



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

Tohoku Nogyo Kenkyu Center Kenkyu Hokoku  
No.111, January 2010

**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111号

所 長            岡            三   德

編集委員会

編集委員長	松	田	長	生			
編 集 委 員	須	山	哲	男	児	嶋	清
	持	田	秀	之	田	村	有
	関	野	幸	二			希

BULLETIN OF THE  
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER  
FOR TOHOKU REGION

No.111

*Director General*  
Mitsunori OKA

*Editorial Board*

*Editor*  
Nagao MATSUTA

*Associate Editors*

Tetuo SUYAMA  
Hideyuki MOCHIDA  
Koji SEKINO

Kiyoshi KOJIMA  
Yukihiro TAMURA

# 東北農業研究センター研究報告 第111号 (平成22年1月)

## 目 次

### 極小粒の紫黒米糯品種「紫こぼし」の育成成

片岡 知守・山口 誠之・遠藤 貴司・中込 弘二・滝田 正  
横上 晴郁・加藤 浩 ..... 1 - 16

### ニンニクリン茎の自発休眠、他発休眠および呼吸速度に及ぼす収穫後温度の影響

山崎 博子・庭田 英子・矢野 孝喜・長菅 香織・山崎 篤 ..... 17 - 27

### ロールバールサイレージの発酵改善と安定貯蔵技術に関する研究

河本 英憲 ..... 29 - 84

### リング褐斑病菌のストロビルリン系殺菌剤クレソキシムメチルに対する感受性

足立 嘉彦・土師 岳・伊藤 伝・高梨 祐明 ..... 85 - 88

### 農薬削減リングの価格優位性と普及の可能性

－農薬50%削減リング栽培技術の経済評価－

野中 章久・阿部 直行 ..... 89 - 100

### スキャナ式胚乳測色システムによる胚乳のくすみと鉄含量との関係性の検証

石川 吾郎・前島 秀和・中村 和弘・鈴木 雅博・伊藤 裕之  
平 将人・谷口 義則・中村 俊樹 ..... 101 - 114

BULLETIN OF THE  
NATIONAL AGRICULTURAL RESEARCH CENTER  
FOR TOHOKU REGION  
No.111 (January 2010)

CONTENTS

KATAOKA, T., YAMAGUCHI, M., ENDO, T., NAKAGOMI, K., TAKITA, T., YOKOGAMI, N. and KATO, H. : Development of a New Purple and Very Small Grain Glutinous Rice Variety "Murasaki-koboshi" .....	1 - 16
YAMAZAKI, H., NIWATA, E., YANO, T., NAGASUGA, K. and YAMASAKI, A. : Effects of Temperature During Postharvest Period on the Endodormancy, Ecodormancy and Respiration Rate of Garlic Bulbs .....	17 - 27
KAWAMOTO, H. : Studies on Improvement of Fermentation and Stable Storage Method in Round-Baled Silage.....	29 - 84
ADACHI, Y., HAJI, T., ITO, T. and TAKANASHI, M. : Sensitivity to Kresoxim-methyl of <i>Diplocarpon mali</i> , the Causal Fungus of Apple Blotch .....	85 - 88
NONAKA, A., ABE, N. : The Price Advantage of Reducing Agrichemicals for Apples and the Possibility of Expanding the Cultivation Method for Apple Farming - Economical evaluation on agrichemicals 50% reduced apples - .....	89 - 100
ISHIKAWA, G., MAEJIMA, H., NAKAMURA, K., SUZUKI, M., ITO, H., TAIRA, M., TANIGUCHI, Y., and NAKAMURA, T. : Determining Whether a Relationship Exists between Iron Content and Darkness of Wheat Endosperm Using a New Colorimetry System .....	101 - 114

## 極小粒の紫黒米糯品種「紫こぼし」の育成

片岡 知守<sup>\*1)</sup>・山口 誠之<sup>\*2)</sup>・遠藤 貴司<sup>\*3)</sup>・中込 弘二<sup>\*2)</sup>  
滝田 正<sup>\*4)</sup>・横上 晴郁<sup>\*5)</sup>・加藤 浩<sup>\*6)</sup>

**抄 録**：「紫こぼし」は、東北農業研究センターにおいて、東北地域に適する早生の紫黒米で、糯種の極小粒米品種の育成を目標に、極小粒の「関東195号」と東北地域に適する紫黒糯米の「朝紫」を交配し、その後代から育成された極小粒の紫黒米糯品種である。2008年に種苗法に基づく品種登録出願を行った。

出穂期と成熟期は、育成地（秋田県大仙市）では、「朝紫」より約1日早い“早生の晩”に属する。葉身、葉鞘、稈、ふ先等稲体の種々の部位が紫色に着色し、識別性がある。稈長は「朝紫」より短く、倒伏に強い。いもち病圃場抵抗性は葉いもちが“やや強”、穂いもちが“やや弱”、耐冷性は“弱”で、穂発芽性は“難”である。粗玄米重は、「朝紫」の約70%と低い。玄米千粒重は「朝紫」の約55%で“極小”である。「朝紫」の玄米より食物繊維、カルシウム、チアミン、ビタミンE等の含量が高く、「ヒメノモチ」との比較では、これらに加えタンニン等の含量が高い。一般白米に玄米を10%混米した着色米飯の食味は、「朝紫」の着色米飯より優れる。

本品種は着色飯、雑穀飯等の調理飯のほか極小粒である玄米の形を残した和菓子等加工用への利用が期待され、東北地域中南部の有色米品種導入地域での普及が見込まれる。

キーワード：水稲、極小粒、紫黒米、糯、東北地域中南部、識別性

### Development of a New Purple and Very Small Grain Glutinous Rice Variety “Murasaki-koboshi”

: Tomomori KATAOKA<sup>\*1)</sup>, Masayuki YAMAGUCHI<sup>\*2)</sup>, Takashi ENDO<sup>\*3)</sup>, Koji NAKAGOMI<sup>\*2)</sup>, Tadashi TAKITA<sup>\*4)</sup>, Narifumi YOKOGAMI<sup>\*5)</sup> and Hiroshi KATO<sup>\*6)</sup>

**Abstract** : A new rice variety with black (dark purple), glutinous and very small grains, “Murasaki-koboshi”, was developed at the National Agricultural Research Center for Tohoku Region. In 2008 we applied for registration of this variety based on the Plant Variety Protection and Seed Act.

This cultivar was selected from the progenies of the combination “Kanto195” and “Asamurasaki”. “Kanto195” is a very small grain strain, and “Asamurasaki” is a glutinous and black grain variety. The maturity of “Murasaki-koboshi” is almost the same as that of “Asamurasaki” and is classified as early to moderate in the Tohoku region. Its leaf edge, sheath, culm and apiculus are purple, and it is easy to distinguish from common cultivars. Its partial resistance to leaf blast and panicle blast are slightly high and slightly low, respectively. The cool weather tolerance during the reproductive stage is low, and the seed dormancy is strong. The culm length is shorter than that of “Asamurasaki”, and lodging resistance is higher. Its grain yield is low, about 70% of that of “Asamurasaki”. Its grain is very small, approximately 55% of the grain weight of “Asamurasaki”.

\* 1) 九州沖縄農業研究センター (National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region, Chikugo, Fukuoka 833-0041, JAPAN)

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

\* 3) 宮城県古川農業試験場 (Miyagi Prefecture Furukawa Agricultural Experiment Station, Osaki, Miyagi 989-6227, JAPAN)

\* 4) 国際農林水産業研究センター (Japan International Research Center for Agricultural Sciences, Tsukuba, Ibaraki 305-8686, JAPAN)

\* 5) 北海道農業研究センター (National Agricultural Research Center for Hokkaido Region, Sapporo, Hokkaido 062-8555, JAPAN)

\* 6) 作物研究所 (National Institute of Crop Science, Tsukuba, Ibaraki 305-8518, JAPAN)

2009年4月10日受付、2009年12月3日受理

The grains contain dietary fiber, calcium, thiamine and vitamin E at higher levels than those of "Asamurasaki", and in addition to these nutritive contents, "Murasaki-koboshi" contains a higher level of tannin in comparison to "Himenomochi". In eating quality of colored cooked rice blended with common white rice, the taste of "Murasaki-koboshi" is better than that of "Asamurasaki".

"Murasaki-koboshi" can be used for some kinds of cooked rice and as one of the ingredients for packaged grain cereal mix. It can also be used as part of processed foods in which the grain shape is important, such as Japanese style confections, to make the best use of the very small grain size. It is adapted to the lowland area below middle Tohoku of Japan.

**Key Words** : Rice, Very small grain, Black grain, Purple grain, Glutinous rice, Middle to south areas in the Tohoku region, Distinction

## I 緒 言

近年、食の健康志向や多様化を背景に、高付加価値化や地産地消の推進等を目的として、紫黒米及び赤米品種が全国的に育成されている。東北地域では、紫黒米糯品種「朝紫」(東ら 1997)、赤米糯品種の「夕やけもち」(山口ら 2007)を中心に、いくつかの品種が普及している。これらは、赤飯や雑穀飯の素材として、玄米の形で全国的に流通しているほか、紫や赤色の日本酒、大福、麺や煎餅等地域特産物として様々な加工品に活用されるなど、地域振興に貢献している(猪谷・小川 2004、山口 2004)。また、青森県では、極小粒という特徴的な外観と食感で消費者の興味を引く「つぶゆき」(小林ら 2003)を育成し、これを素材とした種々の調理飯が提案され、原料生産から商品開発、消費に至る各方面で地域振興が図られている。一方、アワやキビ、ヒエ等の雑穀類も、地域振興を図る作物として機能性研究(西澤 2002)や調理・加工技術の開発が進められてきたが、最近の健康志向の高まりとともに脚光を浴び、急速に市場を拡大している。このように有色米及び雑穀飯の関連市場において、次々と新しい製品が開発されるようになり、生産者や実需者から、より多様で、かつ国内あるいは当該地域で生産可能な素材を求める声が寄せられている。

そこで、東北地域での生産に適するこれまでにない特徴的な素材を提供するため、極小粒で糯種の紫黒米品種「紫こぼし」を育成した。本報告では、本品種の普及並びに今後の有色米品種の開発に資するため、育成経過及び特性等を取りまとめた。

本品種の育成に当たり、加工、利用の研究を推進していただいた関係各位、及び特性検定試験、奨励品種決定調査を実施していただいた関係機関及び担当者各位に厚くお礼申し上げる。また、生産者各位

には現地調査に、実需各社には加工品の試作や市場性評価にご協力いただいた。さらに、研究支援センター業務第4科各位及び非常勤職員各位には育種業務の遂行に尽力いただいた。本研究は、農林水産省プロジェクト研究「低コストで質の良い加工・業務用農産物の安定供給技術の開発」予算で実施されたものである。ここに記して深く感謝の意を表す。

## II 育種目標及び育成経過

### 1. 育種目標

多様化する米飯関連の市場に対応し、より特徴的な素材を提供するため、極小粒で、かつ紫黒米という、これまでにない玄米形質の組み合わせを持つ品種を育成することを第一の目標とした。同時に、梗種よりも用途が広い糯種であること、東北地域に適する早生であることを目標とした。

### 2. 育成経過

「紫こぼし」は、極小粒の「関東195号」を母とし、東北地域に適する紫黒糯米の「朝紫」を父とする組合せから育成された品種である(図1)。「紫こぼし」の選抜経過の概要を図2に示す。

1998年に東北農業試験場水田利用部(現・東北農業研究センター大仙研究拠点)において人工交配を行い、1999年に圃場でF<sub>1</sub>を養成した。2000年にF<sub>2</sub>集団414個体を養成し、圃場において熟期及び葉色、草姿等により30個体を選抜し、さらに室内で玄米形質により19個体に絞った。2001年F<sub>3</sub>世代で19系統を養成し、2系統を選抜した。以降、系統育種法により選抜、固定を図ってきた。

2002年F<sub>4</sub>世代で「Y2-32」、2003年F<sub>5</sub>世代で「羽系糯778」の系統名で他の1系統とともに生産力検定試験、特性検定試験を行い、収量性及び玄米品質で優れる本系統を選抜した。2004年F<sub>6</sub>世代で「奥羽紫糯389号」の系統名を付し、2005年から希望する関係

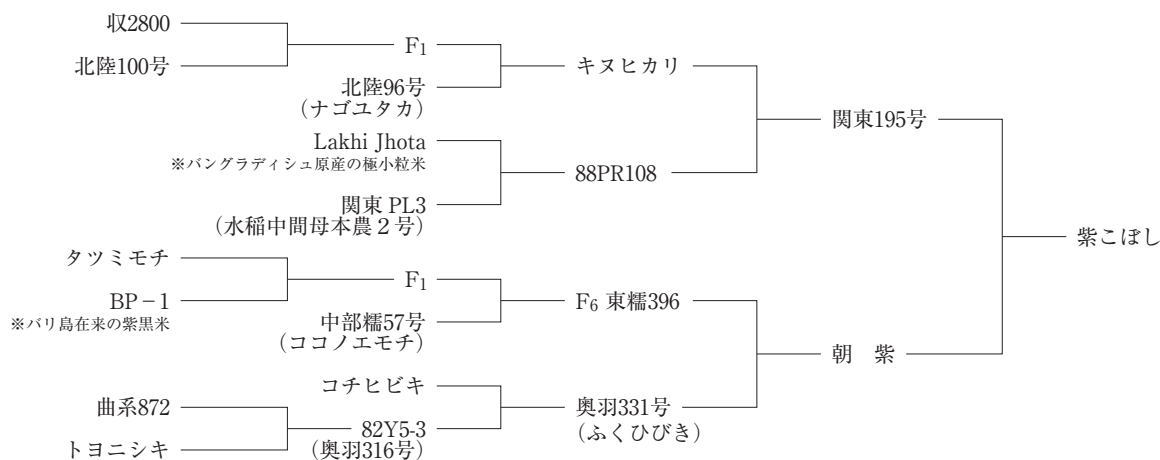


図1 「紫こぼし」の系譜

年次	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
世代	交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub> 集団	F <sub>3</sub> 単独系統	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub> 羽系糯778	F <sub>6</sub> 奥羽紫糯389号	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>
育成系統図	奥交98-123 関東195号 × 朝紫	TL-100	TB-11 (414個体)	1583	2211	2611	2841	3021	3251	3241
				1589	2212	2612	2842	3022	3252	3242
				1593	2213	2613	2843	3023	3253	3243
				1599	2044	2614	2844	3024	3254	3244
				1611	2045	2615	2845	3025	3255	3245
			(5)	(5)						
選抜経過	養成系統群数			-	2	2	1	1	1	1
	養成系統数			19	10	10	5	5	5	5
	選抜系統数			2	2	1	1	1	1	1
	選抜個体数			19	10	10	5	5	5	5

注. 奥交：交配番号, TL：雑種第一代番号, TB：雑種集団番号。括弧 ( ) 内の数字は系統数, 下線 ( ) は「紫こぼし」の選抜系統を示す。

図2 「紫こぼし」の育成経過

県に奨励品種決定調査に配付すると共に、有色米を導入している地域での現地試作を行い、地方適性を評価した。2007年度に固定度調査を行い、実用的に固定されたものと判断された。

### 3. 品種登録及び命名の由来

本品種は、極小粒で紫黒米というこれまでにない組合せの玄米形質を持ち、普及が見込まれることから、2008年に「紫こぼし」の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22846号、出願年月日：2008年8月25日）。2008年の世代は雑種第10代である。「紫こぼし」の名は、丸い形が起き上がり小法師に似ており、小さくても様々な力を秘めている紫黒米であることを表している。

## III 特 性

### 1. 形態的特性

移植時の苗丈は「朝紫」よりやや短く、葉色は濃く「朝紫」と同程度である。幼苗期の葉身には、縁を中心とした斑点状にアントシアニンによる濃い紫の着色が見られる（表1）。稈の細太は「朝紫」より細い「細」で、稈の剛柔は「やや柔」である（表1）。稈長は「朝紫」、「ヒメノモチ」より6～7cm短い「やや短」で、穂長は「朝紫」より約1cm、「つぶゆき」より2cm以上長い。穂数は「朝紫」、「ヒメノモチ」より1平方メートル当たり70本程度、「つぶゆき」より同60本程度多い（写真1、表2）。





写真1 株標本（左から、「紫こぼし」、「朝紫」、「ヒメノモチ」）

草型は“穂数型”である。一穂粒数、一株穂数ともに多く、「朝紫」及び「つぶゆき」と比較して総粒数が極めて多い。また、二次枝梗着生粒割合が55%と高く（表3）、粒着は「朝紫」と同じ“やや密”である（表1）。芒は無く、ふ先色は“紫”、穎色は“黄白”である。脱粒性は“難”で、成熟期の止葉はほぼ水平である（表1、写真2）。幼苗期から成熟期にかけて「朝紫」と同様に、葉縁、ふ先色に加え、葉舌、葉鞘、節も紫色を呈し、品種識別が容易である。

## 2. 生態的特性

「あきたこまち」と比較して、育苗初期における生育量が小さく、苗マットの強度が低い（表4）。これは、穂発芽性が“難”で種子休眠が深く発芽が遅れる個体があるためと推察される。稚苗育苗において、徒長せず、かつ作業に支障がない程度にルートマットの形成が可能な播種量は、乾粒重量で通常より30～50%減じた苗箱当たり60～80g（6,600～8,800粒）と見られ、極小粒品種「つぶゆき」で適当とされた播種量60g（小林ら 2003）と同等かやや多い。

出穂期は「朝紫」より1日早く、成熟期は「朝紫」より5日早く「ヒメノモチ」より1日遅い“早生の

表1 「紫こぼし」の形態的特性（育成地、2007年）

品種名	移植時			稈		芒		ふ先色	穎色	粒着密度	脱粒性	止葉
	苗丈	葉色	葉のアントシアニンの分布	細太	柔剛	多少	長短					
紫こぼし	やや短	濃緑	縁のみ	細	やや柔	無	-	紫	黄白	やや密	難	水平
朝紫	中	濃緑	縁のみ	中	中	少	短	紫	黄白	やや密	難	水平
ヒメノモチ	中	中	無	中	やや柔	稀	極短	白	黄白	中	難	水平

注. 止葉：成熟期の止葉の直立程度。

表2 「紫こぼし」の生育特性（育成地）

年次	品種名	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	倒伏 (0-5)	穂いもち (0-5)
2002、 2004～2007	紫こぼし	8. 2	9. 8	74	18.8	390	0.1	0.0
	朝紫	8. 3	9.13	81	17.8	317	0.2	0.1
	ヒメノモチ	7.31	9. 7	80	19.5	319	1.2	0.1
2005、2007	紫こぼし	7.29	9. 7	73	18.5	433	0.3	0.0
	つぶゆき	7.28	9. 8	76	16.0	377	0.0	0.0

注. 数値は年次平均。倒伏：0（無倒伏）～5（完全倒伏）。穂いもち：0（発病無）～5（発病極多）。平均の播種日は4月26日、移植日は5月19日、基肥はN成分0.7kg/a、追肥はN成分0.2kg/a、3本植で栽植密度は30cm×15cm、他の条件は慣行栽培に準じる。

表3 「紫こぼし」の穂相（育成地、2007年）

品種名	一穂枝梗数		一穂粒数				計 (個/穂)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	総粒数 (粒/m <sup>2</sup> )
	一次 (本/穂)	二次 (本/穂)	一次枝梗着生		二次枝梗着生				
			粒数 (個/穂)	比率 (%)	粒数 (個/穂)	比率 (%)			
紫こぼし	7.4	15.9	47.8	45	57.9	55	105.7	474	50,102
朝紫	10.8	8.9	61.9	72	23.6	28	85.5	385	32,918
つぶゆき	10.0	8.6	53.7	71	21.6	29	75.3	393	29,593
ヒメノモチ	9.0	10.2	49.5	64	27.5	36	77.0	326	25,102

注. 表2の生育調査成績と同一試験区から採取した3株を調査。



写真2 圃場での草姿（育成地、2007年9月）  
（ラベルより左：「紫こぼし」、右：「朝紫」）

表4 「紫こぼし」の苗の特性（育成地、2007年）

品種名	播種量 (g/箱)	同左 粒数換算 (粒/箱)	草丈 (mm)	葉齢 (葉)	乾物重 (mg/個体)	マット強度 (N)	マット形成
紫こぼし	20	2,200	140	3.2	11.8	53	×
	40	4,400	167	3.3	15.6	123	△
	<u>60</u>	<u>6,600</u>	150	3.1	11.9	192	○
	80	8,800	145	2.8	8.6	255	○
	120	13,200	157	2.8	10.5	260	○
あきたこまち	20	950	180	4.0	40.5	299	○
	40	1,900	160	3.6	32.2	354	○
	80	3,800	182	3.4	25.1	454	○
	<u>120</u>	<u>5,700</u>	180	3.1	17.9	588	○
	160	7,600	175	3.0	16.2	634	○

注. 4月27日播種、5月25日調査。2反復。草丈、葉齢、乾物重は、1区10個体を調査。変動係数は、全個体の調査値から算出。マット強度は、5cm幅に切り分け、倒伏試験器（大起理化）で真横から45°の角度まで押した時の応力。マット形成は、田植機への移しかえ作業の観点から、○：支障ない程度にしっかりしている、△：やや崩れやすく支障あり、×：非常に崩れやすく支障有り、で評価。下線    は、苗の生育及びマット形成から判定した適当な播種量。

表5 「紫こぼし」の収量及び外観品質(育成地)

年次	品種名	全重 (kg/a)	粗玄米重 (kg/a)	同比率 (%)	左収穫 指数 (%)	屑米重 (kg/a)	玄米 千粒重 (g)	同左 比率 (%)	玄米外観品質		
									色	光沢 (3-7)	総合 (1-9)
2002、 2004~2007	紫こぼし	123	33.7	71	27.4	22.9	10.7	54	暗紫	5.1	5.4
	朝紫	136	47.2	(100)	34.7	2.2	19.8	(100)	暗紫	4.1	4.1
	ヒメノモチ	124	49.7	105	40.0	0.9	22.2	112	淡褐	4.2	3.6
2005、2007	紫こぼし	135	35.6	99	26.4	23.1	10.1	71	暗紫	5.0	6.0
	つぶゆき	145	35.8	(100)	24.7	1.9	14.2	(100)	淡褐	5.5	6.8

注. 数値は年次平均。粗玄米重比率は「朝紫」あるいは「つぶゆき」の玄米重を100としたときの比率。収穫指数は、全重に対する粗玄米重の比率。屑米重は1.80mm篩による。光沢：3(大)~7(小)。1(上上)~9(下下)。耕種概要は表2と同じ。

表6 「紫こぼし」の葉いもち圃場抵抗性

品種名	真性抵抗性 遺伝子型	育成地		判定
		6年平均	愛知山間 3年平均	
紫こぼし	<i>Pia</i>	4.5	8.7	やや強
朝紫	<i>Pia</i>	5.2	5.9	やや強
奥羽320号	<i>Pia</i>	4.1	3.0	(極強)
こころまち	+	5.2	-	(強)
中部102号	<i>Pia</i>	-	5.9	(やや強)
キヨニシキ	<i>Pia</i>	6.0	7.0	(やや強)
スノーパール	+	6.3	7.8	(中)
ササニシキ	<i>Pia</i>	6.5	8.0	(やや弱)
愛知旭	<i>Pia</i>	-	8.2	(弱)

注. 数値は畑晩播法による葉いもち発病程度：0(無発病)~10(全茎葉枯死)。愛知山間：愛知県農業総合試験場山間農業研究所。育成地の6年平均は2002~2007年の平均、愛知山間の3年平均は2003、2006、2007年の平均。( )は基準品種の評価。

晩」に属する(表2)。耐倒伏性は「ヒメノモチ」より強い「やや強」である。収量性は、粒厚が薄いため、粗玄米重で比較すると極小粒の「つぶゆき」並で「朝紫」の71%、「ヒメノモチ」の68%である(表5)。

いもち病真性抵抗性遺伝子型は、主要レースに対する抵抗性反応から「*Pia*」と推定され、圃場抵抗性は葉いもちが「朝紫」よりやや弱い「やや強」(表6)、穂いもちが「朝紫」よりやや強い「やや弱」である(表7)。白葉枯病抵抗性は「朝紫」及び「ヒメノモチ」並の「弱」で、縞葉枯病には「罹病性」である(データ省略)。穂発芽性は「ひとめぼれ」並の「難」である(表8)。障害型耐冷性は「ヒメノモチ」より弱い「弱」である(表9)。

### 3. 玄米の形状及び外観品質

玄米の粒長は「朝紫」の67%、粒幅は87%で粒厚

表7 「紫こぼし」の穂いもち圃場抵抗性

品種名	真性抵抗性 遺伝子型	育成地						判定
		6年平均	秋田 2年平均	山形庄内 2007年	福島相馬 3年平均	愛知山間 2年平均	山口徳佐 2年平均	
紫こぼし	<i>Pia</i>	5.1	9.7	8.7	5.7	8.3	6.4	やや弱
朝紫	<i>Pia</i>	6.3	-	8.4	-	-	-	弱
奥羽357号	<i>Pia, Pii</i>	2.2	-	-	-	-	-	(極強)
青系128号	<i>Pia</i>	2.5	4.8	4.4	2.4	-	-	(強)
キヨニシキ	<i>Pia</i>	-	6.8	-	3.8	-	-	(中)
あきたこまち	<i>Pia, Pii</i>	5.2	-	-	-	-	5.9	(やや弱)
ふ系94号	<i>Pia</i>	6.4	8.7	7.9	5.7	-	-	(弱)
ササニシキ	<i>Pia</i>	6.7	9.0	7.2	4.6	9.3	-	(弱)

注. 数値は検定圃場での自然感染による穂いもち発病程度：0(無発病)~10(全穂罹病)。  
秋田：秋田県農林水産技術センター農業試験場、山形庄内：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、福島相馬：福島県農業総合センター浜地域研究所、愛知山間：愛知県農業総合試験場山間農業研究所、山口徳佐：山口県農業試験場徳佐寒冷地分場。  
育成地の6年平均は2002~2007年の平均、秋田の2年平均は2003、2007年の平均、福島相馬の3年平均は2003、2006、2007年の平均、愛知山間の2年平均は2003、2007年の平均、山口徳佐の2年平均は2006、2007年の平均。( )は基準品種の評価。

表8 「紫こぼし」の穂発芽性（育成地）

品種名	穂発芽程度	判定
紫こぼし	0.2	難
朝紫	3.4	やや易
ひとめぼれ	0.6	難
あきたこまち	1.7	やや難
ふくひびき	3.4	やや易
ヒメノモチ	7.1	易

注. 数値は2003～2007年の平均。  
 成熟期に採取した穂を30℃湿室に静置。4～6日後に発芽率及び伸長程度を達観調査。  
 穂発芽程度：0（無発芽）～10（全粒発芽・伸長大）。

の平均は「朝紫」の88%（表10）、粒大は既存の極小粒品種「つぶゆき」よりやや小さい“極小”であり、これが本品種の重要な特徴の一つである（写真3、表10）。千粒重は「朝紫」の54%、「つぶゆき」の71%である（表5）。粒形は「つぶゆき」に近い“円”である。

玄米の果皮は「朝紫」に由来するアントシアニン系の色素により濃い紫（暗紫）を呈し、濃い部分では真っ黒に見え、これが第二の重要な特徴である（写真3、表5）。胚乳は糯性で、外観品質は、光沢

表9 「紫こぼし」の障害型耐冷性

品種名	育成地 5年平均		青森藤坂 2年平均		岩手 2007年		古川 3年平均		福島冷害 2年平均		判定
	出穂 (月.日)	不稔 (%)	出穂 (月.日)	不稔 (%)	出穂 (月.日)	不稔 (%)	出穂 (月.日)	不稔 (%)	出穂 (月.日)	不稔 (%)	
	紫こぼし	8.14	98.3	8.16	70.9	8.9	100.0	8.16	96.7	8.20	
朝紫	8.14	77.7	8.13	42.5	-	-	-	-	-	-	やや強
ひとめぼれ	8.17	30.2	8.19	11.9	-	-	-	-	8.24	73.6	極強
トドロキワセ	8.14	50.9	8.18	18.0	-	-	8.13	37.8	-	-	極強
オオトリ	8.16	54.2	8.17	30.5	-	-	8.18	55.2	-	-	強
コガネヒカリ	-	-	8.17	36.6	-	-	8.18	62.9	-	-	やや強
トヨニシキ	8.17	87.1	-	-	-	-	8.17	71.7	8.22	96.5	やや弱
ヒメノモチ	-	-	-	-	8.7	89.8	-	-	8.18	80.4	中

注. 青森藤坂：青森県農林総合研究センター藤坂稲作研究部、岩手：岩手県農業研究センター、古川：宮城県古川農業試験場、福島冷害：福島県農業試験場冷害試験地（廃止）。  
 福島冷害は冷水掛け流し、他は恒温深水法による穂ばらみ耐冷性の検定。  
 育成地の5年平均は2003～2007年の平均、青森藤坂の2年平均は2006、2007年の平均、古川の3年平均は2003、2006、2007年の平均、福島冷害の2年平均は2003、2004年の平均。



写真3 穂及び玄米（左から「紫こぼし」, 「朝紫」, 「ヒメノモチ」）



表10 「紫こぼし」の玄米形状(育成地、2007年)

品種名	長さ (mm)	同左比率 (%)	幅 (mm)	同左比率 (%)	厚さ (mm)	同左比率 (%)	長さ/幅	長さ×幅	判定	
									粒形	粒大
紫こぼし	3.44	67	2.29	87	1.69	88	1.50	7.89	円	極小
朝紫	5.10	(100)	2.64	(100)	1.92	(100)	1.93	13.48	紡錘形	中
ヒメノモチ	5.05	99	2.91	110	2.06	107	1.74	14.66	半円	中
つぶゆき	3.60	71	2.74	104	2.06	107	1.32	9.86	円	極小

注. 玄米30粒を調査。「紫こぼし」以外は、1.80mmの篩を通した試料。

表11 「紫こぼし」のL\*a\*b\*表色系による玄米の色調

産地	品種名	年次	L*	a*	b*	登熟気温(℃)
育成地	紫こぼし	2006、2007平均	19.5	8.8	6.7	23.5
	朝紫		14.6	3.1	0.8	23.5
いわき市	紫こぼし	2007	15.9	4.7	2.1	21.7
	朝紫		13.8	1.0	-0.4	21.7
	紫こぼし	2006	15.4	3.9	0.9	21.1
花巻市	紫こぼし	2007	15.9	5.6	1.6	23.3

注. コニカミノルタ土色計 SPAD-503による測定。L\*は明度で0(黒)~100(白)。a\*は赤みの強さ(0は無彩色、マイナスは緑み)、b\*は黄みの強さ(0は無彩色、マイナスは青み)。登熟気温は、出穂後10~40日の平均気温で、最寄りのアメダスデータを使用して算出。

表12 「紫こぼし」の蛋白質及びアミロース含有率(食品総合研究所)

品種名	精米白度	蛋白質含有率 (%)	アミロース 含有率(%)
紫こぼし	18.7	6.6	0.5
朝紫	19.3	5.6	0.8
ヒメノモチ	53.9	5.6	0.8

注. 材料は育成地産。数値は2004~2006年の平均。精米無水物中の値。

が「朝紫」より劣り、赤褐色部もやや多く、紫黒米としての品質は「朝紫」よりやや劣る“中中”と評価される(表5)。L\*a\*b\*表色系による評価においても「朝紫」の玄米色はa\*、b\*とも0に近く(彩度が極低く)、L\*も小さい(黒に近い)のに対し、「紫こぼし」の玄米はL\*、a\*、b\*とも同一栽培条件の「朝紫」より大きく、わずかに赤及び黄の要素が認められる。登熟気温がやや低いいわき市産では着色が良く、「朝紫」との差は小さい。花巻市産についてもL\*、a\*、b\*とも小さく良質である(表11)。

#### 4. 玄米成分

精米の蛋白質含有率は「朝紫」、「ヒメノモチ」より1%高い(表12)。アミロース含有率は、糯性であるため0%に近い(表12)。玄米に含まれる栄養

成分を表13に示す。「朝紫」、「ヒメノモチ」の玄米と比較して、食物繊維、マグネシウム、チアミン(ビタミンB<sub>1</sub>)、ビタミンE(a-トコフェロール)の含量が高い。カルシウム及びリボフラビン(ビタミンB<sub>2</sub>)含量については、食品としての栄養表示基準(厚生労働省告示第176号)に照らした場合には高いとはいえないものの、「ヒメノモチ」の2.4倍、2.0倍と多く含む。また、「ヒメノモチ」では検出されないか、極少量しか含まれないアントシアニン及びタンニンを含む。しかし、その量は「朝紫」と比較すると少ない。

#### 5. 食味及び加工関連特性

適搗精までに要する時間は「ヒメノモチ」及び「朝紫」より長い。適搗精時における搗精歩合は、「ヒメノモチ」より5%程度低く、「朝紫」並の85%である。適搗精時においてもヌカが溝に少量残存し、白度は「ヒメノモチ」より35低く、「朝紫」並である。胚芽残存歩合はこれら品種と同程度で、碎米歩合は低い(表14)。

「あきたこまち」に本品種の玄米を重量比で10%混米した炊飯米の食味は、「朝紫」の10%混米より香りがやや優り、食感及び総合値で優る。ただし、赤飯としての色合いはやや淡い(写真4)。混米比率20%では、各評価項目とも「朝紫」10%混米と同

表13 「紫こぼし」玄米の成分含量（日本食品分析センター）

分析項目	紫こぼし		朝 紫		ヒメノモチ	紫こぼし（いわき市）	
	含量	比率	含量	比率	含量	含量	比率
蛋白質 (g)	7.5	114	6.3	96	6.5	8.4	129
脂質 (g)	4.3	156	3.7	134	2.8	4.3	156
灰分 (g)	1.6	127	1.3	100	1.3	1.6	127
糖質 (g)	67.3	93	70.1	97	72.2	66.7	92
食物繊維 (g)	5.2	167	4.1	133	3.1	4.8	156
エネルギー (kcal)	348	101	347	100	346	349	101
ナトリウム (mg)	1.1	93	1.0	86	1.2	1.4	114
鉄 (mg)	1.10	122	1.04	115	0.90	1.00	110
カルシウム (mg)	21.3	243	13.7	156	8.8	24.2	275
マグネシウム (mg)	148	122	126	104	121	144	118
亜鉛 (mg)	2.00	100	1.56	77	2.01	1.94	97
チアミン (ビタミンB <sub>1</sub> ) (mg)	0.54	126	0.39	90	0.43	0.51	118
リボフラビン (ビタミンB <sub>2</sub> ) (mg)	0.09	200	0.08	180	0.04	0.10	240
ビタミンE ( $\alpha$ -トコフェロール) (mg)	2.7	155	2.2	130	1.7	2.1	120
ナイアシン当量 (mg)	7.48	101	8.62	116	7.41	8.38	113
ナイアシン (ニコチン酸相当量) (mg)	5.73	97	7.09	120	5.89	6.43	109
トリプトファン (mg)	106	116	92	101	91	117	128
タンニン (タンニン酸として) (g)	0.20	256	0.47	611	0.08	0.19	244
アントシアニン (デルフィニジンとして) (g)	0.11	-	0.35	-	<0.01	0.10	-
カテキン (mg)	<0.5	-	<0.5	-	<0.5	<0.5	-

注. 材料は2007年産。いわき市以外は育成地産。数値は玄米100g（水分14%換算）中の値。比率は「ヒメノモチ」の値に対する比率（%）。

表14 「紫こぼし」の搗精特性（育成地、2007年）

品種名	玄米	適搗精	搗精	胚芽残		碎米
	水分 (%)	時間 (秒)	歩合 (%)	白度	存歩合 (%)	歩合 (%)
紫こぼし	13.8	340	84.9	29.2	12.0	0.9
朝 紫	14.1	240	84.3	29.1	13.3	9.9
ヒメノモチ	13.7	200	90.0	63.8	15.0	1.8

注. サタケ家庭用精米機（SKM-5）による。20秒間隔で4～5通りの時間搗精し、白度および胚芽残存歩合の変化が緩慢になった時点を適搗精時間とした。搗精歩合、白度、胚芽残存歩合、碎米歩合は適搗精時の値。1回あたり粒厚1.8mm以上の玄米各340gを供試。「紫こぼし」は1.6mm以上の玄米を使用。白度の測定はKettC-300を使用。胚芽残存は各300粒、碎米歩合は各10gについて調査。



写真4 着色米飯（玄米10%を一般白米に混ぜて炊飯）  
（左：「紫こぼし」、右：「朝紫」）

等で、赤飯として適当な色合いを呈する。混米比率30%では、色合いは適当であるが、玄米粒が目立ちすぎ、食感、香り、総合値で劣る（表15）。炊飯米は、白米粒にも着色が見られ、その色調をL\*、a\*、b\*で表すと、L\*は小さく、a\*は大きい（赤みが強い）。また、「紫こぼし」の混米比率が高いほどL\*は小さく、a\*は大きい。しかし、混米比率30%においても「朝紫」10%のa\*、b\*と同程度で、L\*は大きい（色が薄い）（表16）。

極小粒糯品種「つぶゆき」の玄米10%混米の食味

と比較した場合、香りが劣るが、粘りがやや強く、食感及び総合値はほぼ同等である。「あきたこまち」玄米10%混米との比較では、食感及び総合値で優る（表15）。

一般に雑穀と称されるアワ（糯）、キビ（糯）、ヒエ（梗及び低アミロース）をそれぞれ10%混合した炊飯米との比較では、粘りは稈性ヒエよりやや強いが他との比較では弱く、香りは糯性アワと同等であるが、他との比較では劣る。総合値は食感と関連が高く、糯性キビ及び低アミロース性ヒエ

表15 「紫こぼし」炊飯米(混米)の食味(育成地)

品種名	加水量 (倍)	食味評価値					年.月.日 パネル数
		色	粘り	食感	香り	総合値	
紫こぼし玄米10%+あきたこまち	1.32	やや淡	-0.26	0.60	0.30	0.68	2007.6.4・9名
紫こぼし玄米20%+あきたこまち	1.28	中	-0.01	-0.15	-0.02	0.05	2007.12.19・15名
紫こぼし玄米30%+あきたこまち	1.25	中	-0.11	-0.59	-0.40	-0.45	(2回の平均)
朝紫玄米10%+あきたこまち<基準>	1.32	中	0	0	0	0	
紫こぼし玄米10%+あきたこまち	1.32	-	0.29	-0.14	-0.57	0.00	2007.12.20
朝紫玄米10%+あきたこまち	1.32	-	-0.43	-1.14*	-1.00	-1.00*	7名
あきたこまち玄米10%+あきたこまち	1.34	-	-0.29	-0.71	0.14	-0.43	
つぶゆき玄米10%+あきたこまち<基準>	1.34	-	0	0	0	0	
紫こぼし玄米10%+あきたこまち	1.32	-	0.36	-0.29	-0.36	-0.07	2007.12.20
朝紫玄米10%+あきたこまち	1.32	-	0.21	-0.71*	-0.86*	-0.71*	14名
アワ(糯)10%+あきたこまち	1.22	-	0.64	0.21	-0.29	0.00	
キビ(糯)10%+あきたこまち	1.22	-	0.79*	0.57	0.07	0.57	
ヒエ(低アミロース)10%+あきたこまち	1.22	-	0.86*	0.71*	0.21	0.79*	
ヒエ(梗)10%+あきたこまち<基準>	1.22	-	0	0	0	0	

注. アワ、キビ、ヒエは岩手県産、その他は育成地産。「あきたこまち」は白米、アワ、キビ、ヒエは精白米。混米割合及び加水量は重量比。色は絶対評価で、淡～中(適当)～濃。数値は官能値で、-3(かなり不良)～0(基準と同じ)～3(かなり良)の7段階評価。\*は、5%水準で有意差あり(符号検定)。

表16 「紫こぼし」のL\*a\*b\*表色系による炊飯米の色調(育成地、2007年)

系統・品種名	炊飯米全体			白米のみ			紫黒米のみ		
	L*	a*	b*	L*	a*	b*	L*	a*	b*
紫こぼし玄米10%+あきたこまち	47.0	5.2	2.5	47.7	6.1	3.3	24.0	3.4	0.3
紫こぼし玄米20%+あきたこまち	36.9	7.1	1.8	41.8	7.3	1.7	22.2	4.4	1.5
紫こぼし玄米30%+あきたこまち	33.7	7.6	1.9	37.0	8.7	1.7	21.6	3.9	1.3
朝紫玄米10%+あきたこまち	31.3	7.4	-0.3	33.3	9.6	0.4	23.0	2.4	-0.3

注. コニカミノルタ土色計 SPAD-503により測定。2007年12月19日の食味試験試料。L\*は明度で0(黒、濃い)～100(白、淡い)。a\*は赤みの強さ(0は無彩色、マイナスは緑み)、b\*は黄みの強さ(0は無彩色、マイナスは青み)。

より明らかに劣るが、粳性ヒエ及び糯性アワと同等である(表15)。

一般消費者を対象とした「紫こぼし」の着色おにぎりの単独試食では、外観、香り、食感及び総合の全項目で高い評価が得られている。また、着色米飯での「朝紫」との比較試食では、「朝紫」より外観及び香りで優る。一方、食感及び総合については、約60%の回答者が「朝紫」より優る、約25%が劣ると評価しているが、同じとする回答は約15%にとどまり、両品種の違いが認識されている。これら2回の試食調査において、特徴的な外観や食感の面白さ、従来の紫黒米と比べた食べやすさ等が主なコメントとして挙げられている(表17)。

餅については、完全搗精が難しく糠が残るため「ヒメノモチ」、「朝紫」と比較して白さが明らかに劣る。のびは「朝紫」より劣り、総合値は「ヒメノ

モチ」より劣る(表18)。餅の硬化性は、「ヒメノモチ」より明らかに低く、「朝紫」並かそれ以上に硬化しにくい(表19)。

#### IV 適地及び栽培上の留意点

##### 1. 配付先における試作結果

奨励品種決定調査での試作結果を表20に示す。2005及び2006年に3県4場所で合計5試験が実施された。「朝紫」を奨励品種(特定品種)に採用している山梨県では、品質が有利点に挙げられているものの、低収であるために試験打ち切りとなっている。岩手及び佐賀両県では、低収に加え、極小粒の紫黒米という特殊性により広範な普及が見込めないため試験が打ち切られている。2009年現在、奨励品種として採用されていない。

「朝紫」の栽培実績がある福島県いわき市の生産

表17 「紫こぼし」炊飯米（混米）の一般消費者による評価  
（育成地、酒田市農業委員会、2007年）

評価方法	項目	人数割合 (%)					年.月.日 回答人数	
		劣る	やや劣る	どちらでもない	やや優る	優る		
単独評価	外観	1	2	17	26	54	2007. 8. 30	
	香り	0	1	45	27	27	271~289名	
	食感	0	5	21	30	44	(大仙市)	
	総合	0	3	15	32	49		
比較評価 (対照：朝紫)	外観	0	15	37	24	24	2007. 10. 28	
	香り	0	6	49	26	19	2007. 11. 3	
	食感	2	21	11	26	40	計53~68名	
	総合	0	26	17	35	22	(酒田市)	
主な コ メ ン ト	良い評価	・ぶちぶちした食感が良く、食べやすい。						19名
		・アズキの赤飯より食べやすい。						13名
		・小粒で舌触りが良く、普通の紫黒米（朝紫含む）より食べやすい。						10名
		・粒が邪魔せず、普通のご飯のように食べられる。						4名
		・さっぱりして食べやすく、飽きが来ない。						6名
	悪い評価	・見た目が特徴的で良い。						5名
		・あっさりしていて、もちもち感が物足りない。						7名
		・少し皮が口に残る。						1名

注. 単独評価は、東北農業研究センター大仙研究拠点一般公開の来場者対象。「紫こぼし」玄米を一般粳白米に重量比で15%混合して炊飯し、俵形おにぎり（2.5cm径）に成型して提供。評価の“劣る”は“おいしくない”、“優る”は“おいしい”の意。

比較評価は、酒田市農林水産まつり及び本楯収穫感謝祭の来場者対象。「紫こぼし」及び「朝紫」の玄米をそれぞれ一般粳白米に重量比で10%混合して炊飯し、成型せず小皿に盛りつけて2品種同時に提供。

いずれの試験とも記入漏れのため項目によって回答人数が異なる。主なコメントは、2回の試食で得られたものをあわせて集計。

表18 「紫こぼし」餅の食味（育成地）

品種名	搗精歩合 (%)	精米白度	食味評価値				年.月.日 パネル数
			白さ	のび	味	総合値	
紫こぼし	(69.7)	20.2	-2.17**	-0.25	-0.67	-0.83*	2007. 12. 26
朝 紫	77.7	36.3	0.33	0.25	-0.33	-0.33	12名
ヒメノモチ (基準)	88.2	54.2	0	0	0	0	

注. 「紫こぼし」の搗精歩合は、碎米が多く見かけの値。数値は官能値で、-3（かなり不良）～0（基準と同じ）～3（かなり良）の7段階評価。\*、\*\*は、それぞれ5%、1%水準で有意差あり（符号検定）。

者現地圃場における2カ年の試験栽培では、冷害による不稔やいもち病の発生はなく、粗玄米重は「朝紫」の70%で、育成地と同様の良好な生育を示した。玄米品質は、「朝紫」にはやや劣るものの育成地産の玄米より色が濃く高品質で（表11、21）、同地域での適応性が認められた。

## 2. 栽培適地

「朝紫」とほぼ同じか若干早い熟期であること、耐冷性及びいもち耐病性が不十分なことから、東北地域中部以南で冷害の常襲がない地域に適応すると考えられる。また、玄米の着色の点から、登熟期の気温は生育に障害のない範囲で低い地域が望ましい。

表19 「紫こぼし」餅の硬化性（育成地、2007年）

品種名	a (mm)	b (mm)	b/a
紫こぼし	48	125	2.60
朝 紫	63	125	1.98
ヒメノモチ	145	25	0.17

注. 釣りかけ器を用いた方法による。aは支持中心から餅端の水平距離、bは下垂高。2007年12月26日に製造。長さ300mm、厚さ21mm、幅40mmに成形し、室温で12時間、冷蔵庫内で10時間貯蔵後に測定。



表20 「紫こぼし」の奨励品種決定基本調査における有望度と収量比

県名	場所名	2005年			2006年			対照品種名		
		有望度	収量比 (%)		作期	有望度	収量比 (%)			
			標肥	多肥			標肥		多肥	
岩手	農研	-	-	-	-	×	63	-	普通	ヒメノモチ
山梨	総農技	-	-	-	-	×	-	49	普通	ひとめぼれ
		-	-	-	-	×	-	60	晩植	ひとめぼれ
	岳麓	-	-	-	-	×	38	-	普通	ひとめぼれ
佐賀	三瀬	×	34	-	早植	-	-	-	-	ヒデコモチ

注. 岩手：岩手県農業研究センター、山梨総農技：山梨県総合農業技術センター、山梨岳麓：山梨県総合農業技術センター岳麓試験地、佐賀三瀬：佐賀県農業試験研究センター三瀬分場。有望度は、×：打ち切り。収量比は、各場所の対照品種に対する収量比。

表21 「紫こぼし」の配付先における生育、収量及び品質特性 (いわき市)

品種名	年次	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	全重 (kg/a)	粗玄米重 (kg/a)	同左比率 (%)	千粒重 (g)	品質 (1-9)
紫こぼし	2006	8. 8	10. 8	-	-	-	-	21.0	-	9.0	4.0
	2007	8. 13	10. 4	64	17.2	459	91	28.0	70	9.9	4.2
朝 紫	2007	-	-	71	15.8	347	107	39.9	(100)	17.9	3.0

注. 福島県いわき市の中山間地 (標高約550m) における試験。

### 3. 普及利用上の留意点

- 1) 一般品種への混入を防ぐために、播種、移植時に種子や苗が混入しないように注意するとともに、収穫及び乾燥・調製時にも機械類を共用しない等の対策を取る。また、自然交雑の可能性があるため、出穂期が近い一般品種周辺での栽培は避ける。さらに、こぼれ種による漏生があるので、栽培圃場を固定する。
- 2) 障害型耐冷性が弱く、いもち耐病性が不十分なため、栽培地域の選定に注意し、適正施肥、適期防除に努める。
- 3) 播種量は、極小粒であるため、一般品種より乾粒重量で40%程度減らし、一箱あたり60~80gとする。
- 4) 極小粒のため調製機械類の選別網等を適正なものに交換する。

## V 育成従事者

育成に従事した者及びその期間は表22のとおりである。

## VI 考 察

### 1. 期待される効果

「紫こぼし」の千粒重は一般紫黒米の約半分、雑穀類の2~3倍と大きさではこれらの中間に位置

し、かつ紫黒米であるという、これまでにない特徴的な外観を有する。一般白米にブレンドした炊飯米の食味は一般紫黒米の「朝紫」より優れ、糯性アワや稈性ヒエと同等である。玄米収量は一般紫黒米の約7割、雑穀の1~3倍程度で、雑穀と比較して生産性が高く、栽培も容易である。こうした特性から、多種類の雑穀をブレンドした商品や多数の単品雑穀を扱う場面において、国産の新しい素材として採用されることが期待される。逆に、粉や抽出物としての利用にはコスト面で不利である。将来的には、特徴的な玄米の外観を活かした種々の調理飯や和菓子等の加工品が開発され、食卓をより多彩にすることが期待される。

また、紫黒米は、中国をはじめとする東アジアにおいて長い間食され、薬としても重用されてきた歴史を持ち (猪谷・小川 2004)、現在でも食物繊維やビタミン、ミネラルが豊富な健康食品として認識されている。さらに最近、赤ワインやカカオ、ブルーベリー等に含まれるポリフェノール類が生理的機能性成分として話題になったことから、アントシアニンを含有する紫黒米も脚光を浴び、赤米とともにその機能性に関する研究が加速した (津田 2006)。試験管内レベルの基本的な部分については、猪谷・小川 (2004) 及び山口 (2004) により有色米の糠層に高い抗酸化活性が見いだされてい

表22 「紫こぼし」の育成従事者と従事期間

年次	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	従事月数	現在の所属
世代	交配	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>	F <sub>5</sub>	F <sub>6</sub>	F <sub>7</sub>	F <sub>8</sub>	F <sub>9</sub>	F <sub>10</sub>		
(室長)													
山口誠之				⑩							③	78	現在員
滝田 正	④			⑨								42	東北農研
(室員)													
片岡知守	④										③	120	九沖農研
遠藤貴司						⑩					③	54	古川農試
中込弘二					⑧						③	68	現在員
横上晴郁	④					⑨						66	北海道農研
加藤 浩			②	⑨								20	作物研
山口誠之	④			⑧								17	現在員

注. 丸囲み数字はその年次における月の始まり、または終わりを示す。  
 東北農研：東北農業研究センター、九沖農研：九州沖縄農業研究センター、古川農試：宮城県古川農業試験場、北海道農研：北海道農業研究センター、作物研：作物研究所。

る。動物実験レベルでは、ラットにおける血糖値上昇抑制効果（山口 2004）や成長促進及び骨密度向上効果（Kaneda *et al.* 2005）、ラット及びウサギにおける冠動脈疾患の予防・改善効果（Ling *et al.* 2001, Ling *et al.* 2002, Xia *et al.* 2003, Xia *et al.* 2006）が示唆されている。ヒト試験においても、紫黒米色素画分の摂取による冠動脈疾患患者血漿の抗酸化性向上及び炎症状態の緩和が報告されており（Wang *et al.* 2007）、ポリフェノール全般における総合的なヒト試験の知見（内藤 2008）と考え合わせても期待が持てる。「紫こぼし」は、極小粒であることから食味が良く、従来の紫黒米や一般白米の玄米よりブレンド比率を高められるため、普段の食事の中でより多くの栄養並びに機能性成分を摂取できる。アントシアニンについては、現在のところ効能が期待される量を食事から摂取することは難しいと考えられるが、食物繊維、マグネシウム、チアミン（ビタミンB<sub>1</sub>）、ビタミンE（ $\alpha$ -トコフェロール）、ナイアシンについては、含有量から見て補給効果が期待できる。また、調理に際しては、玄米を白米に混合して炊飯するのみでよく、手間も品数も増えないため継続も容易である。

東北農業研究センターでは、本品種を含めそれぞれ特色のある5品種の紫黒米及び赤米を育成してきた。将来的に、これら有色米品種が健康の維持・増進に有効であることが、十分な規模のヒト試験で示されることとなれば、近年の有色米の需要拡大が一過性のものに留まることなく、食卓を彩り健やかな生活をj提供する身近な食材として広く普及定着すると思われる。その結果として国民の健康の維持増進

に資するだけでなく、中山間等農耕地の維持と農村の活性化、農業者所得の向上、さらには食糧自給率向上の一助となることが期待される。

## 2. 残された問題点

かつて、赤米は一般米に混入し品質を下げるとして、明治時代に多大な労力を払い根絶された歴史を持つ。「紫こぼし」を含め最近の有色米改良種は耐倒伏性が強く脱粒性が難で、そのような問題が起こりにくくなっており、また、生産者もこの10年で混入を防ぐポイントを習熟してきている。しかしながら、人為的なミスだけでなく台風や冷害等の特異な自然環境による他家受粉等依然として混入の危険性は残されている。そのため、東北農業研究センターではホームページ（<http://tohoku.naro.affrc.go.jp/DB/kome/color/color.html>）等で、混入事故を起こさないための情報提供を行っている（山口ら 2005）。他方、万一混入した際に有色米を選択的に除去したり、一般米との自然交雑を防いだりできる特性を持つ品種の開発も進められている。

「紫こぼし」の収量性は、雑穀類に比べると高いものの、一般水稲品種の70%に満たない。高付加価値販売が前提ではあるが、収量性の向上が望まれている。また、耐冷性及びいもち耐病性が不十分であり、こうした栽培特性の改良も必要である。

玄米に含まれる色素等成分の含量は、施肥や登熟気温など栽培条件によって変動するが（小林ら 2001、小玉ら 2004）、「紫こぼし」の玄米の着色も高温登熟条件で「朝紫」より劣るため、改良の余地がある。また、同時に高位安定化のための栽培指針作りが望まれる。

## 引用文献

- 1) 猪谷富雄, 小川正巳. 2004. わが国における赤米栽培の歴史と最近の研究情勢. 日作紀 73(2) : 137-147.
- 2) 東 正昭, 山口誠之, 小山田善三, 春原嘉弘, 小綿寿志, 田村泰章, 横上晴郁, 佐々木武彦, 阿部真三, 松永和久, 岡本栄治, 狩野 篤, 池橋 宏, 荒木 均. 1997. 紫黒糯水稻新品種「朝紫」の育成. 東北農試研報 92 : 1-13.
- 3) Kaneda, I.; Kim, C.S.; Igawa, S. and Sakurai, H.. 2005. Combined effects of the administration of black-rice bran extracts and running training on bone mineral density and body compositions in rats. Jpn. J. Biometeor. 42(1) : 29-37.
- 4) 小林明晴, 清水 亘, 黒田昌治. 2001. 紫黒米の登熟期の平均気温と色素含量の関係. 北陸作物学会報 36 : 33-35.
- 5) 小林 渡, 三上泰正, 川村陽一, 前田一春. 2003. 極小粒水稻新品種「青系147号」の特性. 東北農業研究 56 : 1-2.
- 6) 小玉郁子, 眞崎 聡, 川本朋彦, 松本眞一. 2004. 紫黒糯品種「小紫」の玄米色素発現に及ぼす窒素施肥の影響. 東北農業研究 57 : 19-20.
- 7) Ling W.H.; Chen Q.X.; Ma J.; Wang T.. 2001. Red and black rice decrease atherosclerotic plaque formation and increase antioxidant status in rabbits. J. Nutr. 131(5) : 1421-1426.
- 8) Ling W.H.; Wang L.L.; Ma J.. 2002. Supplementation of the black rice outer layer fraction to rabbits decreases atherosclerotic plaque formation and increases antioxidant status. J. Nutr. 132 : 20-26.
- 9) 内藤通孝. 2008. ポリフェノールと粥状硬化の疫学的研究 (食品機能性の科学編集員会編, 食品機能性の科学). 株式会社産業技術サービスセンター. p.312-314.
- 10) 西澤直行. 2002. キビ, アワ, ヒエの機能性. 農林水産技術研究ジャーナル 25(11) : 33-40.
- 11) 津志田藤二郎. 2006. 食品機能性研究の展望. 農林水産技術研究ジャーナル 29(9) : 5-9.
- 12) Wang, Q.; Han, P.; Zhang, M.; Xia, M.; Zhu, H.; Ma, J.; Hou, M.; Tang, Z.; Ling, W.. 2007. Supplementation of black rice pigment fraction improves antioxidant and anti-inflammatory status in patients with coronary heart disease. Asia. Pac. J. Clin. Nutr. 16(suppl 1) : 295-301.
- 13) Xia M.; Ling W.H.; Ma J.; Kitts D.D.; Zawistowski J.. 2003. Supplementation of diets with the black rice pigment fraction attenuates atherosclerotic plaque formation in apolipoprotein E deficient mice. J. Nutr. 133 : 744-751.
- 14) Xia X.; Ling W.; Ma J.; Xia M.; Hou M.; Wang Q.; Zhu H.; Tang Z..2006. An anthocyanin-rich extract from black rice enhances atherosclerotic plaque stabilization in apolipoprotein E-deficient mice. J. Nutr. 136 : 2220-2225.
- 15) 山口誠之. 2004. 機能性を有する米の品種改良の現状. 食品加工技術 24 (3) : 125-131.
- 16) 山口誠之, 橋 雅明, 内野 彰. 2005. 有色米品種における交雑粒の玄米色および漏生種子の発芽. 日作東北支部報 48 : 11-12.
- 17) 山口誠之, 片岡知守, 遠藤貴司, 中込弘二, 滝田正, 横上晴郁, 加藤 浩. 2007. 赤米糯品種「夕やけもち」の育成. 東北農研研報 107 : 1-13.

付表1 稲種苗特性分類一覧

形質 番号	形質	紫こぼし		朝紫		ヒメノモチ	
		階級	区分	階級	区分	階級	区分
(特性グループ1)							
1	葉：アントシアニン着色	9	有	9	有	1	無
2	葉：アントシアニン色の分布	2	縁のみ	2	縁のみ	—	—
3	葉：葉耳のアントシアニン色	9	有	9	有	1	無
4	止葉：葉身の姿勢（初期観察）	5	水平	5	水平	5	水平
5	止葉：葉身の姿勢（後期観察）	5	水平	5	水平	5	水平
6	出穂期（50%出穂）	4	早生～中生	4	早生～中生	4	早生～中生
7	外穎：頂部アントシアニン着色（初期観察）	7	強	7	強	1	無又は極淡
8	程：長さ（穂を除く）	4	短～中	6	中～長	6	中～長
9	程：節のアントシアニン着色	9	有	9	有	1	無
10	穂：主軸の長さ	5	中	4	短～中	5	中
11	穂：穂数	7	多	5	中	5	中
12	穂：芒の分布	—	無	5	全体	1	先端のみ
13	小穂：外穎の毛茸の多少	3	少	5	中	5	中
14	小穂：外穎先端の色（ふ先色）	5	紫	5	紫	1	白
15	穂：主軸の湾曲程度	5	垂れる	5	垂れる	5	垂れる
16	穂：穂型	3	棍棒状	2	紡錘状	2	紡錘状
17	成熟期	4	早生～中生	4	早生～中生	4	早生～中生
18	穎色	1	黄白	1	黄白	1	黄白
19	穎色：模様	4	紫色の斑	4	紫色の斑	1	無
20	外穎：頂部のアントシアニン着色	7	濃	7	濃	1	無又は極淡
21	護穎：長さ	3	短	5	中	5	中
22	護穎：色	1	黄白	1	黄白	1	黄白
23	籾：1000粒重（成熟）	2	極小	3	小	4	小～中
24	籾：穎のフェノール反応	1	無	1	無	1	無
26	玄米：長さ	3	短	5	中	5	中
27	玄米：幅	3	細	4	細～中	5	中
28	玄米：形（側面から見て）	1	円	2	紡錘形	2	半円
29	玄米：色	9	暗紫	9	暗紫	2	淡褐
30	玄米：香り	1	無又は極弱	1	無又は極弱	1	無又は極弱
(特性グループ2)							
31	鞘葉：アントシアニンの着色	2	少	2	少	1	無色又は極少
32	根出葉：鞘葉の色	2	緑に淡紫の条	2	緑に淡紫の条	1	緑
33	葉：緑色の程度	7	濃緑	7	濃緑	5	中
34	葉鞘：アントシアニンの着色	9	有	9	有	1	無
35	葉鞘：アントシアニンの着色の程度	3	淡	3	淡	—	—
36	葉身：表面の毛茸	5	中	5	中	5	中
37	葉：襟のアントシアニン着色	9	有	9	有	1	無
38	葉：葉舌の形	2	鋭形	2	鋭形	2	鋭形
39	葉：葉舌の色	5	紫	5	紫	1	無色
40	葉：葉身の長さ	5	中	5	中	5	中
41	葉：葉身の幅	4	狭い～中	5	中	5	中
42	程：形状	3	半立	3	半立	3	半立
44	雄性不稔	1	無	1	無	1	無
45	外穎：キール（竜骨）のアントシアニン着色	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
46	外穎：頂部下のアントシアニン着色	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
47	小穂：柱頭の色	5	紫	4	淡紫	1	白
48	程：太さ	3	細	5	中	5	中
49	程：節のアントシアニン着色の程度	7	濃	7	濃	—	—
50	程：節間のアントシアニン着色	1	無	1	無	1	無
51	穂：芒	—	無	9	有	9	有
52	穂：芒の色（初期観察）	—	—	8	紫	1	黄白
53	穂：最長芒の長さ	—	—	3	短	1	極短
54	穂：芒の色（後期観察）	—	—	8	紫	1	黄白
55	穂：2次枝梗の有無	9	有	9	有	9	有
56	穂：2次枝梗の型	2	2型	2	2型	2	2型
57	穂：抽出度	7	概ね抽出	7	概ね抽出	7	概ね抽出
58	葉：老化（枯れ上がり）	7	晩	7	晩	7	晩
59	外穎：キール（竜骨）のアントシアニン着色	1	無又は極淡	1	無又は極淡	1	無又は極淡
60	外穎：頂部下のアントシアニン着色	3	淡	3	淡	1	無又は極淡
61	籾：長さ	3	短	5	中	5	中
62	籾：幅	3	細	5	中	5	中
63	胚乳：型	1	糯	1	糯	1	糯
65	精米：アルカリ崩壊	3	低崩壊	3	低崩壊	3	低崩壊
68	障害型耐冷性	3	弱	6	やや強	5	中
70	穂発芽性	7	難	5	中	3	易
71	耐倒伏性	6	やや強	5	中	4	やや弱
72	脱粒性	7	難	7	難	7	難
73	地上部全重	5	中	5	中	5	中
74	いもち病抵抗性推定遺伝子型	1-1	Pia	1-1	Pia	1-3	Pik
75	穂いもちほ場抵抗性	4	やや弱	3	弱	7	強
76	葉いもちほ場抵抗性	6	やや強	7	強	7	強
78	白葉枯病ほ場抵抗性	3	弱	3	弱	3	弱
79	しま葉枯病抵抗性品種群別	1	日本水稻型(+)	1	日本水稻型(+)	1	日本水稻型(+)
84	蛋白質含量	5	中	4	低～中	4	低～中
(特性グループ3)							
	草型	7	穂数	5	中間	6	偏穂数
	玄米：外観品質	5	中中	6	中上	7	上下
	食味（餅）	6	中上	7	中上	8	上中
	胚芽の大きさ	5	中	5	中	5	中

付表2 指定種苗品種特徴表示に基づく品種特性表示基準

系統名 (育成場所)	紫こぼし (東北農業研究センター)
栽培適地	東北中部以南
用途	食用 (着色米飯)、加工用
早晚性	早
稈長	中
草型	穂数
耐倒伏性	強
耐冷性	弱
いもち病	中
白葉枯病	弱
縮葉枯病	無
玄米の見かけの品質	中 (糯、黒、小粒)
栽培上の注意	一般米に混入しないよう特に注意する。冷害の常襲地帯およびいもち病の常発地での栽培は避ける。



## ニンニクリン茎の自発休眠、他発休眠および呼吸速度に及ぼす 収穫後温度の影響

山崎 博子<sup>\*1)</sup>・庭田 英子<sup>\*2)</sup>・矢野 孝喜<sup>\*1)</sup>・長菅 香織<sup>\*1)</sup>  
山崎 篤<sup>\*1)</sup>

**抄 録**：薬剤に依存しないニンニクの品質保持技術の開発に資する基礎的知見を得るため、ニンニク「福地ホワイト」りん茎の自発休眠、他発休眠および呼吸速度に及ぼす収穫後の温度の影響を調査した。りん茎の自発休眠は収穫時にすでに覚醒の途上であり、収穫後の3週間の強制乾燥処理は覚醒をさらに促進した。自発休眠に及ぼす温度の影響（収穫後3週間、 $-0.5^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ ）を調査した結果、 $-0.5^{\circ}\text{C}$ および $15^{\circ}\text{C}$ 条件は自発休眠の覚醒を遅らせた。一方、 $25^{\circ}\text{C}$ 以上の条件は自発休眠の覚醒を促進し、その効果は $35^{\circ}\text{C}$ 条件で最も高かった。他発休眠に及ぼす温度の影響（強制乾燥後9週間、 $-2.5^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ ）を調査した結果、芽は $15^{\circ}\text{C}$ 、根は $10^{\circ}\text{C}$ 条件で最も伸長した。芽、根の伸長はこれらの温度より低温および高温になるほど強く抑制され、 $-2.5^{\circ}\text{C}$ および $35^{\circ}\text{C}$ 条件ではほぼ完全に停止した。貯蔵中のりん茎の呼吸速度は、 $20^{\circ}\text{C}$ ～ $30^{\circ}\text{C}$ の範囲では温度上昇とともに低下し、呼吸速度は涼温（ $10^{\circ}\text{C}$ ～ $20^{\circ}\text{C}$ ）より高温条件（ $25^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ ）で低かった。このような特異な呼吸特性は収穫後約3週間の間に獲得された。以上の結果から、収穫直後に行うニンニクの乾燥条件としては、自発休眠の維持の観点から、産地における現行条件（約 $35^{\circ}\text{C}$ ）より低い、 $25^{\circ}\text{C}$ ～ $30^{\circ}\text{C}$ 条件が望ましく、貯蔵条件としては、自発休眠と他発休眠の両方に対して高い維持効果をもつ氷点下条件が望ましいと考えられた。

**キーワード**：ニンニク、自発休眠、他発休眠、呼吸、温度、貯蔵、乾燥

**Effects of Temperature During Postharvest Period on the Endodormancy, Ecodormancy and Respiration Rate of Garlic Bulbs** : Hiroko YAMAZAKI<sup>\*1)</sup>, Eiko NIWATA<sup>\*2)</sup>, Takayoshi YANO<sup>\*1)</sup>, Kaori NAGASUGA<sup>\*1)</sup> and Atsushi YAMASAKI<sup>\*1)</sup>

**Abstract** : The effects of temperature during the postharvest period on endodormancy, ecodormancy and respiration rate of garlic 'Fukuchi White' bulbs were investigated to clarify the bulbs basic characteristics, which will be useful for the development of a chemical-free postharvest technology. Bulbs at harvest were already starting to awaken from endodormancy. Three-week forced curing after harvest accelerated this awakening. When bulbs were exposed to various temperatures ( $-0.5^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ ) for 3 weeks just after harvest, exposure to  $-0.5^{\circ}\text{C}$  and  $15^{\circ}\text{C}$  retarded awakening endodormancy, while exposure to  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$  or  $35^{\circ}\text{C}$  accelerated it. Exposure to  $35^{\circ}\text{C}$  accelerated it most severely. The bulbs stored at various temperatures ( $-2.5^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ ) for 9 weeks after the 3-week forced curing developed sprouts and roots most easily in storage at  $15^{\circ}\text{C}$  and  $10^{\circ}\text{C}$ , respectively. The further the storage temperature was from  $15^{\circ}\text{C}$  and  $10^{\circ}\text{C}$ , the less the bulbs developed sprouts and roots, respectively. Sprout and root growth in 9-week storage at  $-2.5^{\circ}\text{C}$  and  $35^{\circ}\text{C}$  was inhibited almost completely. The respiration rate of stored bulbs declined with the rise in temperature in the range from  $20^{\circ}\text{C}$  to  $30^{\circ}\text{C}$ . The respiration rate in storage at high temperature ( $25^{\circ}\text{C}$ ～ $35^{\circ}\text{C}$ ) was lower than that in storage at cool temperature ( $10^{\circ}\text{C}$ ～ $20^{\circ}\text{C}$ ). Garlic bulbs obtained this unique respiration characteristic for about 3 weeks after harvest. From the results of this study, it can be presumed that curing between  $25^{\circ}\text{C}$  and  $30^{\circ}\text{C}$  is more suitable than that at about  $35^{\circ}\text{C}$ , the existing curing temperature of garlic bulbs in Aomori prefecture, from the viewpoint of maintenance of

\* 1) 東北農業研究センター (National Agricultural Research Center for Tohoku Region, Shimokuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0123, JAPAN)

\* 2) 青森県産業技術センター野菜研究所 (Local Independent Administrative Institution Aomori Prefectural Industrial Technology Research Center, Vegetable Research Institute, Rokunohe, Kamikita-gun, Aomori 033-0071, JAPAN)

2009年9月4日受付、2009年12月3日受理

endodormancy. It can also be presumed that subzero temperature is suitable for long-term storage of garlic bulbs because it is effective for maintaining endodormancy as well as ecodormancy.

