

北海道農研
研 報

Res. Bull.
NARO
Hokkaido Agric.
Res. Cent.

北海道農業研究センター研究報告

第198号

RESEARCH BULLETIN
OF THE
NARO HOKKAIDO AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Number 198 February, 2013

National Agriculture and Food Research Organization
Hokkaido Agricultural Research Center
Hitsujigaoka, Sapporo, Japan



農研機構 北海道農業研究センター

NARO HOKKAIDO AGRICULTURAL RESEARCH CENTER (NARO/HARC)

北海道農業研究センター研究報告 第198号

所 長 天 野 哲 郎
編集委員長 仁 平 恒 夫
編 集 委 員 須 藤 賢 司 牛 木 純
 細 山 隆 夫 奥 村 健 治
 安 藤 哲 梅 本 貴 之
 藤 野 賢 治 永 田 修
 井 上 聡 津 田 昌 吾
 阿 部 英 幸

RESEARCH BULLETIN
OF THE
NARO HOKKAIDO AGRICULTURAL RESEARCH CENTER

Number 198

Tetsuro AMANO, *Director General*

Editorial Board

Tsuneo NIHEI, *Chairman*

Kenji SUDO	Jun USHIKI
Takao HOSOYAMA	Kenji OKUMURA
Satoshi ANDO	Takayuki UMEMOTO
Kenji FUJINO	Osamu NAGATA
Satoshi INOUE	Shogo TSUDA
Hideyuki ABE	

北海道農業研究センター研究報告 第198号

目 次

メドウフェスク新品種「まきばさかえ」の育成とその特性 田瀬 和浩・田村 健一・眞田 康治・高井 智之・ 山田 敏彦・中山 貞夫・大同 久明・水野 和彦・ 藤井 弘毅・澤田 嘉昭・山川 政明・佐藤 尚親・ 林 拓 ・牧野 司	1-21
北海道ホルスタイン検定牛群の泌乳曲線形状の実態とその泌乳・繁殖特性、及び除籍理由 早坂貴代史・山口 諭・阿部 隼人・曾我部道彦	23-58
スイカにおける軟X線照射花粉の受粉後の普通花粉受粉による種子形成（英文） 杉山 慶太・嘉見 大助・室 崇人	59-67
プロベナゾールはイネ実生の根の生育を促進し、感染特異的タンパク質遺伝子の発現を抑制 する（英文） 佐藤 裕・加藤 英樹・遠藤 亮・大橋美帆子・ 目黒 文乃	69-81

RESEARCH BULLETIN
OF THE
NARO HOKKAIDO AGRICULTURAL RESEARCH CENTER
No.198 (February, 2013)

CONTENTS

- Breeding of Meadow Fescue 'Makibasakae' and its Characteristics
.....Kazuhiro TASE, Ken-ichi TAMURA, Yasuharu SANADA, Tomoyuki TAKAI,
Toshihiko YAMADA, Sadao NAKAYAMA, Hisaaki DAIDO, Kazuhiko MIZUNO,
Hiroki FUJII, Yoshiaki SAWADA, Masaaki YAMAKAWA, Narichika SATO,
Taku HAYASHI and Tsukasa MAKINO
..... 1-21
- Current shapes of lactation curves and characteristics of milk production and reproductive traits and
culling reasons in the Hokkaido Dairy Herd Improvement Milk Recording of Holstein cows
.....Kiyoshi HAYASAKA, Satoshi YAMAGUCHI, Hayato ABE and Michihiko SOGABE
..... 23-58
- Watermelon (*Citrullus lanatus*) Seed Formation by Pollination with Normal Pollen Following Pollination
with Soft X-ray Irradiated Pollen
.....Keita SUGIYAMA, Daisuke KAMI and Takato MURO
..... 59-67
- Probenazole Promotes Root Growth and Suppresses Expression of Pathogenesis-related Proteins in
Roots of Rice Seedlings
.....Yutaka SATO, Hideki KATO, Akira ENDO, Mihoko OHASHI and Ayano MEGURO
..... 69-81

メドウフェスク新品種「まきばさかえ」の育成とその特性

田瀬和浩¹⁾, 田村健一¹⁾, 眞田康治¹⁾, 高井智之²⁾, 山田敏彦³⁾, 中山貞夫⁴⁾, 大同久明⁵⁾, 水野和彦⁵⁾, 藤井弘毅⁶⁾, 澤田嘉昭⁴⁾, 山川政明⁷⁾, 佐藤尚親⁷⁾, 林 拓⁸⁾, 牧野 司⁸⁾

I. 緒 言

メドウフェスク (*Festuca pratensis* Huds.) は、冷涼、湿潤、肥沃なところでよく生育し、わが国の寒地・寒冷地によく適応する多年生寒地型イネ科牧草である。本草種は、越冬性ではチモシーより劣るがオーチャードグラスより優れ、家畜の嗜好性、混播適性も良好である。これまで北海道における重要なイネ科牧草として、チモシーおよびオーチャードグラス主体混播草地の夏季から秋季の生産性を補完する補助草種として、採草あるいは兼用利用に用いられることが多かった。種子需要量は1980年代までイネ科牧草の総需要量の約8% (年間約80t) を占めていたが、現在は約2% (年間約7t) まで減少している。その原因として、北海道の混播草地ではオーチャードグラス主体の栽培が減少し、チモシーに集中化したことが挙げられる。オーチャードグラスはチモシーより、越冬性や生育ステージの進行に伴い飼料品質が劣ることからその栽培が敬遠され、また酪農家1戸当たりの飼養頭数の増加に伴う労働力不足などから、刈取り回数の少ないチモシーの栽培が指向された。このようなことからチモシーの栽培面積は増加したものの、チモシーはオーチャードグラスよりも競合力が弱く、メドウフェスクがチモシーの生育を抑圧すること、あるいは主体草種であるチモシー自体の早晚性などの特性に合わせた栽培管理が行われるようになったことなどからメドウフェスクとの組合せは避けられ、その結果、種子需要量が減少したと考えられる。

しかし、近年、飼料自給率向上の一方策として、

低コスト、ゆとり経営を指向して放牧が見直され、短草状態の高栄養の放牧草を採食させることで草地を効率的に利用し、家畜の生産性を高める集約放牧が推進されている。放牧用草種としてはペレニアルライグラスが最も優れているものの、越冬性が劣ることから、主要な草地酪農地帯である北海道東部(以下、道東と略す)の土壤凍結地帯での利用は困難である。また越冬性に優れるチモシーは耐暑性、再生力が劣り、とくに夏季以降の生産性が低下することから集約放牧用草種としては適していない。そこで、夏季以降著しく生産性が低下しないメドウフェスクが集約放牧用草種として期待され(須藤, 2004)、「ハルサカエ(1999年命名登録)」を用いた土壤凍結地帯での集約放牧試験から、その利用が可能であることが明らかにされ普及が図られている(松村ら, 2008)。しかし、「ハルサカエ」は元来多雪地において、混播草地での補助草種として採草利用を想定して育成されたものであり、土壤凍結地帯における放牧利用としての選抜は行われていない。土壤凍結地帯においては越冬性が何よりも第一義として重要であり、より越冬性が安定して優れる集約放牧用品種を育成するには、育種の初期段階から高度な越冬性と集約放牧を想定した選抜が必要となる。

そこで北海道農業試験場(現、北海道農業研究センター。以下、北農研と略す)と北海道立根釧農業試験場(現、北海道立総合研究機構根釧農業試験場。以下、根釧農試と略す)では共同で、土壤凍結地帯向き集約放牧用品種の育成を目標に、越冬性、多回刈り条件下での季節生産性の改良を中心に選抜を行い、「まきばさかえ」を育成した。2005年から系統適応性検定試験および特性検定試験などを実施した結果、「まきばさかえ」は越冬性および放牧を想定した短草管理での収量性が標準品種の「ハルサカエ」より優れていることが認められ、2009年2月に北海道優良品種に認定されるとともに、2010年3月にメドウフェスク農林合3号「まきばさかえ」として農

平成24年9月13日 原稿受理

- 1) 北海道農業研究センター 酪農研究領域
- 2) 現、九州沖縄農業研究センター
- 3) 現、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター
- 4) 退職
- 5) 現、畜産草地研究所
- 6) 現、北海道立総合研究機構 北見農業試験場
- 7) 現、北海道立総合研究機構 畜産試験場
- 8) 現、北海道立総合研究機構 根釧農業試験場

林認定された。

「まきばさかえ」は、北農研寒地飼料作物育種研究チーム(現、北農研酪農研究領域イネ科牧草育種班)と根釧農試作物科(現、根釧農試飼料環境グループ作物班)において育成されたもので、育成に携わった研究者は14名である。基礎集団の評価と選抜は、高井、中山、大同、水野、藤井、山川、澤田によって行われ、構成栄養系の決定と合成は高井、山田、眞田、中山、水野、藤井、山川、林、牧野によって、北育系統の評価と生産力予備検定試験の調査は山田、眞田、田村、佐藤、林、牧野によって、生産力検定試験と育成地における各種特性検定試験の調査は田村、田瀬、眞田によって行われた。系統適応性検定試験のデータを含む試験成績のとりまとめは、田瀬、田村、眞田が行った。

Ⅱ. 育種目標、育種方法ならびに育成経過

1. 育種目標

北海道の土壤凍結地帯に適する越冬性を備え、収量性、季節生産性に優れた放牧用品種を育成する。

2. 育種方法

「まきばさかえ」は5栄養系の組合せによる合成品種である。構成栄養系の来歴は、オランダの品種「Bundy」から1栄養系、ノルウェーの品種「Salten」から2栄養系およびスウェーデンの品種「Boris」から耐凍性で選抜した2栄養系である(Table 1)。

3. 育成経過

「まきばさかえ」の育成経過を Figure 1に示した。

1) 構成栄養系の決定

メドウフェスク育成系統の北海1~13号の構成栄養系および耐凍性選抜栄養系などを含む優良144栄養系を選抜基礎集団とし、各栄養系を株分け後、1994年8月に積雪地の北農研、土壤凍結地帯の根釧農試に供試した。両試験地では個体植(約0.8m×0.8m)、2反復で、1996年まで少回刈り(年3回)により越冬性、草勢、病害程度の評価を行った。1997年に越冬性を調査後、優良栄養系を北農研で14点、根釧農試で24点選抜した。両場所でそれぞれ選抜栄養系を用いて多交配を行い、栄養系別に採種した。採種種子量の少ない栄養系を除き、北農研13点、根釧農試20点の計33多交配後代について、北農研では全ての後代を、根釧農試では根釧選抜栄養系の後代を用いて、1998年より後代検定を実施した。試験はシロクロバ混播条件下で個体植(約0.2m×0.2m)、3~4反復、多回刈り(年6~8回)として、越冬性、草勢、病害程度の評価を2000年まで行った。2001年に越冬性を調査し、これまでの調査データを基に5栄養系を選定し、北農研の隔離温室内で水耕法により合成1代を採種し「北育4号」の名称を付した。構成栄養系となった5栄養系の特性は Table 2のとおりである。

Table 1. The origin of five parental clones of 'Makibasakae'.

Clone no.	Origin
387	Bundy (Dutch cultivar)
452	Salten (Norwegian cultivar)
455	Salten (Norwegian cultivar)
468	selected from freezing test of Boris (Swedish cultivar)
473	selected from freezing test of Boris (Swedish cultivar)

Table 2. Characteristics of parental clones of 'Makibasakae' under infrequent cutting in Sapporo.

Clone no.	Date of head emergence	1995				1996					
		Winter hardiness ¹⁾	Plant type ²⁾	Plant vigor ¹⁾		Winter hardiness ¹⁾	Susceptibility to net blotch ³⁾	Plant vigor ¹⁾			
				Summer	Autumn			Spring	Summer	Autumn	
387	4 June	6.5	3.5	6.5	7.0	6.0	1.5	7.5	6.5	6.5	
452	6 June	6.0	2.5	7.5	6.0	5.5	2.5	6.0	6.5	5.5	
455	5 June	6.0	5.5	6.0	7.0	6.0	2.5	5.5	6.5	4.0	
468	7 June	6.0	5.5	5.5	6.0	6.5	2.0	6.5	6.0	5.0	
473	5 June	6.0	5.0	5.5	6.5	7.0	1.0	7.0	6.0	6.5	
Date		28 Apr.	23 June	17 Aug.	10 Oct.			12 Aug.	21 May	20 Aug.	12 Oct.

1) Rating scale of 1 (poor) to 9 (good).

2) Rating scale of 1 (erect) to 9 (prostrate).

3) Rating scale of 1 (slight) to 9 (severe).

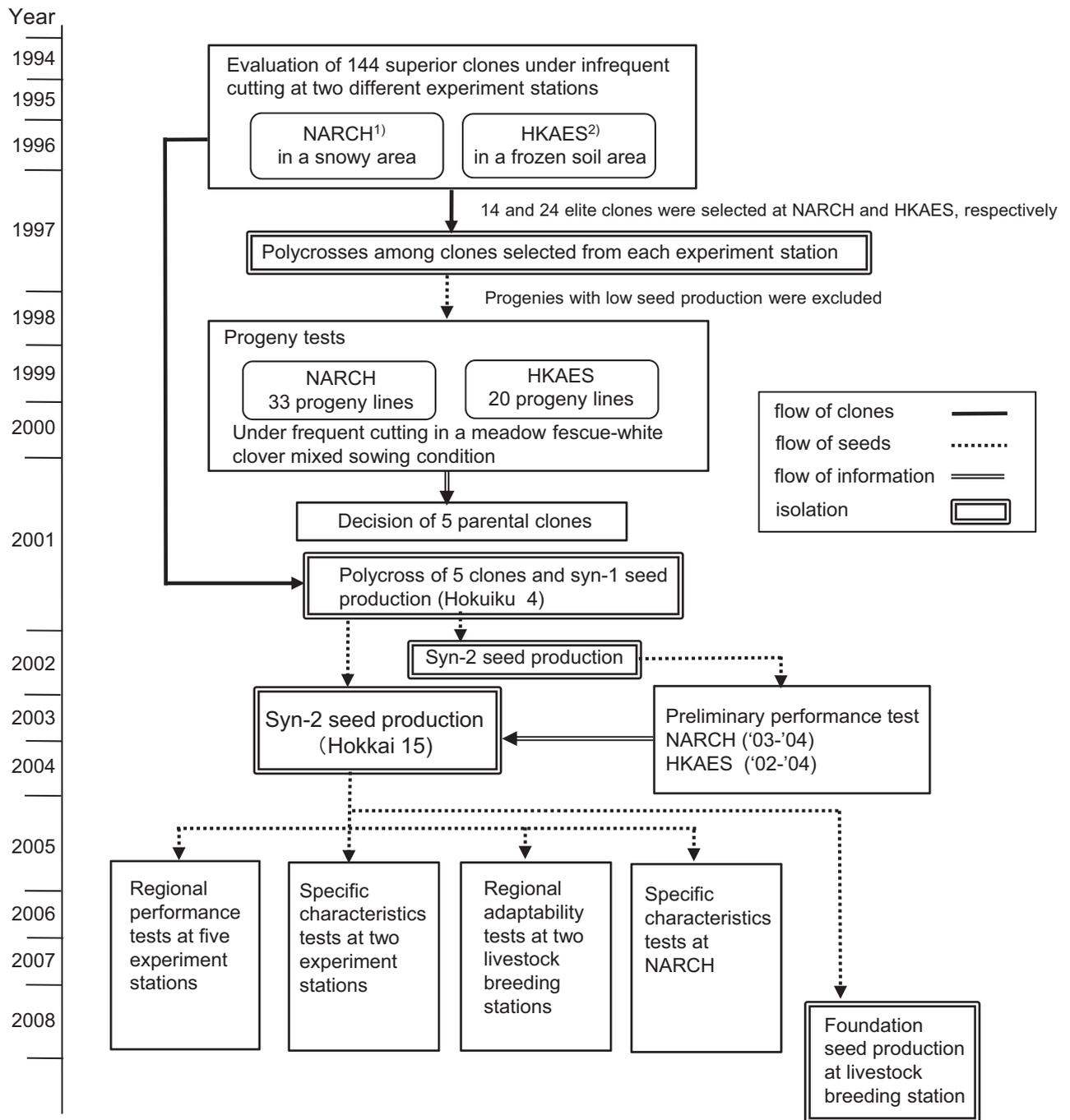


Figure 1. Breeding scheme of 'Makibasakae'

- 1) NARCH : National Agricultural Research Center for Hokkaido Region
(now NARO Hokkaido Agricultural Research Center)
- 2) HKAES : Hokkaido Prefectural Konsen Agricultural Experiment Station
(now Hokkaido Research Organization Konsen Agricultural Experiment Station)

2) 育成系統の評価

2002年に採種した「北育4号」の合成2代種子を用い、北農研では2003年から2004年まで、根釧農試では2002年から2004年まで「ハルサカエ」を標準品種として、他の育成4系統(北育1～3号, 5号)と

ともに生産力検定予備試験を実施した(Table 3, 4)。耕種概要は試験区を1区が条長4m×条間0.3m×4条(4.8㎡)の4反復として、北農研が2003年5月14日、根釧農試が2002年8月26日に播種した。播種翌年からは年間6～8回の刈取り調査を実施した。

Table 3. Preliminary performance test under frequent cutting in Sapporo¹⁾.

Cultivar/Strain	Winter hardiness ³⁾	Plant vigor in early spring ³⁾	Susceptibility to net blotch ⁴⁾	Dry matter yield (kg/a) ⁵⁾				Percentage against Harusakae ⁵⁾			
				Spring	Summer	Autumn	Total	Spring	Summer	Autumn	Total
Hokuiku 4 ²⁾	7.3	6.5	1.9	22.5	21.6	7.3	51.4	103	98	97	100
Harusakae	6.0	6.0	1.3	21.9	22.0	7.5	51.4	100	100	100	100
Hokuiku 1	7.0	7.0	1.9	21.8	18.5	6.2	46.5	100	84	83	90
Hokuiku 2	6.3	6.5	1.8	21.8	17.1	6.3	45.2	100	78	84	88
Hokuiku 3	6.8	6.8	1.8	20.6	14.6	5.4	40.6	94	66	72	79
Hokuiku 5	6.8	7.0	1.8	21.8	16.6	4.9	43.3	100	75	65	84

- 1) The data were evaluated in 2004.
- 2) Hokuiku 4 was renamed Hokkai 15 and later registered as 'Makibasakae'.
- 3) Rating scale of 1 (poor) to 9 (good).
- 4) Rating scale of 1 (slight) to 9 (severe).
- 5) The data were classified according to season into the three seasons : Spring (May - June), Summer (July - Aug.) and Autumn (Sep. - Oct.).
The same grouping classification is used in the following tables.

Table 4. Preliminary performance test under frequent cutting in Kosen.

Cultivar/Strain	Winter hardiness ²⁾	Degree of sprouting ³⁾	Plant vigor in early spring ³⁾	Leaf disease ⁴⁾	Dry matter yield (kg/a) ⁵⁾				Percentage against Harusakae			
					Spring	Summer	Autumn	Total	Spring	Summer	Autumn	Total
Hokuiku 4 ¹⁾	5.7	4.7	5.3	1.8	42.3	41.7	37.2	121.3	108	104	115	109
Harusakae	4.3	4.3	3.8	1.8	39.3	40.0	32.4	111.6	100	100	100	100
Hokuiku 1	5.3	3.7	4.0	2.0	38.7	37.3	27.9	103.9	98	93	86	93
Hokuiku 2	5.7	5.3	5.0	1.5	44.1	42.5	34.3	120.9	112	106	106	108
Hokuiku 3	3.7	2.7	3.0	1.3	38.0	38.0	27.9	103.9	97	95	86	93
Hokuiku 5	6.0	5.3	5.0	1.5	43.0	40.2	31.4	114.7	109	101	97	103

- 1) Hokuiku 4 was renamed Hokkai 15 and later registered as 'Makibasakae'.
- 2) Rating scale of 1 (poor) to 9 (good), data of 2003.
- 3) Rating scale of 1 (poor) to 9 (good), average for two years (2003 and 2004).
- 4) Rating scale of 1 (resistant) to 9 (susceptible), data of 2003.
- 5) Total yield for two years (2003 and 2004).

主に根鋤農試における試験結果から「北育4号」と「北育2号」の特性が「ハルサカエ」よりも優れていたため(Table 4), それぞれ「北海15号」, 「北海14号」の系統番号を付し, 系統適応性検定試験および特性検定試験の供試系統として選定した。

3) 系統適応性検定試験, 特性検定試験, 地域適応性検定試験および育成地における特性検定試験

「北海15号」の合成2代の採種圃場は, 2001年と2002年に造成し, それぞれ2002年および2003年から2004年にかけて採種を行った。このうち2003年採種種子を用いて「北海14号」とともに系統適応性検定試験, 特性検定試験および地域適応性検定試験を実施した。また北農研では, 生産力検定試験の他に, 兼用利用, 混播適性, 採種性, 個体植特性などの各種試験を実施した。

Ⅲ. 特 性

1. 試験方法

1) 供試系統

「まきばさかえ」にあたる「北海15号」, 「北海14号」, 「ハルサカエ」および「プラデール」の4品種・系統を供試した。標準品種は「ハルサカエ」とし, 比較品種として「プラデール」を用いた。「プラデール」は「ハルサカエ」より越冬性がやや劣るものの, 収量性にやや優れ, 道東を普及対象地域とした北海道の優良品種である。データは「まきばさかえ」, 「ハルサカエ」および「プラデール」についてのみ示した。統計処理は4品種・系統について実施し, 「まきばさかえ」と標準品種, 比較品種の間に有意差が認められた場合に表中に最小有意差(LSD; 5%)を示した。

2) 系統適応性検定試験と地域適応性検定試験

Table 5に系統適応性検定試験と地域適応性検定試験が行われた場所を, Table 6に播種年月日や施

Table 5. Locations of the regional performance test in Hokkaido.

