種の早期普及を進めて、超強力品種とのブレンドにより国産小麦の製パン適性を向上させることが重要であると考えられる。

低アミロース品種とHMW-GS 5+10を持つパン用強力小麦品種・市販粉とのブレンドは、パン体積、比容積が大きくなり、パン官能評価合計点が向上した。また、低アミロース品種・系統として硬質系統をブレンドに用いると、軟質品種・系統を用いるよ

りパン総合評価点は高くなった。

増山ら (2006) は、「ハルイブキ」小麦粉に麵適性のある小麦「農林61号」20%及びめんや製菓適性のある小麦「あやひかり」を10%ブレンドすると、「ハルイブキ」小麦粉100%と比較して、断面がキメ細かで膨らみのあるパンになると報告している。また、Martin *et al.* (2004) は、Wx-B1蛋白質を持たないグループ（やや低アミロース）のパンは、平均的には交雑系統・品種の通常グループ（普通のアミロース含量）よりパン体積が増加し、柔らかくなることを示した。さらに、Lee *et al.* (2001) は澱粉とグルテンをブレンドして焼かれたパンは、澱粉のアミロース含量が減少するにつれパン体積が増加したが、内相はより多孔性となり、アミロース含量19.2~21.6%になるように澱粉とグルテンをブレンドしたパンはアミロース含量24%の通常的小麦澱粉からのパンと類似した内相構造を示すことを報告している。以上の報告は、いずれも、低アミロースまたはやや低アミロース品種をパン用品種にブレンドして製パンすることにより、パン体積が大きくなり、柔らかくなったとしている。これらの結果は本試験の結果とよく一致した。

Ito *et al.* (2007) は、やや低アミロースの日本産パン用品種「ハルユタカ」、「キタノカオリ」と通常のアミロースの外国産パン用銘柄「1CW」、「HRW」との間で製パン適性、パンの硬化などを比較したところ、これらの日本品種は外国産銘柄よりパン焼成後のパンがかなり軟らかく、硬化が遅く、これらの特性は低アミロース性と関係した澱粉ゲルの軟らかさと遅い老化によると報告した。

本試験結果と以上の研究報告を含めて考察すると、HMW-GS 5+10を持つパン用強力小麦に、低アミロースおよびやや低アミロース品種・系統を50%：50%の比率でブレンドすることにより、ブレンドに用いた品種・系統よりパン体積が増加して軟らかくなり、内相品質も良好で、官能評価が高くなると考えられる。また、同時にパンの老化および硬化を遅らせることもできると考えられる。

近年、日本全国の小麦育種試験地において、低アミロース含量・めん用中力品種の「ネバリゴシ」、「あやひかり」、「チクゴイズミ」などや、やや低アミロース含量・めん用中力品種の「ホクシン」、「きたほなみ」、「イワイノダイチ」、「きぬの波」などが育成され、普及・栽培されている。これらのめん用

小麦品種による生産量は国内生産量の大半をしめるので、今後、これらの用途拡大を図るためには、めん用のみならず、ブレンドによるパン用への応用も視野に入れる必要がある。

もち性小麦品種とうるち性パン用小麦品種・系統との小麦粉のブレンドでは、上記のようにHMW-GS 5+10を持つうるち性品種を用いることによってのみ製パン適性改善が可能であった。これらのブレンドによる製パン適性は、低アミロース品種とのブレンドと類似して、パン体積、比容積が大きく、パン内相が軟らかく、官能評価合計点とパン総合評価点も高くなった。また、もち性小麦のブレンド比率を変えたブレンドにおいては、もち性小麦の最適なブレンド比率は30%であった。

もち性小麦を用いたパンのブレンド試験はいくつか報告されている。Lee *et al.* (2001) はもち性小麦粉澱粉を10%ブレンドしたパンは、もち性小麦澱粉を入れないパンと比較して、内相が柔らかくなった。Bhattacharya *et al.* (2002) はもち性デュラム小麦粉を10、20、30%ブレンドしたパンの体積と硬化の経時変化を調査した結果、パン体積への影響はなかったが、パン内相の硬化はコントロールより3～5日遅れ、パン硬化を遅くする最適なもち性ブレンド比率は20%であると報告した。Liu *et al.* (2004) は、うるち性小麦粉にもち性小麦粉をブレンドして製造したパンは、より多くの水を必要とするため、体積が大きく重たいパンになったが、パンのきめは粗くなり、品質評点は低くなった。しかし、もち性小麦粉をブレンドすると高い水分含量になるので、パンは柔らかく、パンが硬くなるのが遅くなったと報告した。Hayakawa *et al.* (2004) は、もち性小麦粉の過度の添加 (20%以上) はほとんどすべてのパン、ケーキ、うどんなどの製品において、より劣った機能特性 (粘着性など) を示すが、もち性小麦粉20%以下の混入は貯蔵期間特性をかなりの改善させ、もち性小麦粉を含む小麦粉からのパンは、1日貯蔵後、しっとり感、柔らかさそしてネバリを保持することを報告している。Takata *et al.* (2005) は、「春のあけぼの」の小麦粉にもち性小麦粉を40%ブレンドしたパンは、10%、20%ブレンドしたものより比容積がやや大きく、貯蔵日数2、3日における内相のかたさは低く保たれたこと、もち性小麦粉を20%ブレンドした場合、貯蔵後内相が柔らかかったが、もち性小麦粉20%以下のブレンドでは、貯蔵2

日目では内相のかたさの改善には小さな効果しかみられなかったことを報告している。また、Qin *et al.* (2009) は、もち性小麦粉を22%を添加したパンは柔らかくなり、保存中のパン重の減少が少なく、また、もち性小麦粉15%のブレンドは、標準区と比較して新鮮なパン品質を有意に悪化させることなく、パン硬化を遅らせるのに最適であったと報告した。以上の報告で共通していることは、もち性小麦粉をパン用小麦粉にブレンドすることにより、パンが柔らかくなり、パン貯蔵中のパン硬化が遅くなる点である。

Hayakawa *et al.* (1997) は、もち性六倍体小麦の澱粉はより大きな老化耐性を持っていること明らかにしており、この澱粉特性がパンの硬化 (老化) を遅くすると考えられる。

本試験では、パンの貯蔵中のパンの硬化 (老化) について検討しなかったが、もち性小麦をブレンドしたパンが柔らかくなることは、上記報告と一致した。また、もち性小麦の最適なブレンド比率は上記の報告のように10～40%と様々である。本試験では製パン適性を総合的に判断した場合30%が最適なブレンドであった。本試験および上記報告間の最適なブレンド比率が異なる要因の1つは、ブレンドするもち性小麦品種の小麦粉品質に起因すると考えられる。本試験では、ブレンド比率試験ではもち性小麦系統のHMW-GS 5+10の有無が異なる材料を用いたが、パン総合評価点の面では、HMW-GS 5+10を持つ「もち盛系C-B3129」では40%、HMW-GS 5+10を持たない「東北糯216号」と「東北糯217号 (もち姫)」では30%が最適なブレンド比率であった。また、「もち盛系C-B3129」は「東北糯216号」、「東北糯217号」より、ブレンドによる製パン適性が高かった。

以上のことから、もち性小麦とのブレンドにおいては、うるち性小麦と同様にもち性小麦もHMW-GS 5+10を持った品種・系統を用いることにより製パン適性を高くなり、しかももち性のブレンドを高めることができ、柔らかく貯蔵性に優れたパンを製造できる可能性があると考えられる。このため、もち性小麦をブレンドして柔らかさ、老化の遅いなどの特徴あるパンを製造するためには、今後HMW-GS 5+10を持ったもち性品種の育成を図る必要があるだろう。

引用文献

- 1) Bhattacharya, M.; Erazo-Castrejon, S. V.; Doehlert, D. C.; McMullen, M. S. 2002. Staling of bread as affected by waxy wheat flour blends. *Cereal Chem.* 79 : 178-182.
- 2) Bietz, J.; 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.; Payne, P. I. 1987. Grain quality. (Lupton, F.G.H. ed. *Wheat breeding-Its scientific basis.*). London·New York. Chapman and Hall. p. 455-485.
- 4) Hayakawa, K.; Tanaka, K.; Nakamura, T.; Endo, S.; Hoshino, T. 1997. Quality characteristics of waxy hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) : Properties of starch gelatinization and retrogradation. *Cereal Chem.* 74 : 576-580.
- 5) Hayakawa, K.; Tanaka, K.; Nakamura, T.; Endo, S.; Hoshino, T. 2004. End use quality of waxy wheat flour in various grain-based foods. *Cereal Chem.* 81 : 666-672.
- 6) 入来則雄, 高田兼則, 山内宏昭, 一ノ瀬靖則, 桑原達夫. 2001. 硬質春コムギ品種ハルユタカと高タンパク含量の軟質秋播コムギ品種ホクシンのブレンドにおける製粉性および製パン性. *日作紀* 70 : 267-270.
- 7) Ito, M.; Kim, S.; Sarker, Z.; Hashimoto, N.; Noda, T.; Takigawa, S.; Matsuura-Endo, C.; Horibata, T.; Nakaura, Y.; Inouchi, N.; Fukushima, M.; Yamauchi, H. 2007. Staling and texture of bread prepared from new Japanese bread wheat varieties with slightly low-amylose starch. *Food Sci. Technol. Res.*, 13 : 121-128.
- 8) Juliano, B. O. A. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Sci. Today.* 16 : 334-360.
- 9) 木村秀也, 山内 稔. 2004. コムギのグルテニン/グリアジン比の品種間差と出穂後追肥による低下. 平成15年度近畿中国四国農業研究成果情報 : 169-170.
- 10) Lee, M-R.; Swanson, B. G.; Baik, B-K. 2001. Influence of amylose content on properties of wheat starch and breadmaking quality of starch and gluten blends. *Cereal Chem.* 78 : 701-706.
- 11) Liu, A-F.; Song, J-M.; Zhao, Z-D.; Liu, J-J.; Wu, X-Y.; Li, H-S.; Liu G-T. 2004. Effects of waxy flour blending on dough rheological properties and breadmaking quality of nonwaxy Flour. *Scientia Agriculture Sinica* 37 : 902-907 (in Chinese with summary in English).
- 12) Martin, J. M.; Talbert, L. E.; Habernicht, D. K.; Lanning, S. P.; Sherman, J. D.; Carlson, G.; Giroux, M. J. 2004. Reduced amylose effects on bread and white salted noodle quality. *Cereal Chem.* 81 : 188-193.
- 13) 増山富美子, 茂木光子, 池田順子, 堀口和男. 2006. 県産パン用小麦「ハルイブキ」の各種ブレンドによるパン加工適性. 平成18年度研究成果情報関東東海北陸農業.
- 14) 長尾精一. 1984. 小麦とその加工. 建帛社. p.223.
- 15) 中村和弘, 細野 哲, 上原 泰, 中澤伸夫, 高橋信夫, 牛山智彦, 前島秀和, 新井利直, 谷口岳志, 後藤和美, 田淵秀樹, 酒井長雄, 久保田基成, 近藤武晴, 中村俊樹, 石川吾郎, 池田達. 2005. 穂発芽しにくい早生の中華めん用硬質小麦新品種「ハナマンテン」. 平成17年度「関東東海北陸」研究成果情報 : 468-469
- 16) 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.
- 17) 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.
- 18) Payne, P. I. ; Nightngale, M. A. ; Krattiger, A. F.; 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.
- 19) Pirozi, M. R.; Margiotta, B.; Lafiandra, D.; MacRitchie, F. 2008. Composition of polymeric proteins and bread-making quality of wheat lines with allelic HMW-GS differing in number of cysteines. *J. of Cereal Sci.* 48 : 117-122.
- 20) Ponzio, N. R.; Puppo, M. C.; Ferrero C. 2008. Mixtures of two Argentinean wheat