**Key Words** : Ecodormancy, Endodormancy, Garlic, Respiration, Temperature, Storage, Curing

## I 緒 言

ニンニクは年1回、7月上旬に収穫したりん茎を貯蔵し、これを計画的に出荷することで周年供給が行われる。植物生長調整剤のマレイン酸ヒドラジドコリン塩は、ニンニク、タマネギ、ジャガイモなどに対して萌芽抑制効果を有し (El-Oksh *et al.* 1971、Isenberg *et al.* 1974)、国産ニンニクの約8割を生産する青森県では、周年出荷用ニンニクに広く利用されてきた。最長1年となるニンニくりん茎の室温貯蔵は、収穫前の株に同剤を散布することにより可能となっていた。しかし、2002年に同剤の農薬登録が失効したことにより、周年供給の維持のため、薬剤に依存しない新たな品質保持技術の確立が必要となった。

Lang *et al.* (1987) は、植物の休眠を「分裂組織を含むあらゆる器官における可視的な生長の一時的な停止」と定義し、休眠を自発休眠 (endodormancy)、相関休眠 (paradormancy)、他発休眠 (ecodormancy) の3つに分類している。自発休眠は休眠器官そのものの生理的な要因に、また、相関休眠は休眠器官以外の生理的な要因に、そして、他発休眠は環境要因によって支配される。収穫直後のニンニくりん茎は自発休眠状態にあり、環境条件にかかわらず、芽、根は伸長しにくい状態にあるが、自発休眠の覚醒が進むと、芽、根の伸長は次第に他発休眠に依存するようになる。すなわち、収穫後のりん茎の芽、根の伸長には自発休眠と他発休眠の両方が関係し、最も重要な環境条件である温度は、自発休眠への影響と他発休眠への影響という2面から、芽、根の伸長に関わる。従って、貯蔵中のニンニくりん茎の芽、根の動きを理解するには、自発休眠と他発休眠の両方に対する温度の影響を解明することが必要である。

園芸作物の貯蔵性と呼吸速度との間には密接な関係があり、一般に、呼吸速度が低いほど貯蔵可能期間は長くなる。温度条件は植物の呼吸速度を決定する重要な要素であり、通常、呼吸速度は温度が10℃上昇する毎に2～3倍に増加する (Hardenburg *et al.* 1986)。しかし、0℃～20℃で貯蔵したニンニクリ

ん茎の呼吸速度は10℃で最も高いことが報告されており (Mann・Lewis 1956)、ニンニクは呼吸に関して特異な温度反応性をもつ可能性が示されている。

薬剤に依存しないニンニクの周年供給システムを確立するには、品質保持技術の開発が必要である。ニンニクの貯蔵特性を理解することは品質保持技術開発の基本となることから、本報告では、りん茎の自発休眠、他発休眠および呼吸速度に及ぼす収穫後の温度条件の影響を広範囲な条件において調査した。これまでに、Mann・Lewis (1956) および高樹 (1979) は、ニンニくりん茎の芽、根の伸長と温度との関係に関して詳細な研究を行っている。しかし、彼らの試験は、りん茎を次作の種球に利用する場合に最適な貯蔵条件を見出すことを主な目的としており、側球を培地に植え付けた後の芽、根の生長に焦点が当てられている。これに対して、著者らの最終的な目標は、周年出荷のための品質保持技術の開発であり、本試験では、植え付け後ではなく、貯蔵中の芽、根の伸長に注目した。

## II 材料と方法

### 1. 材料および共通の調査方法

すべての試験に青森県産業技術センター野菜研究所内の圃場で栽培したニンニク「福地ホホワイト」のりん茎を使用した。

種子、芽、球根などの休眠に関する多くの報告では、これらの休眠器官の自発休眠の深さを発芽 (萌芽) に最適な環境条件に置いた場合の発芽 (萌芽) のしにくさによって評価している (Le Page-Degivry・Garello 1992、Suttle・Hultstrand 1994、高樹 1979、田村ら 1993)。一方、タマネギやニンニクの休眠研究では、休眠の深さを貯蔵中のりん茎の芽の伸長をもとに評価し、芽の伸長が停止している期間を休眠期としているものもある (青葉 1954a、田中ら 1985、Vázquez-Barríos *et al.* 2006)。深い自発休眠状態にある植物の生長は、最適な環境条件下でも一時的に停止するという考え (Lang *et al.* 1987) に従うと、後者の方法は萌芽に必要な環境要素である水が制限されており、自発休眠の評価法としては

不適切と考えられる。従って、本報告では、前者の方法を採用し、ニンニクの自発休眠の深さを評価した。具体的には、ニンニク側球を湿ったパーミキュライトに植え付け、20℃、暗黒条件に置いて萌芽日を調査し、植え付けから萌芽までに要する日数（＝萌芽日数）によって自発休眠の深さを評価した。

芽の伸長は、萌芽葉長を側球長で割った値である萌芽程度によって評価した。根の伸長は発根程度により評価し、発根程度は0～5の6段階評価（0：未発根、1：未突出、痕跡程度、2：根長1mm以下、3：根長1～2.5mm、4：根長2.5～5mm、5：根長5mm以上）とした。

## 2. 収穫前後における自発休眠および芽、根の伸長の推移（試験1）

青森県産業技術センター野菜研究所内の圃場で栽培したニンニク「福地ホワイト」のりん茎を2003年7月1日に収穫した。葉と根を切除後、りん茎を格子状のコンテナに入れ、3週間の乾燥処理を行った。乾燥条件は、昼間（約10時間）は設定温度35℃で加温・通風し、夜間（約14時間）は無加温で、通風のみとした（以後、この方法を強制乾燥と呼ぶ）。乾燥終了後、りん茎をダンボール箱に入れ、室温条件で貯蔵した。収穫1か月前の2003年6月1日から約3か月後の10月9日まで、りん茎の自発休眠の深さ、芽、根の伸長および貯蔵葉内部の分化葉数を経時的に調査した。貯蔵葉内部の分化葉数は実体顕微鏡を用いて調査した。各調査日に9個のりん茎を側球に分解し、それらの中から自発休眠の調査には16側球、芽、根の伸長および分化葉数の調査にはそれぞれ10側球を供試した。収穫前の2回の調査（6月1日、6月15日）には、調査当日に圃場で生育中の株を掘り上げ、これを供試した。

## 3. 乾燥条件が自発休眠および芽、根の伸長に及ぼす影響（試験2）

試験1と同じ日に収穫し、葉と根を切除したニンニクリン茎を遮光率約75%条件の無加温のガラス室に3週間置いて乾燥させた（＝自然乾燥）。乾燥終了後、りん茎をダンボール箱に入れ、試験1と同じ室温条件で貯蔵した。試験1の調査日と重複する7月22日、8月11日、9月1日、9月22日に自発休眠の深さおよび芽、根の伸長を調査し、強制乾燥（試験1）と自然乾燥（試験2）の影響を比較した。各調査日に6個のりん茎を側球に分割し、自発休眠の調査には16側球を、芽、根の伸長調査には10側

球を供試した。

## 4. 自発休眠に及ぼす温度の影響（試験3）

2008年7月3日に掘り上げ、葉と根を切除したりん茎を8日間の予備乾燥後（23℃、暗黒条件）、3週間の温度処理（-0.5℃～35℃の9水準、暗黒条件、湿度未制御）を行った。予備乾燥は、収穫直後のりん茎が氷点下の温度処理により凍結するのを回避するために行い、自発休眠の覚醒効果が低いと予想される条件（23℃、暗黒条件）を選択した。温度処理終了後、りん茎の自発休眠の深さ、芽、根の伸長およびりん片（側球から保護葉を除いた可食部）の水分含量を調査した。処理区当たり10個のりん茎を側球に分割し、自発休眠の調査には16側球を、芽、根の伸長調査には10側球を、水分含量調査には8側球を供試した。

## 5. 芽、根の伸長に及ぼす貯蔵温度の影響（試験4）

2003年7月1日に掘り上げ、葉と根を切除したりん茎を格子状のコンテナに入れ、試験1と同じ条件で3週間の強制乾燥処理を行った。乾燥終了後のりん茎をダンボール箱に入れ、異なる温度条件（-2.5℃～35℃の8水準、暗黒条件、湿度未制御）で貯蔵し、貯蔵3、6、9週後に芽、根の伸長を調査した。1回の調査につき、処理区当たり5個のりん茎を側球に分割し、10側球（2側球/りん茎）を供試した。

## 6. 呼吸速度に及ぼす温度の影響

### 1) -2.5℃～35℃条件での呼吸速度（試験5）

試験4と同じ条件で収穫、乾燥、貯蔵したりん茎を供試した。9週間の貯蔵期間中、りん茎の呼吸速度を以下に示す方法で1～2週間隔で測定した。りん茎を容積500mLのポリエチレン製容器に入れて密封し（1個/容器）、各貯蔵条件に6時間置いた後、容器のヘッドスペースガスに含まれる二酸化炭素濃度をTCD検出器付きガスクロマトグラフィー（GC-14B、島津製作所）で測定した。-2.5℃条件では、例外的に、密封時間を50時間とした。測定終了後、りん茎を容器から取り出し、貯蔵を継続し、測定には毎回同じりん茎を供試した。ガスクロマトグラフィー分析では、活性炭60/80メッシュ（島津製作所）を充填したステンレスカラム（内径3mm、長さ2m）を使用し、カラムオープン温度は120℃、検出器温度は150℃とした。キャリアガスにはヘリウムを使用し、流量は60ml/分とした。処理区当たり4個のりん茎を供試した。



## 2) 32°C~41°C条件での呼吸速度 (試験6)

2004年7月1日に収穫し、葉と根を切除したりん茎を試験1と同じ条件で24日間強制乾燥した。乾燥終了後、りん茎をダンボール箱に入れ、32°C、35°C、38°C、41°Cで9週間貯蔵し(暗黒条件、湿度未制御)、りん茎の呼吸速度を上記と同じ方法で1~2週間隔で測定した。処理区当たり4個のりん茎を供試した。

## 3) TTC還元力 (試験7)

2, 3, 5-トリフェニルテトラゾリウムクロライド(TTC)還元力は、呼吸反応のひとつであるクエン酸回路の脱水素反応に関わる酵素活性の指標となる。ここでは、ニンニクの呼吸と温度との関係をさらに解明するため、異なる温度で貯蔵したりん茎のTTC還元力を調査した。

試験4と同じ条件で収穫、乾燥、貯蔵したりん茎を供試した。貯蔵6週後に貯蔵葉中のTTC還元力を以下の方法で測定した。細かく切った貯蔵葉(fw約1.5g)を試験管に入れ、0.4% TTC溶液と0.1Mリン酸緩衝液(pH 7.0)の等量混合液5mLを加え、37°C、暗黒条件に置いた。2時間後、2Nの硫酸1mLを加えて反応を止め、切片表面の水分を除いた後、切片を乳鉢に移し、少量の石英砂と酢酸エチルを加えて摩砕した。生成したトリフェニルフォルマザンを酢酸エチルで抽出し(2mL×3回)、抽出液の吸光度(485nm)を分光光度計で測定した。反復数は4とした。

## 4) 収穫後の呼吸速度の変化 (試験8)

2003年7月1日に収穫し、葉と根を切除したニンニクリん茎を5°C、15°C、25°C条件(暗黒条件、湿度未制御)に置いた。りん茎の呼吸速度を試験5と同じ方法で収穫6週間後まで毎週測定した。収穫0週後の測定は温度処理開始1日後に行った。処理区当たり4個のりん茎を供試した。

# III 結 果

## 1. 収穫前後における自発休眠および芽、根の伸長の推移 (試験1)

強制乾燥中の日最高、日平均、日最低温度の平均は、それぞれ33.9°C、28.1°C、22.3°Cであった。貯蔵中の日平均温度は、25°Cを超えた8月上旬の数日を除いて、貯蔵開始から9月中旬までは20°C~25°Cの範囲で、9月下旬以降は12°C~21°Cの範囲で推移した(図1)。貯蔵全期間の平均温度は

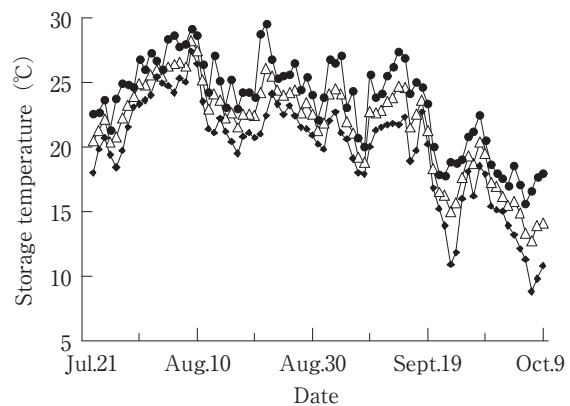


Fig. 1 Changes in daily maximum (●), mean (△) and minimum (◆) temperatures during the bulb storage.

21.7°Cであった。

自発休眠の指標となる萌芽日数は収穫1か月前の6月1日時点で最も長く(142日)、その後は減少を続け、9月1日には11日となった(図2A)。萌芽日数は乾燥開始時(7月1日)の100日から乾燥終了時(7月22日)の45日へと、強制乾燥の前後で顕著に減少した。萌芽程度は8月11日までは0.25以下の低い水準で推移したが、8月21日以降増加し、10月9日には0.92に達した(図2B)。発根程度も8月11日までは低い水準で推移したが、8月21日から顕著な増加がみられた(図2C)。すなわち、芽(図2B)、根(図2C)の伸長は収穫の前後には停止し、収穫の約1.5か月後の8月中旬頃に始まるという類似のパターンを示した。貯蔵葉内部の葉の分化は収穫直後から停止し、芽、根の伸長開始よりやや遅れて9月上旬に再開した(図2D)。

## 2. 乾燥条件が自発休眠および芽、根の伸長に及ぼす影響 (試験2)

自然乾燥中の日最高、日平均、日最低温度の平均は、それぞれ27.5°C、22.5°C、18.9°Cであり、試験1の強制乾燥中の温度条件に比べて、日平均温度で5.6°C低かった(表1)。いずれの調査時期でも、萌

Table 1 Average of daily maximum, mean and minimum temperatures during forced curing and natural curing for 3 weeks.

Curing type	Temperature (°C)		
	Maximum	Mean	Minimum
Forced curing	33.9	28.1	22.3
Natural curing	27.5	22.5	18.9

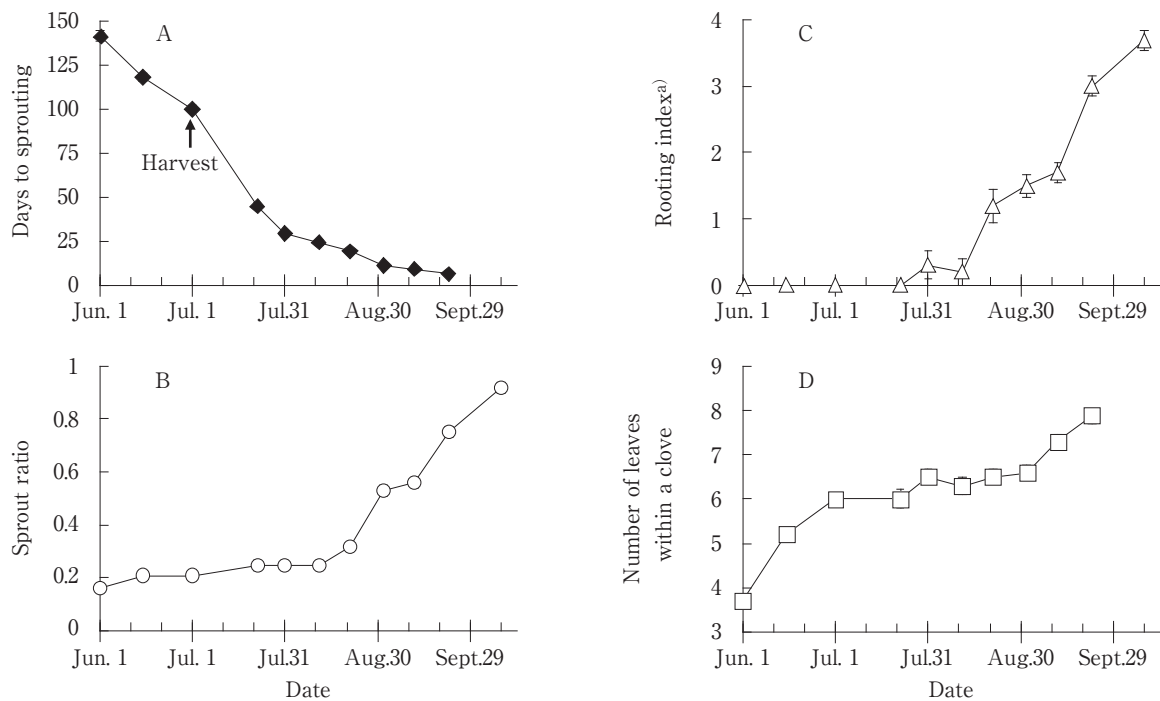


Fig. 2 Changes in the depth of endodormancy (A), sprout growth (B), root growth (C) and the number of leaves differentiated within a clove (D) of garlic bulbs.

Bulbs were harvested on July 1, and forcedly cured for 3 weeks, and then stored at natural temperature from July 22 to Oct 9. <sup>a)</sup>Rooting index 0 = no rooting, 1 = trace, 2 = root length less than 1mm, 3 = root length 1–2.5 mm, 4 = root length 2.5–5mm, 5 = root length more than 5mm. Data are means  $\pm$  SE of 16 (A) and 10 (B, C, D) replications, respectively. The SE is within the data point if not shown.

芽日数は強制乾燥区に比べて自然乾燥区で長く (図 3 A)、自然乾燥したりん茎では強制乾燥したりん茎に比べて自発休眠の覚醒がゆっくりと進行した。自然乾燥したりん茎は強制乾燥したりん茎に比べて貯蔵中の芽、根の伸長も遅かった (図 3 BC)。

### 3. 自発休眠に及ぼす温度の影響 (試験 3)

いずれの処理区でも温度処理終了時点の発根程度は 0、萌芽程度は 0.4 以下であり (表 2)、温度処理中の芽、根の伸長はほとんどなかった。また、温度処理終了時点のりん片の水分含量は、いずれの処理区でも約 60% であり、りん片の水分含量に処理温度による違いはみられなかった (表 2)。萌芽日数と処理温度との関係を見ると (図 4)、 $-0.5^{\circ}\text{C}$ ~ $5^{\circ}\text{C}$  の範囲では萌芽日数は温度上昇とともに低下したが、 $5^{\circ}\text{C}$ ~ $15^{\circ}\text{C}$  の範囲では温度上昇とともに増加し、 $15^{\circ}\text{C}$ ~ $35^{\circ}\text{C}$  の範囲では再び温度上昇とともに低下した。萌芽日数は  $-0.5^{\circ}\text{C}$  区および  $15^{\circ}\text{C}$  区で最も長く (101 日)、 $35^{\circ}\text{C}$  区で最も短かった (48 日)。これらの結果から、萌芽日数の長い  $-0.5^{\circ}\text{C}$  および  $15^{\circ}\text{C}$  条件は、自発休を維持する効果が高いことが示され

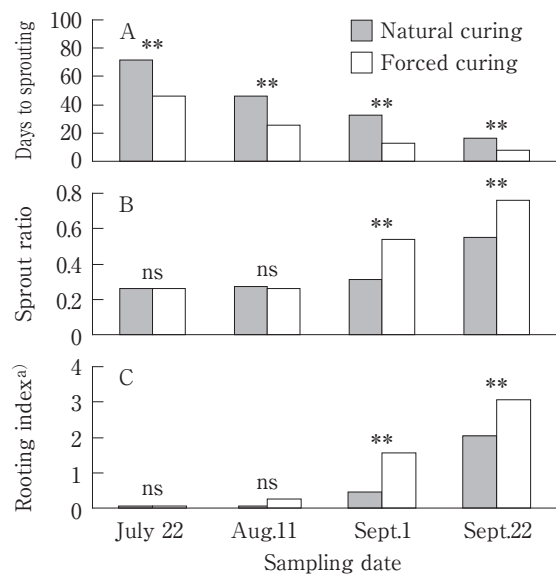


Fig. 3 Effects of curing condition on the depth of endodormancy (A), sprout growth (B) and root growth (C) of stored garlic bulbs.

Harvested bulbs were naturally or forcedly cured for 3 weeks, and then stored at natural temperature from July 22. <sup>a)</sup>See fig. 2. ns, \*\*Means at each sampling date are not significantly or significantly different at the 1% level by *t*-test (A, B) or by *U*-test (C), respectively.

た。これに対して、萌芽日数の短い25℃以上の条件は自発休眠を覚醒する効果が高く、その効果は処理温度が高いほど高いことが示された。なお、-0.5℃区において凍結の発生はみられなかった。

#### 4. 芽、根の伸長に及ぼす貯蔵温度の影響 (試験4)

貯蔵3、6、9週後の萌芽程度は、15℃区で最も高く、これより高温および低温になるほど低下した (図5A)。貯蔵3、6、9週後の発根程度は、10℃区で最も高い傾向がみられ、これより高温および低温になるほど低下した (図5B)。9週間の貯蔵期間中、-2.5℃および35℃区では芽、根の伸長はほぼ完全に停止した。なお、-2.5℃区で凍結の発生はみられなかった。

緒言で述べたように、貯蔵中の芽、根の伸長には自発休眠と他発休眠の両方が影響するが、本試験で

Table 2 Bud and root growth and water content of scales of garlic bulbs at the end of temperature treatment for 3 weeks.

Temperature (°C)	Root index <sup>a)</sup>	Sprout ratio	Water content of scale (%)
-0.5	0	0.35 ± 0.02 <sup>b)</sup>	60.4 ± 0.6 <sup>b)</sup>
2	0	0.34 ± 0.01	61.0 ± 0.6
5	0	0.33 ± 0.01	60.1 ± 0.6
10	0	0.40 ± 0.02	60.9 ± 0.2
15	0	0.32 ± 0.01	61.2 ± 0.3
20	0	0.33 ± 0.02	60.2 ± 0.5
25	0	0.33 ± 0.02	60.6 ± 0.6
30	0	0.34 ± 0.02	60.8 ± 0.7
35	0	0.35 ± 0.02	60.1 ± 0.5

a) See fig. 2. b) SE

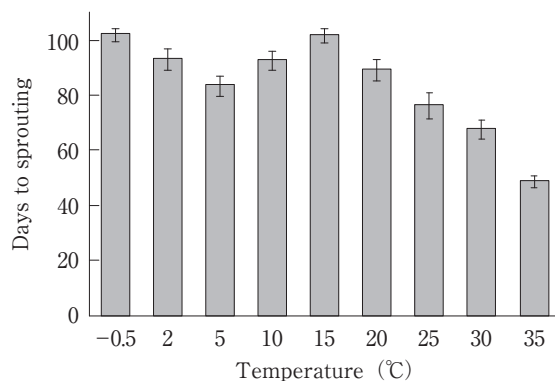


Fig. 4 Effects of temperature on the depth of endodormancy of garlic bulbs.

Bulbs were exposed at different temperatures for 3 weeks just after harvest. Data are means ± SE of 16 replications.

は、貯蔵処理開始時 (= 3週間の強制乾燥後) に、自発休眠はすでにかなり覚醒した状態にあったことから (図2A)、各貯蔵処理区における芽、根の伸長は、それぞれの貯蔵温度が他発休眠に及ぼす影響を強く反映していると考えられた。従って、芽、根の伸長が最も強く抑制された-2.5℃および35℃条件は、他発休眠を維持する効果が最も高く、逆に、芽、根の伸長が最も促進された10℃~15℃条件は、他発休眠の維持効果が最も低いと考えられた。

#### 5. 呼吸速度に及ぼす温度の影響

##### 1) -2.5℃~41℃条件での呼吸速度 (試験5、6)

-2.5℃~35℃の貯蔵条件では (試験5)、りん茎の呼吸速度は-2.5℃区で極めて低く、10℃、15℃、20℃区の呼吸速度は、これらの温度より低温の5℃区および高温の25℃、30℃、35℃区の呼吸速度より高く推移した (図6)。9週間の貯蔵期間中、いずれの温度条件でも呼吸速度に大きな変化はなく安定した状態で推移した (図6)。32℃~41℃の貯蔵条件では (試験6)、りん茎の呼吸速度は32℃区で最も低く、貯蔵温度が上昇するほど増加し

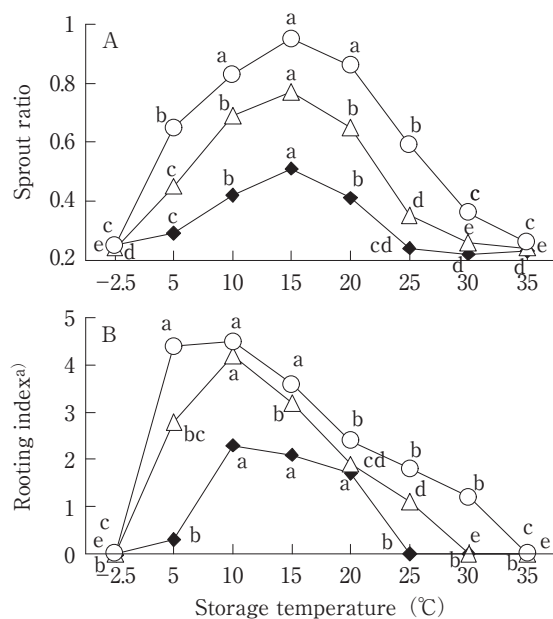


Fig. 5 Effects of storage temperature on sprout growth (A) and root growth (B) of garlic bulbs stored for 3 (◆), 6 (△) and 9 (○) weeks.

a) See fig. 2. Mean separation within the same storage period by Tukey-Kramer's multiple range test (A) or Steel-Dwass's multiple range test (B) at the 5% level, respectively

た(図7)。9週間の貯蔵期間中、32℃、35℃、38℃区の呼吸速度は一定に保たれたが、41℃区の呼吸速度は貯蔵6週後に一時的に上昇し、その後、急速に低下した(図7)。41℃で6週間以上貯蔵したりん茎には、貯蔵葉の変色、壊死が発生した。38℃以下で貯蔵したりん茎にはこのような症状はみられなかった。試験5、6の結果を総合し、貯蔵4週後

のりん茎の呼吸速度と貯蔵温度との関係を図8に示した。呼吸速度は10℃までは温度の上昇とともに増加し、10℃～20℃の範囲ではほぼ一定に保たれた。20℃を超えると呼吸速度は温度上昇とともに低下し、30℃付近で低下のピークに達した。35℃以上では呼吸速度は再び温度上昇とともに増加し、特に、38℃を超えると著しい増加がみられた。

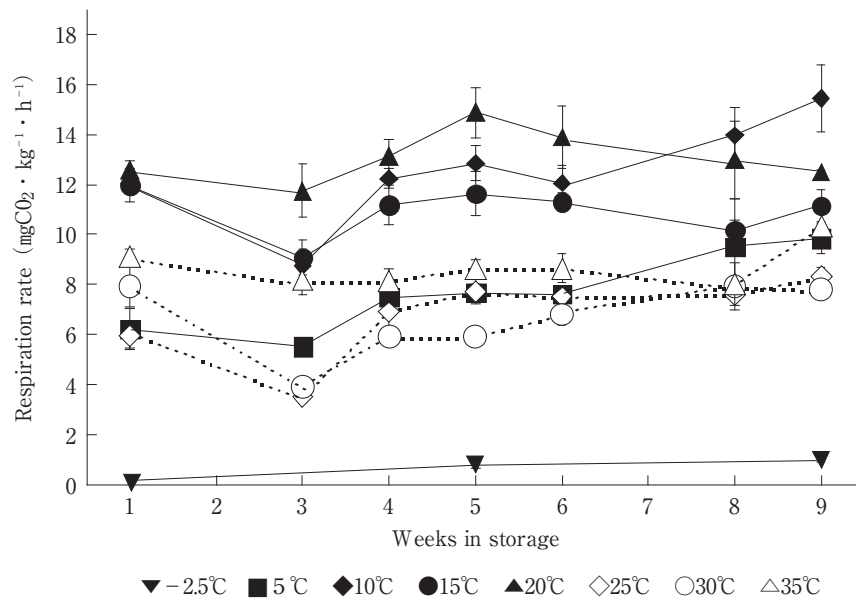


Fig. 6 Changes in the respiration rate of garlic bulbs during 9-week storage at various temperatures between  $-2.5^{\circ}\text{C}$  and  $35^{\circ}\text{C}$ .

Data are means  $\pm$  SE ( $n=4$ ). The SE is within the data point if not shown.

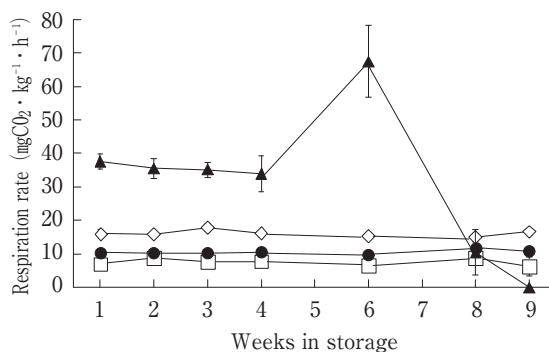


Fig. 7 Changes in the respiration rate of garlic bulbs during 9-week storage at  $32^{\circ}\text{C}$  ( $\square$ ),  $35^{\circ}\text{C}$  ( $\bullet$ ),  $38^{\circ}\text{C}$  ( $\diamond$ ) and  $41^{\circ}\text{C}$  ( $\blacktriangle$ ). Data are means  $\pm$  SE ( $n=4$ ).

The SE is within the data point if not shown.

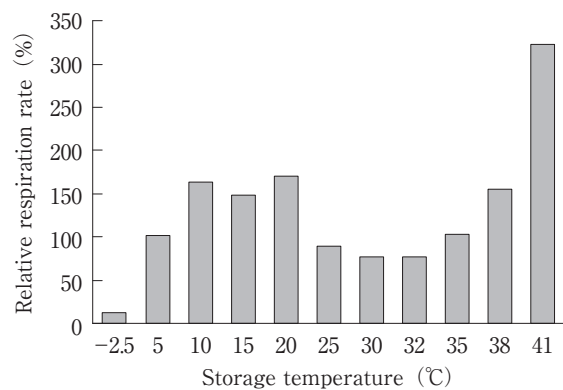


Fig. 8 Relationship between storage temperature and the respiration rate of garlic bulb after 4 weeks in storage.

The respiration rate in storage at  $35^{\circ}\text{C}$  is regarded as 100%. A value at  $-2.5^{\circ}\text{C}$  is the respiration rate after 5 weeks in storage.

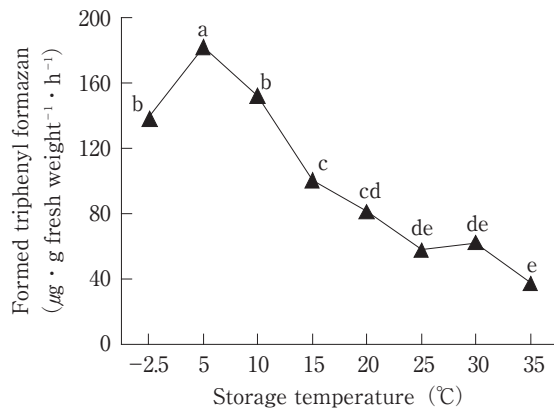


Fig. 9 TTC-reducing ability of storage leaves of garlic bulbs stored at various temperatures for 6 weeks.

Mean separation by Tukey-Kramer's multiple range at the 5% level.

## 2) TTC還元力 (試験7)

異なる温度条件で6週間貯蔵したりん茎の貯蔵葉中のTTC還元力を図9に示した。TTC還元力は5℃区で最も高く、次いで、-2.5℃および10℃区で高かった。5℃~35℃の範囲では、TTC還元力は貯蔵温度が高くなるほど低下する傾向がみられた。最も低かった35℃区のTTC還元力は5℃区の約20%の値であった。

## 3) 収穫後の呼吸速度の変化 (試験8)

収穫0週後(1日後)のりん茎では、25℃区の呼吸速度は15℃区の約2倍、5℃区の約6倍高く(図10)、収穫後間もないりん茎では、呼吸速度は温度上昇とともに高まるという一般的な温度反応を示した。いずれの温度条件でも、収穫後、りん茎の呼吸速度は低下し、収穫3週後以降は、一定の低いレベルで推移した(図10)。呼吸速度の低下は25℃区で最も激しく、5℃区で最も穏やかであった。呼吸速度が安定した収穫4週後以降の呼吸速度は、25℃区で低く、15℃区で高い傾向にあった。

## IV 考 察

ニンニクやタマネギなどの休眠研究では、りん茎の休眠は収穫時点で最も深い状態にあると考えられることもあるが(緒方 1952, Vázquez-Barrios *et al.* 2006)、試験1において、萌芽日数は収穫1か月前の6月1日時点で最も長く、それ以後、減少を続けたことから(図2A)、ニンニクの自発休眠は収穫

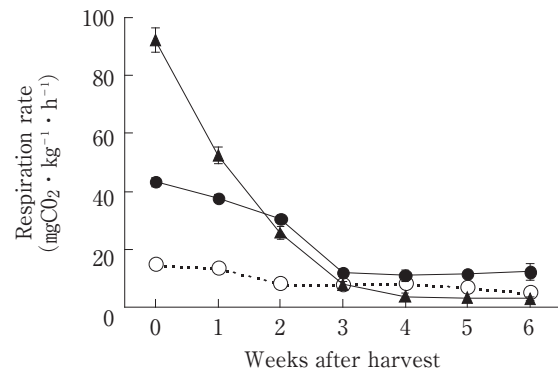


Fig.10 Changes in the respiration rate of garlic bulbs after harvest. Just after harvest, bulbs were placed at 5°C (○), 15°C (●) and 25°C (▲) for 6 weeks.

Data are means ± SE (n=4). The SE is within the data point if not shown.

時点ですでに覚醒の途上にあると考えられた。自発休眠の最深期は今回の試験では特定できなかったが、同じネギ属のワケギでは、りん茎の自発休眠の最深期は、りん葉(=大部分が葉鞘から成るりん茎形成期に特有の葉)分化の約半月後であること(Yamazaki *et al.* 1995, 山崎 2003)、また、供試したニンニクのりん葉分化期は4月下旬であることから、ニンニクの自発休眠の最深期は5月中旬頃と推定された。

萌芽日数の変化から(図2A)、収穫時にすでに覚醒途上にあったニンニクの自発休眠は、収穫後の強制乾燥処理により覚醒が一段と進行し、8月中旬頃に完全に覚醒状態になると考えられた。自発休眠の覚醒効果は、自然乾燥に比べて強制乾燥で高く(図3)、その原因を明らかにするため、試験3では広範囲の温度処理が自発休眠の覚醒に及ぼす影響を調査した。その結果、15℃~35℃の範囲では、自発休眠の覚醒効果は処理温度が高いほど高いことが示され(図4)、自然乾燥(平均温度22.5℃)と強制乾燥(平均温度28.5℃)の温度条件の違いが、両者の覚醒効果が異なる主要な原因であると考えられた。試験3において、ニンニクの自発休眠の覚醒には5℃前後の低温と25℃以上の高温が促進的に作用することが示されたが(図4)、この結果は、ニンニクの5℃~10℃貯蔵あるいは35℃貯蔵が植え付け後の萌芽・発根を促進するというこれまでの報告(Mann・Lewis 1956, 高樹 1987)と矛盾しない。



Table 3 Effect of temperature on maintenance of endodormancy and ecodormancy of garlic bulbs.

Dormancy type	Temperature (°C)									
	-2.5	-0.5	2	5	10	15	20	25	30	35
Endodormancy	- a)	◎	○	△	○	◎	○	△	×	××
Ecodormancy	◎	-	-	×	××	××	×	△	○	◎

Each symbol represents relative effectiveness of temperature on maintenance of the two types of dormancy.

◎very strong, ○strong, △moderate, ×weak, ××very weak.

a) not examined.

りん茎に対する高温処理がその後の萌芽を促進することは、タマネギ（青葉 1954b、Miedema・Kamminga 1994）やワケギ（長谷川ら 1981）でも報告されており、高温による自発休眠の覚醒効果は、春から初夏に長日条件でりん茎を形成するネギ属植物に共通の性質であるのかもしれない。

試験3、4の結果をもとに、ニンニクの自発休眠および他発休眠に及ぼす温度の影響を表3にまとめた。ここで興味深いのは、自発休眠の維持と他発休眠の維持に対して正反対に働く温度が存在することである。例えば、15°C前後の涼温は自発休眠の維持には最も有効であるが、他発休眠の維持には最も効果が低い。また、30°C以上の高温は自発休眠に対しては覚醒促進に働くが、他発休眠に対しては強い維持作用をもつ。収穫後のニンニクリン茎の芽、根の伸長には自発休眠と他発休眠の両方が関係することから、ある温度がこれら2つの休眠に対して正反対に働くということは、その温度が芽、根の伸長に及ぼす影響は、温度遭遇の時期や期間によって大きく変化することを意味する。例えば、収穫直後の高温処理は自発休眠の覚醒を促進するため、その後、りん茎が常温に置かれた場合には、芽、根の伸長促進に働くと考えられる。一方で、自発休眠の覚醒が完了する8月中旬以降の高温処理は、他発休眠の状態を維持することにより、芽、根の伸長抑制に作用すると考えられる。岩瀬（2004）は、10月出荷用ニンニクの萌芽・発根抑制法として、9月上旬からの2週間の38°C処理を提案しているが、この方法は高温による他発休眠の維持効果を利用したものと考えられる。また、青葉（1954b）は、タマネギでも高温が処理時期によって芽の伸長促進に働く場合と伸長抑制に働く場合があることを報告している。青葉（1954b）はこの現象の理由には言及していないが、ニンニクと同様に、タマネギでも高温は自発休眠の覚醒と他発休眠の維持という2つの作用をもつ

結果ではないかと推定される。

Mann・Lewis（1956）が特異な温度反応をもつ可能性を示唆したニンニクの呼吸特性の詳細を明らかにするため、本報告では広範囲な温度条件（-2.5°C～41°C）において呼吸速度の調査を行った。その結果、貯蔵中のりん茎の呼吸速度は10°C～30°Cの範囲では温度上昇に伴って増加せず、ニンニクは涼温条件（10°C～20°C）より高温条件（25°C～35°C）で呼吸速度が低いという特異な特性をもつことが明らかになった（図8）。そして、このような呼吸特性は、収穫後の呼吸速度の調査から（図10）、収穫後約3週間の間に獲得されることが示された。一般的な園芸作物とは異なり、長期貯蔵においてニンニクの品質は涼温条件（20°C）よりも高温条件（30°C）で良好に維持されるが（Vázquez-Barrios *et al.* 2006）、これは高温条件がもつ強い他発休眠の維持効果と高温条件での低い呼吸速度に起因するものと考えられる。

ニンニクの呼吸特性は大部分の園芸作物とは全く異なるが、ダッチアイリスはニンニクと類似した呼吸特性をもつ。Kamerbeek（1962）は、ダッチアイリスりん茎の呼吸速度は収穫直後には温度上昇とともに増加すること、その後、呼吸速度は急激に低下し、約3週間で安定状態に達すること、安定状態での呼吸速度は20°C条件より30°C条件の方が低いことなどを報告している。Kamerbeek（1962）は、ダッチアイリスの呼吸速度が高温条件で低く維持される原因をりん茎内部の酸素分圧、組織の水分状態、呼吸基質となる糖濃度などに求めたが、それらの仮説はいずれも否定され、原因を特定することはできなかった。一方、本報告では、ニンニクリン茎の高温条件での呼吸抑制の原因に関して、興味深い知見が得られた。試験7において、異なる温度条件で6週間貯蔵したニンニクリン茎の貯蔵葉のTTC還元力を調査したところ、5°C～35°Cの範囲では

TTC還元力は貯蔵温度が上昇するほど低下した(図9)。TTCは複数の脱水素酵素によって還元される性質を有し(Jensen *et al.* 1951)、TTC還元力は呼吸反応のひとつであるクエン酸回路の脱水素反応に関わる酵素活性の指標となることから、種子、根などの様々な組織の活力検定に広く利用されている。試験7の結果は、高温貯蔵したニンニクでは、クエン酸回路の脱水素酵素活性が著しく低下することを示しており、このことが高温条件での低い呼吸速度の一因である可能性が考えられる。

タマネギでは、貯蔵りん茎の芽の伸長開始時期と呼吸速度の増加時期がほぼ一致し、呼吸速度が芽の伸長あるいは休眠状態の指標となる可能性が示唆されている(緒方、1952; 田中ら、1985)。そこで、ニンニクについてもこの可能性を検討してみると、9週間の貯蔵期間中、いずれの温度条件でもりん茎の呼吸速度は、芽の伸長程度に関係なく、大きな変化を示さなかった(図5A、図6)。著者らの行った別の試験では、貯蔵したりん茎の安定した呼吸状態は少なくとも20週間維持され、呼吸速度の増加はりん茎が腐敗した場合にのみ認められた(山崎ら、2003)。また、Pyo・Lee(1973)は、ニンニクリん茎を室温で8か月間貯蔵した場合、芽は伸長するが、呼吸速度は安定した状態で維持されることを報告している。以上のように、ニンニクでは芽の伸長に関連した呼吸速度の増加はみられず、呼吸速度が貯蔵中の芽の伸長の指標となる可能性は否定された。

本報告で得られた結果をもとに、品質保持に適するニンニクの乾燥および貯蔵条件について考察する。周年出荷用のニンニクリん茎では、収穫後の乾燥は貯蔵性を高めるために不可欠な過程であり、青森県のニンニク産地では、盤茎(=ニンニクの短縮した茎)の水分含量が収穫時の約80%から20%以下に低下するまで乾燥が行われる。約35℃で3~4週間の連続乾燥が一般的な乾燥条件であり、乾燥期間中にりん茎重は収穫時の7割程度にまで低下する。理想的な乾燥温度とは、りん茎を効率的に乾燥できる温度であるとともに、萌芽・発根抑制の観点からみると、乾燥終了時に自発休眠をより多く維持できる温度といえるが、現行の乾燥温度(約35℃)は自発休眠の覚醒作用が最も高い条件であり(表3、図4)、品質保持に最適な温度ではない可能性が高い。著者らは、35℃条件より自発休眠の維持効果の高い25℃~30℃条件が乾燥温度として望ましいと考えて

おり、この仮説を検証し、品質保持に最も適した乾燥条件を提示することが、今後の課題である。

貯蔵条件としては、他発休眠の維持効果の高い氷点下条件と35℃前後の高温条件があげられる。このうち、高温条件は自発休眠の覚醒を促進する効果が高いため、高温から常温条件に移動後に芽、根の伸長を促進する可能性がある。これに対して、氷点下条件は自発休眠と他発休眠の両方に対して高い維持効果をもつ(表3)。従って、貯蔵温度としては高温条件より氷点下条件の方が有利であり、ニンニク産地の農協等で行われる整備された施設を利用した大規模な貯蔵には、氷点下貯蔵が適すると考えられる。

萌芽抑制剤に依存しないニンニクの周年出荷システムの確立には、最適な氷点下貯蔵温度の選定が大きな課題となる。米国農務省の園芸作物の貯蔵に関するハンドブック(Hardenburg *et al.* 1986)では、ニンニクの最高凍結温度は-0.8℃、貯蔵適温は0℃となっている。一方、高樹(1979)は、貯蔵前に室温で1か月間乾燥させたニンニクでは、8か月間の-2.3℃貯蔵でも凍結はみられず、自発休眠状態が維持されることを報告している。ニンニクの凍結温度は品種や乾燥程度の影響を大きく受けると予想され、これらの条件が違えば貯蔵適温も異なると考えられる。従って、現行の国産ニンニクの周年出荷体系で利用する氷点下貯蔵温度を選定するには、主要品種を用い、生産現場の乾燥基準を満たした条件で貯蔵試験を実施する必要がある。また、本報告では、芽、根の伸長にのみ注目したが、ニンニクリん茎の品質には、外皮の色調、貯蔵葉表面のつや、病害やセンチュウ害の有無など複数の要素が関係するので、今後は、これらの要素に与える影響を総合的に検討し、実用的な乾燥および貯蔵条件の選定を行う予定である。

## 引用文献

- 1) 青葉 高. 1954a. 玉葱の肥大及び休眠に関する研究(第3報)貯蔵中における萌芽過程について. 園学雑 24: 199-203.
- 2) 青葉 高. 1954b. 玉葱の肥大及び休眠に関する研究(第4報)玉葱の萌芽に対する貯蔵温度の影響. 園学雑 24: 265-270.

- 3) El-Oksh, I. I.; Abdel-Kader, A. S.; Wally, Y. A.; El-Kholly, A. F. 1971. Comparative effects of gamma irradiation and maleic hydrazide on storage of garlic. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 96 : 637-640.
- 4) Hardenburg, R. E.; Watada, A. E.; Wang, C. Y. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. United States Department of Agriculture. Agriculture Handbook Number 66. United States Government Printing Office, Washington, D.C. p.130
- 5) 長谷川 繁, 吉田隆徳, 沖森 当. 1981. ワケギの栽培学的研究 (第2報) 休眠覚醒に及ぼす高温処理の影響について. 広島県農試報 44 : 53-62.
- 6) Isenberg, F. M. R.; Thomas, T. H.; Pendergrass, M.; Abdel-Rahman, M. 1974. Hormone and histological differences between normal and maleic hydrazide treated onions stored over winter. *Acta Hort.* 38 : 95-125.
- 7) 岩瀬利己. 2004. 38℃加温処理が貯蔵中のニンニクの発根・萌芽に及ぼす影響. 東北農業研究 57 : 183-184.
- 8) Jensen, C. O.; Sacks, W.; Baldauski, F. A. 1951. The reduction of triphenyltetrazolium chloride by dehydrogenases of corn embryos. *Science* 113 : 65-66.
- 9) Kamerbeek, G. A. 1962. Respiration of the iris bulb in relation to the temperature and the growth of the primordia. *Acta Botanica Neerlandica* 11 : 331-410.
- 10) Lang, G. A.; Early, J. D.; Martin, G. C.; Darnell, R. L. 1987. Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *HortScience* 22 : 371-377.
- 11) Le Page-Degivry, M. T.; Garelo, G. 1992. *In situ* abscisic acid synthesis. A requirement for induction of embryodormancy in *Helianthus annuus*. *Plant Physiol.* 98 : 1386-1390.
- 12) Mann, L. K.; Lewis, D. A. 1956. Rest and dormancy in garlic. *Hilgardia* (Journal of Agricultural Science Published by the California Agricultural Experiment Station) 26 : 161-189.
- 13) Miedema, P.; Kamminga, G. C. 1994. Bulb dormancy in onion. II. The role of cytokinins in high-temperature imposed sprout inhibition. *Journal of Horticultural Science* 69 : 41-45.
- 14) 緒方邦安. 1952. 生鮮農産食品の貯蔵に関する研究 (第4報) 葱頭の貯蔵に関する研究Ⅱ葱頭りん茎の大小と貯蔵性並びに貯蔵期間中に於ける代謝作用. 園学雑 21 : 29-36.
- 15) Pyo, H. K.; Lee, B. Y. 1973. A physiological and ecological study on the postharvest garlics. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 14 : 25-30.
- 16) Suttle, J. C.; Hultstrand, J. F. 1994. Role of endogenous abscisic acid in potato microtuber dormancy. *Plant Physiol.* 105 : 891-896.
- 17) 高樹英明. 1979. ニンニクの球形成と休眠に関する研究. 山形大学紀要 (農学) 8 : 507-599.
- 18) 高樹英明. 1987. ニンニク球の植え付け後の発根と根の生長に及ぼす球の貯蔵温度と植え付け温度の影響. 山形農林学会報 44 : 51-55.
- 19) 田村文男, 田辺賢二, 池田隆政. 1993. ニホンナシ '二十世紀' の芽の休眠の深さとABAとの関係. 園学雑 62 : 75-81.
- 20) 田中征勝, 池 光鉉, 小餅昭二. 1985. 春まきタマネギの貯蔵に関する研究 (第1報) タマネギの萌芽に及ぼす貯蔵温度, 湿度の影響. 北海道農試研報 141 : 1-16.
- 21) Vázquez-Barrios, M. E.; López-Echevarría, G.; Mercado-Silva, E.; Castaño-Tostado, E.; León-González, F. 2006. Study and prediction of quality changes in garlic cv. Parla (*Allium sativum* L.) stored at different temperatures. *Scientia Horticulturae* 108 : 127-132.
- 22) 山崎博子. 2003. ワケギのりん茎形成制御およびりん茎形成・休眠の生理機構に関する研究. 野菜茶研研報 2 : 139-211.
- 23) 山崎博子, 濱野 恵, 本多一郎. 2003. 休眠覚醒過程におけるニンニクリン茎のアブシジン酸濃度, 呼吸速度およびTTC還元力の変化. 園学雑 72 (別2) : 180.
- 24) Yamazaki, H.; Nishijima, T.; Koshioka, M. 1995. Changes in abscisic acid content and water status in bulbs of *Allium wakegi* Araki throughout the year. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 64 : 589-598.





# ロールベールサイレージの発酵改善と安定貯蔵技術に関する研究

河本 英 憲\*<sup>1)</sup>

**抄 録**：ロールベールサイレージ (RBS) の利用性と品質制御における不安定要因の改善を目的として、細切・高密度処理の適用効果を明らかにするとともに、貯蔵中のラップフィルム保護技術の検討を加え、RBSの発酵改善から安定貯蔵にいたる技術を検討した。まず、既存RBS体系において細切・高密度処理を活用するとともに、混合飼料給与法に対応させるため、RBSを細切し、気密性の優れたサイロに密度を高めて再貯蔵する方法を検討した。その結果、再貯蔵による細切・高密度処理の活用は牧草RBSの発酵と貯蔵性の改善に有効であることを明らかにした。次に、トウモロコシ用に開発された細断型ロールベアラを用いて発酵品質が劣質化しやすい飼料イネRBSへの細切・高密度処理の適用効果を検討した。その結果、細切・高密度処理は飼料イネに特徴的なエタノール発酵を抑制するが、乾物率40%未満では酪酸発酵を助長するために、発酵品質の改善には必ずしも有効ではないことを明らかにした。さらに飼料イネRBS貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護方法について検討し、殺鼠剤や忌避剤等の化学物質、特別な機械・施設を必要としない有効なネズミ食害対策を提示した。

**キーワード**：細切、飼料イネ、ネズミ、発酵品質、密度、ロールベールサイレージ

**Studies on Improvement of Fermentation and Stable Storage Method in Round-Baled Silage :**  
Hidenori KAWAMOTO\*<sup>1)</sup>

**Abstract** : To improve the availability, fermentative quality and stable storage of round-baled silage (RBS), we investigated the effect of fine chopping, and a high-density treatment and explored a method for protecting silage wrapping film. First, to use a chopping and high-density treatment in a conventional RBS system and adapt it to a total mixed ration feeding system, we investigated chopping and re-ensiling in airing silos of grass RBS. We found that chopping and high-density processing by re-ensiling was effective in improving the fermentative quality and stable storage of the silage. Second, we examined the effect of fine chopping and a high-density treatment by the round baler for chopped material to the RBS of forage paddy rice. We were able to clarify the applicability of the round baler for chopped material for ensilage of the forage paddy rice. In addition, we developed an effective method to protect the wrapping film of RBS from rat feeding damage that does not require the use of a rodenticide or special facilities.