Location	Experiment Station/ Livestock Breeding Center
Sapporo	National Agricultural Research Center for Hokkaido Region (now NARO Hokkaido Agricultural Research Center)
Tenpoku	Hokkaido Prefectural Kamikawa Agricultural Experiment Station, Tenpoku Branch (now Hokkaido Research Organization Kamikawa Agricultural Experiment Station Tenpoku Sub Station)
Shintoku	Hokkaido Animal Research Center (now Hokkaido Research Organization Animal Research Center)
Kitami	Hokkaido Prefectural Kitami Agricultural Experiment Station (now Hokkaido Research Organization Kitami Agricultural Experiment Station)
Konsen	Hokkaido Prefectural Konsen Agricultural Experiment Station (now Hokkaido Research Organization Konsen Agricultural Experiment Station)
Tokachi	National Livestock Breeding Center Tokachi Station
Niikappu	National Livestock Breeding Center Niikappu Station

Table 6. Experimental design in the regional performance test.

Location	Date of seeding in 2005	Type of seeding	Row space (cm)	Seeding rate (g/a)	Plot size (m ²)	Fertilizer ¹⁾
						(N-P ₂ O ₅ -K ₂ O; kg/a/year)
Sapporo	17 May	row	30	200	4.8	2.50-2.16-2.50
Tenpoku	24 May	row	30	200	6.0	1.67-0.67-1.67
Shintoku	1 June	row	30	200	6.0	1.83-0.96-1.47
Kitami	27 May	row	30	200	5.0	1.54-1.77-1.54
Konsen	23 May	row	30	200	6.0	1.71-0.81-1.71
Tokachi	30 May	row	30	200	6.0	4.65-4.65-4.96
Niikappu	9 June	row	30	200	6.0	1.58-1.19-1.58

1) Average for three years (2006 to 2008).

肥量などの耕種概要を示した。地域適応性検定試験は家畜改良センターでの系統評価の事業として実施された。試験実施当時の場所名称を使用し、農業試験場を農試、畜産試験場を道立畜試、上川農業試験場天北支場を天北支場と略記し、家畜改良センターの名称は省略した。系統適応性検定試験および地域適応性検定試験は、北海道内の5場所と2場所において、2005年春播種で各々4年間実施された。なお地域適応性検定試験では比較品種の「ブラデール」は供試していない。調査方法とその基準は、「飼料作物系統適応性検定試験・特性検定試験・地域適応性等検定試験実施要領(改訂5版)」(平成13年4月)に準拠した。刈取りは放牧利用を想定し、草丈が

30cm前後に達した段階で実施し、各場所、年次の季節別の刈取り回数をTable 7に示した。

3) 特性検定試験

(1) 耐寒性検定試験

耐寒性検定試験は、根釧農試で実施された。2005年5月17日に播種量200g/a、条長1.5m、条間0.5mで条播した。試験配置は1区1条で6反復乱塊法とした。雪腐病を防除し無除雪の試験区(対照区)、雪腐病を防除し除雪した試験区(凍害区)、雪腐病を防除せず無除雪の試験区(雪腐病害区)を設けて、耐寒性と雪腐病抵抗性を調査した。除雪は除雪機により実施し、2月末まで積雪深を概ね10cm以下に保つ

Table 7. Number of cuttings in each season in the regional performance test.

Location	2006				2007				2008			
	Spring	Summer	Autumn	Total	Spring	Summer	Autumn	Total	Spring	Summer	Autumn	Total
Sapporo	3	2	3	8	3	3	2	8	3	1	2	6
Tenpoku	3	3	2	8	2	3	1	6	3	1	2	6
Shintoku	3	4	2	9	2	3	2	7	2	2	2	6
Kitami	5	4	2	11	3	2	2	7	2	2	1	5
Konsen	3	4	2	9	2	3	0	5	2	2	2	6
Tokachi	4	4	3	11	4	4	1	9	3	4	2	9
Niikappu	3	2	2	7	3	3	1	7	3	4	2	9

た。雪腐病防除にはフルアジナム剤1000倍液を根雪前に散布した。

(2) 放牧適性検定試験

放牧適性検定試験は、道立畜試で実施された。2005年8月8日に、播種量300g/aで播種し、試験区は1区5m×6m(30㎡)の散播で、試験配置は5反復乱塊法とした。2005年(造成年)は放牧せず掃除刈りを実施した。2年目以降は肉用繁殖牛6～10頭(体重600～800kg)を供試した。放牧方法は、草丈30cm程度の時期に大凡2～3日間の昼夜放牧を、2006年は8回、2007年は7回、2008年は6回実施した。放牧前後に草量を測定し、前後差法により利用草量(乾物)を求めた。また放牧後は各試験区間の残草量を均一にするために毎回自走式フレールモアで掃除刈りを実施した。

4) 北農研における試験

(1) 耐凍性検定試験

前述の4品種・系統に加えて、全道を普及対象地域としている「リグロ」も比較品種として供試した。1回目は2005年9月7日にペーパーポットに播種し温室内で育苗後、10月3日に野外に搬出し、11月30日に耐凍性検定を実施した。冠部3cmを採取し、各温度水準につき20個体の2反復とした。-3℃で6時間植水後、プログラムフリーザーで1時間当たり1℃降下させて6温度水準で凍結処理を行った。4℃で一晩解水後、パーミキュライトに移植し、4週間後に生死を判定し、プロビット法により半数個体致死温度(LT₅₀)を算出した。2回目の2006年も同様の試験として、9月7日にペーパーポットに播種し、10月3日に野外に搬出し、12月6日に耐凍性検定を実施した。

(2) 雪腐黒色小粒菌核病および紅色雪腐病抵抗性検定試験

耐凍性検定試験と同様に比較品種として「リグロ」を加えた5品種・系統を供試した。2005年9月9日にペーパーポットに1材料14個体4反復で播種し、温室内で育苗後、10月3日に野外に搬出した。12月26日にエンバク種子で培養した雪腐黒色小粒菌核病菌生物型B(*Typhula ishikariensis* Imai var. *ishikariensis*, biotype B) および紅色雪腐病菌(*Monographella nivalis* (Schaffnit) Müller)を各2反復

に接種し、深さ約50cmで埋雪し、雪腐黒色小粒菌核病菌接種苗は65日後、紅色雪腐病菌接種苗は110日後に掘り出し、温室内で再生させて4週間後に生死を調査した。

(3) 兼用利用検定試験

2005年5月17日に播種量200g/aで条播し、試験区は1区が4m×条間0.3m×4条(4.8㎡)の4反復乱塊法とし、3年間調査を実施した。調査は1番草は出穂期に刈取る採草利用条件とし、1番草刈り後は放牧利用を想定し、草丈30cm程度での多回刈りを行った。追肥量は早春追肥がN-P₂O₅-K₂Oで0.7-0.96-0.7kg/aとし、1番草刈り後は各刈り後N-P₂O₅-K₂Oで0.3-0.23-0.3kg/aを施用した。

(4) シロクローバとの混播適性検定試験

シロクローバの「ソーニャ」を供試し、2005年5月17日にメドウフェスクの播種量200g/a、シロクローバを30g/aの割合で散播した。試験区は1区4m×1.2m(4.8㎡)の4反復乱塊法とした。調査は系統適応性検定試験と同じ刈取り処理を実施し、刈取り後の追肥量も同量とした。

(5) 飼料成分の調査

飼料成分分析には、北農研の2006年(2年目)の生産力検定試験および兼用利用検定試験のサンプルを供試した。両試験ともに刈取り時に約500gの生草を採取し、72℃48時間通風乾燥後、ウイレー型ミルで粉碎し、さらにサイクロンミルで1mmメッシュを通して微粉碎した。サンプルは各反復を番草ごとに混合した。

飼料成分分析は十勝農業協同組合連合会農産化学研究所に委託して実施し、粗蛋白質(CP)、酸性デタージェント繊維(ADF)、中性デタージェント繊維(NDF)、細胞内容物(OCC)、高消化性繊維(Oa)、低消化性繊維(Ob)について近赤外分光分析計により測定した。可消化養分総量(TDN)はNRC2001年版飼養標準における推定式により算出された。水溶性炭水化物は、北農研の高速液体クロマトグラフで分析した。

(6) エンドファイト感染率の調査とアルカロイド分析

エンドファイト感染率の検定には「まきばさかえ」の構成親栄養系、「まきばさかえ」と「ハルサカエ」の合成2代種子(各々2003年産, 2001年産)およびそれら種子から発芽させた1ヶ月目の幼苗を供試した。調査方法は、栄養系と幼苗については葉鞘裏面の表層組織を0.1%酸性フクシンを含む乳酸溶液で染色し、光学顕微鏡下で観察した。種子は2.5%水酸化ナトリウム水溶液に16時間浸漬後、同様の染色を行い観察した。

アルカロイド分析には「まきばさかえ」、「ハルサカエ」のエンドファイト感染率の調査に用いたものと同じ合成2代種子および北農研の2006年(2年目)の生産力検定試験における季節別のサンプルを供試した。分析は宮城大学で実施し、種子および植物体を粉碎し、有機溶媒で抽出後、ロリトレム B, エルゴバリン(異性体のエルゴバニンを含む), ペラミンを高速液体クロマトグラフで、ロリン(*N*-ホルミルロリン)をガスクロマトグラフで測定した。

(7) 個体植による特性調査

2005年5月9日にペーパーポットに播種し室内で育苗後、同年7月8日に圃場に定植した。試験区は1区0.8m×0.4m, 15個体で4反復乱塊法とした。

調査は種苗特性分類調査(昭和53年)に従って実施した。

(8) 採種性検定試験

2005年5月20日に播種量50g/aで条播し、試験区は1区4m×条間0.6m×4条(9.6㎡)で、4反復乱塊法とした。調査は中2条について実施した。施肥は早春にN-P₂O₅-K₂Oで0.56-0.77-0.56kg/aを施用し、採種後刈払いを行い0.4-0.29-0.4kg/aを施用した。

2. 試験結果

1) 越冬関連形質

(1) 越冬性

系統適応性検定試験および地域適応性検定試験における各場所の越冬性を Table 8に示した。「まきばさかえ」の越冬性は、土壤凍結地帯の道東4場所(道立畜試, 北見農試, 根釧農試, 十勝牧場)で、全ての年次で「ハルサカエ」より優れるか同程度で、とくに2006年の根釧農試(Photo 1), 十勝牧場, 2008年の北見農試では顕著に優れた。また道東平均および全場所平均ともに、全ての年次で「ハルサカエ」, 「ブラデール」よりも優れた。

早春の草勢を, Table 9に示した。「まきばさかえ」の早春の草勢は2008年の新冠牧場で「ハルサカエ」

Table 8. Winter hardiness¹⁾ of 'Makibasakae' in the regional performance test.

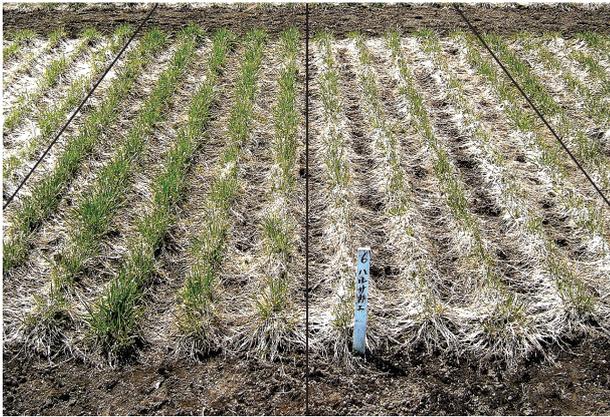
Year	Cultivar	Location							Mean-1 ³⁾	Mean-2 ⁴⁾
		Sapporo	Tenpoku	Shintoku	Kitami	Konsen	Tokachi	Niikappu		
2006	Makibasakae	4.0	6.4	4.1	5.5	7.5	7.5	6.0	6.2	5.9
	Harusakae	4.3	4.8	4.1	4.3	2.3	4.5	5.3	3.8	4.2
	Pradel	3.1	3.5	3.3	5.5	2.0			3.6	3.5
	l.s.d.(0.05) ²⁾	ns	0.7	ns	0.9	1.0	0.8	ns		
2007	Makibasakae	4.5	7.0	5.5	5.5	5.5	6.3	-	5.7	5.7
	Harusakae	3.3	6.0	5.3	5.0	4.8	5.8	-	5.2	5.0
	Pradel	2.0	4.8	4.5	3.8	5.0			4.4	4.0
	l.s.d.(0.05) ²⁾	0.5	0.9	ns	0.5	ns	ns	-		
2008	Makibasakae	5.0	5.5	5.0	7.0	6.0	6.3	5.0	6.1	5.7
	Harusakae	5.5	4.0	4.5	4.3	5.8	5.5	5.0	5.0	4.9
	Pradel	3.9	4.0	4.0	3.0	6.3			4.4	4.2
	l.s.d.(0.05) ²⁾	0.7	0.9	0.5	0.5	ns	ns	ns		
Mean	Makibasakae	4.5	6.3	4.9	6.0	6.3	6.7	5.5	6.0	5.7
	Harusakae	4.3	4.9	4.6	4.5	4.3	5.3	5.1	4.7	4.7
	Pradel	3.0	4.1	3.9	4.1	4.4			4.1	3.9
	l.s.d.(0.05) ²⁾	0.5	0.7	0.5	0.4	0.5	0.4	ns		

1) Rating scale of 1 (poor) to 9 (good).

2) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

3) Average of four locations (Shintoku, Kitami, Konsen and Tokachi) located in the frozen soil area.

4) Average of all locations.



A new cultivar 'Makibasakae' 'Harusakae'

Photo 1. Regrowth of 'Makibasakae' and 'Harusakae' after overwintering (May 19, 2006, Hokkaido Prefectural Konsen Agricultural Experiment Station)

よりも劣ったものの、それ以外の全場所、年次において「ハルサカエ」より優れるか同程度で、越冬性が顕著に優れた2006年の根釧農試、十勝牧場、2008年の北見農試では大きな差異が認められた。また道東平均および全場所平均ともに、全ての年次で「ハルサカエ」、「プラデール」よりも優れた。以上の結果から、「まきばさかえ」の越冬性は「ハルサカエ」、「プラデール」より安定して優れると判断された。

(2) 耐寒性

「まきばさかえ」の凍害区における萌芽程度、早春の草勢は、2006年、2007年ともに「ハルサカエ」、「プラデール」と同程度であった(Table 10)。1番草乾物収量の対照区に対する減収程度は、2006年は「ハルサカエ」と同程度であったが、2007年は「プラデール」より小さかった。このことから、「まきばさかえ」の耐寒性は「ハルサカエ」と同程度の“やや強”と判定され、「プラデール」の“中”よりやや優れると判断された。

(3) 雪腐病抵抗性

2006年は雪腐大粒菌核病(*Myriosclerotinia borealis* (Bubák & Vleagel) Kohn)が著しく発生した。雪腐病害区における「まきばさかえ」の萌芽程度、早春の草勢は「ハルサカエ」、「プラデール」より優れ、1番草乾物収量の対照区に対する減収程度は両品種より小さかった(Table 10)。「ハルサカエ」の雪腐病に対する耐病性を“中”,「プラデール」の耐病性を“中~やや弱”として比較すると,「まきばさかえ」の耐病性(雪腐大粒菌核病)は“強”と判断された。2007年は雪腐大粒菌核病の発生は少なく,雪腐黒色小粒菌核病が発生した。2007年の雪腐病害区における萌芽程度は,「ハルサカエ」と同程度であったが,早春の草勢は優れた(Table 10)。1番草乾物収量の

Table 9. Plant vigor¹⁾ in early spring of 'Makibasakae' in the regional performance test.

Year	Cultivar	Location							Mean-1 ³⁾	Mean-2 ⁴⁾
		Sapporo	Tenpoku	Shintoku	Kitami	Konsen	Tokachi	Niikappu		
2006	Makibasakae	5.5	7.3	6.0	6.8	7.8	7.5	-	7.0	6.8
	Harusakae	4.8	6.0	5.3	5.8	2.8	4.5	-	4.6	4.9
	Pradel	5.3	4.5	3.5	6.3	2.0			3.9	4.3
	I.s.d.(0.05) ²⁾	0.5	0.5	0.8	ns	1.8	0.8	-		
2007	Makibasakae	6.0	-	7.0	6.5	5.5	6.3	5.3	6.3	6.1
	Harusakae	4.3	-	6.3	5.5	5.5	5.8	4.8	5.8	5.4
	Pradel	2.3	-	4.5	4.0	5.8			4.8	4.2
	I.s.d.(0.05) ²⁾	0.8	-	0.7	0.7	ns	ns	0.6		
2008	Makibasakae	5.3	6.0	5.3	7.3	6.0	5.0	5.0	5.9	5.7
	Harusakae	5.0	4.8	4.5	5.5	6.0	5.3	6.0	5.3	5.3
	Pradel	3.5	4.0	3.0	3.3	6.8			4.4	4.1
	I.s.d.(0.05) ²⁾	0.8	1.0	0.8	0.8	1.9	ns	0.6		
Mean	Makibasakae	5.6	6.6	6.1	6.8	6.4	6.3	5.1	6.4	6.1
	Harusakae	4.7	5.4	5.3	5.6	4.8	5.2	5.4	5.2	5.2
	Pradel	3.7	4.3	3.7	4.5	4.8			4.3	4.2
	I.s.d.(0.05) ²⁾	0.4	0.6	0.5	0.5	0.8	0.5	ns		

1) Rating scale of 1 (poor) to 9 (good).

2) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

3) Average of four locations (Shintoku, Kitami, Konsen and Tokachi) located in the frozen soil area.

4) Average of all locations.

Table 10. Freezing tolerance and snow mold resistance of 'Makibasakae' in the cold tolerance test (Konsen, 2006-2007).

Cultivar	2006								
	Degree of sprouting ¹⁾			Plant vigor in early spring ¹⁾			Dry matter yield (kg/a) at 1st cutting ²⁾		
	Control ³⁾	Freezing ⁴⁾	Snow mold ⁵⁾	Control ³⁾	Freezing ⁴⁾	Snow mold ⁵⁾	Control ³⁾	Freezing ⁴⁾	Snow mold ⁵⁾
Makibasakae	7.7	6.2	6.2	7.8	4.2	5.5	19.8	15.4 (78)	15.9 (80)
Harusakae	7.8	6.3	2.5	7.0	3.8	3.3	17.0	13.9 (82)	9.7 (57)
Pradel	6.8	6.2	2.2	6.5	4.0	2.2	18.6	15.9 (85)	9.6 (52)
l.s.d.(0.05) ⁶⁾	ns	ns	1.1	ns	ns	1.0	ns	ns	1.7
Date	8 May			12 May			24 May		
Cultivar	2007								
	Degree of sprouting ¹⁾			Plant vigor in early spring ¹⁾			Dry matter yield (kg/a) at 1st cutting ²⁾		
	Control ³⁾	Freezing ⁴⁾	Snow mold ⁵⁾	Control ³⁾	Freezing ⁴⁾	Snow mold ⁵⁾	Control ³⁾	Freezing ⁴⁾	Snow mold ⁵⁾
Makibasakae	4.8	1.2	4.7	5.8	1.0	5.8	10.4	2.0 (19)	11.3 (108)
Harusakae	4.8	1.2	4.2	5.0	1.0	4.7	8.1	1.2 (15)	9.3 (115)
Pradel	4.0	1.0	3.8	5.0	1.0	4.7	9.7	0.7 (7)	9.3 (96)
l.s.d.(0.05) ⁶⁾	0.4	ns	ns	0.6	ns	0.7	1.1	0.5	1.3
Date	9 May			15 May			1 June		

- 1) Rating scale of 1 (poor) to 9 (good).
- 2) Values in parentheses represent the percentage against the control.
- 3) Fungicide treated and snow covered.
- 4) Fungicide treated and snow removed.
- 5) No fungicide treatment and snow covered.
- 6) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

Table 11. Snow mold resistance of 'Makibasakae' in the artificial inoculation test in Sapporo.