- cultivars of different quality: A study on breadmaking performance. *Cereal Chem.* 85 : 579-585.
- 21) Qin, P.; Ma, C.; Wu, R.; Kong, Z.; Zhang, B. 2009. Effect of waxy wheat flour blends on the quality of fresh and stale bread. *Agric. Sci. in China.* 8 : 401-409.
- 22) 関村照吉, 島津裕子. 2004. 外国産パン専用粉混合による 'ゆきちから' と 'ハルイブキ' の製パン性比較. *岩手技報* 11 : 23-26
- 23) 島津裕子, 菊地淑子, 遠山 良. 2005. ゆきちからブレンドによるナンブコムギパンの品質改善. *岩手技報* 12
- 24) 田引 正, 西尾善太, 伊藤美環子, 山内宏昭, 高田兼則, 桑原達夫, 入来規雄, 谷尾昌彦, 池田達哉, 船附稚子. 2009. コムギ縮萎縮病抵抗性で, ブレンド適性が優れる超強力秋まき小麦「北海261号 (ゆめちから)」. *平成20年度研究成果情報北海道農業* : 68-69.
- 25) Takata, K.; Yamauchi, H.; Nishio, Z.; Kuwabara, T. 2000. Effect of high molecular weight glutenin subunits on bread-making quality using near-isogenic lines. *Breeding Science* 50 : 303-308.
- 26) Takata, K.; Nishio, Z.; Tabiki, T.; Funatsuki, W.; Yamauchi, H. 2005. Comparison of quality characteristics of waxy wheat using a near isogenic line. *Breeding Science* 55 : 87-92.
- 27) Uthayakumaran, S.; Lukow, O. M. 2005. Improving wheat for bread and tortilla production by manipulating glutenin-to-gliadin ratio. *J. Sci. Food Agric.* 85 : 2111-2118.
- 28) 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.
- 29) Yamauchi, H.; Nishio, Z.; Takata, K.; Oda, Y.; Yamaki, K.; Ishida, N.; Miura, H. 2001. The bread-making quality of a domestic flour blended with an extra strong flour and staling of the bread made from the blended flour. *Food Sci. Technol. Res.* 7 : 120-125.
- 30) Yamauchi, H.; Noda, T.; Matsuura-Endo C.; Nishio, Z.; Takata, K.; Tabiki, T.; Saito K.; Oda, Y.; Funatsuki, W.; Iriki, N. 2003. Improving domestic flour for bread making by blending extra strong (ES) flour. *Food preservation Sci.* 29 : 211-220.
- 31) 山内宏昭. 2009. 今後期待される国産小麦の新規用途について. *グリーンテクノ情報* 5(1) : 4-7.
- 32) 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.
- 33) 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.
- 34) 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. 2002. 高製めん適性, 早生・多収の小麦新品種「ネバリゴシ」の育成. *東北農研研報* 100 : 1-26.
- 35) 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.
- 36) 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, 北原操一, 中島秀治, 後藤虎男. 2009. 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. *東北農研研報* 110 : 17-44.
- 37) 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. 2009. 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. *東北農研研報* 110 : 45-66.

寒冷地小麦品種の穂発芽耐性に関するダイヤレル分析

吉川 亮*¹⁾・中村 和弘*²⁾

抄 録：穂発芽耐性が異なり粒色が赤褐色の小麦7品種・系統を供試して、完全ダイヤレル交配を行い、49組合せのF₁植物 (F₂種子) の5～6穂を用いて穂発芽検定を行った。成熟期1日後および6日後の穂は穂発芽検定装置内で11日間の人工降雨処理を行い、穂発芽率を調査した。そして、穂発芽率の逆正弦変換値についてダイヤレル分析を行うとともに、組合せ能力を調査した。成熟期6日後の穂発芽率、成熟期1日後と成熟期6日後の平均穂発芽率の各ダイヤレル分析では、以下の同様な結果が得られた。

分散分析では、相加効果 (a項) および優性効果 (b項) は有意であったが、正逆交配間差 (c, d項) は有意でなかった。また、(V_r, W_r) 図の直線回帰式の勾配は1に近く、W_r切片値は期待値に近く、しかも直線関係にあった。このため、母性効果やエピスタシスの影響はなく、単純な相加・優性モデルに適合した。遺伝分散は相加分散が優性分散よりやや大きかったが、環境分散は小さく、穂発芽耐性は相加効果と優性効果の両方により制御された。平均優性度は0.912～0.932で、不完全優性を示した。穂発芽耐性強は主に優性遺伝子により制御され、耐性が中～強の親品種は同じ優性耐性遺伝子を持つと推定された。広義の遺伝率は0.874～0.923と高かったが、狭義の遺伝率は0.517～0.564と中位であった。穂発芽率の一般組合せ能力および特定組合せ能力ともに有意であった。

キーワード：小麦、育種、穂発芽耐性、ダイヤレル分析、一般組合せ能力、特定組合せ能力

Diallel Analysis for Pre-harvest Sprouting Resistance in the Red-grained Wheat Varieties in the Tohoku Region of Japan : Ryo YOSHIKAWA*¹⁾ and Kazuhiro NAKAMURA*²⁾

Abstract : Diallel cross analysis for pre-harvest sprouting resistance was conducted in wheat (*T. aestivum*). We used 49 F₁ lines derived from complete diallel crosses between 7 red-grained parental varieties for analysis. A pre-harvest sprouting test was carried out using 5-6 spikes of F₁ plants (F₂ seeds) and parental varieties. Artificial wetting treatment (AWT) for 11 days using a rainfall simulator was carried out starting 1 day and 6 days after maturity time, and we investigated the reverse sine transform value of the percentage of sprouted grain (PSG) in intact spikes. In diallel analyses for PSG following AWT at 6 days after maturing time and an average PSG of ATW at 1 day and 6 days after maturing time, we obtained similar results, as follows: In analysis of variance, the additive effect (a) and dominance effect (b) were significant at the 1% level, but the reciprocal effect (c) and specific reciprocal effect (d) were not significant. The (V_r, W_r) graph indicated that the slope of the regression line of W_r on V_r was close to 1, indicating that the simple additive-dominance genetic model was adequate and that the effect of the maternal effect and non-allelic interaction (epistasis) were absent. Though additive variance was larger than dominance variance, environmental variance was small in the genetic variance, and the pre-harvest sprouting resistance was controlled by both the additive effect and the dominance effect. The average degree of dominance showed incomplete dominance. Pre-harvest sprouting resistance was mainly controlled by dominant genes, and we estimated that the parental varieties with strong pre-harvest sprouting resistance had the same dominant resistance genes. The heritabilities in a broad sense were high (0.874-0.923), but the heritabilities in a narrow sense were moderate (0.517-0.564). The general combining ability and specific combining ability of PSG (reverse sine transform value) were significant.

* 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) 現・東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Morioka, Iwate, 020-0198, Japan)

Key Words : Wheat, Breeding, Pre-harvest sprouting resistance, Diallel analysis, General combining ability, Specific combining ability

I 緒 言

小麦の収穫期前後の降雨により発生する穂発芽は、収量、外観品質の低下をもたらすのみならず、アミラーゼ活性が高まった、いわゆる「低アミロ小麦」になることにより、小麦粉の色が悪くなり、製めん適性、製パン適性等の二次加工適性も低下させる (Derera 1989) ので、小麦栽培地帯では大きな問題となっている。特に東北地域で長年栽培されてきた「キタカミコムギ」、「アオバコムギ」は穂発芽耐性が弱いため、しばしば穂発芽を招く場合があった。このため、小麦育種においては、穂発芽耐性が重要な育種目標になってきた。

東北地域では、品質低下をもたらさない小麦の収穫適期は、成熟期から成熟期後4日 (丹治ら 2003) または成熟期後1週間以内 (岩手県農業研究センター 2006) と報告とされている。このため、成熟期後1週間の間の穂発芽耐性が重要である。

小麦の穂発芽耐性の遺伝に関しては、異質6倍体であること、穂発芽は環境条件に影響を受けやすいこと、穂発芽には穀皮、胚乳および胚の3形質が関係しているので大変複雑な形質であることから、遺伝解析は難しいとされてきた (Gale 1989)。このため、穂発芽耐性の遺伝様式についての報告は少ない。我が国では、穂発芽耐性が強、弱の組合せの遺伝解析の結果、星野ら (1989) は穂発芽耐性が優性で2遺伝子の存在を、Yanagisawa *et al.* (1996) は穂発芽耐性には少なくとも3遺伝子が関与していると報告している。また、後藤・神前 (1965) は、穂発芽易はやや優性的に遺伝し、広義遺伝率は中程度であるとしている。以上の報告から、我が国の研究報告の間では、穂発芽耐性の遺伝様式に関して一致した結果が得られていない。