**Key Words** : Chopping, Density, Fermentative quality, Forage paddy rice, Rat damage, Round-baled silage

## 目 次

I 緒論	30	発酵品質に及ぼす影響	36
1 本研究の背景	30	2 再貯蔵による細切・高密度処理の活用が微生物相および好气的変敗に及ぼす影響	39
2 サイレージ調製における細切処理を中心とした発酵改善および安定貯蔵に関する既存の研究	32	3 再貯蔵時の濃厚飼料添加による品質改善	42
3 本研究の目的と概要	35	III 細切・高密度処理による飼料イネロールベールサイレージの発酵改善	46
II 再貯蔵による既存の牧草ロールベールサイレージ調製での細切・高密度処理の活用	36	1 細断型ロールベアラで調製した飼料イネロールベールサイレージの発酵品質	46
1 再貯蔵による細切・高密度処理の活用が			

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

2009年8月5日受付、2009年12月3日受理

2	予乾体系における飼料イネ細断型ロール ベールサイレージの長期貯蔵性……………49
3	高水分域における飼料イネのサイレージ 発酵に及ぼす細切・高密度処理の影響……………53
IV	飼料イネロールベールサイレージ貯蔵中の ネズミからのラップフィルム保護……………57
1	ロールベール貯蔵場所に出現するネズミ 種と被害様相……………57
2	ロールベールの配置方法の変更がネズミ 害に及ぼす影響……………61
3	ロールベールの配置方法の変更によるネ ズミ害軽減効果の現地実証……………63

V	総合考察……………67
1	再貯蔵処理による既存の牧草ロールベールサ イレージ調製での細切・高密度処理の活用 ……67
2	細切・高密度処理による飼料イネロール ベールサイレージの発酵改善……………69
3	飼料イネロールベールサイレージ貯蔵中 のネズミからのラップフィルム保護……………71
VI	摘要……………72
	引用文献……………73
	Summary ……81

## I 緒 論

### 1 本研究の背景

日本政府は平成11年7月に旧農業基本法に換わり、21世紀における食料・農業・農村に関する施策の基本的指針として食料・農業・農村基本法を制定し（農林水産省 1999）、それを的確に実施していくために平成12年3月、食料・農業・農村基本計画（以下、基本計画）を決定した（農林水産省 2000）。平成17年3月に見直された基本計画では、食料自給率（供給熱量ベース）を現状（平成15年度）の40%から45%（平成27年度）に、飼料自給率（TDN換算）を現状の24%から45%に引き上げることを目標としている。飼料作物では現状93万haから110万haへの作付け増産を目標としており、粗飼料自給率は現状76%から100%完全自給を目指している。この中での具体的な行動計画・技術開発において、汎用型の自走式ロールベアラの開発、ロールベールや混合飼料の梱包・流通技術の改良等による生産コストの3割程度低減が謳われている。すなわち、飼料自給率の向上策において、ロールベアラによる粗飼料収穫・調製貯蔵技術が重要な役割を担っている。

ロールベアラが日本に導入されたのは、道立新得畜産試験場で実施された「肉用牛の大規模経営における集団飼養技術に関する試験」（1975～1979）に供用されたのが始まりとされ、乾草調製を主体に利用が開始された（杉本ら 1990ab）。ロールベアラによる乾草調製は、従来のタイトベアラと比べると、梱包時間はそれほど減少していないが、タイトベールの20～30倍の梱包量にして機械でハンドリングできるため、詰込み、運搬、収納作業が約1/3に減少し、刈取りから収納までの合計作業時間が約半分になるなど大幅な省力化が達成できる（糸川ら

1992）。特に、我が国では乾草調製時の補助作業者としての婦人労働の軽減に果たす役割は非常に大きかった（糸川ら 1992）。このように乾草調製作業に大幅な省力化をもたらしたロールベアラではあるが、開発されたヨーロッパにおいても我が国においても、圃場での乾草調製中に雨にあたってしまうリスクは高く、多湿乾草や自然発火の問題が発生し、必然的にロールベールを密封してサイレージ化する試みが始まった（杉本ら 1990ab、萬田 1994）。このようにロールベール体系は、もともと乾草調製用途であったがサイレージ調製にも活用できることが知られるようになり、1986年頃のベールラップの導入とともに普及するに至った（市戸 1999）。現在ではロールベール体系はサイレージ調製が主要な用途となり、日本のサイレージ調製量のうち、ロールベールサイレージ（Round-baled silage、以下、RBS）の調製量が最も多いと推定されるに至っている（市戸 1999）。ただし、RBS体系を導入している経営での品質調査では、水分含量や発酵品質の個人差が大きいことが指摘されており（須藤・大竹 1993）、進展がめざましい繁殖技術、家畜改良技術および飼料給与技術に比べると、実際の現場においては、これらRBSの不良発酵や変質のリスクが依然と高く、品質制御や予測が難しい技術となっている（萬田 1994）。

サイレージ、すなわちサイロによって作物を貯蔵するためには、まず嫌気条件を達成して好氣的微生物の活性を抑え、次にその嫌気条件下における酪酸菌や腸内細菌のような望ましくない微生物の活性を乳酸発酵の促進によって抑えることである（McDonald *et al.* 1991）。サイロ内の嫌気条件が得られる効率は、材料草の圧縮（詰込み密度）の程度および被覆の有効性に左右される（McDonald *et*

al. 1991)。詰込み密度の増加は材料の間隙に残る空気の排除を意味しており、この密度増加は、概して発酵品質を改善する要因となる（大山・榎木 1968、1970）。特に材料草の細切は、詰込み密度を増加させる効果を持つ（須藤 1967）。埋蔵時の空気混入率が増加すると中水分域（60–70%）の予乾草では影響が小さいが（Zimmer・Gordon 1964、高橋 1968bc；大山・榎木 1970）、高水分域（70%以上）では低品質サイレージが調製されやすいことが報告されている（大山・榎木1970、大山ら 1970）。ただし、詰込み時にサイロ内の空気を酸素によって置換しても、発酵過程において外気の侵入がなければ発酵品質は保持される（大山・榎木 1968）。よって、高橋（1968b）が報告しているように、埋蔵時の空気混入率が高いものでもサイロへの加重が大きければ品質劣化は抑えられる。しかし、RBSにおいては、材料草は無切断か、カッティングロールベラを用いたとしても10cm以上の長切断である。このため、詰込み密度（梱包密度）は、施設型サイロよりも材料草の乾物率や材料草の茎の太さにより大きく依存するとともに、ベールチャンバでの成形、トワインでの結束、そしてハンドリングという機構上、詰込み密度や加重の程度は不十分とならざるを得ない（糸川ら 1992、1995）。また、被覆に用いるポリエチレン製ストレッチフィルムは、未延伸で8枚重ねの状態でも酸素透過率が1000 ml/m<sup>2</sup>/day/ATM程度と比較的高い（本田ら 1995）。このため、フィルムの被覆層数は2–3カ月の短期貯蔵では4層巻でも品質が保持されるが、1年間の長期貯蔵では6層巻でも品質低下が認められる（糸川ら 1995）。すなわち、RBSは固定サイロによる細切サイレージと比べて密度が低く、被覆しているラップフィルムが酸素を完全には遮断できない特性があるため、常に酸素の供給の危険にさらされていることから、特に長期貯蔵時の品質安定性は施設型サイロによる細切サイレージよりも劣ると考えられる。

多量の濃厚飼料が給与される泌乳牛においては、濃厚飼料のみが選り好みされないように細切された粗飼料と均質混合して完全混合飼料（Total mixed ration、以下、TMR）として給与することが推奨される（柴田 1987）。このTMR給与法は、各地に設立されたTMR供給センターによって、大規模酪農場に限らず、小規模酪農場や肉牛農家でも利用さ

れるようになってきた。そのTMRの粗飼料源として自給飼料であるRBSを積極的に利用することは、日本の飼料自給率を向上させると期待できる。ただし、RBSは未細切であるために、TMR材料としては利用しづらく（小川ら 1997）、乾乳牛や育成牛にのみ草架台で不断給与される場合が多い（佐々木・加藤 1992）。また、TMR給与法の効果を発揮させるためには、材料が成分的にも量的にも安定していることが条件として挙げられるが、RBSは個々のロールに品質のバラツキがみられ、長期貯蔵時の安定性が低いことからTMRへの適合性が低いことが指摘される（市戸 1999）。RBS体系は、粗飼料の収穫・調製貯蔵を省力的に行うことができることから、国内の大家畜生産にとって不可欠なものであり、今後も国内のサイレージ生産の基幹技術であると考えられる。一方で、TMRの普及に伴って安定した品質の細切サイレージの必要性が高まっていることから、RBSの貯蔵性やTMRへの適合性を高めるために、細切・再調製混合技術などを含めた高品質化が必要とされる（糸川ら 1992）。

現在、多種類のRBS切断・解体機が開発され、RBSを細切して利用できるようになっている（市戸 1995、1999）。また、細断されたトウモロコシなどの長大型作物を高密度なロールベールに成形できる細断型ロールベラが開発され、細切された材料草がロールベールに梱包できるようになった（志藤・山名 2002）。既存のRBS体系は施設型サイロで調製される細切サイレージと比べて、品質の安定性や利用性について欠点を持っている。これら欠点を補完する技術として、RBS切断・解体機や細断型ロールベラを活用する方策が考えられる。すなわち、既存のロールベール体系で収穫されたRBSを細切し、細切サイレージとして利用できるように再貯蔵する技術やトウモロコシ以外の材料草を細断型ロールベラで収穫する方策である。これらを検討するにあたって、本研究では、牧草とともに飼料イネを材料として取り上げた。前述の基本計画では、水田を活用した飼料イネの生産にも期待が掛けられ、今後の生産量拡大が見込まれている。ただし、堀口ら（1992）、永西・四十万谷（1998）、蔡（2001）の研究により、イネは乳酸発酵が促進されにくい素材であることが明らかにされており、ホールクロップサイレージの中でも乾物率がトウモロコシよりも高く、茎が中空なためにサイロ内に空気が残存しやす



く乳酸の生成・蓄積が抑えられ、酪酸やエタノールの生成量が多く、発酵品質が劣質化しやすいことが明らかとなっている。吉田 (2004) によれば、作付面積が5000haまでは牧草収穫体系の活用と一部地域の畜産農家による期間限定の給与にとどまっていたが、今後、作付面積を増加させて通年給与を可能とするためには、長期間安定して貯蔵できるサイレージ調製技術が必要であるとしている。この飼料イネにおいては、ほとんどがRBS体系で収穫されており、その発酵改善技術の開発が急務となっている。また、RBSは、長期貯蔵性が施設型サイロで調製貯蔵されるサイレージと比べて劣る原因として、ラップフィルムが容易に破損して品質劣化が生じやすい点が指摘されるが、飼料イネRBSにおいては、貯蔵中のラップフィルムの破損防止に特別な注意が必要となる。なぜなら、飼料イネRBSは籾を多量に含むことから、薄いラップフィルムに包まれた状態で圃場や牛舎脇の野外で貯蔵されると鳥獣による食害を受けやすい。生産現場において、カビ(糸状菌)に汚染された73個の飼料イネRBSの原因を調査した報告によれば、鳥獣害によるラップフィルム破損によるものが全体の40%で、鳥獣害のうち、ネズミ害によるものがその半分以上を占めていた(蔡 2004)。すなわち、飼料イネRBSは、鳥に加え、ネズミにとってもきわめて魅力的なエサであり、貯蔵中に籾を狙うネズミによって容易にラップフィルムが損傷されることが確認されている。かつては牧草のみがRBSの形態で貯蔵されていたため、その貯蔵中の鳥獣害対策はカラスなどの鳥の突つき(いたずら)に対するテグスや防鳥ネットの設置、およびコオロギなどの昆虫に対する殺虫剤の散布などが主な対策であった。よって、飼料イネRBSの貯蔵性を改善するためには、発酵品質を改善するのみでなく貯蔵中のネズミ食害への対策を検討する必要がある。

以上の背景から、本研究では、まず、RBS調製体系で収穫された粗飼料を安定した品質の細切サイレージとしてTMRの粗飼料源として活用できることを目的とし、既存の収穫体系で調製された未細切の牧草RBSへの細切・再貯蔵処理の活用方策を検討した。次いで、新開発された細断型ロールベアラを発酵品質が劣質化しやすい飼料イネRBSの収穫調製に適用した場合の改善効果を検討するとともに、飼料イネRBSにおける貯蔵中のネズミからのラップフィルムの保護技術に関する検討を行った。

## 2 サイレージ調製における細切処理を中心とした発酵改善および安定貯蔵に関する既存の研究

サイレージにおける乳酸発酵の促進は、材料草の乳酸菌数および発酵基質供給量に影響される(McDonald *et al.* 1991)。このうち、発酵基質供給量は、材料草への物理的処理(破碎や切断)の程度に左右される(Marsh 1978)。すなわち、材料草への物理的処理は、植物細胞からの草汁の滲出を促してサイレージにおける微生物の生育に少なからずの影響を与え、特に乳酸菌の生育を他の微生物よりも相対的に促進する(Gibson *et al.* 1961)。このため、サイレージの乳酸発酵には、まず植物の細胞液の放出が不可欠だとされ(須藤 1967)、埋蔵に先立つ材料草の細切によって乳酸発酵が促進され、酪酸発酵が抑制される(高野ら 1964、目谷 1970、須藤 1971、大山 1971)。ただし、単なる細切のみでは植物細胞液の放出が必ずしも十分ではなく、詰込み密度を上げることによって、はじめて植物細胞液の滲出が促され、乳酸含量が高まる(大山・榎木 1968)。そのことは、植物細胞液の滲出を促す材料草への物理的(機械的)処理のうち、細切よりも粉碎や圧潰の品質改善効果が高いことから理解できる(Gibson *et al.* 1961、須藤 1967)。埋蔵材料草が発酵を始めるために十分な細胞液は、乾物1gあたり2g以上であるという報告がある(須藤 1967)。機械作業によって比較的短い切断長で収穫された場合、たくさんの切断傷が表面につく(Gibson *et al.* 1961)。また、実規模作業における踏圧などの圧密を加える作業は、材料草の水分含量が低い場合を除き、植物組織の崩壊を促して細胞液の放出を促進させる(Greenhill 1964)。このため、実規模作業においてフォレンジハーベスタで収穫された細切材料草をサイロに踏圧を加えて詰め込む場合、発酵に必要な細胞液の放出量をクリアできると考えられる(McDonald *et al.* 1991)。RBSにおいては、材料草は細切されておらず、密度も低い。このため、RBS調製においては乳酸発酵促進のための細胞液の放出量が制限されていると推察される。よって、篠田・萬田の研究(1990ab)にみられるように、細切サイレージならば良好な発酵品質のサイレージが得られる材料草でも、無細切のRBSでは乳酸発酵が促進されず著しく劣質な発酵品質になる可能性が高い。RBSのように材料草に比較的傷が少ない条件の場合、植物体表面の栄養条件は乳酸菌が効

果的に他の微生物と競合できる条件に無く、乳酸生成は低くなる (Gibsonら 1961)。このため、RBSでの乳酸発酵条件は、細切して十分に踏圧を受ける施設型サイロによる調製と比べて不利とならざるを得ず、乳酸生成スピードが遅く、乳酸生成量も低くなることが示されている (萬田 1994)。ただし、本研究で取り上げたような、一旦、RBSとして未細切で調製されたサイレージが細切されて密度を高めて再貯蔵された場合の乳酸発酵促進効果や、サイレージ微生物相に及ぼす影響に関する知見は乏しい。また、RBSは、梱包単位が数百キログラム程度であるので、開封後の好気的変敗よりも貯蔵中のラップフィルム破損等に起因する望ましくない好気的微生物による汚染 (Fenlon *et al.* 1989) がより重要な問題として検討されてきた。一方、細切・再貯蔵する場合、より調製単位が大きい施設型サイロの利用が考えられるため、開封後の好気的変敗についての検討が必要である。サイレージの好気的変敗に関しては、発酵品質との関係 (大山 1981、大山・柁木 1971、山下・山崎 1975、O'kiely・Muck 1992、Muck・O'kiely 1992)、サイロサイズとの関係 (Yokota *et al.* 2001)、化学物質の添加による抑制 (原・大山 1979ab、板東・出岡 1979、Cai・Ogawa 1998) および乳酸菌添加による抑制 (Driehuis *et al.* 1999、Zhang・Kumai 2000、Ranjit・kung 2000、Kung *et al.* 2001、Taylor *et al.* 2002、Danner *et al.* 2003) などが検討されているが、再貯蔵などによる一時的な空気導入の好気的変敗への影響に関する知見は乏しい。このため、再貯蔵されたサイレージの開封後の好気的変敗に関する影響を検討する必要がある。

サイレージ中の不良発酵菌である酪酸菌は、水分含量に対して感受性が高く、水分低下によって活性が抑制される。一方、乳酸菌は低水分条件に対して比較的高い抵抗力を有しており、低水分材料で発酵を支配することが可能である (Woolford 1984)。よって、乳酸発酵の促進が得られにくいRBS体系においては、予乾による水分低下が最も重要な不良発酵抑制の方法となる。一般的に固定サイロにおける細断サイレージでは中水分域と云われる水分70%以下への予乾処理によって、良好な発酵品質が得られやすくなる (McDonald *et al.* 1991、増子 1999)。ただし乳酸発酵条件に劣るRBSでは、酪酸発酵を抑制するために、より低い水分含量への調整が求められる (Jonsson *et al.* 1990)。このため、RBSの調

製技術では、材料草を予乾して水分調整を行うことが原則であり (野・安宅 1999)、水分含量40%から60%程度への調整が推奨されている (糸川ら 1992、萬田 1994)。しかし、日本は温帯湿潤気候に属するため収穫時に雨天に遭う可能性は常に高く、不十分な予乾がRBSの品質を不安定化させる最も大きな要因である。穀類の多量添加によって排汁の浸出が減少することが知られているように (McDonald *et al.* 1991)、穀類の添加は水分調整に有効である。また、高水分・低糖分のものや飼料価値が低い粗飼料への穀類や粕類などの濃厚飼料の混合による発酵品質の改善効果を認めた報告は多い (高野ら 1975、古賀・馬場 1990、林ら 1992、宮城ら 1993、永西ら 1996)。すなわち、RBSが高水分で調製されてしまった場合に、収穫後の早い段階で穀類と混合して再貯蔵する方法を活用することが考えられる。TMRは通常、家畜への給与直前に粗飼料と濃厚飼料が混合されるが、TMRの素材として利用するRBSに貯蔵中の品質劣化が懸念される場合、いわゆる発酵TMR (TMRサイレージ、コンプリートサイレージまたはオールインサイレージなど) と呼ばれる混合サイレージとして貯蔵して利用する方策が考えられる。濃厚飼料を添加物に用いる場合は、その濃厚飼料に発酵損失が発生する欠点が挙げられるが (永西ら 1996)、サイレージの発酵品質や嗜好性・採食量の改善効果がそれに勝る場合があるとされる (Moseley・Ramanathan 1989、高野・山下 1990)。発酵TMRの嗜好性に関しても、TMRと同様、混合する飼料個々の嗜好性の優劣によって差が生じやすいとされるが (小山ら 1982)、低質粗飼料である稲ワラなどの嗜好性を大幅に改善する効果が報告されている (垣内ら 1986、西川ら 1989、高野ら 1975)。よって、RBS再貯蔵時に濃厚飼料を添加して発酵TMR化することは、高水分RBSの品質劣化対策となるとともに、嗜好性の改善効果も期待できるが、この技術に関する知見は乏しい。

細切処理が飼料イネサイレージの発酵品質に及ぼす影響を調査した研究は、百瀬ら (2005) によって実施されている。もちろん、古くから飼料イネサイレージの発酵品質を調査した研究では、そのほとんどが細切してバックサイロ (原ら 1986)、筒型サイロ (箭原ら 1981、名久井ら 1988、堀口ら 1992) やボトルサイロ (永西・四十万谷 1998) に詰め込まれていた。しかし、これらの試験では切断長を変

えた処理区は設けられておらず、また、サイロ内での詰込み密度も明記されていない。単なる細切のみでは植物細胞液の放出が必ずしも十分ではなく、詰込み密度を上げることによってはじめて植物細胞液の滲出が促されて乳酸含量が高まることは前述した。先に挙げた密度が示されていない試験では、サイロ容量が小規模なサイロが多く、必ずしも十分な圧密度が確保されたとは考えにくいことから、細切と密度増加の効果を押し量ることはできない。これらの試験に対して百瀬ら (2005) は、切断長と詰込み密度との関係を検討し、切断長が短くなればサイロへの詰込み密度が増加して乳酸含量が高まることを報告した。また、百瀬ら (2006) は専用収穫機のうち、フレールモアで刈り取るタイプ (フレール型) とレシプロモアで刈り取るタイプ (コンバイン型) の発酵品質を比較し、平均切断長が75 mmのフレール型が平均切断長106 mmのコンバイン型よりも乳酸含量が高いことを明らかにした。ただし、百瀬らの研究 (2005、2006) では予乾収穫などで水分が60%以下のイネを用いたため、対照区でも酪酸含量が低かった。また、切断長の異なるロールベアラの比較試験 (百瀬ら 2006) ではダイレクトカットの材料であったが、対照区の酪酸含量は同じく非常に低かった。飼料イネサイレージは牧草収穫に用いられる汎用機体系か、浦川ら (2003ab、2004ab) の開発した専用収穫機体系でRBSに調製されている。これらの従来型ロールベアラは無切断か、またはカッティング機構付きのロールベアラを用いた場合でも10cm程度の長切断で梱包される。しかし、青刈りトウモロコシなどの長大型作物のRBS化を目的とした細断型ロールベアラ (志藤・山名 2002) が開発されたことによって、1 - 2 cmに細切された材料草でもロールベアラに梱包できるようになった。この細断型ロールベアラを牧草類の梱包へ応用した場合、従来型と比較して高密度なロールベアラを成形できることが報告されている (志藤・山名 2003、2005、松尾ら 2004)。すなわち、飼料イネにおいても細断されて高密度に梱包することが省力的に実施でき、生産現場での高品質なサイレージ調製が期待できる。しかし、細断型ロールベアラをトウモロコシ以外のサイレージ素材に適用した場合の発酵品質改善効果に関する知見は乏しい。細断型ロールベアラはクローラタイプの機種の販売も予定されている。よって、細断型ロールベアラを活用した高品質な飼料イネサイレージの調製方法が明らかになれば、水田での飼料イネ収穫調製にも適用できるタイプの細断型ロールベアラの普及を促し、飼料イネの収穫調製体系の選択肢を増やすことが期待できる。

RBSにおいては、水分含量40%から60%程度への調整が推奨されている (糸川ら 1992、萬田 1994)。後藤ら (2001) が三重県内で調査した生産現地での飼料イネロールベアラサイレージの平均乾物率は34.3%で、有機酸含量のなかでも酪酸含量の変動係数が最も高かった。よって、飼料イネにおいては、百瀬ら (2005) の研究で検討されなかった酪酸発酵の危険水分域での細切・高密度梱包の影響を明らかにする必要がある。飼料イネは嗜好性が高く、通年給与、夏期給与の要望も強いことから長期貯蔵に耐えうる調製貯蔵技術開発への期待が大きい (千田・鈴木 2005)。また、前述したように、飼料イネ生産量の増加に伴って、貯蔵期間が長期化することが予想される。サイレージ素材として乳酸発酵能に乏しい特徴を持つ飼料イネにおいて、細断型ロールベアラを用いて細切・高密度処理を施すことによって、乳酸発酵の促進を促す効果が期待できる。しかし、飼料イネにおける細切・高密度処理に関する知見は限られており、その品質安定化や栄養価に及ぼす影響は未解明である。

飼料イネRBSは籾を多量に含むことから、薄いラップフィルムに包まれた状態で圃場や牛舎脇の野外で貯蔵されると鳥獣による食害を受けやすい。RBS普及当初から貯蔵中の鳥獣や昆虫類などによるラップフィルム破損に注意すべきであることが示されていた (松本ら 1989、糸川ら 1992、須藤・大竹 1993、杉本ら 1990)。飼料イネRBSにおいては、鳥に加え、ネズミにとってもきわめて魅力的なエサであり、貯蔵中に籾を食害するネズミによって容易にラップフィルムが損傷されることが確認されている。飼料イネRBSの品質を保持するラップフィルム被覆層数は、一般的に6層以上が推奨され、長期貯蔵においてカビの発生程度を低下させるためには、8層巻きが必要とされる (斉藤・米本 2004)。しかし、鳥の嘴やネズミの歯に破られないようにするには、ラップフィルム層数の増加では対応できない。鳥獣害のうち、鳥に対してはテグスや防鳥ネットなどの効果的な対策が存在する (Gaillard・Mazoyer 1998、McNamara *et al.* 2002)。一方、牧草RBSでは、ネズミ害が深刻になることはなかったため



(McNamara *et al.* 2001)、有効なネズミ対策は存在しなかった。さらに、稲をRBSとして貯蔵することは日本が世界に先行する技術であるため、諸外国においても、RBSのネズミ対策は研究されていない。現在の農業分野におけるネズミへの主な対処法は、殺鼠剤を散布するか、それに罌を組み合わせて捕殺するかである (Wager-Pageら 1997)。殺鼠剤の「そ穴」(ネズミの穴)への投入や、一定の間隔で格子状に配置する、または、ネズミが出入りできる穴のあるエサ箱(バイトボックス)に収納して等間隔で配置するなどの方法がある(由井・阿部 1983)。ただし、ネズミの飼料イネに対する嗜好性が高いため、RBS周囲に殺鼠剤を配置しても、殺鼠剤の方を採食させるのは容易ではない(河本ら 2007)。通常、殺鼠剤は目的とする以外の生物に直接または二次的な被害をもたらすリスクを持つ(Wager-Page *et al.* 1997)。よって、このような毒性化学物質の使用は飼料生産の場にはふさわしくなく、牛舎周辺で使うのも避けるべきである。また、クマネズミのように殺鼠剤が必ずしも有効ではない種が存在する(川内・遠藤 2000)。ネズミに対処する他の方法としてカプサイシン(Mason *et al.* 1991, Shumake *et al.* 2000)、シベリアンバインニードルオイル(Wager-Page *et al.* 1997)および捕食者のニオイ(Burwash *et al.* 1998, Dielenberg *et al.* 1999)などの忌避剤が研究されている。しかし、これら化学物質を収穫してから次の収穫時までの長期間の貯蔵中に散布し続けるのは多額の費用を要する。また、どんな忌避剤にも慣れがみられるため(Dielenberg *et al.* 1999)、ネズミに警戒感を与え続けるためには、時間経過とともに忌避剤の種類を換えていかねばならない。よって、長期間、しかも野外に貯蔵される飼料イネRBSへの忌避剤の適用は難しいと考えられる。よって、貯蔵中のネズミ被害への対処法としては毒性物質などの化学薬剤の使用を避け、しかも低コストな方法が求められる。飼料イネは水稲生産組織(集団)が受委託によって生産から収穫調製までを担い、畜産農家へRBSとして流通させることが多い(小川 2006)。このため、畜産農家への供給のためにRBSの集積場が設けられる場面が各地で見られる。RBS集積場にネズミ害が発生した場合、破棄率は3割に達成することが報告されている(押部ら 2005)。よって、大規模な集積場でネズミ害が発生するならば、その損耗は著しいものとなるだろう。我が国に

おけるネズミによる農作物の被害金額は、ここ数年1億3000万~1億8000万円で推移しているにすぎないが(農林水産省 2008)、生産量の拡大が予想される飼料イネおよびトウモロコシなどのホールクロップ飼料作物のRBSに対するネズミ害は今後拡大していくことが懸念される。以上のことから、RBSにおいては古くから保管中のラップフィルムの保護の重要性が指摘されているが、鳥獣害、特にネズミによるラップフィルム破損対策に関する研究はほとんどなされておらず、その知見に乏しいのが現状である。

### 3 本研究の目的と概要

本研究では、材料草が細切されていないことと低密度な発酵環境がRBSにおける品質制御の不安定要因であると考え、牧草と飼料イネを材料として、既存の体系で収穫されたRBSをサイロへ再貯蔵することによって細切・高密度処理を活用する方策や細断型ロールベールでの収穫によるRBSの発酵改善効果を明らかにするとともに、飼料イネRBSにおける貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護技術の検討を加え、RBSの発酵改善から安定貯蔵技術までを検討した。研究成果の一部は既に公表済みであるが(河本ら 2005ab, 2007ab, 2009abcd)、本論文ではそれらに未発表データを加え、以下のようにとりまとめた。

#### 1) 再貯蔵処理による既存の牧草RBSでの細切・高密度処理の活用

既存RBS体系において細切・高密度処理を活用するため、RBSを気密性の優れたサイロ(ドラム缶サイロ)に細切して密度を高めて再貯蔵する方法を検討した。乳酸発酵程度の乏しいイタリアンライグラス2番草RBSを細切して再貯蔵した場合の乳酸発酵促進効果(II-1)、発酵品質の良好なイタリアンライグラス1番草RBSを再貯蔵した場合の発酵品質、微生物相および好気的変敗への影響(II-2)、加えて、無予乾で収穫されたオーチャードグラスRBSから細切・再貯蔵時に濃厚飼料を添加して発酵TMR化した場合の発酵品質と嗜好性への影響(II-3)を検討した。

#### 2) 細切・高密度処理による飼料イネRBSの発酵改善

トウモロコシのRBS化を目的として新規に開発さ



れた細断型ロールペーラを飼料イネの収穫・調製に適用して、調製された細断型RBSの発酵品質、化学成分および肥育牛による採食量を従来型RBSと比較し(Ⅲ-1)、予乾収穫体系における細断型飼料イネRBSの長期貯蔵時の品質安定性と栄養価(Ⅲ-2)、および実験室規模で高水分域における細切・高密度処理の発酵品質に対する効果を調査し(Ⅲ-3)、細断型ペーラによる細切・高密度処理の飼料イネRBS生産への導入効果を検討した。

### 3) 飼料イネRBS貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護

飼料イネRBSの貯蔵過程において、糶を食害するネズミからのラップフィルム保護を検討した。ネズミ被害が発生しているRBS集積・貯蔵場所に出現するネズミ種の捕獲調査と被害様相の観察(Ⅳ-1)、RBSの配置方法の変更が食害被害に及ぼす影響の検討(Ⅳ-2)およびその現地実証(Ⅳ-3)を行い、飼料イネRBS貯蔵中のネズミによるラップフィルム破損防止対策を検討した。

本論文の作成に当たり、ご親切なるご教示とご高閲を賜った岡山大学農学部教授 坂口 英博士に心から深謝申し上げる。

本研究は、畜産草地研究所資源循環研究チーム加茂幹男上席研究官(現、畜産草地研究所草地研究監)のご指導のもとに開始したものであり、その遂行に当たっては、東北農業研究センター畜産草地部飼料生産研究室 魚住 順室長(現、寒冷地飼料資源研究チーム長)、同総合研究第1チーム 渡邊寛明チーム長(現、中央農業研究センター)および同東北飼料イネ研究チーム 押部明德チーム長にも格別の便宜とご指導を頂いた。また、畜産草地研究所 張 建国支援研究員(現、華南農業大学教授)と青木康浩主任研究員、および東北農業研究センター畜産草地部 武政正明部長(現、畜産草地研究所長)、同総合研究第2チーム 近藤恒夫チーム長(現、研究調整役)および同東北水田輪作研究チーム 大谷隆二上席研究員には、常に多大なご教示とご指導を賜った。畜産草地研究所および東北農業研究センター業務科諸氏、森林総合研究所東北支所 島田卓哉主任研究員、東北農研センター畜産草地部飼料生産研究室 出口 新研究員(現、寒冷地飼料資源研究チーム)、同東北飼料イネ研究チーム 木村勝一フ

エロー、山口弘道主任研究員、関矢博幸主任研究員、田中 治主任研究員、小松篤司主任研究員、福重直樹主任研究員、藤森英樹上席研究員、寒冷地飼料資源研究チーム 嶺野英子主任研究員および岩手大学動物医科学系 出口義隆博士、熊谷智洋氏には実験の実施に当たり、多大なご支援を頂いた。また、畜産草地研究所非常勤職員 印南キヨ子氏、古川智子氏および東北農業研究センター非常勤職員 長牛和子氏、黒田あや子氏、佐藤幸子氏、飛沢道子氏には分析補助において、多大のご協力をいただいた。ここに記して深く感謝の意を表する。

## II 再貯蔵処理による既存の牧草ロールペールサイレージ調製での細切・高密度処理の活用

### 1 再貯蔵による細切・高密度処理の活用が発酵品質に及ぼす影響

#### 1) 目的

RBSは、材料草が未細切であること、低密度な発酵環境であること、および被覆ラップフィルムが破損しやすいことから、品質安定性を欠き、TMRへの適合性も低いなど発酵品質やサイレージ利用性について欠点を持っている。そこで、RBSとして収穫調製された後に細切して、気密性の優れたサイロに高密度で再貯蔵すれば、より安定した状態で貯蔵をすることが可能となり、TMRへの適用性などの利用性も向上すると考えられる。

そこで本節の試験では、牧草RBSを細切して気密性の優れたサイロ(ドラム缶サイロ)に再貯蔵した場合の発酵品質に及ぼす影響を調査した。

#### 2) 材料と方法

##### (1) 収穫・調製

畜産草地研究所(栃木県那須塩原市)内圃場で栽培された出穂期のイタリアンライグラス(*Lolium multiflorum* Lam.、品種:ニオウダチ)2番草を供試した。1999年6月15日、供試草をモーアコンディショナ(ニューホランド株、KM281)で刈り取り、乾物率40%(軽予乾区)または50%(強予乾区)を目途に予乾した後、ロールペーラ(FERABOLI社、チャンバ径・幅1.2mタイプ、定型式)で各区3個ずつ梱包した。これらのペールはペールラップで4層(重複率50%)にラッピングし、重量を測定した後、積み重ねないで、テグスで鳥害を防いだ状態で

野外に貯蔵した。これらを貯蔵14日、30日および90日経過後にそれぞれ1個ずつ開封し、バールシュレッダ (Berni & A社製、SHARK150) で切断長10cm程度に細断してそれぞれ小型ドラム缶サイロ (35L容) 3個ずつに再貯蔵した。ドラム缶サイロへの詰込み密度はRBSと比べて軽予乾区で約8%増の450kg/m<sup>3</sup>程度、強予乾区で約5%増の370kg/m<sup>3</sup>程度で行った。これらドラム缶サイロは、いずれも14日間の屋内貯蔵を行った後に開封して発酵品質の分析を行った。

### (2) 化学分析

分析用試料として、サイロ表面部分を除去した後に、サイロ毎に上部、中央部および下部の各表層部および中心部から採取してよく混合した後に縮分サンプルを得た。これら試料は60℃で48時間通風乾燥処理した後にメッシュサイズ1mmのふるいを通過する粒度に粉碎し、135℃2時間の熱乾法による水分含量とケルダール法による全窒素含量を測定した。また、20gのサイレージ原物を秤量し、これに4倍量の蒸留水を加えて4℃下で一晩浸漬して作成した抽出液を用いて、ガラス複合電極pHメータによるpHおよび高速BTBポストラベル法による有機酸含量 (大桃ら 1993) ならびに微量拡散法による揮発性塩基態窒素 (VBN) 含量 (自給飼料品質評価研究会 2001) を測定した。

## 3) 結果

### (1) RBSの発酵品質

RBSの発酵品質を表1に示した。軽予乾RBSの乾

物率は35-43%の範囲であり、強予乾RBSの乾物率は49-53%の範囲であった。軽予乾RBSは30日区と90日区で乳酸が2%程度生成され、pHが5程度に低下したが、強予乾RBSは乳酸が1%以下しか生成されず、90日区においてもpHは5.6までしか低下しなかった。酢酸の生成では両予乾RBSで大きな違いは認められず、酢酸含量は0.2-0.3%であった。酪酸は軽予乾RBSの30日区以降に生成が認められ、貯蔵期間を経るに従って増加する傾向があった。一方、強予乾RBSでは酪酸は検出されなかった。プロピオン酸はいずれのRBSからも検出されなかった。全窒素に占めるVBNの割合 (VBN/TN) は両予乾区とも90日区において値が高くなる傾向が認められた。

### (2) 再貯蔵後の発酵品質

ドラム缶サイロへの再貯蔵後のサイレージ発酵品質を表2に示した。再貯蔵後の乳酸含量は軽予乾サイレージで平均4.7%、強予乾サイレージで平均2.9%であり、RBSに比べて大幅に増加した。これに伴い、14日区と30日区の再貯蔵後のpHは軽予乾区で4.1に、強予乾区では4.4程度に低下した。一方、両予乾とも90日区の再貯蔵後のpHはやや高く、軽予乾区で4.3、強予乾区では4.8であった。再貯蔵後の酢酸含量は両予乾区とも再貯蔵前に比べてやや増加する傾向が認められたが、最も増加した軽予乾・14日区でも1.3%に留まった。再貯蔵後の酪酸含量は、再貯蔵前に比べてほぼ変わらず、再貯蔵による影響は見られなかった。プロピオン酸は再貯蔵後においても検出されなかった。VBN/TNは両予乾区とも再貯蔵によってやや増加する傾向が認められたが、

Table 1 The fermentative quality of the round-baled silage at different storage period

	Dry matter (%)		Lactic acid -----(% of DM)-----	Acetic acid	Butyric acid	VBN /TN (%)
		pH				
Mild wilting						
14day	43.1	5.8	0.3	0.1	ND	1.0
30day	35.3	5.1	2.2	0.3	0.5	2.9
90day	35.6	4.9	2.3	0.3	0.7	7.5
Heavy wilting						
14day	51.3	5.8	0.3	0.1	ND	0.7
30day	53.1	5.6	0.8	0.2	ND	0.7
90day	48.9	5.6	0.2	0.1	ND	3.8

VBN : Volatile basic nitrogen, DM : Dry matter, TN : Total nitrogen, ND : not detected.

Table 2 The fermentation quality of the silage after re-ensiling from round bale in drum silo at different storage period by round bale

	Dry matter (%)		Lactic acid -----(% of DM)-----	Acetic acid	Butyric acid	VBN /TN (%)
		pH				
Mild wilting						
14day	42.8	4.1	4.5	1.3	ND	4.1
30day	37.0	4.1	4.4	0.5	0.5	5.6
90day	35.6	4.3	5.2	0.6	0.9	7.8
Heavy wilting						
14day	50.4	4.3	3.3	1.0	ND	1.6
30day	51.2	4.4	2.6	0.3	ND	1.9
90day	50.8	4.8	2.7	0.3	ND	3.9

VBN : Volatile basic nitrogen, DM : Dry matter, TN : Total nitrogen, ND : not detected.

増加割合が大きかった14日区、30日区ではRBSの90日区より低い値であった。

#### 4) 考察

本実験でのRBSの平均乳酸含量は軽予乾区で1.6%、強予乾区で0.4%であった(表1)。Ohmomo *et al.* (2002) の乾物率が40%–50%の範囲の典型的な牧草サイレージでは乳酸が7%程度生成するという報告や増子ら(1988)のバックサイロを用いてイタリアンライグラスを無予乾、乳酸菌無添加で調製すると乳酸が6.6%生成されたとの報告に比べて、本実験でのRBSの乳酸含量は低いことから、乳酸発酵がかなり抑制されていたと推察される。従来からRBSは未細切、低密度で詰め込まれることから乳酸の生成速度が遅く、発酵程度も制限されると指摘されており(萬田 1994、増子 1999)、本実験の結果と一致する。特に、本実験では定径式ベアラを用いてベール成形を行ったため、可変径式ベアラ(芯ありタイプ)を用いた場合よりもベールの梱包密度が低く(増子 1999)、RBSでの乳酸発酵がより一層抑制されたと考えられる。一方、RBSを細断してドラム缶サイロへ再貯蔵した後は、すべての処理区において乳酸含量が増加して、pHが低下した(表2)。この結果は、乳酸発酵が抑制されていたRBSを細断して気密性の高いサイロに再貯蔵することによってサイレージ発酵が促進されることを示唆している。

熊井ら(2000)は、イタリアンライグラスから調製された乾物率50%程度のRBSでは、乳酸菌が無添加の場合、乳酸含量が1%に満たなかったが、選抜された乳酸菌を添加して調製すると4%程度に高まったことを報告している。よって、本実験に示された再貯蔵による発酵促進は、RBSに特有の未細切、低密度、ラップフィルムに由来する不完全な嫌気状態(本田ら 1995)および外気温の影響を受けやすい(野中・名久井 1995)などの不安定なサイロ内環境が、気密性の高いサイロへ再貯蔵することによって改善され、材料草に付着していた乳酸菌が活動できる状態になったことによると推察される。加えて、材料草に細切などの物理的破壊が加わると、植物細胞からの草汁の滲出が促され、乳酸菌の生育が他の微生物よりも相対的に促進されることから(Gibson *et al.* 1961)、再貯蔵処理によって乳酸菌への発酵基質の供給が促されたと考えられる。

RBSにおいては、酪酸発酵を完全に抑制するためには材料の乾物率を40%以上に調整する必要があると指摘されている(McDonald *et al.* 1991)。本実験においても乾物率が40%以下であった軽予乾RBSの30日区および90日区はpHが5程度で酪酸発酵を阻止することができていない(表1)。一方、細断して気密性の高いドラム缶サイロへ再貯蔵した30日区の場合、再貯蔵によって酪酸発酵を抑制するための目標pH値である4.2以下(増子 1999)を示した(表2)。しかし、90日区では再貯蔵を行ってもpHの低下割合が低かったことから、乾物率40%以下のRBSでは早めの再貯蔵処理がその後の酪酸発酵の抑制に有効であると推察される。したがって、本実験結果は、予乾不足などから適切な発酵が期待できない条件で調製されたRBSを長期貯蔵しなければならない場合、単に解体して利用するのではなく、細断して気密性の優れたサイロに再貯蔵して利用することによって、品質の劣化防止が期待でき、RBSの利用性が改善されることを示している。しかし、低い糖含量で30%に満たない乾物率であるなどの気密性の優れたサイロにおいても酪酸が生成されやすい劣悪な材料草条件での再貯蔵による品質改善効果は別途検討を要すると考えられる。

小野寺ら(1970–1972)は、遠距離にある草地の利用性を高めるために、スタックサイロを用いて一時現地にサイレージを調製し農閑期にスタックサイロに移動後、再貯蔵して利用する方法を検討し、再貯蔵後は乳酸含量の減少、酪酸含量の増加、pH上昇など、発酵品質が低下することを報告している。これに対して本実験では、RBSを気密性の高いドラム缶サイロへ細断、再貯蔵することによって乳酸含量の増加とpH低下が得られている。したがって、RBSの細断による乳酸発酵の促進効果を期待する場合には、スタックサイロやバンカーサイロなどの気密性が確保しにくい施設型サイロへの再貯蔵ではなく、本研究で用いたドラム缶サイロのような流通にも適する気密性の高いサイロによって調製しなければならない。以上のことから、イタリアンライグラス2番草を材料草としたRBS調製において、未細切で詰め込み密度が低く、しかもサイロの気密性が低くなりやすいために乳酸生成が抑制される場合があり、このようなRBSを細断して気密性の高いサイロへ再貯蔵することによって乳酸生成とpH低下が促進されることが明らかになった。本試験では、



再生草を用いて、再貯蔵期間を14日間とした結果であることから、1番草などのより高品質な材料草を用いた場合の適応性の検討および最適な再貯蔵期間、開封後の好気変敗に及ぼす影響を検討する必要がある。

## 2 再貯蔵による細切・高密度処理の活用が微生物相および好気的変敗に及ぼす影響

### 1) 目的

前節においては、イタリアンライグラス2番草を材料草としたRBS調製において、未細切で詰め込み密度が低く、しかもサイロの気密性が低くなりやすいため乳酸生成が抑制される場合があり、このようなRBSを細断して気密性の高いサイロへ再貯蔵することによって乳酸生成とpH低下が促進されることを明らかにした。しかし、1番草のように糖含量が高く良好なサイレージ発酵品質が得られやすい材料(大山・小川 1966)を用いた場合の細断・再貯蔵の影響については未検討であった。また、サイレージを再貯蔵する過程で一時的に好気条件下にさらすことになるために、好気的変敗が起こることが懸念される。そこで本節の試験では、イタリアンライグラス1番草を用い、良好な発酵品質が得られたRBSを細断・再貯蔵し、発酵品質および開封後の好気変敗への影響を検討した。

### 2) 材料と方法

#### (1) 収穫・調製

畜産草地研究所内圃場で栽培された出穂期のイタリアンライグラス1番草(品種:ニオウダチ)を供試した。2000年5月16日、供試草をモアコンディショナ(ニューホランド株、KM281)で刈り取り、乾物率40%を目途に予乾した後、ロールベラ(FERABOLI社製、チャンバ径・幅1.2mタイプ、定型式)で3個梱包した。これらベールはベールラップで4層(重複率50%)にラッピングし、重量を測定した後、積み重ねないでテグスで鳥害を防いだ状態で野外に貯蔵し、30日経過後に開封した。開封された各RBSは、それぞれベールシュレッタ(Berni & A社製、SHARK150)で切断長10cm程度に細断して、各8個の小型ドラム缶サイロ(35L容)に詰込んだ。ドラム缶サイロへの詰め込み密度はRBSの平均密度より約9%高い平均432kg/m<sup>3</sup>程度で行った。これらのドラム缶サイロは屋内に貯蔵し、1、3、

5、7、10、30、60、90日経過後に各処理区3個ずつ開封して以下に示す分析を実施した。

#### (2) サイレージの菌数計測

開封された各ドラム缶サイロは、表面部分を速やかに除去した後に、サイレージ以外からの微生物汚染に注意し、サイロ毎に上部、中央部および下部の各表層部および中心部から採取してよく混合した後サイレージ試料の縮分サンプルを得た。これらサイレージ原物10gずつを滅菌蒸留水90mlに浸漬し、良く振った後に抽出液中の菌数計測を以下に示す寒天平板法で実施した。乳酸菌は、MR S寒天培地で30℃2日間嫌気培養して計測した。好気性細菌は、普通寒天培地を用いて30℃2日間培養して計測した。糸状菌と酵母は、酒石酸を添加してpHを3.5に調節したポテトデキストロース寒天培地を用い、30℃2日間培養して計測した。好気性細菌は、普通寒天培地を用いて30℃2日間培養して計測した。これら各微生物の菌数は3反復で計測し、原物1g当たりのコロニー形成数(cfu/g)で示した。

#### (3) サイロ開封後の好気的変敗の測定

原らの方法(原ら 1979)に準じて、サイロ開封後のサイレージ品温の変化を測定することによって好気的変敗の発生を観察した。すなわち、RBS開封時と再貯蔵60日後及び90日後のサイレージを発泡スチロール製容器(5.8L容)に軽く詰め、気温を25℃に設定した室内に放置し、温度センサー(ティーアンドディー、TR-71S)によって1時間毎の温度変化を7日間記録した。

#### (4) 化学分析

収穫作業中、ウインドローから収穫梱包される直前の材料草を適時採取して、良く混合した後に縮分サンプルを得た。材料草の飼料成分分析用試料およびサイレージの乾物率測定と全窒素分析用試料は、60℃で48時間通風乾燥処理した後にメッシュサイズ1mmのふるいを通す粒度に粉碎した風乾物を用い、以下に示す分析に供試した。水分含量は135℃2時間の熱乾法で、粗蛋白質、粗脂肪、総繊維(OCW)、低消化性繊維(Ob)および粗灰分含量を常法(Abe *et al.* 1979、自給飼料品質評価研究会 2001)によって測定した。材料草については、スクロース、グルコースおよびフルクトースを秋山の方法(1999)に従って高速液体クロマトグラフ(HPLC)で測定し、これら3種類の糖の合計値をWSC含量として定量した。また、サイレージのpH、

有機酸含量およびVBN含量は前実験と同様の方法で測定した。

### (5) 統計解析

サイレージのpH、有機酸含量、VBN/TN、V-SCOREおよび菌数の変化は、分散分析により有意性を判断し、LSD法によって平均値間の有意差の検定(新城 1996)を行った。

## 3) 結果

### (1) サイレージ発酵品質

収穫調製時の材料草の成分組成を表3に示した。材料草のWSC含量は予乾サイレージで良好な発酵品質が得られやすいとされている乾物当たり5% (増子 1999) よりも高かった。

開封時のRBSの発酵品質を表4に示した。RBSのpHは4.3-4.4程度で有機酸は乳酸が主体であり、酢酸含量は平均1%以下と低く、プロピオン酸及びn-酪酸は検出されなかった。V-SCOREによる評点でも90点以上を示し、良好な発酵品質であった。

再貯蔵後のサイレージ発酵品質の経日的な変化を表5に示した。再貯蔵後においても、pHはロールベール開封時の値からほとんど変わらなかった。しかし、再貯蔵後30日以降、乳酸含量はやや減少する傾向を示す一方、酢酸含量は増加した(P < 0.01)。VBN/TNは再貯蔵後90日経過しても10%以下であった。V-SCOREは、再貯蔵中に酢酸含量の増加と

Table 3 Chemical composition of ensiling material

Dry matter (%)	Crude protein	Organic cell wall (% of DM)	Ob	WSC
43.8	9.7	61.6	50.1	8.1

DM : Dry matter, Ob : Cellulase-degradable fraction in organic cell wall, WSC : Water soluble carbohydrate.

Table 4 Fermentative quality of silage before re-storage

Bale No.	Dry matter (%)	pH	Lactic acid (%DM)	Acetic acid (%DM)	VBN (%TN)	V-SCORE
1	40.1	4.29	6.44	0.91	6.4	96
2	46.9	4.43	4.60	0.79	5.8	97
3	45.1	4.40	5.73	0.87	6.7	95

VBN : Volatile basic nitrogen, DM : Dry matter, TN : Total nitrogen.

VBN/TNの上昇によって10日目以降に低下(P < 0.01)したものの、再貯蔵期間を通じて「良」と評価される80点以上を維持していた。

### (2) サイレージ微生物

RBS開封時の菌数を表6に示した。乳酸菌数は $10^7$ - $10^8$ cfu/gと高い値を示した。酵母も $10^4$ - $10^5$ cfu/gとやや高い値を示した。一方、カビは3個のRBSの内、1個から検出されたのみであった。

再貯蔵後の菌数の変化を表7に示した。乳酸菌数は再貯蔵期間中を通じて $10^7$ - $10^8$ cfu/gと高い値を示し、特に再貯蔵後30日以降に増加した(P < 0.01)。好気性細菌は再貯蔵直後に増加する傾向があったが、90日経過後の菌数は再貯蔵直後よりも低下する傾向にあった。酵母も好気性細菌と同様に再貯蔵直後にやや増加する傾向にあったが、再貯蔵後30日以

Table 5 Changes in fermentative quality of silage after re-storage

Days	pH	Lactic acid (%DM)	Acetic acid (%DM)	VBN (%TN)	V-SCORE
0	4.37	5.59	0.86 <sup>A</sup>	6.29 <sup>A</sup>	96 <sup>A</sup>
1	4.36	6.13	0.83 <sup>A</sup>	7.10 <sup>AB</sup>	95 <sup>AB</sup>
3	4.37	6.41	0.92 <sup>A</sup>	7.29 <sup>AB</sup>	94 <sup>AB</sup>
5	4.39	6.07	0.90 <sup>A</sup>	7.05 <sup>AB</sup>	94 <sup>AB</sup>
7	4.40	5.58	0.92 <sup>A</sup>	7.22 <sup>AB</sup>	94 <sup>AB</sup>
10	4.31	6.09	0.98 <sup>A</sup>	7.87 <sup>BC</sup>	93 <sup>BC</sup>
30	4.30	5.69	1.33 <sup>B</sup>	8.07 <sup>BC</sup>	91 <sup>C</sup>
60	4.31	5.35	2.57 <sup>C</sup>	7.76 <sup>BC</sup>	87 <sup>D</sup>
90	4.34	4.74	3.32 <sup>D</sup>	8.81 <sup>C</sup>	83 <sup>E</sup>
SEM	0.04	0.47	0.10	0.33	0.63
Significance	NS	NS	**	**	**

VBN : Volatile basic nitrogen, DM : Dry matter, TN : Total nitrogen, A, B, C, D, E : Values in the same column with different superscripts significantly different (P < 0.01), SEM : standard error of the mean (n=3), NS : not significant, \*\* : Significantly different (P < 0.01).

Table 6 Microbial cells of the silage before re-storage

Bale No.	Lactic acid bacteria	Aerobic bacteria	Yeast	Mold
----- (log cfu/gFM) -----				
1	7.8	4.6	4.4	ND
2	7.3	4.9	4.9	ND
3	8.0	6.3	6.2	4.4

cfu : colony forming unit, FM : Fresh matter, ND : not detected (<2).



降は減少し、特に60日以降は大きく減少した ( $P < 0.01$ )。糸状菌はロールRBSの開封時には若干存在していたが、再貯蔵3日後以降検出されなくなった。

RBS開封時及び再貯蔵90日後のサイレージ開封後の温度変化を図1に示した。RBSでは開封1日後以降顕著な温度上昇が認められ、2日後までに30℃以上に達した。再貯蔵したサイレージでは開封後7日間の測定期間中温度上昇は認められなかった。

#### 4) 考察

再貯蔵に用いたRBSの乳酸含量は乾物中5 - 6%であり(表4)、前節の再貯蔵後のサイレージで得られた乳酸含量以上の値を示していた。このように乳酸含量が高く、サイレージ発酵品質の良好なRBSを細断して、気密性の高いサイロに再貯蔵すると、前節の実験で観察されたような著しい乳酸含量の増加は観察されなかった。しかし、90日間の再貯蔵後においてもpH上昇や酪酸生成等のサイレージ発酵品質の低下は認められなかった(表5)。また、再貯蔵後の特徴ある現象として、再貯蔵期間を経るに従って乳酸含量がやや低下し、酢酸含量が増加することが観察された。再貯蔵期間を14日間とした前節の実験においても酢酸含量の僅かな増加は観察されたが、再貯蔵90日後まで観察した当実験では、再貯

蔵30日後以降に酢酸の増加が顕著になることが認められた(表5)。

イネ科牧草のように糖の主成分がフルクトースである場合、ヘテロ型発酵乳酸菌がサイレージ発酵で優勢になると酢酸含量が高まることが報告されている(McDonald *et al.* 1991)。また、ヘテロ型発酵乳酸菌である*L. buchneri*が嫌気条件下で乳酸を代謝して酢酸を生成することが明らかにされており(Oude Elferink *et al.* 2001)、この*L. buchneri*の接

Table 7 Changes in microbial cells of the silage after re-storage

Days	Lactic acid bacteria	Aerobic bacteria	Yeast	Mold
	(log cfu/gFM)			
0	7.71 <sup>A</sup>	5.25 <sup>AB</sup>	5.18 <sup>AC</sup>	1.45
1	7.76 <sup>A</sup>	6.35 <sup>B</sup>	6.47 <sup>A</sup>	1.58
3	7.82 <sup>AD</sup>	6.48 <sup>B</sup>	6.58 <sup>A</sup>	ND
5	7.68 <sup>A</sup>	6.44 <sup>B</sup>	6.43 <sup>A</sup>	ND
7	7.67 <sup>A</sup>	5.99 <sup>BCD</sup>	6.25 <sup>A</sup>	ND
10	7.79 <sup>A</sup>	6.35 <sup>BC</sup>	6.49 <sup>A</sup>	ND
30	8.71 <sup>B</sup>	4.75 <sup>AD</sup>	4.51 <sup>BC</sup>	ND
60	8.59 <sup>BC</sup>	4.13 <sup>A</sup>	1.20 <sup>D</sup>	ND
90	8.24 <sup>CD</sup>	4.15 <sup>A</sup>	0.68 <sup>D</sup>	ND
SEM	0.10	0.31	0.40	—
Significance	**	**	**	—

cfu : colony forming unit, FM : Fresh matter, A, B, C, D : Values in the same column with different superscripts significantly different ( $P < 0.01$ ), ND : not detected ( $< 2$ ), SEM : standard error of the mean ( $n=3$ ), \*\*: Significantly different ( $P < 0.01$ ).

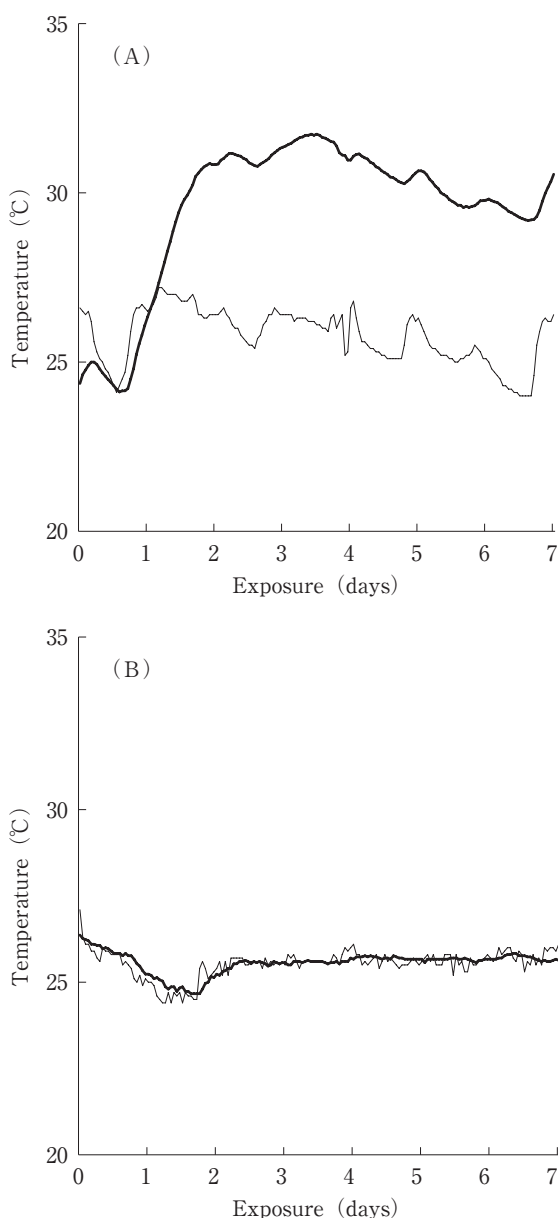


Fig. 1 Changes in temperature of the silage before (A) or after (B) re-storage during exposure to the air.

— ambient, — silage.

種によって、サイレージ中の酢酸含量が顕著に増加することも報告されている (Danner *et al.* 2003、Driehuis *et al.* 1999)。本研究ではサイレージ中の乳酸菌種については調べていないが、4.3程度の低いpHでしかも嫌気的な条件下という乳酸菌以外の菌が活発に代謝を行いにいと考えられる条件 (McDonald *et al.* 1991) で乳酸含量が減少して酢酸含量が増加している点や上記の報告を考慮するならば、*L. buchneri*のような酢酸生成能の高いヘテロ型発酵乳酸菌が再貯蔵後にサイレージ中で優勢となり、酢酸含量が増加したと考えるのが最も妥当と思われる。

予乾した牧草を簡易なビニールスタックサイロで調製後、他のビニールスタックサイロに移し替えて再貯蔵した場合、開封後の好気的変敗が起りやすいことが報告されている (小野寺ら 1972)。これに対して本研究では、再貯蔵60日後および90日後のサイレージは、サイロ開封後7日間にわたり好気的微生物の増殖に伴うサイレージ品温の上昇 (原ら 1979) が認められず、好気的変敗が抑制されているのが認められた (図1、再貯蔵60日後のデータは表示せず)。この原因として、サイレージの好気的変敗に主要な役割を果たす酵母 (原ら 1979) が、再貯蔵中に減少したことが考えられる。酵母は好気条件下では酢酸を消費できるが、嫌気度の高いサイロ内では酢酸によって生育が抑制されるため (Woolford 1984)、サイレージ中の酢酸含量が増加すれば好気的変敗が抑制されることが報告されている (Danner *et al.* 2003、Pahlow and Zimmer 1985、Woolford 1984)。このことから当実験においても、RBSを気密性の高いドラム缶サイロへ再貯蔵することによって、まず糸状菌が速やかに減少し、その後、嫌気度の高い条件下で酢酸含量が増加することによって酵母が減少し、好気的変敗が抑制されたものと考えられた。酵母はRBS開封時から再貯蔵10日後までは $10^5$ cfu/g以上の高い菌数を示したが、再貯蔵30日後以降は $10^5$ cfu/g以下に減少し、特に再貯蔵60日後以降には著しく減少する事が観察された (表7)。サイレージ中の酵母数が $10^5$ cfu/g以下ならば好気的変敗に対する安定性が向上するので (Pahlow・Zimmer 1985)、30-60日以上再貯蔵を行うことによって開封後の好気的変敗を防止でき得ることが示唆された。

以上のことから、良好な発酵品質のRBSを、気密

性の高いサイロに再貯蔵することによってサイレージ発酵品質が保持されるだけでなく、サイロ開封後の好気的変敗の防止も可能になることが明らかとなった。よって、バール毎に品質が変動しやすい欠点 (糸川ら 1995、増子 1999、名久井 1996) を持つRBSにおいても、様々な品質のRBSを細断・再貯蔵することによって発酵品質を安定させ、かつ開封後の好気的変敗が抑制された細切サイレージとして利用できると思われる。

### 3 再貯蔵時の濃厚飼料添加による品質改善

#### 1) 目的

前節では、RBS調製において、未細切で詰め込み密度が低く、しかもサイロの気密性が低くなりやすいために乳酸生成が抑制される場合があり、このようなRBSを細切して気密性の高いサイロへ再貯蔵することによって乳酸生成とpH低下が促進されることが明らかになった。また、良好な発酵品質のRBSにおいても、細断・再貯蔵処理によって、サイレージ発酵品質が保持されるだけでなく、サイロ開封後の好気的変敗の防止も可能になることが示された。すなわち、バール毎に品質が変動しやすい欠点を持つRBSにおいても、様々な品質のRBSを細切・再貯蔵することによって発酵品質を安定させ、かつ開封後の好気的変敗が抑制された細切サイレージとなることから、TMRへの適合性が高まると考えられる。ただし、低い糖含量で70%を越える高水分であるなど、劣悪な発酵条件では細切・再貯蔵による品質改善効果は期待できないことから、添加物などの対策が別途必要と考えられる。

牧草サイレージをTMRの粗飼料源にする場合、通常は給与直前に濃厚飼料と混合する。TMR供給センターでは、一度に多量のTMRを調製して遠方に配送する場合、粗飼料と濃厚飼料を混合し、配送用のパッケージに密封することによって、TMRをサイレージ化 (発酵TMR化) して配送することが行われている (阿部 2000)。その濃厚飼料 (穀物) は、発酵品質改善と排汁を抑制する添加物として知られている (McDonald *et al.* 1991)。また、サイレージへの濃厚飼料の添加は、嗜好性を向上させる (高野・山下 1990)。よって、牧草サイレージが不十分な予乾条件で調製された場合、速やかに細断して多量の濃厚飼料を混合し、発酵TMRとして再貯蔵した場合、貯蔵中の品質劣化、特に嗜好性の低下

が抑えられると期待できる。当実験では、この仮説を検証するためにサイレージ材料に広く用いられる牧草のうち、オーチャードグラスを選んだ。オーチャードグラスは、他の寒地型牧草と比べて、サイレージ発酵に重要な可溶性炭水化物含量が低くなる傾向があり、再生草では特にその傾向が強くなると報告されている（大山・小川 1966）。そこで、オーチャードグラスから発酵品質が低いグレードのRBS（特に2番草では劣悪なRBS）を調製するために、無予乾で収穫して実験に用いた。そして、不十分な予乾によって調製された牧草RBSの細切・再貯蔵処理において、品質劣化防止対策としての穀物添加の効果を検討した。

## 2) 材料と方法

### (1) TMR調製

畜産草地研究所（栃木県那須塩原市）の圃場で栽培されたオーチャードグラス（*Dactylis glomerata* L.、品種：ナツワカバ）を供試した。2002年6月5日に1番草（開花期）を、また7月30日に2番草（出穂期）をモーアコンディショナ（ニューホランド株、KM281）で刈り取り、無予乾でロールベラ（FERABOLI社製、チャンバ径・幅1.2mタイプ、定型式）で5個ずつ梱包収穫した。これらのRBSのうち収穫40日後に3個ずつをベールカッタ（berni A・Figli社製、SHARK150）で約10cmに細断した後に、良く混合した。次に、これら細断サイレージは、粉状の濃厚飼料（トウモロコシ40%、大麦30%、フスマ16%、ヌカ6%、大豆粕6%および2%の炭酸カルシウムと塩）と混合した。混合比率は、混合物1kgあたりサイレージ750g（原物）に対して濃厚飼料250g（原物）とした。これら混合物は速やかに200L容ドラム缶サイロに密封し、嗜好性試験に用いるまで発酵TMRとして貯蔵した。この発酵TMR調製に用いたものを除いた残り2個のRBSを用いて、嗜好試験を開始する直前に発酵TMR調製と同様の方法でフレッシュTMRを調製した。両番草の嗜好試験の実施にあたり、同じ牛を用いて同一時期に行うことを目指した。このため、1番草では収穫132日後、2番草では収穫80日後となった。

### (2) 嗜好性試験

6頭のホルスタイン種乾乳牛（平均体重583kg）を嗜好性試験に使用した。嗜好性試験は、林ら（1965）の「二者択一法」を修正して用いた。すなわち、そ

れぞれの牛の飼槽にフレッシュTMRおよび発酵TMRを乾物で4kgずつ入れた1組のコンテナを準備し、3日間、両TMRを午前9:00より120分間同時に採食させ、採食量を測定した。コンテナの右左の位置関係によるいかなる採食行動の抑制を避けるために、測定時間中10分ごとにコンテナの左右を入れ替えた。試験牛の120分間の総採食量は4-6kgであり、一方のTMRを120分以内に採食しきってしまった場合は、その時点で採食を終了させた。毎日の採食試験の後、オーチャードグラスサイレージと濃厚飼料を主体とするTMR、水および鉱塩を自由に摂取させて栄養要求を満たした。この嗜好試験で得られた総乾物摂取量に占める発酵TMRの割合を嗜好度（Bell 1959）として示した。嗜好度の程度は、Goatcher・Churchの方法（1970）によって判断した。すなわち、嗜好度の20%、40%、60%および80%を拒否閾値、下限拒否閾値、上限拒否閾値、嗜好閾値と定義し、20%以下、20%以上40%未満、40%以上60%未満、60%以上80%未満および80%以上をそれぞれ強い拒否範囲、弱い拒否範囲、未反応範囲、弱い嗜好範囲、強い嗜好範囲と定義した。なお、本実験の動物試験は、畜産草地研究所動物実験指針（2002年9月26日施行）に準じて実施した。

### (3) 化学分析

RBSの分析サンプルは、それぞれのベールを解体・細切した後に採取した。TMRのサンプルは、嗜好性試験に用いるために良く混合した後に採取した。これらRBSとTMRサンプルは、70℃48時間の熱乾法によって乾物率を測定すると共に、メッシュサイズ1mmのふるいを通過する粒度に粉碎して、粗蛋白質、粗灰分、OCWとObおよびサイレージのpH、有機酸、VBN含量を前実験と同様に測定するとともに、V-SCORE（自給飼料品質評価研究会 2001）を計算した。

### (4) 統計解析

RBSおよびTMRの化学成分および発酵品質のデータを二元配置分散分析によって解析した。嗜好度は、平均値と95%信頼限界で示した。これら統計解析は、StatMate III software program（株アトムス）によって行った。

## 3) 結果

RBSの飼料成分含量と発酵品質を表8に示した。乾物率を除いた化学成分において、1番草と2番草

で有意な差があった。開花期で収穫された1番草RBSは伸長期で収穫された2番草RBSよりも、有意に低い ( $P < 0.01$ ) 粗蛋白質含量と有意に高い ( $P < 0.01$ ) 細胞壁成分含量を持っていた。両番草とも、発酵TMR用に開封した時とフレッシュTMR用に開封したときとでは飼料成分含量に有意な差は無く、交互作用も認められなかった。ところが乳酸と酢酸の含量は、2番草が1番草よりも有意に高かった ( $P < 0.01$ )。特に2番草の乳酸は1番草の常に2倍以上の値であった。2番草の酪酸含量(新鮮物中%)

は、検出されないか0.03%と低く保たれていた。一方、1番草の酪酸含量は、発酵TMR調製時では0.05%と微量であったが、フレッシュTMR調製時には0.45%に高まった。VBN含量は1番草のフレッシュTMR調製時が最も高い傾向にあった ( $P = 0.12$ )。2番草のV-SCORE評価は、一貫して良 (> 80) に保たれていた。一方、1番草では貯蔵中に良 (> 80) から不可 (< 60) へと低下した。

発酵TMRとフレッシュTMRの飼料成分含量と発酵品質を表9に示した。1番草と2番草との間に、

**Table 8** Feed compositions and fermentative characteristics of the round-baled silage of orchardgrass used for the processing of total mixed ration

	First cutting		Second cutting		Significance <sup>††</sup>		
	40-d	132-d	40-d	80-d	Cutting	Storage	Interaction
	storage <sup>†</sup>	storage <sup>†</sup>	storage <sup>†</sup>	storage <sup>†</sup>			
Dry matter (%)	36.5	34.9	31.5	29.8	NS	NS	NS
Crude protein (%DM)	9.1	9.0	17.1	17.9	**	NS	NS
Organic cell wall (%DM)	75.2	78.1	67.6	65.9	**	NS	NS
Organic b fraction (%DM)	65.0	67.9	57.0	56.7	**	NS	NS
Crude ash (%DM)	6.0	5.8	10.8	10.9	**	NS	NS
pH	4.46	4.47	4.57	4.37	NS	NS	NS
Lactic acid (%FM)	0.90	1.00	1.91	2.73	**	*	*
Acetic acid (%FM)	0.16	0.31	0.43	0.78	**	**	NS
n-Butyric acid (%FM)	0.05	0.45	ND	0.03	*	*	*
VBN (%TN)	9.06	13.04	8.81	7.44	NS	NS	NS
V-SCORE	88	43	90	89	**	**	**

The values shown are the means of the values for 2 or 3 round bales.

<sup>†</sup> 40-d storages were used for fermented TMR processing, and 132-d and 80-d storages were used for fresh TMR processing.

<sup>††</sup> \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , NS:  $P \geq 0.05$ .

DM: dry matter, FM: fresh matter, VBN: volatile basic nitrogen, TN: total nitrogen, ND: not detected.

**Table 9** Feed compositions and fermentative characteristics of fermented and fresh total mixed ration

	First cutting		Second cutting		Significance <sup>†</sup>		
	Fermented	Fresh	Fermented	Fresh	Cutting	TMR type	Interaction
	TMR	TMR	TMR	TMR			
Dry matter (%)	50.4	46.3	42.1	42.6	**	NS	NS
Crude protein (%DM)	10.6	9.2	16.4	14.6	**	NS	NS
Organic cell wall (%DM)	56.9	60.1	49.6	45.8	**	NS	*
Organic b fraction (%DM)	46.3	51.9	41.0	38.7	**	NS	*
Crude ash (%DM)	6.0	5.9	9.1	8.3	**	NS	NS
pH	4.05	5.34	4.06	5.02	NS	**	NS
Lactic acid (%FM)	4.53	0.85	5.38	2.65	**	**	NS
Acetic acid (%FM)	0.50	0.22	0.89	0.75	**	**	NS
n-Butyric acid (%FM)	0.18	0.27	0.03	0.04	**	NS	NS
VBN (%TN)	11.24	10.38	8.76	10.1	NS	NS	NS
V-SCORE	68	67	85	83	**	NS	NS

The values shown are the means of the results obtained for 2 repetitions.

<sup>†</sup> \*:  $P < 0.05$ , \*\*:  $P < 0.01$ , NS:  $P \geq 0.05$ .

DM: dry matter, FM: fresh matter, VBN: volatile basic nitrogen, TN: total nitrogen, ND: not detected.