Cultivar	Percentage of surviving plants after inoculation ¹⁾	
	<i>Typhula ishikariensis</i> Imai	<i>Monographella nivalis</i> (Schaffnit) Müller
Makibasakae	78.9 (68.1)	92.1 (73.8)
Harusakae	58.5 (50.3)	60.6 (51.2)
Pradel	39.8 (38.8)	82.4 (71.8)
Regro	52.5 (41.7)	83.1 (66.7)
l.s.d.(0.05) ²⁾	(15.5)	ns

- 1) The data were evaluated in 2005. Numbers in parentheses represent arcsine transformed values.
- 2) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

対照区比は「ハルサカエ」よりも低かったが、「プラデル」よりも高かった。これらの結果から、「まきばさかえ」の耐病性(雪腐黒色小粒菌核病)は、“やや強”で、「ハルサカエ」, 「プラデル」より優れると判断された。以上、2か年の結果を総合的に判断すると、「まきばさかえ」の耐病性は、“強”で「ハルサカエ」の“中”, 「プラデル」の“やや弱”より優れると判断された。

北農研における雪腐黒色小粒菌核病および紅色雪腐病抵抗性検定試験の結果を Table 11 に示した。「まきばさかえ」の病原菌接種後の生存個体率は、どちらの雪腐病に対しても「ハルサカエ」, 「プラデル」および「リグロ」よりも高かった。耐寒性検定試験の結果を併せて総合的に評価すると、「まきばさかえ」の雪腐病抵抗性は「ハルサカエ」, 「プラデル」より優れると判断された。

(4) 耐凍性

Table 12 に各品種・系統の半数個体致死温度 (LT₅₀) を示した。「まきばさかえ」の LT₅₀ 値は「ハルサカエ」, 「プラデル」と同程度で、「リグロ」より低かった。

Table 12. Freezing tolerance¹⁾ of 'Makibasakae' in the artificial freezing test in Sapporo.

Cultivar	LT ₅₀ (°C)		
	2005	2006	Mean
Makibasakae	-21.9	-22.3	-22.1
Harusakae	-22.4	-23.1	-22.7
Pradel	-21.6	-21.8	-21.7
Regro	-18.8	-20.0	-19.4
l.s.d.(0.05) ²⁾	1.3	1.1	

- 1) Freezing tolerance was expressed as LT₅₀ (the median lethal dose temperature that kills of 50% of plants).
- 2) Least significant difference at the 5% level.

2) 収量性

(1) 系統適応性検定試験および地域適応性検定試験

年次場所別乾物収量および「ハルサカエ」を100とした乾物収量の比率を Table 13に示した。「まきばさかえ」の収量は播種年を除き、いずれの場所、年次においても「ハルサカエ」を上回った。播種年を除く3か年合計収量は、北見農試、根釧農試において「まきばさかえ」の「ハルサカエ」比が各々108、110と有意に高く、その他の系適および地適場所では105~115、全場所平均で108、道東平均は107

と多収であった。年次別の道東平均は2006年が107、2007年が104、2008年が110と安定して多収で、これは全場所平均でみた場合も同様であった。特に最終年の2008年は系適場所のいずれにおいても「ハルサカエ」に比べ10%以上の多収であった。また「プラデル」と比べても3か年合計収量は明らかに優れた。

季節別乾物収量の場所別平均を Table 14に示した。季節毎のデータの解析としては、5月、6月の合計を春季、7月、8月の合計を夏季、9月、10月の合計を秋季収量として示した。「まきばさかえ」

Table 13. Annual dry matter yield (kg/a) of 'Makibasakae' in the regional performance test under frequent cutting.

Year	Cultivar	Dry matter yield (kg/a) ¹⁾							Mean-1 ⁴⁾	Mean-2 ⁵⁾
		Sapporo	Tenpoku	Shintoku	Kitami	Konsen	Tokachi	Niikappu		
2005	Makibasakae	33.8 (99)	39.7 (107)	50.1 (99)	7.9 (104)	44.4 (104)	47.7 (96)	48.6 (98)	37.5 (99)	38.9 (100)
	Harusakae	34.0	37.0	50.8	7.6	42.7	49.9	49.4	37.8	38.8
	Pradel	32.7 (96)	39.4 (106)	51.0 (100)	11.0 (145)	44.8 (105)			35.6 (94)	35.8 (92)
	I.s.d.(0.05) ²⁾	ns	ns	ns	1.5	ns	ns	ns		
2006	Makibasakae	42.5 (102)	66.3 (106)	66.8 (101)	89.5 (104)	76.3 (112)	69.5 (113)	95.1 (104)	75.5 (107)	72.3 (106)
	Harusakae	41.7	62.5	65.9	86.2	68.0	61.6	91.2	70.4	68.2
	Pradel	45.8 (110)	60.0 (96)	61.2 (93)	87.1 (101)	68.2 (100)			72.2 (102)	64.5 (95)
	I.s.d.(0.05) ²⁾	3.3	4.1	3.7	ns	5.1	5.5	ns		
2007	Makibasakae	35.9 (126)	55.2 (110)	72.7 (106)	56.6 (107)	41.9 (105)	71.5 (101)	60.9 (109)	60.7 (104)	56.4 (108)
	Harusakae	28.5	50.0	68.6	53.0	40.0	70.8	56.1	58.1	52.4
	Pradel	27.3 (96)	53.6 (107)	65.5 (95)	49.3 (93)	44.1 (110)			53.0 (91)	48.0 (91)
	I.s.d.(0.05) ²⁾	5.4	3.2	ns	3.7	2.2	ns	2.6		
2008	Makibasakae	22.4 (130)	50.4 (110)	63.0 (111)	42.3 (119)	62.3 (111)	80.8 (103)	63.9 (104)	62.1 (110)	55.0 (110)
	Harusakae	17.3	46.0	56.5	35.5	56.1	78.4	61.7	56.6	50.2
	Pradel	15.1 (88)	47.0 (102)	55.8 (99)	32.4 (91)	60.6 (108)			49.6 (88)	42.2 (84)
	I.s.d.(0.05) ²⁾	5.1	ns	4.2	5.0	ns	ns	ns		
Total ³⁾	Makibasakae	100.8 (115)	172.0 (108)	202.5 (106)	188.4 (108)	180.5 (110)	221.9 (105)	219.9 (105)	198.3 (107)	183.7 (108)
	Harusakae	87.4	158.5	190.9	174.6	164.1	210.9	209.0	185.1	170.8
	Pradel	88.2 (101)	160.6 (101)	182.5 (96)	168.7 (97)	173.0 (105)			174.7 (94)	154.6 (91)
	I.s.d.(0.05) ²⁾	ns	ns	12.9	9.9	11.7	ns	ns		

1) Values in parentheses represent the percentage against 'Harusakae'.

2) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

3) Except for seeding year.

4) Average of four locations (Shintoku, Kitami, Konsen and Tokachi) located in the frozen soil area.

5) Average of all locations.

Table 14. Seasonal productivity of 'Makibasakae' in the regional performance test under frequent cutting.

Season	Cultivar	Dry matter yield (kg/a) ¹⁾							Mean-1 ³⁾	Mean-2 ⁴⁾
		Sapporo	Tenpoku	Shintoku	Kitami	Konsen	Tokachi	Niikappu		
Spring (May - June)	Makibasakae	64.3 (109)	74.1 (108)	82.4 (108)	89.0 (111)	67.4 (123)	107.8 (115)	106.8 (109)	86.7 (114)	84.5 (111)
	Harusakae	59.1	68.8	76.6	80.2	54.6	93.5	98.3	76.2	75.9
	Pradel	55.3 (94)	63.0 (92)	66.8 (87)	69.6 (87)	59.2 (108)			65.2 (86)	62.8 (83)
	I.s.d.(0.05) ²⁾	ns	3.9	6.3	7.1	5.7	9.7	ns		
Summer (July - Aug.)	Makibasakae	21.7 (114)	62.8 (104)	79.4 (103)	64.3 (104)	83.2 (102)	78.7 (94)	69.2 (101)	76.4 (100)	65.6 (101)
	Harusakae	19.0	60.5	77.3	62.0	81.9	84.0	68.2	76.3	64.7
	Pradel	20.5 (108)	62.3 (103)	76.3 (99)	62.1 (100)	83.1 (101)			73.8 (97)	60.9 (94)
	I.s.d.(0.05) ²⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Autumn (Sep. - Oct.)	Makibasakae	14.8 (157)	35.0 (119)	40.8 (110)	35.2 (109)	30.0 (109)	35.3 (106)	35.7 (103)	35.3 (108)	32.4 (111)
	Harusakae	9.4	29.3	37.1	32.4	27.6	33.4	34.7	32.6	29.1
	Pradel	12.4 (132)	35.4 (121)	39.4 (106)	37.0 (114)	30.7 (111)			35.7 (109)	31.0 (106)
	I.s.d.(0.05) ²⁾	2.8	2.8	ns	2.1	2.0	ns	ns		

1) Total yield for three years (2006 to 2008) except for seeding year. Values in parentheses represent the percentage against 'Harusakae'.

2) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

3) Average of four locations (Shintoku, Kitami, Konsen and Tokachi) located in the frozen soil area.

4) Average of all locations.

Table 15. The ratio of 4th year dry matter yield against 2nd year dry matter yield in the regional performance test under frequent cutting.

Cultivar	4th year yield / 2nd year yield (%)							Mean-1 ¹⁾	Mean-2 ²⁾
	Sapporo	Tenpoku	Shintoku	Kitami	Konsen	Tokachi	Niikappu		
Makibasakae	53	76	94	47	82	116	67	82	76
Harusakae	41	74	86	41	83	127	68	80	74
Pradel	33	78	91	37	89			69	65

- 1) Average of four locations (Shintoku, Kitami, Konsen and Tokachi) located in the frozen soil area.
- 2) Average of all locations.

は十勝牧場の夏季収量が「ハルサカエ」よりも低かったが、それ以外の場所、季節では「ハルサカエ」と同程度か高かった。道東平均では春季が「ハルサカエ」比114、夏季が100、秋季が108と、春季、秋季に多収で、夏季は同程度であった。この傾向は全場所平均でみた場合も同様であった。また「プラデル」と比べると秋季は同程度であるが、春季、夏季は優れた。

2年目収量に対する4年目の比率をTable 15に示した。「まきばさかえ」の2年目収量に対する4年目の比は、十勝牧場を除いて「ハルサカエ」と同程度か高く、「プラデル」と比べると根釧農試、天北支場でやや低かった。道東平均、全場所平均では「ハルサカエ」よりも2ポイント高く、また十勝牧場は「プラデル」を供試してないため単純に比較は出来ないものの「プラデル」より10ポイント以上高く、経年による収量の落ち込みは「ハルサカエ」と同程度で、「プラデル」より少なかった。

以上のことから、「まきばさかえ」の収量性は年次と場所を通して、「ハルサカエ」、「プラデル」よりも優れ、土壤凍結地帯の道東だけでみた場合も多収で、特に春季と秋季の収量性が高い品種であると判断された。また冬季、夏季の各種ストレスに起因する収量の低下が少なく、年次を通して安定した収量性を示す品種と判断された。

(2) 兼用利用適性

Table 16に北農研における兼用利用検定試験での乾物収量を示した。「まきばさかえ」の1番草および2番草以降の合計収量はいずれの年次においても「ハルサカエ」よりも多収で、3か年平均では「ハルサカエ」比が116、114であった。また「プラデル」と比較した場合、「まきばさかえ」の2006年合計収量は劣ったが、2007年、2008年は優れた。

3) 放牧適性

Table 17に放牧適性試験結果を示した。放牧適性に関する要因としては植生、永続性、生産力、採食性があり、植生は主に秋の基底被度から、永続性は生産力と植生から、採食性は利用草量、採食程度から判断される。「まきばさかえ」は試験最終年の4年目(2008年)の秋のメドウフェスク被度および放牧前乾物草量が「ハルサカエ」より高く、利用草量は同程度であった。以上の結果から、「まきばさかえ」は「ハルサカエ」に比べ、植生、永続性および生産力がやや優れ、採食性が同程度であることから、放牧適性は「ハルサカエ」よりやや優れると判断された。

4) 混播適性

Table 18, 19にシロクローバとの混播適性検定試験における年間および季節別合計乾物収量(メドウ

Table 16. Annual dry matter yield of 'Makibasakae' in dual-purpose management with a combination of cutting for 1st harvesting and aftermath grazing in Sapporo.

Year	Cultivar	Dry matter yield (kg/a) ¹⁾		
		1st cutting at heading stage	After 1st cutting ²⁾	Total
2006	Makibasakae	39.1 (118)	21.7 (110)	60.8 (115)
	Harusakae	33.1	19.8	52.8
	Pradel	51.0 (154)	24.0 (122)	75.1 (142)
	L.s.d.(0.05) ³⁾	5.1	2.2	6.2
2007	Makibasakae	54.0 (124)	16.3 (108)	70.4 (120)
	Harusakae	43.6	15.1	58.7
	Pradel	36.2 (83)	14.6 (97)	50.8 (86)
	L.s.d.(0.05) ³⁾	5.3	1.7	6.2
2008	Makibasakae	26.5 (102)	12.5 (132)	39.0 (110)
	Harusakae	26.0	9.5	35.5
	Pradel	26.1 (100)	9.2 (97)	35.3 (99)
	L.s.d.(0.05) ³⁾	ns	2.1	ns
Mean	Makibasakae	39.9 (116)	16.8 (114)	56.7 (116)
	Harusakae	34.2	14.8	49.0
	Pradel	37.8 (110)	16.0 (108)	53.7 (110)
	L.s.d.(0.05) ³⁾	2.4	1.3	3.0

- 1) Values in parentheses represent the percentage against 'Harusakae'.
- 2) Total yield of frequent cutting after 1st cutting.
- 3) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

Table17. Grazing adaptability of 'Makibasakae' in Shintoku.

Cultivar	Degree of basal coverage in late autumn (%)				Herbage dry matter mass (kg/a) before grazing ¹⁾				Herbage intake (kg/a) ²⁾			
	2006	2007	2008	Mean	2006	2007	2008	Total	2006	2007	2008	Total
Makibasakae	88.0	86.0	81.0	85.0	65.3 (110) ³⁾	45.4 (100)	45.2 (103)	155.9 (105)	34.5 (114)	25.8 (96)	24.1 (95)	84.4 (102)
Harusakae	89.0	83.0	74.0	82.0	59.1	45.6	44.0	148.7	30.2	26.8	25.5	82.5
l.s.d.(0.05) ⁴⁾	ns	ns	ns	ns	4.2	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

- 1) Annual dry matter yield.
- 2) The data were measured by clipping samples prior to and after grazing.
- 3) Values in parentheses represent the percentage against 'Harusakae'.
- 4) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

Table 18. Dry matter yield and proportion of white clover under frequent cutting in meadow fescue-white clover mixed sown sward in Sapporo.

Cultivar	Total dry matter yield (kg/a) ¹⁾				Proportion of white clover (%)			
	2006	2007	2008	Total	2006	2007	2008	Mean
Makibasakae	72.2 (107)	63.7 (104)	63.1 (111)	199.0 (107)	13.4	6.5	3.8	7.9
Harusakae	67.6	61.5	56.9	186.0	16.0	9.2	5.0	10.1
Pradel	79.9 (118)	60.4 (98)	62.0 (109)	202.2 (109)	13.7	8.0	5.2	9.0
l.s.d.(0.05) ²⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

- 1) Values in parentheses represent the percentage against 'Harusakae'.
- 2) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

Table19. Seasonal productivity and proportion of white clover under frequent cutting in meadow fescue-white clover mixed sown sward in Sapporo.

Cultivar	Total dry matter yield (kg/a) ¹⁾			Proportion of white clover (%)		
	Spring	Summer	Autumn	Spring	Summer	Autumn
Makibasakae	108.6 (104)	47.0 (101)	43.5 (123)	5.8	9.8	8.5
Harusakae	104.3	46.3	35.4	7.1	12.3	11.0
Pradel	104.0 (99)	51.2 (111)	47.0 (133)	6.6	11.9	9.2
l.s.d.(0.05) ²⁾	ns	ns	2.8	ns	ns	ns

- 1) Total yield for three years (2006 to 2008) except for seeding year. Values in parentheses represent the percentage against 'Harusakae'.
- 2) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

フェスクとシロクローバの合計)と乾物収量比率によるシロクローバ率を示した。「まきばさかえ」区の乾物収量は、2006年から2008年のいずれの年次においても「ハルサカエ」区を上回り、3年間合計で多収であった。「プラデール」区と比べた場合は、2006年は低かったものの、その後はやや高く経過し3年間合計では同程度であった。また季節別の乾物収量は、「まきばさかえ」区が「ハルサカエ」区よりも秋季の収量が高く、「プラデール」区より夏季、秋季の収量が低かった。シロクローバ率はいずれの年次および季節においても「まきばさかえ」区が、「ハルサカエ」区、「プラデール」区よりもやや低かった。以上、シロクローバを混播した場合、「まきばさかえ」区の収量性は、「ハルサカエ」区より優れ、「プラデール」区と同程度であり、またシロクローバに対する

競合力は「ハルサカエ」、「プラデール」よりもやや高いと判断された。

5) 耐病性

夏から秋にかけて発生する網斑病(*Drechslera dictyoides* (Drechsler) Shoemaker)は4場所で発生がみられ、罹病程度は年次平均で「ハルサカエ」、「プラデール」と同程度であり、「まきばさかえ」の網斑病に対する耐病性は「ハルサカエ」並と判断された(Table 20)。かさ枯病(*Pseudomonas syringae* pv. *atropurpurea* (Reddy and Godkin) Young, Dye and Wilkie)は北農研と北見農試でのみ認められ、罹病程度は「ハルサカエ」よりもやや高かったが、「プラデール」と同程度であった。したがって「まきばさかえ」のかさ枯病に対する耐病性は「ハルサカエ」

Table20. Susceptibility¹⁾ to net blotch caused by *Drechslera dictyoides* (Drechsler) Shoemaker and halo blight caused by *Pseudomonas syringae* pv. *atropurpurea* (Reddy and Godkin) Young, Dye and Wilkie under natural infection in the fields.

Disease	Location	No. of observations	Makibasakae	Harusakae	Pradel
Net blotch	Sapporo	4	2.4	2.5	2.5
	Tenpoku	1	1.3	1.0	1.3
	Shintoku	2	2.3	2.4	1.9
	Konsen	1	1.5	1.8	2.0
	Mean		2.2	2.3	2.2
Halo blight	Sapporo	8	2.4	2.0	2.2
	Kitami	12	1.9	1.7	2.1
	Mean		2.1	1.9	2.1

1) Rating scale of 1 (slight) to 9 (severe). Average of each observation.

よりやや弱いと判断された (Table 20)。

6) 飼料品質

Table 21に北農研における系統適応性検定試験の季節別の飼料品質を示した。季節平均の「まきばさ

かえ」の各種飼料成分は「ハルサカエ」, 「プラデール」と同程度であった。また兼用利用試験における各成分の年間平均も同程度であった(データ省略)。以上の結果から、「まきばさかえ」の飼料品質は「ハルサカエ」, 「プラデール」と同程度と判断された。

Table 21. Forage quality¹⁾ of 'Makibasakae'.

Composition	Cultivar	Spring ²⁾	Summer ³⁾	Autumn ⁴⁾	Mean
Crude protein (CP, %DM)	Makibasakae	19.8	18.5	23.5	20.9
	Harusakae	18.4	18.8	23.6	20.4
	Pradel	19.1	17.9	21.9	19.9
Acid detergent fiber (ADF, %DM)	Makibasakae	25.0	28.5	24.2	25.6
	Harusakae	26.2	29.1	25.3	26.6
	Pradel	26.6	29.9	25.7	27.1
Neutral detergent fiber (NDF, %DM)	Makibasakae	44.8	50.0	43.6	45.7
	Harusakae	46.6	50.8	45.3	47.2
	Pradel	47.2	52.0	45.8	47.9
Organic cellular content (OCC, %DM)	Makibasakae	44.7	37.9	45.7	43.4
	Harusakae	41.6	36.5	43.5	41.0
	Pradel	42.1	35.6	43.5	41.0
Organic cell wall (OCW, %DM)	Makibasakae	44.4	49.9	43.2	45.3
	Harusakae	46.4	50.8	45.0	47.0
	Pradel	47.0	52.2	45.5	47.7
Organic a fraction (Oa, %DM) (high digestible fiber)	Makibasakae	17.3	13.4	13.1	14.8
	Harusakae	16.9	17.4	13.8	15.9
	Pradel	18.4	15.8	12.6	15.6
Organic b fraction (Ob, %DM) (low digestible fiber)	Makibasakae	27.1	36.6	30.1	30.6
	Harusakae	29.4	33.5	31.2	31.1
	Pradel	28.6	36.3	32.9	32.2
Water soluble carbohydrate (WSC, %DM)	Makibasakae	13.2	7.2	12.6	11.5
	Harusakae	13.5	8.1	14.0	12.3
	Pradel	12.7	7.5	13.2	11.6
Estimated total digestible nutrients (TDN, %DM)	Makibasakae	70.8	67.7	73.4	71.0
	Harusakae	68.6	68.6	72.2	69.9
	Pradel	70.2	67.8	71.1	70.0

1) Forage was sampled at Sapporo in 2006.

2) Average of 1st to 3rd cutting in May to June.

3) Average of 4th and 5th cutting in July to Aug.

4) Average of 6th to 8th cutting in Sep. to Oct.