また、正逆交雑のF₂種子の休眠性には母親の種皮、種子色および胚乳が影響することが報告されている (Noll *et al.* 1982, Yanagisawa *et al.* 1996, Miura *et al.* 1997)。

小麦成熟期後の種子休眠性のダイアレル分析による遺伝解析に関しては、2、3の研究論文がある。

Amano and Tsuchiya (1993) は、25℃発芽試験では、開花後50日および57日は、休眠性強は相加的な少数の優性遺伝子に制御されるが、70日では逆に劣性遺伝子に制御されることを報告した。また、Miura *et al.* (1997) も休眠性強は優性遺伝子によって制御されることを明らかにしている。

一方で、小麦の穂発芽耐性のダイアレル分析の報告は、組合せ能力についての報告はあるものの (Xiao and Xu 1993, Barnard *et al.* 2005)、(V_r, W_r) 図による解析や遺伝的パラメーターの推定等を行った報告は見あたらない。

ダイアレル分析は3親以上を同時に用いて、量的形質の遺伝効果や親の遺伝子型について統計遺伝学的に解析する方法で、親の遺伝子型や優性度などの遺伝的情報が交配した次の世代で得られる。また、組合せ能力の統計学的性質を明らかにするために役立つ (鶴飼 1992, 鶴飼 2002b)。

そこで本報では、東北地域における穂発芽耐性の異なる粒色が赤褐色の小麦品種・系統を用いて、人工降雨処理による収穫期の穂発芽耐性に関してダイアレル分析を行い、その遺伝様式について検討した。また、穂発芽耐性の一般組合せ能力および特定組合せ能力についても検討した。

本試験に当たり、企画調整部業務第1科の技術専門職員および契約職員には研究支援の面で、麦育種研究室の契約職員には研究補助の面でそれぞれご尽力いただいた。これらの方々に感謝を申し上げる。

II 材料と方法

ダイアレル交配の親として、東北農業研究センター作物機能開発部麦育種研究室 (現・パン用小麦研究東北サブチーム) で育成された「ネバリゴシ」、「東北195号」、「コユキコムギ」、「あきたっこ」、「東北168号」および「東北185号」の6品種・系統と、長野県農事試験場で育成された「しゅんよう」の、合計7品種・系統を用いた。これらの親品種・系統の選定に当たっては、①実際の品種育成の交配母本によく利用されている品種・系統であること、②穂発芽耐性が異なり、その年次間変動が小さく安定し

Table 1 Pedigree, pre-harvest sprouting resistance and other characteristics of the parental varieties.

Varieties	Cross combinations	Year of rearing	Pre-harvest sprouting resistance	Maturing time	Grain color	Kernel hardness	Main end use
Nebarigoshi	Kanto 107 ¹⁾ / Chihokukomugi ²⁾	2000	Resistant	Early	Red	Soft	Japanese noodle
Shyun-yo	Tohoku 148 ³⁾ / Tosan 10 ⁴⁾	1995	Resistant	Early-Medium	Red	Soft	Japanese noodle
Tohoku 195	Tohoku 157 ⁵⁾ / Tosan 12 ⁶⁾	1988	Moderately resistant	Early	Red	Hard	Japanese noodle
Koyukikomugi	Tohoku 126(Hanagasakomugi) ^{7,8)} /Yukichabo ⁹⁾	1988	Intermediate	Medium	Red	Hard	Bread
Akitakko	Tohoku 143(Wakamatsukomugi) ¹⁰⁾ / Tohoku 144 ¹¹⁾	1992	Moderately susceptible	Medium	Red	Hard	Japanese noodle
Tohoku 168	Tohoku 135 ¹²⁾ / Tohoku 129 ¹³⁾	1980	Susceptible	Medium	Red	Soft	Japanese noodle
Tohoku 185	Tohoku 144 ¹¹⁾ / Yukichabo ⁹⁾	1985	Susceptible	Medium	Red	Hard	Japanese noodle

Note. Pre-harvest sprouting resistance : 1) Resistant (Yoshikawa *et al.* 2002), 2) Moderately susceptible (Yoshikawa *et al.* 2002), 3) Very resistant (Tanosaki 1991), 4) Resistant (Ushiyama *et al.* 1998), 5) Resistant (Tanosaki 1991), 6) Unknown, 7) Resistant (Tanosaki 1991), 8) Moderately susceptible (Hoshino *et al.* 1990), 9) Moderately susceptible (Hoshino *et al.* 1990), 10) Moderately susceptible (Hoshino *et al.* 1993), 11) Susceptible (Hoshino *et al.* 1993), 12) Susceptible (Tanosaki 1991), 13) Moderately susceptible (Tanosaki 1991).

ていること、③特定の品種に系譜が偏らないこと、④成熟期の差が小さいこと、を考慮して選定した。親品種・系統の穂発芽耐性は、「ネバリゴシ」と「しゅんよう」が強、「東北195号」がやや強、「コユキコムギ」が中、「あきたっこ」はやや弱、「東北168号」と「東北185号」は弱である。なお、いずれの品種・系統も粒色は赤褐色で、育成当時の主な用途は「コユキコムギ」はパン用、その他の品種・系統はめん用である。両親の穂発芽耐性について過去の研究報告を参照すると、穂発芽耐性が強の「ネバリゴシ」、「しゅんよう」と、やや強の「東北195号」は片親または両親も強または極強であった。一方、やや弱の「あきたっこ」、弱の「東北168号」、「東北185号」は両親もやや弱または弱であった (Table 1)。

これら7品種・系統を用いて、東北農業研究センターにおいて、1997年度 (1998年5～6月) に圃場で完全ダイアレル交配を行い、49組合せの交配種子 (F₁種子) を得た。1998年度は、圃場にF₁を播種し慣行栽培した。すなわち、栽培様式は畦幅70cm、株間12cm、条間15cmの二条千鳥1～2粒播による畦立栽培で、播種期は9月28日の適期播とした。施肥量は石灰50kg/10a、重過リン酸石灰55kg/10aとともに、元肥をN、P₂O₅、K₂O各5.6、18.9、14.0kg/10a 施用し、追肥はNのみを2kg/10a施用した。開花期頃 (6月上旬) にチルト乳剤1000倍液を散布し、赤かび病防除を1回行った。一区面積は0.6m² (平均13粒播種) で、反復数は2反復とし、乱塊法で試験区を配置した。

出穂期後の生育概況は、登熟期間中の天候は平年並で、縞萎縮病、うどんこ病、赤さび病の発生は少なく、赤かび病の発生は薬剤防除により発生がほと

んどみられなかった。また、成熟期頃の降雨はなく、登熟は良好であった。このため、穂発芽検定に適した健全な穂が採取できた。

穂発芽耐性検定は以下のように行った。1999年7月6～12日にかけて、各区から、成熟期にちょうど達した穂をランダムに10～12穂採取した。その半分の5～6穂は成熟期1日後の検定に、残り半分の5～6穂は成熟期6日後の検定にそれぞれ使用した。検定用穂は室温15～25℃ (平均約20℃) の風通しのよい室内で陰干しして、1日後検定では1日間、6日後検定では6日間、自然乾燥させた。なお、穂発芽耐性検定を成熟期1日後と成熟期6日後の2回行った根拠は、コンバインによる機械収穫は通常この間に行われ、この収穫期の降雨が穂発芽の主な原因になるためである。

成熟期1日後検定、成熟期6日後検定ともに、最初に穂を流水中 (水温約20℃) に約6時間浸漬して吸水させた後、直ちに稲用育苗箱に穂が重ならないよう寝かせて並べて、温度17～18℃で暗黒の穂発芽検定装置 (日本医化器械LP-2PH改良型) に入れ、棚に並べて静置させた。この穂発芽検定装置は室内全体に水分が行き渡るように、室内上部より水が霧状に噴霧される仕組みになっており、噴霧有無および時間のローテーションは4時間連続噴霧→2時間無噴霧→4時間連続噴霧→2時間無噴霧とした。各4時間連続噴霧後は穂全体が十分濡れた状態になった。人工降雨の処理日数は11日間とした。

人工降雨処理後は、直ちに穂をクラフト紙封筒に入れ、これを通風乾燥機の中に入れて40℃で2日間通風乾燥した。十分に乾燥した穂は手で脱穀して脱粒後、肉眼観察により発芽粒と無発芽粒を仕分けし、

穂発芽率を次式で算出した。

$$\text{穂発芽率 (\%)} = 100 \times (\text{発芽粒数} / \text{全粒数})$$

成熟期1日後および6日後のそれぞれの材料の穂発芽率を調査後、これら2時期の平均値も算出した。ダイアレル分析に当たっては、穂発芽率の逆正弦変換値 ($\arcsin \sqrt{\text{穂発芽率}/100}$) を用いた。

ダイアレル分析はHayman (1954a, 1954b) によった。ただし、 F_1 植物上の穂を用いた穂発芽検定は、穂に実った F_2 種子を用いるので、各交配の全検定穂を F_2 集団とみなし、 F_2 のダイアレル分析を行った。そこで、 F_2 分析の遺伝的パラメータの推定に当たり、Jinks (1956) の方法により、 F (優性・劣性遺伝子の相対的頻度指標) および h (優性遺伝子の平均的作業方向) の係数は F_1 分析の $1/2$ 、 H_1 および H_2 (いずれも優性分散) の係数は同じく $1/4$ にして計算した。広義および狭義の各遺伝率はMather and Jinks (1982) の方法で算出した。 F_1 ダイアレル分析の仮定条件 (相加・優性モデル) の成立には、 W_r (系列と親の共分散) と V_r (系列分散) の関係は勾配1で W_r 切片が $(D_r - H_r) / 4$ (本試験の F_2 の場合は $(D_r - H_r) / 4$) の直線となることが期待される (鵜飼 2002b) ので、この基準で相加・優性モデル成立の可否を判定した。なお、(V_r, W_r) 図および ($\bar{P}_r, V_r + W_r$) 図 (\bar{P}_r : 親の値、 $V_r + W_r$: 劣性遺伝子割合) の作成に当たっては、各親についての V_r, W_r のそれぞれから環境分散を引いて補正した値をプロットした。一般組合せ能力および特定組合せ能力はGiffing (1956) の方法で分析した。