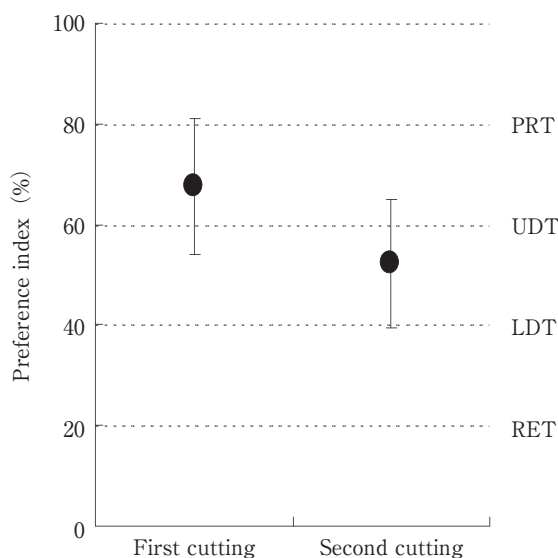


Fig. 2 Preference response of fermented TMR to non-fermented TMR by dry cow

PRT : Preference threshold.

UDT : Upper discrimination threshold.

LDT : Lower discrimination threshold.

RET : Rejection threshold.

Data represent means  $\pm$  95% confidence interval of 6 animals.

すべての飼料成分含量に有意差が認められたが、発酵TMRとフレッシュTMRの間に、飼料成分組成に有意差は認められなかった。OCWとObには、交互作用が認められた。しかし、両番草とも発酵TMRとフレッシュTMRのOCWとOb含量の差は3 - 5%と小さかった。発酵産物に関しては、RBSと同様に乳酸、酢酸、酪酸含量およびV-SCORE評点について番草間に有意な差 ( $P < 0.01$ ) が認められた。発酵TMRとフレッシュTMRの間では、両草種とも発酵TMRはフレッシュTMRと比べて、乳酸を2倍以上含み、pHが1程度低かった。1番草において、フレッシュTMRの酪酸含量が発酵TMRのものより高い傾向があった。これら発酵産物の差には交互作用が認められなかった。

発酵TMRの選好指数と95%信頼区間を図2に示した。1番草では、牛の発酵TMRに対する選好指数の平均値は67%であり、弱い嗜好反応を示したと判断された。2番草では発酵TMRの選好指数の平均値は52%であり、嗜好性の差が無いと判断された。

#### 4) 考察

TMRの採食性は、混合される粗飼料の質に大きく支配されるため、その粗飼料には採食性の高さが

要求される (阿部 2000)。粗飼料の採食量は、家畜側の消化管の物理的容量とともに飼料特性によって制限を受ける (Conrad *et al.* 1964)。飼料特性とは、消化管の充満度に影響する繊維含量や消化速度や消化管通過速度と密接に関係している (Mertens 1987)。このため、牧草サイレージの採食量においても、繊維含量や消化率は最も重要な要因として挙げられている (Steen *et al.* 1998)。しかし、本研究では比較した対照TMRと発酵TMRでは総繊維や難消化性繊維含量の差が小さいこと (表9)、また、3日間の短期間における二者択一の選択採食量であることから、両TMRの採食性の差は、RBSとTMRの二つのサイレージ発酵が影響したと推測した。両実験とも、TMRのサイレージ発酵によって、乳酸と酢酸含量が増加してpHが低下した (表9)。これらの差は、両草種で同様の傾向であった。一方、TMRの粗飼料源であるRBSには発酵品質の差が認められた。2番草RBSは予想外に発酵品質が優れていたため、発酵品質が劣ったRBSは1番草のみであった (表8)。このため、RBSの乳酸含量と酪酸含量に差が見られた。特に、フレッシュTMR用のRBSで差が著しかったため (表8)、このRBSの嗜好性の差がTMRの嗜好性に影響を及ぼしたと考えられた。有機酸やpHのサイレージ採食量に及ぼす効果は多様である。乳酸は、有機酸中濃度として表示されるとき、採食量と正の相関があるが (Wilkins *et al.* 1971)、乳酸自身の含量は摂取量に影響しない (McDonald *et al.* 1991)。酢酸は採食量に抑制的に働くが (Wilkins *et al.* 1971)、乳酸の存在でその効果は容易に打ち消される (Buchanan-Smith 1990)。サイレージのpH値は単独では摂取量の規制要因とならず、その影響は間接的である (Wilkins *et al.* 1971)。酪酸の添加が採食量に及ぼす影響を調べたSenel・Owenの研究 (1966) によれば、1%の酪酸を添加してもジャージー牛の採食量は低下しなかった。また、羊を用いた実験では、1%を超える量の酪酸を添加しても嗜好性には影響しない結果が得られている (Buchanan-Smith 1990、Gherardi・Black 1991、中田ら 1997)。このように、サイレージ採食量とpH値や酪酸を含む有機酸含量自身との関係は有意ではあるが相対的に低い (Steen *et al.* 1998)。よって、TMRを発酵させることは採食性に悪影響を及ぼさないと考えられ、本研究結果からも発酵



TMRはフレッシュTMRと同等以上の嗜好性であることが示唆された。

当実験では、1番草の発酵TMRはフレッシュTMRよりも嗜好性が優れる傾向にあり、2番草では両TMRの嗜好性に差は認められなかった(図2)。1番草と2番草で最も大きく異なった点は、フレッシュTMR調製用のRBSの発酵品質であった。2番草RBSは、1番草よりも低い発酵品質のRBSが得られると予想した。しかしながら、2番草からは予想外にV-SCORAEの高いRBSが得られた。発酵TMR用の1番草RBSのV-SCOREは、2番草と同じであった(表8)。フレッシュTMR調製用RBSでは、1番草のV-SCOREが2番草よりも著しく低かった(表8)。よって、1番草のフレッシュTMRの嗜好性の低下は、フレッシュTMR調製用RBSの発酵品質の低下に起因することが示唆された。

神経薬理学的な効果がある様々な潜在的採食抑制剤であるアミン類やヒスタミンなどがサイレージ中に存在することが認められている(Clancy *et al.* 1977、Neumark・Tadmor 1968)。これらのアミン類やヒスタミンはサイレージ発酵におけるタンパク分解によって生じ、主に酪酸発酵サイレージにおいて検出される(Ohshima *et al.* 1979)。1番草においては、フレッシュTMR用の材料となったRBSは発酵TMR用に供したのものよりも酪酸含量と総窒素に占めるアンモニア態窒素が高い傾向があったことから(表8)、酪酸菌の活性が高く、タンパク分解が発生していたことが示唆される。本実験ではアミン類は測定していないが、1番草のフレッシュTMRの嗜好性を低下させた原因として、RBSの酪酸発酵に起因するアミン類の増加が考えられる。1番草のフレッシュTMR向けのRBSは、RBSとしての貯蔵中に酪酸発酵が助長されてタンパク分解が進み、嗜好性に悪影響を及ぼす窒素化合物を含むようになった。1番草の発酵TMR向けのRBSは早期にTMR化されることによって、濃厚飼料による水分調整と発酵基質の供給によって、その後の貯蔵中の酪酸発酵が抑制されたと推察される。これらの結果から、牧草サイレージが不十分な予乾条件で調製された場合、多量の濃厚飼料を混合し、発酵TMRとして速やかに保存された場合、貯蔵中の品質劣化、特に嗜好性の低下を抑える効果的な対策であることが明らかとなった。

### III 細切・高密度処理による飼料イネロールベールサイレージの発酵改善

#### 1 細断型ロールベラで調製した飼料イネロールベールサイレージの発酵品質

##### 1) 目的

飼料イネは概してRBSに調製されているため、特にRBSにおける高品質サイレージ調製技術が重要である。しかしながら、飼料イネは乳酸の生成量が少ないことが知られており、劣質な発酵品質のサイレージが調製されやすい(後藤 2001)。このため添加物などによる乳酸発酵の促進なしには良好な飼料イネサイレージの貯蔵は困難とされる(蔡 2001)。材料草を細切して高密度に梱包した場合、植物細胞からの草汁の滲出が促され、乳酸菌の生育が他の微生物よりも相対的に促進される(Gibson *et al.* 1961)。飼料イネの収穫に用いられている従来型のロールベラでの調製では材料草は無細切または長い切断長であり、この条件では乳酸生成スピードが遅く、乳酸生成量も低くなることが示されている(萬田 1994)。一方、細切されたトウモロコシなどの長大型作物を高密度なロールベールに成形できる細断型ロールベラ(志藤・山名 2002)が開発され、普及が期待されている。この細断型ロールベラを飼料イネの収穫調製に用いれば、細切・高密度処理によって従来型のロールベラでは不十分であった草汁の滲出が促され、乳酸発酵が促進されることが期待される。

そこで本試験では、飼料イネのサイレージ調製に細断型ロールベラを適用し、調製された細断型RBSの発酵品質と化学成分、および肥育牛による採食量を従来型ベラによる無細切型RBSと比較し、飼料イネRBS調製における細切・高密度処理の効果を検討した。

##### 2) 材料と方法

###### (1) 収穫・調製

東北農業研究センター(岩手県盛岡市)内圃場において直播栽培された黄熟期のイネ(*Oryza sativa* L、品種:あきたこまち)を供試した。2003年9月24日にバインダー(ヤンマー製BE-65)で収穫した材料を圃場外に搬出し、2条刈りコーンアタッチメントを装着したシリンダ型フォレージハーベスタ(ニューホランド株、Mode 1790、設定切断長16m

m)に投入して、細断型ベアラ(タカキタ株、MR-810、チャンバ径0.80m・幅0.85m)の荷受ホッパに細断材料を吹き込んで細断型ベール2個(重量257kgおよび239kg)を調製した。また、同年9月29日には自脱型コンバイン(クボタ製AR-43)で刈り倒した材料をカッティング機構の無い自走式ロールベアラ(タカキタ株、SR1200、チャンバ径・幅1.2m、定径式)でピックアップして、従来型ベール2個(重量495kgおよび500kg)を調製した。これらベールはベールラッパで6層(重複率50%)にラッピングされた後、梱包密度を算出するために重量、周囲長および高さを計測して、積み重ねないでテグスで鳥害を防いだ状態で野外に貯蔵した。2004年2月9日に細断型RBS、同年2月23日に従来型RBSを開封し、以下に示す肥育牛による採食試験および化学分析に供試した。

### (2) 採食試験

各RBSを25か月齢の去勢黒毛和種牛3頭(平均体重583kg)に1日当たりビタミンAを含まない肥育牛用配合飼料7kgとともに2週間飽食給与し、前半の1週間は馴致期、後半の1週間は本試験期として自由採食量を測定した。慣行法では肥育後期のこの時期には濃厚飼料を多給するが、本実験ではサイレージを飽食させるために配合飼料を7kgに制限したため、配合飼料はほぼ全量採食された。

### (3) 化学分析

分析用試料はカビ汚染を確認した後に、ベール表面部分を除去し、ロール毎にベール上部、中央部および下部の各表層部および中心部から採取してよく混合した後に化学分析用の縮分サンプルを得た。これら試料は60℃で48時間通風乾燥処理した後にメッシュサイズ1mmのふるいを通過する粒度に粉碎し、以下の化学分析に供した。水分含量は135℃2時間の熱乾法で、粗蛋白質、粗脂肪、OCW、Ob、サイレージのpH、有機酸、VBN含量を前実験と同様に測定するとともに、V-SCOREを計算して発酵品質を評価した。

### (4) 統計解析

肥育牛への採食試験において、回収された残飼からサイレージを分別し、各サイレージの代謝体重あたりの日乾物採食量を求め、t検定(新城 1996)によって有意性を検討した。

### 3) 結果

表10にRBSの乾物密度、発酵品質、飼料成分および肥育牛による採食量を示した。乾物密度は従来型RBSが157kg/m<sup>3</sup>であったのに対し、細断型RBSではその約1.2倍の193kg/m<sup>3</sup>となった。粗蛋白質や繊維含量等の飼料成分は、調製方法による違いは小さかった。また目視によるカビ汚染は両RBSともに認められなかった。化学成分値と異なり、発酵産物含量には調製方法間に大きな差が認められた。すなわち、従来型RBSは乳酸含量が新鮮物中0.2%と低いうえ、pHも5.7と高く、若干の酪酸生成が認められたのに対し、細断型RBSでは乳酸含量が0.9%に高まり、pHが4.1に低下して酪酸の生成も認められなかった。ただし、VBN/TNは両タイプとも3-3.5%と低い値であった。V-SCOREによる評価は両タイプとも、良(80<)と判定される品質であった。肉用牛における自由採食量は、両タイプ間に有意差は認められなかった。また、実験期間中に食滞などは観察されなかった。

**Table 10** Dry matter density, chemical composition, fermentative quality, and of voluntary dry matter intake in beer cattle of forage paddy rice silage prepared using a round baler for chopped material (Chopped) or a conventional round baler (Conventional)

	Conventional	Chopped
Dry matter density (kg/m <sup>3</sup> )	157	193
Dry matter (%)	42.8	42.4
Crude protein (%DM)	6.2	5.6
Ether extract (%DM)	2.5	2.2
Organic cell wall (%DM)	46.4	44.3
Ob (%DM)	41.6	39.3
Crude ash (%DM)	14.2	12.8
pH	5.7	4.1
Lactic acid (%FM)	0.18	0.87
Acetic acid (%FM)	0.12	0.12
Propionic acid (%FM)	ND	ND
n-Butyric acid (%FM)	0.02	ND
VBN/TN (%)	3.0	3.5
V-SCORE	98	100

Voluntary dry matter intake (g/W<sup>0.75</sup>)<sup>†</sup> 25.1 ± 2.2 25.9 ± 1.7

Mean of 2 round bales, DM : dry matter, Ob : Organic b fraction.

<sup>†</sup>Data represent means ± standard error of 3 animals. Mean values are not significantly different.

#### 4) 考察

飼料イネは、付着乳酸菌やその発酵基質である可溶性炭水化物が少ないことから、良質サイレーズの調製が難しい作物とされている(蔡 2001)。本実験における従来型RBSの乳酸含量の低さとpHの高さは、飼料イネのサイレーズ調製における問題点を端的に示し、これとの比較における細断型RBSの乳酸含量の上昇とpHの低下は、細断された材料草を高密度に梱包可能である細断型ペーラの導入が飼料イネサイレーズの乳酸発酵促進にきわめて効果的であることを示した。

上述のように細断型ロールペーラによる調製が乳酸発酵を促進させる効果をもつことは確認されたが、本実験においては従来型RBSにおいても酪酸含量が低かったことから、乳酸発酵の促進による酪酸発酵の抑制効果は明確ではなかった。本実験の材料イネは水分が低下した黄熟期に収穫されたものであった。酪酸菌は、水分に対する感受性が高く、水分低下によって活性が抑制されやすくなるため(Woolford 1984, Jonsson *et al.* 1990)、本実験での従来型RBSの低い酪酸含量は材料イネの水分含量に起因すると考えられた。一方、細断型RBSの乳酸含量は従来型よりも大幅に増加していた。乳酸菌は酪酸菌と異なり、低水分条件に対して比較的高い抵抗力を有しているため(Woolford 1984)、本実験の水分条件でも乳酸菌の増殖は妨げられなかったであろう。従来型ロールペーラによる調製は、乳酸発酵が促進されずpH低下が6程度であったが、細断型ロールペーラを用いた細切・高密度調製では乳酸発酵が促進されてpHが4.1にまで低下していた。飼料イネは茎が堅く中空であるために保有する空気量が多いことから、好気性微生物が増殖しやすい特性をもっており(永西・四十万谷 1998、蔡 2001)、蔡ら(2003)の報告に見られるようにpHが5程度の飼料イネRBSでは長期貯蔵時に糸状菌の増殖が認められるなど、その品質安定には十分なpHの低下が重要である。本実験は9月から翌年2月までの比較的短期間の貯蔵であったため、乳酸発酵が促進されなかった従来型RBSにおいてもカビ汚染は認められなかった。蔡ら(2004)が生産現場における飼料イネRBSを調査した報告によれば、乳酸発酵が不十分な場合、収穫翌年の夏に高頻度にカビに汚染されることが示されている。よって、pHが6程度と高く、細断型と比べて密度も低い従来型RBSにおいて

は、収穫翌春以降の高温期を経過するような長期貯蔵では、カビによる汚染が懸念される。

牛による自由採食量は従来型RBSと細断型RBSの間で差が認められなかった。細断型ロールペーラでトウモロコシを調製した場合、チャンバ内から材料が2%程度こぼれ落ちる梱包損失が発生することが報告されている(志藤 2003)。本実験では梱包損失を測定せず観察するに止まったが、トウモロコシと同様の低い損失程度で、特に子実の損失が多く見られることはなかった(データ表示せず)。化学成分値の比較においても、細断型RBSの繊維成分含量が従来型と比べて高い傾向はなく、細切による子実部分などの繊維成分が低い部位の損失は懸念する必要が無いと考えられた。サイレーズの採食性を低下させる要因としては繊維含量の増加や消化率の低下が挙げられる(Steen *et al.* 1998)。よって、本実験では両サイレーズ間の化学成分値、特に繊維含量にはほとんど差がなかったことから、採食量に対する収穫損失の影響は無かったと考えられる。サイレーズにおいて、化学成分値以外に採食量に影響を及ぼすと考えられる要因として発酵過程で生じる生成物、特に蛋白質の分解によって生じるアミン類などが挙げられる(Clancy *et al.* 1977)。本実験における細断型と従来型RBSにおいて、乳酸含量にこそ大きな差がみられたが、従来型でも酪酸含量やVBN/TNが低かったので、蛋白質をはじめとする栄養成分の分解をもたらす不良な発酵も進まなかったものと推定される。萬田(1994)は切断サイレーズでは密封初期に乳酸が多量に生成される材料草でも、無切断のRBSに調製すると乳酸生成が十分に行われず、酪酸が次第に生成されていくと報告している。酪酸はサイレーズの熟成段階で特に高まりやすい(Woolford 1984)。実際、金谷ら(2008)の報告に見られるように、本実験と同程度の乾物率の生稲ワラRBSにおいて、貯蔵4ヶ月時点では酪酸含量が低かったが貯蔵8ヶ月および13ヶ月後には酪酸含量が高まる現象が示されている。本実験での従来型RBSは密度が低くpHが高いため、酪酸発酵が抑制されにくいと考えられ、長期貯蔵時の栄養価や採食性への悪影響が懸念される。一方、細断型RBSは密度が高く、pHは望ましくない微生物の増殖の阻止が可能とされる4.2(増子 1999)よりも低下しており、長期貯蔵時においても品質安定性が高いと考えられる。よって、収穫翌春以降の高温期を経過す



るような長期貯蔵では、本実験の従来型RBSのような高いpHではサイレージの品質保持は難しく、栄養価や採食性にまで悪影響を及ぼすと考えられ、その場合、細断型ロールベールによる細切・高密度処理が持つ乳酸発酵促進効果の有用性はさらに増すものと示唆される。

以上のことから、無細切の状態では乳酸発酵によるpH低下が十分に期待できない飼料イネのRBS調製においても、細切処理を適用することができる細断型ロールベールで調製することによって乳酸発酵を促進させて品質を安定化させることができることが明らかになった。また、細切処理による収損失など、飼料成分値や家畜の採食量を低下させる悪影響は認められなかった。本実験は水分が十分に低下した黄熟期の材料草を用い、9月から翌年2月までの比較的短期間の貯蔵であったことから従来型RBSにおいても良好な発酵品質と判定されるものであった。しかし、栽培現場ではより高水分で、さらに良好な発酵が得られにくい若い生育ステージでの収穫が多く見られること、また生産量が増加するにつれ、より長期的な貯蔵が必要になってくると考えられることから、細断型ロールベールは高水分域での調製や長期貯蔵時の発酵品質改善技術としても期待される。今後、気温上昇期を経た翌春以降までの長期貯蔵における発酵品質や栄養価に及ぼす影響および本実験に用いた材料草よりも高い水分域での調製での効果を検討する必要がある。

## 2 予乾体系における飼料イネ細断型ロールベールサイレージの長期貯蔵性

### 1) 目的

前実験において、細切された飼料イネを細断型ロールベールによって調製すると従来型と比べて梱包密度の高いRBSが得られることが確認された。また、飼料イネ細断型RBSは乳酸発酵が促進され非常にpHの低いサイレージであった。一方、従来型ロールベールで調製された飼料イネRBSは、乳酸がほとんど生成されなかったためにpHが6程度と高かった。しかし、冬季における短期間の貯蔵であったため、従来型RBSにおいても不良発酵やカビ汚染は認められなかった。よって、細切・高密度処理によって乳酸発酵が促進された細断型RBSの発酵品質に明確な有利性を確認することができなかった。そこで、本実験では飼料イネの細断型RBSと従来型

RBSを調製し、気温上昇期を経た翌春以降までの長期貯蔵時における発酵品質やカビ汚染を比較することによって、細切・高密度処理を施された飼料イネRBSの品質安定性を検証した。また、予乾処理によって低水分化された細切材料イネのRBS化において、懸念される葉部や籾などの特定部位の損失発生に起因する飼料成分や消化率に及ぼす影響を調査した。

### 2) 材料と方法

#### (1) 収穫・調製

東北農研センター内圃場において、不耕起直播によって栽培されたイネ (*Oryza sativa* L.、品種：あきたこまち) を供試した。乾物収量レベルは糊熟期で約800 kg/10aであった。これら供試イネは出穂30日後 (糊熟期) の2004年9月9日および出穂37日後 (黄熟期) の9月16日に収穫を行った。イネの刈り倒しには自脱型コンバイン (クボタ製AR-43) を用い、大谷ら (2004) の方式に従って刈り程がフィードチェーンに供給されないようにカバーを装着する改造を行って実施した。刈り倒された糊熟期のイネは、反転作業を行わずに半日間 (軽予乾区) または2日間 (強予乾区) 圃場に放置して予乾処理を行った。黄熟期のイネは、同様に反転作業を行わずに半日間の予乾処理 (軽予乾区) のみを行った。予乾処理後、稲はピックアップユニットを装着したシリンダ型フォレージハーベスタ (ニューホランド製Model790、設定切断長13mm) で拾い上げ、細断型ロールベール (タカキタ製MR-810、チャンバ径0.80m・幅0.85m) に吹き込んで細断型RBSを成形した。ただし、フォレージハーベスタと細断型ロールベールは別々のトラクタに牽引されたために伴走体系での収穫であった。対照区としてカッティング機構の無い自走ロールベール (タカキタ製SR-1230、チャンバ径・幅1.2m、定径式) でピックアップして従来型RBSを成形した。これらロールベールはベールラップで6層にラッピングされた後、梱包密度を算出するために重量、周囲長および高さを計測した。なお、収納作業にあたり、ロールベールはラッピング後少なくとも重量測定時に2回、運搬車への積み卸し時に2回の合計4回、ロールベールグリッパで掴まれた。これらロールベールは積み重ねないで、テグスで鳥害を防いだ状態で野外に貯蔵された。

## (2) 消化試験

貯蔵10カ月経過後の2005年6月に各処理3個ずつのバール重量を測定して開封した。これら開封後のサイレージは全糞採取法による見掛けの乾物消化率を測定するために、各処理区あたり4頭の去勢めん羊(平均体重75kg)に給与した。給与量は体重の1.5%を目途に、なるべく残飼が出ないように調整した。また、給与時に粗タンパク質含量として12%になるように尿素を添加した。試験期間は1週間の予備期と5日間の糞採取期間で実施した。なお、無細断で収穫された従来型RBSは、切断長13mmに設定したサイレージカッタによって細切した後にめん羊に給与した。

## (3) 化学分析

収穫作業中、ウインドローから収穫梱包される直前の材料イネを適時採取した。これら採取された材料イネサンプルは、処理区毎に良く混合した後に縮分サンプルを得た。開封したRBSはカビに汚染されている部分を取り除いた後に、バール毎にバール上部、中央部および下部の各表層部および中心部から採取してよく混合した後に化学分析用の縮分サンプルを得た。また、開封時のバール全体に占めるカビに汚染された部分の重量割合をカビ破棄率として算出した。採取した材料イネ、サイレージおよび糞サンプルはすべて70℃48時間の熱乾法によって乾物率を測定すると共にメッシュサイズ1mmのふるいを通過する粒度に粉碎して前実験と同様に粗蛋白質、粗脂肪、粗灰分、OCWおよびOb含量を定法によって測定した。材料イネについてはスクロース、グルコースおよびフルクトースを秋山(1999)の方法に従って高速液体クロマトグラフ(HPLC)で測定し、

これら3種類の糖の合計値をWSC含量として定量した。サイレージのpH、有機酸含量およびV-Scoreを前実験と同様の方法で測定した。サイレージ中のアンモニア態窒素とエタノール含量は、酵素法(F-キットアンモニアおよびF-キットエタノール、JKインターナショナル株)によって測定した。

## (4) 統計解析

同じ開封時期の同じ材料イネから得られた細断型と従来型の平均値の差をt検定(吉田 1992)によって解析した。

## 3) 結果

材料イネの飼料成分を表11に示した。材料イネの軽予乾区の乾物率は40%–45%であり、強予乾区は約65%であった。これら材料イネの2種類のRBS向けの材料イネ間の粗蛋白質、粗脂肪、粗灰分およびWSC含量に差は認められなかったが、強予乾区材料イネにおける糊熟期のOCWとOb含量が従来型RBSよりも細断型RBSの方が高い傾向があった。

RBSの乾物密度、カビ破棄率および発酵品質を表12に示した。概して、強予乾区RBSの方が軽予乾区RBSよりも乾物密度が高い傾向にあったが、常に細断型RBSが従来型RBSよりも高かった( $P < 0.01$ )。従来型RBSに比較して細断型RBSの乾物密度の増加程度は予乾程度や熟期によって異なるが、特に軽予乾区において大きかった。カビによる汚染は、従来型ではすべてのバールでカビの発生が認められた。一方、細断型では黄熟期のバールでは全くカビの発生が認められないなど、カビによる汚染バールの割合が低い傾向にあった。また、カビの発生部位は従

Table11 Chemical composition of material wilted forage paddy rice for the silage prepared using a round baler for chopped material (Chopped) or a conventional round baler (conventional)

	Dough-ripe stage				Yellow-ripe stage	
	Light wilting		Heavy wilting		Light wilting	
	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped
Dry matter (% of FM)	44.7	40.4	65.8	63.7	45.0	44.6
Crude protein (% of DM)	5.6	5.4	5.3	5.7	5.0	5.2
Ether extracts (% of DM)	1.5	1.7	1.8	1.6	1.8	1.9
Crude ash (% of DM)	11.7	12.3	11.7	12.6	11.2	11.4
Organic cell wall (% of DM)	44.3	44.7	42.3	45.2	40.0	40.8
Organic matter b (% of DM)	38.4	38.7	37.2	39.3	34.6	33.9
Water-soluble carbohydrates (% of DM)	3.9	4.3	5.3	6.0	3.4	3.2

FM : fresh matter, DM : dry matter.



来型ではバール表面だけでなく表面から10cmよりも深部にも観察された。一方の細断型ではバール表面のみに観察された。カビが発生したバールにおけるカビ破棄率は細断型が従来型に比べて少ない傾向にあったが、有意な差ではなかった。発酵品質に関しては、VFAとアンモニア態窒素の生成は両タイプのRBSで低かった。このため、すべてのRBSの発酵品質はV-SCOREで「良」と判定される良好なものであった。しかしながら、乳酸含量は従来型RBSで新鮮物中0.2%以下と低く、pHが5程度と高かったが、細断型RBSでは乳酸含量が1%程度に高まり、4程度の低いpH値を示した。エタノール含量は従来型RBSが新鮮物中1.1%–2.5%と高い値を示した。

これに対して、細断型RBSのエタノール生成は1%以下に抑制されていた。よって、従来型RBSはエタノール発酵が優占し、細断型RBSは乳酸発酵が優占したことが示唆された。

RBSの飼料成分と見掛けの乾物消化率を表13に示した。軽予乾区では細断型RBSの黄熟期粗灰分含量と糊熟期OCW含量が従来型RBSよりも低かった ( $P < 0.05$ )。これに対して、強予乾区における細断型RBSの糊熟期OCWとOb含量は、従来型RBSよりも高かった ( $P < 0.05$ )。ただし、この傾向は材料イネにも認められた。両タイプのRBS間において、これら繊維成分含量の差は小さく、見掛けの乾物消化率に有意な差は認められなかった。

**Table12** Apparent dry matter density of round bale<sup>†</sup>, mold spoilage<sup>‡</sup>, and fermentation quality<sup>‡</sup> of wilted forage paddy rice silage prepared using a round baler for chopped material (Chopped) or a conventional round baler (Conventional)

	Dough-ripe stage				Yellow-ripe stage	
	Light wilting		Heavy wilting		Light wilting	
	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped
Apparent dry matter density (kg/m <sup>3</sup> )	163±1.6	195±1.2**	218±1.6	250±2.9**	156±1.6	225±2.0**
Mold spoilage (% of FM)	6.3±3.5	4.6±2.5	6.7±4.0	5.3±2.9	4.8±1.4	ND
pH	4.8±0.0	4.0±0.0**	5.4±0.2	4.3±0.1**	4.9±0.2	4.0±0.0*
Lactic acid (% of FM)	0.14±0.02	0.97±0.02**	0.08±0.04	0.71±0.03**	0.17±0.03	0.94±0.03**
Acetic acid (% of FM)	0.25±0.01	0.18±0.02	0.10±0.02	0.20±0.02*	0.15±0.05	0.15±0.02
Butyric acid (% of FM)	0.04±0.01	ND	ND	ND	0.02±0.01	ND
NH <sub>3</sub> -N/TN (%)	5.0±0.1	9.7±0.8**	2.6±0.1	4.4±0.2**	3.6±0.2	7.0±1.5
V-SCORE	96±0.5	90±2.1*	100±0.0	100±0.1	98±0.6	95±2.4
Ethanol (% of FM)	1.8±0.1	0.5±0.1**	1.1±0.1	0.6±0.1*	2.5±0.1	0.3±0.2**

<sup>†</sup>Mean ± standard error of six round bales, <sup>‡</sup>Mean ± standard error of three round bales, FM : fresh matter, NH<sub>3</sub>-N : ammonia-nitrogen, TN : total nitrogen, ND : not detected, \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ .

**Table13** Chemical composition<sup>†</sup> and apparent dry matter digestibility<sup>‡</sup> of wilted forage paddy rice silage prepared using a round baler for chopped material (Chopped) or a conventional round baler (Conventional)

	Dough-ripe stage				Yellow-ripe stage	
	Light wilting		Heavy wilting		Light wilting	
	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped	Conventional	Chopped
Dry matter (% of FM)	40.2±0.9	38.5±0.2	61.6±1.3	57.0±1.4	38.9±0.5	40.2±0.8
Crude protein (% of DM)	5.6±0.2	5.7±0.2	5.6±0.1	5.6±0.3	5.1±0.2	5.7±0.2
Ether extracts (% of DM)	2.4±0.1	2.4±0.1	2.1±0.1	2.0±0.1	2.3±0.0	2.4±0.1
Organic cell wall (% of DM)	46.7±0.1	45.0±0.4*	44.0±0.3	46.9±1.0*	44.5±0.7	42.0±0.6
Organic matter b (% of DM)	40.5±0.6	38.8±0.7	38.1±0.3	41.2±0.8*	38.2±0.9	35.4±0.7
Crude ash (% of DM)	13.5±0.5	12.6±0.2	12.2±0.2	12.2±0.2	13.1±0.1	12.3±0.1**
Dry matter digestibility (%)	61.5±1.8	62.0±0.4	57.3±2.6	56.8±2.2	58.0±3.3	61.0±2.3

<sup>†</sup>Mean ± standard error of three round bales, <sup>‡</sup>Mean ± standard error of four castrated sheep, FM : fresh matter, DM : dry matter : \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ .

#### 4) 考察

永西・四十万谷 (1998) は酵母によるエタノール発酵が乳酸含量の低い飼料イネにおいて容易に促進されることを報告している。それ故、当実験の従来型RBSにおける高いエタノール含量 (表12) は酵母の生育を示唆している。これに対して、低いエタノール含量であった細断型RBS (表12) においては酵母の生育が抑制されていたと考えられた。サイレージ中に検出される酵母の生育数は、サイレージのpH値よりもサイレージ中に残存する糖分含量に影響を受けやすいことが知られている (McDonald *et al.* 1991)。よって、当実験の細断型RBSにおいては活発な乳酸発酵によって材料イネ中の糖分が消費されることによって、酵母の生育が抑えられたと推察される。飼料イネにおいては、WSC含量が10%を超える場合においても乳酸発酵が促進しにくいことが報告されている (永西・四十万谷 1998)。よって、飼料イネにおいて乳酸発酵を促進させるためには、発酵基質であるWSCの効率的な利用を達成することが重要である。乳酸菌による発酵基質の利用性は、材料草に対する物理的ダメージ、例えば細断や摩砕の程度によって影響を受ける (McDonald *et al.* 1991)。材料草が物理的ダメージを受けた状態でサイレージ調製されると、植物細胞液が容易に植物組織から解放され、この状態によって乳酸菌が他の微生物と効果的に競合できるようになる (Gibson *et al.* 1961)。百瀬ら (2005、2006) は飼料イネの切断長を短くすると、乳酸含量が高まってサイレージ品質が改善することを報告しており、当実験結果とも一致する。すなわち、飼料イネにおいても細断型RBSは従来型RBSに比べて細断という物理的なダメージを植物組織に与えることによって、植物細胞液の利用性が高まり、乳酸発酵を促進させることができることが明らかとなった。

当実験においては、いずれのRBSにおいても揮発性脂肪酸やアンモニア態窒素の生成が低く (表12)、これら不良発酵の抑制の点に関して、乳酸発酵の促進の明確な影響を示すことはできなかった。しかしながら、細断型RBSにおける高密度梱包と乳酸発酵の促進によって酵母を主因とするエタノール発酵が抑制されていた (表12)。飼料イネサイレージ調製ではエタノール含量が高まること指摘されている (永西・四十万谷 1998)。このエタノール発酵は乾物損失を多く発生させるとともに (McDonald *et*

*al.* 1991)、エタノール自身はその高い揮発性のために給与時に揮散することから栄養的な価値は低いと考えられる。またエタノール発酵を行う酵母は好気的変敗を引き起こす主要な原因であるため (原ら 1979)、その増殖は望ましいものではない。酵母は特にサイレージの乾物含量が高まることで増殖が助長されることから (McDonald *et al.* 1991)、予乾サイレージで特に注意を払う必要がある。細断型ロールベアラによる調製は、予乾体系においても飼料イネサイレージにおけるエタノール発酵の抑制に効果的であることが示された。

本研究では、フォレージハーベスタと細断型ロールベアラを直装せずに伴走体系で収穫を行った。よって、フォレージハーベスタの先と細断型ロールベアラのホッパ (荷受け部) との間が離れているために、吹き上げられた細断物がホッパに入る前に風に流されることが懸念された。特に、予乾によって低水分化された葉部などがより多く損失する可能性が考えられる。本実験では、小片の一部が風に舞ってホッパに入らないことが観察された。しかしながら、材料草と調製されたRBSのOCWなどの成分値の差は小さく、従来型との間で消化率の差は認められなかった (表11、13)。よって、予乾体系においても、細断型ロールベアラでの収穫時の損失による成分や消化率への影響は小さいことが示された。

飼料イネの茎は中空構造であるために詰込み密度を上げることが難しいため、pH値の低下が十分でない場合、カビが容易に生育する環境となる (蔡 2001)。よって、飼料イネサイレージのpH値の低下は酪酸発酵などの不良発酵を抑制するだけでなく、カビの生育の抑制にも必要である。RBSにおいては、ラップフィルムからの空気の侵入がカビの発生原因であると考えられる (野中ら 1999)。特に飼料イネにおいては、栽培される水田地帯と利用される畜産地帯が地理的に離れている場合が多い。よって、飼料イネを利用する場合は牧草サイレージよりも輸送距離が長く、相対的にRBSの掴み回数が増加すると推察され、ラップフィルムのダメージ率も高いと考えられる。ラップフィルムがダメージを受けると、高い密度のRBSよりも低い密度のRBSがより容易にカビに汚染されることが報告されている (糸川ら 1995)。従来型ではすべてのベールにカビの発生が認められたことから、ラップフィルムのダメージによって長期貯蔵時には容易にカビに汚染されやすい

ことが示唆された。一方、細断型RBSにおいてはカビが全く認められないRBSがあり、カビの汚染部位も表面に限られていたことから、従来型よりもカビに対する抑制効果が高いことが示唆された。しかしながら、カビが発生していたベールにおける破棄率は細断型が低い傾向にあったが有意な差ではなかった(表12)。細断型RBS(直径が0.85m)は、本実験で比較した従来型RBS(直径が1.2m)とくらべて体積が小さいため、表面部分の占める割合がおおきく、カビ汚染が表面のみにとどまっても、破棄率は多くなってしまうことが示唆される。また、本実験では、それぞれのRBSにおけるラップフィルムのダメージ程度は考慮できなかった。すなわち、ラップフィルムのダメージの程度が様々であり、それがカビの発生程度の変動を大きくしたため、pH値やベール密度とカビによる破棄率との間に有意な関係を見いだすことができなかった。しかしながら、いかに高密度に梱包される細断型RBSといえども表面部分のカビ汚染は避けられず、ダメージを受けたラップフィルムは速やかに補修されることが強く推奨される。

以上の結果より、細断型ロールベールで飼料イネを調製すると予乾体系で低水分化された材料イネでも飼料成分や栄養価に及ぼすような損失は発生せず、従来型のロールベールよりも高密度に梱包されることが示された。また、従来型のロールベールによる調製では高いエタノール含量が認められたが、細断型RBSでは低水分域においても乳酸発酵が促進されて長期間にわたりエタノール生成を抑制できることが明らかになった。また、カビによる汚染防止にも一定の効果が認められた。本実験でも前節の実験と同様に、従来型においても酪酸含量が低く抑えられていたため、細切・高密度処理による酪酸発酵抑制効果は確認できなかった。よって、無予乾で調製されたより高い水分条件の飼料イネRBSにおいて、細切・高密度処理がエタノール発酵や酪酸発酵などの不良発酵に及ぼす影響を調査する必要がある。

### 3 高水分域における飼料イネのサイレージ発酵に及ぼす細切・高密度処理の影響

#### 1) 目的

前節の実験では供試された飼料イネの乾物含量がすべて40%以上であり、細切されていない対照区においても酪酸の生成が低いものであった。飼料イネは排水不良で軟弱な水田で栽培されることが多く、

予乾処理によって水分を低下できる圃場条件であるとは限らない。後藤ら(2001)が三重県内で調査した生産現地での飼料イネRBSの平均乾物率は34%で、有機酸含量のなかでも酪酸含量の変動係数が最も高かった。よって、飼料イネのサイレージ調製においては酪酸発酵の危険がある高水分域における発酵品質の改善技術が重要であり、この水分域における細切・高密度詰込みの乳酸発酵促進効果を検討する必要がある。

そこで本実験では実験室規模のサイロを用い、高水分の飼料イネに対する細切や高密度詰込みによる物理的損傷がサイレージ発酵に及ぼす影響を検討した。

## 2) 材料と方法

### (1) 収穫調製

2007年、東北農業研究センター内の圃場から早生である「奥羽飼403号」と「べこごのみ」、中生である「べこあおば」、晩生である「M645」の4種類の品種・系統を採取した。奥羽飼403号とM645号は移植によって、その他は直播によって栽培された。圃場への化学肥料の施用レベル(kg/10a)は窒素13kg、リン酸25kgおよびカリ13kgであった。表14に示したように出穂後約13-18日と26-29日の2回、これら各圃場(10-30a)内の3カ所を地際から高さ10cmで刈りした。

これら刈取られた材料イネは切断長13mmに設定したサイレージカッタ(コーワ製S-130)によって細切するか無細切のままサイレージに調製した。細切された材料イネは上蓋に3つの5mm径の穴を持つ300ml容ポリエチレン製ボトルに棒を使ってでき

Table 14 Heading and harvesting date (2007) of forage paddy rice for whole-crop silage

Variety	Heading	1st harvesting	2nd harvesting
Ouusi403	9 August	27 August (18) <sup>†</sup>	6 September (28)
Bekogonomi	12 August	27 August (15)	10 September (29)
Bekoaoba	22 August	6 September (15)	18 September (27)
M645	30 August	12 September (13)	25 September (26)

<sup>†</sup>Days after heading.

る限り圧縮して詰め込み、ボトルごとポリエチレン/ナイロンの積層フィルム製袋 (270mm × 400mm、旭化成パックス(株)、飛竜 BN-12) に入れ、吸気性能 - 500mmHgのバキュームシーラ (SHARP製 SQ-303) を用いて脱気・密封した (CH区)。無細切の材料イネは、細切された材料草の詰め込み量とはほぼ同じ量 (250g程度) を折り曲げて同じナイロン・ポリエチレン製袋に入れ、脱気・密封した (N区)。なお、べこごのみおよびべこあおばの2回目に刈取った材料イネの細切区では、ボトルへの詰め込み密度を次に示すように変えた処理を加えた：無圧 (C0区)、指で押し込む (CL区)、およびできる限り圧縮して詰め込んだ量の70%を棒で詰め込む (CM区)。また、切断・粉砕機 (タニナカO&K(株)、SW型) によって処理し、同様にナイロン・ポリエチレン製袋に脱気密封した処理区を加えた (L区)。この機械で処理された材料草は、切断長が5cm程度であるが、縦方向には細かく切り裂かれていた。これらサイレージは25℃に調温した室内に50日間放置した後に開封し、化学分析に供試した。

### (2) 化学分析

材料イネおよびサイレージの乾物率を70℃48時間の熱乾法によって測定すると共に、メッシュサイズ1mmのふるいを通す粒度に粉砕して、粗蛋白質、粗脂肪、粗灰分、OCW、Ob、WSCおよびサイレージのpH、有機酸、VBN、V-SCORE、エタノール含量を前実験と同様の方法によって測定した。

### (3) 統計解析

材料イネの化学成分とべこごのみおよびべこあおばの2回目刈取りサイレージの発酵品質の解析は一元配置分散分析法によって行い、Tukey法によって

処理区間の多重比較を行った。その他サイレージの発酵品質における無細断区と細断区の平均値の差は、スチューデントのt検定を用いて比較した。これらの統計処理にはStatMate III software program (株アトムス) を用いた。

### 3) 結果

材料イネの穂重割合と飼料成分組成を表15に示した。穂重割合は29% - 55%の範囲であった。いずれの品種・系統も刈取り1回目よりも熟期の進んだ2回目の方が高くなり、早生である奥羽飼403号とべこごのみは晩生であるべこあおばとM645よりも高かった。乾物率は24% - 39%の範囲であり、べこあおばを除いて穂重割合と同様の傾向があった。べこあおばの2回目の刈取りは前日に激しい降雨があり、圃場が水に浸かった状態で行われたため、刈取り1回目と2回目の乾物率に差が無かった。

WSC含量は、すべて5%に満たない含量であり、M645を除いて穂重割合とは逆に1回目よりも熟期が進んだ2回目が低くなる傾向があった。特に穂重割合が最も高かった2回目刈取りのべこごのみでは1.5%程度と他の品種・系統の半分以下であった。

サイレージの発酵品質を表16に示した。N区の乳酸含量は0.1%以下と微量であり、pHは4.4 - 5.8の範囲を示した。ただし、酢酸+プロピオン酸、n-酪酸およびVBN含量が高く、V-SCOREで不良 (60点以下) と判定される発酵品質であったのは乾物率24%のべこあおばサイレージのみであり、乾物率が30%以上のその他のサイレージでは、これら揮発性脂肪酸やVBN含量が低く、V-SCOREで可 (60点以上) または良 (80点以上) と判定された。細切材料

Table15 Panicle weight and chemical composition of forage paddy rice for whole-crop silage

Harvesting	Variety	Panicle weight (% of DM)	Dry matter (% of FM)	Crude protein	Ether extracts	Organic cell wall (% of DM)	Crude ash	WSC
1st	Ouusi403	38.4 ± 0.9 <sup>c</sup>	34.9 ± 0.5 <sup>ab</sup>	4.86 ± 0.33 <sup>b</sup>	1.32 ± 0.05 <sup>bc</sup>	50.9 ± 1.2 <sup>bc</sup>	12.4 ± 0.2 <sup>bc</sup>	4.97 ± 0.16 <sup>a</sup>
	Bekogonomi	36.5 ± 1.2 <sup>cd</sup>	30.4 ± 0.8 <sup>b</sup>	5.59 ± 0.29 <sup>ab</sup>	1.34 ± 0.11 <sup>bc</sup>	57.8 ± 0.9 <sup>ab</sup>	12.8 ± 0.3 <sup>b</sup>	4.08 ± 0.17 <sup>a</sup>
	Bekoaoba	31.0 ± 2.3 <sup>de</sup>	24.3 ± 1.8 <sup>d</sup>	6.78 ± 1.03 <sup>ab</sup>	1.17 ± 0.07 <sup>bc</sup>	54.3 ± 1.6 <sup>abd</sup>	14.0 ± 0.1 <sup>a</sup>	4.92 ± 0.29 <sup>a</sup>
	M645	28.9 ± 1.9 <sup>e</sup>	31.1 ± 0.7 <sup>bc</sup>	5.29 ± 0.19 <sup>ab</sup>	1.06 ± 0.05 <sup>c</sup>	60.0 ± 2.3 <sup>a</sup>	12.1 ± 0.1 <sup>bc</sup>	3.63 ± 1.04 <sup>a</sup>
2nd	Ouusi403	45.9 ± 0.8 <sup>b</sup>	39.2 ± 1.2 <sup>a</sup>	4.90 ± 0.16 <sup>b</sup>	1.41 ± 0.04 <sup>b</sup>	46.4 ± 2.2 <sup>c</sup>	11.9 ± 0.3 <sup>bc</sup>	3.93 ± 0.14 <sup>a</sup>
	Bekogonomi	54.7 ± 0.4 <sup>a</sup>	37.3 ± 0.3 <sup>a</sup>	5.09 ± 0.10 <sup>ab</sup>	1.77 ± 0.02 <sup>a</sup>	45.8 ± 1.4 <sup>c</sup>	11.8 ± 0.3 <sup>bc</sup>	1.51 ± 0.11 <sup>b</sup>
	Bekoaoba	40.9 ± 1.2 <sup>bc</sup>	24.0 ± 0.9 <sup>d</sup>	7.70 ± 0.61 <sup>a</sup>	1.27 ± 0.04 <sup>bc</sup>	49.7 ± 1.4 <sup>cd</sup>	14.3 ± 0.3 <sup>a</sup>	3.79 ± 0.26 <sup>a</sup>
	M645	37.7 ± 0.3 <sup>c</sup>	36.7 ± 1.4 <sup>a</sup>	5.44 ± 0.79 <sup>ab</sup>	1.13 ± 0.04 <sup>c</sup>	52.9 ± 0.8 <sup>ac</sup>	11.3 ± 0.2 <sup>c</sup>	4.66 ± 0.03 <sup>a</sup>

Each values is the mean ± standard error of three replicates.

Mean values with different letters in the same column are significantly different ( $P < 0.05$ ).

DM : Dry matter, FM : Fresh matter, WSC : Water soluble carbohydrate.



を高圧で詰め込んだCH処理区の乾物密度は194–283 kg/m<sup>3</sup>で、細断型ロールバールで飼料イネを梱包した場合の193-250 kg/m<sup>3</sup>と同レベルの密度が得られた。このCH区の発酵品質は、N区よりも乳酸含量が高く、pHが低下する傾向にはあったが、べこあおばの2回目刈取りを除いて不良発酵を抑制するには至らず、揮発性脂肪酸やVBN含量が高まってV-SCOREが低下した。詰込み密度を変えた処理を加えたべこごのみの2回目刈取りでは、乳酸含量には変化がなかったが、密度が増加するに従って酢酸、n-酪酸およびVBN含量が増加してV-SCOREが低下していく傾向にあった。また、L区は、CH

区と比べて乳酸含量がやや高い傾向にあったが、V-SCOREはCH区とほぼ同様の低い値であった。べこあおばの2回目刈取りの細切処理区においては、乾物密度の増加につれて乳酸含量が増加し、酢酸、n-酪酸およびVBN含量が低下していった。特に、CH区ではn-酪酸が検出されなかった。また、L区はCH区より乳酸含量が高くなり、pHも低く、同様にn-酪酸が検出されなかった。このため、CH区とL区ではV-SCOREが良と判定された。エタノール生成はすべてのサイレージで認められ、特にN区で0.8-2%と高かった。CH区やL区のエタノール含量も1%を超える濃度のものがみられたが、N区

Table 16 Fermentation characteristics of forage paddy rice silage

Harvesting	Variety	Treatment <sup>1)</sup>	DM		Lactic acid	Acetic acid	Propionic acid	n-Butyric acid	VBN (% of TN)	V-SCORE	Ethanol (% of FM)	
			density (g/m <sup>3</sup> )	pH	(% of FM)							
1st	Ouusi403	N	-	5.69±0.16	0.10±0.01	0.14±0.03	ND	0.08±0.02	3.2±0.4	94±1	1.97±0.15	
		CH	228±5	4.63±0.03**	0.21±0.01**	0.53±0.01**	0.02±0.00	0.67±0.04**	8.2±0.3**	51±1**	0.99±0.15*	
	Bekogonomi	N	-	4.69±0.05	ND	0.58±0.06	ND	0.24±0.05	7.1±0.9	74±6	1.37±0.05	
		CH	211±6	4.27±0.08*	0.62±0.36	1.03±0.23 <sup>NS</sup>	0.13±0.03	0.75±0.20 <sup>NS</sup>	11.4±2.0 <sup>NS</sup>	37±7*	0.84±0.05**	
	Bekoaoaba	N	-	4.55±0.03	ND	1.16±0.02	0.03±0.01	0.65±0.02	14.1±3.3	25±12	1.11±0.21	
		CH	194±10	4.33±0.22 <sup>NS</sup>	0.44±0.37	0.39±0.11*	ND	0.69±0.31 <sup>NS</sup>	9.1±1.7 <sup>NS</sup>	60±16 <sup>NS</sup>	0.60±0.19 <sup>NS</sup>	
	M645	N	-	4.75±0.05	ND	0.61±0.05	ND	0.26±0.02	9.6±0.9	66±4	1.46±0.09	
		CH	231±8	4.61±0.03 <sup>NS</sup>	0.08±0.02	0.65±0.05 <sup>NS</sup>	ND	0.73±0.05**	9.2±0.2 <sup>NS</sup>	48±1**	0.93±0.11*	
	2nd	Ouusi403	N	-	5.38±0.19	0.02±0.01	0.25±0.05	ND	0.07±0.02	3.8±0.2	94±2	1.59±0.06
			CH	277±8	4.66±0.03*	0.12±0.03*	0.38±0.06 <sup>NS</sup>	ND	0.47±0.04**	6.1±0.3**	60±4**	0.76±0.16**
		M645	N	-	5.79±0.23	0.05±0.01	0.12±0.04	ND	0.03±0.01	2.5±0.1	98±1	1.69±0.05
			CH	269±8	4.51±0.15**	0.22±0.05*	0.44±0.06*	0.01±0.01	0.51±0.01**	7.5±1.6*	53±3**	1.14±0.17*
Bekogonomi			N	-	4.76±0.05 <sup>ab</sup>	ND	0.53±0.04	0.01±0.00	0.17±0.02 <sup>b</sup>	5.9±0.1 <sup>d</sup>	82±2 <sup>a</sup>	0.88±0.10
			C0	89±4 <sup>d</sup>	4.91±0.03 <sup>a</sup>	0.06±0.02	0.60±0.05	0.02±0.01	0.24±0.04 <sup>b</sup>	6.6±0.8 <sup>cd</sup>	75±5 <sup>ab</sup>	0.93±0.10
			CL	153±1 <sup>c</sup>	4.84±0.05 <sup>ab</sup>	0.02±0.02	0.77±0.04	0.04±0.00	0.38±0.02 <sup>ab</sup>	8.0±0.3 <sup>bd</sup>	59±2 <sup>bc</sup>	0.87±0.14
			CM	207±1 <sup>b</sup>	4.60±0.00 <sup>ab</sup>	0.02±0.00	0.78±0.10	0.03±0.01	0.43±0.03 <sup>ab</sup>	10.1±0.7 <sup>ab</sup>	50±5 <sup>cd</sup>	0.94±0.13
			CH	283±7 <sup>a</sup>	4.56±0.04 <sup>b</sup>	0.03±0.02	0.81±0.10	0.04±0.04	0.71±0.18 <sup>a</sup>	8.8±0.6 <sup>abc</sup>	50±4 <sup>cd</sup>	0.72±0.15
			L	-	4.57±0.14 <sup>b</sup>	0.16±0.08	0.83±0.14	0.03±0.01	0.47±0.00 <sup>ab</sup>	11.3±0.3 <sup>a</sup>	42±1 <sup>d</sup>	0.58±0.06
Bekoaoaba		N	-	4.42±0.02 <sup>b</sup>	0.04±0.00 <sup>c</sup>	0.91±0.01 <sup>a</sup>	0.03±0.01	0.44±0.02 <sup>ab</sup>	23.5±1.1 <sup>ab</sup>	9±2 <sup>bc</sup>	0.83±0.13 <sup>a</sup>	
		C0	52±2 <sup>d</sup>	4.53±0.02 <sup>ab</sup>	0.37±0.16 <sup>bc</sup>	0.85±0.05 <sup>ab</sup>	0.05±0.00	0.59±0.09 <sup>ab</sup>	23.9±2.8 <sup>a</sup>	7±2 <sup>bc</sup>	0.68±0.09 <sup>ab</sup>	
		CL	91±6 <sup>c</sup>	4.62±0.02 <sup>a</sup>	0.14±0.05 <sup>c</sup>	0.71±0.02 <sup>b</sup>	0.06±0.02	0.77±0.06 <sup>a</sup>	25.0±0.2 <sup>a</sup>	6±0 <sup>c</sup>	0.56±0.06 <sup>ab</sup>	
		CM	165±11 <sup>b</sup>	4.46±0.06 <sup>ab</sup>	0.44±0.13 <sup>bc</sup>	0.40±0.08 <sup>c</sup>	0.01±0.01	0.30±0.20 <sup>b</sup>	15.8±2.5 <sup>bc</sup>	46±20 <sup>ab</sup>	0.62±0.16 <sup>ab</sup>	
		CH	232±10 <sup>a</sup>	4.14±0.04 <sup>c</sup>	0.76±0.04 <sup>b</sup>	0.34±0.01 <sup>c</sup>	0.05±0.00	ND	11.4±0.9 <sup>c</sup>	83±3 <sup>a</sup>	0.26±0.11 <sup>b</sup>	
		L	-	3.75±0.01 <sup>d</sup>	1.35±0.08 <sup>a</sup>	0.36±0.02 <sup>c</sup>	ND	ND	11.7±0.5 <sup>c</sup>	82±2 <sup>a</sup>	0.22±0.07 <sup>b</sup>	

<sup>1)</sup>N : Ensiled no chopping material into bag silo, C0 : Ensiled chopping material into bottle silo without pressure, CL : Ensiled chopping material into bottle silo with low pressure, CM : Ensiled chopping material into bottle silo with middle pressure (70% of the amount of CH), CH : Ensiled chopping material into bottle silo with high pressure, L : Ensiled lacerating material into bag silo. Each value is the mean ± standard error of three replicates. Mean values with different letters in the same column are significantly different (P<0.05). DM : Dry matter, FM : Fresh matter, VBN : Volatile basic nitrogen, TN : total nitrogen, ND : not detected.



と比べて低下する傾向にあった。

#### 4) 考察

植物細胞からの草汁の滲出を促す材料草への機械的処理は、サイレージにおける微生物の成育に少なからずの影響を与え、特に乳酸菌の生育を他の微生物よりも相対的に促進する (Gibson *et al.* 1961)。このため、材料草の切断により、総じてサイレージ発酵品質が改善されるが、この傾向は高水分材料で高くなるとされる (萬田 1994)。一方、本研究では乾物率が30%以上の無細切区サイレージでは乳酸生成が低いにもかかわらず、酪酸やVBNの生成も低かったため、V-SCOREで高い評価を得た (表16)。ただし、これらサイレージにはエタノールが多量に生成されていた。飼料イネのサイレージ発酵においてエタノールが盛んに生成されることが報告されている (永西・四十万谷 1998、Nishino・Shinde 2007)。本研究でも、すべてのサイレージでエタノール生成が認められたが、細切・高密度詰込みによって生成量が低下する傾向にあった (表16)。エタノール生成は酵母の増殖に由来すると考えられ、これら真菌類は様々な細胞外酵素を分泌して複雑な有機物を細胞壁から吸収可能な単量体へ分解して利用できることから (McDonald *et al.* 1991)、酵母による発酵は材料草の物理的破壊にあまり依存しないと推察される。よって、飼料イネが無細切でサイレージに調製される場合、低い草汁利用性によって乳酸菌が効果的に増殖できない状況においても酵母は盛んに増殖できると考えられる。酵母はサイレージ開封後の好気的変敗に関与する (原ら 1979) とともにエタノール発酵は乾物損失を多く発生させるので (Driehuris・Wikselaar 2000)、その増殖は望ましいことではない。無細切の飼料イネを汎用型ロールペーラで調製すると2.5%ものエタノール生成が認められる場合でも、細切されて細断型ロールペーラで調製すると0.3%に抑えられることは前節の実験で明らかにされている。本実験のCH処理区の乾物密度は194-269kg/m<sup>3</sup>で (表16)、前の実験で得られた細断型ロールペーラで梱包した場合の193-250kg/m<sup>3</sup>と同レベルの密度が得られた。すなわち、本研究のCH区では細切・高密度詰込みによって嫌気条件が向上し、酵母の生育がある程度抑えられたと推察される。また、乳酸発酵が促進されたべこあおばのCH区のエタノール含量が特に低いレベルに

まで低下した。同様にべこあおばL区においてもエタノール含量が低いレベルに低下していた (表16)。本実験での飼料イネ中のWSCは5%に満たない量であった (表15)。サイレージ中に検出される酵母の生育数は、サイレージのpH値よりもサイレージ中に残存する糖分含量に影響を受けやすいことが知られている (McDonald *et al.* 1991)。よって、飼料イネにおいては活発な乳酸発酵によって材料イネ中の糖分が消費されることは、高い密度処理による酸素の排除と同様に酵母の生育を抑制する効果が高いことが示唆される。

無細切区においては、乳酸生成が認められない場合においても酢酸生成が認められた (表16)。サイレージ中の酢酸生成は、乳酸菌以外では腸内細菌、酪酸菌および酢酸菌等に起因している (McDonald *et al.* 1991)。腸内細菌は人や動物に有害な病原菌を含み、酪酸菌はタンパク質の分解、酢酸菌は好気的変敗に関与している (McDonald *et al.* 1991)。よって、これらの増殖は酵母同様に望ましいものではない。よって、乳酸発酵が促進されなかった無細切区では、有害と考えられる酵母や細菌類が増殖していたことが示唆される。特にエタノール生成量はV-SCORE評点に考慮されないことから、飼料イネにおいてはV-SCORE評点が高いといっても、乳酸発酵よりもエタノール発酵が優勢となっている可能性があることを考慮すべきであろう。

萬田 (1994) は、切断サイレージでは密封初期に乳酸が多量に生成される材料草でも、無切断サイレージ (RBS) に調製すると乳酸生成スピードが遅く、酪酸が次第に生成されていくと報告している。また、金谷ら (2008) は、貯蔵4ヶ月時点のV-SCOREが良 (89点) と判定された乾物率35%の生稲ワラRBSが貯蔵8および13ヶ月後では酪酸含量が高まり、不良 (60点以下) になったと報告している。本研究の乾物率が30%以上の無細切区では、pHが酪酸発酵抑制のための目標とされる4.2 (増子 1999) まで低下していなかった (表16)。よって、本研究での50日間程度の貯蔵において、無細切の状態ではエタノール発酵が促進されたが、やがて酪酸発酵も促進される可能性が高いことが示唆される。

日野ら (2005) は、乾物率33%の飼料イネを細断型ロールペーラで調製すると、従来型ロールペーラで調製したものよりも酪酸含量が高くなったことを報告している。本研究の飼料イネも同様に、その多

くは細切・高密度の詰込みによって酪酸含量が大幅に増加し、かえって劣質なサイレージとなった。すなわち、乾物率が40%に満たない飼料イネにおいては、細切・高密度詰込みに起因する草汁の利用性向上によって、酪酸発酵がすぐさま助長されてしまう可能性が高まることが示唆される。WSC含量が乾物中6.5%以下の高水分材料草では、V-SCOREで良(80点)以上の発酵品質は得られにくい(増子1999)。よって、本研究の飼料イネのWSC含量が5%に満たないことから、発酵基質の不足によって細切・高密度区の草汁利用性が高まっても乳酸発酵が促進されにくかったことがその原因の一つとして推察される。また、良質な発酵品質のためには材料草に $10^6$ レベルの付着乳酸菌数が望ましいとされ(McDonald *et al.* 1991)、発酵基質の供給量と共に材料草に付着する乳酸菌の状態もサイレージ発酵に大きく影響する。蔡ら(2003)は、良好な発酵品質のためには耐酸性の低い乳酸球菌よりも耐酸性の高い乳酸桿菌の存在が必要であるが、飼料イネでは $10^3$ – $10^4$ レベルの付着乳酸球菌数に対して、乳酸桿菌数については検出できない場合があると報告している。したがって、飼料イネにおける付着乳酸桿菌数の不足が草汁の利用性が向上しても乳酸発酵が促進されないもう一つの理由と推察される。一方、乾物率が40%以上の飼料イネにおいては、細切・高密度詰込みによって乳酸発酵が促進し、発酵品質が改善されることが前節の実験および百瀬ら(2005)の実験で確認されている。材料草の乾物率が高くなると、より低いWSC含量でも良質の発酵品質を得ることができる(増子1999)。乾物率が高い場合、乳酸菌と競合する酪酸菌が浸透圧の増加によって生育が抑制されるため(Wieringa 1958)、飼料イネの付着乳酸菌でも草汁の利用性向上を利用して乳酸発酵の促進が可能となるのであろう。ただし、本研究でも一例ではあるが、べこあおばの2回目刈取りは細切・高密度詰込みによって大幅に乳酸発酵が促進され、酪酸発酵が抑制された(表16)。本研究では、付着乳酸菌を調査していない。しかし、べこあおばの2回目刈取りは他の品種・系統と比べて特別にWSCが高いわけではなかったことから(表16)、この乳酸発酵の促進は付着乳酸菌の状態に起因したと推察される。

山本ら(2004)は、飼料イネに付着乳酸菌発酵液を添加すると乳酸発酵が促進されるが、エクストル

ーダ処理による物理的破壊を加えると乳酸発酵の促進効果が増幅されることを報告した。よって、細切・高密度詰込みの場合、適切な乳酸菌製剤を添加すれば、無細切よりも添加効果を高めると期待できる。また、べこあおば2回目刈取りで酪酸発酵が抑制できたのは、細切して $232\text{kg}/\text{m}^3$ の高い密度で詰込むか激しく圧傷した場合のみであった(表16)。すなわち、飼料イネを細切するのみでは、乳酸菌による草汁利用性を高めることはできず、高密度に詰込んでこそ、乳酸発酵が促進されて発酵品質が改善する効果が得られると考えられる。

以上のことから、乾物率が40%に満たない飼料イネを細切して高密度に詰込むと、エタノール発酵はある程度抑制されるが、だからといって直ちに乳酸発酵が促進されて良好な発酵品質に導かれる訳ではなく、自然発酵に依存すると酪酸発酵が促進し、短期貯蔵においても劣質サイレージになる可能性が高くなることが明らかとなった。よって、細断型ロールベールでの調製など、細切・高密度詰込みされる乾物率が40%に満たない飼料イネにおいては、乳酸菌製剤の使用などの品質改善技術を検討する必要がある。

#### IV 飼料イネロールベールサイレージ貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護

##### 1 ロールベール貯蔵場所に出現するネズミ種と被害様相

###### 1) 目的

本実験では、RBS貯蔵中のネズミ対策技術の開発に資する目的で、岩手県内のネズミ被害を受けている飼料イネRBSの集積・貯蔵場所に生け捕り用わなを定期的に設置・回収してネズミの捕獲と被害様相の観察を行うとともに、一部、赤外線カメラを用いてネズミの行動観察を行い、加害ネズミ種の特定およびその被害の及ぼし方を調査した。

###### 2) 材料と方法

###### (1) 実験地

前年度、岩手県内のネズミによる被害が確認された東北農業研究センター施設内2カ所(盛岡市下厨川字赤平)、K飼料生産組合のRBS集積・貯蔵場所2カ所(一関市萩荘)、およびS氏牛舎脇のRBS集積・貯蔵場所1カ所(一関市巖美町)の計5カ所で行った。2006年度の盛岡地域の年平均気温は、 $10.2^{\circ}\text{C}$ (1月： $-2.9^{\circ}\text{C}$ 、8月： $24.8^{\circ}\text{C}$ )で年降水量は

1143mmであった。一関地域の年平均気温は11.5℃(1月: -1.1℃、8月: 25.2℃)で年降水量は1313mmであった。東北農研センター内の実験場所は、2つの畜舎脇のRBS集積・貯蔵場所で、1カ所は畜舎の他に林地に接していた。他の1カ所は、畜舎と牧草地に接していた。K飼料生産組合のRBS集積・貯蔵場所は、水田、農機具庫および人家に面した1カ所と山間部の水田と林に面した1カ所であった。S氏牛舎脇のRBS集積・貯蔵場所は牛舎や農機具庫に囲まれた場所であった。各RBS集積・貯蔵場所の貯蔵RBS数は、東北農研センターでは各場所1m径のRBSが約30個ずつ(うち1カ所の16個は50cm径の小型タイプ)、K飼料生産組合とS氏牛舎脇では50cm径の小型タイプが各100個程度ずつ貯蔵されていた。また、すべての場所は未舗装であり、K飼料生産組合の水田、農機具庫および人家に面した1カ所では、RBSの下に木製パレットが敷かれていた。また、S氏牛舎脇では、RBSが直接地面に接触しないように、竹を並べた上にRBSが置かれていた。

#### (2) 捕獲調査

2006年11月から2007年5月までの間、生け捕り用わな(北海道森林保全協会製折り畳み式捕そ器、長さ29cm、幅7cm、高さ9cm)を毎月1回3日間ずつ各場所20個ずつ玄米を誘因エサとして仕掛けた。設置箇所は、RBS脇に加え、RBS周辺に坑道(“そ穴”とも呼ばれるネズミによって形成されたトンネル)の出入り口がみられた場合は、その周りに仕掛けた。捕獲したネズミは日本の哺乳類改訂版(阿部ら 2005)によって外観から種を特定した後、一部は標本用に採取した。これらわなの設置について、盛岡地方振興局および岩手県南広域振興局から鳥獣捕獲許可証(第7078-109号、総保第91-26号)を得て実施した。また、捕獲ネズ

ミの処理は、日本哺乳類学会による哺乳類の取り扱いガイドラインに沿って行った。

#### (3) 行動観察

東北農研センター内の牛舎と林地に接する1カ所においては、2006年10月2日に16個の小型RBS(径50cm、高さ60cm)を並べ、前述したわなの設置とネズミがRBS群に食害を加える経過を観察するとともに赤外線カメラによるネズミの行動観察を行った。これら、RBS群の上には、テグスを張り巡らせて、鳥害を防止した。食害経過の観察は、貯蔵後1週間毎にRBSのラップフィルムの損傷およびRBS下の坑道の形成の有無を調査した。赤外線カメラによる行動観察は、RBS下に坑道が形成された後の2006年10月30日から11月2日の4日間にかけて行い、坑道の出入り口を中心に録画し、ネズミの出現数と時間を調査した。

### 3) 結果

#### (1) 捕獲調査

表17に、各RBS貯蔵場所において捕獲されたネズミ種とその数を示した。捕獲された種は、アカネズミ(*A.speciosus*)、ハタネズミ(*M.montebelli*)、ドブネズミ(*R.norvegicus*)およびクマネズミ(*R.rattus*)の4種であった。捕獲数は森林や農耕地を主に生息域とするアカネズミやハタネズミなどのノネズミ類が多かった。イエネズミ類であるドブネズミとクマネズミの捕獲数は少なかった。表には示してはいないが、イエネズミ類はすべてRBS脇で捕獲されたが、ノネズミ類はそのほとんどがRBS周辺に形成された坑道の出入り口周りで捕獲される傾向であった。また、ネズミの他にイタチの捕獲や猫によるわなの破損がみられた。ドブネズミが捕獲されたS氏牛舎脇では、貯蔵後1-2カ月の間に被害

Table17 The species and numbers of rat captured in the storage place of whole-crop rice silage

	National Agricultural Research Center for Tohoku Region		Ichinoseki (Iwate Pref.)		
	Adjacent to livestock barn and woods	Adjacent to livestock barn and grass land	Adjacent to private house and paddy fields	Adjacent to woods and paddy fields	Adjacent to livestock barn
Large Japanese Field Mouse ( <i>A. speciosus</i> )	28	0	7	21	5
Japanese Grass Vole ( <i>M. montebelli</i> )	5	4	0	1	0
Brown Rat ( <i>R. norvegicus</i> )	1	0	0	1	1
Roof rat ( <i>R. rattus</i> )	0	0	1	0	0
Oters	Weasel ( <i>M. itatsi</i> ), Cat				



を受けたが、被害は、二段積みされたRBSの下段のみであった。ノネズミやドブネズミが捕獲された場所では、RBS下にそ穴や坑道が観察され、地面に糞が引き込まれていることが観察された（写真1）。また、被害を受けたRBSは地面に接しているもののみであった。一方、クマネズミが捕獲されたK飼料生産組合の人家と農器具庫に接している貯蔵場所の場合、貯蔵後1カ月以内に食害が観察され、被害は積み重ねた二段目のRBSにまで及び、RBS間に巣らしきものが形成されるなど、著しい被害であった（写真2）。

### (2) 行動観察

図3に16個のRBS群への食害経過の観察結果（貯蔵7週間後まで）を示した。貯蔵2週間後にはネズミによる被害が確認された。食害の経過は、まず、いくつかのRBS側面のラップフィルムにネズミによる損傷が確認され、その後、速やかにそれら損傷が確認されたRBS下にネズミの坑道が形成されてRBS

底部のラップフィルムが損傷を受けた。坑道は、底部に被害を受けたRBS以外の下部にも急速に広がっていったが、被害は一部のRBSに集中し、下に坑道が形成された他のRBSへの被害は徐々に広がって行く様子が観察された。貯蔵7週間後以降の被害RBS経過は、底部に被害を受けた一部RBSへの被害集中が続き、新たにラップフィルムに損傷を受けたRBSの増加は1個であった。貯蔵2週間後のRBS下の坑道の観察時にイエネズミと思われる大型のネズミ個体を確認した。また、わなの最初の設置日にこれらRBS脇において、ドブネズミが捕獲された。赤外線カメラで観察されたネズミの行動を図4に示した。複数のネズミ（イエネズミと思われる大型の個体）がそ穴から出入りすることが観察され、その行動は夜間に限られていた。

### 4) 考察

本研究では、アカネズミ、ハタネズミ、クマネズミおよびドブネズミの4種類のネズミ種が捕獲され



Photo1 Tunnel under round-baled silage and brown rice dragged in there



Photo2 Rat feeding damage observed in the storage place of round-baled silage

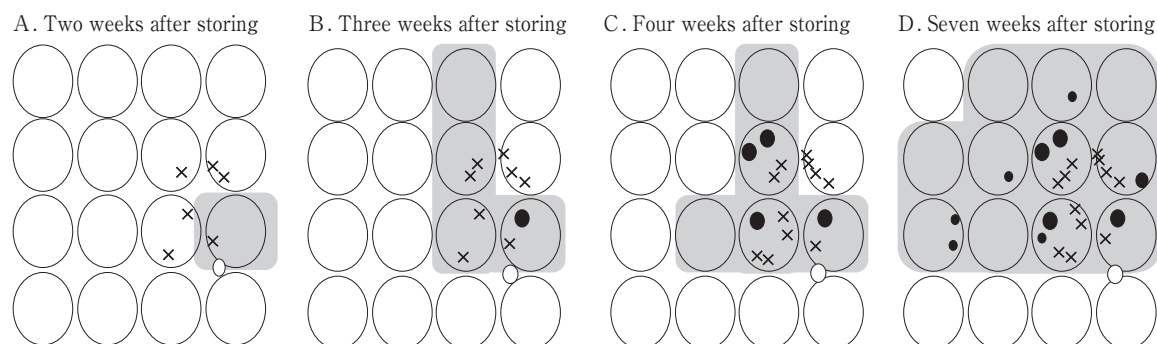


Fig. 3 3 Damage process to RBS group by rat

× : Hole of bale flank, ● : Hole of bale bottom, ○ : Beginning of rat tunnel, Gray coating : RBS with rat tunnel formed in bottom.