7) エンドファイト

エンドファイト (*Neotyphodium uncinatum*) 感染率およびアルカロイド分析結果を各々 Table 22, 23 に示した。「まきばさかえ」の5つの構成親栄養系の全てにエンドファイトの菌糸が確認された。また種子および幼苗における感染率はそれぞれ92, 83%であった。種子および茎葉のいずれのサンプルにおいても「まきばさかえ」は「ハルサカエ」と同様に家畜に有害なエルゴバリン, ロリトレム B は検出限界以下であった。また家畜に有害な毒性はなく, 昆虫に対する忌避作用などを示すペラミン, *N*-ホルミルロリンのうち, ペラミンは検出限界以下であったが, *N*-ホルミルロリンは全てのサンプルで検出され, 種子に多く含まれ, 「ハルサカエ」と同程度であった。

8) 早晩性

北農研における個体植特性試験, 採種性検定試験および兼用利用試験の出穂始を Table 24に示した。「まきばさかえ」の出穂始は, 各試験で約1日「ハルサカエ」よりも早かった。「北海15号」は「ハルサカエ」と同じ早生に属すると判断された。

9) 形態的特性

Table 25に北農研における個体植特性試験の結果を示した。「まきばさかえ」の形態的特性で, 「ハルサカエ」との間に有意差がみられた形質はなかった。草型は中間型であるが, 「ハルサカエ」よりもやや直立型で, 草丈, 稈長はやや長かった(Photo 2)。形態的特性の系統内個体間変異については, 「まきばさかえ」と「ハルサカエ」との間に標準偏差に有意差が認められた形質はなく(データ省略), 「まき

Table 22. Percentage of endophyte (*Neotyphodium uncinatum*) infection in 'Makibasakae'.

Cultivar	Percentage of endophyte infection		
	Parental clone ¹⁾	Seed ²⁾	Seedling ²⁾
Makibasakae	100 (5)	92 (95)	83 (83)
Harusakae	87.5 (8)	81 (128)	79 (72)

- 1) Numbers in parentheses represent the number of parental clones examined.
- 2) Numbers in parentheses represent the number of samples examined.

Table 23. Concentration of four major alkaloids produced by endophyte (*Neotyphodium uncinatum*) in 'Makibasakae'.

Sample	Cultivar	Alkaloid ¹⁾			
		Lolitre B	Ergovaline	Peramine	<i>N</i> -formyl loline ²⁾
Seed (Syn2 generation)	Makibasakae	ND	ND	ND	514
	Harusakae	ND	ND	ND	431
1st cutting	Makibasakae	ND	ND	ND	93
	Harusakae	ND	ND	ND	67
5th cutting	Makibasakae	ND	ND	ND	194
	Harusakae	ND	ND	ND	138
8th cutting	Makibasakae	ND	ND	ND	91
	Harusakae	ND	ND	ND	89

- 1) ND, not detected. The detection limits of lolitre B, ergovaline and peramine were 0.87, 0.27 and 67 ppb, respectively.
- 2) *N*-formyl loline concentration is expressed as ppm.

Table 24. Date of ear emergence of 'Makibasakae' in three experiment tests in Sapporo.

Cultivar	Morphological characteristics test ¹⁾	Seed yield test ²⁾	Dual-purpose test by combined cutting with grazing ²⁾	
				Mean
Makibasakae	5 June	8 June	4 June	5 June
Harusakae	6 June	9 June	5 June	6 June

- 1) Average for two years (2006 and 2007).
- 2) Average for three years (2006 to 2008).

Table 25. Morphological characteristics¹⁾ of 'Makibasakae' in a spaced planting in Sapporo.

Cultivar	Plant type ²⁾	Plant height (cm)	Culm length (cm)	No. of panicles ³⁾	Panicle length (cm)	Culm thickness (mm)	Leaf length (cm)	Leaf width (mm)
Makibasakae	4.8 ± 1.0	112.1 ± 7.7	95.1 ± 7.2	5.0 ± 1.4	17.1 ± 4.6	1.6 ± 0.3	18.0 ± 3.2	8.2 ± 1.4
Harusakae	5.1 ± 1.3	110.4 ± 7.6	92.3 ± 8.4	5.1 ± 1.4	17.9 ± 4.2	1.5 ± 0.2	18.2 ± 3.8	8.3 ± 1.1
l.s.d.(0.05) ⁴⁾	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

- 1) The data were evaluated in 2006. Values are means ± standard deviation of 60 plants.
- 2) Rating scale of 1 (erect) to 9 (prostrate).
- 3) Rating scale of 1 (few) to 9 (many).
- 4) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.



'Harusakae' A new cultivar 'Makibasakae'

Photo 2. Plants at heading stage
(June 13, 2006, National Agricultural Research
Center for Hokkaido Region)

ばさかえ」の系統内変異は正常の範囲内であると判断された。

10) 採種性

採種量および採種性に関連する形質を Table 26 に示した。「まきばさかえ」の種子収量は、2006年は「ハルサカエ」よりもやや多く、2007年は多く、2008年は同程度で、平均では「ハルサカエ」より多かった。また2007年は2006年、2008年に比べて「まきばさかえ」、「ハルサカエ」ともに2倍以上の種子収量があったが、これは2007年の穂数が多かったことに起因した。3か年平均の穂数、千粒重は同程度

であるが、1穂当たり種子重は「ハルサカエ」よりもやや多かった。以上の結果から、「まきばさかえ」の採種性は「ハルサカエ」よりもやや優れると判断された。

IV. 考 察

メドウフェスクは北海道の基幹イネ科牧草であるチモシー、オーチャードグラスに比べ年間収量は少ないものの季節生産性が平準化していることから、これまで主に夏季から秋季の主幹草種の生産性を補完する補助草種として混播利用されてきた。公的育成機関は北農研のみで、これまでに「トモサカエ」、「ハルサカエ」の2品種を育成してきた。また海外導入品種の「ブラデール」や民間育成品種も流通しており、2012年現在北海道における優良品種は「まきばさかえ」、「ハルサカエ」を含め4品種である。近年、酪農経営のゆとりと持続的安定生産の実現のため、栄養価の高い牧草を短期輪換放牧する集約放牧が注目されている。集約放牧が最も適する草種であるペレニアルライグラスは北海道西部の積雪地帯では利用可能であるが、土壤凍結を伴う道東では栽培が困難である。そこで北農研では2003年度から2007年度にかけて「寒地中規模酪農における集約放牧技術の確立」プロジェクトを実施し、その中で土壤凍結地帯の集約放牧にメドウフェスク「ハルサカエ」が利用可能であり、同頭数の舎飼いに比べて経営面積は増加するものの、飼料自給率の上昇により

Table 26. Seed yield and its related characteristics of 'Makibasakae' in Sapporo.

Cultivar	Seed yield (kg/a)				No. of panicles(/ m ²)				Seed weight per panicle ¹⁾ (g)	Thousand seed weight (g)
	2006	2007	2008	Mean	2006	2007	2008	Mean		
Makibasakae	3.7	11.3	3.8	6.3	162	496	186	281	0.24	2.14
Harusakae	3.3	8.0	3.7	5.0	126	497	234	285	0.22	2.11
l.s.d.(0.05) ²⁾	ns	1.6	ns	1.0	ns	ns	ns	ns	ns	ns

- 1) Average of 10 panicles for three years(2006 to 2008).
- 2) Least significant difference at the 5% level; ns, not significant.

所得が向上するとともに労働時間も短縮されることを明らかにしている(藤田・相原, 2008)。「ハルサカエ」は、北海道および本州中部以北の高冷地に適する越冬性の改良を主な育種目標に、1982年から育種を開始し、1999年に北農研で育成された品種である(高井ら, 2001)。選抜基礎集団の育成段階から幼苗での耐凍性選抜を行い、栄養系の評価後、優良栄養系間の多交配後代検定から選抜した8栄養系により構成されている。8栄養系のうち半分の4栄養系は耐凍性の幼苗選抜で生き残ったスウェーデン育成品種の「Boris」に由来する材料であり、またそれらは北農研の試験圃場で長年保存されていた材料でもあることから雪腐病抵抗性にも優れたものとなっている。当初、利用場面としては採草利用が想定され、年間3回の刈取りで栄養系評価が行われたが、メドウフェスクへの放牧利用への期待が高まってきたことから多回刈りでの後代検定も一部行われた。しかし、その評価は個体レベルの評価にとどまり、収量性、季節生産性を十分加味したものではなかった。そこで、本格的に土壤凍結地帯向きの集約放牧用品種の育成を行うため、土壤凍結地帯に位置する根釧農試と共同研究を開始し、越冬性の圃場選抜と集約放牧を想定した短草・多回刈りでの生産力検定を取り入れて育成した品種が「まきばさかえ」である。

「まきばさかえ」の大きな特徴は越冬性に優れることであり、特に「まきばさかえ」は雪腐病抵抗性が「ハルサカエ」よりも大きく改良されている。イネ科牧草の冬枯れの原因はほとんどが雪腐病と凍結による害であり(能代・平島, 1978; 阿部, 1986)、道東は北海道西部に比べ、冬季の気温が低く、根雪開始が遅く積雪量が少ないため植物組織に凍害が発生し、雪腐病菌の中でも最も低温に適応した雪腐大粒菌核病の発生が多い。しかし、最近では土壤凍結が弱まり、積雪量が多くなるなど、冬季気象条件の変化により雪腐病の発生様相も変化している(松本, 2010)。「まきばさかえ」の雪腐大粒菌核病に対する耐病性は「ハルサカエ」より優れ、また根釧農試、北見農試、十勝牧場における越冬性の観察結果や北農研での雪腐病菌の接種検定により雪腐黒色小粒菌核病、紅色雪腐病に対しても優れることから、気候変動に伴う雪腐病の発生相の変化にも対応可能なものと考えられる。一般に種々の雪腐病菌に対する抵抗性間には相互に類似した関係が存在することが多

く(JAMALAINEN, 1974)、「まきばさかえ」の場合もこのことを裏付けるものである。越冬性に関するもう一つの要因である耐凍性については、根釧農試の耐寒性検定や北農研の耐凍性検定結果では、「ハルサカエ」と同程度であり、耐凍性の改良は不十分であった。雪腐病抵抗性が「ハルサカエ」よりも優れるものの、耐凍性は同程度であった理由として、栄養系の選抜が行われた1994年から1996年および後代検定の行われた1998年から2000年の冬季気象条件は、1994年を除き土壤凍結が平年よりも浅く、根雪期間はやや長かったことから、雪腐病に対する選抜効果はあったものの耐凍性に関しては厳しい選抜が行われなかったことによるものと推察される。しかしながら、「まきばさかえ」の系統適応性検定試験における越冬性は、土壤凍結地帯に位置する道立畜試、北見農試、根釧農試、十勝牧場において、試験期間の全ての年次で「ハルサカエ」より優れるか同程度であったことから、総合的にみて越冬性は「ハルサカエ」より向上していると判断される。現地選抜の有効性は、既にアカクロバ「ナツユウ」の育成でも示されており(磯部ら, 2002)、土壤凍結が厳しい根釧地域での選抜により「ナツユウ」は北海道優良品種の中で最高水準の耐寒性をもつ品種となっている。また、オーチャードグラスでも北農研育成品種・系統を育成地より越冬条件の厳しいロシア(ハバロフスク)で選抜した材料は耐凍性の改良が認められている(眞田ら, 2006)。

「まきばさかえ」のもう一つの特徴は、集約放牧利用を想定した短草・多回刈りでの収量性に優れることである。系統適応性検定試験の播種年を除く3か年合計収量の全場所平均は「ハルサカエ」比で108、また道東平均でも107と高く、放牧利用として重要な季節別の収量も夏季は「ハルサカエ」と同程度であったが、春季、秋季は多収であり改良の程度は大きかった。合成品種である「まきばさかえ」の構成栄養系は、北農研だけでなく根釧農試での栄養系選抜とその後の短草・多回刈り条件下での後代検定により決定されている。合成品種法は組合せ能力検定により、能力の高い遺伝子型を選び、他殖性に特徴的なヘテロシスをより積極的に利用するものである。これまでチモシーやオーチャードグラスなどの合成品種は、組合せ能力の検定に多くの時間と労力が必要となることや試験精度の問題等で後代検定を省略される場合が多かった。しかし、合成品種法

は、ヘテロシスをできる限り利用しようとするものであり、組合せ能力の検定は本来不可欠である。とくに収量や環境ストレス耐性など遺伝率の低い形質の選抜には後代検定は重要であり、「まきばさかえ」はその結果として「ハルサカエ」よりも収量性、越冬性に優れる結果が得られたものと考えられる。他殖性イネ科牧草においては後代検定を組み入れた選抜を繰り返し、優良遺伝子の集積と固定を図る育種が重要で、多くのイネ科牧草でその改良効果が認められていることから(BURTON, 1992; VOGEL and PEDERSEN, 1993)、今後、収量性の向上が認められなかった夏季収量の改良も含め後代検定を組み入れた循環選抜法を取り入れていくことが必要である。またメドウフェスク品種の遺伝的変異はペレニアルライグラスやオーチャードグラスに比べると小さいもの(KÖLLIKER *et al.*, 1999)、ヨーロッパの遺伝資源の中には異なる環境下での適応性において大きな変異があることや(CASLER and VAN SANTEN, 2000)、またノルウェーの在来集団内に大きな表現型の多様性も見出されており(FJELLHEIM *et al.*, 2007)、既存遺伝資源を再度見直すことも重要なものと考えられる。

「まきばさかえ」の育成により、冬季越冬条件の厳しい土壤凍結地帯でも安定した集約放牧が可能であるが、さらなる放牧用品種の改良方向としてはペレニアルライグラス並に再生力に優れ、季節生産性が平準化し、兼用利用も可能な品種育成を目指す必要がある。放牧用草種にとって永続性、再生力に優れることや季節生産性が平準化していることは最も基本的な形質であるが、それとともに集約放牧は短期輪換放牧により短草状態の牧草を安定的に放牧牛に供給するものであり、兼用利用は春季草量調整のための一手段として実際の利用場面では重要な草地管理方法である。メドウフェスクの集約利用条件下での兼用利用適性は、ペレニアルライグラスよりも再生力、茎数密度、葉部割合などが低下することから草種としてその適性がやや劣る。また土壤凍結地帯で「ハルサカエ」を用いた兼用利用試験では、2年目に個体密度が低下し、それに伴い収量が低下することが明らかになり、利用方法としては放牧利用が主体とされている(松村ら, 2008)。このことから現在土壤凍結地帯ではメドウフェスクは放牧専用とし、兼用利用にはチモシーの利用が進められている。「まきばさかえ」は北農研での兼用利用試

験で「ハルサカエ」より収量性が高いことから、「ハルサカエ」よりその適性は高いと考えるが、土壤凍結地帯での試験は実施しておらず今後検討する必要があると考える。

道東でも放牧用草種として「ペレニアルライグラスを利用したい」という潜在的需要は大きい。より積極的にペレニアルライグラスの特性を具備した品種を育成するためには、メドウフェスクとペレニアルライグラスとの属間雑種であるフェストロリウムの開発を進める必要があり、現在その研究を推進している。フェストロリウムはフェスク類のもつ優れた耐寒性や耐旱性などの環境ストレス耐性および永続性と、ライグラス類のもつ優れた消化性、再生力、収量性などを併せ持つように育成された属間雑種である(ZWIERZYKOWSKI, 2004)。フェスク類としてはメドウフェスクやトールフェスク、ライグラス類としてはイタリアンライグラスやペレニアルライグラスが主に利用される。品種はフェスクとライグラスの雑種に由来する複倍数性品種と、フェスクまたはライグラスの目的とする遺伝子のみを導入するため、戻し交雑により育成された移入交雑品種がある。品種育成はチェコ、ポーランドなどヨーロッパを中心に、主にイタリアンライグラスとメドウフェスクの組合せにより行われており、2012年現在 OECD には33品種が登録されている(OECD, 2012)。国内でも寒冷地の中標高以下の転作田や飼料畑での採草利用に適する「東北1号」(米丸ら, 2011)、「イカロス」が育成されているが、いずれも寒地での放牧利用に適した品種ではない。近年育成されたフェストロリウム品種を用い、寒地での適応性を多雪・非土壤凍結地帯の北農研と寡雪・土壤凍結地帯の根釧農試で2か年評価したところ、既存フェストロリウム品種の中にメドウフェスクと同程度に越冬性あるいは耐凍性に優れる品種が認められたことから(田瀬ら, 2008)、冬季気象条件の厳しい道東でも利用可能なフェストロリウム品種の育成は可能と考えられる。

V. 適地および栽培・利用上の留意点

適地地域は北海道全域で、とくに寒さの厳しい道東などの土壤凍結地帯である。普及見込み面積は6,000haである。今後、種子の供給に伴い「ハルサカエ」に置き換える。現在、家畜改良センター十勝牧場で増殖された原種を用い海外増殖が行われている。

る。放牧地での放牧専用利用を主体とし、集約放牧に利用できる。

VI. 謝 辞

圃場試験は北海道農業研究センター研究支援センターの森下春雄氏、武市利幸氏をはじめとする歴代の業務科職員の協力のもとで実施された。系統適応性検定試験、特性検定試験、地域適応性検定試験は以下の場所(試験実施当時の名称)、担当者(試験実施当時在籍)により実施された。またアルカロイド分析は宮城大学食産業学部教授井上達志博士にご協力を賜った。担当して頂いた数多くの方々に厚くお礼を申し上げます。

系統適応性検定試験場所

北海道立上川農業試験場天北支場：飯田憲司、藤井弘毅、佐藤公一、吉澤 晃

北海道立畜産試験場：飯田憲司、伊藤憲治、中村克己、出口健三郎、玉置宏之、吉田昌幸、澤田嘉昭

北海道立北見農業試験場(協力場所)：足利和紀、玉置宏之、佐藤公一、田中常喜、藤井弘毅

北海道立根釧農業試験場：林 拓、佐藤尚親、牧野 司、出口健三郎

特性検定試験場所

北海道立根釧農業試験場(耐寒性検定試験)：林拓、佐藤尚親、牧野 司、出口健三郎

北海道立畜産試験場(放牧適性検定試験)：飯田憲司、伊藤憲治、中村克己、出口健三郎、玉置宏之、吉田昌幸、澤田嘉昭

地域適応性検定試験場所

家畜改良センター十勝牧場：井戸陸己、伴苗行弘、才野 真、山角尚規、前垣正行

家畜改良センター新冠牧場：佐々木政紀、野崎治彦、西田理恵、内山強志、太田浩之

本報告の作成に当たっては、北海道農業研究センター酪農研究領域長古川力博士にご校閲を賜った。ここに記して謝意を表する。

VII. 摘 要

メドウフェスク新品種「まきばさかえ」は、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター寒地飼料作物育種研究チーム(現、北海道農業研究センター酪農研究領域イネ科牧草育種班)と北海道立根釧農業試験場作物科(現、地方独

立行政法人北海道立総合研究機構根釧農業試験場飼料環境グループ作物班)で育成された。「まきばさかえ」は2009年2月に北海道優良品種に認定され、2010年3月にはメドウフェスク農林合3号「まきばさかえ」として農林認定された。「まきばさかえ」は5栄養系より成る合成品種で、構成栄養系の由来は、オランダの品種「Bundy」から1栄養系、ノルウェーの品種「Salten」から2栄養系およびスウェーデンの品種「Boris」から耐凍性で選抜した2栄養系である。

「まきばさかえ」の特性は以下の通りである。

1. 越冬性および早春の草勢は、「ハルサカエ」、「プラデール」より安定して優れ、とくに土壤凍結地帯の道東においては両品種との差が大きい。
2. 雪腐大粒菌核病に対する耐病性は、“強”で「ハルサカエ」、「プラデール」より優れる。また雪腐黒色小粒菌核病抵抗性も「ハルサカエ」、「プラデール」より優れる。耐寒性は、“やや強”で「ハルサカエ」と同程度で、「プラデール」より優れる。
3. 集約放牧利用を想定した短草・多回刈りでの3か年合計乾物収量は「ハルサカエ」比108、道東平均でも107と多収である。いずれの年次においても「ハルサカエ」を上回り安定した収量性を示す。また「プラデール」と比較しても明らかに優れる。季節生産性は「ハルサカエ」より春季と秋季に優れ、夏季は同程度である。
4. 放牧試験によるメドウフェスク被度は「ハルサカエ」より高く、放牧前草量はやや優れ、利用草量、採食程度は同程度であり、放牧適性は「ハルサカエ」よりやや優れる。
5. 兼用利用での乾物収量は、1番草および2番草以降の多回刈り合計ともに「ハルサカエ」、「プラデール」より優れる。
6. シロクローバ混播条件でのマメ科率は、「ハルサカエ」、「プラデール」よりやや低いことから競合力はやや高い。
7. 網斑病罹病程度は「ハルサカエ」、「プラデール」と同程度で、かさ枯病罹病程度は「ハルサカエ」よりやや高い。
8. 出穂始は「ハルサカエ」より約1日早い“早生”に属する。
9. 草型は「ハルサカエ」と同様の中間型である。
10. 飼料品質は「ハルサカエ」、「プラデール」と同

程度である。

11. エンドファイト感染率は92%であるが、家畜毒性に係わるエルゴバリン、ロリトレム B は「ハルサカエ」同様検出限界以下である。
12. 採種性は「ハルサカエ」よりやや優れる。