以上のダイアレル分析および組合せ能力分析は、筆者らがマイクロソフト社製のExcelで作成した分析プログラムで行った。プログラム作成に当たっては、中山 (1985)、鵜飼 (1989, 1992, 2002a, 2002b)、Giffing (1956) およびファルコナー (1993) の文献を参考にした。

Ⅲ 結 果

ダイアレル交配における穂発芽検定処理後の穂発芽率をTable 2に示した。親品種・系統の穂発芽率には明らかな差異がみられた。穂発芽耐性強の「ネバリゴシ」、「しゅんよう」は、成熟期1日後検定の穂発芽率 (以下、1 day) が0%、成熟期6日後検定の穂発芽率 (以下、6 days) が0~0.2%、1 dayと6 daysの平均値 (以下、Mean) が0~0.1%ときわめ

て低かった。一方、穂発芽耐性弱の「東北168号」と「東北185号」は1 dayで22.8~32.2%、6 daysで40.1~88.4%、Meanで36.2~55.6%と高かった。その他の品種・系統の中で、穂発芽耐性がやや強の「東北195号」と中の「コユキコムギ」はこれらの値が低く、「ネバリゴシ」、「しゅんよう」に近い値を示した。一方、やや弱の「あきたっこ」は1 dayでは穂発芽率が低かったが、6 daysではかなり高かった。

1 dayと6 daysの間の比較では、親品種・系統および F_1 ともに、一般に6 daysの方が1 dayより高い傾向がみられた。また、親品種・系統平均値と親以外の F_1 平均値を比較すると、1 dayがそれぞれ8.5%、5.7%、6 daysではそれぞれ30.1%、23.0%、そしてMeanではそれぞれ19.3%、14.4%で、いずれも F_1 平均値が親品種・系統平均値より低かった。穂発芽耐性強同士の「ネバリゴシ」と「しゅんよう」の正逆組合せの F_1 では、1 day、6 daysともに1%以下と親品種・系統並みに低かった。一方、弱同士の「東北168号」と「東北185号」の正逆組合せの F_1 では、両親の中間より高い穂発芽率を示した。

穂発芽率を逆正弦変換した値を用いてダイアレル分析を行った。Hayman (1954a) によるダイアレル交配の分散分析表をTable 3に示す。1 day、6 daysおよびMeanのいずれの検定期間においても、相加効果を表す a 項、優性効果を表す b 項、交配組合せに固有の優性偏差 (特定組合せ能力) を表す b_s 項はいずれも1%水準で有意であった。一方、平均的優性偏差を表す b_l 項、親に固有の優性偏差を表す b_2 項、各親の平均正逆交配間差を表す c 項、正逆交配間差の内 c 項以外に帰する部分の d 項およびブロック (Block) は有意でなかった。

上記の分散分析の結果、優性効果が存在することがわかったので、さらに詳細に親品種・系統のもつ優性遺伝子について検討を加えた。(V_r, W_r) 図をFig. 1に示す。 W_r の V_r の上への直線回帰式は、検定期間の1 dayが $W_r = 0.776V_r + 0.011$ 、6 daysが $W_r = 1.079V_r + 0.040$ 、そしてMeanが $W_r = 1.0V_r + 0.022$ で、勾配は1 dayにおいて1より低かったが、6 daysおよびMeanでは1または1に近かった。また、 W_r 切片はTable 4から算出した $(D_r - H_r) / 4$ からの期待値 (1 day が 0.07 、6 daysが 0.044 、Meanが 0.022) と同じかまたは近かった。さらに、回帰式の決定係数は、1 dayが $R^2 = 0.987$ 、6 daysが $R^2 = 0.943$ 、Meanが $R^2 = 0.978$ といずれもきわめて高いため、 V_r と W_r

Table 2 Diallel table for the mean values of percentage of sprouted grain by artificial wetting treatment at 1 day and 6 days after maturing time in F₁ progeny (F₂ seed) and their parental varieties of wheat.

Time of artificial wetting treatment after maturing time	Female		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	Mean
	Male		%							
1day	P1	Nebarigoshi	<u>0.0</u>	0.0	1.7	0.6	0.7	3.8	1.5	1.2
	P2	Shyun-yo	0.5	<u>0.0</u>	0.2	0.0	0.2	0.9	1.1	0.4
	P3	Tohoku 195	0.2	0.6	<u>0.9</u>	0.7	1.7	3.1	3.0	1.4
	P4	Koyukikomugi	1.5	0.8	2.0	<u>0.5</u>	1.5	8.9	5.2	2.9
	P5	Akitakko	3.6	0.5	0.3	1.8	<u>3.4</u>	32.4	11.9	7.7
	P6	Tohoku 168	2.7	1.4	2.9	3.4	20.9	<u>22.8</u>	45.2	14.2
	P7	Tohoku 185	1.4	0.7	3.6	1.8	12.8	34.8	<u>32.2</u>	12.5
		Mean		1.4	0.6	1.6	1.2	5.9	15.2	14.3
6days	P1	Nebarigoshi	<u>0.2</u>	0.8	0.0	3.7	22.9	18.6	7.0	7.6
	P2	Shyun-yo	0.2	<u>0.0</u>	3.1	6.1	29.2	28.0	14.2	11.5
	P3	Tohoku 195	2.4	7.4	<u>6.5</u>	22.3	33.6	26.8	3.8	14.6
	P4	Koyukikomugi	8.4	8.5	9.7	<u>8.3</u>	11.3	10.2	28.5	12.1
	P5	Akitakko	11.0	21.2	21.3	12.2	<u>67.2</u>	66.1	62.9	37.4
	P6	Tohoku 168	10.1	23.3	29.0	36.9	72.4	<u>88.4</u>	66.1	46.6
	P7	Tohoku 185	6.3	6.8	5.0	27.1	59.5	75.2	<u>40.1</u>	31.4
		Mean		5.5	9.7	10.6	16.6	42.3	44.7	31.8
Mean	P1	Nebarigoshi	<u>0.1</u>	0.4	0.9	2.1	11.8	11.2	4.2	4.4
	P2	Shyun-yo	0.3	<u>0.0</u>	1.7	3.0	14.7	14.4	7.7	6.0
	P3	Tohoku 195	1.3	3.9	<u>3.7</u>	11.5	17.7	14.9	3.4	8.0
	P4	Koyukikomugi	5.0	4.7	5.9	<u>4.4</u>	6.5	9.6	16.8	7.5
	P5	Akitakko	7.3	10.8	10.8	7.0	<u>35.3</u>	49.2	37.4	22.5
	P6	Tohoku 168	6.3	12.3	15.9	20.2	46.7	<u>55.6</u>	55.7	30.4
	P7	Tohoku 185	3.9	3.8	4.3	14.5	36.2	55.0	<u>36.2</u>	22.0
		Mean		3.4	5.1	6.1	8.9	24.1	30.0	23.0

Note. Percentage of sprouted grain : $100 \times$ number of visual germinated grains/number of total grains.

Mean : Mean of percentage of sprouted grain following artificial wetting treatment at 1 day and 6 days after maturing time in each F₁ and parental varieties.

Maturing time : Time at loss of green color from the spikes in the field.

は直線関係にあった。以上のことから、6 daysとMeanでは、ダイヤレル分析の仮定条件が成立していると判断され、エピスタシス（非対立遺伝子間の相互作用）の影響はなく、相加・優性モデルに適合すると判定された。

一方、1 dayでは、回帰式の切片が期待値に近く決定係数が高いものの、勾配が0.776で1より低いので、エピスタシスの存在が疑われた。そこで、Fig. 1の回帰直線からとくに離れた「あきたっこ」の系列をダイヤレル表から除き、6×6副ダイヤレル表を新たに作成して、分散分析を行った（Table 4）。その結果、a項、b項、b₂項はいずれも1%水準で有意であった。また、(V_r, W_r)図の直線回帰式はW_r=1.013V_r+0.009となり、勾配がほぼ1に近い

くなり、W_r切片が期待値の0.010に近い0.009を示し、しかも決定係数がR²=0.978ときわめて高く直線関係にあった（Fig. 2）。このため、「あきたっこ」の系列を除いた場合の1 dayも、エピスタシスの影響はなく、相加・優性モデルに適合すると判定された。

1 dayは、エピスタシスの存在が示唆された「あきたっこ」の系列を除いた6品種・系統、6 daysとMeanは7品種・系統の各ダイヤレル交配に基づき、Hayman (1954b) によるダイヤレル分析により推定した各種遺伝成分をTable 5に示す。遺伝分散は、1 dayでは、相加分散(D)は、優性分散H₁よりやや低い、優性分散H₂に比べると高かった。一方、6 daysとMeanでは、相加分散(D)が優性分散(H₁, H₂)よりやや大きかった。環境分散(E)

はいずれの検定期期でも小さかった。平均優性度 ($\sqrt{H_i/D}$) は、1 dayでは1.129と1以上で超優性を示した。一方、6 daysの平均優性度は0.912、Meanは0.932といずれも1以下で不完全優性を示した。親全体における優性遺伝子の割合 ($p \cdot D$) は、1 dayが0.776、6 daysが0.649、Meanが0.571と0.5以上で

あったので、いずれの検定期期も優性遺伝子の割合が劣性遺伝子より多く関与していた。優性遺伝子の平均的作用方向 (h) は、1 dayが-0.215、6 daysが-0.377、Meanが-0.237といずれの検定期期でも負値を示したことから、穂発芽率が低い方向、すなわち穂発芽耐性が強い方向を示した。正負対立遺伝

Table 3 Analysis of variance for percentage of sprouted grain in diallel crosses of wheat.