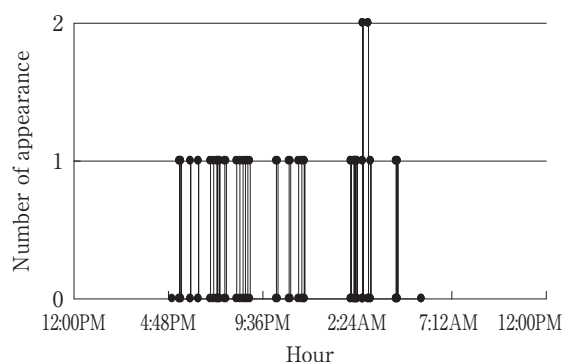


Fig. 4 Observation of rat appearance from tunnel between round-baled silages by the infrared camera

た(表17)。数多く捕獲されたアカネズミは、日本固有種であるが北海道から九州地域までが生息域で、ハタネズミは、北海道を除く本州から九州地域までが生息域である(阿部ら 2005)。また、捕獲されたクマネズミ及びドブネズミは、汎世界的に生息域が分布している(阿部ら 2005)。よって、本研究で確認されたRBS貯蔵場所に出現するネズミ種は、東北地域に限ったことではなく、日本全国で普通にみられる種であった。阿部・大矢(1974)が岩手県下の農耕地において行ったノネズミの捕獲調査によれば、ハタネズミ、アカネズミ、クマネズミおよびドブネズミの捕獲総数に占める各割合は85%、7%、1%、3%であった。本研究では、ハタネズミよりもアカネズミが多く捕獲された(表17)。本研究でアカネズミが多く捕獲された調査地点は林地に隣接していた。アカネズミは、水田よりも畑や樹園地などの乾地に主に生息しており、また、行動範囲がハタネズミよりも大きいことから(阿部・大矢1974)、本研究でのアカネズミの捕獲数の多さの原因として、調査地点がアカネズミの生息に適していたことによると推察される。クマネズミやドブネズミはハツカネズミと並び、人の生活圏において普通に見られるイエネズミである(川内・遠藤 2000)。本研究では、イエネズミが捕獲された場所は主に人家や畜舎に隣接した場所であり(表17)、人家や畜舎に生息するイエネズミが周辺に置かれたRBSに移動して食害を加えたと考えられた。

阿部・大矢(1974)のネズミの食性調査(無積雪時)によれば、ハタネズミとアカネズミの胃内容物は葉緑素を含む植物繊維や種実が50-80%を占めたが、クマネズミやドブネズミのそれは10%に過ぎな

かった。すなわち、ハタネズミとアカネズミは、積雪が無い状態ならば生息地周辺の各種植物を摂取しているため、RBSの貯蔵後にすぐさま食害を及ぼすことは考えにくい。ただし、図3の行動観察を行ったRBS群では、冬季以降にRBS脇やRBS下の坑道でこれらのノネズミの出現が観察されたことから、周辺の植物が積雪などで採取できなくなるとRBSへ食害を及ぼしやすくなるのではと推察された。一方、クマネズミやドブネズミが捕獲された集積・貯蔵場所での観察結果から、これらイエネズミはRBSの貯蔵直後から食害を開始することが示唆された。イエネズミのうち、ドブネズミは大量の動物性タンパク質を必要とし、クマネズミは種実類が主食であるとされるが(阿部ら 2005)、阿部・大矢(1974)が行った農耕地に出没するこれらクマネズミとドブネズミの胃内容物調査では、両者に大きな違いはなく、デンプン質を多量に摂取していた。よって、これらイエネズミ類はRBSの糶を主食として食害を与え、またノネズミよりも体が大きいために個体あたりの摂取量が大きく(阿部・大矢 1974)、少ない個体数でも予想以上の被害をもたらす可能性が示唆される。クマネズミが捕獲された保管場所の場合、収穫された飼料イエネRBSが置かれて1カ月以内に被害が発生しはじめた。この被害は積み重ねた二段目のRBSにまで及ぶなど著しい被害であった(写真2)。クマネズミは登はん能力に優れ、垂直な側面を登ることができるので(Yabe *et al.* 1998)、RBSの側面を自由に動き回ることができるかと推察される。写真3のように、牧草RBSの上に退避した飼料イエRBSが被害に遭う場合が観察され、クマネズミによる仕



Photo3 These bales suffered feeding damage by root rats despite being placed on the top of the grass baled silage

業であることが示唆される。これらの特徴から、積み重ねられたRBSの生息環境はクマネズミにとって適していると考えられた。一方、ドブネズミの登はん力はクマネズミに劣り、天井裏に棲みつきやすいクマネズミに対し、床下に棲みつきやすい（由井・阿部 1983）。このため、積み重ねた上段のロールベールに被害を広げるクマネズミに対して、ドブネズミは下段に被害を集中させることが示唆される。また、クマネズミの定住および加害は人家付近を除いては希であるが、ドブネズミは野外にまで広く採餌行動が拡大されることから（阿部・大矢 1974）、ドブネズミ被害地はクマネズミ被害地よりも広範囲に及ぶ可能性が示唆される。

図4のネズミの行動観察の実験において、RBS脇でドブネズミが捕獲されたこと、RBS下の坑道の観察で大型のネズミ個体を確認したことから、この加害種はドブネズミであることが示唆された。ドブネズミは体が大きく、性質がどう猛であるとされるが（由井・阿部 1983）、このドブネズミでさえも坑道から出てくるのは夜間に限られていた（図4）。また、被害が開始された当初はRBSの側面に被害がみられたが、RBS下に坑道が形成された後は、坑道からRBS底部への食害に集中した様子が伺われた（図3）。捕獲調査から、被害を受けているRBS周辺には、イタチや猫などのネズミの捕食者の出現が観察された（表17）。これらのことを鑑みると、ネズミは捕食者を警戒しつつRBSに食害を与えていることが示唆される。日本におけるネズミの主要な捕食者は、イタチや猫の他にキツネ、テン、ヘビおよびフクロウなどである（中田ら 2000）。飼料イネが収穫されるような郊外の田園地帯や牛舎脇において、これら捕食者が全くいない状況は考えにくい。しかし、ヘビを除いて、これら捕食者達が密着して積み重ねられたRBS間の狭い空間でネズミを捕食するのは困難であろう。通常、RBSは密着して積み重ねられて貯蔵される。この貯蔵形態はネズミに捕食者からの隠れ場所を与えて、被害を助長する可能性が示唆される。また、寒冷地におけるネズミ被害を調査した押部ら（2005）によれば、人為的に雪に埋設したRBSは被害を受けやすいことが報告されている。よって、密着・積み重ね配置や雪による遮蔽状況下を作らないようなRBS配置方法が飼料イネのネズミ被害を防ぐ上で必要であろうと考えられた。また、RBS下にネズミの坑道形成とともに被害が拡大しや

すいことと、RBSが直接地面に触れるのを避けるためにパレットなどを敷いた集積・貯蔵場所ではRBSと地面との間に作られた空間がネズミの通路となって被害が助長されたことから、未舗装地でのRBS貯蔵は避けるべきであると考えられた。

本研究結果から、ネズミ被害を受けている飼料イネRBSの集積・貯蔵場所では日本全国で普通にみられるネズミ種であるアカネズミ、ハタネズミ、ドブネズミおよびクマネズミの4種が捕獲され、これらすべてのネズミ種がRBSに加害する可能性が示唆された。アカネズミやハタネズミなどのノネズミ類やドブネズミによる被害は、RBSの地面に接した部分に被害が集中し、一方、クマネズミによる被害は、積み重ねた二段目のRBSにまで及ぶなど被害が拡大しやすいことが観察された。また、ネズミは常に捕食者を警戒しつつRBSへ食害を与えていることが示唆され、ネズミの隠れ場所を作らないようなRBS配置方法が必要であると考えられた。

## 2 ロールベールの配置方法の変更がネズミ害に及ぼす影響

### 1) 目的

前節の研究から、ネズミは常に捕食者を警戒しつつRBSへ食害を与えていることが示唆された。通常、RBSに調製された飼料イネは密着され、かつ積み重ねて置かれる。このような配置はネズミにとって捕食者からの格好の隠れ場所になることから、ネズミの隠れ場所をなくすような配置によればネズミの警戒感が高まって、食害が軽減されるのではと考えられる。そこで、本研究ではRBS間の間隔を空けてネズミの隠れ場所をなくすように配置する場合と、RBS間に陰ができるように配置した場合のネズミによる食害程度を比較した。

### 2) 材料と方法

#### (1) 実験地

2007年4月23日から6月20日の間、岩手県一関市に位置するRBS集積・貯蔵場所において実験を実施した。この貯蔵場所には、K飼料生産組合（飼料イネの作付面積620a）が収穫した飼料イネ小型RBS（経50cm×高さ60cm）の一部、約400個が3段から4段に積み重ねられて牛に給与されるまで貯蔵されており、数年来、ネズミによる食害被害を被っていた。この貯蔵場所の面積は325m<sup>2</sup>で舗装されておら

ず、南に小水路を挟んで林に囲まれた民家、西に農機具倉庫、北と東は農道を挟んで水田に接している。この近辺の年平均気温は11℃、最低月（1月）の平均気温は-4.1℃、最高月（8月）の平均気温は20.3℃で、年間降水量は1200mmである。試験期間中の日平均気温は14.8℃で、累計降水量は246mmであった。

## (2) 試験設計

貯蔵されていた飼料イネRBSのうち、ネズミ害の無い23個を選び出し、その他のRBSをすべて貯蔵場所から取り除いた。実験に用いた飼料イネRBSは、予乾体系によって収穫されたもので、平均乾物率が71%であった。また、平均糶割合（乾物中%）は29%であった。これらの低水分RBSは、4層のラップフィルムで梱包されていた。これら23個のRBSを対照配置区と間隔空け配置区の2つに分けて配置し、両群の食害を比較した。すべてのRBSは縦置きとした。対照配置は、RBSを密着させその上にRBSが積み重ねられていると同様の遮蔽効果を得るために、上部をブルーシートで覆った。その配置は、通常の積み上げ貯蔵を想定したものであった。間隔空けた配置（広々配置区）は、RBS間に人でも何とか通れるように20cm-30cmの間隔で配置した。RBS間に間隔を空けることによって、ネズミの隠れ場所を取り除いた。両区のWCS群の間は2m以上空けた。位置とバール数の影響を避けるために試験を2期行い、試験期が変わる毎に、二つの配置区の間で場所の入れ替えとRBS数を変えて、これらの影響を排除した。食害被害の確認は、第1期、第2期それぞれの最終日に加えて各期の途中（4月27日および6月5日）の計4回行った。その被害確認時にラップフィルムが一部でも食い破かれていたRBSは、その破損程度に関わらず、被害RBSとしてその数を記録した。それら被害が確認されたRBSは、各観察日にラップフィルム専用の補修テープによって被害部分を補修して再配置した。

## (3) ワナの設置

玄米を誘因エサとする生け捕り用ワナ（北海道森林保全協会製折り畳み式捕そ器、長さ29cm、幅7cm、高さ9cm）を用いて食害を及ぼしていたであろうネズミの捕獲を行った。第2期の終了後、すべてのRBSを対照配置にし、シートを被せてRBS間に7個のワナを仕掛けた。ただし、最初の28日間は、ワナにネズミを慣れさせるために蓋を開放状態に

し、続く3日間、ネズミが捕まえられるようにセットした。ワナの設置は、岩手県南振興局からの許可を得て行った。捕らえたネズミの取り扱い、日本哺乳類学会の哺乳類の取り扱いに関するガイドラインに従った。

## (4) 統計解析

試験期間を通じた食害RBSの割合を $\chi^2$ 分布（吉田 1992）で解析した。

## 3) 結果

### (1) 食害被害RBS数

各観察日における被害RBSの数を表18に示した。すべての観察日において対照区では食害バールが観察された。これらのバールでは、食害部位が側面の下部から上部にわたっていた。対照区の2つの被害バールは、ネズミによって径5cm程度の深い穴が観察されるほどダメージが大きかった。一方、広々配置区の3個のバールにおいて、側面の底から約20cmの範囲に食害が観察された。ただし、広々配置区では、対照区のような深い穴は観察されず、被害程度は軽微であった。対照RBS群の被害率80%に対して、広々配置区の被害率は7%程度と有意に（ $P < 0.01$ ）低下した。

### (2) 捕獲調査

第2期の終了後に仕掛けた罠によって、計4匹のネズミを捕まえた。これらネズミは、体系的特徴

Table 18 Number of rat-damaged and non-damaged round-baled silages and proportion of damaged bales in the control and spacious layouts

	Control layout		Spacious layout	
	Damage	No damage	Damage	No damage
First period				
April 27	13	3	0	7
May 22	13	3	0	7
Second period				
June 5	8	1	3	11
June 20	6	3	0	14
Total number	40	10	3	39
Proportion of damaged bales (%) <sup>†</sup>	80.0		7.1	

<sup>†</sup>Statistical difference was found between the control and spacious layout ( $P < 0.01$ ).



(阿部ら 2005) から、亜成体のクマネズミ (*R.rattus*) であると判定された。試験直後に、食害RBS間で捕獲されたことから、これらのクマネズミが食害を与えていたと考えられた。

#### 4) 考察

本研究結果から、飼料イネRBSに対してクマネズミが甚大な被害を与え得ることが強く示唆された。クマネズミは人の生活圏において普通に見られるイエネズミであるため(川内・遠藤 2000)、実験地に隣接する人家や農機具庫などが発生源であると考えられた。このように、クマネズミが生息する人家や畜舎に飼料イネRBSの集積・貯蔵場所が隣接する場合、クマネズミによる被害が発生しやすいと考えられる。クマネズミは登はん能力に優れ、垂直な側面でも登ることがができる(川内・遠藤 2000)。本研究結果では、RBSの側面上部にも被害が見られた。すなわち、登はん能力に優れるクマネズミにとって、RBSの側面を自由に動き回ることができることから、RBSが積み重ねられている状況は行動の制約を受けず、採餌に適した環境であると考えられる。

本実験では、広々配置区の被害を完全に防ぐことができなかったが、被害率が有意に低下した。ネズミ類の捕食者としては、キツネ、イタチ・テン類、ヘビ類、ワシ・タカ・フクロウ類が考えられる(中田ら 2000)。これら捕食者は、ヘビ類を除き、本研究の対照区のRBS間に潜り込んネズミを発見し、捕食することは難しいと考えられる。ただし、本実験では、薄いブルーシートを使って積み重ね貯蔵を再現したので、積み重ね貯蔵と全く同じ状況とは異なる可能性がある。よって、今後は、多数のロールベールを使ってこの積み重ね状況を再現する必要がある。一方、広々配置区においては、RBS間に見通しが確保され、捕食者らは容易にネズミを発見し、またRBS間のネズミを捕食することができる状況であろう。捕食者への警戒が必要な状況下ではネズミの警戒行動が増加するために、探索行動の効率が低下し、採食時間が減少する(Brown・Kotler 2007)。加えて、いくつかの齧歯類では、開かれた空間では捕食者警戒が概して高まるために、このような状況では採食を避ける傾向があることが報告されている(Newman・Caraco 1987, Brown *et al.* 1988, Sone 2002)。本研究でも、ベール間隔を空けた広々配置区では、クマネズミに同様の現象が観察さ

れた。本研究地点での捕食者の有無は調べていないので、間隔を空けた配置におけるクマネズミの捕食者警戒がどれほどのものであったか不明である。しかし、郊外の田園地帯や牛舎脇において、イタチやヘビなどの捕食者が全くいない状況は考えにくい。よって、隠れる場所を少なくする配置方法は、クマネズミの捕食者警戒を高め、食害を軽減するのに有効であろうと考えられる。こうしたネズミの行動生態を巧みに利用した本技術の特徴は、殺鼠剤や忌避剤などの化学物質に頼ることなく、また、ネズミ自身を殺すこともなく、特別な技術や機械等を必要としないことから、適用できる範囲が極めて広いと考えられる。

以上のことから、クマネズミは飼料イネRBSに対して容易に食害を及ぼしやすく、特にRBS間にネズミの隠れ場所ができるような配置で貯蔵を行うと被害が拡大しやすいことが示された。よって、RBSを積み重ねずに間隔を空け、隠れ場所を取り除くような配置を行うとクマネズミの捕食者警戒を高め、食害を軽減できることが明らかとなった。

### 3 ロールベールの配置方法の変更によるネズミ害軽減効果の現地実証

#### 1) 目的

通常、RBSに調製された飼料イネは密着され、かつ積み重ねて置かれる。このような配置はネズミにとって捕食者からの格好の隠れ場所になることから、飼料イネRBSを密集させずに空間を空けて広々と配置(広々配置法)すればネズミが天敵を警戒して食害が軽減されることを前節の研究において明らかにした。しかし、前節では、夏季の短期間における効果を確認したのみであった。飼料イネは収穫後、翌春にかけて多量に貯蔵されることから、冬季の長期にわたる広々配置法の効果を検証する必要がある。また、先の研究結果から、地面下の坑道を利用して加害するドブネズミやノネズミ種が存在するため、これらクマネズミ以外のネズミ種に対する広々配置の効果を検証することも必要である。このため、本節では、実際に生産者が集積した実規模でのRBS数で広々配置を行った場合の効果を、クマネズミ被害地およびノネズミ類による底部からの加害が確認された被害地の2カ所において検証すると共に、RBS底部を守る対策として金網を敷く方法とカプサイシン濃縮液散布の効果を調査した。



## 2) 材料と方法

### (1) 実験1 クマネズミ被害地における冬季の 広々配置法の効果

IV-2の実験と同じRBS集積・貯蔵場所で行った。2007年9月24日に汎用ロールベアラによって予乾収穫されたRBS（小型タイプ、直径約50cm）496個を267m<sup>2</sup>の面積に積み重ねずに間隔を空けて並べた。貯蔵場所1m<sup>2</sup>あたりのRBS数は約1.9個で、間隔が20cmに満たない場所が多々みられた。貯蔵後から4月まで、毎月1回被害を受けたRBS数を調査した。11月の下旬以降、積雪によってRBS間に雪のブリッジが発生した（写真4）。観察日にはその都度、RBS間に架かった雪のブリッジを除去してRBSのネズミ被害を確認した。一関地域の降雪期間は11月22日から3月22日までであり、試験期間中の総積雪量は205cm、日降雪の最大値は29cm、積雪期間中の平均積雪量は13.4cmであった。



Photo4 The snow masking between the bales

### (2) 実験2 ノネズミ被害地における冬季の 広々配置法と補助資材の効果

IV-1のネズミの捕獲調査結果において、アカネズミとドブネズミが捕獲された岩手県一関市内のRBS集積・貯蔵場所において試験を行った。毎年および先の捕獲調査時においてもRBSにネズミ被害がみられ、被害RBS下にはネズミの坑道が観察された。この貯蔵場所に、実験1と同様の予乾収穫されたRBS（小型タイプ、直径約50cm）388個を137m<sup>2</sup>の面積に積み重ねずに間隔を空けて並べた。貯蔵場所1m<sup>2</sup>あたりのRBS数は約2.8個で、平均間隔は20cmに満たなかった。これらRBSの貯蔵直後からの食害被害を観察すると共に、2008年1月18日に以下に示

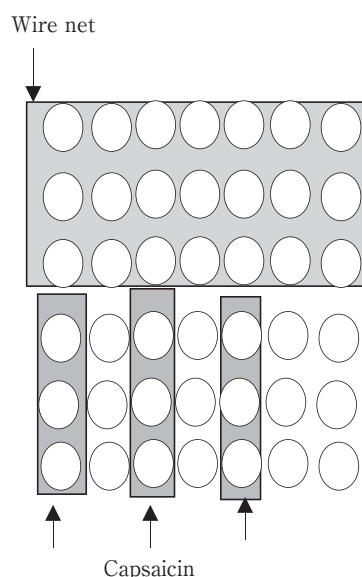


Fig. 5 The design for the wire net and capsaicin treatment in this study

す試験区を設置し、2月28日、4月11日および5月13日に各処理区の被害RBSの数を記録した。試験区は42個のRBSを用い、21個の下にビニール被覆亀甲金網（線径1.8mm、網目10mm）を敷き、また一部RBSの下に、カプサイシン濃縮液（商品名：L-トップ1000、株式会社A&B）の10倍希釈液を約700CC/m<sup>2</sup>の割合で散布した（図5）。統計解析は、各試験区における被害率を $\chi^2$ 分布（吉田 1992）と比較した。

## 3) 結果

### (1) 実験1 クマネズミ被害地における冬季の 広々配置法の効果

被害を受けたRBS数の推移を図6に示した。9月から11月まで、RBSはネズミ被害を受けなかった。11月19日から降雪が始まり、12月20日の観察時には、間隔が20cm程度以下と狭いRBS間には、雪のブリッジが架かり、遮蔽状況となっていた。それら場所においてネズミ被害の発生を確認した。雪のブリッジが消失した後は被害の発生は減少した。ネズミによる加害部位は、RBS側面の下部に集中しており、底部への加害は認められなかった。雪のブリッジは、1月の観察日に除去して以降、発生は認められなかった。この雪のブリッジが消失した後は、被害の発生は減少した。

2) 実験2 ノネズミ被害地における冬季の広々配置法と補助資材の効果

被害を受けたRBS数の推移を図7に示した。貯蔵2ヶ月後の11月15日に一部RBS下にネズミの坑道の形成が認められたが、積雪状況下の12月20日においても食害被害は認められなかった。しかし、翌年1月18日には、ネズミがRBS底部へ食害を与え始めていることが確認された。ネズミ被害は、実験1のクマネズミ被害地とは異なり、主に地面下の坑道からRBS底面部への加害であり、雪が消失した後も被害が続いた。

表19に底部の金網の有無が各観察日における被害RBSの個数に及ぼす影響を示した。対照区の被害率は24%であった。一方、金網区では、金網の端に位置した1個のRBSの底部側面に軽微な被害が認めら

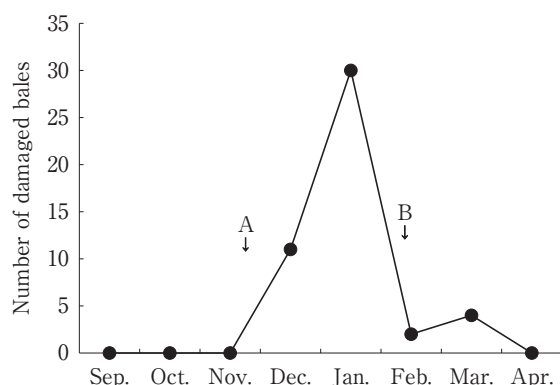


Fig. 6 The masking effect by snow on the number of rat-damaged round-baled silages in spacious layout

↓ A: Onset of the snow masking between the bales.  
 ↓ B: Disappearance of the snow masking between the bales.

Table19 Observed number of feeding-damaged round bales in the control and wire net treatment on the assessment day and propotion of the damaged bales

	Control		Wire net	
	No damage	Damage	No damage	Damage
Feb 28	15	6	20	1
Apr 11	13	8	21	0
May 13	20	1	21	0
	48	15	62	1
Proportion of damaged bales <sup>†</sup>	23.8**		1.6**	

<sup>†</sup>Staistical difference was found between the control and spacious layout ( $P<0.01$ ).

れたのみで、対照区に比べて被害率が大きく低下した。また、試験終了時に金網区のRBS下の坑道形成状況を観察したところ、21個中9個の下に形成されていた。表20には、カプサイシン濃縮液の散布の有無が各観察日における被害バールの個数に及ぼす影響を示した。カプサイシン散布の有無に関わらず、両区とも被害率は20%を越えた。この濃縮液の散布は、被害率に大きく影響を及ぼさなかった。

4) 考察

実験1を行ったクマネズミ被害地の飼料イネRBS集積・貯蔵場所では、本実験前年の2006年は密着し2-3段に積み重ねられたRBS群に貯蔵1ヶ月以内にネズミ被害が発生していた(IV-1)。一方、広々配置を行った本実験1では、貯蔵から11月までの3

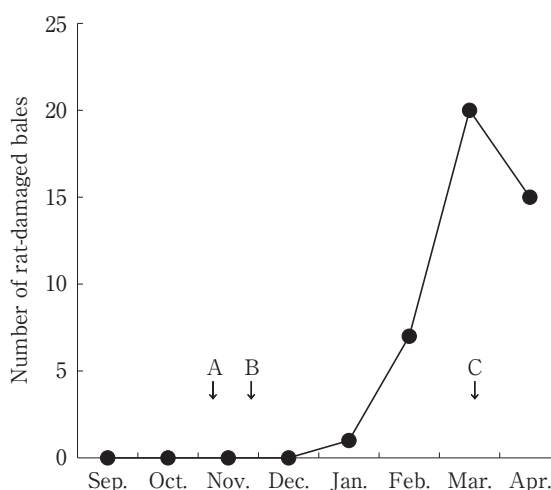


Fig. 7 Effect of spacious layout on the number of feeding-damaged round-bales silages by field mouse

↓ A: Tunnel formation by rat.  
 ↓ B: Start of snowfall, ↓ C: End of snowfall.

Table20 Observed number of feeding-damaged round bales in the control and capsaicin treatment on the assessment day and propotion of the damaged bales

	Control		Capsaicin	
	No damage	Damage	No damage	Damage
Feb 28	9	3	6	3
Apr 11	7	5	6	3
May 13	11	1	9	0
	27	9	21	6
Proportion of damaged bales	25.0		22.2	

カ月間での被害発生は防がれた(図6)。よって、多数個のRBSが貯蔵された場合でも、広々配置によってネズミ被害が防がれることが明らかとなった。ただし、RBS間に雪のブリッジによる遮蔽状況(写真4)が現れた12月以降は、ネズミ被害の発生を認めた(図6)。本実験地では、先の研究(Ⅳ-1およびⅣ-2)においてクマネズミの出現が確認され、かつその加害が確認されている。また、本実験での被害状況は、ドブネズミやノネズミ類の加害で特徴的な坑道を形成してRBS底部へ加えられたものではなく、側面下部への加害であったため、加害種はクマネズミであったことが示唆される。すなわち、たとえ広々配置されていても、積雪によってRBS間の空間が遮蔽状況になると、密集されて積み重ねられた通常の配置と同様、捕食者からの発見・捕食の可能性が低下したために、RBSへのクマネズミ被害が発生したと推察された。本実験では、貯蔵場所1m<sup>2</sup>あたりのRBS数は約1.9個で、間隔が20cmに満たない場所が多々みられた。このような狭い間隔では、積雪による遮蔽状況が発生しやすく、クマネズミによる被害が助長されることが示唆された。ノネズミ被害地で行った実験2においては、RBS間の間隔がクマネズミ被害地で行った実験1より狭く、時間経過に伴うバール変形によって大部分のRBSが積雪中に接触してしまう配置であった。50cm径のRBSを30cmの間隔を空けて並べるためには、密着させて平積みした場合よりも約2.6倍の面積を必要とする。積み重ね貯蔵された通常の配置と比べるとその差は、より大きく広がる。すなわち、RBS間を広く空けるためにはRBSの集積・保管場所を分散させて十分なスペースを確保する必要がある。本研究では、様々な積雪状況下において、RBS間の間隔をどの程度にすればRBS間の遮蔽状況が避けられるかの検討はしていない。よって積雪地帯においては、より広い間隔を空けることや除雪を行うなどの対策が考えられ、今後の検討課題である。

実験2の試験地は、第1節の調査から、ノネズミが数多く出現する場所で、地面下にネズミによって掘られた坑道から主にRBS底部に食害が加えられることが観察されている。本実験では、11月にはすでにRBS下に坑道が認められていたが、その後1カ月経過後も被害が認められず、RBS下に形成された坑道から食害が始まったのは貯蔵翌年1月からであった。地面下の坑道からRBS底部に加害を加える特徴

から、ドブネズミかノネズミ類による被害であることが示唆された。第1節のドブネズミによる被害経過の観察結果では、被害発生と坑道の形成はほとんど同時であったが、本実験では、地面下での坑道形成が認められてから加害するまでに時間を要した。よって、加害種はドブネズミではなく、ノネズミ類であることが示唆された。本試験地では周囲の至る所にネズミの坑道がみられ、先の捕獲調査(Ⅳ-1)ではアカネズミが多数捕獲された。よって、アカネズミによる加害であることが示唆された。本実験結果から、ノネズミ類の加害の特徴として、積雪が根雪になって周辺での食物採取が困難となるとRBSへの食害を始めるのではないかと推察される。本実験では、積雪が消失後も被害が続いた。本実験の広々配置はRBS間の間隔が狭い箇所が見受けられたが、たとえRBS間に十分な空間が空けられていたとしても、地面下の坑道からRBS底部に加害を加えるネズミの場合は、クマネズミが加害する場合に認められたような捕食者警戒が働くとは考えにくい。ノネズミであるハタネズミやアカネズミは地下に複雑な坑道を掘ることが知られている(由井・阿部 1983)。よって、ノネズミ類が生息する未舗装地においては、ネズミは地面下の坑道から直接にRBSの底部に食害を与えることができるため、広々配置を行っても食害を防止効果が必ずしも高くないことが示唆される。このため、ノネズミが出現する未舗装地にRBSを貯蔵する場合には、底部を何らかの方法で守る必要があると考えられる。コンバイン型の専用収穫機によって収穫されたRBSならば、穂がバールの一方に偏るため、穂を上配置すれば底部から進入するネズミへの対策となるとされる。このため、稲発酵粗飼料生産・給与技術マニュアル(全国飼料増産行動会議・日本草地畜産種子協会2006)では、下段バールの穂部を上、上段バールの穂部を下になるように配置する「穂あわせ」が鳥獣害対策になると紹介されている。しかしながら、本実験で用いたような汎用ロールベアラで予乾収穫されたRBSでは、穂が偏ることがないため、別の対策が必要である。本実験では、このノネズミ対策として、金網と底部へのカプサイシン散布の効果を検証した。その結果、金網を敷いた区は、下に坑道が形成されたのにも関わらず食害被害が少なく、底部から進入するネズミ類に対して効果が高いと考えられた(表19)。一方、カプサイシン濃縮液を散布しても、食害を防止する

ことはできなかった(表20)。本研究で用いた製剤は芝生地へのカラス・モグラの忌避効果を目的とするものであり、カプサイシン濃度自体は明らかではないが、メーカー推奨値(カラス:原液2-3CC/m<sup>2</sup>を1000倍希釈液で散布、モグラ:原液100倍希釈液をモグラ穴に散布)よりも多い量を散布した。ネズミ類は鳥類よりもカプサイシンに対する感受性が高いとされ(Masonら 1991)、Shumakeら(2000)はケーブルの被覆にカプサイシンを施用するとネズミの咬害防止に効果があることを報告している。ただし、本研究ではカプサイシンをラップフィルムに展着させたわけではなく、ネズミの口に入る状態ではなかったのであろう。よってカプサイシン濃縮液をRBS下の土壤に散布し、数ヶ月に及ぶ貯蔵期間にわたって忌避効果を期待することは難しいと考えられた。

本研究の実験2では、アカネズミが加害種であることが示唆された。アカネズミは日本全土の低地から高山帯まで広く分布し、森林、河川敷の下生えが密生しているところや水田の畦や畑に普通に見られる種である(阿部ら 2005)。すなわち、本試験地のようにアカネズミの生息域にRBSを貯蔵することは決して特殊な状況ではないと考えられる。これらノネズミ類は、坑道を掘ってRBS下に潜むことから、RBSの間隔を空けて配置しても、被害の軽減効果は低いと考えられた。よってノネズミの出現が予想される集積場では、坑道を掘って底部から進入する食害パターンへの対策が必要となる。その場合、RBS下に金網を敷くことが効果的な食害防止対策になり得ると考えられた。ただし、このようなノネズミ類の生息域においても、イエネズミであるクマネズミやドブネズミが出現する場合はIV-1で確認されている。よって、広々配置を行った上で底部を守る対策を組み合わせることが推奨される。

## V 総合考察

### 1 再貯蔵処理による既存の牧草ロールベールサイレージ調製での細切・高密度処理の活用

本研究において、RBSを開封して細切後にドラム缶サイロに再貯蔵すると、乳酸発酵が促進され、pHが大きく低下することが明らかになった(II-1)。この現象は、収穫14日後の短期貯蔵のRBSのみならず収穫90日後のRBSにおいても観察されたことから(II-1)、細切して詰め込むだけで良好な乳酸発酵が促進される材料草でも、RBSの条件下で

は乳酸発酵を促進させることが極めて困難な場合があることが確認された。よって、細切・再貯蔵処理によって、乳酸発酵が容易に促進され、大幅なpH低下が可能となることから、細切・再貯蔵処理がRBSの貯蔵性の改善に有効であると判断される。RBSはトラクタでの移動・運搬が可能であることから、流通にも適する形態ではあるが、フィルム破損が起こった場合に急速なカビ汚染が発生するために(萬田 1994、野中ら 1999)、流通するには乾草と比べてリスクが高い。このため、国内におけるRBSの流通は一部にとどまっている(野中ら 1999)。よって、RBSとして収穫調製された後に細切して、より流通に向く形態で高密度梱包すれば、乳酸発酵が誘起されて発酵品質がより安定した状態で貯蔵・流通でき、TMRへの適用性も向上すると考えられる。本研究では、これに適した可搬サイロとしてドラム缶サイロを利用した(II-1、2、3)。このようなサイロを利用するならば、ラップフィルム損傷などの気密性の低下などの問題は発生せず、再利用が可能でもある。本研究では、RBSに検出されたカビ数が再貯蔵後には、急速に低下することが観察された(II-2)。よって、この細切・再貯蔵処理は、カビ汚染のリスクをも下げられる可能性がある。

固定施設型のサイロを用いてサイレージの給飼体系が確立している場合、例えば関東地域で普及している地下角型サイロとサイレージ取り出し装置であるサイロクレーンを組み合わせた事例(市戸 1999)などでは非常に省力的にサイレージの給飼作業を行うことができる反面、サイロの増設を容易に行うことはできないのが現状である。よって、施設型サイロの容量不足を補完する目的でRBSを利用している農場が少なからず存在している(杉本ら 1990ab)。このような固定施設型サイロを用いたサイレージの給飼体系が確立している場面で飼料自給率を向上させるためには省力的に利用可能な補助サイロを活用していくことが考えられる。事実バンカーサイロを補助サイロとして使い、地下角型サイロが空いた時点でバンカーサイロから地下角型サイロにサイレージを移し替えて利用することによって飼料自給率を向上させている事例が見られる(川名 2002)。RBSを補助サイロとして活用し、農閑期にRBSを細断して空になった固定施設型サイロに再貯蔵できれば、遠隔地の分散圃場での収穫・調製作業を省力的に行うことができ、しかも地域内でRBSを流通させ



る場合などにも既存のサイレージ給与体系を変えることなく対応できると考えられる。また、RBSの細断作業をある時期に集中的に行うことができるために、RBS細断機の共同所有・利用体制の構築が可能となる。このように、より調製単位が大きい施設型サイロへ細切・再貯蔵する場合が想定される。RBSは、梱包単位が数百キロ程度であるので、開封後の好気的変敗よりも、貯蔵中のラップフィルム破損等に起因する望ましくない好気的微生物による汚染 (Fenlon *et al.* 1989) がより重要な問題として検討されてきた。Mowrey (1998) は、サイレージをサイロ間で移し替えて再貯蔵する場合、最初のサイロで良好なサイレージ発酵品質を確保し、気温の低い時期に速やかに移動させ、移動後の気密性を高めることが重要であると指摘している。すなわち、サイレージを再貯蔵する過程で一時的に好気条件下にさらすことになるために、好気的変敗が起こることが懸念される。本研究では、再貯蔵後の好気的変敗の程度を検討し、再貯蔵中に酵母数が減少するために、開封後の好気的変敗が抑制されることを明らかにした。したがって、細切されたRBSをより調製単位が大きい施設型サイロへ再貯蔵する技術は、広く普及しているRBS体系の利用性を向上させるための有効な技術と考えられる。

本研究において、細切・高密度梱包による乳酸発酵の促進効果は、乾物率約40%から60%程度までの範囲で認められた (Ⅲ-1、2)。一方、これより高い水分域の材料草では、WCS含量や付着乳酸菌数が低い場合は、細切・高密度梱包は逆に発酵品質を悪化させてしまう場合があることが明らかとなった (Ⅲ-3)。もちろん、この高い水分域では、RBSで保存していたとしても酪酸発酵が助長される。トウモロコシなどのホールクロープサイレージ用作物では、登熟によって水分含量が低下し、栄養価からみた収穫適期とサイレージの発酵品質からみた収穫適期がほぼ一致するが (名久井ら 1981)、牧草では栄養価が高い時期には水分含量も高いため、材料草の水分調整はより重要な技術となる。このため、予乾処理は牧草サイレージ調製の基本技術として定着するに至っており (増子 1999)、草種や刈り取りステージを問わずに酪酸発酵が抑制される水分60%以下の低水分域 (大下ら 1992、樋渡 1988、馬場ら 1997) への省力的効率的な水分調整法が求められている。これを受け、牧草を刈り取っ

た直後にフォレージマットメーカーと称される機械で圧碎 (摩碎) してマット状にし、乾燥を促進させる新しい調製技術の開発が世界各地で進められている (糸川ら 2001)。我が国でもフォレージマットメーカーのプロトタイプが開発されている (西崎ら 1998)。このように、予乾調製技術が進歩してはいるが、今後はコントラクターやTMR供給センター組合などの大規模な飼料生産組織が収穫調製を担っていく割合が高まると予想される。その場合は、短時間での大量調製が基本となるため、収穫時の天候に合わせたきめ細やかな予乾調製はできにくい状況と考えられる。我が国の属する温帯湿潤気候を考えると牧草収穫時は雨天になる可能性が高く、大規模な飼料生産組織の多量調製状況では、予乾不足の牧草サイレージが調製されることは珍しいことではない。本研究では、この対策として細切・再貯蔵時に濃厚飼料の添加を行って発酵品質の改善を試みた (Ⅱ-3)。その結果、速やかに多量の濃厚飼料を混合し、発酵TMRとして速やかに保存された場合、貯蔵中の発酵品質の悪化、特に嗜好性の低下が抑えられることが明らかとなった。TMR供給センターでは、内袋付きトランスバックによる発酵TMRの調製を行っている場合がある。よって、TMR供給センターで不十分な予乾によって調製されてしまったRBSを利用する場面において、濃厚飼料混合による再貯蔵技術の活用によって、品質のリカバリが期待できる。

圃場での天日による予乾処理によらずに水分調整を行う手段として、収穫調製時に吸水性資材を添加・混合する方法が検討されている。家畜用飼料として利用されるものの中で、取扱性が高く、そのまま保存可能な乾燥物ならば吸水性資材として活用でき、稲ワラ (高野ら 1975、高野・山下 1990)、穀類 (永西ら 1996)、ビートパルプ (高野 1975、1990、宮城ら 1993、山田ら 1986)、フスマ (永西ら 1996; Yokotaら 1995)、米ヌカ (丹羽ら 1985、Yokotaら 1995)、醤油粕 (丹羽ら 1985)、バガス (宮城ら 1993) およびミカン粕 (宮城ら 1993) 等の粗飼料から製造粕類までもが水分調整資材として検討されている。また、水分調整を兼ねながら、家畜の要求する栄養成分に合わせて調製する場合には牧乾草や配合飼料も活用できる (坂出 1989、高井ら 1993、高野ら 1975-1993)。特に吸水性資材の中で糖含量が高い配合飼料やビートパルプは、水分調整とともに発酵基質の添加効果が期

待でき、糖含量が低い稲ワラ、発酵粕類やマメ科農産物などよりも発酵品質改善効果が高いことが示されている（片山ら 1994）。これら吸水性資材の保水能は稲ワラや牧乾草などの繊維質飼料で高く、穀類や製造粕類はやや劣ることが示されているが（片山ら 1994）、吸水性資材の10%添加は全体で約7%程度水分含量を低下させる（高野ら 1975）。これら吸水性資材の添加は、添加量が多い場合には圃場での作業は通常では困難であるが、細断型ベールの利用によって可能と考えられる。すなわち、細断型ベールは、大容量の荷受けホッパに収穫材料をためてから梱包する構造を持つため、収穫時に水分調整資材との混合が比較的容易にできるという側面を持つ（青木ら 2008b）。その特性を生かし、青木ら（2008a、2008b）は、濃厚飼料およびビートパルプを細断ベールでの飼料作物収穫時に混合添加することで発酵品質の改善が可能であることを報告している。サイレージ発酵に関与する微生物の活動は、水分含量に強く影響されることから、発酵の場である材料作物の水分を適切に調整することはサイレージ調製の基本であり（内田 1999）、細切処理などの品質改善技術の可能性を高めることにもなる。今後増加するであろうコントラクターやTMRセンター組合などの大規模な飼料生産組織が短時間で大量収穫する場合には、収穫時の天候に合わせたきめ細やかな予乾調製を行にくい状況であることは前述した。また、細断型ベールは、発酵TMR調製に利用できることが報告されており（越川ら 2008、平久保ら 2008）、TMR供給センターにおいて細断型ベールを定置使用することによって、前述した既存のロールベール体系で調製された未細切ベールを細切・発酵TMR化する作業に有効活用できると考えられる。したがって、既存のベールに細断型ベールを組み合わせた収穫調製作業に水分調整をも念頭においた発酵TMR化技術を導入した細切・再貯蔵システムによって、いかなる天候状況にも対応できるサイレージ調製体系が構築できると考えられる。

以上のことから、既存の機械で収穫された牧草RBSにおいても、細切・再貯蔵処理によって、TMR給与法にも利用しやすい品質の安定した細切サイレージとして活用することができ、また、再貯蔵時に濃厚飼料混合による発酵TMR化によって、予乾不足のRBSの品質劣化防止対策が可能であることが明らかとなった。

## 2 細切・高密度処理による飼料イネロールベールサイレージの発酵改善

飼料イネサイレージは、アルコールが生成されやすいことが報告されている（永西・四十万谷 1998、Nishino・Shinde 2007）。本研究でも、発酵生成物の88%がエタノールで占められるサイレージが観察されるなど、無細切で調製された飼料イネサイレージでは高いエタノール生成が認められた（Ⅲ-2、3）。予乾された乾物率の高い牧草サイレージにおいても、エタノール発酵が優占する場合があることが報告されており、酵母の増殖が原因と考えられている（Driehuris・Wikselaar 2000）。硬く中空の茎を持つイネは、サイレージ調製時に空気が排除されにくく（永西・四十万谷 1998、蔡ら 2001）、加えて無細切や切断長が長い状態では密度が上がりにくいことが気密性の低い環境をつくり、酵母の増殖を促すと考えられる。また、無細切や切断長が長い状態では、植物体表面に比較的傷が少なく乳酸菌などの付着細菌類が効果的に増殖できない（Gibson *et al.* 1961）ことから、飼料イネの少ない糖分の利用において、酵母の競合微生物が少ないことも理由であろう。本研究ではエタノールが新鮮物中1%を超える高濃度のサイレージにおいて、酢酸生成が1%を超えるサイレージが認められた（Ⅲ-3）。このサイレージでは、乳酸生成が全く見られなかったことから、酢酸生成は家畜に病原性を持つ腸内細菌等の増殖に由来するものと考えられ、エタノール発酵が盛んに行われた場合、他の望ましくない微生物も増殖している可能性が示唆された。牧草において、エタノールが多量に生成されるサイレージの存在を報告したDriehuris・Wikselaar（2000）によれば、このエタノール発酵型サイレージは予乾処理された乾物率の高いサイレージに観察されるとしている。本研究では、酪酸発酵の可能性がある乾物率40%以下の飼料イネサイレージでも、50日程度の貯蔵では酪酸含量よりもエタノール含量の方が高まることが観察された（Ⅲ-3）。酪酸発酵型サイレージでは酵母の生育が抑制されるとされるが（McDonaldら 1991）、無細切などで比較的傷が少ない条件の場合、イネの植物体表面の栄養条件は酪酸菌にとっても増殖に時間を要するであろうから、貯蔵の初期段階では酪酸発酵よりもエタノール発酵が優占しやすいと考えられた。ただし、エタノールとともに酪酸含量も高い飼料イネサイレージもみら

れたことから、高水分の飼料イネにおいてはエタノール発酵が優占したからといって酪酸発酵が抑制され続けるわけではないことが示された。エタノールは殺菌作用を持つことが知られているが、エタノール発酵型サイレージの微生物動態を詳細に研究した報告はなく、サイレージ中エタノール含量の不良微生物に対する抑制効果は不明である (Driehuris・Wikselaar 2000)。しかし、飼料イネサイレージにおいては、本研究結果から生成されるエタノール自体は、他の不良微生物の増殖の抑制には効果的でないことが示された。また、本研究でみられたようにエタノール発酵が盛んに行われてもサイレージのpHは高いままに保たれる(Ⅲ-2、3)。pHの高いRBSでは、リステリアなどの病原性菌や糸状菌等の好気的な不良微生物が増殖しやすいことが指摘されている (Ruxton・Gibson 1995、蔡ら 2004)。よって、エタノール発酵型サイレージは品質安定性が低いことが示唆される。

サイレージの発酵品質は、生成された有機酸中の乳酸が占める割合によって評価するフリーク法 (大山・白田 1972) が古くから使われていた。そして乳酸発酵が抑制されがちな低水分サイレージでは、低い含水率自体が酪酸発酵を抑制するために、フリーク法による評価では低水分サイレージの発酵品質を過小評価してしまう問題点を抱えていた。一方、不良発酵に由来するVFAとVBNの生成のみを分析項目とするV-SCORE (自給飼料評価研究会 2001) では、予乾サイレージなどの低水分サイレージにおいて乳酸発酵が促進されなかった場合でも酪酸発酵の抑制程度を評価できる。このため、予乾調製が前提であるRBSが増加した現在においては、V-SCOREによる評価法が日本の生産現場において最もよく使われている。V-SCOREは、飼料イネRBSの生産現場に対しても発酵品質の評価法として推奨されているが (畜産草地研究所 2001)、VFAやVBNの生成がなければ、エタノールが生成され、pHが高くても発酵品質が良好と評価する。本研究においても従来型・無細切型にみられたエタノール発酵型サイレージのほとんどを良好な発酵品質であると高評価を与えた(Ⅲ-2、3)。エタノール発酵サイレージは乾物損失率が高く (Driehuris・Wikselaar 2000)、不良微生物の増殖が抑制されにくい。よって、飼料イネにおけるエタノール発酵型サイレージは、V-SCOREで良好と判断されるが、

品質安定性が保証されたわけでは無いことを認識すべきである。

細断型ロールベアラで調製されたトウモロコシの発酵品質は、良好であることが報告されている (志藤ら 2005)。トウモロコシにはサイレージ発酵に重要な耐酸性の高い乳酸桿菌の付着が多いが、飼料イネには、それらの付着が他の牧草類と同様に少ないことが指摘されている (蔡 2001)。本研究結果から、細断型ロールベアラによってもたらされる細切・高密度梱包処理は、付着乳酸菌が少ない飼料イネにおいても、乾物率が40%を越える水分範囲では乳酸発酵を促進させてpHを低下させる有効な手段であることが示された(Ⅲ-1、2)。飼料イネには、好気性細菌、バチルス、糸状菌および酵母が高い菌数レベルで存在するが、これらの不良微生物はpH4.2以下の条件で生育を抑制できるとされる (蔡 2004)。細切・高密度処理によって乳酸発酵が促進された飼料イネサイレージのpHは、ほぼこの低いpH値に到達していた(Ⅲ-1-3)。また、飼料イネを無細切でサイレージに調製するとエタノール発酵型サイレージが調製されるが、細切・高密度処理によって乳酸発酵が促進されるとエタノール生成が低いレベルに抑制された(Ⅲ-2、3)。このため、細切・高密度処理による草汁の利用性向上と40%を越える乾物率は、飼料イネの付着乳酸菌においても他の微生物と十分に競合できる環境であると考えられた。従来型RBSでは、収穫翌年の暑熱期間での貯蔵では、すべてのRBSでカビ破棄が発生したが、細断型ではカビの発生が防がれたRBSがみられ、またカビが発生した場合も破棄率が低下する傾向にあった(Ⅲ-2)。すなわち細切・高密度による酸素の排除と低いpHは、長期貯蔵時のカビ汚染のリスクも低下することが示された。

飼料イネの収穫適期は、籾の消化性と脱粒性を考慮してTDN含量が最大となる黄熟期 (出穂後30日頃) とされ、その際の乾物率は40%程度となる (吉田 2004)。よって、適期収穫される限りにおいて、細断型ロールベアラの飼料イネ収穫調製への適用は、添加物を用いずとも良好な発酵品質のサイレージを得るための効果的な手段と判断される。しかし、飼料イネは、食用米との作業競合を避けるために収穫作業が前倒しで行われる場合が多く、加えて生育期間が限られる東北地域以北向けの早刈りが可能な早生品種が限られる (根本 2004) ことから、必ず



しも黄熟期の適期収穫が確保されているわけではない。材料イネの乾物率が40%に満たない場合は、細切・高密度処理による酸素の排除効果によってエタノール発酵はある程度抑制されるが、その発酵環境は酪酸菌に好適となるために、付着乳酸菌では効果的に酪酸発酵を抑制することは困難となる(Ⅲ-3)。蔡ら(2003)は、飼料作物サイレージから選抜した低pH耐性と乳酸生成能が優れる乳酸菌株(*L.plantarum*、畜草1号)を乾物率が30%程度と低い飼料イネRBS調製時に添加し、pH4.2以下の速やかな低下に成功している。この実験に用いられたロールベールは、フレールタイプの刈取り部を持つため、植物体に傷が付きやすいタイプ(百瀬ら2006)であった。蔡ら(2003)の選抜した乳酸菌を、長切断タイプの飼料イネRBS調製時に添加した場合は、無添加に比べて乳酸生成が高まるものの、pHが4.2以下には到達しにくく、長期貯蔵時にはカビの発生を完全には抑制できない場合がみられる(平久保ら2005)。Driehuis・Wiksehaar(2000)や山本ら(2004)も無細切や長切断状態よりも細切処理など植物体に傷を付けた状態の方が乳酸菌の添加効果が高まることを示している。よって、高水分域の飼料イネが細切・高密度処理によって調製される場合は、乳酸菌製剤の添加が不可欠であるが、その添加効果をより確実なものにすると考えられる。

本研究結果から、細断型ロールベールを活用し、添加物に頼らずとも良好な発酵品質の飼料イネRBSを得ようとするならば、予乾収穫体系が望まれる。細断型ロールベールを用いた予乾体系で飼料イネを収穫調製する場合、飼料成分や栄養価に影響する物理的な圃場損失は認められなかった。水田における予乾処理に関して、大谷ら(2004、2006)は刈取りに自脱型コンバインを活用し、走行部にクローラを持つロールベールと組み合わせれば、軟弱水田においても低コストに予乾体系が組める方法を提案している。また、細断型ベールによる収穫調製では、刈り倒された材料を、フォレージハーベスタによって細切・吹き上げる作業が必要であるが、水田でのフォレージハーベスタでの収穫作業を可能とする方法として、リバース走行可能なクローラ型トラクタを用いた収穫作業が提案されている(澤村2004)。現在市販されている細断型ロールベールは、水田走行を前提としたものではないためにクローラを走行部に持たないが、現在、刈取り細切機構を内蔵し、

湿田での作業も可能とするゴムクローラの走行部を備えた細断型ロールベールの開発が進められている(農林水産技術会議事務局2003)。よって、細断型ロールベールを基軸とする予乾収穫体系を構築することは現在でも可能であり、今後はさらに容易になると考えられる。

本研究によって、飼料イネを無細切や切断長が長い状態でRBSに調製した場合、飼料イネの構造上、酸素が排除されにくいことと細菌類による草汁の利用性が劣ることから、水分含量の高低に関わらず、エタノール発酵が優占しやすいことが明らかになった。また、エタノール発酵型飼料イネサイレージは、その後の貯蔵過程で細菌類が増殖を始め、乾物率40%を越える場合は腸内細菌等の酢酸生成菌の増殖が起りやすく、乾物率40%に達しない場合では酪酸発酵が促進されやすく品質安定性が低いことが示された。細切・高密度処理は乳酸発酵の促進に効果的であるとされるが、細切・高密度処理を飼料イネのサイレージ調製に適用する場合は、水分条件によって異なる効果が得られることが明らかになった。すなわち、乾物率40%を越える場合は添加物を用いずとも付着乳酸菌による乳酸発酵が促進され、不良微生物を抑制するのに十分なpH低下が得られるが、乾物率40%に達しない場合は逆に酪酸発酵を促進してしまうことが明らかとなった。このため、飼料イネのRBS調製において、細切・高密度処理を可能とする細断型ロールベールを適用する場合は、材料草の水分条件に注意する必要があると結論された。

### 3 飼料イネロールベールサイレージ貯蔵中のネズミからのラップフィルム保護

ラップフィルム破損が起こったRBSは、内部まで急速にカビ(糸状菌)に汚染されるため(萬田1994、野中ら1999)、ラップフィルムの取り扱いには注意を要する。ラップフィルムの破損に由来するカビ汚染は、発酵品質の良否に関わらずに発生するため(蔡2003)、いくら良好な発酵品質のRBSが調製されても、その後の保管管理状況によって良品が確保され続けるとは限らない。本研究結果より、高密度に梱包され乳酸発酵が促進される細断型RBSは従来型RBSよりもカビの発生程度は低いものの、ラップフィルム破損によるカビ汚染は避けられないことが示された(Ⅲ-2)。近年、乳牛の生産性が増加するに従って、カビ毒に由来する生産性の低下が問



題となっている(菊池 2004)。カビが発生したサイレージは、給与時に目視でカビ部分を破棄して給与するなどの対策がとられるが、目視で確認できるようなカビが発生していない部分においても、カビ毒が含まれることは珍しくない(菊池 2004)。よって、RBSの品質安定性を保つには、調製時の不良発酵防止対策のみでは不十分で、保管中のラップフィルムの破損防止対策が不可欠となる。本研究結果から、日本中に広く分布し、人の生活圏に普通にみられるネズミ種が飼料イネRBSのラップフィルムに損傷を与えることが明らかにされた(IV-1-3)。よって、飼料イネRBSのラップフィルムは保管中に獣害による損傷の可能性が牧草RBSよりも高いことが示された。ラップフィルムに破損を発見したら速やかに補修するか、早期に給与しなければならない。破損したRBS数が多く、給与するまでに長期貯蔵せざるを得ない場合には再ラッピングすることが推奨されている(全国飼料増産行動会議・日本草地畜産種子協会 2006)。運搬時など、RBSを掴む際に発生するラップフィルム破損や鳥害による損傷は容易に破損部を発見しやすいことから、再ラッピングなどの対策が容易であると考えられる。一方、密着され、積み上げられたRBS群の内側でネズミがラップフィルムの損傷を行っても容易に破損部を確認できないので、破損の補修もままならない。特に、積み上げられたRBS群では、登はん能力の高いクマネズミが被害を与えやすいことが示唆され(IV-1、2)、被害が甚大になる可能性が示唆される。本研究では、この密着され積み上げられたRBS群はネズミにとって捕食者からの隠れ場所が豊富にあると考え、この隠れ場所をなくすような配置にすれば被害が軽減することを明らかにした(IV-2)。ただし、積雪に注意せねばならぬことと地面下にトンネルを掘って潜むノネズミ類に対しては、RBS間に間隔を空けても隠れ場所をなくすことにはならず、底部を守る対策が別途必要であることも明らかにした(IV-3)。この配置方法の変更による対策は、ネズミ害を軽減できるだけでなく、RBS間を見回ることができ、貯蔵されているすべてのRBSのラップフィルム破損などの異常を発見しやすい利点を併せ持つ。この対策を行うためには広い貯蔵場所が必要であるが、特別な機械や施設を必要とせず、毒物を使わないことから牛舎脇でも安心して実施することができ、ネズミを含む生物をむやみに殺傷しないなどの利点もあ

り、汎用性が極めて高いと考えられる。

以上から、再貯蔵による細切・高密度処理の活用は、牧草RBSの発酵と貯蔵性の改善に有効であること、また、飼料イネの収穫・調製における細断型ロールベアラの適用条件が明確に示された。さらに、殺鼠剤や忌避剤等の化学物質、特別な機械・施設を必要としない有効なネズミ食害対策が提示された。これらの技術は、RBS活用の拡大、細断型ロールベアラの飼料イネへの適用と対応機種開発の促進、飼料イネRBSの生産拡大をもたらす原動力になるものと考えられる。

## VI 摘 要

ロールベールサイレージ(RBS)体系は、粗飼料の収穫・調製貯蔵を省力的に行うことができることから、国内の大家畜生産にとって不可欠なものとなっている。しかし、RBSは材料草が未細切であること、低密度の発酵環境であること、および被覆ラップフィルムが破損しやすいことから、不良発酵や貯蔵中に変質するリスクが高いという問題点を抱える。近年、RBSの細断・解体機や細断型ロールベアラの開発によって、RBS体系においても省力的な収穫方法を活かしつつ、細切処理を組み込むことができる体制が整ってきた。そこで本研究では、牧草と飼料イネを材料として、RBSの利用性と品質制御における不安定要因の改善を目的として、細切・高密度処理の適用効果を明らかにするとともに、貯蔵中のネズミからのラップフィルムの保護技術の検討を加え、RBSの発酵改善から安定貯蔵にいたる技術を体系的に検討した。

既存RBS体系において細切・高密度処理を活用するため、RBSを細切し、気密性の優れたサイロに密度を高めて再貯蔵する方法を検討した。その結果、RBSを細切して密度を5-8%高めて再貯蔵するのみで、乳酸発酵が促進され、pHが乾物率38%の場合は5.3から4.2に、乾物率51%では5.7から4.5に大きく低下することが明らかになった。また、再貯蔵後は酵母が減少して開封後の好氣的安定性が高まることが確認された。加えて、RBSが高水分のために酪酸発酵が助長される場合、再貯蔵処理時に穀物を添加することによって、貯蔵中の酪酸発酵を防止して嗜好性が改善されることが明らかになった。よって、細切・高密度処理を活用した再貯蔵技術は既存RBS体系の欠点を補完する技術として活用できることを示した。

トウモロコシ用に開発された細断型ロールベールを用い、発酵品質が劣質化しやすい飼料イネRBSへの細切・高密度処理の効果を検討した。その結果、飼料イネRBSの特徴として、低水分から高水分域まで、乳酸発酵よりもエタノール発酵が促進されやすいことが示され、このような特徴を持つ飼料イネに対して、細切・高密度処理は、乳酸発酵を促進させてエタノール発酵を抑制することに有効であることが明らかになった。ただし、高水分域（乾物率40%未満）では発酵品質の改善に必ずしも有効ではなく、飼料イネのサイレージ発酵に対する細断・高密度処理の効果は材料イネの乾物率に依存することが明らかになった。

飼料イネRBSの貯蔵中のラップフィルム保護の方法について検討した。飼料イネRBSでは糶を狙うネズミによるラップフィルムの損傷被害が各地で顕在化している。そこで、加害ネズミ種の捕獲調査や行動観察を行い、RBSを密着させ、積み重ねて配置する従来のRBS貯蔵方法がネズミ被害を助長する要因であることを突き止め、間隔を空けてネズミの隠れ場所を作らないようにRBSを配置することによってネズミ被害を大幅に軽減できることを明らかにした。これは、ネズミが常に捕食者（イタチ、ヘビ、猛禽類、猫など）を警戒しつつ餌を探している習性を巧みに利用したものである。

以上から、再貯蔵による細切・高密度処理の活用は、牧草RBSの発酵と貯蔵性の改善に有効であること、また、飼料イネの収穫・調製における細断型ロールベールの適用条件が明確に示された。さらに、殺鼠剤や忌避剤等の化学物質、特別な機械・施設を必要としない有効なネズミ食害対策が提示された。

## 引用文献

- 1) 阿部 亮. 2000. 食品製造副産物利用とTMRセンター. 酪農総合研究所. 札幌. p1-80.
- 2) Abe, A.; Horii, S.; Kameoka, K. 1979. Application of enzymatic analysis with glucoamylase, pronase and cellulase to various feeds for cattle. J. Anim. Sci. 48 : 1483-1490.
- 3) 阿部 永, 石井信夫, 伊藤徹魯, 金子之史, 前田善四雄, 三浦慎悟, 米田政明. 2005. 日本の哺乳類 改訂版. 東海大学出版会. 神奈川. p131-143.
- 4) 阿部 禎, 大矢剛毅. 1974. 岩手県の農耕地に生息するノネズミの種類と食性. 岩手農試研報 18 : 23-29.
- 5) 秋山典昭. 1999. 飼料作物に含まれる単少糖類の高速液体クロマトグラフィ (HPLC) を用いた定量法における試料調製法の検討. 草地試研報 58 : 17-25.
- 6) 青木康浩, 宮地 慎, 大下友子, 秋山典昭. 2008a. 細断型ロールベールによる飼料用トウモロコシと濃厚飼料の混合調製サイレージの翌夏における発酵品質, 嗜好性および栄養価. 日草誌 54 (別) : 366-367.
- 7) 青木康浩, 宮地 慎, 大下友子, 秋山典昭. 2008b. チモシー主体牧草の細断ロールベールサイレージの飼料特性に対する水分調整の影響. 日草誌 54 (別) : 368-369.
- 8) 馬場武志, 太田 剛, 大石登志雄. 1997. イタリアンライグラスラップサイレージの発酵品質に及ぼす材料草の水分, 刈取りステージ及び貯蔵場所, 貯蔵期間の影響. 福岡農総試研報 16 : 117-120.
- 9) 板東 健, 出岡謙太郎. 1979. 好気的変敗ならびにプロピオン酸添加とうもろこしサイレージの産乳価値. 新得畜試研報 10 : 25-31.
- 10) Bell, F.R. 1959. Preference thresholds for taste discrimination in goats. J. Agri. Sci. 52 : 125-128.
- 11) Brown, J.S.; Kotler, B.P.; Smith, J.R.; Wirtz II, W.O. 1988. The effects of owl predation on the foraging behavior of heteromyid rodents. Oecologia 76 : 408-415.
- 12) Brown, J.S.; Kotler, B.P. 2007. Foraging and the ecology of fear. (StepHens, D.W.; Brown, J.S.; Ydenberg, R.C. eds., Foraging, Behavior and Ecology). The University of Chicago Press. Chicago. p437-480.
- 13) Buchanan-Smith, J.G. 1990. An investigation into palatability as a factor responsible for reduced intake of silage by sheep. Anim. Prod. 50 : 253-260.
- 14) Burwash, M.D.; Tobin, M.E.; Woolhouse, A.D.; Sullivan, T.P. 1998. Laboratory evaluation of predator odors for eliciting an avoidance response in roof rats, *Rattus rattus*. J. Chem. Eco. 24: 49-66.