引用文献

- 1) 阿部二郎(1986)：寒地型イネ科牧草の耐凍性と雪腐病抵抗性に関する品種間差異. 北海道農試研報, 146, 89-143.
- 2) BURTON, G.W.(1992)：Restricted recurrent phenotypic selection. *Plant Breeding Reviews*, 9, 101-113.
- 3) CASLER, M.D. and E. VAN SANTEN(2000)：Patterns of variation in a collection of meadow fescue accessions. *Crop Sci.*, 40, 248-255.
- 4) 藤田直聡, 相原克磨(2008)：畑地型集約放牧技術の経営評価と地域への波及効果の解明 寒地中規模酪農における集約放牧技術の確立, 北海道農研プロジェクト研究成果シリーズ, 4, 158-166.
- 5) FJELLHEIM, S., Å.B. BLOMLIE, P. MARUM and O.A. ROGNLI(2007)：Phenotypic variation in local populations and cultivars of meadow fescue - potential for improving cultivars by utilizing wild germplasm. *Plant Breeding*, 126, 279-286.
- 6) 磯部祥子, 我有 満, 山口秀和, 内山和宏, 眞木芳助, 松浦正宏, 植田精一, 澤井 晃, 堤光昭, 竹田芳彦, 中島和彦(2002)：アカクローバ品種「ナツユウ」の育成とその特性. 北海道農試研報, 177, 1-14.
- 7) JAMALAINEN, E.A.(1974)：Resistance in winter cereals and grasses to low temperature parasitic fungi. *Ann. Rev. Phytopathol.*, 12, 281-302.
- 8) KÖLLIKER, R., F.J. SRADELMANN, B. REIDY and J. NÖSBERGER(1999)：Genetic variability of forage grass cultivars: A comparison of *Festuca pratensis* Huds., *Lolium perenne* L., and *Dactylis glomerata* L. *Euphytica*, 106, 261-270.
- 9) 松本直幸(2010)：雪腐病(5). 北農, 77, 135-141.
- 10) 松村哲夫, 須藤賢司, 篠田 満(2008)：土壤凍結地帯におけるメドウフェスク新品種「ハルサカエ」主体草地の維持管理・利用技術の開発 寒地中規模酪農における集約放牧技術の確立, 北海道農研プロジェクト研究成果シリーズ, 4, 55-60.
- 11) 能代昌雄, 平島利昭(1978)：牧草の耐凍性に関する研究. I. 北海道根釧地方におけるイネ科牧草の凍害と雪腐大粒菌核病害. *日草誌*, 23, 289-294.
- 12) OECD (2012)：Grasses and Legumes. In : List of varieties eligible for seed certification 2012, OECD, Paris, 25-100.
- 13) 眞田康治, 高井智之, 山田敏彦(2006)：北方圏における作物の低温ストレス耐性向上技術に関する国際共同研究, 北海道農研プロジェクト研究成果シリーズ, 3, 51-55.
- 14) 須藤賢司(2004)：搾乳牛の集約放牧技術の確立に関する研究. -メドウフェスク草地を焦点として-. 北農研研報, 181, 43-87.
- 15) 高井智之, 中山貞夫, 寺田康道, 宝示戸貞雄, 大同久明, 荒木 博, 水野和彦, 杉田紳一, 伊藤公一(2001)：メドウフェスクの新品種「ハルサカエ」の育成とその特性. 北海道農試研報, 173, 47-62.
- 16) 田瀬和浩, 佐藤尚親, 田村健一, 眞田康治, 小松敏憲(2008)：寒地におけるフェストロリウム品種の越冬性の評価. *日草誌*, 54, 249-256.
- 17) VOGEL, K.P. and J.F. PEDERSEN(1993)：Breeding systems for cross-pollinated perennial grasses. *Plant Breeding Reviews*, 11, 251-274.
- 18) 米丸淳一, 上山泰史, 久保田明人(2011)：フェストロリウム新品種「東北1号」の育成. 東北農研研報, 113, 17-28.
- 19) ZWIERZYKOWSKI, Z(2004)：Amphiploid and introgression breeding within the *Lolium-Festuca* complex - achievements and perspectives. In: Development of a Novel Grass with Environmental Stress and High Forage Quality through Intergeneric Hybridization between *Lolium* and *Festuca*(Eds Yamada T, Takamizo T), National Agricultural and Bio-oriented Research Organization, Tsukuba, 17-29.

Breeding of Meadow Fescue ‘Makibasakae’ and its Characteristics

Kazuhiro TASE¹⁾, Ken-ichi TAMURA¹⁾, Yasuharu SANADA¹⁾, Tomoyuki TAKAI²⁾,
Toshihiko YAMADA³⁾, Sadao NAKAYAMA⁴⁾, Hisaaki DAIDO⁵⁾, Kazuhiko MIZUNO⁵⁾,
Hiroki FUJII⁶⁾, Yoshiaki SAWADA⁴⁾, Masaaki YAMAKAWA⁷⁾, Narichika SATO⁷⁾,
Taku HAYASHI⁸⁾ and Tsukasa MAKINO⁸⁾

Summary

‘Makibasakae’, a new cultivar of meadow fescue (*Festuca pratensis* Huds.), was jointly developed by NARO Hokkaido Agricultural Research Center and Hokkaido Prefectural Konsen Agricultural Experiment Station (present, Hokkaido Research Organization Konsen Agricultural Experiment Station). This cultivar was registered as a recommended cultivar by the Hokkaido Prefectural Government in 2009 and as Norin Synthetic No. 3 of meadow fescue by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries in 2010.

Source and method of breeding:

‘Makibasakae’ was developed as a synthetic cultivar using five clones, which were selected from 144 superior clones through evaluation of winter hardiness and a polycross progeny test under frequent cutting. The origins of parental clones were as follows: cl. 387 was derived from ‘Bundy’, cl. 452 and cl. 455 were derived from ‘Salten’ and cl. 468 and cl. 473 were derived from ‘Boris’.

Characteristics:

‘Makibasakae’ shows remarkably higher winter hardiness with good plant vigor in early spring than ‘Harusakae’ and ‘Pradel’ on average in seven locations in the regional performance test, especially in four locations located in eastern Hokkaido with severe winter weather where the soil freezes. ‘Makibasakae’ is more resistant to snow molds caused by *Myriosclerotinia borealis* and *Typhula ishikariensis* than ‘Harusakae’ and ‘Pradel’. The freezing tolerance of ‘Makibasakae’ is the same level as that of ‘Harusakae’, though it is higher than that of ‘Pradel’. ‘Makibasakae’ has a 7% higher dry matter yield than that of ‘Harusakae’ under frequent cutting (about 7-10 cuttings per year) simulating intensive grazing. ‘Makibasakae’ shows an especially high stable yield in spring and autumn compared to ‘Harusakae’ and has shown good persistency in the years evaluated. The tolerance to net blotch caused by *Drechslera dictyoides* of ‘Makibasakae’ is the same as that of ‘Harusakae’ and ‘Pradel’, while the tolerance to halo blight caused by *Pseudomonas syringae* is slightly weaker than that of ‘Harusakae’. The grazing adaptability of ‘Makibasakae’ is nearly as good as that of ‘Harusakae’ and the competitive ability of ‘Makibasakae’ against white clover was slightly higher than that of ‘Harusakae’ in meadow fescue- white clover mixed sown sward. ‘Makibasakae’ is an early maturing cultivar as well as ‘Harusakae’. The date of ear emergence is one day earlier than that of ‘Harusakae’ in

Present address:

- 1) NARO Hokkaido Agricultural Research Center
- 2) NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center
- 3) Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University
- 4) Retired
- 5) NARO Institute of Livestock and Grassland Science
- 6) Hokkaido Research Organization Kitami Agricultural Experiment Station
- 7) Hokkaido Research Organization Animal Research Center
- 8) Hokkaido Research Organization Konsen Agricultural Experiment Station

Sapporo. The forage quality and morphological characteristics of 'Makibasakae' are similar to those of 'Harusakae'. Endophyte was detected in all parental clones of 'Makibasakae'. 'Makibasakae' does not contain two major endophyte alkaloids, ergovaline and lolitrem B, which can be toxic to livestock, but it contains loline alkaloid, which can deter insects. These results indicate that 'Makibasakae' is best suited for use in the management-intensive grazing

system in eastern Hokkaido, which has severe winter weather. Seed yield is slightly higher than that of 'Harusakae', and the average seed yield of 'Makibasakae' is 6.3 kg/a over a period of three years in Sapporo.

Breeder seed:

Dairy Production Research Division, NARO
Hokkaido Agricultural Research Center, Sapporo
062-8555, Japan.

北海道ホルスタイン検定牛群の泌乳曲線形状の実態と その泌乳・繁殖特性、及び除籍理由

早坂貴代史¹⁾・山口 諭²⁾・阿部隼人²⁾・曾我部道彦²⁾

目 次

I. 緒言	23	2. 2005～2009年分娩牛の305日乳量とL P 値の 水準別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標	35
II. 材料及び方法	24	3. 2005～2009年分娩牛の経産牛飼養頭数規模 別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標	36
III. 結果	25	4. 2005～2009年分娩牛の北海道各地域別泌乳 曲線、産乳、繁殖各指標	37
1. 305日乳量と泌乳曲線4指標の1975～2009分 娩年次変化	25	5. 2009～2011年の経産牛飼養頭数規模別と北 海道各地域別の除籍理由割合と平均・除籍産 次	38
2. 2005～2009年分娩牛の305日乳量とL P 値の 水準別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標	26	V. 総合考察	38
3. 2005～2009年分娩牛の経産牛飼養頭数規模 別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標	27	VI. 摘要	41
4. 2005～2009年分娩牛の北海道各地域別泌乳 曲線、産乳、繁殖各指標	29	謝辞	42
5. 2009～2011年の経産牛飼養頭数規模別と北 海道各地域別の除籍理由割合と平均・除籍産 次	30	引用文献・会議資料	42
IV. 考察	31	Summary	46
1. 305日乳量と泌乳曲線4指標の1975～2009分 娩年次変化	31	付図	48
		付表	54

I. 緒 言

泌乳曲線の指標である泌乳持続性(L P :Lactation Persistence)は泌乳ピーク時の乳量を持続する能力をいい、「酪農および肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」(農林水産省、2010a)及び「家畜改良増殖目標」(農林水産省、2010b)で向こう10年間の改良目標形質に設定された。L P改良は、飼料利用性の向上及び繁殖性・抗病性の改善を推進して、飼養管理が比較的容易となる乳用牛の作出と連産性等生涯生産性の向上に寄与することを目標としてい

る。その背景には、多頭化による規模拡大で個体の精密な飼養が難しくなり、さらに高泌乳化で、繁殖障害や疾病が増え、それに起因して1990年代以降、不慮の除籍増で北海道の平均産次が2.8産と底止まり(家畜改良事業団、2010;佐々木ら、2009)し、連産性等生涯生産性が停滞していることが挙げられる。

改良目標の泌乳形質にL Pが加えられたことは、L Pを含む泌乳曲線形状に関わる形質の重点化を意味し、まず詳細不明な泌乳曲線形状の違いによる産乳性や繁殖性等の実態と特性の把握が必要である。特に飼養形態や飼料給与法(給飼システム)といった飼養法別の特性と問題点が摘出できれば、その改善に向けた育種と飼養が結びついた新しい技術研究が

平成24年12月25日 原稿受理

1) 北海道農業研究センター 酪農研究領域

2) 社団法人北海道酪農検定検査協会

推進される可能性がある。しかし、「乳用牛群能力検定成績のまとめ」(家畜改良事業団、2010;以下検定成績)に泌乳曲線形状別や飼養法別の分類はない。本研究は、泌乳曲線形状の実態と北海道の飼養頭数規模別、地域別の解析を通して、飼養法による泌乳曲線、産乳、繁殖各指標(形質)の特性を推察した。

生涯生産性に関連する除籍理由は、乳牛の供用年数短縮の要因を解析する目的で、酪農中核地域別、頭数規模別、つなぎとフリーストール(FS)の飼養形態別、乳量水準別で解析した1995～1997年の調査成績がある(扇ら、2000;扇、2001;道立根釧農試・道立新得畜試^{†1)}、2000)。本研究は、その後の改良や飼養の構造変化から、14年経過した乳検データに基づく同様の調査を行い、比較検討した。

種雄牛のLPは2008年、その遺伝的能力曲線は2010年から公表され、乳用種雄牛評価成績(家畜改良事業団・乳用牛群検定全国協議会、2012)及び家畜改良センターHPの「遺伝的能力評価」の項目(家畜改良センター、2012)で知ることができる。これを受けて、酪農経営の場でどのような判断基準で雌牛群を選抜して計画交配すべきか、またLPの育種改良に対して飼養管理をどのように整合させて技術化すべきかが論点となる。

本研究は、北海道乳用牛群検定記録をもとに、①表型の泌乳曲線形状のこれまでの変遷の特徴と原因を分析するために、1975～2009年分娩(誕生)牛の305日乳量と泌乳曲線形状指標の年次変化、②表型の泌乳曲線形状による泌乳性と繁殖性に関する特性を明らかにするために、2005～2009年分娩牛の産次ごとの305日乳量・LP水準別、飼養頭数規模別及び地域別の泌乳曲線形状、産乳、繁殖各指標、③2009～2011年の飼養頭数規模別及び地域別の除籍理由割合と平均・除籍産次-を示す。これらの結果を踏まえ、LPの遺伝的改良に対する飼養管理面からの考察等を行った。

Ⅱ. 材料及び方法

(社)北海道酪農検定検査協会に集積されたホルスタイン種牛群検定記録を用い、①1975～2009年分娩牛の305日乳量と泌乳曲線形状4指標(LP値、ピーク乳量、ピーク乳量日、初期増加乳量)の年次変化(第1図)、②2005～2009年分娩牛の直近記録をもとに、産次ごとに305日乳量とLP値の2因子

低・中・高3水準とその組み合わせ9水準別(第2表)、経産牛飼養頭数規模別(第4表)及び北海道地域別(第6表)の泌乳曲線4指標、産乳指標(305日乳量、一乳期総乳量(以下、総乳量)、搾乳日数、305日平均日量、乳期平均日量、乾乳日数)及び繁殖指標(分娩間隔(日数)、空胎日数、分娩後初回授精日数、初回授精～受胎日数、受胎に要した授精回数、分娩月齢)、③2009～2011年の3年間の経産牛飼養頭数規模別及び北海道地域別の除籍理由割合と平均・除籍産次(第8表)-を解析した。

解析データの抽出条件は、1)ホルスタイン種立会検定の初産～3産の記録、2)泌乳日数7～305日の記録、3)分娩月齢が初産18～35ヵ月、2産30～56ヵ月、3産42～72ヵ月の記録、4)分娩後40日以前と240日以降に記録がある、5)乳量の記録数9以上で1日2回搾乳牛-である。

①の解析頭数は初産1,634,735頭、2産1,360,276頭、3産1,017,994頭の計4,013,005頭である。②の解析頭数(第2表参照)は泌乳曲線4指標、305日乳量、分娩月齢は初産323,818頭、2産263,630頭、3産185,727頭の計773,175頭、総乳量772,268頭、搾乳日数は305日乳量確定後、乳期終了しない除籍牛は除かれ713,351頭、乾乳日数は乾乳後の除籍牛は除かれ672,692頭である。搾乳日数と乾乳日数の和は、抽出条件頭数などの違いから、後述の分娩間隔よりも10日ほど長いですが、結果と考察に影響しない。

②の繁殖指標は、2005～2009年分娩牛頭数のうち、(1)次産との分娩間隔285～680日、空胎日数20～400日、妊娠日数265～295日、分娩後初回授精日数20～305日、初回授精～受胎日数0～340日の記録、(2)空胎日数、授精回数、初回授精～受胎日数は、受胎報告または授精から70日以上経過した個体、(3)乳期内の最終繁殖報告が「発情」「繁殖に供さない」でない、最終授精が供卵でない、流産報告がない各個体-を抽出した。そのため、指標により解析頭数が異なり、分娩間隔634,750頭、空胎日数と受胎に要した授精回数494,456頭、分娩後初回授精日数692,667頭、初回授精～受胎日数487,188頭である(第2表参照)。

③の除籍は、2009～2011年に除籍報告または他の農家への移動報告のあった頭数とし、除籍産次は除籍牛の平均産次とした。除籍理由は検定成績(家畜改良事業団、2010)の分類に従い、乳房炎(乳房炎、体細胞が高い牛)、乳器障害(乳器損傷、乳房浮腫な

ど)、繁殖障害(卵巣のう腫、胎盤停滞、子宮内膜炎、双子分娩などによる不受胎牛)、肢蹄故障(骨折、脱臼、蹄葉炎、蹄底潰瘍、蹄球びらん、趾間腐乱、蹄球炎など)、消化器病(第四胃変位、ルーメンアシドーシス、鼓張症、ケトーシスなど)、起立不能(乳熱、低カルシウム症、ダウンナー、分娩時以外の起立不能など)、死亡(伝染病、遺伝病、寄生虫、白血病など選択肢にない疾病による突然死やと畜処分)、低能力(低乳量・乳成分、悪癖や気性の荒い牛)、乳用売却(健康牛売却、個体販売)、その他-に分類してその構成割合を求めた(第8表参照)。

305日間の泌乳曲線の推定は、山口ら(2007)が適合性の高いことを示したMTP法(多形質予測法)(萩谷ら 2004; 山口ら 2010)を用いたLegendre多項式(泌乳日数1~305日、切片を1に標準化)3次にWilinkの指数項を加えた泌乳曲線モデルで行った。このモデル式による日乳量(kg)の算出式は付表1に、305日乳量と泌乳曲線4指標の算出法(式)と意味は第1表に示す。また本稿で示した泌乳曲線(第2図、付図1~5)のパラメータ値は付表2-1~6に示す。総乳量は検定日間計算法(TIM法)(鈴木、1998; 山口ら、2010)で行った。

またピーク乳量日の分布は非対称性が高いため代表値として中央値を、その他の泌乳曲線指標は代表値として平均値を用いた。

2005~2009年分娩牛は、産次ごとの305日乳量とLP値の2因子各低・中・高の3水準及びその組み合わせ9水準による泌乳曲線、産乳、繁殖各指標を示した(第2表)。305日乳量の水準区分範囲は、初産で低(水準)<7440kg、中7440~8640kg、8640kg

≤高、2産で低<8590kg、中8590~10060kg、10060kg ≤高、3産で低<8920kg、中8920~10430kg、10430kg ≤高とした。LP値の水準区分範囲は、初産で低(水準)<93.2、中93.2~95.6、95.6 ≤高、2産で低<87.7、中87.7~91.0、91.0 ≤高、3産で低<86.0、中86.0~89.5、89.5 ≤高とした。

Ⅲ. 結 果

1. 305日乳量と泌乳曲線4指標の1975~2009年分娩年次変化

泌乳曲線4指標の詳細は第1表に示す。LP値(第1-2図)は初産>2産>3産であり、年次変化は、1993年に初産93、2産88、3産85の最低値を示した後、上昇傾向を示した。305日乳量(第1-1図)とピーク乳量(第1-3図)は3産>2産>初産であり、年次変化は相似した。1975年以降増加傾向を示したが、1995年頃からその傾向を弱め、2004年から305日乳量はほぼ横ばいにあるのに対して、ピーク乳量はやや低下した。ピーク乳量日(中央値)(第1-4図)は初産>3産>2産であり、年次変化は遅延傾向を示したが、初産牛は1985年頃からその傾向をやや強めた。初期増加乳量(第1-5図)は3産>初産=2産であり、年次変化は一貫して増加傾向を示したが、2005年頃から停滞傾向を示した。

泌乳曲線4指標の分娩年次変化から、1993年以降、LP値が上昇し、ピーク乳量日が遅れ、ピーク乳量の上昇が緩やかになり、2006年からのピーク乳量の低下は相対的にLPを高める傾向を強めた。

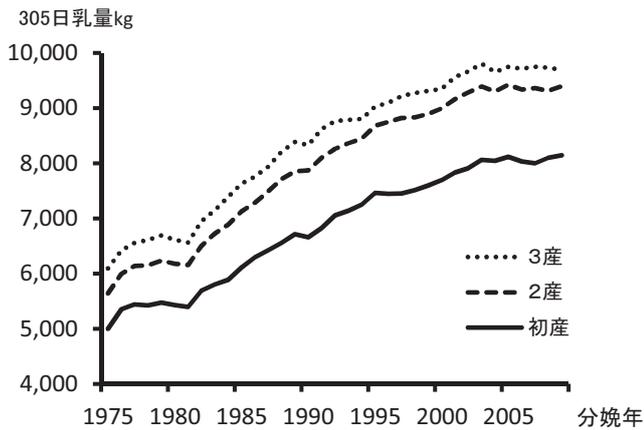
1988、1998、2008各分娩年の産次ごとの泌乳曲線を第2図に示す。1998年分娩牛は1988年分娩牛に比

第1表 解析対象とする305日乳量と泌乳曲線4指標

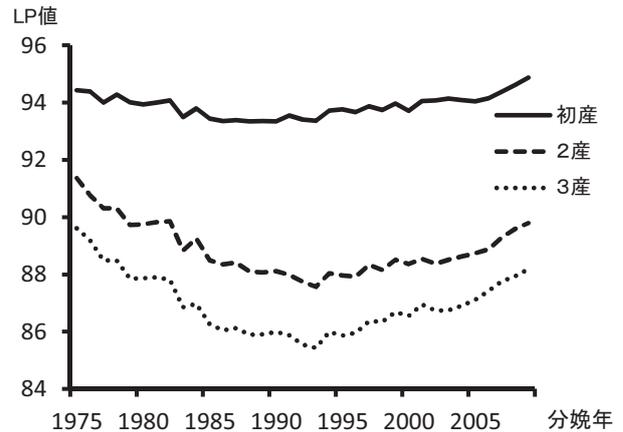
乳量及び指標	算出法(式)と意味
305日乳量	kg MTP(多形質予測)法で求めた305日予測乳量
泌乳持続性(LP)値 ¹⁾	- =分娩後日数240日予測日乳量-同60日予測日乳量+100 大きいほど泌乳持続性が高い
ピーク乳量 ¹⁾	kg 分娩後日数1~305日の範囲における予測日乳量の最大値
ピーク乳量日 ¹⁾²⁾	日 予測日乳量が最大となる分娩後日数
初期増加乳量 ¹⁾	kg =分娩後日数35日予測日乳量-同10日予測日乳量 ピークまでの上昇傾向(傾き)