Item ¹⁾	Degree of freedom	Mean square		
		1 day	6 day	Mean
a	6	0.3751 **	1.1982 **	0.6724 **
b	21	0.0335 **	0.0573 **	0.0312 **
b ₁	1	0.0142	0.0375	0.0107
b ₂	6	0.0138	0.0227	0.0056
b ₃	14	0.0433 **	0.0736 **	0.0436 **
c	6	0.0072	0.0138	0.0035
d	15	0.0041	0.0130	0.0041
Block	1	0.0057	0.0111	0.0002
Error	48	0.0063	0.0147	0.0054

Note. 1) a: Additive effect, b: Dominance effect, b₁: Mean dominance effect, b₂: Additional dominance effect, b₃: Residual dominance effect, c: Reciprocal effect, d: Specific reciprocal effect. MS of error was estimated from a pooled block mean square.
 2) See Table 2 for 1 day, 6 days and Mean. As for these abbreviation, following Table 4-6 and Fig. 1-2 are also similar.
 3) **, *Significant at the 1% and 5% levels, respectively.

Table 4 Analysis of variance for percentage of sprouted grain in a set of 6×6 subdiallel cross after exclusion of "Akitakko" array at 1 day after maturing time.

Item ¹⁾	Degree of freedom	Meansquare
		1day
a	5	0.1771 **
b	15	0.0162 **
b ₁	1	0.0177
b ₂	5	0.0292 **
b ₃	9	0.0089
c	5	0.0089
d	10	0.0025
Block	1	0.0034
Error	35	0.0054

Note. 1) See Table 3.
 2) **Significant at the 1%.

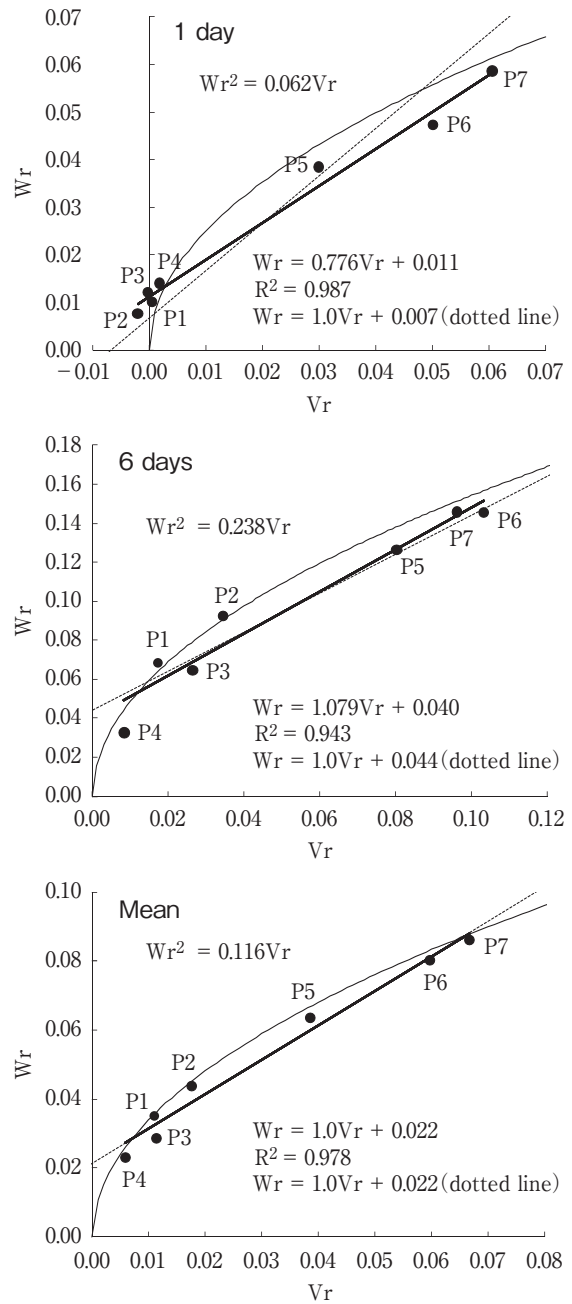


Fig. 1 (Vr, Wr) graphs for percentage of sprouted grain in wheat.

Note. The numbers correspond to parental varieties in Table 2.

子の割合 (\bar{uv}) は、1 dayが0.146、6 daysが0.225、Meanが0.261と、6 daysとMeanでは正対立遺伝子と負対立遺伝子の頻度が全遺伝子座で等しい時の最大値0.25に近い値を示した。広義の遺伝率 (h^2_B) および狭義の遺伝率 (h^2_N) については、1 dayではそれぞれ0.773、0.381、6 daysではそれぞれ0.874、0.517、

そして Meanではそれぞれ0.923、0.564と、いずれの検定期も広義の遺伝率は高かったが、狭義の遺伝率は1 dayではやや低く、6 daysとMeanでは中位であった。

(\bar{Pr} , $Vr+W_r$) 図により、親の穂発芽率 (\bar{Pr}) と $Vr+W_r$ の関係をFig. 3に示す。1 day、6 daysお

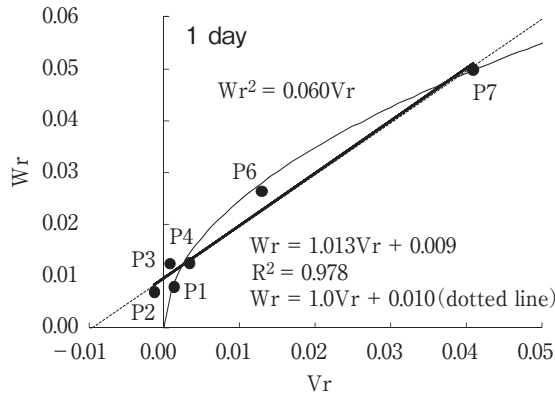


Fig. 2 (V_r , W_r) graphs for percentage of sprouted grain at 1 day after maturing time in 6×6 subdiallel cross after exclusion of "Akitakko" array.

Note. The numbers correspond to parental varieties in Table 2.

Table 5 Genetic parameters estimated by the the methods of Hayman (1954) and Jinks (1956) for percentage of sprouted grain in wheat.

Components ²⁾	1 day ^{**}		6 day		Mean	
	Estimate	Standard error	Estimate	Standard error	Estimate	Standard error
D	0.055	0.017	0.224	0.035	0.111	0.002
H_1	0.067	0.009	0.185	0.004	0.099	0.043
H_2	0.038	0.012	0.166	0.004	0.101	0.037
F	0.066	0.003	0.122	0.039	0.030	0.012
E	0.005	-	0.015	-	0.005	-
$\sqrt{H_1/D}$	1.129	0.253	0.912	0.061	0.932	0.197
$p \cdot D$	0.776	0.040	0.649	0.035	0.571	0.013
h	-0.215	0.003	-0.377	0.059	-0.237	0.022
\bar{uv}	0.146	0.064	0.225	0.010	0.261	0.019
h^2_B	0.773	0.028	0.874	0.001	0.923	0.008
h^2_N	0.381	0.048	0.517	0.013	0.564	0.088

Note. 1) ^{*}A set of 6×6 subdiallel cross after exclusion of "Akitakko" array.

2) D : Additive variance, H_1 and H_2 : Dominance variance, F : Indication of the relative frequencies of dominant and recessive alleles, E : Environmental variance, $\sqrt{H_1/D}$: Average degree of dominance, $p \cdot D$: Proportion of dominant genes, h : Average direction of dominance, \bar{uv} : Balance of positive and negative alleles, h^2_B : Heritability in a broad sense, h^2_N : Heritability in a narrow sense.

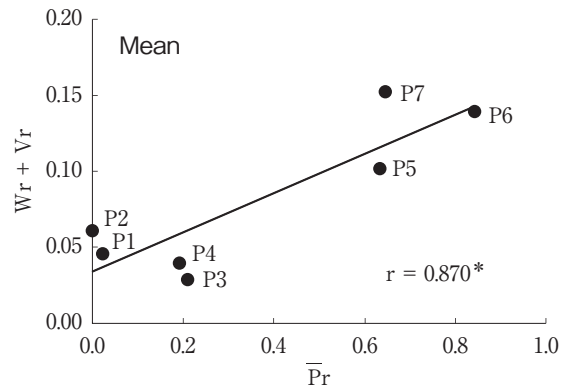
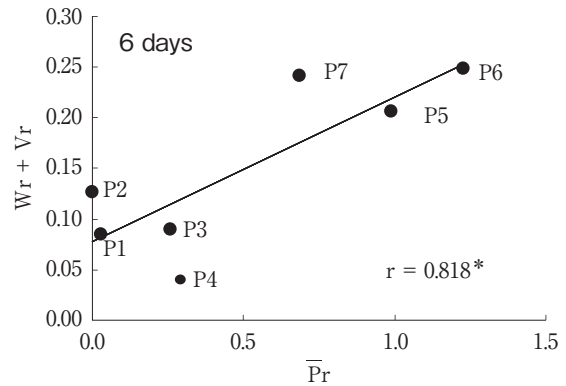
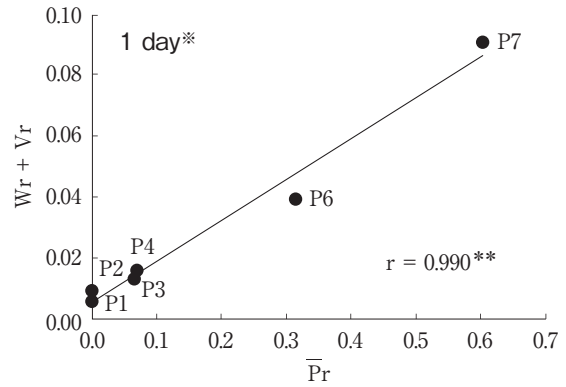


Fig. 3 (\bar{Pr} , $V_r + W_r$) graphs for percentage of sprouted grain in wheat.

Note. 1) ^{*}A set of 6×6 subdiallel after exclusion of "Akitakko" array.

2) The numbers correspond to parental varieties in Table 2.

3) ^{**}, ^{*} Significant at the 1% and 5% levels, respectively.