- 15) Cai, Y; Ogawa, M. 1998. Effect of ammonium tetraformate on the aerobic deterioration of corn silage. *Grassl. Sci.* 44 : 90-92.
- 16) 蔡 義民. 2001. サイレージ乳酸菌の役割と高品質化の調製. *日草誌* 47 : 527-533.
- 17) 蔡 義民, 藤田泰仁, 村井 勝, 小川増弘, 吉田宣夫, 北村 亨, 三浦俊治. 2003. 飼料イネサイレージ調製への乳酸菌 (*Lactobacillus plantarum* 畜草1号) の利用. *日草誌* 49 : 477-485.
- 18) 蔡 義民. 2004. 稲発酵粗飼料の高品質調製技術. *畜産の研究* 58 : 661-669.
- 19) Clancy, M.; Wangsness, P.J.; Baumgardt, B.R. 1977. Effect of silage extract on voluntary intake, rumen fluid constituents, and rumen motility. *J. Dairy Sci.* 60 : 580-590.
- 20) Conrad, H.R.; Pratt, A.D.; Hibbs, J.W. 1964. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physical and physiological factors with increasing digestibility. *J. Dairy Sci.* 47 : 54-62.
- 21) Danner, H.; Holzer, M.; Mayrhuber, E.; Braun, R. 2003. Acetic acid increases stability of silage under aerobic conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 69 : 562-567.
- 22) Dielenberg, R.A.; McGregor, I.S. 1999. Habituation of the hiding response to cat odor in rats. *Rattus norvegicus*. *Journal of Comparative Psychology* 113 : 376-387.
- 23) Driehuis, F; Oude Elferink, S.J.W.H.; Spoelstra, S.F. 1999. An aerobic lactic acid degradation during ensilage of whole crop maize inoculated with *Lactobacillus buchneri* inhibits yeast growth and improves aerobic stability. *J. Appl. Microbiol.* 87 : 583-594.
- 24) Driehuis, F.; Wikselaar, P.G. 2000. The occurrence and prevention of ethanol fermentation in high-dry-matter grass silage. *J. Sci. Food. Agric.* 80 : 711-718.
- 25) 永西 修, 四十万谷吉郎, 仮屋喜弘, 池田健児, 村井 勝. 1996. 濃厚飼料あるいは青刈りトウモロコシの混合がセスバニアロストラータ (*Sesbania rostrata*) サイレージの発酵品質に及ぼす影響. *日草誌* 42 : 146-149.
- 26) 永西 修, 四十万谷吉郎. 1998. 稲ホールクロップサイレージの発酵特性. *日草誌* 44 : 79-181.
- 27) Fenlon, D.R.; Wilson, J.; Weddel, J.R. 1989. The relationship between spoilage and *Listeria monocytogenes* contamination in bagged and wrapped big bale silage. *Grass and Forage Science* 44 : 97-100.
- 28) Gaillard, F. ; Mazoyer, J. 1998. Protection of wrapped round bales. *Fourrages* 155 : 345-347.
- 29) Gherardi, S.G.; Black, J.L. 1991. Effect of palatability on voluntary feed intake by sheep. I. Identification of chemicals that alter the palatability of a forage. *Aust. J. Agric. Res.* 42 : 571-584.
- 30) Gibson, T.; Stirling, A.C.; Keddie, R.M.; Rosenberger, R.F. 1961. Bacteriological changes in silage as affected by laceration of the fresh grass. *J. Appl. Bact.* 24 : 60-70.
- 31) Goatcher, W.D.; Church, D.C. 1970. Taste responses in ruminants. I. Reactions of sheep to sugars, saccharin, ethanol and salts. *J. Anim. Sci.* 30 : 784-790.
- 32) 後藤正和, 山本泰也, 水谷将也. 2001. 飼料イネの調製技術と飼料特性. *畜産の研究* 55 : 242-248.
- 33) Greenhill, W.L. 1964. Plant juices in relation to silage fermentation. II. Factors affecting the release of juices. *J. Brit. Grassl. Soc.* 19 : 231-236.
- 34) 原 慎一郎, 大山嘉信. 1979a. トウモロコシサイレージの好気的変敗と微生物相-プロピオン酸の変敗防止効果との関連-. *日畜会報* 50 : 288-295.
- 35) 原 慎一郎, 大山嘉信. 1979b. トウモロコシサイレージの好気的変敗に關与する酵母および糸状菌-カブロン酸による変敗防止効果との関連-. *日畜会報* 50 : 375-385.
- 36) 原 慎一郎, 伊藤 稔, 大山嘉信. 1979. サイレージの好気的変敗の際の品温, ガス代謝量および熱発生量と微生物相の相互関係. *日畜会報* 50 : 549-556.
- 37) 原 悟志, 江川勇雄, 伊東季春, 出岡謙太郎, 板東 健, 岡本全弘. 1986. 北海道産水稻の熟期別ホールクロップサイレージの飼料価値. *新得畜試研報* 15 : 19-27.
- 38) 林 秀幸, 吉田茂昭, 竹本紀行. 1992. アルファルファの栽培利用に関する研究. *福井畜試研報*



- 12 : 1-10.
- 39) 林 兼六, 伊沢 健, 太田 実. 1965. 草類嗜好性の測定方法に関する研究第1報 給与草の嗜好性に対する数種測定方法の比較. 日草誌 11 : 168-173.
- 40) 日野直子, 蔡 義民, 徐 春城, 澤村 篤, 住田憲俊, 喜田環樹, 松尾守展, 吉田宣夫, 小川増弘. 2005. 飼料イネの収穫, 調製法の違いがサイレージの発酵品質に及ぼす影響. 日草誌 51 (別) : 152-153.
- 41) 平久保友美, 川畑茂樹, 小田中温美, 増田隆晴, 砂子田 哲. 2005. 岩手県紫波町における飼料イネホールクroppサイレージの発酵品質とその改善対策. 東北農業研究 58 : 89-90.
- 42) 平久保友美, 越川志津, 山口はる美, 河本英憲. 2008. 細断型ロールベアラで調製した自給飼料主体発酵TMRの貯蔵後の短期間の発酵品質, 生菌数の変化. 日草誌 54 (別) : 364-365.
- 43) 本田善文, 糸川信弘, 馬場武志. 1995. ラップサイロの気密性に関する研究 (第1報). 日草誌 41 (別) : 209-210.
- 44) 堀口健一, 高橋敏能, 萱場猛夫, 笹原健夫. 1992. V字葉型水稻と他の飼料作物のホールクroppサイレージにおける栄養価の比較. 日草誌 38 : 242-245.
- 45) 市戸万丈. 1995. ロールバールサイレージ解体機. 機械化農業10月号. p25-28.
- 46) 市戸万丈. 1999. サイロ施設の進歩. サイレージ科学の進歩. 内田仙二 編. デーリイ, ジャパン社. 東京. p250-272.
- 47) 糸川信弘, 本田善文, 加藤明治. 1992. ロールバールサイレージ体系の現状と課題. I. 収穫調製作業について. 畜産の研究 46 : 263-270.
- 48) 糸川信弘, 本田善文, 小林亮英. 1995. ラップフィルムの特性および調製貯蔵条件と発酵品質. 日草誌 40 : 478-487.
- 49) 糸川信弘, 池田哲也. 2001. フォレージマットメーカーで摩砕したアルファルファの圃場乾燥特性. 日草誌 47 : 415-417.
- 50) 自給飼料品質評価研究会. 2001. 改訂 粗飼料の品質評価ガイドブック. 日本草地畜産種子協会. 東京. 196p.
- 51) Jonsson, A.; Lindberg, H.; Sundas, S.; Lingvall, P.; Lindgren, S. 1990. Effect of additives on the quality of big-bale silage. Anim. Feed. Sci. Technol. 31 : 139-155.
- 52) 垣内秀志, 柿本 祐, 高島孝一, 吉田茂昭, 渡辺清武, 高野信雄. 1986. 肥育牛に対するオールインサイレージの調製と給与効果に関する研究. 福井畜試研報 10 : 1-10.
- 53) 金谷千津子, 高平寧子, 中島麻希子, 丸山富美子, 紺 博昭. 2008. 生稲わらロールバールサイレージの発酵品質と $\beta$ -カロテンおよび $\alpha$ -トコフェロール含量. 日草誌 (別) 54 : 192-193.
- 54) 片山信也, 古橋 正, 池田博保. 1994. 未利用資源のサイレージ化技術 1. 高品質粕類サイレージ調製のための副資材の検討 a. TMRサイレージ調製用副資材の発酵適性. 静岡畜試研報 20 : 33-36.
- 55) 河本英憲, 佐竹康明, 張 建国, 青木康浩, 加茂幹男. 2003a. ロールバールサイレージの細断, 再貯蔵がその後の発酵品質に及ぼす影響. 畜草研研報 3 : 9-13.
- 56) 河本英憲, 張 建国, 青木康浩, 加茂幹男. 2003b. ロールバールサイレージの再貯蔵処理が発酵品質, 微生物相および好気的変敗に及ぼす影響. 畜草研研報 4 : 33-38.
- 57) 河本英憲, 大谷隆二, 押部明德, 出口 新, 田中治, 魚住 順. 2005. 細断型ロールベアラによって調製された飼料イネサイレージの発酵品質. 日草誌 51 : 199-201.
- 58) Kawamoto, H.; Otani, R.; Oshibe, A.; Yamaguchi, H.; Deguchi, S.; Tanaka, O.; Uozumi, S.; Watanabe, H. 2007. Ensilage of wilted whole crop rice. *Oriza sativa* L. using a roll baler for chopped material: Silage quality in long-term storage. Grassl. Sci. 53 : 85-90.
- 59) 河本英憲, 木村勝一, 押部明德, 田中 治, 小松篤司, 大谷隆二, 矢治幸夫, 島田卓哉. 2007. 東北地域における稲発酵粗飼料の野そ被害の様相. 日草誌 53 (別) : 356-357.
- 60) 河本英憲, 山口弘道, 小松篤司, 田中 治, 押部明德. 2009. 飼料イネのサイレージ発酵に及ぼす細切, 高密度詰込みの影響. 日草誌 54 : 323-327.
- 61) Kawamoto, H.; Zhang, J.; Aoki, Y.; Kamo, M. 2009a. Preventing a decrease in the palatability of round-baled silage by preserving it as



- fermented total mixed ration. Grassl. Sci. 55 : 52-56.
- 62) Kawamoto, H.; Kimura, S.; Komatsu, T.; Oshibe, A.; Shimada, T. 2009b. Reduction of rat damage to forage paddy rice stored as round-baled silage by modifying the storage layout. Grassl. Sci. 55 : 110-112.
- 63) 川名正幸. 2002. 自給飼料高度活用型群飼養システムの経営事例. 1. 循環型酪農を目指して. 第5回資源循環を基本とした乳牛の群飼養に関する研究会資料. 畜産草地研究所平14-2資料. p49-53.
- 64) 川内 博, 遠藤秀紀. 2000. カラスとネズミ. 岩谷書店. 東京. p75-138.
- 65) 菊池 実. 2004. 飼料のマイコトキシン汚染～その予防と対策. 臨床獣医 22 : 18-20.
- 66) 古賀芳文, 馬場元司. 1990. 青刈大豆のサイレージ調製技術について. 九州農業研究 52 : 146.
- 67) 越川志津, 平久保友美, 茂呂勇悦, 加藤英悦. 2008. 細断型ロールベアラを利用して調製した粗飼料主体発酵TMRの泌乳牛への給与. 日草誌 54 (別) : 362-263.
- 68) 熊井清雄, 蔡 義民, 佐竹康明, 服部育男. 2000. 添加乳酸菌の種類がイタリアンライグラスロールベールサイレージの発酵品質ならびに嗜好性に及ぼす影響. 日草誌 46 (別) : 238-239.
- 69) Kung Jr, L.; Ranjit, N.K. 2001. The effect of *Lactobacillus buchneri* and other additives on the fermentation and aerobic stability of barley silage. J. Dairy Sci. 84 : 1149-1155.
- 70) 萬田富治. 1994. ロールベールサイレージシステムの基本と実際. 酪農総合研究所. 札幌. p1-128.
- 71) Marsh, R. 1978. A review of the effects of mechanical treatment of foreges on fermentation in the silo and on the feeding value of the silages. NZ Journal of Experimental Agriculture 6 : 271-278.
- 72) Martens, D.R. 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. J. Anim. Sci. 64 : 1548-1558.
- 73) 増子孝義, 内村 泰, 岡田早苗, 渋谷恭蔵. 1988. 乳酸菌製剤の添加がイタリアンライグラスサイレージの発酵品質および乳酸菌の分布に及ぼす影響. 日草誌 34 (別) : 163-164.
- 74) 増子孝義. 1999. サイレージの発酵. (内田仙二編. サイレージ科学の進歩). デーリィ・ジャパン社. 東京. p86-131.
- 75) Mason, J.R.; Bean, N.J.; Shah, P.S.; Clark, L. 1991. Taxonspecific differences in responsiveness to capsaicin and several analogues: Correlates between chemical structure and behavioral aversiveness. J. Chem. Ecol. 17 : 2539-2551.
- 76) 松尾守展, 喜田環樹, 重田一人, 村井 勝, 志藤博克, 山名伸樹. 2004. 細断型ロールベアラにより調製したスーダングラスや飼料イネサイレージの発酵品質. 日草誌 50 (別) : 164-165.
- 77) 松本博紀, 伊藤成宏, 唯野雅之, 中島 廣, 篠田満, 萬田富治. 1989. ロールベールラッパーによるサイレージ調製試験. 畜産の研究 43 : 605-610.
- 78) McDonald, P.; Henderson, A.R.; Heron, S.J.E. 1991. The Biochemistry of Silage. Second Edition. Chalcombe Publications. Marlow. 340p.
- 79) McNamara, K.; O'Kiely, P.; Whelan, J.; Forristal, P.D.; Fuller, H.; Lenehan, J.J. 2001. Vertebrate pest damage to wrapped, baled silage in Ireland. International Journal of Pest Management 47: 167-172.
- 80) McNamara, K.; O'Kiely, P.; Whelan, J.; Forristal, P.D.; Lenehan, J.J. 2002. Preventing bird damage to wrapped baled silage during short- and long-term storage. Wildlife Society Bulletin 30 : 809-815.
- 81) 目谷義大. 1970. サイレージ発酵に関する研究 I : 高水分サイレージ発酵における経時変化. 日草誌 16 : 275-278.
- 82) 宮城悦生, 川本康博, 古謝瑞幸, 増田泰久, 五斗一郎. 1993. ネピアグラスサイレージの発酵品質と嗜好性に及ぼす各種調製処理の影響. 日草誌 39 : 57-65.
- 83) 百瀬義男, 原 拓夫, 土屋 学, 中澤伸夫. 2005. 飼料イネサイレージの詰込み密度と発酵品質に及ぼす細切の影響. 日草誌 51 : 190-194.
- 84) 百瀬義男, 原 拓夫, 土屋 学, 袖山栄次, 渡辺晴彦. 2006. 飼料イネロールベールサイレージの発酵品質に及ぼす刈取り方法の影響. 日草誌 51 : 408-411.

- 85) Moseley, C.; Ramanathan, V. 1989. The effect of dry feed additives on the nutritive value of silage. *Grass and Forage Sci* 44 : 391-397.
- 86) Mowrey, C. 1998. You can move bagged silage to an upright silo. *Hoard's Dairyman* 143 : 784.
- 87) Muck, R.; O'kiely, P. 1992. Aerobic deterioration of lucerne (*Medicago sativa*) and Maize (*Zea mays*) silages -Effects of fermentation products. *J. Sci. Food. Agric.* 59 : 145-149.
- 88) 中田順子, 渡部千鶴, 高橋敏能, 萱場猛夫. 1997. めん羊における酪酸および乳酸を添加した飼料の嗜好性. *日緬研会誌* 34 : 20-24.
- 89) 中田圭亮, 佐々木 満, 松尾 巖. 2000. 施業, 環境因子による野ネズミ被害の数値予測. *北海道立林試報* 37 : 41-49.
- 90) 名久井 忠. 1996. ロールベールサイレージ調製と利用. 酪農ジャーナル特集別刷1996, 酪農学園大学エクステンションセンター. p29-35.
- 91) 名久井 忠, 柗木茂彦, 粟飯原友子, 箭原信男, 高井慎二. 1988. 稲ホールクロップサイレージの調製と飼料価値の評価. *東北農試研報* 78 : 161-174.
- 92) 名久井 忠, 岩崎 薫, 早川政市. 1981. ホールクロップサイレージ用トウモロコシの収穫適期の検討. *日草誌* 26 : 412-417.
- 93) 根本 博. 2004. 飼料イネの新品種と特徴. *畜産の研究* 58: 848-852.
- 94) Neumark, H.; Tadmor, A. 1968. The effect of histamine combined with formic or acetic acid on food intake and rumen motility, when infused into the omasum of a ram. *J. Agric. Sci. Camb.* 71 : 267-270.
- 95) Newman, J.A.; Caraco, T. 1987. Foraging, predation hazard and patch use in grey squirrels. *Anim. Behav.* 35 : 1804-1813.
- 96) 西川昭平, 谷津直子, 西城 健, 渡辺雅弘. 1989. 稲わらとソルガム混合サイレージの品質. *東北農業研究* 42 : 193-194.
- 97) Nishino, N.; Shinde, S. 2007. Etanol and 2, 3-butanediol production in whole-crop rice silage. *Grassl. Sci.* 53 : 196-198.
- 98) 西崎邦夫, 柴田洋一, 横地康宏. 1998. フォレージマットメーカーの開発. *農業機械学会誌* 60 : 129-131.
- 99) 丹羽美次, 中西五十, 森本 宏. 1985. 醤油粕の添加が高水分サイレージの品質に及ぼす影響. *日大農獣報* 42 : 145-150.
- 100) 野 英二, 安宅一夫. 1999. ロールベールサイレージ. (内田仙二 編. サイレージ化学の進歩). デーリィ・ジャパン社. 東京. p225-226.
- 101) 野中和久, 名久井 忠. 1995. ストレッチフィルムの色が低水分ロールベールサイレージの発酵品質, 結合蛋白質に及ぼす影響. *北草研報* 29 : 68-72.
- 102) 野中和久, 名久井 忠, 大下友子. 1999. フィルム被覆数および水分含量がチモシー低水分ラップサイレージの品質, 貯蔵性に及ぼす影響. *日草誌* 45 : 270-277.
- 103) 農林水産省. 1999. 食料, 農業, 農村基本法. 平成十一年七月十六日法律第百六号. , [http://www.maff.go.jp/soshiki/kambou/kikaku/NewBLaw/newkihon.html, 2008年7月18日参照]
- 104) 農林水産省. 2000. 食料, 農業, 農村基本計画. [http://www.maff.go.jp/keikaku/20050325/20050325honbun.pdf, 2008年7月18日参照]
- 105) 農林水産省. 2008. 野生鳥獣による農作物被害状況の推移. [http://www.maff.go.jp/soshiki/seisan/cyoju/h18higai/ref\_data03.pdf 2008年7月22日参照]
- 106) 農林水産技術会議. 2003. 新鮮でおいしい「ブランド, ニッポン」農産物提供のための総合研究3系: 畜産. 平成15年度研究推進会議資料. p134-135.
- 107) 小川増弘, 早坂貴代史, 須藤純一, 千場信司, 杉若輝夫, 本松秀俊, 圓山 繁, 小川泰一. 1997. わが国の乳牛の群飼養管理と資源循環研究. 2. 畜産の研究 51 : 600-606.
- 108) 小川増弘. 2006. 飼料イネ-水稲の飼料利用(稲発酵粗飼料)に関する生産, 調製, 流通, 利用技術の研究レビューと今後の技術開発方向. 畜産草地研究所. p1-5.
- 109) 押部明德, 島田卓哉, 河本英憲, 小松篤司, 田中治, 大谷隆二, 矢治幸夫. 2005. 積雪地における稲発酵粗飼料貯蔵中の獣害の事例. *東北畜産学会報* 56 : 46.
- 110) 大桃定洋, 田中 治, 北本宏子. 1993. 高速液体クロマトグラフィーによるサイレージ中の有機酸の定量. *草地試研報* 48 : 51~56.

- 111) Ohmomo, S.; Tanaka, O.; Kitamoto, H.; Cai, Y. 2002. Silage and Microbial Performance, Old Story but New Problems. JARQ 36 : 59-71.
- 112) 大下友子, 名久井 忠, 榎木茂彦. 1992. 原料草の水分含量がアルファルファサイレージの発酵品質及び飼料価値に及ぼす影響. 東北農試研報 84 : 159-171.
- 113) Ohshima, M.; McDonald, P.; Acamovic, T. 1979. Changes during ensilage in the nitrogenous components of fresh and additive treated ryegrass and lucerne. J. Sci. Food. Agric. 30: 97-106.
- 114) 大山嘉信, 小川キミエ. 1966. イネ科草類の生育にともなう炭水化物組成の変化. 日畜会報 37 : 336-343.
- 115) 大山嘉信, 榎木茂彦. 1968. サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究. III. 材料の水分含量, 詰込み密度およびサイロ内の気体の置換の影響. 日畜会報 39 : 168-174.
- 116) 大山嘉信, 榎木茂彦. 1970. サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究. VI. 踏圧処理が発酵に及ぼす影響の解析. 日畜会報 41 : 557-562.
- 117) 大山嘉信, 榎木茂彦, 滝川明宏. 1970. サイレージ発酵に影響する諸要因に関する研究. VII. 詰込み後の空気導入がサイレージの品温に及ぼす影響. 日畜会報 41 : 620-624.
- 118) 大山嘉信. 1971. サイレージ発酵に関連する諸問題. 日畜会報 42 : 301-317.
- 119) 大山嘉信, 榎木茂彦. 1971. サイロ開封後のサイレージの変敗. 第1報 予乾サイレージにおける温度と有機酸組成の変化ならびに薬剤添加の影響. 日草誌 17 : 176-183.
- 120) 大山嘉信, 白田 尚. 1972. フリーク法によるサイレージの有機酸分析法の検討. 日草誌 18 : 260-266.
- 121) 大山嘉信. 1981. サイレージの好気的変敗とその防止対策 (I) . 畜産の研究 35 : 997-1002.
- 122) O'kiely, P.; Muck, R. 1992. Aerobic deterioration of lucerne (*Medicago sativa*) and Maize (*Zea mays*) silages -Effects of Yeasts. J. Sci. Food. Agric. 59 : 139-144.
- 123) 小野寺幸雄, 川村五郎, 苫米地勇作, 木下善之, 花坂昭吾, 月館鉄夫, 山内敏雄, 安部真三, 高井慎二. 1970. グラスサイレージの移動再貯蔵に関する研究 (第1報) . 東北農試研究速報 11 : 10-20.
- 124) 小野寺幸雄, 花坂昭吾, 木下善之, 川村五郎, 高井慎二, 苫米地勇作. 1971. グラスサイレージの移動再貯蔵 (第2報) . 東北農業研究 12 : 214-216.
- 125) 小野寺幸男, 木下善之, 花坂昭吾. 1972. グラスサイレージの移動再貯蔵に関する研究. 東北農試研究速報 13 : 25-33.
- 126) 大谷隆二, 天羽弘一, 西脇健太郎, 河本英憲, 押部明德, 渡辺寛明, 荻原 均, 中山有二. 2004. 機械の汎用利用による稲発酵粗飼料の低コスト生産技術の開発. 農機学会東北支部報 51 : 15-18.
- 127) 大谷隆二. 2006. 自脱コンバインで飼料稲を収穫する. 機械化農業 1 : 11-15.
- 128) Oude Elferink, S.J.W.H.; Krooneman, J.; Gottschal, J.C.; Spoelstra, S.F.; Faber, F.; Driehuis, F. 2001. Anaerobic conversion of lactic acid to acetic acid and 1, 2-propanediol by *Lactobacillus buchneri*. Appl. Environ. Microbiol. 67 : 125-132.
- 129) 小山 弘, 知久幹夫, 大元良晃. 1982. みかん果皮のサイレージ化における水分調整用添加物が品質におよぼす効果. 静岡畜試研報 8 : 194-197.
- 130) Pahlow, G.; Zimmer, E. 1985. Lactobacillus Inoculant on Fermentation and Aerobic Stability of Grass Silage. Proc. 15th Int. Grass. Congr. p877-879.
- 131) Ranjit, N.K.; Kung Jr, L. 2000. The effect of *Lactobacillus buchneri*, *Lactobacillus plantarum*, or a chemical preservative on the fermentation and aerobic stability of corn silage. J. Dairy Sci. 83 : 526-535.
- 132) Ruxton, G.D.; Gibson, G.J. 1995. A mathematical model of the aerobic deterioration of big-bale silage and its implications for the growth of *Listeria monocytogenes*. Grass and Forage Science 50 : 331-344.
- 133) 斎藤健一, 米本貞夫. 2004. ラップフィルムの巻き数が飼料イネサイレージの長期貯蔵性に及ぼす影響. 千葉畜セ研報 6 : 63-64.
- 134) 酒出淳一, 千田惣浩, 加納睦雄, 伊藤盛徳, 倉知武志. 1989a. 肉牛肥育におけるオールインサイレージの飼養効果試験. 秋田畜試研報 3 : 41-45.
- 135) 酒出淳一, 加納睦雄, 倉知武志. 1989b. 肉牛肥育

- におけるオールインサイレージの飼養効果試験. 第2報. 秋田畜試研報 4 : 25-28.
- 136) 佐々木泰弘, 加藤明治. 1992. ロールベールサイレージ体系の現状と課題. 2. 畜産の研究 46 : 375-382.
- 137) 澤村 篤. 2004. 飼料イネの収穫作業技術. 機械化農業 8: 8-12.
- 138) 千田雅之, 鈴木一好. 2005. 食用米高収益地帯における飼料イネ広域流通システム存続の課題と対応. 中央農研経営研究 56: 31-34.
- 139) Senel, S.H.; Owen, F.G. 1966. Relation of dietary acetate and lactates to dry matter intake and volatile fatty acid metabolism. J. Dairy Sci. 49: 1075.
- 140) 柴田章夫. 1987. 混合給与と分離給与. (津田恒之, 柴田章夫編. 新乳牛の科学). 農文協. 東京. p284.
- 141) 新城明久. 1996. 新版 生物統計学入門. 朝倉書店. 東京. p46-55.
- 142) 志藤博克, 山名伸樹. 2002. 試作細断型ロールベールを基軸とした長大型作物収穫調製技術の開発. 日草誌 47 : 610-614.
- 143) 志藤博克. 2003. 細断型ロールベールを基軸とした新しい収穫調製技術. 畜産の研究 57 : 245-250.
- 144) 志藤博克, 山名伸樹. 2003. 試作細断型ロールベールの牧草収穫調製への試用. 日草誌 49 : 514-515.
- 145) 志藤博克, 高橋仁康, 澁谷幸憲, 山名伸樹. 2005. 細断型ロールベールで調製したサイレージの発酵品質. 日草誌 51 : 87-92.
- 146) Shumake, S.A.; Sterner, R.T.; Gaddis, S.E. 2000. Repellents to reduce cable gnawing by wild Norway rats. Journal of Wildlife Management 64 : 1009-1013.
- 147) 篠田 満, 萬田富治. 1990a. サイレージの発酵品質および多湿乾草のアンモニア処理が子めん羊の成長および消化生理に及ぼす影響. 日草誌 35 : 309-317.
- 148) 篠田 満, 萬田富治. 1990b. 不良発酵サイレージの給与が泌乳牛の第一胃液性状, 血液代謝像および肝機能に及ぼす影響. 北農試研報 153 : 41-51.
- 149) Sone, K. 2002. Changes in foraging behavior of two species of field mice, *Apodemus speciosus* Temminck and *A. argenteus* Temminck (Rodentia: Muridae), in the response to artificial illumination. J. For. Res. 7 : 17-21.
- 150) Steen, R.W.J.; Gordon, F.J.; Dawson, L.E.R.; Park, R.S.; Mayne, C.S.; Agnew, R.E.; Kilpatrick, D.J.; Porter, M.G. 1998. Factors affecting the intake of grass silage by cattle and prediction of silage intake. Animal Science 66 : 115-127.
- 151) 杉本亘之, 峰崎康裕, 高橋圭二, 坂本洋一. 1990a. ロールベールサイレージの調製とその利用法. 畜産の研究 44 : 823-827.
- 152) 杉本亘之, 峰崎康裕, 高橋圭二, 坂本洋一. 1990b. ロールベールサイレージの調製とその利用法 (2). 畜産の研究 44 : 947-953.
- 153) 須藤 浩. 1967. サイレージに関する最近の研究. 日畜会報 38 : 233-244.
- 154) 須藤 浩. 1971. サイレージと乾草. 養賢堂, 東京, p8-72.
- 155) 須藤正次, 大竹浩二. 1993. ロールベール体系による効率的な粗飼料調製技術. 第1報 貯蔵方法の違いがロールベールサイレージの品質に及ぼす影響. 東北農業研究 46 : 167-168.
- 156) 高橋正行. 1968a. サイレージの品質に及ぼす埋蔵時の空気混入率の影響. I 高水分サイレージについて. 日草誌 14 : 32-37.
- 157) 高橋正行. 1968b. サイレージの品質に及ぼす埋蔵時の空気混入率の影響. II 水分含量および埋蔵方式が異なる場合の影響. 日草誌 14 : 38-43.
- 158) 高井尚治, 向島幸司, 和田研一, 服部浩三, 赤尾長昌, 生田徳男. 1993. コンプリートフィード給与技術の確立. 第2報. -オールインサイレージ給与試験-. 岐阜畜試研報 19 : 15-21.
- 159) 高野信雄, 三股正年, 渡会 弘, 厚海忠夫, 宮下昭光, 山下良弘, 河野敬三郎. 1964. ビニール水蓋によるサイロの密封加圧の方法と効果. 畜産の研究 18 : 1169-1172.
- 160) 高野信雄, 正岡淑邦, 萬田富治. 1975. 低質粗飼料の調製利用技術開発に関する研究 I. オールインワンサイレージ. 草地試研報 7 : 64-70.
- 161) 高野信雄. 1984. 新しいサイレージ領域の開発. 自給飼料 1 : 20-22.
- 162) 高野信雄, 山下良弘. 1990. 和牛経営の技術革新とサイレージ戦略. 築地書館, 東京, p1-263.



- 163) 高野信雄, 大桃定洋, 瀬川 敬, 土屋忠雄, 荒 智. 1993. サイレージ用ドラム缶サイロの活用と効果. 3. 畜産の研究 47 : 52-56.
- 164) Taylor, C.C.; Ranjit, N.J.; Mills, J.A.; Neylon, J. M.; Kung Jr, L. 2002. The effect of treating whole-plant barley with *lactobacillus buchneri* 40788 on silage fermentation, aerobic stability, and nutritive value for dairy cows. J. Dairy Sci. 85 : 1793-1800.
- 165) 畜産草地研究所. 2001. 飼料イネの評価法および最近の飼料評価法関係の研究トピックス. 畜産草地研究所平13-3資料. p1-6.
- 166) 樋渡 隆, 恒吉利彦, 原田満弘, 黒江秀雄, 西 俊彦. 1988. 暖地におけるイネ科牧草の良質サイレージ調製利用技術. 鹿児島畜試研報 20 : 38-48.
- 167) 内田仙二. 1999. 1. サイレージ研究の進展と課題. サイレージ科学の進歩. 内田仙二編. . テーリイ, ジャパン社, 東京, p16-32.
- 168) 浦川修司, 吉村雄志. 2003a. 飼料イネ用カッティングロールベアラの開発. 日草誌 49 : 43-48.
- 169) 浦川修司, 吉村雄志. 2003b. 飼料イネ用自走式ベールラップの開発. 日草誌 49 : 248-253.
- 170) 浦川修司, 吉村雄志, 平岡啓司, 奥村政信. 2004a. 自走式ベールラップに装着するラップサイロの縦置き荷降ろし装置の開発. 日草誌 50 : 211-213.
- 171) 浦川修司, 吉村雄志, 平岡啓司, 奥村政信. 2004b. 高能率作業を目的とした飼料イネ用自走式ベールラップの改良. 日草誌 50 : 304-309.
- 172) Wager-page, S.A.; Epple, G.; Mason, J.R. 1997. Variation in Avoidance of siberian pine needle oil by rodent and avian species. J. Wildl. Manage. 61 : 235-241.
- 173) Wieringa, G.W. 1958. The effect of wilting on butyric acid fermentation in silage. Neth J. Agric. Sci. 6 : 204-210.
- 174) Wilkins, R.; Hutchinson, K.J.; Wilson, R.F.; Harris, C.E. 1971. The voluntary intake of silage composition and intake. J. Agric. Sci. Camb 77 : 531-537.
- 175) Woolford, M.K. 1984. The silage fermentation, Marcel Dekker. New York. p213-298.
- 176) Yabe, T.; Boonsong, P.; Hongnark, S. 1998. The structure of the pawpad lamellae of four Rattus species. Mammal Study 23 : 129-132.
- 177) 箭原信男, 高井慎二, 沼川武雄. 1981. 水稲ホールクroppサイレージの調製利用に関する研究. 東北農試研報 63 : 151-159.
- 178) 山田盛生. 井上真一. 桑原政司. 1986. 転換畑における高栄養飼料作物の多収生産と調製技術(第1報). 2. 中小規模サイロ利用によるサイレージ調製技術. 添加物利用によるサイレージ調製技術. 徳島畜試研報 27 : 41-43.
- 179) 山下良弘, 山崎昭夫. 1975. 予乾サイレージにおける2次発酵誘発の条件について. 北農試研報 110: 81-95.
- 180) 山本泰也, 出口祐二, 水谷将也, 浦川修司, 山田陽稔, 平岡啓司, 乾 清人, 河野省一, 後藤正和. 2004. 付着乳酸菌発酵液およびエクストルーダ処理による飼料イネサイレージの発酵品質と消化性の改善効果. 日草誌 49 : 665-668.
- 181) Yokota, H.; Okajima, T.; Ohshima, M. 1995. The effect of wheat-mill-run addition to napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) at ensiling on its nutritive value for goats. J. Jpn. Grassl. Sci. 40 : 420-428.
- 182) Yokota, H.; Kim, J.H.; Kita, K. 2001. Aerobic deterioration of Napiergrass (*Pennisetum purpureum* Schum.) ensiled with molasses after opening the silo. Anim. Sci. J. 72 : 416-420.
- 183) 吉田宣夫. 2004. 「稲発酵粗飼料生産技術に求められる新技術」の連載にあたって. 畜産の研究 58 : 845-847.
- 184) 吉田 実. 1992. 畜産を中心とする実験計画法. 養賢堂, 東京, p46-67.
- 185) 由井正敏, 阿部 禎. 1983. 鳥獣害の防ぎ方. 農山漁村文化協会, 東京, p216-246.
- 186) 全国飼料増産行動会議, 日本草地畜産種子協会. 2006. 稲発酵粗飼料生産, 給与技術マニュアル. 日本草地畜産種子協会. 東京. P28.
- 187) Zhang, J.; Kumai, S. 2000. Effluent and aerobic stability of cellulase and LAB-treated silage of Napier grass (*Pennisetum purpureum* Schum.) Asian-Aus. J. Anim. Sci. 13 : 1063-1067.
- 188) Zimmer, E.; Gordon, C.H. 1964. Effects of wilting, grinding, and aerating on losses and quality in alfalfa silage. J. Dairy Sci. 47 : 652-653.

## Studies on Improvement of Fermentation and Stable Storage Method in Round-Baled Silage.

Hidenori KAWAMOTO

### Summary

The production of round-baled silage (RBS) is a technology that involves packing the forage without fine chopping and keeping the airtight condition by enclosing it with a thin wrapping film. Since the RBS system can achieve labor saving in harvesting of roughage, it is indispensable for a domestic livestock industry. On the other hand, the necessity of producing finely chopped silage of a steady quality has risen as the total mixed ration (TMR) feeding method spreads. It is expected that positive utilization of RBS as a roughage source for TMR will contribute to an increase in feed self-sufficiency in Japan. However, in addition to the lack of fine chopping in the RBS process, because the silage quality is unstable as a result of its low density and because the wrapping films are easily broken, RBS is not suitable as TMR material in comparison with the fine-chopped silage made and stored in airtight silos.

In recent years, a fine-chopping treatment has been introduced to the RBS system by the development of the RBS shredder and the round baler for chopped material. Therefore, to improve the availability, fermentative quality and stable storage of RBS, the following studies were conducted: (1) Examination of the effects of chopping and high-density treatment on the conventional RBS system by re-ensiling; (2) Evaluation of silage quality of the chopped RBS ensiled by the round baler for chopped material; (3) Exploration of preventive measures to lessen rat damage to wrapping film during storage of RBS.

#### 1. Improvement of silage quality of the conventional RBS system by chopping and high-density treatment introduced by re-ensiling.

(1) Effect of chopping and re-ensiling of RBS on the subsequent silage fermentation.

The RBS was chopped and stored in highly airtight silos to improve its availability and fermentative quality. The RBS made from 2nd cut Italian ryegrass with an average dry matter content of 38% (Mild wilting) and 51% (Heavy wilting) was chopped to a length of about 10 cm and stored in drum silos. The results were as follows: the concentrations of lactic acid (% dry matter) were increased by re-ensiling from 1.6% to 4.6% (Mild wilting) and from 0.4% to 2.9% (Heavy wilting). With the increase in lactic acid content, the silage pH value declined from 5.3 to 4.2 (Mild wilting) and from 5.7 to 4.5 (Heavy wilting). The stimulation of lactic acid fermentation by re-ensiling was observed in the RBS at not only 14 days after harvest but also at 90 days after harvest. These results indicate that lactic acid fermentation is suppressed under the unstable fermentation conditions of conventional RBS, such as the lack of fine chopping, low-density storage and low levels of airtightness in some cases. We found that storing the chopped silage from a round bale in a highly airtight silo improved the fermentation condition and accelerated lactic acid fermentation, accompanied by a decline in the pH value. Re-ensiling can help prevent deterioration of RBS that must be preserved over a long period.

(2) Effects of re-ensiling of RBS on fermentative quality, microflora and aerobic deterioration.

Well-preserved RBS was made from first-cut Italian ryegrass with a moisture content of 53-60%. The RBS was stored in drum silos after chopping on day 30 of fermentation. The drum silos were opened and fermentative quality, microflora and aerobic deterioration of the silage were examined on days 0, 1, 3, 5, 7, 10, 30, 60 and 90 of fermentation. The results were as follows: the acetic acid content in the silage increased after re-ensiling, whereas the lactic acid content decreased slightly. However, degradation of fermentative quality such as rise of pH value and production of butyric acid was not observed. The number of yeasts in silage decreased gradually after re-storage, and increased silage temperature after opening of the silos was prevented. In well-preserved RBS, chopping and re-ensiling can maintain the fermentative quality and prevent aerobic deterioration after silos are opened.

(3) Preventing a decrease in the palatability of RBS by preserving it as fermented TMR.

Two kinds of RBS prepared from direct-cut Orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) were chopped and mixed with concentrate and preserved in 200-L drum silos as fermented TMR on day 40 after the harvest. The palatability of the fermented TMR was compared with that of fresh TMR, which was prepared from the same lot of RBS a day before the palatability test was conducted for 6 Holstein dry cows (80 d or 132 d after the harvest). The results were as follows: although both kinds of RBS had excellent fermentative qualities when used for the fermented TMR preparation, the butyric acid and volatile basic nitrogen contents of the RBS in experiment 1 increased while it was stored for fresh TMR preparation. The lactic acid contents of both kinds of fermented TMR were twice as great as those of fresh TMR, and the pH was decreased from approximately 5 in fresh TMR to approximately 4 in fermented TMR. A difference in palatability was not detected between the fermented TMR and fresh TMR prepared from RBS that was preserved with an excellent fermentative quality (experiment 2). In contrast, the palatability of fermented TMR was superior to that of the fresh TMR prepared from RBS whose fermentative quality was deteriorated during storage (experiment 1). Therefore, the palatability of fermented TMR was more than equal to that of fresh TMR and, when the base RBS for TMR had a drawback with regard to the fermentative quality, the decrease in palatability could be suppressed by immediately preserving it as fermented TMR.

2. Improvement of silage quality of RBS by fine chopping and a high-density treatment introduced by the round baler for chopped material.

(1) Fermentation quality and dry-matter intake of forage paddy rice stored as RBS ensiled by a round baler for chopped material.

We compared the fermentative quality and voluntary dry-matter intake of forage paddy rice RBS ensiled by a roll baler for chopped material and the conventional roll baler. The dry-matter density of the ensiled RBS composed of chopped RBS and non-chopped RBS (conventional RBS) was 157 kg/m<sup>3</sup> and 193 kg/m<sup>3</sup>, respectively. The lactic acid production in the conventional RBS was low (0.41% fresh matter), whereas that in the chopped RBS was high (2.05% fresh matter). The formation of butyric acid was observed only in the conventional RBS. There were no significant differences in the dry-matter intake of the two types of RBS by beef cattle. Therefore, fine chopping and high-density ensiling performed by a round baler for chopped material is effective in promoting lactic acid fermentation of forage paddy rice stored as RBS. Additionally, the harvesting loss of nutrients, such as grains, that influence the voluntary dry-matter intake at the harvesting of chopped RBS was not observed.

(2) Ensilage of wilted forage paddy rice using a round baler for chopped material: silage quality after long-term storage.

We examined the effects of long-term storage on the fermentation quality, chemical composition and digestibility of wilted forage paddy rice RBS prepared using a round baler for chopped material (set chop length, 13 mm) and compared the results with those obtained by using a conventional round baler. The round balers were used for ensiling forage paddy rice of three types: (i) dough-ripe stage with light wilting (45% dry matter), (ii) dough-ripe stage with heavy wilting (65% dry matter) and (iii) yellow-ripe stage with light wilting (45% dry matter). The apparent dry-matter density was higher in the ensiled round bales composed of chopped forage paddy rice (chopped RBS) than in those composed of non-chopped forage paddy rice (conventional RBS) (195–250 kg/m<sup>3</sup> versus 156–218 kg/m<sup>3</sup>, respectively). The formation of volatile fatty acids and ammonia-nitrogen was low in all types of silage. Further, no marked differences in the chemical composition or apparent dry-matter digestibility were observed between RBS from the two types of baler. However, there were significant differences in their lactic acid and ethanol contents. The lactic acid production in the conventional RBS was low (0.08%–0.14% fresh matter), whereas that in the chopped RBS was high (0.71%–0.97% fresh matter). A lower pH value (pH 4.0–4.3) was retained in the chopped RBS after 10 months of storage. High ethanol production (1.1%–2.5% fresh matter) was observed in the conventional RBS, whereas ethanol production decreased to less than 1% in the chopped RBS. These results indicate that although the ethanol fermentation is readily enhanced in the ensilage of wilted forage paddy rice performed by a conventional baler, the ensilage performed by a baler for chopped material encourages lactic acid fermentation and suppresses ethanol production over a wide moisture range throughout the long-term storage.

(3) Effect of chopping and high-density ensiling on the silage fermentation of forage paddy rice in the high-moisture range.

The forage paddy rice of 4 cultivars was mowed approximately 15 days and 28 days after heading. The dry matter (DM) content of the forage paddy rice was within the range of 24–39%, and its water-soluble carbohydrate content was within the range of 1.5–5%. The rice plants were packed into polyethylene/nylon bags (270 mm × 400 mm) without chopping (control silage) or into bottle silos (capacity, 300 ml) with high DM density (194–283 kg/m<sup>3</sup>) after chopping into lengths of approximately 13 mm (chopped silage). The fermentative quality of the whole-crop rice silage was evaluated after 50 days of storage. In the control silage, lactic acid production was always low, while the butyric acid and volatile basic nitrogen (VBN) productions were low when the DM content was 30% or higher. Ethanol production by the chopped silage tended to be lower than that by the control silage. However, butyric acid and VBN productions by the chopped silage were high even when the DM content was 30% or higher. Thus, the results show that fine chopping and high-density ensiling are not effective in improving the fermentative quality of ensiled forage paddy rice with a DM content of less than 40%.

### 3. Prevention of rat damage to wrapping film during storage of RBS.

The storage of forage paddy rice as RBS in fields is attractive food for rats. RBS must be discarded because of aerobic deterioration if the wrapping film is damaged by rats, so a method for protecting forage paddy rice RBS from feeding damage caused by rats is needed.

(1) Investigation of rat species that appear in storage places of forage paddy rice RBS.

Large Japanese field mice (*A. speciosus*), Japanese grass voles (*M. montebelli*), brown rat (*R.*



*norvegicus*) and roof rats (*R. rattus*) were captured by using live traps at the five RBS storage places of Iwate Pref. Large Japanese field mice, Japanese grass voles and brown rats dig tunnels in the ground, and they damaged mainly the bottom of the wrapping film around RBS. On the other hand, the roof rats damaged the upper portion of the wrapping film around RBS in stacked bales. Based on our observation of rat behavior, we believe the usual stacking storage pattern of RBS provides rats with hiding spaces from predators, and thus this type of layout promotes damage by rats.

(2) Reduction of rat damage to forage paddy rice RBS by modifying the storage layout.

RBS bales are usually stacked in close proximity to each other when many bales are stored together. This type of storage layout is thought to produce a masking situation that affords many hiding places for rats, thereby protecting them from predators. Therefore, we hypothesized that if the storage layout could be modified so that open spaces would be produced between the bales, fewer hiding places would be available for rats, and the damage caused by rats to these bales would be prevented or decreased. To test the hypothesis, we divided 23 RBS bales (diameter of each bale, 50 cm) into 2 groups. In the control layout group, the bales were placed in close proximity to each other and the top part was covered by a blue plastic sheet in order to produce a masking effect of vertically stacked RBS. In the spacious layout group, the RBS bales were placed 20–30 cm apart from each other. The percentage of damaged RBS by rat feeding in the control layout was 80%, while that of damaged RBS in the spacious layout was only 7%. Therefore, creating open spaces between the stored RBS bales (spacious layout) would increase the predation hazard of rats and reduce the damage caused to the RBS.

(3) Reduction of rat damage to RBS by modifying the storage layout: effects of long-term storage.

Four hundred small RBS bales (diameter of each bale, 50 cm) were stored from September to April using the spacious layout in two places, an area where roof rats had previously caused damage and an area where field mice had previously caused damage, in Iwate Prefecture. In the roof rat damage area, RBS damage was prevented during the non-snow period. However, RBS damage was observed when the snowfall provided masking from December to January. In the field mouse damage area, though damage occurred as the snowfall increased, it was then prevented by paving the bottoms of bales with wire net. The results confirmed that rat damage can be decreased by the spacious layout of bales while noting the snowfall and by paving bales with wire net.

#### 4. Conclusion

The chopping and high-density condition introduced by the re-ensiling treatment was effective for improving silage fermentation quality and stability of grass RBS. Studies indicated that the re-ensiling treatment complemented the defects of the conventional RBS system. The effectiveness of chopping and high-density treatment in improving the quality of forage paddy rice RBS was dependent on the silage dry-matter content, and our studies revealed the optimum conditions for forage paddy rice ensiling by the round baler for chopped material. Moreover, we proposed an effective method against the rat feeding damage to RBS that requires neither chemicals nor special machines or facilities by taking advantage of the habits of rats.

## リンゴ褐斑病菌のストロビルリン系殺菌剤クレソキシムメチルに対する感受性

足立 嘉彦<sup>\*1)</sup>・土師 岳<sup>\*1)</sup>・伊藤 伝<sup>\*2)</sup>・高梨 祐明<sup>\*1)</sup>

抄 録：2006～2008年に岩手県内の20ヶ所のリンゴ園から分離したリンゴ褐斑病菌のストロビルリン系殺菌剤であるクレソキシムメチル（KSM）に対する感受性を調査した。その結果、3ヶ所の放任園から分離した195菌株の最低生育阻止濃度（MIC）は0.05～0.25ppmに分布し、この値が本菌のKSM感受性のベースラインと推定された。一方、現地リンゴ園17ヶ所から分離した1,406菌株のMICも全て0.25ppm以下であった。したがって、現時点で岩手県内で採集したリンゴ褐斑病菌中には耐性菌と考えられる菌株は検出されず、KSMに対する感受性は低下していないことが明らかとなった。

キーワード：リンゴ褐斑病、ストロビルリン系殺菌剤、クレソキシムメチル、感受性のベースライン、耐性菌

**Sensitivity to Kresoxim-methyl of *Diplocarpon mali*, the Causal Fungus of Apple Blotch** : Yoshihiko ADACHI<sup>\*1)</sup>, Takashi HAJI<sup>\*1)</sup>, Tutae ITO<sup>\*2)</sup> and Masaaki TAKANASHI<sup>\*1)</sup>

**Abstract** : Sensitivity of *Diplocarpon mali*, the causal fungus of apple blotch, to the strobilurin fungicide kresoxim-methyl was evaluated based on minimum inhibitory concentrations (MIC) against mycelial growth *in vitro*. MIC values for 195 monoconidial isolates collected from two and one untreated abandoned orchards in Iwate Prefecture in 2006 and 2008, respectively, ranged from 0.05 to 0.25ppm, which is considered to be the baseline sensitivity of *D. mali*. Monitoring of 1,406 monoconidial isolates collected from 17 commercial orchards in Iwate Prefecture from 2006 to 2008 revealed MIC values ranging from 0.01 to 0.25ppm, which is similar to the baseline sensitivity. This result showed that no resistant isolate was detected and that sensitivity to kresoxim-methyl was remained after use of strobilurin fungicide in commercial orchards.

**Key Words** : Apple blotch, Strobilurin fungicide, Kresoxim-methyl, Baseline sensitivity, Fungicide resistance

### I 緒 言

ストロビルリン系殺菌剤は、防除スペクトラムが広く複数病害に対する同時防除が期待できること、卓越した残効を有することなどから、リンゴにおいても広く使用される薬剤となっている。しかし、本剤における耐性菌の発達リスクが著しく高いことは既に明らかにされており、国内外で多くの植物病原糸状菌での耐性菌の発生事例が報告されている (Ishii 2006)。

現在、リンゴでの使用は散布回数を年2回程度に制限しつつ、収穫直前まで使用可能という特性を活かして、実際には8～9月に使用される場合がほとんどである。これまでわが国のリンゴ栽培において、耐性菌による本剤の効力低下事例は知られていないが、その持続的な使用を考える上では、防除対象となる病原菌の薬剤感受性に関するデータを集積していく必要がある。

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

\* 2) 果樹研究所 (Apple Research Station, National Institute of Fruit Tree Science, NARO, Morioka, Iwate 020-0123, JAPAN)

2009年8月31日受付、2009年12月3日受理

*Diplocarpon mali*を病原とするリンゴ褐斑病 (Harada *et al.* 1974) は、5月下旬頃より葉での発生が認められ、8月以降病斑が急激に増加し、葉の黄変と共に激しい落葉を引き起こす病害である。本病は、8～9月に使用されるストロビルリン系殺菌剤の重要な防除対象である。また、本菌については既にベンズイミダゾール系殺菌剤に対する耐性菌の発生 (佐藤・水野 2000; Tanaka *et al.* 2000) が報告されており、ストロビルリン系殺菌剤についても同様の事態が危惧されるところである。

そこで、本研究では2006～2008年の3ヶ年にわたり、岩手県でリンゴ褐斑病菌のストロビルリン系殺菌剤であるクレソキシムメチル (以下KSM) に対する感受性を調査した。

なお、本研究は、農研機構交付金プロジェクト「東北地域における農薬50%削減リンゴ栽培技術体系の確立」の一環として行われたものである。また、本研究の一部は2009年2月に行われた北日本病害虫研究発表会においてポスター発表したものである。

本研究を遂行するにあたり、現地リンゴ園の調査に多大なご協力いただいた岩手県農業研究センターの羽田厚氏、岩手県病害虫防除所の熊谷拓哉、藤田章宏、佐藤由美子の各氏に深く感謝申し上げます。

## II 材料と方法

### 1 リンゴ褐斑病菌の採集および分離方法

2006年8月に岩手県内の2ヶ所の放任園と4ヶ所の現地リンゴ園で、2007年10月には15ヶ所の現地リンゴ園で、また2008年には6月に放任園1ヶ所、9～10月に現地リンゴ園7ヶ所で褐斑病の罹病葉を採集した。複数年にわたって採集できた園地を含め、4市2町20地点で採集することができた (図1)。

罹病葉から褐斑病菌の分離は、既報 (佐藤・水野 2000) にしたがって単孢子分離した。分離菌株は、1罹病葉あたり1～4分生子層を選び、1分生子層あたり1～3菌株ずつ分離した。

### 2 クレソキシムメチルに対する感受性検定

リンゴ褐斑病菌のKSMに対する感受性は、既報の方法 (佐藤・水野 2000) を一部改良し、薬剤添加培地上での菌叢生育で検定した。

即ち、高圧滅菌したジャガイモデキストロース寒天培地 (PDA) (Difco社製) 中に、クレソキシムメチルドライフロアブル剤 (ストロビードライフロ



図1 リンゴ褐斑病菌を採集した岩手県内リンゴ園の分布  
○：現地リンゴ園、●：放任園

アブル、KSM：50%含有) を用いて、KSMが最終濃度で0、0.01、0.05、0.1、0.25、0.5、1および5 ppmとなるよう添加して検定培地とした。なお、クレソキシムメチルドライフロアブル剤は、ジメチルスルオキシド (DMSO) に溶解し、培地容量に対して1%となるように添加した。

次いで、23℃暗黒下PDA培地上で2～3週間程度培養した褐斑病菌の菌叢 (約3 mm<sup>2</sup>) を滅菌水 (200 μl) 中で磨碎して菌糸懸濁液を作成した。これを検定培地上に5 μlずつ滴下・風乾した。23℃で2週間培養した後、菌叢生育の有無を観察して、KSMの最低生育阻止濃度 (MIC) を求めた。

## III 結 果

岩手県内で分離したリンゴ褐斑病菌のKSMに対する感受性を検定した結果、3ヶ所の放任園 (盛岡市1、盛岡市2および紫波町5) から分離した195菌株のMIC値は全て0.05～0.25 ppmの範囲内で一峰性の分布を示し、この値が本菌のKSM感受性のベースラインと推定された (表1)。

表1 放任園から分離したリンゴ褐斑病菌のクレソキシムメチルに対する感受性

調査園	採集年月	菌株数	最低生育阻止濃度 (ppm)							
			0.01	0.05	0.1	0.25	0.5	1.0	5.0	5.0<
盛岡市1	2006.8	104	46	38	20					
盛岡市2	2006.8	48	12	32	4					
紫波町5	2008.6	43	8	9	26					
合計		195	66	79	50					

表2 現地リンゴ園から分離したリンゴ褐斑病菌のクレソキシムメチルに対する感受性

調査園	採集年月	菌株数	最低生育阻止濃度 (ppm)							
			0.01	0.05	0.1	0.25	0.5	1.0	5.0	5.0<
(2006)										
盛岡市3	2006.8	32	21	9	2					
盛岡市4	2006.8	76	36	34	6					
紫波町1	2006.8	27	15	12						
花巻市1	2006.8	30	17	12	1					
(2007)										
盛岡市3	2007.10	72	45	23	4					
盛岡市4	2007.10	70	1	27	32	10				
盛岡市5	2007.10	5		1	4					
紫波町2	2007.10	17	15	2						
紫波町3	2007.10	36	14	21	1					
紫波町4	2007.10	14	8	5	1					
花巻市1	2007.10	35	6	19	10					
花巻市2	2007.10	9	7	2						
花巻市3	2007.10	63	4	46	12	1				
北上市	2007.10	104	46	41	17					
一関市1	2007.10	87	12	49	26					
一関市2	2007.10	7	6	1						
一関市3	2007.10	26	15	10	1					
一関市4	2007.10	56	32	22	2					
藤沢町	2007.10	142	57	63	22					
(2008)										
盛岡市4	2008.9	44	18	24	2					
紫波町3	2008.9	38	1	35	2					
花巻市2	2008.10	26	1	19	6					
花巻市4	2008.10	32	1	29	2					
北上市	2008.10	156	12	94	50					
一関市4	2008.9	171	14	70	73	14				
藤沢町	2008.9	31		14	17					
合計		1,406	19	528	658	201				

一方、2006～2008年に現地リンゴ園17ヶ所から分離した合計1,406菌株のMIC値は、0.01～0.25ppmの範囲内に分布した。放任園で検出されなかったMIC値0.01ppmを示した菌株は19菌株と少数であり、現地リンゴ園から分離した褐斑病菌のMIC値は、ほぼ放任園の分布と一致していた(表2)。

以上の結果から、現段階では岩手県の現地リンゴ園から分離した褐斑病菌のMIC値は0.25ppm以下で一峰性の分布を示し、KSM感受性が低下した菌株は認められなかった。

#### IV 考 察

本研究では、リンゴ褐斑病菌のKSM感受性検定を薬剤添加培地上での菌叢生育試験で行った。しかし、ストロビルリン系殺菌剤を添加した培地上では、薬剤感受性菌であっても菌叢生育に影響を受けないことが多い。これにはAlternative-oxidase (AOX)を介した代替呼吸経路が関与していることが明らかとなっている(田村・水谷 1999)。したがって、没食子酸n-プロピル等、AOXの特異的阻害剤を添加することで薬剤感受性を調べる方法が用いられる(石井ら 1998; 石井ら 1999)。その供試濃度は対象とする病原菌によって異なることとされるが、本研究の対象であるリンゴ褐斑病菌については、KSMのみを添加したPDA培地上においても菌叢生育が十分に阻害されることから、代替呼吸経路の特異的阻害剤を添加しなくても感受性検定は可能と考えられた。

今回岩手県で分離したリンゴ褐斑病菌については、調査した全菌株のMIC値は0.25ppm以下であり、その分布は一峰性を示したことから、現時点では耐性菌と考えられる菌株は認められず、褐斑病菌のKSMに対する感受性は低下していないことが明らかとなった。これまでにリンゴ褐斑病菌のストロビルリン系殺菌剤に対する感受性については、秋田県内の現地リンゴ園で分離した62菌株を調査した事例(佐藤・水野 2000)があり、MIC値はKSMで0.5ppmおよびアゾキシストロピンで1.0ppmであった。秋田県の調査ではKSM 0.25ppmが検定されていないが、菌叢生育が認められたKSMの最高濃度は0.1ppmで本研究の結果と同じ値であることから、この調査については今回推定されたベースライン感受性の範囲に含まれると考えられた。しかし、地域や産地によって病害の発生時期や様相、殺菌剤の選択などは異なっており、岩手県以外の他地域における薬剤感受性についても調査を要する。

本研究で調査した岩手県内17ヶ所の現地リンゴ園はいずれも、8～9月に1～3回ストロビルリン系殺菌剤の散布を複数年にわたって実施していた。したがって、今回明らかとなったリンゴ褐斑病菌の薬剤感受性は、現行の本殺菌剤の使用方法を支持する



結果と思われる。現在までにリンゴ病害におけるストロビルリン系殺菌剤耐性菌については、リンゴ斑点落葉病菌 (Lu *et al.* 2003; 對馬ら 2007; 足立ら 2009) および黒星病菌 (Steinfeld *et al.* 2002) での発生が報告されている。このようなことから、将来、どの病原菌にストロビルリン系殺菌剤に対する感受性低下が発生し、実害を生じるかは不明であり、広範囲に観察を続ける必要がある。

### 引用文献

- 1) 足立嘉彦, 土師 岳, 伊藤 伝, 高梨祐明. 2009. 岩手県南部におけるリンゴ斑点落葉病菌のストロビルリン系殺菌剤に対する感受性について. 日植病報 75 : 245 (講演要旨).
- 2) Harada, Y.; Sawamura, K.; Konno, K. 1974. *Diplocarpon mali*, sp. nov., the perfect state of apple blotch fungus, *Marssonina coronaria*. Ann. Phytopath. Soc. Japan 40 : 412-418.
- 3) Ishii, H. 2006. Impact of fungicide resistance in plant pathogen on crop disease control and agricultural environment. JARQ 40 : 205-211.
- 4) 石井英夫, Joseph-Horne, T, Hollomon, D. W., 西村久美子. 1999. ストロビルリン系殺菌剤とシアン耐性呼吸阻害剤, 没食子酸n-プロピルの協力作用. 日本農薬学会講演要旨集 24 : 64.
- 5) 石井英夫, 西村久美子, 岩本 晋. 1998. 数種植物病原糸状菌のアニリノピリミジン系およびストロビルリン系薬剤感受性検定法の検討. 日植病報 64 : 395 (講演要旨).
- 6) Lu, Y. L.; Sutton, T. B.; Yperma, H. 2003. Sensitivity of *Alternaria mali* from North Carolina apple orchards to pyraclostrobin and boscalid. Phytopathology 93 : S54 (Abstracts).
- 7) 佐藤 裕, 水野 昇. 2000. ベンズイミダゾール系薬剤耐性リンゴ褐斑病菌の出現. 秋田県果樹試験場研究報告 27 : 14-23.
- 8) Steinfeld, U.; Sierotzki, H.; Parisi, S.; Gisi, U. 2002. Comparison of resistance mechanisms to strobilurin fungicides in *Venturia inaequalis*. In: Modern fungicides and antifungal compounds II, eds Lyr, H., Russell, P. E., Dehne, H-W., Gisi, U. and Kock, K-H. 13th International Reinhardtsbrunn Symposium, AgroConcept, Bonn, Verlag, Th. Mann Gelsenkirchen, p.167-176.
- 9) 田村廣人, 水谷 章. 1999. ストロビルリン系殺菌剤の作用機構. 日本農薬学会誌 24 : 189-196.
- 10) Tanaka, S.; Kamegawa, N.; Ito, S.; Kameya-Iwaki, M. 2000. Detection of thiophanate-methyl-resistant strains in *Diplocarpon mali*, causal fungus of apple blotch. J. Gen. Plant Pathol. 66 : 82-85.
- 11) 對馬由記子, 雪田金助, 福士好文, 赤平知也. 2007. ストロビルリン系薬剤耐性のリンゴ斑点落葉病菌と簡易検定法. 日植病報 73 : 51-52 (講演要旨).