¹⁾ MTP法から得た泌乳曲線から算出

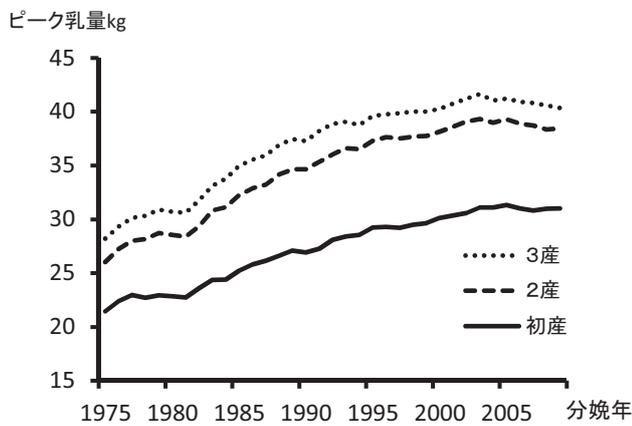
²⁾ ピーク乳量日の分布は非対称性が高いため中央値、その他の泌乳曲線指標は平均値で示す



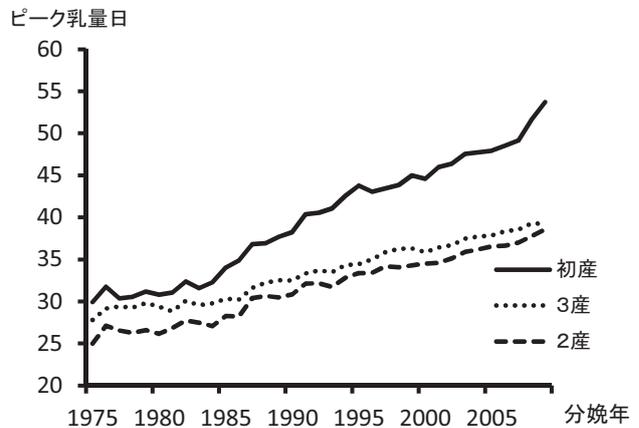
第1-1図 305日乳量の産次ごとの分娩年次変化



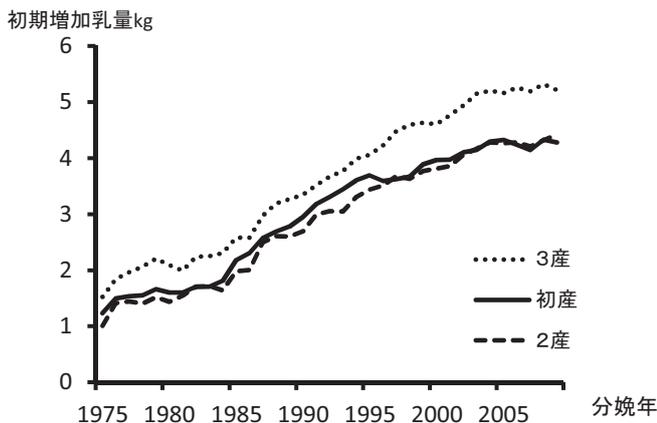
第1-2図 泌乳持続性(LP)値の産次ごとの分娩年次変化



第1-3図 ピーク乳量の産次ごとの分娩年次変化



第1-4図 ピーク乳量日(中央値)の産次ごとの分娩年次変化



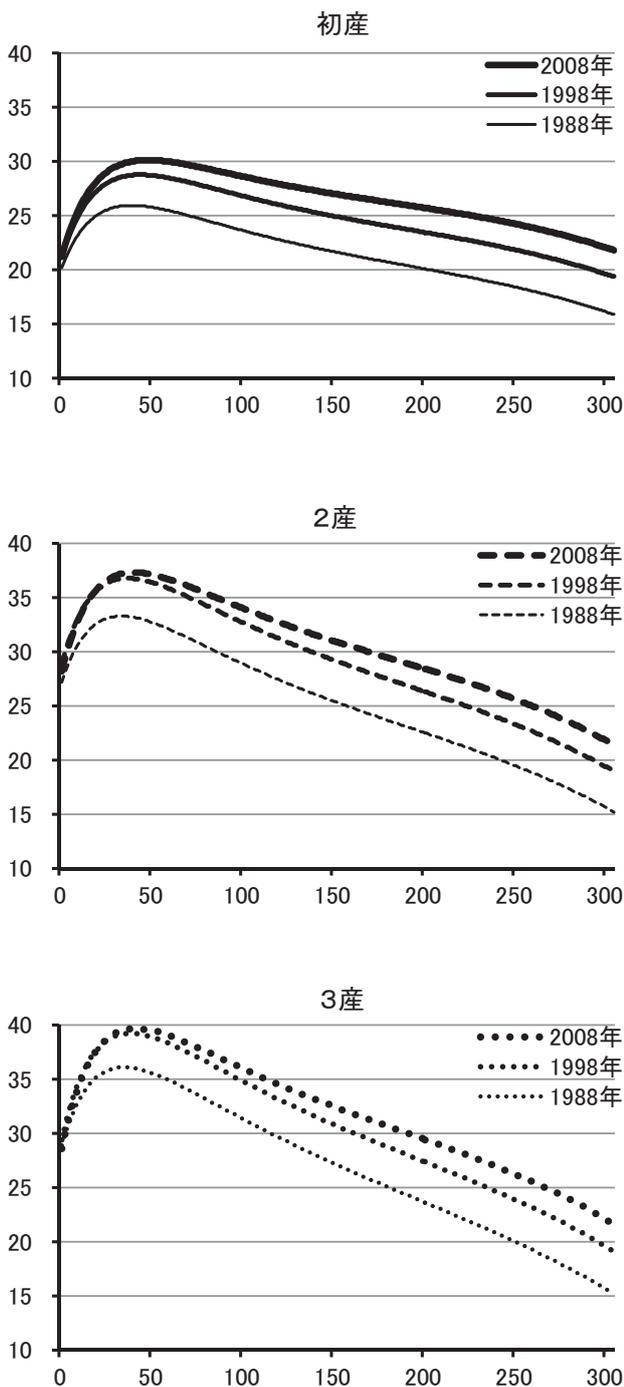
第1-5図 初期増加乳量の産次ごとの分娩年次変化

べ、ピーク乳量の増加による305日乳量の増加を認めた。2008年分娩牛は1998年分娩牛に比べ、ピーク乳量よりもLPの向上により305日乳量の向上を認めたが、その増加量は比較的小さかった。泌乳曲線平準化の程度は、初産>2産>3産であった。

2. 2005～2009年分娩牛の305日乳量とLP値の水準別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標

産次ごとに305日乳量とLP値の2因子の各低・中・高水準別及びその組み合わせ9水準別の泌乳曲線、産乳、繁殖各指標を第2表に示す。また2因子水準別の泌乳曲線を付図1(パラメータ値は付表2-2)と付図2(同付表2-3)に、2因子組み合わせ別の泌乳曲線を付図3-1～3(同付表2-4)に示す。

305日乳量は、高い水準ほど各産次とも初期増加



第2図 1988,1998,2008各分娩年の産次ごとの泌乳曲線
縦軸：乳量 kg 横軸：分娩後日数

乳量とピーク乳量が高く、ピーク乳量日が遅れ、LP値が2、3産で低下したが、初産は低下を認めなかった(第2表、付図1)。また305日乳量水準が高いほど、各産次とも搾乳日数と総乳量が増え、乾乳日数が減り、分娩間隔(空胎日数)と受胎に要した授精回数が増加した(第2表)。

LPの平均値は、低・中・高各水準でそれぞれ初産91、94、97、2産85、89、93、3産83、88、92であり、初産>2産>3産であった(第2表)。LP水準が高いほど、各産次ともピーク乳量と初期増加乳量が低く、搾乳日数が増え、乾乳日数が減少した(第2表)。またLP水準が高いほど、2、3産は305日・総乳量が低下傾向を示したが、初産は305日乳量はやや増加、総乳量が顕著に増加する傾向を示し、各産次とも分娩間隔や受胎に要した授精回数が増加した(第2表)。

同じ305日乳量水準ではLP値水準が高いほど、ピーク乳量や初期増加乳量が低く、ピーク乳量日が初産牛のみ遅れる傾向にあり、各産次の泌乳曲線が平準化した(第2表、付図3-1~3)。また同じ乳量水準でLP値水準が高いほど、各産次とも搾乳日数が増え、乾乳日数が減り、総乳量が増え、乳期平均日量は、LP水準にかかわらず同程度であり、分娩間隔と受胎に要した授精回数が増加した(第2表)。

産次ごとの泌乳曲線4指標、305日乳量間の相関係数を第3表に示す。305日乳量との相関は、各産次ともピーク乳量(0.86~0.88)>初期増加乳量(0.29~0.35)>ピーク乳量日(0.23~0.31)であり、LP値とは初産0.05、2、3産-0.28を示した。泌乳曲線4指標間の相関では、ピーク乳量が、ピーク乳量日と-0.03~0.06、初期増加乳量と0.09~0.19、LP値と-0.54~-0.23であった。ピーク乳量日は、初期増加乳量とは0.40~0.75であったが、LP値とは初産0.35、2、3産-0.05~-0.01であった。

3. 2005~2009年分娩牛の経産牛飼養頭数規模別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標

経産牛飼養頭数規模(以下規模)別酪農場の産次ごとの泌乳曲線、産乳、繁殖各指標を第4表、泌乳曲線を付図4に示す。

解析頭数は、50~74頭と100~199頭の二つの高ピーク(モード)層を形成した。大規模層ほど、各産次とも搾乳・乾乳日数が短く、305日・総乳量が増加したが、100~199頭層が一つ前の75~99頭層との乳量差が24~97kgと最も少なく、増加率が小さかった。

泌乳曲線指標は、大規模層ほど、ピーク乳量と初期増加乳量が増え、ピーク乳量日が遅延したが、LP値は、大規模につれて、初産が93.4から95.3に向

第2表 産次ごとの305日乳量と泌乳持続性(LP)値3水準別及びすべての組み合わせ別の泌乳曲線¹⁾、産乳¹⁾、繁殖^{1,2)}各指標(平均値)

産次	因子	泌乳曲線指標				産乳指標						繁殖指標					泌乳曲線・産乳指標の2005～2009年分娩検定記録数(n)			
		305日乳量水準 ³⁾	LP水準 ⁴⁾	LP値	ピーク乳量kg	ピーク乳量日(中央値)	初期増加乳量kg	305日乳量kg	総乳量(一乳期)kg	搾乳日数	305日平均日量kg	乳期平均日量kg	乾乳日数	分娩間隔日数	空胎日数	分娩後初回授精日数		初回授精～受胎日数	受胎に要した授精回数	分娩月齢
		(記録数)	773175	773175	773175	773175	773175	772268	713351	773175	773175	672692	634750	494456	692667	487188	494456	773175	773175	
初産	305日乳量	低	94	26	42	3.0	6543	7345	359	21	20	64	413	135	87	49	2.1	25	107739	
		中	94	31	49	4.2	8038	9240	364	26	25	60	415	138	86	53	2.3	25	106124 付図1	
		高	95	36	59	5.5	9615	11512	376	32	31	58	424	146	87	60	2.4	25	109955	
	LP値	低	91	33	42	4.6	8017	9014	357	26	25	64	413	134	86	49	2.2	25	105219	
		中	94	31	45	4.2	8037	9274	365	26	25	60	416	138	86	53	2.2	25	105382 付図2	
		高	97	30	63	3.9	8167	9822	376	27	26	58	423	146	88	59	2.4	25	113217	
	305日乳量×LP値	低	低	91	27	40	3.4	6588	7175	349	22	21	67	408	128	85	45	2.1	25	36559
			中	94	25	41	3.0	6543	7324	358	21	20	63	412	134	86	49	2.1	25	35853 付図3-1
			高	97	23	46	2.6	6496	7543	369	21	20	61	419	141	90	53	2.2	25	35327
		中	低	91	32	44	4.6	8029	8960	356	26	25	63	412	133	85	49	2.2	25	35376
			中	94	30	47	4.2	8037	9188	362	26	25	60	414	136	86	51	2.2	25	35040 付図3-2
			高	97	28	53	3.8	8049	9569	373	26	26	58	421	144	87	58	2.4	25	35708
高		低	91	37	50	6.0	9575	11092	367	31	30	61	419	140	87	54	2.3	25	33284	
		中	94	35	53	5.6	9589	11389	374	31	30	58	422	144	87	58	2.4	25	34489 付図3-3	
		高	98	34	63	5.1	9667	11945	384	32	31	56	429	153	87	66	2.6	25	42182	
全		94	31	50	4.3	8076	9381	366	26	26	61	417	140	87	54	2.3	25	323818		
2産	305日乳量	低	91	32	32	2.8	7520	8287	359	25	23	69	418	140	89	53	2.2	39	87609	
		中	89	39	37	4.2	9322	10510	366	31	29	66	424	146	88	59	2.4	39	87120 付図1	
		高	88	45	43	5.9	11224	13050	376	37	35	64	431	155	89	67	2.5	39	88901	
	LP値	低	85	43	38	5.4	9901	10844	354	32	31	69	417	138	86	54	2.3	39	85465	
		中	89	39	37	4.3	9392	10644	366	31	29	66	423	146	88	59	2.4	39	87143 付図2	
		高	93	35	37	3.3	8835	10411	380	29	27	65	433	156	92	65	2.5	39	91022	
	305日乳量×LP値	低	低	85	35	36	3.8	7745	8072	338	25	24	74	406	127	84	45	2.1	39	18031
			中	89	32	35	2.9	7597	8256	354	25	23	69	415	136	87	51	2.2	39	27929 付図3-1
			高	94	29	35	2.2	7370	8401	371	24	23	66	426	149	92	58	2.3	39	41649
		中	低	85	40	40	4.9	9359	10082	350	31	29	69	413	134	85	51	2.2	39	28830
			中	89	38	40	4.2	9321	10485	365	31	29	66	423	146	88	59	2.4	39	29962 付図3-2
			高	93	35	41	3.5	9286	10971	382	30	29	64	435	158	92	67	2.5	39	28328
高		低	85	47	44	6.5	11313	12707	365	37	35	67	424	147	87	61	2.4	39	38604	
		中	89	44	45	5.7	11178	13084	378	37	35	63	432	155	89	67	2.6	39	29252 付図3-3	
		高	93	41	47	5.0	11124	13632	394	36	35	62	443	167	93	75	2.7	39	21045	
全		89	39	37	4.3	9364	10628	367	31	29	66	424	147	89	60	2.4	39	263630		
3産	305日乳量	低	89	34	33	3.3	7834	8611	359	26	24	70	420	143	89	55	2.2	53	61649	
		中	88	41	38	5.1	9669	10892	366	32	30	68	426	150	89	62	2.4	52	61736 付図1	
		高	86	47	45	7.3	11649	13503	375	38	36	66	432	157	89	68	2.6	53	62342	
	LP値	低	83	45	40	6.5	10278	11244	354	34	32	71	419	141	86	56	2.3	52	59881	
		中	88	41	38	5.2	9756	11029	365	32	30	67	424	148	89	61	2.4	53	61137 付図2	
		高	92	37	38	4.1	9182	10782	380	30	28	66	435	159	93	68	2.5	53	64709	
	305日乳量×LP値	低	低	84	37	37	4.4	8067	8432	339	26	25	76	410	131	85	49	2.1	52	12623
			中	88	34	36	3.5	7907	8561	353	26	24	70	416	138	87	52	2.2	53	19551 付図3-1
			高	92	31	35	2.7	7685	8720	371	25	24	68	428	152	93	60	2.3	53	29475
		中	低	83	42	41	5.9	9702	10439	350	32	30	71	416	137	86	53	2.3	52	20246
			中	88	40	40	5.0	9670	10855	365	32	30	67	424	147	89	60	2.4	53	21056 付図3-2
			高	92	37	41	4.4	9636	11379	384	32	30	66	437	163	93	71	2.5	53	20434
高		低	83	49	46	7.9	11744	13158	364	39	36	68	425	148	87	62	2.5	52	27012	
		中	88	46	46	7.0	11607	13556	378	38	36	65	434	158	90	70	2.6	53	20530 付図3-3	
		高	92	43	48	6.4	11536	14060	393	38	36	64	445	169	93	77	2.7	53	14800	
全		88	41	39	5.2	9724	11012	367	32	30	68	426	150	89	62	2.4	53	185727		

1) 2005～2009年分娩牛の牛群検定記録を集計
 2) 次の範囲内の記録：分娩間隔日数285～680日、空胎日数20～400日、分娩後初回授精日数20～305日、初回授精～受胎日数0～340日
 3) 初産は低(階層) <7440kg、中7440～8640kg、8640kg ≤高、2産は低<8590kg、中8590～10060kg、10060kg ≤高、3産は低<8920kg、中8920～10430kg、10430kg ≤高
 4) 初産は低(階層) <93.2、中93.2～95.6、95.6 ≤高、2産は低<87.7、中87.7～91.0、91.0 ≤高、3産は低<86.0、中86.0～89.5、89.5 ≤高

第3表 産次ごとの泌乳曲線4指標、305日乳量間の相関係数(r)¹⁾

産次	泌乳曲線指標	ピーク乳量kg	ピーク乳量日	初期増加乳量kg	305日乳量kg
初産	泌乳持続性(LP)値	-0.23	0.35	-0.09	0.05
	ピーク乳量kg		-0.02	0.09	0.86
	ピーク乳量日			0.40	0.23
	初期増加乳量kg				0.29
2産	LP値	-0.52	-0.01	-0.21	-0.28
	ピーク乳量kg		-0.03	0.09	0.87
	ピーク乳量日			0.72	0.25
	初期増加乳量kg				0.30
3産	LP値	-0.54	-0.05	-0.22	-0.28
	ピーク乳量kg		0.06	0.19	0.88
	ピーク乳量日			0.75	0.31
	初期増加乳量kg				0.35

¹⁾ 2005～2009年分産牛の北海道牛群検定記録を集計

第4表 産次ごとの経産牛飼養頭数別の泌乳曲線¹⁾(付図4)、産乳¹⁾、繁殖^{1,2)}各指標(平均値)

産次	経産牛頭数規模	泌乳曲線指標					産乳指標					繁殖指標								
		解析頭数	泌乳持続性(LP)値	ピーク乳量kg	ピーク乳量日(中央値)	初期増加乳量kg	305日乳量kg	総乳量(一乳期)kg	搾乳日数	305日平均日量kg	乳期平均日量kg	乾乳日数	分娩間隔日数	空胎日数	分娩後初回授精日数	初回授精～受胎日数	受胎に要した授精回数	分娩月齢		
	(記録数)	773175	773175	773175	773175	773175	773175	772268	713351	773175	773175	672692	634750	494456	692667	487188	494456	773175		
初産	25>	4589	93.4	30	41	3.7	7589	-	8875	-	374	25	24	64	422	144	95	50	2.1	25
	～49	84468	93.6	31	43	3.9	7825 (236) ³⁾		9074 (199) ³⁾		368	26	25	64	421	143	90	54	2.2	25
	～74	96010	94.1	31	46	4.1	7988 (163)		9303 (229)		368	26	25	63	421	143	88	56	2.3	25
	～99	46122	94.9	31	53	4.4	8190 (202)		9558 (255)		367	27	26	61	418	140	87	54	2.3	25
	～199	63900	95.3	31	58	4.5	8237 (47)		9582 (24)		364	27	26	56	411	134	83	52	2.3	25
	200<	28729	95.3	32	62	5.1	8645 (408)		9897 (315)		356	28	28	56	406	129	77	52	2.4	24
	全	323818	94.4	31	50	4.3	8076		9381		366	26	26	61	417	140	87	54	2.3	25
2産	25>	3875	89.4	36	33	3.2	8542	-	9780	-	373	28	26	70	429	153	98	57	2.2	39
	～49	70765	89.2	38	34	3.6	8977 (435)		10218 (438)		369	29	28	70	429	151	91	61	2.3	39
	～74	79605	89.5	38	36	4.0	9247 (270)		10537 (320)		369	30	29	68	427	150	90	61	2.4	39
	～99	37354	89.6	39	39	4.7	9569 (322)		10872 (335)		366	31	30	66	423	146	89	59	2.3	39
	～199	50393	89.3	39	41	4.9	9651 (82)		10925 (53)		365	32	30	62	419	142	86	57	2.4	38
	200<	21638	88.0	42	43	5.7	10188 (537)		11343 (418)		357	33	32	62	413	137	79	58	2.5	37
	全	263630	89.3	39	37	4.3	9364		10628		367	31	29	67	424	147	89	60	2.4	39
3産	25>	2849	88.0	38	34	3.9	8878	-	10119	-	371	29	27	71	430	154	97	58	2.2	53
	～49	52431	87.8	40	36	4.5	9337 (459)		10605 (486)		369	31	29	70	429	153	92	63	2.4	53
	～74	57775	88.0	40	37	4.9	9637 (300)		10948 (343)		368	32	30	69	428	151	90	63	2.4	53
	～99	25905	87.9	41	41	5.7	9933 (296)		11249 (300)		366	33	31	68	426	149	90	61	2.4	52
	～199	33499	87.5	42	42	6.0	10030 (97)		11313 (65)		364	33	31	64	421	146	88	59	2.4	52
	200<	13268	86.0	44	46	7.1	10639 (609)		11867 (554)		359	35	33	63	417	142	81	62	2.6	51
	全	185727	87.7	41	39	5.2	9724		11012		367	32	30	68	426	150	90	62	2.4	53