よびMeanのいずれの検定期でも、両者の間には0.818~0.990の高い正の有意な相関係数を示した。このため、穂発芽耐性の優性遺伝子は穂発芽率を負の方向に、すなわち穂発芽耐性が強い方向に作用した。

次に、7×7のダイヤレル交配における穂発芽率の一般組合せ能力（以下、GCA）および特定組合せ能力（以下、SCA）の分散分析結果を、Table 6に示した。1 day、6 daysおよびMeanのいずれの検定期でも、GCAおよびSCAは有意であったが、正逆交配差（Reciprocal）は有意でなかった。

また、穂発芽率について、各親品種・系統のGCAおよび各交配組合せのSCAと正逆交配効果（以下、RE）のそれぞれを推定し、Table 7に示した。表の対角線上はGCAを、対角線より上はSCA、そして対角線より下はREを表し、いずれも正逆組

合せおよびブロックを込みにした平均値で示した。GCAの品種・系統間差異は、1 dayでは-0.136~0.179と小さかったが、6 daysでは-0.226~0.257と大きく、Meanは両時期の中間の-0.176~0.210となった。1 dayのGCAは「東北168号」>「東北185

Table 6 Analysis of variance in combining ability analysis for percentage of sprouted grain in 7×7 diallel crosses of wheat.

Sources	Degree of freedom	Mean square		
		1 day	6 days	Mean
General combining ability (GCA)	6	0.1388**	0.3918**	0.2278**
Specific combining ability (SCA)	14	0.0233**	0.0426**	0.0237**
Reciprocal	21	0.0050	0.0133	0.0039
Error	42	0.0619	0.1542	0.0863

Note. **, *Significant at the 1% and 5% levels, respectively.

Table 7 General combining ability (GCA), specific combining ability (SCA) and reciprocal effect (RE) for percentage of sprouted grain by artificial wetting treatment at 1 day and 6 days after maturing time in wheat.

Time of artificial wetting treatment after maturing time	Parents	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
1day	P1 Nebarigoshi	<u>-0.085</u>	0.078	0.052	0.061	-0.010	-0.088	-0.093
	P2 Shyun-yo	0.024	<u>-0.136</u>	0.084	0.046	-0.043	-0.104	-0.060
	P3 Tohoku 195	-0.030	0.010	<u>-0.073</u>	0.062	-0.065	-0.108	-0.025
	P4 Koyukikomugi	0.024	0.032	0.028	<u>-0.046</u>	-0.050	-0.057	-0.063
	P5 Akitakko	0.064	0.010	-0.044	-0.001	<u>0.049</u>	0.142	0.026
	P6 Tohoku 168	-0.013	0.012	-0.009	-0.059	-0.067	<u>0.179</u>	0.215
	P7 Tohoku 185	-0.016	-0.023	0.008	-0.053	0.006	-0.064	<u>0.111</u>
	LSD(5%)	GCA=0.039, SCA=0.068, RE=0.055						
6days	P1 Nebarigoshi	<u>-0.226</u>	0.005	-0.077	0.083	0.040	0.013	-0.064
	P2 Shyun-yo	-0.026	<u>-0.116</u>	-0.011	0.036	0.003	0.018	-0.049
	P3 Tohoku 195	0.075	0.052	<u>-0.126</u>	0.278	0.056	0.003	-0.249
	P4 Koyukikomugi	0.047	0.017	-0.087	<u>-0.091</u>	-0.249	-0.243	0.095
	P5 Akitakko	-0.081	-0.045	-0.070	0.005	<u>0.257</u>	0.045	0.105
	P6 Tohoku 168	-0.062	-0.026	0.014	0.149	0.032	<u>0.172</u>	0.163
	P7 Tohoku 185	-0.021	-0.072	0.021	-0.006	-0.016	0.100	<u>0.131</u>
	LSD(5%)	GCA=0.052, SCA=0.100, RE=0.107						
Mean	P1 Nebarigoshi	<u>-0.176</u>	0.016	0.026	0.083	0.008	-0.071	-0.062
	P2 Shyun-yo	-0.008	<u>-0.127</u>	0.053	0.046	0.009	-0.043	-0.081
	P3 Tohoku 195	0.022	0.036	<u>-0.096</u>	0.094	0.023	-0.043	-0.174
	P4 Koyukikomugi	0.039	0.019	-0.050	<u>-0.058</u>	-0.160	-0.109	0.026
	P5 Akitakko	-0.039	-0.028	-0.050	0.005	<u>0.145</u>	0.076	0.069
	P6 Tohoku 168	-0.043	-0.015	0.009	0.062	-0.013	<u>0.210</u>	0.194
	P7 Tohoku 185	-0.008	-0.052	0.014	-0.016	-0.007	-0.044	<u>0.102</u>
	LSD(5%)	GCA=0.026, SCA=0.063, RE=0.062						

Note. GCA=Values on diagonal (gothis font with underline), SCA=Values above diagonal, RE=Values below diagonal. Overall mean of reciprocal crossings and blocks.

号」>「あきたっこ」>「コユキコムギ」>「東北195号」>「ネバリゴシ」>「しゅんよう」の順となった。一方、6 daysおよびMeanのGCAは、いずれも「東北168号」>「東北185号」>「あきたっこ」>「コユキコムギ」>「東北195号」>「しゅんよう」>「ネバリゴシ」の順となった。また、各検定期期とも、「東北168号」、「東北185号」および「あきたっこ」の3品種・系統は正值を示したが、「コユキコムギ」、「東北195号」、「しゅんよう」および「ネバリゴシ」の4品種・系統は負値を示した。以上の結果から、穂発芽耐性が中～強の品種・系統を交配母本に用いることにより、一般に穂発芽率を低めるが、逆に弱～極弱の品種を用いると一般に穂発芽率が高まる事が判明した。

SCAにおいては、1 dayでは-0.108~0.215と組合せ間に大きな差異がみられ、CGAより大きな変異幅が認められた。また、6 daysおよびMeanでも、それぞれ-0.249~0.163、-0.174~0.194と大きく、CGAとほぼ同等の大きな変異幅が認められた。SCAの絶対値が0.1より大きい組合せは、1 dayでは、負値を示した組合せの中では、「しゅんよう×東北168号」(-0.104)と「東北195号×東北168号」(-0.108)、正值では「東北168号×東北185号」(0.142)と「あきたっこ×東北185号」(0.215)であった。また、6 daysにおいては、負値は「東北195号×東北185号」(-0.249)、「コユキコムギ×あきたっこ」(-0.249)および「コユキコムギ×東北168号」(-0.243)、正值では「東北195号×コユキコムギ」(0.278)、「あきたっこ×東北185号」(0.105)および「東北168号×東北185号」(0.163)であった。そしてMeanにおいては、負値は「東北195号×東北185号」(-0.174)と「コユキコムギ×あきたっこ」(-0.160)、正值では「東北168号×東北185号」(0.194)であった。以上の結果、SCAが大きな負値を示した全組合せは、片親が穂発芽耐性中～強の品種・系統であった。一方、SCAが大きい正值の組合せのほとんどは、両親とも穂発芽耐性が弱または極弱であった。

REはGCA、SCAに比べて一般に低い組合せが多かった。その中でも特に高い絶対値を示した組合せは、1 dayでは「ネバリゴシ×あきたっこ」(0.064)、「あきたっこ×東北168号」(-0.067)、「東北185号×東北168号」(0.064)、6 daysでは「コユキコムギ×東北168号」(0.149)、「東北168号×東北185号」

(0.100)、Meanでは「コユキコムギ×東北168号」(0.062)の6組合せであった。

IV 考 察

小麦の穂発芽耐性の遺伝様式を解析するため、その耐性が異なり粒色が赤褐色の7つの親品種・系統を用いて完全ダイアレル交配を行い、穂発芽率についてダイアレル分析を行った。

成熟期の1日後(1 day)、6日後(6 days)に穂発芽検定した結果、両検定期期とも反復間差は認められず、品種・系統間差は明瞭であった。親品種・系統の平均穂発芽率は1 dayが8.5%、6 daysでは30.1%で、5日間で約20%増加した。Kuwabara *et al.* (1996)は、穂発芽率が成熟期後1週間の間に急激に増加し、品種の平均穂発芽率はこの間20%増加することを明らかにしている。本試験でも同様な結果が得られた。

親品種・系統における穂発芽率は、1 day、6 daysの検定2時期ともに、穂発芽耐性強の「ネバリゴシ」と「しゅんよう」はきわめて低いのに対し、弱の「東北168号」と「東北185号」は高い値を示した。また、やや弱の「あきたっこ」は、1 dayでは低かったが、6 daysでは高かった。小田(1988)は穂発芽性程度(穂発芽率)の推移から小麦品種を、タイプ①：穂発芽性程度は開花後10日から高くなるが、登熟期間途中に一時的に低下する時期がある品種(「関東99号」、「Gamenya」)、タイプ②：開花後30日までは低く、その後70~80%まで高くなる品種(「農林61号」、「シラサギコムギ」等)、タイプ③：開花後30日までは低く、その後40~50%まで高くなる品種(「トヨホコムギ」、「ゼンコウジコムギ」等)の3つのタイプに分類した。なお、穂発芽耐性はタイプ①が弱、タイプ②が強、タイプ③が極強である。本試験では開花後の穂発芽率の推移は調査していなかったが、この分類に従うと、穂発芽耐性の強い「ネバリゴシ」と「しゅんよう」はタイプ②または③に、耐性が弱い「東北168号」と「東北185号」はタイプ①に分類されると考えられる。本試験に用いた品種・系統を詳細に分類するためには、今後、さらに穂発芽率の推移調査が必要である。

穂発芽耐性の強～中の「ネバリゴシ」、「しゅんよう」、「東北195号」および「コユキコムギ」の4品種は、F₁および両親間に穂発芽率に大きな差がなく、ダイアレル分析の(V_r, W_r)図(Fig. 1)および

(\overline{Pr} , $Wr+Vr$) 図 (Fig. 2) において、いずれの検定期でもこれら4品種が左下に集中していることから、これら4品種は共通して同じ穂発芽耐性強の優性遺伝子を持つことが推察される。一方で、穂発芽耐性弱の「東北168号」および「東北185号」は、(Vr , Wr) 図および (\overline{Pr} , $Wr+Vr$) 図においてこれら2品種が右上に位置していることから、穂発芽耐性弱の劣性遺伝子を持つと考えられる。