## 農薬削減リンゴの価格優位性と普及の可能性 — 農薬50%削減リンゴ栽培技術の経済評価 —

野中 章久<sup>\*1)</sup>・阿部 直行<sup>\*2)</sup>

**抄 録**：本稿は農薬削減の努力に対する市場の評価の実態把握の一環として、特別栽培リンゴの価格と費用との関係を明らかにすることを第一の課題、その分析結果をもとに、対立した見解が示されている先行研究の議論を検討することを第二の課題とする。JAいわて中央を事例とし、2006～2009年に実施した調査結果の分析から費用に関し、慣行栽培と比較して農薬削減防除体系は10kg段ボール1箱当たり52～69円の費用増加が生じていることが明かとなった。次に、JAいわて中央のリンゴの等階級別の販売実績の分析から、最も低い等級を除いて、農薬削減リンゴは管内の慣行栽培のリンゴと比較して費用増加分より高い単価となっていることが明かとなった。また、慣行栽培品を基準として価格を比較すると、農薬の削減率に応じる形で増加していた。先行研究では、農薬の削減率に応じた価格が形成されるところの見解と、形成されない、あるいはその価格差は縮小するところの見解があった。本稿の分析結果は、農薬削減率に応じた価格が形成されるところの見解を支持しているが、同時に農薬削減率と価格の関係は作物や購買層によっても異なる可能性が示唆された。

**キーワード**：特別栽培リンゴ 農薬50%削減 交信攪乱剤 費用増加 販売価格

**The Price Advantage of Reducing Agrichemicals for Apples and the Possibility of Expanding the Cultivation Method for Apple Farming – Economical evaluation on agrichemicals 50% reduced apples –** : Akihisa NONAKA<sup>\*1)</sup> and Naoyuki ABE<sup>\*2)</sup>

**Abstract** : The aims of this article are to clarify the relationship between the costs and prices of apples produced with 50% fewer agrichemicals and regularly cultivated apples, and to review the relevant studies on this subject. Of two earlier evaluations of the price differential between reduced-agrchemical products and regularly cultivated ones, the authors of one study indicated the existence of a price differential and the authors of the other study denied the differential. We studied the farmers, agricultural co-op and related organizations in Shiwa town (Iwate Prefecture) from 2006 to 2009, and a comparison of the reduced-agrchemical apples and regularly cultivated apples showed that the pesticide costs for the former increased from 52 to 69 yen per cardboard box (10 kg). Analysis of sales documents from JA Iwate Chuou indicated that reduced-agrchemical apples were sold for prices that more than compensated for the increased costs. The analysis supports the former studies that indicated the price differential due to the agrichemical reduction; however, the analysis also indicated that higher graded apples have a higher price differential due to the agrichemical reduction and lowest graded apples do not show any price differential, so the price differential might depend on the characteristics of the retailer and the brackets of consumer. The analysis also suggests that there are differences among crops on the price differential due to the agrichemicals reduction.

**Key Words** : Specially cultivated apples, Agrichemical 50% reduction, Mating disrupter, Cost increase, Wholesale prices

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

\* 2) 岩手県農業研究センター (Iwate Agricultural Research Center, Kitakami, Iwate 024-0003, JAPAN)  
2009年9月3日受付、2009年12月14日受理

## I 緒 言

農業生産現場での農薬削減の努力は、消費者のいわゆる安全・安心指向を一方の背景としながら、他方で害虫、病原菌や雑草が農薬に対して抵抗性を獲得することを抑止する意味合いを持っている\*1。剤によって異なるが、同じ成分の薬剤の使用を続けられれば、害虫、病原菌、雑草が抵抗性を獲得する可能性が拡大する。抵抗性が獲得された害虫、病原菌、雑草が蔓延すれば、新しい薬剤が必要となる。新しい薬剤はその開発コストを転嫁されて販売されるため、新たな費用として農家の負担に直結する。抵抗性獲得の可能性は、薬剤の散布回数に比例すると考えられるため、薬剤の散布回数を減らす努力は、現在使用している薬剤の効力を出来るだけ長くする努力でもある。そのため、農薬削減の努力は農家の所得確保に結びつくものであり、日本農業の維持・発展を考える上でも重要である。それゆえ特別栽培のような農薬の使用回数を削減した農産物の生産は、消費者ニーズへの対応だけでなく、農家経済および農業技術の面における重要な意義を持っている\*2。

果樹栽培は、野菜のように品目の転換が容易ではない上に、防除のための薬剤を多く使用することから、農薬の使用回数を削減する事は容易ではない。一方、薬剤の散布回数が多いため、抵抗性獲得の抑止は極めて重要な意義を持っている。省農薬栽培は、柑橘系においては比較的広範に見られるが、リンゴでは例が極めて少ない。これはリンゴは害虫、病気が多いこと、外皮がこれらの害を受けやすいこと、そして外見が価格に大きな影響を与えることが主な要因である。しかし、リンゴの農薬削減の技術開発は、東北農業研究センターにおいて地域農業確立総合研究「東北地域における農薬50%削減リンゴ栽培技術体系の確立」として課題化されている。また、JAいわて中央が先駆的にリンゴの特別栽培に取り組んでおり、東北農業研究センターの技術開発と協力関係にある。このように先駆的に取り組む産地があり、また研究開発も進められていることから、リ

ンゴ栽培における農薬削減は、技術的な側面においては今後普及する可能性が拡大しているといえる。しかし、この技術導入にともなう所得向上のような経済的誘因を持たなければ、このリンゴにおける省農薬栽培技術の普及は望めない。

一般に消費者にはいわゆる安全・安心指向があり、農業者の農薬削減努力に対して価格における評価があると考えられている。例えば、下山<sup>5)</sup>はリンゴを題材としたアンケート調査によって、散布農薬の削減率に応じて消費者の支払い意思額が上昇する事を示している。農薬の使用回数を基準に考えれば、農薬の削減率は有機栽培>特別栽培>慣行栽培となるが、価格もこれに準じるということになろう。ただし、リンゴに関しては、多数の農家を擁した産地として有機栽培に取り組むことは困難である。また、特別栽培は有機栽培と慣行栽培との中間的な位置づけとなるが、農薬の削減率に比例して消費者の支払い意思額が上がるという傾向は、中間的な特別栽培と慣行栽培の間にどの程度反映されるかは明白ではない。これについては、中間的な農薬削減率のものは慣行栽培との価格差を維持しにくいという見解が示されている。宮崎<sup>4)</sup>は認証制度が厳密な有機農産物は高価格を実現できるが、中間的な位置づけとなる環境保全型農業の生産物は慣行栽培との差がなくなる方向に推移する可能性を指摘している。この場合の環境保全型農業はフェロモン剤を利用して農薬散布量を削減するものを含んでいるため、本稿の特別栽培リンゴと類似したものである。また、野菜に関してであるが、酒井<sup>2)</sup>は有機栽培品と慣行のものとの価格差は少なくなる傾向を指摘している。このように、農薬削減に対する市場の評価、とくに特別栽培のような有機栽培と慣行栽培の中間的な位置にあるものに対する市場の価格的な評価は、先行研究において見解が一致しているものではない。このため農薬削減の努力、とくに農薬を100%削減できない作物における農薬削減の努力は、市場によって継続的に誘導される構造にあるかどうかは、仮説的にも実態的にも明らかにされていない。農薬削減は社会

\* 1 例え殺虫剤を散布した場合、害虫に感受性がある限り駆除されるが、突然変異等で抵抗性を持った個体は駆除されない。そして駆除されなかった個体同士で次世代が繁殖するならば、その薬剤に対する抵抗性が獲得された害虫が繁殖することになる。このため、世代交代が早い害虫や、散布回数の多い薬剤ほど抵抗性が獲得される可能性が高くなる。散布回数を削減することは、このような抵抗性獲得を遅らせる効果がある。そのため、散布回数は長期的に見れば薬剤に関するコストに対する大きな影響力を持つ。

\* 2 特別栽培に近いものとして有機栽培があるが、その目指すものは抵抗性獲得を抑止する行為とは異なる方向にある。一方、特別栽培のような農薬削減の努力の一環として作り出される農薬削減技術＝抵抗性を抑止する技術は、慣行栽培にも波及する可能性を持っている。この点が特別栽培に関係する技術開発が持つ特徴と言える。

的に求められており、技術開発も進められているため、リンゴのような多様な防除を必要とする作物における農薬削減の努力に対する市場の評価の実態把握、および農薬削減にとりくむ経済的誘因の有無の解明は大きな課題として残されているといえる。そこで、本稿は農薬削減の努力に対する市場の評価の実態把握の一環として、特別栽培リンゴの価格と特別栽培により増加する費用との関係を明らかにすることを第一の課題とする。そしてその分析結果をもとに、対立した見解が示されている先行研究の議論を検討することを第二の課題とする。この課題解明のため、JAいわて中央の特別栽培リンゴを事例とする。このとき、特別栽培は農薬削減だけではなく化学肥料削減の側面もあるが、本稿は交信攪乱剤を核とした農薬削減技術の経済的評価を主な目的とする。このため、特別栽培は農薬削減の側面を対象とし、かつその農薬は主に殺虫剤を中心に議論する。この課題解明のため、2006～2009年に実施した特別栽培に取り組む農家、りんご部会、JAいわて中央販売担当者および関係機関を対象とした調査結果をもとに分析する。なお、調査および分析は野中章久（東北農業研究センター）と阿部直行（岩手県農業研究センター）の共同研究として実施したが、阿部は主に費用に関する部分を、野中は価格に関する部分を担当した。

## 謝 辞

JAいわて中央には、販売関係や防除関係の会議を傍聴させていただいた上に、防除暦をはじめ、販売関係の帳票類など、通常は外部に公開しない資料を閲覧させていただいた。ここに深謝の意を表する。

## Ⅱ リンゴの特別栽培による費用増加

### 1 農協の取り組みの概況

旧岩手中央農協は岩手県の内陸中央部、県都盛岡市の南に位置する地方都市近郊の農業地帯である。管内中央部には北上川が流れ、西部には奥羽山脈、東部には北上高地が連なり、平野部を中心として稲作、キュウリ等の果菜類、平野部から中山間部にか

けてリンゴを中心とした果樹、そして畜産などの経営が営まれている地帯である。営農類型別では、リンゴ単一の農家が15%、対象産地はブドウや西洋ナシなども栽培されており、樹種複合経営が13%、「リンゴ+水稲」が49%と半数を占めている。旧岩手中央農協は2007年、隣接する旧盛岡市農協を吸収合併しJAいわて中央となった。リンゴの特別栽培は旧岩手中央農協で取り組まれていたものだが、2008年度からは旧盛岡市農協管内を含む全管内で取り組まれている。

リンゴの特別栽培は、慣行栽培の薬剤の50%（成分回数）を削減するものである。岩手県が作成した資料によると、50%削減の基準となる岩手のリンゴ（ふじ）の慣行栽培では、農薬は有効成分使用回数43回となっている\*<sup>3</sup>。JAいわて中央の特別栽培は、この慣行栽培の農薬を21成分回数まで削減している。JAいわて中央が販売するリンゴは、全てりんご部会が作成する防除暦に従ったものである。特別栽培もこの防除暦によるものである。そのため、りんご部会は特別栽培と特別栽培の認証をとらないもの（以下「一般栽培」と称する）の2種類の防除暦を作っている\*<sup>4</sup>。特別栽培は使用する薬剤数が限られているため、圃場での害虫・病気の発生状況に対応しつつ、必要最小限の防除とすることが求められる。このために、りんご部会は防除が行われる4～8月期に予察会議を頻繁に（10～11回）に開催し、観察対象となっている圃場における害虫、病気の発生消長に関する情報を集めている\*<sup>5</sup>。

旧岩手中央農協は、特別栽培を始める前から農薬削減の取り組みに積極的であった。このため、特別栽培以外の圃場でも交信攪乱剤を使用したり、展着剤を使用して一回の防除効果を長くさせるよう努めるなど、農薬散布の成分回数を減らす努力をしている\*<sup>6</sup>。このため、旧岩手中央農協の一般栽培は慣行栽培よりも使用する農薬を削減している。つまり、旧岩手中央農協管内のリンゴは①特別栽培の認証を受けている省農薬リンゴと、②認証を受けていないが農薬削減の努力をしているリンゴの2種類があったことになる。これに対し、2007年に合併した旧盛

\* 3 慣行栽培の化学肥料は15kg/10aとなっている。

\* 4 詳細に言えば、特別栽培には除草剤の入れ方によって作業重視型と病虫害重視型がある。また、一般栽培にも交信攪乱剤を入れた体系と入れないものがある。それぞれの型の選択は農家に任されているが、差異は1～2剤の範囲である。

\* 5 長谷川・高梨<sup>3)</sup>参照。

\* 6 展着剤は同時に散布する農薬をより長く植物体に付着させるもので、害虫、病原菌を防除する成分は含まれていない。ただし、展着剤も農薬のカウントとなる。



岡市農協では、旧岩手中央農協のような農薬削減への取り組みは無かった。その旧盛岡市農協管内も農協合併により、2008年より農協系統出荷のものは上記の①、②のみになる。しかし農協合併が2007年度の途中に行われたため、J Aいわて中央は③旧盛岡市農協の防除暦に従った2007年産リンゴを販売している。つまり、J Aいわて中央が販売した2007年産リンゴには①②の農薬削減の努力が払われたものと、③の農薬削減とは関わらないものの三種類があったことになる。今、①を特別栽培、②を省農薬の一般栽培、③を慣行栽培と位置づけると、2007年産リンゴを分析対象とすることにより、農薬削減にかかる費用と価格の関係を比較することができる。県が策定する慣行栽培の防除体系は、特別栽培の認証の基準となるもので、平均像としてモデル的に作った防除体系である。このため厳密には③の旧盛岡市農協の防除体系と一致しない。しかし③の旧盛岡市農協の防除暦は県の慣行栽培の43成分回数に近い40成分回数であること\*7、県の普及機関の指導に基づいて防除暦を作っていたこと\*8から、慣行栽培に近似のものと考えられる。そこで、以下③を慣行栽培として①②と比較し、費用と価格の関係を明らかにする。

## 2 特別栽培と一般栽培の地区ローテーション

先述のように、旧岩手中央農協の特別栽培は2004年から始まった。農協の資料によると、2004、5年は約8割の農家が、面積としては管内の約6割の園地で特別栽培に取り組んだ。しかし、2006年に多くの園地でハダニが多発したため、殺ダニ剤を追加散布することとなった。この結果、特別栽培リンゴとして出荷・販売できた生産者（面積）は全体の2割程度となってしまった。特別栽培の防除暦には追加散布用の成分回数の余裕が無いため、一剤でも追加すれば特別栽培とはならない。このため2006年のように、害虫が予想を超えて発生すると、特別栽培リンゴを安定して供給することができない。この事態を重く見た農協は、特別栽培リンゴを安定的に供給するために、2007年から特別栽培を地区毎の隔年のローテーションとした。

2006年のハダニの多発の原因を特定する事は難しい\*9が、取り組む農家の間には固定した圃場での特別栽培は年内に防除しきれない害虫、病原菌を残存させるのではないかと懸念を抱かせた。これに対して農協は、特別栽培を一般栽培と交互に行うことを新たに提起した。このローテーションは特別栽培により害虫、病原菌の残存が生じたとしても、一般栽培の防除によって地域の平均的な水準まで減らすことを狙ったものである。農家が懸念する予期しない病虫害多発のリスクを低減するものであり、これにより農家の特別栽培への結集を維持する事ができたといえる。これにより、2007年は旧岩手中央農協管内を2地区にわけて特別栽培と一般栽培に取り組み、以降毎年交代するものとしている\*10。

特別栽培・一般栽培をローテーションとするためには、農協管内の農家の協力が強く求められる。固定した圃場（もしくは地域）での取り組みならば、特別栽培を希望する農家のみを組織すればよいが、管内全域となると管内の農家全ての協力が必要となる。また、農家側から見れば、年あるいは圃場によって特別栽培と一般栽培が切り替わる事になる。防除はスピードスプレーヤーによるため、隣接した圃場への飛散（ドリフト）が生じるが、圃場毎に特別栽培・一般栽培が混在すると、今日のポジティブリスト制を踏まえた防除としては、薬剤の散布が難しくなる。このため、ローテーションはドリフトを配慮した形での地域全体としての取り組みが必要となる。旧岩手中央農協管内の特別栽培の背景にはこのような地域全体の結集があった。これは後段の表3に示されたように、一般栽培と特別栽培はローテーション通りほぼ同量の出荷となっている。

このように、J Aいわて中央の特別栽培リンゴは、組合員農家の結集と、一般栽培との組み合わせによって成立するものであり、その意味では特別栽培が割り当てられていない農家も含めて、生産されている事になる。この地域一丸となった特別栽培が継続的に取り組まれるためには、特別栽培にかかる費用を超える価格上昇が実現される必要がある。そこで、まず特別栽培にかかる費用を調査データによ

\*7 予期しない病虫害の発生に対して防除暦にない防除を追加する事も多い。このため、実際の防除回数は40回とは限らない。

\*8 担当普及員の聞き取り調査による。なお、担当者からは「県の慣行栽培に近い防除体系」とのコメントを得ている。

\*9 ハダニは慣行栽培でも多発するケースが間々ある。また、抵抗性を獲得しやすいため、防除を頻繁に行っている場合でも突然大量に発生する事もある。

\*10 経済的な観点からすれば、一般栽培・特別栽培を統一防除として地域一丸となって取り組むメリットは、生産履歴が明確になることにより商談が有利に展開できること、クレームが発生した場合に迅速に対応できること、農薬購入の際の交渉力が拡大することなどがある。また、統一した薬剤を使用することにより、これらの薬剤に対する抵抗性の動向について把握し易くなるという利点もある。

て明らかにしてゆきたい。

### 3 特別栽培による費用増加

特別栽培は農薬使用を慣行栽培の50%以下とするため、削減した薬剤の費用は軽減される。しかし、一般に農薬は高価であるため、慣行栽培でも使用する薬剤は必要最小限の範囲を大きく出たものではない。このため、特別栽培のために農薬を削減するという場合、殺虫剤に替わって農薬とはカウントされない代替剤を使う場合が多い。交信攪乱剤（フェロモン剤）がこの典型である。交信攪乱剤は対象害虫を殺傷するものではなく、交尾する際に利用される性フェロモンの成分を人為合成したものである。もともと自然界に存在するものであり、農薬としてカウントされない。また、このような農薬としてカウントされない剤を使用する一方で、展着剤を使用して散布した農薬の効果を出来るだけ持続させる努力を組み合わせている。このため、殺虫・殺菌剤は削減されるが、交信攪乱剤のような代替剤や展着剤の費用が上乘せされる。そして、除草剤を削減した場合には人力で除草するため、労働時間が増加する。このため、慣行栽培に比較して特別栽培は生産に要する費用が増加する可能性がある。そこで、この特別栽培に関わる費用を、防除暦、特別栽培に取り組む農家の調査データと岩手県農業研究センターのリング（ふじ）の標準作業体系<sup>\*11</sup>における労働時間をもとに見て行きたい。なお、特別栽培は肥料も関係するが、本稿の課題が農薬削減技術の経済的評価にあること、そして事例の実情としても、地域内に畜産農家が多数あり、栽培方法の区別無く堆肥の供与を受けているリング農家が多数見られることから、ここでは病虫害防除のための薬剤散布と除草剤散布、殺虫剤を削減するための代替剤導入にかかる薬剤費と労働時間を比較の対象とする。

表1は慣行栽培（特別栽培の基準として県が作成したもの）と一般栽培、特別栽培の防除体系を、防除暦の書式に準じて比較したものである<sup>\*12</sup>。先に、

岩手県の慣行栽培では、農薬は43回の成分回数としたが、表中の剤には単一の有効成分のもの（単剤）だけではなく、複数の有効成分を混合したもの（複合剤）も含まれている。例えば、3成分を混合した複合剤を2回散布すれば、成分回数としては6回にカウントされる。このため、表の薬剤の数と成分回数のカウントの仕方は一致していない。また、特別栽培は50%削減（21回）であるが、これは散布回数の削減と同時に複合剤を単剤に切り替えるという努力を積み重ねて実現したものである。実際の防除暦は散布の時期についても記入されているが、表1はおおむね時期が一致するように行をそろえている。表にある空欄は、慣行栽培、あるいは一般栽培で散布している時期に、何も散布していないことを表している。また、括弧書きのものは農薬としてカウントされない剤である。

表に示されているように、JAいわて中央の一般栽培は慣行栽培よりも散布回数が削減されている。これは一般栽培においても農薬削減の努力がなされている事を示している。また、特別栽培と一般栽培の使用薬剤を比較すれば明らかのように、かなり共通する薬剤を使用している。一般栽培であっても農薬にカウントされない剤や展着剤を使用している点の特徴である。これは旧岩手中央の農薬削減の努力が継承されていることを示すが、同時に後段に見るように薬剤費を増加させているものである。

このような慣行栽培と一般栽培、特別栽培の費用を比較したものが表2である。

まず、病虫害防除は、慣行栽培、一般栽培、特別栽培の順に散布回数が少ないため、散布回数に応じて労働時間は減少している。一方薬剤費は一般栽培、特別栽培とも慣行栽培よりも高くなっている。病虫害の防除に関しては、一般栽培は特別栽培と同様の薬剤、とくに代替剤、展着剤を使っている関係で慣行栽培よりも薬剤費が高くなっている。例えば農薬にカウントされないバイオマックスDFは1回散布につき10a当たり2,000円弱の薬剤費となるが、同

\*11 岩手県農業研究センターが、それぞれの作物に関して、使用する資材・機械、標準的な労働時間を調査し、岩手県農業研究センター「生産技術体系」としてデータベース化している。

\*12 表では慣行栽培と2008年の一般栽培、特別栽培の防除暦を比較しているが、2007年はハダニ多発の翌年であるため一般栽培の防除暦作成は例年とは異なっていた。これは一方で防除効果を高めつつ他方で農薬削減の努力を継承するという難しい課題を抱えたものであったこと、農家の病虫害発生への懸念に起因する反発も強かったためである。このため、2007年の一般栽培防除暦は今日のものとは大きく異なっていた。翌2008年の一般栽培の防除体系は今日のものに近いものとなったため、2008年のJAいわて中央の一般栽培と特別栽培の防除暦の比較とした。なお、2007年の防除暦に基づいて試算しても、後段に見る価格差の範囲内であり、分析結果は同じとなる。また、慣行栽培も旧盛岡市農協の防除暦とする事がのぞましいが、筆者達の調査では2007年度の防除暦は入手できなかったものの、薬剤の価格に関する資料が入手できなかった。ただし、使用する製品（メーカー）は異なるが防除体系は慣行栽培に近似である。

表1 慣行栽培体系と農薬50%削減栽培体系の防除体系の比較

	慣行防除体系	一般栽培防除体系 (JAいわて中央)	特別栽培防除体系 (JAいわて中央)
病 害 虫 防 除	ベフラン液剤、スミチオン水和剤、 (ハーベストオイル)		
	パスポートF		
	スコア水和剤	ベフラン液剤、ダイアジノン水和 剤、(ハーベストオイル)	ダイアジノン水和剤、(ハーベ ストオイル)
	ブロード水和剤、エルサン水和剤	アンビルF、(バイオマックスDF)、 (粘着君)	アンビルF、(バイオマックスDF)、 (粘着君)
	バルノックスF		(交信攪乱剤)
	ラビライト	オンリーワンF、マブリック水和剤	オンリーワンF、マブリック水和剤
	オキシラン水和剤、モスピラン水 和剤、カネマイト水和剤	ジマンダイセン水和剤、クレミクス	ジマンダイセン水和剤、クレミクス
	パスポートF、ダイアジノン水和剤	アントラコール顆粒水和剤、モスピラン 水溶剤、ダニゲッターF、(セルバイン)	アントラコール顆粒水和剤、モスピラン 水和剤、ダニゲッターF、(セルバイン)
	ベフキノン水和剤、スミチオン水 和剤	パスポートF、スプラサイド水和 剤、(セルバイン)、展着剤	パスポートF、(セルバイン)、展 着剤
	キノンドー 80水和剤、スプラサ イド水和剤	キノンドー 80水和剤、ダーズバ ンDF、(セルバイン)、展着剤	キノンドー 80水和剤、ダーズバ ンDF、(セルバイン)、展着剤
	アリエッティーC水和剤、スミチ オン水和剤、マイトコーネ水和剤	ベフラン液剤、サイアノックス水 和剤、(セルバイン)	ベフラン液剤、サイアノックス水 和剤、(セルバイン)
	ベフラン液剤、オーソサイド水和 剤、オリオン水和剤	オーソサイド水和剤、トップジンM水 和剤、ダーズバンDF、ダニサラバF (セルバイン)、ストロビー DF、 スタークル顆水溶剤	フリントF、(セルバイン)、ダー ズバンDF、ダニサラバF
	ロブキャブタン水和剤		
	ベフラン液剤、オサダンF	ベフラン液剤、オリオン水和剤	ベフラン液剤、スタークル顆水溶剤
オーソサイド水和剤	フリントF	ストロビー DF	
ラウンドアップHR	ラウンドアップMR×2	ラウンドアップHR	
除草剤	タッチダウン	バスタ×2	
	カルナクス		

資料：JAいわて中央りんご部会共通防除暦（2008年）、盛岡市農協りんご部会防除暦（2007年）、岩手県農業研究センター「生産技術体系」及び「営農計画作成支援シート」（2005年）

等の薬剤として考えられる慣行栽培のスミチオン水和剤は10a 当たり500円弱となる\*13。このような代替剤を含め、一般栽培も特別栽培と共通する薬剤を多く使用するため、慣行より薬剤費が高くなっているといえる。一方、特別栽培は高価な交信攪乱剤（10a 当たり8,000円弱）を使う一方で散布する薬剤を減らしているため、一般栽培よりも少ない薬剤費となっている。しかし、この特別栽培も慣行栽培と比較すれば3,918円高い病害虫防除に関する薬剤費となっている。

交信攪乱剤は製品名コンフューザー R \*14で、細いチューブ状のケースの中に合成した対象害虫の性フ

ェロモン物質を封入したものである。この性フェロモン物質はガスとしてケースから徐々に空気中に放出され、周辺に漂うことになる。対象害虫のオスは性フェロモン物質を感知することにより雌の位置を探し当てて交尾するのだが、同様の交信攪乱剤が付近に充満することにより、オスはメスの居場所を探知出来なくなり、卵を生めなくなるというものである。害虫の交尾の際の交信手段を利用しているため、天敵などの益虫や他の生物への影響がない。また、作用の仕方が異なるため、殺虫剤のような抵抗性は獲得されないものである\*15。東北農業研究センターにおける農薬削減りんご栽培技術の開発も、この交

\*13 開花前ハマキ類防除の薬剤とした場合。

\*14 剤の特徴についてはメーカーのサイト ([http://www.shinetsu.co.jp/j/product/cell\\_fel.shtml](http://www.shinetsu.co.jp/j/product/cell_fel.shtml)) 参照。

\*15 交信攪乱剤により攪乱されないバイパス的方法（製剤されている性フェロモン以外の物質を交信に使用する等）を持つ個体が生じる可能性はある。しかしこれが交信攪乱剤の「抵抗性」を獲得した群となるには、交尾する範囲内で雌雄が同時にそのバイパス的方法を獲得し、次世代にその交信方法が継承されて行くことが必要となるため、容易に生じるとは考えにくい。Carde<sup>1)</sup>によると、このような特性により殺虫剤抵抗性に比べて、交信攪乱剤の抵抗性は容易に生じないとされている。



表2 慣行・一般・特別栽培の防除関係費用の比較 (10a当たり) (単位：円)

		慣行防除体系		一般栽培防除体系		特別栽培防除体系	
病虫害防除	薬剤費	58,105	65,148	7,043	62,023	3,918	
	労賃評価額 (労働時間)	18,854	16,507	-2,347	16,330	-2,524	
		14.9	13.1		12.9		
除草剤	薬剤費	3,540	6,804	3,264	1,512	-2,028	
	労賃評価額 (労働時間)	3,786	5,040	1,254	1,262	-2,524	
		3.0	4.0		1.0		
樹冠下草刈	労賃評価額 (労働時間)				9,086	9,086	
					7.2		
慣行防除体系との差額合計				9,214		5,928	

注. 1) 表1の慣行・一般・特別栽培防除の資料に基づき試算

- 2) 薬剤費はJAいわて中央の販売価格を基に試算
- 3) 労働時間は、慣行防除体系は岩手県「生産技術体系」及び「営農計画作成支援シート」、特別栽培は農家聞き取りによる
- 4) 労賃評価は岩手県農業会議「農業労賃標準額設定状況」(2006年)の県平均値を使用

資料：農家調査、岩手県農業研究センター「生産技術体系」及び「営農計画作成支援シート」(2005年)、JAいわて中央聞き取り調査

信攪乱剤を中核的な技術として位置づけているものである。この特別栽培の中核的技術に位置づけられる交信攪乱剤であるが、薬剤の価格と設置のための労働時間が、先に述べた代替剤に加え特別栽培の取り組みによって生じる費用増加の要因となっている。この病虫害防除に加え、特別栽培は除草剤使用回数を減らす代わりに、樹幹下の草刈り作業が必要となり、その分の労働力投下も費用増加の要因となっている。

このような病虫害防除と除草の体系の差により、慣行栽培と比較した場合、一般栽培は9,214円、特別栽培は5,928円の費用増加が発生すると考えられる。この費用増加を吸収するためには、次に試算するような販売価格の上昇が必要となる。

まず、表2では一般栽培、特別栽培とも費用が増加しているが、一般栽培の費用増加分を価格上昇によって吸収できれば、特別栽培の費用増加分も吸収できるため、10a当たり一般栽培の費用増加分9,214円が問題となる。これを出荷手数料を考慮して10kgの段ボール1箱当たり(1箱当たり10kg)に換算すると、単位

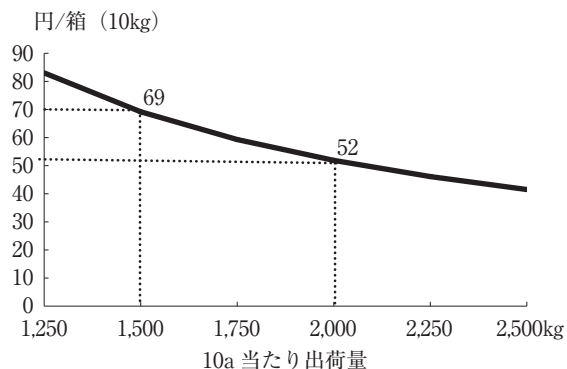


図1 10a当たり出荷量と特別栽培による費用増加分

$$注：Y = \frac{C}{X(1-R)}$$

Y：1箱当たり必要上乗せ価格(1箱=10kg)

X：10a当たり出荷量(箱数)

C：10a当たり特別栽培増加費用(6,599円)

R：手数料率(11.21%)

資料：表2と同じ

面積当たり出荷量に応じて図1のような曲線となる。農林水産省大臣官房統計部「平成19年産果樹生産出荷統計」(2009年)に示された2007年産リングの岩手県の10a当たり出荷量は1,850kgであり、また、同統計にみる1995～2007年の間の単位面積当たり出荷数量はおおむね1,600～1,900kgの範囲にある。いまJAいわて中央管内の10a当たり出荷量を図1の1,500～2,000kgの範囲にあると考えると<sup>\*16</sup>、10kg段ボール当たり52～69円となる。2007年産の岩手県の値の10a当たり1,850kgを図1に当てはめると56円である。出荷量を少なく見積もっても1箱当たり70円程度の販売価格の上乗せがあれば、JAいわて中央の一般栽培と特別栽培にかかる費用増加分を吸収できるといえる。

### III 農協の販売実績の分析

#### 1 農協の販売戦略と実績

JAいわて中央の特別栽培は一般栽培と交互に入れ替わるため、中・長期的に見れば、地域全体の薬剤散布量を減らす努力といえる。一方、特別栽培・一般栽培のローテーションを作るということは、一般栽培においても病虫害発生リスクが懸念されることにもなり、一般栽培のリングの販売でも有利な条件が望まれる。表2に見たように、一般栽培は慣

\*16 各農家は直売しているケースが多く(高品位階級品は贈答用、その他は直売場が多い)、全出荷量は農協への出荷量と一致しない。このため、個々の農家の単位面積当たりの出荷量を把握することは難しく、統計資料を利用して推定しなければならない。



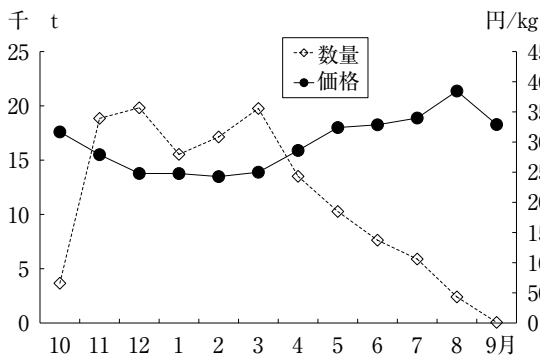


図2 2007年産リンゴ（ふじ）月別卸売数量および価格

注. 1類都市（人口100万人以上の都市及びこれに準ずる都市）の卸売数量および価格

資料：農林水産省大臣官房統計部「平成19年青果物卸売市場調査報告」（2009年）

行栽培と比較して防除にかかる費用が増加していると考えられるため、販売価格の上昇は必要とされる。そうでなければ継続しえないものとなろう。このため、特別栽培リンゴと一般栽培リンゴは連携して有利な販売条件を引き出す必要がある。2008年に筆者が参加・傍聴した農協・りんご部会の販売関係の会議<sup>\*17</sup>においては、希少価値の高い特別栽培品を武器としながら、一般栽培の玉数の多い等階級品を売り切るという戦略が強調されていた。また、特別栽培リンゴの希少性、社会的意義を理解する買手に対して、より重点的に販売促進を働きかける点も強調されていた。このように、販売戦略としても特別栽培と一般栽培の連携が意識されている。この特別栽培と一般栽培の連携は、販売実績として価格に反映されている事が望まれる。そのために、以下JAいわて中央の特別栽培リンゴと一般栽培リンゴ、そして旧盛岡市農協の慣行栽培リンゴの販売の実績を検討する。

農家は収穫時、山選果（出荷できないものを取り除く）をした後、農協の選果場に出荷する。選果場で特別栽培、一般栽培別に等階級分けされた後に箱詰めされる。農協は集荷したリンゴを保管し、予約相対を基本に販売する。品種により出荷期間は異なるため、精算の方法は数種類有るが、通常年2～3回の精算となる。JAいわて中央の担当者に対する

聞き取り調査によれば、岩手県産のリンゴ販売は、年内に全ての収穫物を売り切るように努力するという共通した戦略を持っている。JAいわて中央も同様で、若干越年の販売が発生するが、基本は年内の販売となる<sup>\*18</sup>。図2に見るように、リンゴ（ふじ）の価格は収穫期から3月ころまで価格は低下する傾向にある。岩手県の共通した年内に売り切るという戦略は、価格が高いうちに売るというものといえる。

JAいわて中央の集荷は上記のような形態であるため、農家は市場価格を見て出荷の時期を決めるという構造にはなく、収穫・山選果したあとは、農協出荷分は農協の販売活動に一任する形となる。ただし、合併前の旧盛岡市農協は集荷後すぐに販売し<sup>\*19</sup>、農家への精算も毎回されていた。合併した年の2007年産リンゴも同様である。このため、旧盛岡市農協分のリンゴは、農家が市場価格を見ながら出荷時期を決める事ができたといえる。しかし図2に示されているように、年内の出荷であれば早い方が価格が高い傾向にあり、農家は出来るだけ早く出荷しようとするといえる。なお旧盛岡市農協の出荷は盛岡市、東京都、横浜市の中央卸売市場を中心としており、旧岩手中央農協と共通する市場が多かった。また、卸会社も共通していた。そして、合併後は卸会社との交渉はJAいわて中央に一元化されたため、2007年産リンゴは合併前の2農協の集・出荷方式があったが、その他の販売に関する条件はJAいわて中央として統一されていたといえる。

表3に、リンゴ（ふじ）の出荷箱数を特別栽培、一般栽培、旧盛岡市農協（表中の「慣行栽培（盛岡）」）

表3 2007年度リンゴ（ふじ）の販売方法別出荷箱数と単価 (単位：箱、円)

		慣行栽培 (盛岡)	一般栽培	特別栽培
総 数	出荷箱数	15,254	51,632	49,412
	平均単価	2,311	2,348	2,386
市 場	出荷箱数	15,238	49,459	47,020
	平均単価	2,311	2,273	2,390
直 売	出荷箱数	15	1,738	2,238
	平均単価	2,378	4,952	5,432

資料：JAいわて中央販売資料（2007年度）

\*17 2008年に開催されたりんご部会の販売に関する会議。防除に関する技術的な議題も頻繁に議論されるため、岩手県の試験研究機関および普及機関に加え、農業削減リンゴの技術開発課題を持つ東北農業研究センターの研究者が参加した。

\*18 後段で検討する販売関係の帳票類も越年のものは例外的である。

\*19 選果場の規模が小さく、保存するスペースが無かった事も、このような集・出荷体制の背景となっていた。

別に示した。表には箱当たりの平均単価を示した。総数でみると、平均単価は「特別栽培」、「一般栽培」、「慣行栽培」の順となるが、これは、「直売」の出荷箱数と平均単価を見ればわかるとおり、「慣行栽培」は直売が極端に少ない事が規定している。「直売」とは、贈答品を中心として農協が直接消費者に販売するもので、これ以外は「市場」に区分・集計されている\*20。「市場」の平均単価を見ると、「特別栽培」、「慣行栽培」、「一般栽培」の順である。出荷箱数に示される通り、「市場」の区分がそれぞれ過半を占めており、この区分における価格を、さらに詳しく見て行く必要がある。このとき、出荷されたリングは等階級別に価格が形成されるため、等階級ごとの価格がカギとなる。

## 2 リンゴ販売価格

表4は、J A 岩手中央の2007年度産リング（ふじ）の農家精算金額から集計した特別栽培（以下A）、一般栽培（以下B）、旧盛岡市農協の慣行栽培（以下C）の価格を等階級ごとに比較したものである。

先述のようにCはA、Bとは異なり、市況を見ながら農協に出荷できるという特徴があった。このため、Cは高価格時に集荷・販売が多くなると考えられ、価格が低めとなる構造にはないと考えられる。また、Cの出荷箱数はAおよびBの1/3程度あること、販売先の卸会社がA、Bと共通することから、A、Bの価格の特徴をCとの比較にて捉えることが出来ると考える。

等階級は、A、B、Cとも共通で外見（等級）と大きさ（階級）によって分けられる。階級はサイズにより7階級に分けられ、等級は色・キズにより6等級に分けられる。ただし、最も低い等級のものには大きさによる階級分け（サイズ分け）が無い。このため等階級は5（等級）×7（階級）+1（等級）=36等階級ある。価格は等級が高い方が高く、また大きい方が高い。当然、等級が高く大きいリングが最も高い価格となるが、それぞれの等級と階級の組み合わせがあるので、価格と等階級の関係は単純ではない。そこで、これらの等階級を価格傾向および農協担当者の聞き取り調査をもとに、上位・中位・下位の等階級区分に集計し比較した。上位等階級はサイ

表4 2007年度ふじ等階級別販売価格

（単位：箱、円）

		C		B		A	
		慣行栽培	一般栽培	B-C	特別栽培	A-C	
上位等階級	単価	3,527	4,064	538	4,445	919	
	箱数	1,101	2,909		3,828		
中位等階級	単価	2,648	2,818	170	2,904	255	
	箱数	5,595	16,151		16,778		
下位等階級	単価	1,904	1,921	17	1,988	84	
	箱数	8,454	32,732		29,311		

注. 異なる資料のため、箱数が表3とは正確に一致しない  
資料：JAいわて中央販売資料

ズの大きい上位等級、中位等階級品は上位等級の小さいものと中位等級の大きいもの、下位等階級品は中位等級の小さいものと下位等級の全てのサイズである。

表には全ての等階級で価格はA、B、Cの順となっている事が示されている。農協担当者の聞き取りでは、中位等階級品がいわば標準となり、商談の中心となるとの事である。中位等階級品は数量的に多く、また品質も相対的に高いので、中心アイテムとなるのである。上位等階級品は数量が少なく、大きいサイズのものに限られているので、贈答用として販売されるケースが多く、かならずしもリングの販売一般を代表するものではない。中位等級品と下位等級品はすべてのサイズが含まれており、前者は通常品、後者は廉価品の性格が強いと位置づけられる。この中位等階級品を見ると、Cと比較してBは一箱当たり約170円高くなっている。さらに、AとCとの差は255円ある。IIでは一般栽培は慣行栽培と比較して一箱当たり52~69円の費用増加となるとしたが、CとBの差は明らかにこれよりも高い。AはBよりも高い価格が実現しているので、慣行栽培と比較した費用増加分はB以上に余裕をもって吸収されているといえる。

次に、下位等階級品を見てみよう。下位等階級品は最も数量が多く、かつ廉価品の性格が強い。反面、先述の農協の戦略のように、希少価値のある特別栽培を牽引者として有利販売できれば、数量が多い事から農家の所得向上に大きく寄与するものとなる。表では、下位等階級品のCとBの金額差は17円であ

\*20 J Aいわて中央の販売資料の区分による。「市場」に区分されているものは、卸会社とのあいだで決済されたものである。その中には予約相対、卸会社都合による小売店販売分、セリ等の各種の販売形態が含まれるが、資料の制約上、これらを峻別することはできない。なお、聞き取り調査によれば、セリにかかる分はほとんどないとのことである。

り、費用増加52～69円よりもかなり小さい。一方、この表ではAとCの差は84円ある。一見、下位等階級品では一般栽培は増加した費用を回収できず、特別栽培のみが回収できるように見えるが、この下位等階級品にはサイズ分けされない最も低い等級品が含まれ、この数量が多いことから、より詳細に価格と数量の関係を見る必要がある。

表5に下位等階級品のうちサイズによる階級分けがされるものを「サイズあり」、最も下位等級でサイズ分けがされないものを「サイズなし」として示した。このうち、「サイズあり」では、中位等階級品に見たようなA>B>Cの傾向が確認できる。「サイズなし」ではA>Bの関係が示されているが、Cが最も高い価格となっている。この「サイズなし」は数量が多いこともあり、この価格が影響して表4の下位等階級品のBとCの価格差が小さくなっているといえる。なお、農協の販売担当者に対する聞き取り調査では、「サイズなし」に関してはA、Bの差を強調した販売活動はあまりしないこと、また、数量が多いことから、販売に苦勞する部分も大きい旨のコメントを得ている。表4に示された中位等階級品と下位等階級品の数量の比率は、Bはおよそ1:2であるのに対し、Cは1:1.5で下位等階級品が相対的に少ない。また、先述のように旧盛岡市農協分は選果後すぐに出荷していることから、Cは価格が高い時期に売り抜けているのに対し、A、Bはより多くの在庫をかかえるという販売条件の違いがあるとも考えられる。「サイズなし」のCの価格の背景にはこのような条件があると考えられる。

次に、表5のAとBの価格差を見ると、「サイズあり」22円、「サイズなし」20円である。表4では下位等階級品のAとBに67円の価格差があったのは、表5の「サイズあり」と「サイズなし」の数量

を見ればわかるとおり、Aは相対的に価格の高い「サイズあり」が多く、Bは少ないという違いによるものである。このため、表5のAとBの間では、表4の中位等階級品ほどの価格の差は形成されていない。ただし、表5の「サイズあり」のCとBには84円の価格差があり、IIにみた一箱当たり52～69円の費用増加よりも大きいものとなる。以上のように、下位等階級品ではAとBの価格差は小さくなっているという傾向を示す一方、「サイズなし」を除いて下位等階級品においても一般栽培と慣行栽培の間の費用増加を超える価格が実現されており、特別栽培はさらに余裕を持った価格が形成されているといえる。

最後に表4の上位等階級品、中位等階級品の数量、表5の「サイズあり」、「サイズなし」の数量を勘案して計算<sup>\*21</sup>すると、A、B、Cの一箱当たりの価格差はAとCの間で187円、BとCの間で97円となる。どちらもIIにみた一箱当たり52～69円の費用増加よりも大きい価格差となる。

#### IV 考 察

交信攪乱剤は空気よりも重いので、交信攪乱剤を用いた農薬削減は圃場単位よりも谷のような地形を単位とした方が合理的である。また、薬剤散布の際の飛散が避けられない事も、農薬削減は広い地域を単位とした方が合理的である。2007年のハダニの多発に見るように、現状では突発的な害虫、病気の多発を防ぐリングの特別栽培体系は確立しているとはいえない段階である。特別栽培を同じ圃場で繰り返すことは、病虫害発生懸念が拡大する。そのため、JAいわて中央は、地域全体で特別栽培と一般栽培を毎年交代するローテーション方式に切り替えた。このローテーションは輪作により病虫害発生を抑制する野菜とは異なる、リング栽培特有の条件に対応したものと言える。このローテーション実現のためには地域全体の理解がも求められる。その意味では、各農家毎、あるいは圃場毎に農薬削減に取り組むかどうかを決められる作物とは異なり、よりタイトな農家の結集が求められるといえる。この点もリングにおける特別栽培の特徴といえることができる。この特徴のため、経済的効果として特別栽培だけではなく、地域全体にメリットを生み出す事が望ましい。

表5 下位等階級品の価格

(単位：箱、円)

		B		A		
		慣行栽培	一般栽培	B-C	特別栽培	A-C
サイズあり	単価	2,024	2,108	84	2,130	106
	箱数	2,753	11,255		14,848	
サイズなし	単価	1,846	1,822	-24	1,842	-4
	箱数	5,701	21,477		14,464	

資料：表4と同じ

\*21 AとB、AとCの各等階級毎の価格差をその等階級の数量でウェイト付けして、全出荷における一箱当たりの価格差として計算。



J Aいわて中央の特別栽培と一般栽培を関係づけた販売戦略は、このようなリンゴの特別栽培の特徴が求めたものといえる。

リンゴの特別栽培および一般栽培とのローテーションは、費用対効果においてプラスの条件が与えられなければ持続は難しい事になる。本稿はこれを確認するために、特別栽培および一般栽培の費用増加を試算し、続いてリンゴの販売価格を分析した。特別栽培による費用の増加はⅡに見たように、1箱当たり52~69円と試算された。また、販売価格の分析では、Ⅲに見たように特別栽培>一般栽培>慣行栽培という価格差が確認された。そして、等階級別に見た場合、下位等階級品のうち「サイズなし」を除いてこの価格差があること、そして特別栽培、一般栽培の費用増加分は価格差により吸収されていると考えられた。この価格差は、特別栽培が一般栽培との連携において成立している視点から評価しても、特別栽培と一般栽培のローテーションを支えるものとなっていると評価できる。旧盛岡市農協のリンゴを慣行栽培品とした場合、旧盛岡市農協のリンゴと旧岩手中央農協のリンゴの価格差が、試算された特別栽培による費用増加よりも大きいことから、この費用増加は価格増加により吸収し得ると結論づけられる。本稿は農薬削減の努力に対する市場の評価の実態把握の一環として、特別栽培リンゴの価格と特別栽培により増加する費用との関係を明らかにすることを第一の課題とした。分析の結果、農薬削減による費用増加は販売価格の上昇により吸収されていることが明らかとなった。ただし、表3に見るように、贈答用が主となる「直売」以外では平均2,300円強となる1箱の単価に対し、費用増加分を差し引いた後の販売価格の増加は大きいものではない。そのため、費用対効果の観点からは、経済的合理性が一定程度あるといえるが、調査時点での農薬50%削減技術の経済評価、および普及の可能性としては防除費用の削減<sup>\*22</sup>とより有利な販売条件の実現が求められるものであるといえる。

次に、この本稿の分析結果と先行研究の関係を整理したい。先行研究では、慣行栽培と有機栽培の中間にあるものは、有機認証制度が厳格に施行された後には慣行栽培と同じ市場評価に近づくという見解が示されていた。環境保全型農業や特別栽培がこれ

に当たると考えられるが、リンゴの特別栽培に関しては、農薬削減の努力に対する価格の評価があることが確認された。また、先行研究において消費者は農薬の削減率に比例した支払い意思額を持つとする見解があったが、本稿の特別栽培（削減率50%）、一般栽培（特別栽培と慣行栽培の中間）、慣行栽培（削減率0%）の分析結果は、この見解を支持する結果であるといえる。ただし、リンゴは無農薬栽培が困難であること、中位等階級品よりも下位等階級品では特別栽培と一般栽培の価格差が縮小していたことから、先行研究が示した農薬削減率と価格の関係は、取り扱う小売店や購買者、店舗における位置づけ等によって異なる可能性が示唆されているといえよう。サイズ分けが無い最も下位の等級においては、特別栽培が慣行栽培よりも有利な価格とはなっていなかった事も、この可能性を示唆している。また、特別栽培リンゴの価格は希少性と関係している事が推察されることから、市場の農薬削減に対する評価は、作物毎に異なる可能性が指摘できる。先行研究は農産物一般としての考察であるが、本稿はこの作物別の分析の必要性を提起するものである。

## 結 語

本稿は農薬削減の努力に対する市場の評価の実態把握の一環として、特別栽培リンゴの価格と特別栽培により増加する費用との関係を明らかにすることを第一の課題とした。J Aいわて中央の事例調査をもとに、特別栽培による費用増加と販売価格の関係を分析したところ、農薬削減率に応じた価格が形成されていること、農薬削減によって増加した費用を超える価格となっていると考えられることが明らかとなった。そして分析結果をもとに、対立した見解が示されている先行研究の議論を検討することを第二の課題としたが、本稿の分析は先行研究のうち農薬削減率に応じた価格形成がなされるとする説を支持するものであった。また、特別栽培リンゴの価格には希少性が背景となっていると推察されること、農薬削減は作物によってその難易度が大きく異なることから、農薬削減と価格に関する分析は、作物毎の差を意識してなされる必要があることを提起した。また、中位等階級品と下位等階級品における傾向の違いから、農薬削減と価格は購買層や小売店の

\*22 なお、J Aいわて中央および関係機関の防除費用削減の努力の結果、2009年産リンゴでは特別栽培、一般栽培とも県の慣行栽培よりも低い防除関係費用となっている。これに関しては阿部が別稿を準備している。



特徴等によっても規定される可能性も提起できた。

省農薬栽培による青果物は、取り扱う小売店によって評価が変わると考えられる。このとき、小売店には慣行栽培と特別栽培の区別をしないもの、散布農薬に対して独自の基準を持つもの、農薬削減を数値で示すもの等、省農薬栽培に対する取り扱いに大きな違いがある。このような、小売店の取り扱いの制度的条件は価格形成に大きな影響を与えると考えられる。そのため農薬削減の努力に対する市場評価の解明には、この小売店の取り扱いの制度的条件の実態解明が求められるが、本稿では課題の範囲外とせざるを得なかった。残された課題としたい。

### 引用文献

- 1) Carde, R. T. 2007. Using pheromones to disrupt mating of moth pests. (Kogan, M.; Jepson, P. ed., Perspectives in ecological theory and integrated pest management). Cambridge. Cambridge University Press. p.122-169.
- 2) 酒井 理. 2007. 有機農産物の流通概説. (小川孔輔・酒井 理編. 有機農産物の流通とマーケティング). 農山漁村文化協会. p.104-116.
- 3) 長谷川哲哉, 高梨祐明. 2009. 特別栽培リング生産における産地戦略再編 ―いわて中央農協を事例として. 農業市場研究. 18(3): 印刷中.
- 4) 宮崎 猛. 1997. 環境保全型農業と有機農業の日本比較分析. (桜井倬治編. 環境保全型農業論). 農林統計協会. p.184-197.
- 5) 下山 禎. 2008. 農薬削減リングに対する消費者の支払意思額は農薬削減率に準じて増加する. 平成19年度東北農業研究成果情報. 東北農業研究センター. p.279-280. [http://ss.tnaes.affrc.go.jp/DB/Delivery/file/tohoku-seika19\\_36.pdf](http://ss.tnaes.affrc.go.jp/DB/Delivery/file/tohoku-seika19_36.pdf)

## スキャナ式胚乳測色システムによる胚乳のくすみと鉄含量との関係性の検証

石川 吾郎<sup>\*1)</sup>・前島 秀和<sup>\*2)</sup>・中村 和弘<sup>\*1)</sup>・鈴木 雅博<sup>\*1)</sup>  
伊藤 裕之<sup>\*1)</sup>・平 将人<sup>\*1)</sup>・谷口 義則<sup>\*1)</sup>・中村 俊樹<sup>\*1)</sup>

**抄 録**：国内産小麦の小麦粉は概して暗いくすんだ色相をしており、この原因究明が求められている。最近、製粉による二次的な影響を受けずに種子内部（胚乳部）の色相を効率的に評価できる「スキャナ式胚乳測色システム」が開発された。そこで、小麦粉での報告があるくすみとタンパク質含量および鉄含量との関係を胚乳色において調査した。その結果、胚乳の明るさ（L\*）値は、タンパク質含量および鉄含量が低いほど高くなる傾向がみられた。しかし、同等なタンパク質含量を示す材料でみた場合には、胚乳L\*と鉄含量に相関は認められなかった。このことから、鉄は胚乳のくすみを引き起こす主要因ではないと考えられた。つまり、これまでに報告されている小麦粉のくすみと鉄含量との関係は、ふすまの切れ込み、あるいは鉄含量とタンパク質含量との正相関によって間接的にみられたものである可能性が示唆された。

**キーワード**：小麦粉、胚乳、明度、L\*、鉄含量、タンパク質含量

**Determining Whether a Relationship Exists between Iron Content and Darkness of Wheat Endosperm Using a New Colorimetry System** : Goro ISHIKAWA<sup>\*1)</sup>, Hidekazu MAEJIMA<sup>\*2)</sup>, Kazuhiro NAKAMURA<sup>\*1)</sup>, Masahiro SUZUKI<sup>\*1)</sup>, Hiroyuki ITO<sup>\*1)</sup>, Masato TAIRA<sup>\*1)</sup>, Yoshinori TANIGUCHI<sup>\*1)</sup>, and Toshiki NAKAMURA<sup>\*1)</sup>

**Abstract** : Domestic wheat flour is generally darker than imported flours, and wheat researchers would like to elucidate the cause of darkness in wheat. A high-throughput endosperm colorimetry system has been established to evaluate flour color without an effect of milling fraction. Using the system, we investigated whether the endosperm brightness (L\* value) was associated with the protein and iron contents. We found that as the endosperm L\* value rose, the protein and iron contents declined. However, among samples with similar protein contents, there was no correlation between endosperm L\* value and iron content. Therefore, we conclude that iron content is not a main cause of endosperm darkness. It is possible that the reported relationship between flour darkness and its iron content is caused by bran included in the flour and/or by a positive correlation of protein and iron content.