¹⁾ 2005～2009年分産牛の牛群検定記録を集計

²⁾ 次の範囲内で編集：分娩間隔日数285～680日、空胎日数20～400日、分娩後初回授精日数20～305日、初回授精～受胎日数0～340日

³⁾ 一つ前の規模階層との乳量差

上したが、2、3産は99頭以下層ではほぼフラット化し、100頭以上層ではやや低下傾向を示した。初期増加乳量の産次間比較では、74頭以下層で2産<初産<3産、100頭以上層で初産<2産<3産であった。

繁殖指標は、大規模層ほど、分娩月齢が早く、空胎日数などが短かったが、受胎に要した授精回数は増える傾向を示し、200頭以上層で最も多かった。

規模別の泌乳曲線4指標と305日乳量との相関(第5表)は、第3表と同様であったが、大規模層ほど、ピーク乳量を除き、相関が小さい傾向を示した。

4. 2005～2009年分産牛の北海道各地域別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標

北海道各地域別酪農場のフリーストール(FS)導入率と産次ごとの泌乳曲線、産乳、繁殖各指標を第

第5表 産次ごとの経産牛飼養頭数別泌乳曲線4指標と305日乳量との相関係数(r)

産次	経産牛頭数規模	泌乳持続性(LP)値	ピーク乳量 kg	ピーク乳量 日	初期増加乳量kg
初産	25>	-0.08	0.86	0.21	0.31
	~49	0.01	0.87	0.25	0.31
	~74	0.01	0.87	0.22	0.30
	~99	0.01	0.86	0.19	0.27
	~199	0.00	0.86	0.16	0.24
	200<	0.06	0.86	0.19	0.21
2産	25>	-0.35	0.87	0.23	0.29
	~49	-0.30	0.86	0.26	0.31
	~74	-0.31	0.87	0.24	0.30
	~99	-0.27	0.87	0.22	0.27
	~199	-0.24	0.86	0.17	0.24
	200<	-0.16	0.84	0.16	0.21
3産	25>	-0.33	0.88	0.26	0.35
	~49	-0.30	0.88	0.32	0.36
	~74	-0.30	0.88	0.32	0.36
	~99	-0.26	0.88	0.28	0.33
	~199	-0.23	0.87	0.22	0.28
	200<	-0.15	0.87	0.21	0.25

6表、泌乳曲線を付図5に示す。

解析頭数割合は、畑作酪農(十勝、網走)と草地酪農(根室、釧路)の中核地域が75%、道北(宗谷、留萌、上川)が15%、その他の道南、沿岸、水田の各地域が10%を占めた。F S牛舎導入率(北海道畜産振興課調べ、2011年6月現在)も畑作・草地酪農の中核地域が最も高く、道央地域(石狩、上川、空知)が次ぎ、その他の地域が低かった。

初産次305日乳量が高い順に地域を並べると、石狩、上川、十勝、網走が高位層、胆振、空知、日高が中位層、その他が低位層をなし、ピーク乳量や初期増加乳量も同様の傾向を示した。LP値は、初産次で上川、十勝、根室、釧路地域で高い傾向、2、3産次で305日・総乳量が高い地域ほど低い傾向を示した(第6表)。

F S牛舎導入率が高い地域(n=14)ほど、305日・総乳量が高い傾向を示し、ピーク乳量日が有意(p<0.05)に遅延する傾向を示した(第7表)。また初産次はF S牛舎導入率とLP値との相関が0.79と有意(p<0.01)となり、泌乳曲線が平準化傾向を示した。繁殖指標は、F S牛舎導入率が高い地域ほど負の相関の傾向を示し、2、3産次で分娩間隔が有意(p<0.05)に短かった。

5. 2009～2011年の経産牛飼養頭数規模別と北海道各地域別の除籍理由割合と平均・除籍産次

2009～2011年の3年間の除籍理由割合(第8表)は、不慮の除籍69.3%、計画除籍12.1%、その他18.7%であり、その他を除く、割合が高い順から、繁殖障害17.1%>死亡16.5%>乳房炎13.7%>肢蹄故障10.4%>乳用売却8.0%>乳器障害5.5%>起立不能=低能力4.1%>消化器病2.0%であった。大規模層ほど平均・除籍産次が低く、計画除籍率が高かった。また不慮の除籍理由は、大規模層ほど肢蹄故障、消化器病が増える傾向、乳器障害が少ない傾向を示した。

地域別では、305日乳量が高い地域で、平均・除籍産次が低く、畑作中核酪農地域(十勝、網走)の平均/除籍産次は2.7/3.4と、草地中核酪農地域(釧路、根室)の2.9/3.8に比べ低かった。また十勝地域が根室、釧路地域に比べ、繁殖障害と起立不能が多かった(第8表)。地域別F S牛舎導入率と除籍理由との相関(n=14)は、起立不能0.50>消化器病0.47>肢蹄故障0.37>乳房炎0.30>低能力0.18>繁殖障害0.11>乳用売却-0.02>その他-0.03>乳器障害-0.38>死亡-0.61(p<0.01)であった。

第6表 産次ごとの北海道各地域別の泌乳曲線¹⁾、産乳¹⁾、繁殖^{1,2)}各指標(平均値)

産次	地域 ³⁾ (旧支庁 区分 ⁴⁾)	フリース トール (FS)牛 舎導入 率 ⁵⁾	泌乳曲線指標					産乳指標					繁殖指標						
			解析頭数	泌乳持 続性 (LP)値	ピーク乳 量kg	ピーク乳 量日(中 央値) kg	初期増 加乳量 kg	305日乳量 kg	総乳量 (一乳 期)kg	搾乳日 数	305日 平均 日量kg	乳期 平均 日量kg	乾乳日数	分娩間 隔日数	空胎日 数	分娩後 初回授 精日数	初回授 精～受 胎日数	受胎に 要した 授精回 数	分娩月 齢
(記録数)			773175	773175	773175	773175	773175	772268	713351	—	—	672692	634750	494456	692667	487188	494456	773175	
初産	石狩	24.4	6010	94	33	58	5.1	8598	9960	367	28	27	63	416	139	88	52	2.1	25
	上川	16.9	14480	95	32	55	4.8	8585	10074	369	28	27	60	420	143	88	56	2.3	25
	十勝	32.8	89459	95	33	55	4.9	8576	10056	368	28	27	60	419	142	89	54	2.3	25
	網走	18.4	51927	94	32	52	4.7	8432	9799	365	28	27	60	417	138	89	50	2.2	25
	胆振	12.2	5097	93	32	47	4.6	8286	9719	373	27	26	58	421	145	93	51	2.1	25
	空知	20.2	3508	94	32	49	4.2	8227	9480	366	27	26	66	422	144	89	54	2.2	26
	日高	5.8	4633	93	32	47	4.5	8208	9283	359	27	26	67	417	139	95	44	2.0	25
	後志	2.4	2423	94	31	45	4.1	7960	9367	374	26	25	68	429	151	91	62	2.4	25
	檜山	4.5	1956	93	31	42	4.2	7840	8852	362	26	24	63	417	138	91	49	2.1	25
	渡島	6.8	5498	94	31	46	4.2	7821	8971	363	26	25	60	416	138	88	51	2.3	25
	留萌	5.1	12074	94	30	44	3.7	7748	9024	371	25	24	65	424	146	88	59	2.4	26
	宗谷	11.0	23675	94	30	43	3.7	7687	8838	365	25	24	60	415	138	82	57	2.4	25
	釧路	26.7	36987	95	29	47	3.6	7547	8764	367	25	24	60	418	140	85	56	2.3	25
根室	28.1	66091	95	29	47	3.6	7455	8567	362	24	24	61	414	136	83	54	2.3	25	
全	22.4	323818	94	31	50	4.3	8076	9381	366	26	26	61	417	140	87	54	2.3	25	
2産	石狩	24.4	4951	88	41	40	5.2	9927	11091	363	33	31	72	424	148	90	60	2.3	39
	上川	16.9	11625	89	41	39	5.0	9871	11297	370	32	31	66	427	152	89	63	2.4	39
	十勝	32.8	71533	89	41	40	5.0	9930	11311	367	33	31	67	426	150	90	60	2.4	39
	網走	18.4	41932	89	40	39	4.8	9758	11069	366	32	30	66	424	146	91	57	2.3	38
	胆振	12.2	4064	88	39	36	4.4	9375	10744	376	31	29	66	432	156	96	61	2.2	39
	空知	20.2	3001	88	39	36	4.1	9406	10592	367	31	29	73	428	152	90	63	2.4	40
	日高	5.8	3693	89	39	35	3.8	9244	10353	364	30	28	72	427	149	96	54	2.1	38
	後志	2.4	2132	89	38	36	4.1	9130	10566	377	30	28	77	441	164	93	72	2.6	40
	檜山	4.5	1724	89	37	33	3.5	8793	9857	368	29	27	68	427	148	92	57	2.3	39
	渡島	6.8	4467	89	37	35	3.9	8915	10082	366	29	28	66	425	147	89	58	2.4	39
	留萌	5.1	10008	89	38	35	3.8	9004	10334	374	30	28	72	433	156	91	66	2.5	40
	宗谷	11.0	19247	89	38	34	3.5	8879	10023	367	29	27	66	423	145	84	63	2.5	39
	釧路	26.7	30712	90	37	35	3.6	8801	10016	368	29	27	65	423	145	87	59	2.4	39
根室	28.1	54541	90	37	36	3.6	8785	9904	364	29	27	66	420	142	85	58	2.4	39	
全	22.4	263630	89	39	37	4.3	9364	10628	367	31	29	67	424	147	89	60	2.4	39	
3産	石狩	24.4	3437	86	43	41	6.1	10259	11413	362	34	32	71	425	151	91	61	2.3	53
	上川	16.9	7672	87	42	41	6.1	10201	11659	371	33	31	68	431	156	92	66	2.4	53
	十勝	32.8	48846	87	43	42	6.1	10314	11718	367	34	32	68	426	152	91	62	2.4	53
	網走	18.4	28748	87	42	40	5.9	10148	11498	366	33	31	68	426	149	92	59	2.3	52
	胆振	12.2	2820	87	41	38	5.5	9787	11241	376	32	30	68	435	158	99	61	2.3	53
	空知	20.2	2183	87	41	38	5.1	9813	11048	366	32	30	74	428	153	89	65	2.4	54
	日高	5.8	2683	87	40	36	4.7	9548	10720	365	31	29	71	427	150	96	55	2.1	52
	後志	2.4	1557	88	39	37	4.8	9375	10823	378	31	29	81	439	164	90	75	2.6	54
	檜山	4.5	1344	88	39	34	4.0	9054	10119	363	30	28	70	426	148	91	59	2.3	53
	渡島	6.8	3220	88	39	37	4.7	9228	10499	369	30	28	67	427	152	90	63	2.5	52
	留萌	5.1	7025	88	40	36	4.6	9334	10649	372	31	29	74	434	159	92	68	2.5	54
	宗谷	11.0	13669	88	40	35	4.3	9251	10449	367	30	28	67	426	149	85	66	2.5	53
	釧路	26.7	22328	88	39	37	4.4	9175	10409	368	30	28	66	426	149	88	62	2.4	53
根室	28.1	40195	88	39	36	4.4	9181	10318	364	30	28	67	423	145	85	61	2.4	52	
全	22.4	185727	88	41	39	5.2	9724	11012	367	32	30	68	426	150	89	62	2.4	53	

1) 2005～2009年分娩牛の北海道牛群検定記録を集計

2) 次の範囲内で編集：分娩間隔日数285～680日、空胎日数20～400日、分娩後初回授精日数20～305日、初回授精～受胎日数0～340日

3) 初産305日乳量の高い順に提示

4) 振興局地域区分とほぼ同じだが、上川総合振興局管内幌加内町農家は空知旧支庁、宗谷総合振興局管内幌延町農家は留萌旧支庁で集計

5) 搾乳農家数6983戸中のF Sの導入戸数割合(北海道畜産振興課調べ、2011.6現在)

IV. 考 察

1. 305日乳量と泌乳曲線4指標の1975～2009年 産次変化

305日乳量の年次変化は、増加から漸増、2004年から横ばいへと推移した(第1-1図)。ピーク乳量は305日乳量との間で0.86～0.88と高い正の相関があり(第3表)、両者は同様な年次推移を示した(第1-3図)。305日乳量の伸び率鈍化を泌乳曲線の形状からみると、第1-2～3図と第2図から、ピー

ク乳量の上昇鈍化とLP向上が同時期に確認できる。

検定成績(家畜改良事業団、2010)のP.15「図8 昭和50年を100とする各年次305日乳量の伸び率」からみても、H5年(1993年)までは北海道と都府県は同率140%であったが、LP値が上昇に転じたH6年(1994年)に乖離し、H22年(2010年)は都府県が165%強に対し、北海道155%にとどまっているのが確認できる。北海道と都府県の検定農家比率(69.9%

第7表 北海道の地域別フリーストール(F S)牛舎導入率と泌乳曲線、産乳、繁殖各指標との相関係数¹⁾(r)(n=14)

指標	初産	2産	3産
泌乳持続性(LP)値	0.79 **	0.15	-0.13
ピーク乳量kg	0.04	0.30	0.43
ピーク乳量日(中央値)	0.66 *	0.60 *	0.57 *
初期増加乳量kg	0.18	0.42	0.45
305日乳量kg	0.22	0.41	0.47
総乳量(一乳期)kg	0.27	0.36	0.40
搾乳日数	-0.06	-0.46	-0.41
乾乳日数	-0.44	-0.39	-0.47
分娩間隔日数	-0.37	-0.60 *	-0.56 *
空胎日数	-0.32	-0.48	-0.45
分娩後初回授精日数	-0.44	-0.46	-0.31
初回授精～受胎日数	0.02	-0.26	-0.26
受胎に要した授精回数	0.02	-0.04	-0.12
分娩月齢	-0.12	-0.15	-0.17

¹⁾ F S牛舎導入率は振興局地域区分、産乳量、泌乳曲線指標は旧支庁地域区分
* : P<0.05 ** : P<0.01

第8表 2009～2011年の経産牛飼養頭数規模別と地域別の除籍理由¹⁾別割合%と平均・除籍産次

分類	区分	検定農家数 ²⁾	平均頭数/戸	延べ検定頭数	延べ除籍頭数 ³⁾	305日乳量kg ⁴⁾	不慮の除籍(淘汰)										計画除籍(淘汰)			産次	
							乳房炎	乳器障害	繁殖障害	肢蹄故障	消化器病	起立不能	死亡	小計	低能力	乳用売却	小計	その他	平均	除籍 ⁵⁾	
経産牛頭数規模	25>	142	19	94988	2052	8316	14.3	7.0	13.4	7.7	1.8	5.1	18.7	68.0(82.8) ⁶⁾	4.6	9.5	14.1	18.0	2.9	3.7	
	～49	1521	40	2201337	45100	8719	13.2	6.9	18.3	9.5	1.8	4.2	16.5	70.4(86.3)	3.8	7.4	11.2	18.3	2.9	3.8	
	～74	1647	61	3612006	73755	9011	14.1	5.9	17.5	9.9	1.7	3.9	15.7	68.7(85.7)	3.8	7.7	11.5	19.9	2.9	3.8	
	～99	650	86	2006149	41859	9318	14.0	5.5	17.8	11.0	2.0	4.2	15.7	70.2(85.6)	4.0	7.8	11.8	18.0	2.8	3.6	
	～199	587	131	2777382	60392	9429	12.2	4.5	15.6	11.4	2.2	4.4	17.9	68.2(84.7)	4.0	8.3	12.3	19.6	2.7	3.4	
	200<	151	326	1769882	43159	10098	15.3	4.8	16.9	10.2	2.5	3.8	16.6	70.1(83.8)	5.0	8.6	13.6	16.5	2.4	3.1	
地域 ⁷⁾ (旧支庁区分 ⁸⁾)	石狩	93	60	201748	4531	9683	14.2	6.0	18.8	9.1	2.8	2.1	19.6	72.6(86.5)	4.3	7.0	11.3	16.0	2.7	3.4	
	上川	231	66	545303	12656	9677	12.6	6.3	15.4	7.7	2.3	3.3	20.8	68.4(82.3)	5.8	8.9	14.7	16.9	2.6	3.3	
	十勝	1081	88	3418954	77249	9827	13.3	4.5	20.1	10.4	1.8	6.0	15.5	71.6(83.1)	4.7	9.9	14.6	13.8	2.7	3.3	
	網走	804	65	1875356	40597	9553	12.6	6.8	17.1	10.1	2.4	3.6	18.5	71.1(88.4)	3.4	5.9	9.3	19.6	2.7	3.5	
	胆振	91	51	167789	3909	9319	11.8	8.7	21.0	8.6	1.8	1.6	19.7	73.2(90.3)	2.1	5.8	7.9	18.8	2.6	3.4	
	空知	63	55	125170	2580	9082	9.6	8.8	17.9	6.9	2.4	2.1	23.6	71.3(85.2)	3.4	9.0	12.4	16.2	2.8	3.7	
	日高	94	50	169163	3691	9289	13.3	6.6	13.3	7.6	1.8	1.3	19.8	63.7(79.7)	4.3	11.9	16.2	20.1	2.7	3.5	
	後志	60	42	91606	1793	8840	8.3	7.2	13.3	4.9	0.6	2.6	23.0	59.9(84.5)	3.7	7.3	11.0	29.1	2.9	3.8	
	檜山	66	39	92853	1743	8824	13.2	5.6	21.1	9.4	2.1	3.5	23.9	78.8(87.3)	2.8	8.7	11.5	9.6	3.0	4.0	
	渡島	113	46	184919	3897	8645	15.2	6.6	18.9	12.9	2.4	4.2	16.2	76.4(87.1)	4.9	6.4	11.3	12.4	2.8	3.6	
	留萌	189	62	423967	8925	8736	12.3	5.9	17.8	8.1	1.5	2.5	23.4	71.5(88.5)	3.3	6.0	9.3	19.3	2.8	3.6	
	宗谷	382	66	905208	18819	8711	15.4	6.2	15.3	11.1	1.7	2.4	17.0	69.1(84.1)	4.4	8.7	13.1	17.9	2.8	3.7	
	釧路	494	83	1466876	29703	8745	16.7	5.2	16.8	12.5	2.6	4.1	12.4	70.3(88.9)	3.7	5.1	8.8	21.0	2.8	3.7	
	根室	937	83	2792832	56224	8744	13.6	5.1	13.8	10.6	1.8	3.6	15.0	63.5(84.3)	3.6	8.2	11.8	24.6	2.9	3.9	
全	4698	74	12461744	266317	9251	13.7	5.5	17.1	10.4	2.0	4.1	16.5	69.3(85.1)	4.1	8.0	12.1	18.7	2.8	3.6		

¹⁾ 乳房炎(乳房炎、体細胞が高い牛)、乳器障害(乳器損傷、乳房浮腫など)、繁殖障害(卵巣のう腫、胎盤停滞、子宮内膜炎、双子分娩などによる不受胎牛)、肢蹄故障(骨折、脱臼、蹄葉炎、蹄底潰瘍、蹄球びらん、趾間腐乱、蹄球炎など)、消化器病(第四胃変位、ルーメンアシドーシス、鼓張症、ケトーシスなど)、起立不能(乳熱、低カルシウム症、ダウナー、分娩時以外の起立不能など)、死亡(伝染病、遺伝病、寄生虫、白血病など選択肢にない疾病による突然死やと畜処分)、低能力(低乳量・乳成分、悪癖や気性の荒い牛)、乳用売却(健康牛売却、個体販売)
²⁾ 2009～2011年3年間の北海道牛群検定農家を対象
³⁾ 2009～2011年に除籍報告または他の農家に移動報告のあった頭数で、未經産牛は除外
⁴⁾ 2009～2011年に検定経験があり、305日記録が完成している公式記録の平均
⁵⁾ 除籍牛の平均産次
⁶⁾ 不慮の除籍 / (不慮の除籍 + 計画除籍) × 100
⁷⁾ 初産305日乳量の高い順に提示
⁸⁾ 振興局地域区分とほぼ同じだが、上川総合振興局管内幌加内町農家は空知旧支庁、宗谷総合振興局管内幌延町農家は留萌旧支庁で集計

と36.1%)の違いもあるのかもしれないが、直近の2010年の305日乳量(ホルスタイン種、立会検定、2回搾乳)は、都府県9479kgに対し、北海道は9192kgと低い(家畜改良事業団、2010)。

乳量は、年あたり遺伝的改良量(1999～2008年)が146kgに対し、天候や飼料価格、乳価、生産調整などの酪農を巡る外部環境因子も含むものの飼養管理(管理グループ効果)の年あたりの改善量が-111kgと報じられ(家畜改良センター、2011)、遺伝よりも飼養管理(環境)からの乳牛の生産性低下が指摘されている。