ダイアレル分析の (Vr , Wr) 図における直線回帰式は、1 dayにおいては勾配が1より著しく低く、エピスタシスの存在が疑われた。この場合は、回帰直線から特に離れた親の系列ごとを削除して、副ダイアレル表を作り、それに基づいてダイアレル分析をやり直すことが行われる (Dwivedi *et al.* 1980、鶴飼 2002b)。そこで、「あきたっこ」の系列を除いた6×6副ダイアレル表について再度ダイアレル分析を行った結果、回帰直線の勾配が1.0となってエピスタシスの影響はなくなり、相加・優性モデルに適合すると判断された。また、6 daysおよびMeanも (Vr , Wr) 図からエピスタシスの影響はなく、相加・優性モデルに適合すると判断された。以上のことから、いずれの検定期でも穂発芽率のダイアレル分析は相加・優性モデルに適合したので、遺伝分散は相加効果と優性効果の両方で説明できると考えられる。1 dayでは「あきたっこ」の系列を除くとエピスタシスの影響を排除でき相加・優性モデルに適合したことは、「あきたっこ」が持つ穂発芽耐性遺伝子が他の遺伝子座と相互作用を持つことを示唆すると考えられる。「あきたっこ」の穂発芽率は1 dayでは低く穂発芽耐性品種と大差がないが、6 daysでは高くなるという、休眠覚醒が急激に進む特異的な品種である。このような休眠覚醒特性がエピスタシスを引き起こす要因になっている可能性があるため、今後さらに検討する必要がある。

ダイアレル分析によって推定した遺伝分散は、1 dayでは優性分散 (H_I) が相加分散 (D) よりやや大きかったが、6 daysとMeanでは相加分散 (D) の方が優性分散 (H_I) よりやや大きかった (Table 5)。この結果、小麦の穂発芽耐性へは、いずれの検定期でも相加効果と優性効果の両者が同程度に関与していると考えられる。

1 day、6 daysおよびMeanのいずれの検定期でも、穂発芽耐性の優性遺伝子は耐性が強い方向に作用したことから (Fig. 2)、穂発芽耐性強は優性遺

伝子により制御されていると考えられる。また、親全体における優性遺伝子の割合 ($p \cdot D$) は、いずれも優性遺伝子の割合が劣性遺伝子より多く関与していたことは (Table 4)、親の中には穂発芽耐性強の遺伝子を持つ品種・系統が多いことを示唆しているものと考えられる。

遺伝率に関しては、1 day、6 daysおよびMeanともに広義の遺伝率は0.773~0.923と高いものの、狭義の遺伝率は0.381~0.564と低~中であった (Table 4)。狭義の遺伝率が実際の選抜効果の指標であるので、いずれの検定期でも穂発芽耐性の選抜効果も低いまたは中程度と推察される。

1995年度以降、東北農業研究センター麦育種研究室では、穂発芽検定は初期世代 ($F_2 \sim F_3$) では6 daysの1時期のみ、中後期世代系統 (F_4 以降) の穂発芽検定は本試験と同様の1 day と6 daysの2時期に行い、穂発芽検定温度と人工降雨の処理日数は本試験と同じにして実施してきた。なお、穂発芽調査項目は本試験の穂発芽率ではなく、穂発芽程度 (0:無~5:甚) である。穂発芽耐性の選抜は、初期世代は6 daysの穂発芽程度、中後期世代は1 dayの穂発芽程度と6 daysの穂発芽程度の平均値に基づき行ってきた。本試験のダイアレル分析では、6 daysとMeanは同様な結果が得られ、狭義の遺伝率も1 dayより高いことから、従来の穂発芽耐性選抜法は効率的な方法であったと考えられる。なお、本試験の穂発芽検定温度は17~18℃で行ったが、穂発芽率は一般に検定温度に影響を受け、低温ほど穂発芽率が高まることが報告されている (Oda *et al.* 1993、Osanai *et al.* 1993) ので、今後は10~15℃の低温条件においても穂発芽検定を行い、ダイアレル分析を行う必要がある。

穂発芽耐性のダイアレル分析に関しては、Xiao and Xu (1993) は5×5の完全ダイアレル交配の解析結果から、穂発芽耐性は相加および優性の両遺伝子に制御されていると報告しているが、これは本試験の結果とよく一致した。

また、種子休眠性のダイアレル分析についてはAmano and Tsuchiya (1993) は、開花後の種子休眠性について片側ダイアレル交配とその親を用いて、10℃および25℃の2つの温度条件で発芽調査し発芽率のダイアレル分析を行った結果、25℃の50日、57日および70日のダイアレル分析だけが遺伝的に単純な相加・優性モデルに適合し、50日、57日は相加

的な少数の優性遺伝子に制御されるが、70日では劣性遺伝子により制御されることを報告している。また、Miura *et al.* (1997) は、制御環境条件の下で成熟させた6×6ダイアレル交配からのF₁およびF₂の種子休眠性の遺伝変異は、相加および優性遺伝効果の両方に起因しており、休眠性強は優性遺伝子によって制御されることを報告している。以上の報告で共通している点は、種子休眠性は相加・優性モデルに適合し、成熟期後しばらくの間は休眠性強が優性遺伝子により制御されることである。これらは、本試験の穂発芽耐性の結果と一致したので、穂発芽耐性には主に休眠性遺伝子が関与していると考えられる。

Reitan (1980) は、穂発芽耐性が異なる春小麦品種を用いた種子休眠性ダイアレル分析の(V_r, W_r)図から、品種を3つの明確なグループに分けることができると報告している。本試験においては、穂発芽耐性はダイアレル(V_r, W_r)図から耐性強と弱の2つのグループに大きく分けることができた(Fig. 1)。

穂発芽耐性と関係が深い種子休眠性が強い品種と弱い品種の正逆交雑のF₁種子の発芽率は、母親に休眠性の強い品種を用いた場合は、弱い品種を用いた場合より低いので、F₁種子の休眠性には母親の種皮、種子色および胚乳が影響することが報告されている(Noll *et al.* 1982, Yanagisawa *et al.* 1996, Miura *et al.* 1997)。一方、本試験においてはF₁植物に実ったF₂種子を用いており、分散分析の結果から正逆交配間差を表すc項、d項が有意でなかったため、母親の影響はないものと推察される。

単交雑による穂発芽耐性遺伝子分析の報告に関しては、後藤・神前(1965)は、穂発芽性程度の異なる品種間交雑組合せでは穂発芽易(耐穂発芽性弱)はやや優性的に遺伝すると報告した。一方、星野ら(1989)は穂発芽耐性が弱と強の「関東99号×トヨホコムギ」および「シラサギコムギ×トヨホコムギ」の赤粒同士の組合せの穂発芽性分離から、穂発芽耐性強が優性で2遺伝子の存在を明らかにした。この星野らの結果は、本試験の穂発芽耐性強が優性遺伝子に制御されている結果とよく一致した。また、Ogbonnaya *et al.* (2008)も穂発芽耐性強と弱の「CN19055 × Auunello」の白粒同士組合せの穂発芽性分離結果から、穂発芽耐性は少なくとも2遺伝子に制御されているとした。さらに、Yanagisawa

et al. (1996)は、穂発芽耐性が異なる2組合せの発芽率の分離結果から、穂発芽耐性には少なくとも3遺伝子が関与しているとした。これらの報告の結果の違いは遺伝解明に用いた交配組合せが異なるためであると考えられるが、穂発芽耐性には少なくとも2遺伝子が関与していると推定される。本試験でも、上記のように「ネバリゴシ」と「しゅんよう」などの穂発芽耐性が強～中の品種・系統は同じ穂発芽耐性強の優性遺伝子を持つと推定されるが、耐性に関与する遺伝子数を特定することはできなかったため、さらに遺伝子分析を行い、穂発芽耐性の遺伝子数を明らかにする必要がある。

穂発芽耐性の遺伝率に関しては、Xiao and Xu (1993)は狭義遺伝率が0.61～0.84の中～高、またUpadhyay and Paulsen (1988)は広義遺伝率は0.40～0.56の低～中であると報告している。また、種子休眠性の狭義遺伝率は、Allan (1993)は0.39～0.41の中程度としたが、Paterson and Sorrells (1990)は遺伝子型×環境の交互作用のために0.04～0.13と低いと報告している。以上のように、穂発芽耐性とこれと関連性が強い種子休眠性の遺伝率は低～中を示す報告が多かった。本試験でも実際の選抜効果を表す狭義の遺伝率は0.381～0.564のやや低～中であつたことから、これらの報告とよく一致していると考えられる。

穂発芽耐性の選抜効率に関しては、Xiao and Xu (1993)は穂発芽程度に基づくF₂個体選抜により、F₃系統の内、穂発芽耐性の標準品種より強い耐性を示す系統は40～60%であると報告した。Fujita *et al.* (1996)は、温室内の小麦世代促進において、F₂～F₄の各雑種集団について種子休眠性の深い粒を選抜した結果、F₄の4組合せの内1組合せを除いて、選抜集団は無選抜集団比べて穂発芽耐性個体の出現頻度が高く、種子休眠性の選抜は、世代促進における穂発芽耐性選抜に有効であるとしている。また、Hucl (1995)は、穂発芽耐性の異なる白粒(耐性強)×赤粒(弱)の春小麦6交配組合せについて、F₃系統から穂発芽耐性が強および弱の各系統に分けて、F₃、F₄系統の穂発芽耐性を検討した結果、穂発芽耐性の選抜効果は高く、実現遺伝率は0.26(中)～1.54(高)、平均0.74であることを報告した。以上3つの報告から、穂発芽耐性の初中期世代(F₂～F₄)で選抜効果はある程度あるものの、交配組合せによりその選抜効果が低い場合もあると考えられる。

以上の穂発芽耐性の遺伝解析、遺伝率および選抜効果の報告と本試験結果を総合すると、穂発芽耐性強が優性遺伝子により制御され、狭義の遺伝率が低～中であることから、穂発芽耐性の選抜効率を高めるためには、集団栽培で世代を進め、遺伝的固定度をある程度高めた上で、 F_4 以降に選抜する必要があると考えられる。

穂発芽率の組合せ能力に関しては、分散分析からいずれの検定時期においてもGCAおよびSCAが、それぞれ統計的に有意であったが、正逆交配差はいずれも有意でなかった (Table 6)。GCAは穂発芽耐性が中～強の品種・系統を交配母本に用いることにより一般に穂発芽率を低めるが、逆に弱～極弱の品種を用いると一般に穂発芽率が高まった。SCAはいずれも有意で、 F_1 間にGCAと変わらない大きな変異が認められた。一方、REは有意でなかった (Table 7)。以上の結果から、穂発芽耐性の組合せ能力においては、GCAとSCAの両方とも重要であると考えられる。