**Key Words** : wheat flour, endosperm, brightness, L\*, iron content, protein content

### I 緒 言

国内産小麦の小麦粉は概して暗いくすんだ色相をしており、これまで実需者の間での評価は決して高くなかった。そのため、我が国の小麦育種事業では、小麦粉の色相（粉色）を改善することに多くの努力が払われ、最近、日本めん用の輸入小麦銘柄ASW（Australian Standard White）に匹敵する色相をも

つコムギ品種「きたほなみ」が北海道立北見農業試験場において開発された（柳沢ら 2007）。これを受けて、全国の小麦育種機関では「きたほなみ」がもつ良粉色形質を各地の適応品種に導入する試みが始まっている。

このような育種的成功にも関わらず、粉色を低下させる要因、特にくすみの原因物質については未だ明確な結論は得られていない。その理由として、粉

\* 1) 東北農業研究センター (National Agriculture Research Center For Tohoku Region, Morioka, Iwate 020-0198, JAPAN)

\* 2) 現・長野県農業試験場 (Nagano Agricultural Experiment Station, Suzaka, Nagano 382-0051, JAPAN)

平成21年7月22日受付、平成21年12月17日受理

色は播種時期や収穫期の気象など環境による影響を受けやすいこと(松崎・豊田 1997、佐藤ら 2003a、2003b、内村ら 2004)、製粉工程が必要であるためふすまの切れ込みなど二次的要因の影響が不可避であること(Shuey 1975、Olivarら 1992)などからくすみを実験的に制御することが難しい点が挙げられる。しかしながら、粉色の劣化を引き起こす要因を解明することは、その回避技術の開発に繋がるばかりでなく、色相という間接的な方法ではなく原因物質を指標とした高精度な遺伝解析を可能にする。ごく最近、粉色を指標とした遺伝解析により多数の量的形質遺伝子座(QTLs)が検出された(Zhangら 2009a、Zhangら 2009b)。くすみの原因物質を特定しこれを指標とすることによって、これら多数のQTLsから育種選抜の対象とするべき遺伝子座を絞り込める可能性がある。

これまでに、粉色の品種間差異あるいは各種形質との関連性について多くの研究が行われてきた(Petersonら 1986、小綿ら 1996、木谷ら 2002、伊藤ら 2002、堀田・本多 2005、辻ら 2006)。その中で最も多く報告されているものとして、小麦粉のくすみとタンパク質含量との関係がある(Petersonら 1986、小綿ら 1996、辻ら 2006)。つまり、小麦粉のタンパク質含量が高いものほど測色色差計のL\*で表される明るさが劣るという傾向が認められる。また、Petersonら(1986)および木谷ら(2002)は、粉色とミネラル含量との関係を調査し、鉄の含有量とL\*との間には負の相関がみられることから、粉色には鉄が関連していると報告している。これらの事実から、粉色の劣化はある種のタンパク質に結合した鉄が原因ではないかと考えられている。

しかしながら、小麦粉を用いた色相評価には大きな問題が存在する。つまり、小麦粉では微生物の繁殖や夾雑物、製粉時のふすまの切れ込みの影響を回避出来ないため、種子本来の色相、つまり胚乳部の色相(胚乳色)を正確に評価出来ないことである。そのため、Barnes(1986)は、種子を切開し、胚乳部のみを取り出して粉碎した粉の色を測定し、胚乳色にも品種間差異が存在することを初めて示した。胚乳色による評価は、製粉による二次的影響を避けられるという点で優れていたが、測定に大きな労力を要するためこれまで育種選抜で利用されることはなかった。

近年、胚乳色測定に掛かる労力を減らす目的で、種子切断面の胚乳部を直接測定する手法が開発された。すなわち、輪切りにして皮を剥いた種子を微小面測色計で測定する方法(小綿ら 1999)や多検体の種子切断面の二次元画像を解析する方法(二次元測色法)(Horiganeら 2003)である。これらによって、先に述べた製粉による二次的要因を避けられるという利点に少量の種子で胚乳色を評価できるという利点加わり、特に育種の初期世代での選抜に有効な手段となり得る可能性が示唆された。その後、前島ら(2007)は二次元測色法および解析ソフトウェアを改良することによって効率的な多検体測定法である「スキャナ式胚乳測色システム」を確立した。この方法による胚乳色の測定値は、粉色と一定の相関がみられることから、その簡易評価法として育種選抜に利用され始めている。この改良によって初めて胚乳色と他の形質との関係について大規模に調査する事ができるようになったことから、本研究では、これまで粉色で見出されていくすみとタンパク質含量あるいは鉄含量との関係が、製粉による二次的影響を受けない胚乳色においても認められるかどうかについて検証したので報告する。

本研究の遂行にあたり、当所業務科職員および契約職員には供試材料の栽培管理および調整に関して協力を頂いた。特に、契約職員の中山貴司氏には大変な労力を要する小麦胚乳の調整にご尽力頂いた。これらの方々に感謝の意を表す。また、本研究は農研機構交付金プロジェクト研究「新たな需要動向に対応するための製パン性や色相に優れた小麦系統および赤かび病抵抗性系統の開発(新需要麦)」の助成のもとで行われた。本プロジェクトの関係者の方々には、推進会議などを通じてご指導・ご鞭撻を賜った。この場を借りて深く感謝申し上げたい。

## II 材料および方法

### 供試材料

東北農業研究センターでの生産力検定試験およびその予備試験で得られた2007年産の202点および2008年産の201点のコムギ種子を供試した。これらのサンプルには同じ品種系統による複数試験区由来のものが含まれているため、品種系統数でみると2007年産は57、2008年産は92品種・系統からなっていた。小麦の粒は、その粉の粒度分布によって硬質、軟質および中間質に明瞭に分けられる。供試サンプ

ルを粒の硬軟別にみると、硬質は224点（64品種・系統）、中間質は23点（8品種・系統）、軟質は156点（51品種・系統）であった。栽培方法は、両年とも条播区では畦幅70cmの播幅15cm、ドリル播区では区幅156cmの条間20cmの6条ドリル播（区間56cm）であり、苦土石灰を80kg/10a、基肥を10a当りN：P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：K<sub>2</sub>Oが4：13.5：10kg施した。なお、土壌は黒ボク土であった。病害虫防除は東北農業研究センターの慣行法に従った。サンプルは収穫後、本研究に用いるまで4℃に設定した低温庫で保管した。

### タンパク質含量および鉄含量の測定

原粒タンパク質含量は、近赤外分析機（FOSS、Infratec 1255、検量線HS270310）を用いて1反復あたり5回測定し、水分含量13.5%に換算した値を用いた。胚乳部は、各サンプルから任意に選んだ50粒を供試し、セラミック刃を用いて皮部および糊粉層を剥いた後、粒溝に沿って縦に割り、最後に溝に残っていた皮部および糊粉層を取り除いて調整した。このとき、胚乳部は原粒重量のおよそ半分になっていた。胚乳部のタンパク質含量は、窒素分析装置（Perkin Elmer、Series II Nitrogen Analyzer、窒素タンパク換算係数5.7）を用いた燃焼法によって測定し、水分含量13.5%に換算した。鉄含量は、500mgの胚乳部から硝酸による湿式分解法によって抽出した鉄を、ICP-MS（エスアイアイ・ナノテクノロジー製、SPQ-9500）を用いて定量した。すべての測定は2反復行い、平均値をサンプルの値とした。

### 胚乳色の測定

胚乳の色相は、「スキャナ式胚乳測色システム」（前島ら 2007）により測定した。すなわち、各サンプル20粒を専用フォルダーに接着した後、鏡面切断装置（千穂田精衡、CGC-350）を用いて種子の中央部付近から切断した。切断面の画像を専用スキャナ（千穂田精衡、CSS-60F）によって取り込み200bpiのビットマップ画像として保存した。ろ紙（ADVANTEC、Filter paper No.2）1枚を敷いたシャーレ（栄研器材、2号角シャーレ）に蒸留水15mlを加えて、シャーレ当り15フォルダーを切断面が下になるように置き、20℃のインキュベーター内に静置して吸水させた。吸水開始後4時間目（以

降、4時間処理）および6時間処理時に切断面の余分な水分をろ紙（ADVANTEC、Filter paper No.2）で取り除いた後、前述と同じ方法で断面の画像を取り込んだ。保存した画像は、解析ソフトウェア「ピクセル解析9.0」（千穂田精衡）を用いて明るさ（L\*）値によって胚乳部のみを抽出し、抽出された領域のピクセルデータを単純平均して各サンプルのL\*、赤み（a\*）および黄色み（b\*）値とした。測定は2反復行い、平均値をそのサンプルの値とした。また、「盛系D-B006」および「厨系B-B143」の1反復目の6時間処理の画像について、「ピクセル解析9.0」の機能を使って1粒当りおよそ900ピクセル分のL\*値（ピクセルデータ）を取得した。ピクセルデータは、「MS Excel 2007」（マイクロソフト）を用いて加工した。すなわち、種子断面のL\*値による色分け、ヒストグラム作成、L\*が65以上の全ピクセル数に対する各値のピクセル数の割合（ピクセル頻度）、2系統のピクセル頻度の差を算出した。

### 硝子率の測定

硝子率は、サンプルあたり40粒（20粒×2反復）を供試して測定した。胚乳色を測定するために切断した種子の断面を観察して、粉状質の割合が断面全体の70%以上のものを粉状粒、30~70%のものを中間粒、30%未満のものを硝子粒として分類を行い、各区分の粒数から次の計算式で算出した。

$$\text{硝子率}(\%) = (\text{中間粒数} \times 0.5 + \text{硝子粒数}) / 40 \times 100$$

## III 結 果

### 原粒タンパク質含量による系統の抽出

収穫年次および粒の硬軟別の原粒タンパク質含量の分布を図1に示す。2008年産は2007年産に比べてタンパク質含量が高く、また変異幅がやや小さい傾向がみられた。また、粒の硬軟別の最頻値は硬質が13.4%、中間質が12.4%、軟質が12.4%であった。タンパク質含量が同等のサンプルをできるだけ多く供試して胚乳色と鉄含量との関係を調査するため、原粒タンパク質含量の最頻値付近から硬質および軟質それぞれについて60サンプルを選んだ（表1、タンパク区分「中」）。さらに、タンパク質含量の影響をみるため、原粒タンパク質含量の最大値および最小値付近からも硬質と軟質それぞれ15サンプルずつ選んだ（表1、タンパク区分「高」および「低」）。最終的に、タンパク区分「中」から120、「低」および



「高」の区分からそれぞれ30サンプル、合計180サンプルを選び出して胚乳色を測定した。

**吸水による種子断面L\*の変化および閾値の設定**

胚乳色測定時の種子断面画像および画像内に示した走査線上でのL\*の変化を図2に示した。軟質品種である「ネバリゴシ」は吸水とともにL\*値は減少したが、吸水4時間処理から6時間処理にかけて

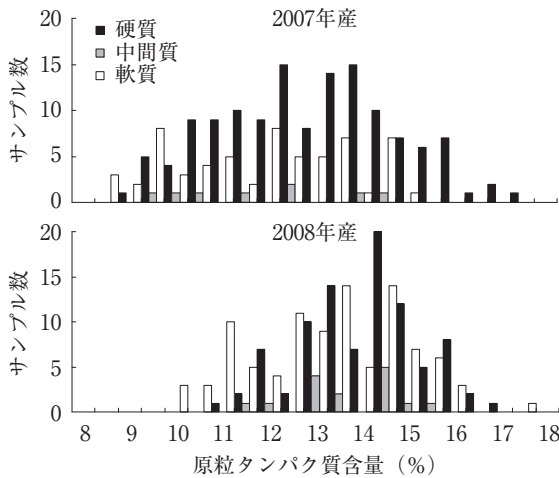


図1 収穫年次および粒の硬軟別の原粒タンパク質含量の分布  
値は近赤外分析機による測定で水分含量13.5%換算値。

値はほぼ一定であった。一方、硬質品種である「ゆきちから」では、吸水とともにL\*値は急激に増加し、4時間処理に比べて6時間処理が全体的にやや高い値を示した。吸水後の画像では、走査線上の粒と背景の境界付近ではL\*が50から70程度まで急激に変化していることから、閾値をこの間に設定することによって胚乳部分を抽出できると考えられた。そこで、閾値を50から70まで5ずつ段階的に変化させて選択領域に種皮あるいは糊粉層が含まれるかどうかを調査したところ、閾値を65に設定した場合に最も良く胚乳部分が抽出できていた(データ未提示)。したがって、以降のデータは閾値を65に設定して得られた値を用いることとした。

**胚乳色とタンパク質含量との関係**

粒の硬軟、収穫年次およびタンパク区分別にみた胚乳色を図3に示す。なお、吸水4時間と6時間処理で同じ解析をしたところ結果が一致していたことから、これ以降は6時間処理のデータのみを示す。胚乳L\*は、硬質、軟質ともにタンパク区分「高」、「中」、「低」の順に高くなる傾向がみられた。収穫年次別に見た場合でも、サンプル数が1の2007年「高」と2008年「低」を除けば、タンパク区分「高」、「中」、「低」の順に有意に高くなっていった。a\*については、L\*とは逆にタンパク区分「高」、「中」、

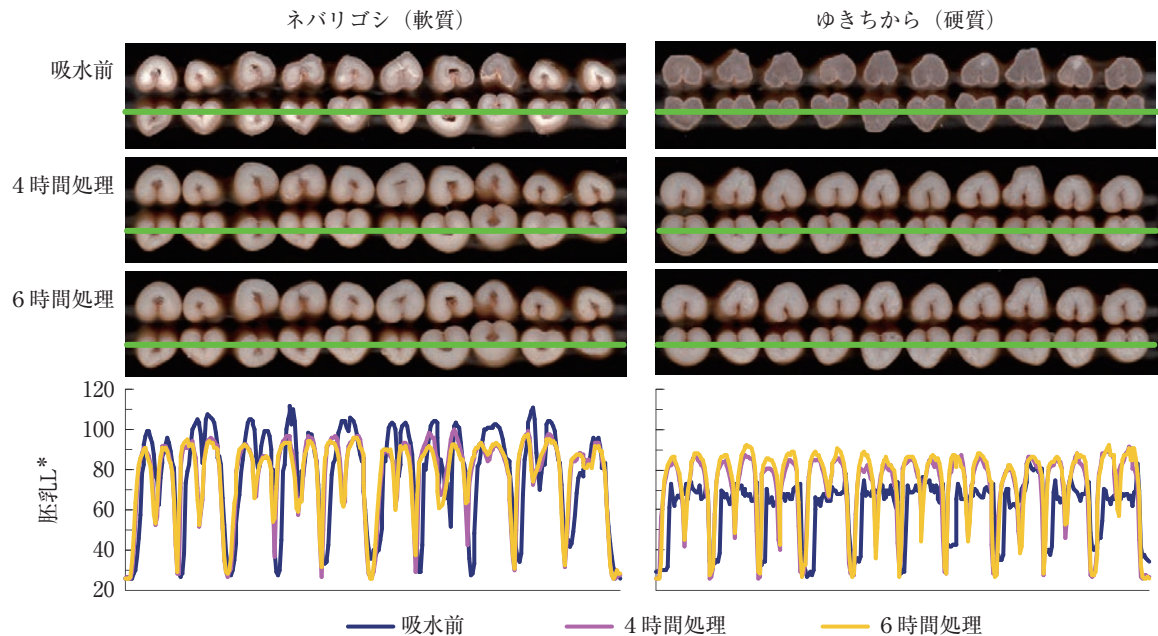


図2 胚乳色測定時の「ネバリゴシ」および「ゆきちから」の種子断面画像(上)および画像中の緑色で示した走査線上におけるL\*の変化(下)

「低」の順に低くなる傾向がみられたが、この傾向は軟質に比べて硬質の方が明瞭であった。b\*については、タンパク区分「高」、「中」、「低」の順に高くなる傾向が認められたが、a\*と同様に軟質に比べて硬質の方が明瞭であった。サンプル数の少ない群を除いた場合、これらの傾向は収穫年次間で一致していた。

次に、タンパク質含量が同等なサンプル間にも胚乳色に有意な差異が見られるかどうかを調べるため、タンパク区分「中」のサンプルについて胚乳色

に関する分散分析を行った。その結果、収穫年次および粒の硬軟に関わらずサンプル間に有意な差異が認められた（表2）。また、タンパク区分「低」および「高」について分散分析を行った場合でも胚乳色に有意な差異が見られた（データ未提示）。

**胚乳L\*と硝子率**

硝子率が胚乳L\*に与える影響を調査するため、粒の硬軟およびタンパク区分別に両者の関係を示した（図4）。硬質のサンプルでは、全てのタンパク

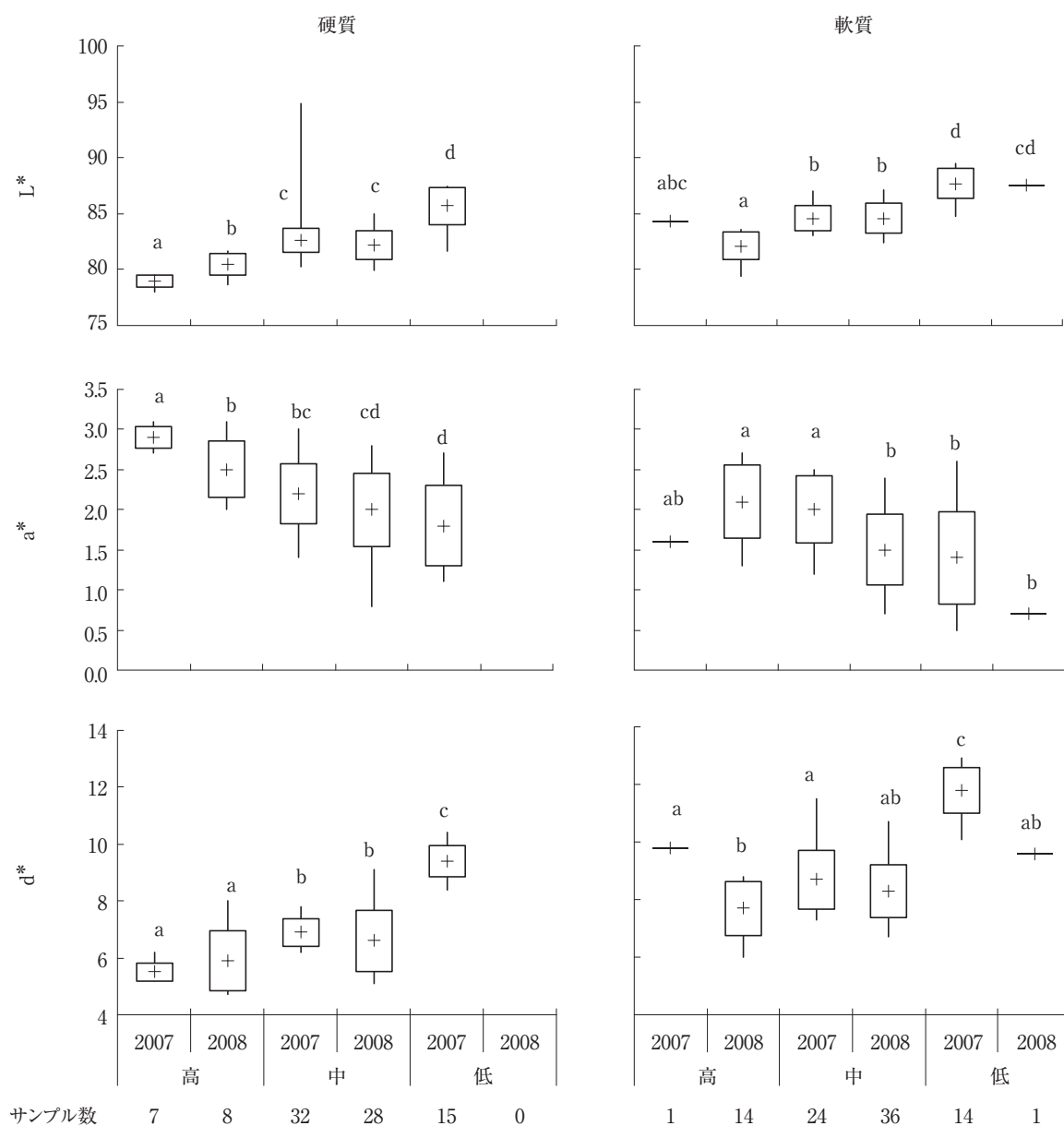


図3 粒の硬軟、タンパク質含量区分および収穫年次別の胚乳色

+は平均値、ボックスは標準偏差、棒は最大値と最小値を示す。各グラフ内で異なる記号は5%水準で群間に有意差があることを示す（Fisher's PLSD法）。

表1-1 供試サンプル一覧およびそれらの原粒タンパク質含量、胚乳色、硝子率および胚乳成分

番号	粒の 硬軟	品種 系統名	収穫 年次	試験区	原粒 タンパク質(%) <sup>1</sup>	タンパク質 区分	胚乳色 <sup>2</sup>			硝子率	胚乳成分	
							L*	a*	b*		鉄(μg/g)	タンパク質(%) <sup>1</sup>
1	硬質	盛系D-B006	2007	556	9.0	低	86.5	2.2	10.4	41.3		
2	硬質	ゆきちから	2007	高度化25	9.2	低	86.1	1.7	9.8	45.0		
3	硬質	ゆきちから	2007	高度化4	9.4	低	86.8	1.6	9.5	46.3		
4	硬質	ゆきちから枯熟	2007	開下5	9.4	低	86.0	1.6	8.9	58.8		
5	硬質	はつもち	2007	529	9.5	低	81.6	2.6	9.6	47.5		
6	硬質	ゆきちから	2007	高度化13	9.5	低	87.5	1.3	10.0	46.3	2.3	7.8
7	硬質	ゆきちから	2007	高度化9	9.6	低	86.6	1.4	9.1	53.8		
8	硬質	アオバコムギ	2007	533	9.7	低	83.6	2.4	9.1	55.0		
9	硬質	ゆきちから対象	2007	開下4	10.0	低	85.5	1.8	8.4	57.5		
10	硬質	アオバコムギ	2007	571	10.0	低	83.5	2.7	9.2	58.8		
11	硬質	ゆきちから遮光	2007	開下2	10.1	低	87.5	1.1	9.2	53.8		
12	硬質	ゆきちから	2007	高度化16	10.2	低	86.2	1.5	8.8	55.0		
13	硬質	盛系D-B006	2007	512	10.2	低	85.4	2.2	9.7	45.0		
14	硬質	盛系d-B002	2007	548	10.2	低	86.0	1.4	10.0	53.8	3.3	8.2
15	硬質	ゆきちから	2007	高度化1	10.2	低	87.1	1.4	9.6	58.8		
16	硬質	厨系A-B199	2008	553	12.8	中	83.4	1.8	9.1	67.5		
17	硬質	アオバコムギ	2007	419	12.9	中	80.5	2.9	7.5	65.0		
18	硬質	厨系A-B796	2007	544	12.9	中	84.9	1.4	7.1	52.5		
19	硬質	東北223号	2008	520	12.9	中	81.8	2.7	6.5	73.8		
20	硬質	盛系D-B006	2007	411	13.0	中	80.9	2.8	6.5	51.3	3.1	10.2
21	硬質	厨系a-B578	2008	528	13.0	中	83.0	1.8	5.7	83.8	2.9	8.2
22	硬質	厨系B-B143	2007	29	13.1	中	83.3	1.8	6.9	52.5		
23	硬質	コユキコムギ	2007	408	13.1	中	80.8	2.8	6.6	66.3	2.2	10.6
24	硬質	コユキコムギ	2008	422	13.1	中	82.7	2.1	6.1	73.8		
25	硬質	厨系B-B143	2008	546	13.1	中	83.0	1.7	6.4	83.8		
26	硬質	厨系a-B595	2007	16	13.2	中	83.8	1.5	7.5	53.8	3.2	10.8
27	硬質	ゆきちから雨避け	2007	開条1	13.2	中	83.1	1.9	6.3	72.5	3.4	10.3
28	硬質	厨系C-B173	2008	96	13.2	中	85.0	0.8	8.9	55.0	5.3	10.8
29	硬質	厨系B-B143	2008	531	13.2	中	83.7	1.6	6.9	81.3	3.3	10.2
30	硬質	厨系a-B575	2007	3	13.3	中	83.2	2.2	7.2	53.8		
31	硬質	厨系a-B581	2007	7	13.3	中	82.9	2.2	7.0	58.8		
32	硬質	ゆきちから雨避け	2007	開条9	13.3	中	83.2	2.0	6.6	85.0		
33	硬質	東北218号	2007	443	13.3	中	81.7	2.5	6.5	56.3	2.2	10.2
34	硬質	厨系B-B989	2008	77	13.3	中	83.2	1.3	7.7	91.3		
35	硬質	盛系D-B010	2008	550	13.3	中	80.9	2.7	5.7	83.8	2.5	9.8
36	硬質	ゆきちから(本)	2007	12	13.4	中	82.7	2.1	6.8	65.0		
37	硬質	厨系a-B589	2007	13	13.4	中	82.7	2.3	7.8	50.0		
38	硬質	厨系C-B003	2008	78	13.4	中	81.3	2.4	5.7	65.0		
39	硬質	厨系B-B176	2008	212	13.4	中	79.9	2.8	6.1	58.8	3.8	9.9
40	硬質	ゆきちから(本)	2008	439	13.4	中	83.0	1.8	6.0	83.8		
41	硬質	ハルイブキ(本)	2008	518	13.4	中	84.2	1.6	7.9	58.8		
42	硬質	東北223号	2008	560	13.4	中	81.8	2.6	6.1	75.0		
43	硬質	盛系C-B3736b	2008	563	13.4	中	81.2	2.1	6.6	81.3		
44	硬質	ゆきちから(本)	2007	202	13.5	中	83.6	2.0	6.9	88.8		
45	硬質	厨系B-B115	2007	23	13.5	中	84.2	2.0	6.9	51.3		
46	硬質	厨系B-B132	2007	25	13.5	中	84.0	2.1	7.6	52.5		
47	硬質	コユキコムギ	2008	434	13.5	中	82.5	2.3	6.2	68.8		
48	硬質	盛系C-B3736a	2008	521	13.5	中	81.3	2.3	7.1	68.8		
49	硬質	厨系a-B587	2007	8	13.6	中	83.0	2.0	7.1	57.5		
50	硬質	コユキコムギ	2007	455	13.6	中	80.3	3.0	6.3	67.5		
51	硬質	盛系D-B003	2007	406	13.6	中	82.2	2.2	6.3	57.5		
52	硬質	盛系D-B003	2007	436	13.6	中	82.5	2.0	6.3	63.8		
53	硬質	盛系D-B006	2008	425	13.6	中	81.3	2.3	5.7	68.8		
54	硬質	盛系D-B010	2008	525	13.6	中	80.2	2.5	5.1	85.0		
55	硬質	ハルイブキ(本)	2008	536	13.6	中	84.2	1.7	8.2	55.0		
56	硬質	盛系C-B3736a	2008	562	13.6	中	81.4	2.1	6.8	80.0		
57	硬質	厨系A-B796	2007	506	13.7	中	83.3	1.6	6.5	57.5		
58	硬質	厨系B-B233	2007	42	13.7	中	83.2	1.9	7.6	51.3		
59	硬質	ゆきちから(本)	2007	225	13.7	中	82.6	2.1	6.5	82.5		
60	硬質	ゆきちから対象	2007	開条7	13.7	中	83.1	2.1	7.0	71.3		

<sup>1</sup>水分13.5%換算した値。<sup>2</sup>吸水6時間処理の値。

表1-2 供試サンプル一覧およびそれらの原粒タンパク質含量、胚乳色、硝子率および胚乳成分

番号	粒の 硬軟	品種 系統名	収穫 年次	試験区	原粒 タンパク質(%) <sup>1</sup>	タンパク質 区分	胚乳色 <sup>2</sup>			硝子率	胚乳成分	
							L*	a*	b*		鉄(μg/g)	タンパク質(%) <sup>1</sup>
61	硬質	盛系D-B008	2008	548	13.7	中	82.8	2.3	7.8	65.0		
62	硬質	ゆきちから(本)	2007	424	13.8	中	82.5	2.2	6.4	56.3		
63	硬質	ゆきちから(本)	2007	57	13.9	中	83.1	2.1	6.4	60.0		
64	硬質	厨系A-B766	2007	232	13.9	中	81.8	2.4	7.5	51.3		
65	硬質	厨系B-B176	2008	237	13.9	中	80.0	2.2	6.5	62.5		
66	硬質	厨系a-B578	2008	552	13.9	中	82.8	1.9	5.8	81.3		
67	硬質	厨系a-B590	2007	14	14.0	中	82.4	2.4	6.4	56.3		
68	硬質	厨系A-B764	2007	205	14.0	中	82.1	2.6	7.4	52.5		
69	硬質	ゆきちから(本)	2007	449	14.0	中	82.3	2.1	6.4	82.5		
70	硬質	厨系a-B594	2007	15	14.0	中	82.4	2.3	6.2	50.0		
71	硬質	ゆきちから(本)	2008	54	14.1	中	82.3	1.8	5.5	81.3		
72	硬質	厨系B-B141	2008	208	14.1	中	82.1	1.7	5.3	77.5		
73	硬質	厨系B-B141	2008	233	14.1	中	82.5	1.7	5.6	68.8		
74	硬質	盛系C-B3736b	2008	522	14.1	中	81.3	2.2	6.5	68.8		
75	硬質	厨系A-B766	2007	206	14.2	中	82.4	2.1	7.5	53.8		
76	硬質	東北223号	2007	追肥8	15.7	高	79.4	2.9	5.6	58.8		
77	硬質	厨系a-B589	2008	216	15.7	高	80.7	2.6	5.4	86.3		
78	硬質	ハルイブキ(本)	2008	423	15.7	高	80.9	2.2	6.5	71.3	5.9	11.8
79	硬質	盛系C-B3736	2007	450	15.8	高	79.3	2.7	6.2	55.0		
80	硬質	盛系D-B010	2008	448	15.8	高	78.7	2.6	4.8	92.5		
81	硬質	東北223号	2007	追肥1	15.9	高	79.4	2.8	5.5	68.8		
82	硬質	厨系B-B883	2008	66	15.9	高	79.9	2.5	5.8	56.3		
83	硬質	厨系B-B899	2008	70	15.9	高	80.1	2.5	4.7	57.5		
84	硬質	東北223号	2007	追肥3	16.4	高	78.7	3.0	5.5	62.5		
85	硬質	厨系B-B591	2008	74	16.4	高	81.5	2.1	5.8	58.8		
86	硬質	厨系C-B075	2008	84	16.4	高	81.6	2.0	6.5	56.3		
87	硬質	東北223号	2007	追肥6	16.6	高	79.3	2.8	5.4	58.8		
88	硬質	厨系B-B568	2008	25	16.7	高	80.8	3.1	8.0	53.8		
89	硬質	東北223号	2007	追肥2	16.9	高	78.0	3.0	5.3	72.5		
90	硬質	東北223号	2007	追肥5	17.3	高	78.6	3.1	5.2	60.0	4.0	13.2
91	軟質	キタカミコムギ	2007	523	8.4	低	88.5	1.1	12.5	15.0	2.7	6.8
92	軟質	キタカミコムギ	2007	546	8.4	低	88.7	1.0	12.5	7.5		
93	軟質	盛系C-B4038	2007	553	8.4	低	88.8	1.2	11.4	23.8		
94	軟質	盛系C-B4040	2007	560	8.7	低	88.6	1.2	11.4	23.8		
95	軟質	盛系C-B4040	2007	551	8.7	低	89.5	1.2	12.6	17.5	2.3	8.2
96	軟質	しゅんよう	2007	577	9.1	低	87.8	1.1	11.7	30.0		
97	軟質	盛系C-B4015	2007	524	9.2	低	87.0	1.1	12.9	15.0		
98	軟質	ネバリゴシ(本)	2007	572	9.2	低	85.4	2.6	11.8	45.0		
99	軟質	キタカミコムギ	2007	区外	9.2	低	88.6	1.1	12.0	31.3		
100	軟質	ネバリゴシ(本)	2007	504	9.3	低	84.8	2.5	11.7	45.0		
101	軟質	東北222号	2007	561	9.3	低	86.5	1.7	10.1	46.3		
102	軟質	しゅんよう	2007	576	9.3	低	87.9	1.4	12.2	26.3		
103	軟質	盛系C-B4038	2007	503	9.4	低	88.4	0.5	10.7	40.0		
104	軟質	盛系D-B004	2007	501	9.8	低	87.4	1.8	11.2	13.8		
105	軟質	盛系C-B3552	2008	545	9.8	低	87.6	0.7	9.6	38.8		
106	軟質	盛系C-B4040	2007	402	11.8	中	87.0	1.3	9.7	41.3		
107	軟質	ネバリゴシ(本)	2007	420	11.8	中	84.3	2.2	8.7	47.5		
108	軟質	ネバリゴシ(本)	2007	56	11.9	中	84.0	2.3	9.3	50.0		
109	軟質	キタカミコムギ	2007	236	11.9	中	85.4	1.8	9.3	38.8		
110	軟質	ネバリゴシ(本)	2007	446	11.9	中	83.3	2.4	8.4	47.5		
111	軟質	キタカミコムギ	2007	456	11.9	中	84.8	2.0	9.5	42.5		
112	軟質	東北224号	2008	438	11.9	中	86.9	0.9	9.4	46.3		
113	軟質	ナンブコムギ	2008	529	11.9	中	85.5	1.7	10.7	46.3		
114	軟質	ネバリゴシ(本)	2007	207	12.0	中	84.2	1.9	8.6	43.8		
115	軟質	厨系B-B102	2007	19	12.1	中	86.4	1.3	10.6	41.3		
116	軟質	ネバリゴシ(本)	2008	213	12.2	中	82.9	2.3	7.8	48.8		
117	軟質	キタカミコムギ	2008	401	12.2	中	86.0	1.1	8.9	43.8		
118	軟質	盛系C-B3552	2008	420	12.2	中	86.3	0.7	8.4	46.3		
119	軟質	盛系C-B4015	2007	429	12.3	中	84.8	1.5	8.7	45.0		
120	軟質	キタカミコムギ	2008	229	12.3	中	86.4	1.2	9.4	40.0		

<sup>1</sup>水分13.5%換算した値。<sup>2</sup>吸水6時間処理の値。



表1-3 供試サンプル一覧およびそれらの原粒タンパク質含量、胚乳色、硝子率および胚乳成分

番号	粒の 硬軟	品種 系統名	収穫 年次	試験区	原粒 タンパク質(%) <sup>1</sup>	タンパク質 区分	胚乳色 <sup>2</sup>			硝子率	胚乳成分	
							L*	a*	b*		鉄(μg/g)	タンパク質(%) <sup>1</sup>
121	軟質	キタカミコムギ	2007	10	12.4	中	86.5	1.2	9.6	32.5		
122	軟質	東北220号	2007	427	12.4	中	83.0	2.3	7.3	48.8		
123	軟質	厨系b-B503	2008	17	12.4	中	84.9	1.3	8.3	50.0		
124	軟質	ネバリゴシ(本)	2008	53	12.4	中	83.3	1.8	7.8	50.0		
125	軟質	厨系b-B055	2008	220	12.4	中	84.9	1.5	9.5	46.3		
126	軟質	ネバリゴシ(本)	2008	240	12.4	中	82.7	2.4	8.4	50.0		
127	軟質	東北220号	2008	509	12.4	中	85.5	1.5	7.5	50.0		
128	軟質	ネバリゴシ(本)	2007	243	12.5	中	84.1	2.2	9.2	50.0		
129	軟質	キタカミコムギ	2008	52	12.5	中	85.1	1.3	8.0	48.8		
130	軟質	厨系b-B055	2008	223	12.5	中	84.2	1.6	9.7	50.0		
131	軟質	キタカミコムギ	2007	407	12.6	中	84.0	2.3	8.7	42.5		
132	軟質	盛系C-B3552	2008	426	12.6	中	85.5	1.0	8.0	51.3		
133	軟質	キタカミコムギ	2008	432	12.6	中	85.0	1.4	8.1	47.5		
134	軟質	盛系C-B4015	2008	433	12.6	中	87.1	0.7	9.4	45.0		
135	軟質	盛系C-B4015	2007	413	12.7	中	85.7	1.4	8.6	41.3		
136	軟質	盛系D-B005a	2007	433	12.7	中	83.7	1.8	8.2	50.0		
137	軟質	キタカミコムギ	2007	211	12.7	中	84.0	2.1	8.7	41.3		
138	軟質	キタカミコムギ	2008	201	12.7	中	85.0	1.6	9.0	48.8		
139	軟質	盛系C-B4015	2008	406	12.7	中	86.4	0.7	8.5	45.0		
140	軟質	ネバリゴシ(本)	2008	445	12.8	中	82.6	2.1	7.7	51.3		
141	軟質	盛系D-B004	2008	416	12.8	中	86.2	1.3	7.9	52.5		
142	軟質	厨系B-B175	2007	32	12.9	中	84.0	1.8	7.4	53.8	2.8	11.1
143	軟質	ネバリゴシ(本)	2008	412	12.9	中	82.9	2.1	7.7	51.3		
144	軟質	ナンブコムギ	2008	559	12.9	中	85.0	1.7	10.3	47.5		
145	軟質	ナンブコムギ	2007	9	13.1	中	86.0	1.4	11.5	41.3	2.2	11.4
146	軟質	ネバリゴシ(本)	2008	3	13.1	中	83.5	1.9	8.3	51.3	3.7	10.7
147	軟質	厨系B-B791	2008	48	13.1	中	83.0	1.8	7.5	50.0	3.1	10.4
148	軟質	盛系D-B005a	2008	402	13.1	中	84.4	1.7	7.8	47.5		
149	軟質	盛系D-B004	2008	443	13.1	中	82.4	2.4	6.7	51.3		
150	軟質	キタカミコムギ	2007	55	13.2	中	84.0	2.4	8.6	48.8	2.8	10.3
151	軟質	盛系C-B4033	2007	432	13.2	中	84.0	2.5	7.8	46.3	4.7	11.3
152	軟質	キタカミコムギ	2008	2	13.2	中	85.0	1.1	7.9	48.8		
153	軟質	厨系B-B797	2008	49	13.2	中	83.3	1.5	7.4	48.8		
154	軟質	盛系D-B005a	2008	428	13.2	中	85.1	1.2	7.5	50.0	5.0	10.4
155	軟質	盛系D-B004	2007	439	13.3	中	85.4	2.2	7.9	46.3	2.6	10.8
156	軟質	盛系C-B4033	2007	412	13.3	中	83.6	2.5	7.4	50.0		
157	軟質	厨系B-B728	2008	41	13.3	中	82.6	1.8	7.5	51.3	3.0	10.3
158	軟質	盛系D-B004	2007	416	13.4	中	84.3	2.4	7.8	50.0		
159	軟質	厨系B-B302	2007	49	13.4	中	83.5	1.8	7.7	47.5		
160	軟質	厨系b-B486	2008	14	13.4	中	84.2	1.4	8.4	48.8		
161	軟質	厨系a-B536	2008	232	13.4	中	84.3	1.5	7.7	52.5	3.5	10.5
162	軟質	厨系C-B123	2008	88	13.5	中	84.0	1.5	8.0	46.3		
163	軟質	厨系C-B133	2008	91	13.5	中	85.0	1.2	6.7	48.8		
164	軟質	厨系a-B535	2008	202	13.5	中	83.8	1.5	8.3	50.0		
165	軟質	東北224号	2008	411	13.5	中	85.4	1.2	8.4	47.5		
166	軟質	厨系B-B802	2008	50	14.8	高	83.6	1.3	6.7	50.0		
167	軟質	ナンブコムギ	2008	444	14.8	高	83.1	2.0	8.7	51.3		
168	軟質	ナンブコムギ	2007	54	14.9	高	84.3	1.6	9.8	50.0		
169	軟質	厨系b-B470	2008	12	14.9	高	80.7	2.5	7.3	51.3		
170	軟質	厨系C-B176	2008	97	15.0	高	79.4	2.7	8.4	50.0	4.7	12.1
171	軟質	東北220号	2008	435	15.2	高	83.6	1.8	6.7	50.0		
172	軟質	厨系a-B536	2008	203	15.3	高	82.6	1.9	7.2	50.0		
173	軟質	ナンブコムギ	2008	219	15.3	高	81.0	2.5	8.3	51.3	3.4	12.3
174	軟質	厨系a-B554	2008	227	15.3	高	82.1	1.9	6.7	50.0		
175	軟質	ナンブコムギ	2008	1	15.5	高	81.9	2.2	8.5	50.0		
176	軟質	ナンブコムギ	2008	51	15.5	高	81.6	2.3	8.6	50.0		
177	軟質	ナンブコムギ	2008	410	15.6	高	81.8	2.3	8.5	52.5		
178	軟質	厨系b-B511	2008	19	15.9	高	83.6	1.4	8.8	50.0		
179	軟質	厨系b-B520	2008	21	16.0	高	82.8	1.4	7.8	50.0		
180	軟質	厨系B-B546	2008	24	17.1	高	81.1	2.6	6.0	55.5		

<sup>1</sup>水分13.5%換算した値。<sup>2</sup>吸水6時間処理の値。

区分で胚乳L\*と硝子率に相関は見られなかった。一方、軟質では、タンパク区分「高」のサンプルでは相関は見られなかったが、「中」および「低」のサンプルでは認められた。これらの相関は、硝子率が30%以下と特に低い2007年のサンプルによって引き起こされたものであった。なお、硝子率のほぼ等しい領域（硬質50~60%、軟質40~50%）でみた場

合でも、胚乳L\*はタンパク区分「高」、「中」、「低」の順に高くなる傾向が認められた。

**胚乳色と鉄含量**

タンパク区分「中」のサンプルから、原粒タンパク質含量が同等、かつ胚乳L\*の差が大きくなるように20サンプルを選び出し、これらの胚乳粉のタン

表2 タンパク質含量区分「中」のサンプルにおける胚乳色の分散分析

収穫年次	粒の硬軟	変動要因	自由度	L*		a*		b*	
				分散	分散比	分散	分散比	分散	分散比
2007	硬質	サンプル	31	2.12	3.33 ***	0.28	4.41 ***	0.49	1.88 *
		反復	32	0.64		0.06		0.26	
	軟質	サンプル	23	2.37	3.38 **	0.36	6.89 ***	2.05	9.47 ***
		反復	24	0.70		0.05		0.22	
	全体	サンプル	55	4.06	6.10 ***	0.33	5.67 ***	2.85	11.79 ***
		反復	56	0.66		0.06		0.24	
2008	硬質	サンプル	27	3.31	5.04 ***	0.42	3.09 **	2.20	8.06 ***
		反復	28	0.66		0.14		0.27	
	軟質	サンプル	35	3.48	4.95 ***	0.39	5.11 ***	1.63	5.36 ***
		反復	36	0.70		0.08		0.30	
	全体	サンプル	63	6.18	9.03 ***	0.54	5.24 ***	3.35	11.52 ***
		反復	64	0.68		0.10		0.29	
全体	硬質	サンプル	59	2.71	4.20 ***	0.35	3.62 ***	1.31	4.93 ***
		反復	60	0.65		0.10		0.27	
	軟質	サンプル	59	2.99	4.25 ***	0.48	7.14 ***	1.86	6.90 ***
		反復	60	0.70		0.07		0.27	
	全体	サンプル	119	5.15	7.63 ***	0.50	6.13 ***	3.09	11.57 ***
		反復	120	0.67		0.08		0.27	

胚乳色は吸水6時間処理の値。\*\*\*、\*\*および\*は、それぞれ0.1、1および5%水準で有意であることを示す。

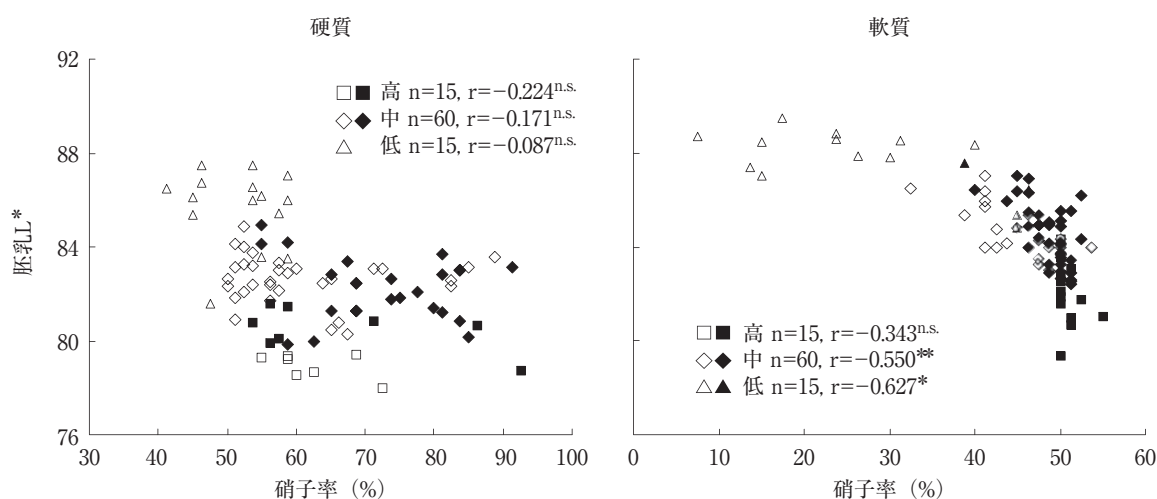


図4 粒の硬軟およびタンパク質含量区分別の硝子率と胚乳L\*との関係

プロットの白塗りは2007年産、黒塗りは2008年産のサンプルであることを示す。相関関係の\*\*および\*はそれぞれ1%および5%水準で有意であることを示す。

パク質含量および鉄含量を測定した(表1)。胚乳L\*と鉄含量との散布図を図5に示す。調査した20サンプルのうち、硬質の9サンプルの胚乳タンパク質含量は9.8から10.8%、軟質の10サンプルは10.3から11.4%の範囲に入っていた。なお、硬質の1サンプルについては胚乳タンパク質含量が8.2%と低かったためデータから除外した。図5に示すとおり、タンパク質含量を揃えたサンプルでは両収穫年次とも胚乳L\*と鉄含量との間に相関は認められなかった。このことは、a\*およびb\*でも同様であった。

次に、タンパク質含量が胚乳色および鉄含量に与える影響をみるため、タンパク区分「低」および「高」からもそれぞれ4サンプルを選んで、これらの胚乳タンパク質含量および胚乳鉄含量を測定した(表1)。このとき、先にタンパク区分「中」で胚乳成分を測定した「ハルイブキ」、「ゆきちから」、「ナンブコムギ」、「キタカミコムギ」の4品種について

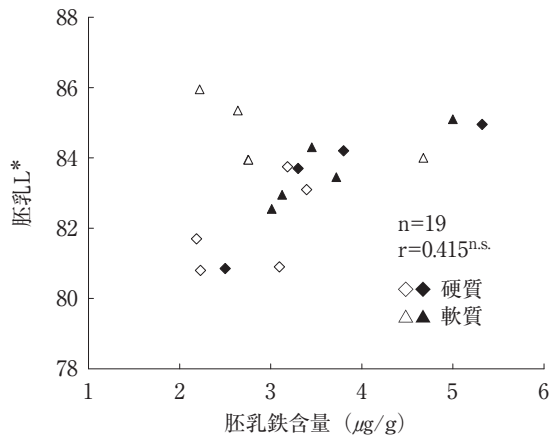


図5 胚乳タンパク質含量が類似したサンプルにおける胚乳L\*と鉄含量との関係  
プロットの白塗りは2007年産、黒塗りは2008年産のサンプルであることを示す。

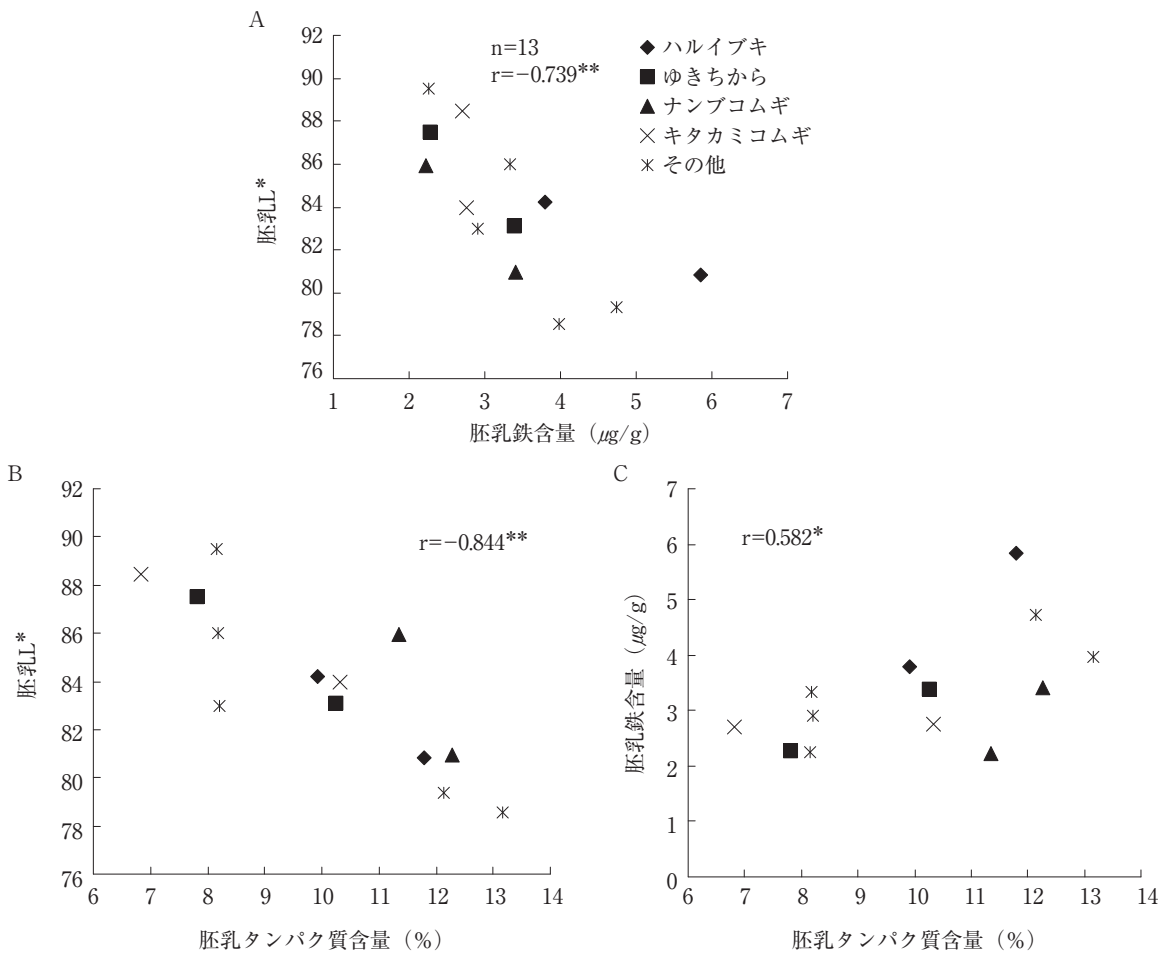


図6 胚乳L\*、鉄含量およびタンパク質含量の関係  
相関係数における\*\*および\*はそれぞれ1%および5%水準で有意であることを示す。

は、それぞれ2水準のタンパク質含量での値を比較できるようにした。胚乳L\*、タンパク質含量および鉄含量の関係を図6に示す。これら3項目の間には有意な相関が存在した。つまり、タンパク質含量や鉄含量が高くなると胚乳L\*が低くなる傾向があり、タンパク質含量と鉄含量の間にも正の相関がみられた。また、この傾向は同一品種で比較した場合にはより明瞭であった。さらに、胚乳鉄含量が3.0~4.0 $\mu\text{g/g}$ と近い12サンプルを用いて胚乳L\*とタンパク質含量との関係を見た場合には有意な負の相関が認められた ( $r = -0.852^{**}$ )。なお、a\*およびb\*では、L\*でみられたようなタンパク質含量と鉄含量との関係はみられなかった (データ未提示)。

#### 種子断面の胚乳L\*分布

「盛系D-B006」および「厨系B-B143」は、共に硬質で胚乳タンパク質含量が10.2%と等しく、鉄含量がそれぞれ3.3および3.1 $\mu\text{g/g}$ と近かった。しかし、胚乳L\*が大きく異なっており、「盛系D-B006」は80.9、「厨系B-B143」は83.7であった (表1、20番および29番)。そこで、胚乳L\*の差異が生じる要因を探るため、6時間処理の種子断面のL\*分布および20粒分のピクセル頻度の差を示した (図7)。種子断面のL\*分布では、「厨系B-B143」は「盛系D-B006」に比べて85以上の値を示すピクセルが種皮の近くまで広がっており、90以上の値を示すピクセルが“頬”の部分を中心に多く存在していた (図7A)。また、65以上の値を示した全ピクセル数に対するそれぞれの値のピクセル数を百分率で表してピクセル頻度とした。胚乳L\*の高い「厨系B-B143」から低い「盛系D-B006」のピクセル頻度の差をみたところ、「厨系B-B143」は90以下の値を示すピクセルが比較的少ないのに対し、90以上の値を示すピクセルが極めて多いという特徴が見られた (図7B)。

#### IV 考 察

小麦粉の明るさ (L\*) はそのタンパク質含量の影響を受けることが知られている (Petersonら 1986、小綿ら 1996、木谷ら 2002)。また、小麦粉のタンパク質含量は原粒タンパク質含量と高い相関がある。本研究でも、胚乳のL\*、a\*およびb\*はいずれもタンパク質含量の影響を受けることが示された (図3)。

そこで、タンパク質含量の同等なサンプルを胚乳

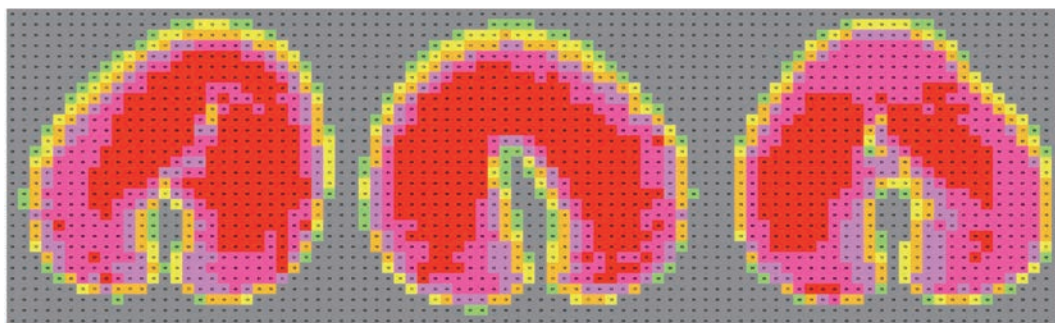
色の測定に用いるため、近赤外分析機によって原粒タンパク質含量を測定し、この値から供試するサンプルを選抜した。さらに、以前の報告では、胚乳色の測定には粒の硬軟を考慮する必要があることが示されていることから (前島ら 2007)、胚乳色を測定するサンプルは粒の硬軟別に選ぶこととした。本研究では、両年を通じた原粒タンパク質含量の最頻値の前後約1%の範囲から、硬質および軟質それぞれ60サンプルを選出した。これまでの色相研究において、これほどの規模でタンパク質含量が同等な材料を供試したものはないことから、これらはタンパク質含量以外の色相劣化要因を探る上で有効な材料になると考えられた。

Horiganeら (2003) は、種子断面のL\*によって胚乳部分が抽出できることを示している。本研究においても、吸水開始後の種子断面では胚乳部と周辺部のL\*が明瞭に異なることを確認できた (図2)。さらに、種子断面の画像とL\*のピクセルデータを重ね合わせたところ、皮部あるいは糊粉層がピクセル中に僅かでも含まれるとL\*が急速に低下し、50以下の値をとっていることがわかった (データ未提示)。また、50~70の間で閾値を段階的に変えて算出した場合にも、得られるL\*値にほとんど影響が見られなかったことから、この範囲に入るピクセルの種子断面全体に占める割合は少なく、胚乳部とそれ以外の部分のL\*値がこの範囲を境に明瞭に分かれていることが示された。

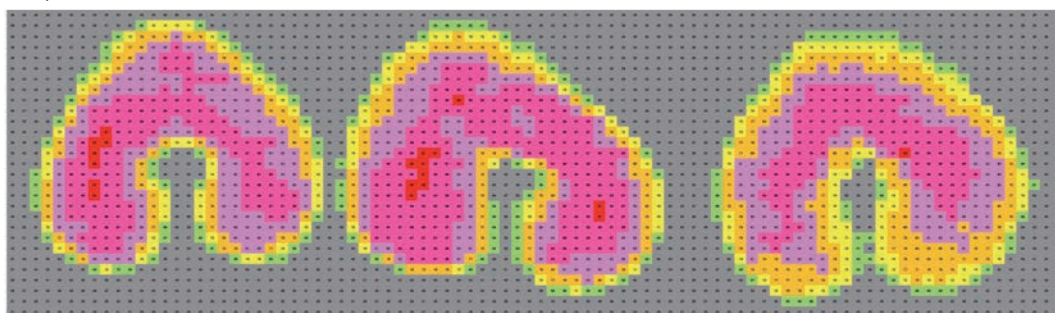
種子断面による胚乳色測定では、2つの大きな問題が考えられる。そのひとつは、硝子率の影響であり、硝子質の部分では測定光の多くが透過してL\*が低く算出され、本来の色相が評価できないという問題がある。一般に、タンパク質含量が高くなるに従って、また、軟質粒より硬質粒において硝子率が高くなることが知られている (長尾 2007)。これは、小麦粉の見た目において、粒度が粗いものは光の反射が少ないため全体的にくすんで見えるのと似ている。そのため、粉色を評価する際には、粒度の影響を取り除くため、小麦粉に蒸留水を加えて一定時間攪拌したペーストを用いる (農林水産技術会議事務局 1968)。同じ考えから、胚乳色の評価においても硝子質の影響を取り除くため、一定時間吸水させてから測定する方法が確立している (小綿ら 1996、Horiganeら 2003)。本研究においても、水を含んだろ紙上に種子断面を置いて吸水させて測定



## A 厨系B-B143



## 盛系D-B006



## B

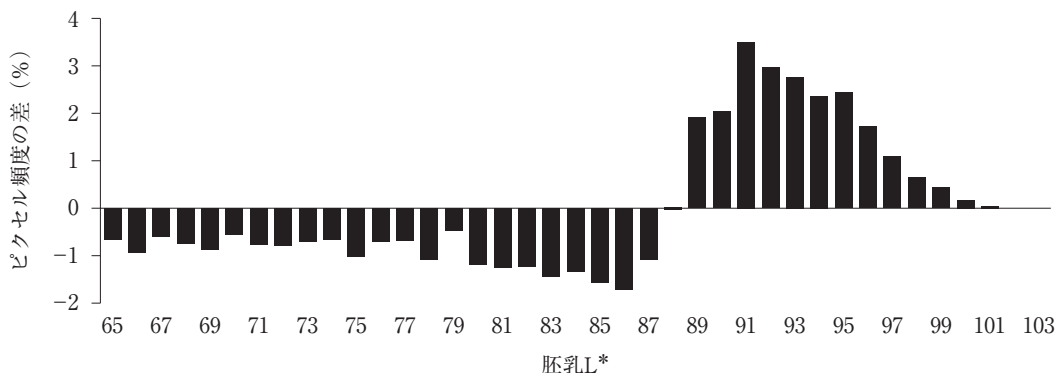


図7 種子断面のL\*分布 (A) およびピクセル頻度差のヒストグラム (B)

ピクセル頻度とは65以上の値を示す全ピクセル数に対する各値の百分率であり、頻度差は「厨系B-B143」の頻度から「盛系D-B006」の頻度を引いた値。

することによって、胚乳L\*の測定における硝子率の影響を取り除けていることが示された(図4)。つまり、タンパク区分「高」、「中」、「低」の順に胚乳L\*が高くなるのは硝子率の影響ではなく、これまで報告されていたようなタンパク質含量と胚乳L\*との負の相関に依るものと考えられた。もうひとつの問題は、吸水によって生じる切断面の凹凸の影響である。色相は光の反射で決まることから、凹凸によって測定光が乱反射することにより、それ自体がくすみの原因となりうる。そこで、胚乳L\*が異なるサンプルを供試して、6時間処理後に切断面を再

度薄く切って鏡面化してから測定した。その結果、切断している間の乾燥によってL\*の値はやや減少するもののサンプル間の差はよく保存されていた(データ未提示)。このことから、本研究で用いた胚乳色測定法は、サンプル間の胚乳L\*の差異を検出するという目的においては問題がないと言える。

本研究では、タンパク質含量が同等なサンプルを用いた場合には、胚乳色と鉄含量の間には関係性が見られなかった(図5)。このことは、過去に小麦粉において報告されているL\*と鉄含量との負の相関(木谷ら 2002)と矛盾しているようにみえる。

しかし、木谷ら（2002）は施肥量や晩刈りを行うことによって人為的に色相を変化させていることから、色相の劣化要因が本研究とは異なる可能性がある。もしくは、タンパク質含量が大きく異なる品種・系統で胚乳L\*と鉄含量との関係を調査したところ負の相関がみられた（図6）ことから、過去の報告はタンパク質含量と鉄含量との相関によって間接的にみられた現象である可能性が示唆された。粒あるいは小麦粉のタンパク質含量と鉄含量との相関についてはこれまでにいくつかの報告がある（Petersonら 1986、Morgounovら 2007、Zhaoら 2009）が、タンパク質含量と鉄含量が同じ遺伝因子に支配されているかどうかは分かっていない。最近、野生4倍体コムギに由来する高タンパク質含量遺伝子が単離され、NACと呼ばれる転写因子をコードしていることが判明した（Uauyら 2006）。この遺伝子はタンパク質含量を増大させるだけでなく、枯れ上がりの早期化や種子のミネラル含量を高めるなどの多面効果を持っている。したがって、もし供試サンプルのタンパク質含量の高低がこの因子の関与に拠るものであれば、鉄含量も同様の傾向が生じる可能性は高いと考えられる。

タンパク質含量や鉄含量の同等なサンプルを用いた場合にも、胚乳L\*に有意差が認められた（図5）。そこで、胚乳L\*の差を生み出す要因を探るため、種子断面のピクセル毎のL\*値を用いてその分布と頻度をみたところ、L\*の高いサンプルと低いサンプルとでは90を境としてピクセル頻度に顕著な違いがみられた（図7B）。この傾向はここに示した2系統だけでなく粒の硬軟に関わらず胚乳L\*の高いサンプルと低いサンプルを比較した場合に供試サンプル間で一般的にみられる傾向であり、88~90が境界となっていた。この境界値が、本研究で供試したサンプル特有のものなのか、普遍的に言えることなのかは今後さらなる調査が必要である。しかし、胚乳L\*の優劣をその分布から明瞭に分けられることは、くすみの新たな評価指標として利用できる可能性がある。

糊粉層には原粒中のミネラルの60%以上が含まれている（栗本・大楠 2007）ことから、これが僅かでも混入すると鉄含量に大きな影響を与えることが予測できた。そのため本研究では、皮部の微小な切れ込みや糊粉層の混入を防ぐ目的で、手作業により胚乳部の調整を行った。その結果、小麦粉の鉄含量

は4~14 $\mu\text{g/g}$ の範囲（Pedersonら 1986、木谷ら 2002）であるのに対し、胚乳の鉄含量の範囲は2~6 $\mu\text{g/g}$ であった（図5、6）。このことは、製粉工程では皮部あるいは糊粉層の混入が少なからずあることを示しており、小麦粉を用いて各種形質との関係性を見る場合には、ふすまの混入による成分組成、特にミネラル含量の変化を常に考慮する必要性を示唆している。本研究で用いたスキャナ式胚乳測色システムは、製粉による二次的影響を取り除いて種子本来の色相を高速多検体で測定することを実現させた。したがって、今回見出された胚乳L\*に差異のある試料は、種子内部のくすみの原因を解明する上で重要な手掛りのひとつとなると考えられる。

これまで、小麦粉の色相劣化はある種のタンパク質に結合した鉄が原因ではないかと考えられていた。しかし本研究において、供試サンプルをタンパク質含量が同等のものだけに絞って解析した場合には鉄は胚乳のくすみの原因とは言えない結果が得られた。つまり、小麦粉のくすみと鉄との関係性は、鉄含量とタンパク質含量との相関、および皮部あるいは糊粉層の混入によって説明された。しかしながら、一般に種子内部は周辺部に比べてタンパク質含量が低いことが知られている（長尾 2000）。つまり、粒全体のタンパク質含量は同程度であっても、L\*の高いサンプルはL\*の低いサンプルに比べて周辺部にタンパク質が偏在していることも考えられる。そのため、タンパク質含量の影響を完全に排除するためには、種子内部のタンパク質分布まで考慮したさらなる調査が必要であろう。

## 引用文献

- 1) Barnes, P.J. 1986. The influence of wheat endosperm on flour color grade. *J. Cereal Sci.* 4: 143-155.
- 2) Horigane, A.; Yamada, S.; Hikichi, Y.; Kiribuchi-Otobe, C.; Fujita, M.; Yamaguchi, T.; Horiguchi, M. 2003. Evaluation of color characteristics of cross-sectioned wheat kernels. *Food Sci. Technol. Res.* 9: 327-331.
- 3) 堀田 博, 本多一郎. 2005. 国内産小麦粉のくすみと遊離トリプトファン含量. *日本食品科学工学会誌* 52: 538-541.

- 4) 伊藤美環子, 中村和弘, 吉川 亮. 2002. 小麦の粉色向上のための遺伝資源の評価. 東北農業研究 55 : 79-80.
- 5) 木谷裕亮, 堀田 博, 本多一郎. 2002. 国内産小麦粉色相とミネラル含量の関係. 日本食品科学工学会誌 49 : 49-52.
- 6) 小綿美環子, 渡辺 満, 佐藤暁子. 1996. 東北地域で栽培されたコムギにおける粗タンパク含量と粉色の関係 - 東北6県における連絡試験のデータの解析から -. 東北農業試験場研究資料 19 : 41-45.
- 7) 小綿美環子, 渡辺 満, 中村信吾, 佐藤暁子. 1999. コムギ1粒の胚乳断面色の測定による粉色の評価法の開発. 育種学研究 1 : 149-156.
- 8) 栗本洋一, 大楠秀樹. 2007. 小麦粉 - その原料と加工品 -, 第4編 小麦粉及び副製品, 第2章 小麦粉製品の成分, 日本麦類研究会編, 東京都. p.483-515.
- 9) 前島秀和, 石川吾郎, 鈴木雅博, 伊藤裕之, 平将人, 中村俊樹, 谷口義則. 2007. 小麦粉色相評価のためのスキヤナ式胚乳測色システム, 平成19年度東北農業研究成果情報. p.55-56.
- 10) 松崎守夫, 豊田政一. 1997. コムギ品質の登熟にともなう推移 (2) 粉の品質特性. 日本作物学会紀事 66 : 183-188.
- 11) Morgounov, A.; Gomez-Becerra, H.F.; Abugalieva, A.; Dzhunusova, M.; Yessimbekova, M.; Muminjanov, H.; Zelenskiy, Y.; Ozturk, L.; Cakmak, I. 2007. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. Euphytica 155 : 193-203.
- 12) 長尾精一. 2000. 小麦の科学, 2. 小麦の種類と品質特性, 2.6 小麦粒の構造と成分組成, 朝倉書店, 東京都. p.37-40.
- 13) 長尾精一. 2007. 小麦粉 - その原料と加工品 -, 第2編 小麦, 第7章 小麦の品質, 日本麦類研究会編, 東京都. p.244-275.
- 14) 農林水産省技術会議事務局. 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.
- 15) Olivar, J.R.; Blakeney, A.B.; Allen, H.M. 1992. Measurement of flour color space parameters. Cereal Chem. 69 : 546-551.
- 16) Peterson, C.J.; Johnson, V.A.; Mattern, P.J. 1986. Influence of cultivar and environment on mineral and protein concentrations of wheat flour, bran, and grain. Cereal Chem. 63 : 183-186.
- 17) 佐藤大和, 内村要介, 尾形武文, 松江勇次, 陣内暢明. 2003a. 九州北部におけるコムギ粉の色相の年次間変動とその要因. 日本作物学会紀事 72 : 409-417.
- 18) 佐藤大和, 内村要介, 松江勇次. 2003b. コムギにおける播種時期の違いが製粉特性に及ぼす影響. 日本作物学会紀事 72 : 43-49.
- 19) Shuey, W.C. 1975. Flour color as a measurement of flour quality. Baker's Digest 49 : 18-26.
- 20) 辻 孝子, 吉田朋史, 藤井 潔. 2006. 小麦粉色相に関与する成分の解明と簡易色相選抜法の開発. 愛知県農業総合試験場研究報告 38 : 1-5.
- 21) Uauy, C.; Distelfeld, A.; Fahima, T.; Blechl, A.; Dubcovsky, J. 2006. A NAC Gene regulating senescence improves grain protein, zinc, and iron content in wheat. Science 314 : 1298-1301.
- 22) 内村要介, 佐藤大和, 尾形武文, 松江勇次. 2004. 成熟期の降雨処理によるコムギの子実水分含有率の変化と品質低下の品種間差. 日本作物学会紀事 73 : 29-34.
- 23) 柳沢 朗, 吉村康弘, 天野洋一, 小林 聡, 西村 努, 中道浩司, 荒木和哉, 谷藤 健, 田引 正, 三上浩輝, 池永充伸, 佐藤奈奈. 2007. 秋まきコムギ新品種「きたほなみ」の育成. 北海道立農業試験場集報 91 : 1-13.
- 24) Zhang, K.P.; Chen, G.F.; Zhao, L.; Liu, B.; Xu, X. B.; Tian, J.C. 2009a. Molecular genetic analysis of flour color using a doubled haploid population in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica 165 : 471-484.
- 25) Zhang, Y.; Wu, Y.; Xiao, Y.; He, Z.; Zhang, Y.; Yan, J.; Zhang, Y.; Xia, X.; Ma, C. 2009b. QTL mapping for flour and noodle colour components and yellow pigment content in common wheat. Euphytica 165 : 435-444.
- 26) Zhao, F.J.; Su, Y.H.; Dunham, S.J.; Rakszegi, M.; Bedo, Z.; McGrath, S.P.; Shewry, P.R. 2009. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. J. Cereal Sci. 49 : 290-295.

東北農業研究センター研究報告 第111号

---

---

平成22年1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

---

---