Xiao and Xu (1993) はGCAは有意であったが、SCAと正逆交配差は時々有意となったと報告した。一方、Barnard *et al.* (2005) は、GCA、SCAともに有意であるが、正逆交配差は有意でなかったとした。本試験の結果は、Barnard *et al.* (2005) の報告と一致した。また、Barnard *et al.* (2005) は、品種のGCA比較から、穂発芽耐性の強い品種「Elands」は種々な組合せで穂発芽耐性を有意に強くするため、穂発芽耐性の改良にはもっとも優れた組合せ能力を持っていることを明らかにしている。本試験のGCA結果でも、穂発芽耐性が強い「ネバリゴシ」は6 daysとMeanにおいて最大の負値を示しことから、穂発芽率を有意にもっとも低下させるので、穂発芽耐性強の母本として有望であると考えられる。SCAは穂発芽耐性が異なる組合せの中で、6 daysにおける「東北195号×東北185号」と「コユキコムギ×あきたっこ」、「コユキコムギ×東北168号」のような特異的に大きな負値を示す組合せがみられることから、穂発芽耐性が異なる組合せでは、実際組合せてみないと F_1 の穂発芽耐性がわからない場合もあると考えられる。

引用文献

- 1) Allan, R. E. 1993. Genetic expression of grain dormancy in a white-grain wheat cross. (Walker-Simmons, M. K.; Reid, J.L. ed., Proc. Pre-harvest Sprouting in Cereals 1992). USA. AACC Press. p.37-46.
- 2) Amano, Y.; Tsuchiya, T. 1993. Expression of seed dormancy in relation to stage of grain development and germination temperature. (Walker-Simmons, M.K.; Reid, J.L. ed., Proc. Pre-harvest Sprouting in Cereals 1992). USA. AACC Press. p.329-338.
- 3) Barnard, A.; van Deventer, C. S.; Maartens, H. 2005. Genetic variability of preharvest sprouting the South African situation. *Euphytica* 143 : 291-296.
- 4) Derera, N. F. 1989. The effects of preharvest rain. (Derera, N.F. ed., Preharvest Field Sprouting in Cereals) USA. CRC Press. p.1-14.
- 5) Dwivedi, S.L.; Rai, K.N.; Singh, R.B. 1980. Diallel analysis of heading date in rice (*Oryza sativa* L.). *Theor. Appl. Genet.* 57 : 43-47.
- 6) ファルコナー D. S. 1993. 組合せ能力 (量的遺伝学入門 (原書第3版) 蒼樹書房. p.343-348.
- 7) Fujita, M.; Taniguchi, Y.; Ujihara, K. 1996. Selection for pre-harvest sprouting resistance in rapid generation advancement in wheat breeding program. (Noda, K.; Mares, D.J. ed., Proc. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995) Osaka, Japan. CASJO Press. p.285-288.
- 8) Gale, M.D. 1989. The genetics of preharvest sprouting in cereals, particularly in wheat. (Derera, N. F. ed., Preharvest Field Sprouting in Cereals) USA. CRC Press. p.85-110.
- 9) 後藤虎男, 神前芳信. 1965. 小麦穂発芽性の遺伝について. *育雑*15 (別1) : 54-55.
- 10) Griffing, B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing system. *Aust. J. Biol. Sci.* 9 : 462-493.
- 11) Hayman, B. I. 1954a. The analysis of variance of diallel tables. *Biometrics* 10 : 235-244.
- 12) Hayman, B. I. 1954b. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics* 39 : 789-809.

- 13) 星野次汪, 友岡憲彦, 福永公平, 瀬古秀文. 1989. コムギの穂発芽検定法と難穂発芽遺伝子源の系譜. 育種 39 : 365-372.
- 14) 星野次汪, 田野崎真吾, 谷口義則, 後藤虎男, 藤原秀雄, 故北原操一, 上田邦彦. 1990. 小麦新品種「コユキコムギ」の育成. 東北農試研報 81 : 1-17.
- 15) 星野次汪, 伊藤誠治, 佐藤暁子, 渡辺 満, 田野崎真吾, 谷口義則, 後藤虎男, 藤原秀雄, 故北原操一, 上田邦彦, 中島秀治. 1993. 小麦新品種「あきたっこ」の育成. 東北農試研報87 : 33-53.
- 16) Hucl, P. 1995. Divergent selection for sprouting resistance in spring wheat. Plant Breeding 114 : 199-204.
- 17) Jinks, J. L. 1956. The F₂ and backcross generations from a set of diallel crosses. Heredity 10 : 1-30.
- 18) 岩手県農業研究センター. 2006. 小麦品種「ゆきちから」の収穫適期. 研究レポートNo.329.
- 19) Kuwabara, T.; Iriki, N.; Takata, K. 1996. Varietal differences in pre-harvest sprouting tolerance of winter wheat in Hokkaido. (Noda, K.; Mares, D. J. ed., Proc.Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995) Osaka, Japan. CASJO Press. p.197-204.
- 20) Mather, K.; Jinks J. L. 1982. Diallels. (Biometrical Genetics. 3rd edn.) London. Chapman and Hall. p.255-291.
- 21) Miura, H.; Fukuda, Y.; Sawada, S. 1997. Expression of dormancy in diallel F₁ and F₂ seed of ripened under controlled environment. J. Genet. & Breed. 51 : 195-200.
- 22) 中山林三郎. 1985. ダイヤレルクロスとそのデータの解析(1)~(5). 農業技術 40 : 352-356, 398-402, 448-451, 493-496, 538-541.
- 23) Noll, J. S.; Dyck, P. L.; Czarnecki, E. 1982. Expression of RL 4137 type of dormancy in F₁ seeds of reciprocal crosses in common wheat. Can. J. Plant Sci. 62 : 345-349.
- 24) 小田俊介. 1988. 小麦の登熟期間中における穂発芽性とアミラーゼ活性の変化. 育種 38 (別2) : 368-369.
- 25) Oda, O.; H. Seko. 1993. Evaluation of pre-harvest sprouting resistance in wheat using germination tests conducted at two temperature. (Walker-Simmons, M.K.; Reid, J.L. ed., Proc.Pre-harvest Sprouting in Cereals 1992). USA. AACC Press. p.69-75.
- 26) Ogonnaya, F.; Imtiaz, M.; Ye, G.; Hearnden, P.; Hernandez, E.; Eastwood, R.; van Ginkel, M.; Shorter, S.; Winchester, J. 2008. Genetic and QTL analyses of seed dormancy and preharvest sprouting resistance in the wheat germplasm CN10955. Theo. Appl. Genet. 116 : 891-902.
- 27) Osanai, S.; Y. Amano. 1993. Selection of tolerant lines to low temperature germinability in wheat. (Walker-Simmons, M.K.; Reid, J.L. ed., Proc.Pre-harvest Sprouting in Cereals 1992). USA. AACC Press. p.76-82.
- 28) Paterson, A. H.; Sorrells, M. E. 1990. Inheritance of grain dormancy in white-kernelled wheat. Crop Sci. 30 : 25-30.
- 29) Reitan, L. 1980. Genetical aspects of seed dormancy in wheat related to seed coat colour in an 8 x 8 diallel cross. Cereal Res. Comm. 8 : 275-282.
- 30) 田野崎真吾. 1991. 小麦東北系統の形態・生態的特性. 東北農試研究資料 11 : 27-41.
- 31) 丹治克男, 吉田直史, 青田 聡. 2003. 高品質を維持するための小麦の収穫適期幅. 福島県農業試験場平成15年度研究成果. 普及に移しうる成果 : 24-25.
- 32) 鶴飼保雄. 1989. 量的形質のダイヤレル分析のためのパソコン用プログラムDIALLの作成. 育種 39 : 107-109.
- 33) 鶴飼保雄. 1992. ダイヤレル分析 (藤巻 宏, 鶴飼保雄, 山元皓二, 藤本文弘共著 植物遺伝学 上 基礎編) 培風館. p.139-147.
- 34) 鶴飼保雄. 2002a. 組合せ能力 (量的形質の遺伝解析) 医学出版. p.141-148.
- 35) 鶴飼保雄. 2002b. ダイヤレル分析 (量的形質の遺伝解析) 医学出版. p.173-217.
- 36) 牛島智彦, 斎藤 稔, 久保田基成, 井ノ口明義, 土屋宣明, 羽田丈夫, 近藤武晴, 田中幹男, 赤沼礼一, 泉 克明, 前島秀和. 1998. 小麦新品種「しゅんよう」について. 長野県農事試報

- 47 : 53-61.
- 37) Upadhyay M. P.; Paulsen G. M. 1988. Heritabilities and genetic variation for preharvest sprouting in progenies of Clark's Cream white winter wheat. *Euphytica* 38 : 93-100.
- 38) Xiao, W; Xu, F. 1993. Combining ability and early generation selection of pre-harvest sprouting in wheat. (Walker-Simmons, M. K.; Reid, J. L. ed., Proc. Pre-harvest Sprouting in Cereals 1992). USA. AACC Press. p.98-103.
- 39) Yanagisawa, T.; Yamaguchi, I.; Kiribuchi-Otobe, C.; Ushiyama, T. 1996. Genetic analysis of resistance to pre-harvest sprouting using doubled haploid lines in wheat. (Noda, K.; Mares, D. J. ed., Proc. Pre-Harvest Sprouting in Cereals 1995) Osaka, Japan. CASJO Press. p.281-284.
- 40) 吉川 亮, 中村和弘, 伊藤美環子, 星野次汪, 伊藤誠治, 八田浩一, 田野崎真吾, 谷口義則, 佐藤暁子, 中村 洋. 2002. 高製めん適性, 早生・多収の小麦新品種「ネバリゴシ」の育成. 東北農研研報 100 : 1-26.

東北農業研究センター研究報告 第 113 号

平成 23 年 3 月 発 行

編集兼発行 東北農業研究センター
代表者 岡 三 徳
〒 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



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。