これを踏まえ、都府県に比べ北海道の305日乳量の伸び率鈍化や低下の原因は、1990年代からのF S飼養、特に省力群飼養の増加、及び平均で305日を超える一乳期の総乳量増加に対し、305日乳量による過小評価が推察される。

前者の省力群飼養の増加に関して、北海道は多頭化で年間労働時間が増加し、一乳期1群飼養のような省力的なTMR不断給飼が増えた点が考えられる。すなわち北海道酪農場の2歳以上飼養頭数規模別のピーク階層は1980～1990年の30～49頭が1995～2000年に50～99頭に移行し(鶴川ら、2004)、同時につなぎ飼養からF S飼養への移行が進み、近年のTMRセンターの普及と並行して、粗飼料と濃厚飼料の分離給与からTMR給与への移行が、都府県に比べ先行している。全道酪農場に占めるF S牛舎導入率は、LPが最低値となる1993年2.9%から2011年の22.4%(1561戸)へと増加し、1561戸のうちF S牛舎の飼料給与法はTMR56.5%、TMR+CCF(個体別濃厚飼料自動給飼機)11.9%、TMR+その他13.3%であり、一乳期1群飼養の導入率は46.2%を占める(北海道畜産振興課調べ、2011)。

一乳期1群飼養は、ピーク乳量をあげる栄養管理ができていくことや、比較的個体のエネルギー摂取量の制御不能や過不足を生じるリスクがある。またTMR給与が標準であるために、一乳期を泌乳前期の粗濃比で飼養することから、特に低産乳牛、低泌乳期への必要以上の濃厚飼料給与による過肥に起因する産乳効果の低下を招きやすいと推察される。

後者の305日乳量による過小評価は、乳用牛評価が現時点で305日を超える搾乳期間の乳量を評価できない点(武田、2011)にある。305日乳量とLP値との相関は、2、3産で-0.28であり(第3表)、これまで北海道で漸増してきた省力群飼養で多く認め

る、搾乳日数が長く総乳量が多い、高いLPの泌乳曲線平準化牛(第2表)が305日検定乳量では過小評価されていると考えられる。

直近2004分娩年以降の305日乳量の横ばいを経営の外部要因に求めるとすれば、2006、2007、2010年度の減産型計画生産、2008年の配合飼料高騰、2010年の猛暑、などが推察される。北海道の自給粗飼料生産は、2008年のとうもろこし、大豆などの需給逼迫と投機による配合飼料高騰等で、北海道地域の飼料用とうもろこしの作付け拡大、細断型や破碎型サイレージの技術普及を認める一方、牧草地の更新不足による地下茎型雑草の増加などによる粗飼料栄養価・発酵品質の停滞を認めている。第3表の泌乳曲線形状4指標、305日乳量間の観測値の相関は、このような外部要因が影響した2005～2009年分娩年の乳牛について求められたものである。一般に乳牛は加齢に伴って、乳量が増え、LP値が低下するので、月齢補正や遺伝相関等を含めた詳細な解析が今後必要と考える。

LP向上の年次変化、及び第2表に示したLP値の高い、表型の泌乳曲線平準化牛群について、影響した要因を遺伝と環境に、さらに環境要因を飼養管理と自然環境とに分けると次の6つの要因が推察される。

一つは遺伝要因で、特に省力群飼養に適した泌乳曲線平準化牛の在群漸増の可能性が推察される。

LPの遺伝率は0.19(家畜改良センター、2011)であり、LPは遺伝より環境による変動が大きい。さらに、LPよりも305日乳量との遺伝相関が高いピーク乳量(萩谷・佐分、2009)の年次の伸び率が低下している。

一方、1985～2007年の全国の初産次検定泌乳記録から、種雄牛と雌牛のLPの平均育種価は上昇傾向にあり、305日乳量と正の遺伝相関の高いLPが間接選抜される傾向が推察されている(萩谷・佐分、2009)。また一乳期1群飼養下では高ピーク低持続型乳牛にとって泌乳前期で栄養不足、同後期で栄養過多になりやすく、BCS調整が難しくなると推察され、それに起因する除籍の可能性が高まるとすれば、結果として遺伝的泌乳曲線平準化牛が選抜され、在群機会が漸増している可能性が推察される。

初産から3産にかけてLPは低下するが(第2表)、LPと各産次の在群性(Herd Life)との遺伝相関は初産0.09、2産0.18、3産0.21であり、2、3

産牛はLPが高いほど、在群性が高い傾向が示されている(TOGASHI *et al.*, 2012)。また分娩間隔と在群性との遺伝相関は初産次0.04、2産次0.15であり(藤田・鈴木、2006)、比較的長い分娩間隔をもつ泌乳曲線平準化牛のやや有利な在群性を示唆している。

二つは飼養管理要因で、完全混合飼料(TMR)と省力群飼養の普及による濃厚飼料の多給化が推察される。

H22年度検定成績(家畜改良事業団、2010)は、北海道の1頭あたりの濃厚飼料給与量が都府県に比べ実量は少ないものの、検定事業開始時の1975年比で2010年が都府県の1.4倍に比べ、2.4倍と増加率が高いことを示し、北海道のTMRの普及が都府県より先行している点にその原因を推察している。また1995～1998年の北海道の検定成績を解析した成績(扇ら、2000；扇、2001；道立根釧農試・道立新得畜試、2000^{†1})は、平均産次低下の原因として、酪農場の飼養頭数規模拡大よりも、1頭あたり乳量や濃厚飼料給与量の増加、特にFS飼養における濃厚飼料給与量増加の関与を報告している。

エネルギー含量の高い濃厚飼料多給が産乳量を増加させる事実(古村、2012)は、粗濃比の構成を変えた過去の多くの給与試験成績から明らかである。分娩後の日乳量推移が泌乳曲線であり、一般に濃厚飼料の泌乳前期の増給がピーク乳量を高め、泌乳後期の増給がLPを高める方向に作用する。濃厚飼料給与量とその給与法が泌乳曲線の形状に影響する大きい要因と考えられる。

100頭未満のFS経営で多い一乳期1群飼養(付表3)は、305日乳量に寄与するピーク乳量を落とさないために、泌乳前期のTDN水準の粗濃比で泌乳中後期も飼養するために、乳量低下が抑制され、LPが高く示されるが、乳期別給与に比べ適正TDN含量の飼料設計を行わないと濃厚飼料多給傾向となる。すなわち、TDN75%とTDN73%の一乳期1群飼養は、泌乳前期TDN75%と同後期TDN68%の一乳期2群飼養よりもLPが高く、TDN75%の一乳期1群飼養はTDN73%のそれにくらべ濃厚飼料多給となる成績が示されている(原ら、1998)。

三つは飼養管理要因で、高泌乳化等に伴う分娩間隔延伸をもたらす繁殖性低下が推察される。

繁殖性が関係する分娩間隔を飼養管理要因としたのは、その遺伝率が0.1以下(藤田・鈴木、2006；阿部ら、2008)と低いと判断されるからである。1976

年以降の分娩間隔推移は漸増傾向にあり(家畜改良事業団、2010)、特に1990年代に増加している(阿部ら、2008)。第2表に示すようにLP値が高いと分娩間隔が長い関係にある。萩谷・佐分(2009)は、分娩間隔が短い初産牛で、分娩後約150日以降に乳量が顕著に低下し、LPと分娩間隔との表型／遺伝相関を0.19／0.20と報じている。分娩間隔は空胎日数増加や受胎率低下で延伸し、それが胎子、子宮、及び妊娠に伴う脂肪沈着への要求量よりも乳量へ利用される養分量が増え、表型のLPが向上することが知られている(BOHMANOVA *et al.*, 2009)。繁殖の悪化による分娩間隔の長期化がLPを高める事実は、乳検データに基づく酪農現場からも指摘されている(田中、2012)。

四つは自然環境要因で、北海道の猛暑年や高温暑熱期間の延伸、あるいはそれによる繁殖性低下が推察される。

夏季の高温暑熱は、日乳量が高いほど低下の程度が大きいの(古村、2012)、日乳量の多い泌乳前期牛での低下が大きく、ピーク乳量が抑えられ、結果としてLP向上への関与が推察される。

北海道の分娩間隔の推移(家畜改良事業団、2010)で、対前年差が大きい年はその前年が夏季の高温猛暑である。すなわち、猛暑による発情鈍化や受胎率低下など繁殖性の低下による翌年の空胎日数、分娩間隔の増加が認められる。気象庁公表による北海道の猛暑の年は、1984年(6～8月気温平年差+1.5℃)、1994年(同+1.3℃)、1999年(同+1.7℃)、2010年(同+2.2℃)であり、翌年の分娩間隔がそれぞれ+7日、+11日、+8日、+4日増加している(家畜改良事業団、2012)。北海道の年次別分娩間隔が暑熱の影響が大きい都府県にくらべて短いことを含めて、繁殖性低下をもたらす猛暑年の泌乳曲線平準化への関与が推察される。

北海道の暑熱は1980年代から指摘され、当時7月24～29日の東北地方の梅雨明けから8月7日(立秋)までを特に注意すべき期間とされた(早坂ら、1994)、近年、道内の6月の最高気温がここ20年間で4℃あまり上昇し(北海道畜産振興課データ)、6月から日射・熱射病の発生や9月まで受胎率低下が確認され、暑熱対策が指導強化されている(根室農業改良普及センター、2012)。

このように乳牛に対する暑熱の影響は北海道も例外ではなく、泌乳曲線平準化乳牛と高ピーク低持続

型乳牛の耐暑性比較、特に泌乳前期の産乳や繁殖に及ぼす暑熱の影響の検討が必要と考える。自然環境下の観察・実験研究は暑熱の時期と程度の制御が難しいなどの問題があり、人工気象室による実験研究による効率的な研究推進が期待される。

五つは飼養管理要因で、乾乳期短縮効果が推察される。

L P 値の高い牛は平均乾乳日数が短い傾向(第2表)にあり、比較的乾乳日数が短い個体数が多いと推察される。乾乳日数40日は、同60日にくらべ分娩後10週、20週の合計乳量が変わらず泌乳曲線に変化はみられないが(生田ら、2009)、乾乳日数を30日に短縮した個体は次産次の泌乳前期に低ピークとなり(中村ら、2011; 小山、2011)、L P が高まる可能性が推察される。

六つは飼養管理要因で、3回搾乳や自動搾乳システム(搾乳ロボット)による多回搾乳効果が推察される。

第1図、第2表を含む本成績データの抽出条件は1日2回搾乳記録で論考外ではあるが、多回搾乳は、乳腺の退行を抑制し、L P が高まり、10~20%の増乳効果があるといわれている(古村、2012)。泌乳100日以降乳量の低下する頃に1日3回搾乳に移行してもL P を高める効果はほとんどみられない(古村、2012)とする一方、搾乳ロボットで、実験的に泌乳中後期に1日2回から3.4回に増やすと、L P が高まり、総乳量が増え、乾乳前の過肥の頭数が減る傾向が報告されている(堂腰、2012)。

搾乳ロボットの普及戸数(北海道畜産振興課調べ、2011年2月現在)は、全道で127戸と全戸数6983戸の1.8%である。また牛群検定酪農場の3回搾乳実施割合(北海道酪農検定検査協会調べ、2012年6月検定)は、2回と3回搾乳が混在した場合を3回搾乳とみなした条件下で、経産牛飼養規模200頭未満層で0.2% (8/4592戸)、200頭以上層で16.6% (29/146戸)である。第4表の200頭以上層の泌乳関係指標を多少向上させる以外、泌乳曲線を平準化させる効果は現状では限定的と推察される。

以上、L P 向上の年次変化及び第2表に示す泌乳曲線平準化牛群は、多回搾乳効果を除き、その程度は詳細不明だが、これらの複合要因が推察される。

2. 2005~2009年分娩牛の305日乳量とL P 値の水準別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標

泌乳曲線平準化牛は比較的、受胎が遅れ、L P が高まり、搾乳日数や分娩間隔が長く、総乳量が多い特性(第2表)を示した。総乳量の主な規制要因はピーク乳量と搾乳日数であり(内藤、1975)、泌乳曲線平準化牛はピーク乳量の低下を搾乳日数の延長で補っている。これに関連して、1) 分娩間隔が長くL P が高いほど一乳期あたりの乳利益が高い傾向を示すこと(DEKKERS *et al.*, 1998)、2) 分娩後任意に授精を待機する期間(VWP: Voluntary Waiting Period)を設け、初回授精を遅らせ、泌乳日数、分娩間隔の延長が経済的利益をもたらすこと(ARBEI *et al.*, 2001)、3) 搾乳日数延長は淘汰率を下げ、更新費用を節約し、受胎(妊娠)の乳生産に占める経済的影響が小さいこと(DE VRIES, 2006; 富樫、2008b)、4) 初産次の空胎日数(分娩間隔)と産次ごとの305日乳量との表型/遺伝相関は、初産で0.21/0.54、2産で0.19/0.45、3産で0.01/0.36であること(阿部ら、2008)、5) L P が高くなれば、分娩間隔を短縮する重要性は多少小さく、現実の分娩間隔では同じ乳量水準でもL P の高い牛が高い生産効率(高い生涯平均日乳量)を示すこと(武田、2011)が指摘されている。

このように泌乳曲線平準化牛の増加は、分娩間隔の延伸によって総乳量を伸ばし平均日量を確保しているため、武田(2011)が指摘するように分娩間隔を短縮する重要性は比較的小さいと考えるが、飼養管理面から次のような留意すべき問題がある。

泌乳曲線平準化牛は、特に一乳期1群飼養に多くみられる特徴的傾向があり(原ら、1998; 田中、2012)、一乳期を泌乳前期のTDN含量の飼料で飼養されることや、分娩間隔の延伸もあり、ボディコンディション(BCS)の調整と管理が難しく(田中、2012)、過肥(肥満牛症候群)のリスクが比較的高い(佐藤ら、2006)。そのため、分娩後の疾病や繁殖性に悪影響をもたらす可能性が推察される。

ここで泌乳曲線平準化牛の繁殖性を論考する前に、第2表の繁殖指標のうち、検討例として2産牛、305日乳量中水準におけるL P 値3水準別の分娩間隔及び受胎に要した授精回数(頻度分布)を付図7に示す。繁殖指標の分布は、平均が大きくても全体として分布がずれるのではなく、最頻値付近の記録が減少して右裾が長くなる非正規性の傾向(萩谷・佐分、

2009)があり、平均値は実情を反映していないかもしれない。しかし、検定成績(家畜改良事業団、2010)でも繁殖成績を平均値で公表していることや、第2、4、6表のように目的が乳量・LP、飼養頭数規模、地域の間と比較であれば平均でも傾向を示すことが可能と判断した。

泌乳曲線平準化牛の繁殖指標は、最頻値はほぼ同じだが比較的右の方向に分布し(付図7)、これまでの分娩間隔短縮化の考え方に基づけば、繁殖性が悪い傾向を示し、分娩間隔延伸へのリスクが高い。ここで第2表の泌乳曲線平準化牛の繁殖性が悪い原因について前産次の分娩間隔延伸を確認する必要がある。第2表の一部であるが2、3産の305日乳量中水準のLP値3水準別の前産次繁殖・泌乳曲線指標を付表4に示す。泌乳曲線平準化牛は前産次でも同様な泌乳曲線で分娩間隔が延伸する傾向を示した。

泌乳曲線平準化牛は、泌乳前期でピークまでの乳量増加率が低い特性から高い受胎性の可能性を示唆する論考がある。すなわち分娩後早期に初回排卵がある牛は、分娩後の体脂肪動員が少なく、ピークまでの乳量増加率が低い特徴(KAWASHIMA *et al.*, 2007)を持ち、その後の早期の卵巣機能回復と高い受胎性を引き出す要因となること(宮本・川島、2009)や、LPと受胎性とは正の遺伝相関(MUIR *et al.*, 2004; BAR-ANAN and RON, 1985)があり、初期増加乳量とピーク乳量が低い泌乳曲線は負のエネルギー負荷が少なく、繁殖に有利に働くと推察されている(富樫、2008a)。一方、ピーク週乳量が低いほど初回排卵、発情、授精日は早まるが、空胎日数とは関係を認めない成績(坂口、2008; 坂口、2011)もある。乳生産と繁殖性との関係は相反する結論が多く、給飼システムや給飼量、放牧や舎飼といった乳生産体系、産次などの多くの要因が相互に関係しあって導かれるからと考えられている(坂口、2011)。その要因解明の一つとして前産次の泌乳末期・乾乳期の適正なBCSの確認が必要と考える。

分娩後の疾病や繁殖性に悪影響をもたらす可能性を小さくするには、泌乳後期から乾乳期への適正BCSを3.0～3.5で調整する必要がある(古村、2012; 田中、2012)。一乳期1群飼養の泌乳末期の過肥改善は、長期的にはLPの高い種雄牛の選定による計画交配が有効だが、適正なTDN含量でも制御可能であり、2産以上の経産牛のつなぎ飼養試験から、9000kg総乳量水準で、過肥と濃厚飼料給与量を節

減する適正TDN含量73%が示されている(原ら、1998)。また乳検成績と飼養標準をもとに一乳期TDN過不足量を求め、泌乳中後期のエネルギー過剰を緩和し、一乳期TDN過不足量を最小にする、9000kg乳量水準の一乳期1群TMRの適正TDN含量は72～73%と試算されている(糟谷、2011)。

泌乳曲線指標のピーク乳量日は、その遅延によりその後続く飼料摂取量ピーク期に同期化することを意味し、泌乳前期のエネルギーバランス(EB)改善に関係する指標である。一般に最高期(ピーク乳量日)が遅いものほど泌乳期間が長くかつ減退の穏やかなこと(LPが高い)が多いという事実が古くから知られている(内藤、1975)。ピーク乳量日とLP値との相関は、初産が0.35であり(第3表)、他にLP値の算出法が異なるが、初産の両者の表型相関が0.61(YAMAZAKI *et al.*, 2011)、表型相関/遺伝相関が0.39/0.37(萩谷・佐分、2009)、遺伝相関が0.54(MUIR *et al.*, 2004)などがある。しかし、2、3産は無相関(-0.01～-0.05)であり、むしろピーク乳量日は初期増加乳量と高い正の相関を示した(第3表)。毎月1回の泌乳記録に基づくために、ピーク乳量日はデータ構造による影響を他の泌乳曲線指標より受けやすいと推察され、参考値としての位置付けが適切かもしれない。今後、飼養試験などで日乳量に基づく泌乳曲線データで、特に2産以上の経産牛でLP値との関係を調査していく必要がある。

3. 2005～2009年分娩牛の経産牛飼養頭数規模別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標

経産牛飼養頭数規模(以下規模)層が大きいほど一頭あたりの乳量が高い傾向は検定成績(家畜改良事業団、2010)でも示されているが、都府県の規模に合わせ50頭以上を一区分で集計しており、50頭以上を4つに細区分した本成績結果でも同様な傾向を示した(第4表)。また1995～1997年の道立根釧農試・道立新得畜試^{†1)}(2000)の頭数規模(40頭、60頭を区分値とする3階層)別調査では、大規模層ほど高産乳で繁殖性が良いことが示されている。

酪農場の飼養形態や飼料給与法といった飼養法は規模別に傾向があり、それが泌乳曲線、産乳、繁殖各指標に反映している部分が多い。すなわち大規模になるにつれて、主たる経営形態が家族経営から規模拡大型家族経営、さらにメガファーム(法人)へ、主たる飼養形態がつなぎ(放牧)飼養からFS飼養

へ、主たる飼料給与法が分離給与・放牧からTMR一群、さらにTMR群分け(付表3)へと移行している。

大規模層ほど305日・総乳量の高いのは、つなぎ飼養よりもFS飼養が、分離給与よりもTMR給与、さらにTMRの群分け数で高産乳化が達成されていることを示している(第4表、付図4)。しかし、各規模階層の中で100～199頭層が一つ下の規模層(75～99頭)との乳量差が24～97kgと最も少なく、増加率が小さかった(第4表)。初期増加乳量を305日乳量の低・中・高3水準に細分化した付図6-1の75～99頭層と100～199頭層との比較では、後者の高乳量階層の初期増加乳量の増加が認められない。75～99頭層は1群管理、100～199頭層は2群管理がピーク層を形成しており(付表3)、特に高泌乳牛に対する群分けの効果が小さい可能性を示唆した。

泌乳曲線指標との関係では、大規模層ほど、305日乳量と正の相関(第5表)があるピーク乳量、初期増加乳量が高く、ピーク乳量日が遅延している(第4表)。LP値は、大規模層ほど、初産牛で漸増し泌乳曲線が平準化傾向を示し、2、3産牛で200頭以上層はメガファームで低下を認め、高ピーク低持続型泌乳曲線を示した(第4表)。これは初産牛一乳期1群、経産牛2群(泌乳前期と後期)の3群管理が主要層となっており(付表3)、給与飼料(TMR)のエネルギー水準を反映したものと推察される。

大規模層ほど、305日乳量とLP値、ピーク乳量日、初期増加乳量との相関が小さかった(第5表)。その原因を調べるために、初期増加乳量とLP値について305日乳量を低・中・高3水準に細分化して付図6-1と付図6-2に示した。大規模層になるにつれて、各産次とも305日乳量低水準の初期増加乳量、LP値とも高水準の方向に動いて平均値差が縮小し、それが相関の小さい原因と推察した。これは大規模層ほど、酪農場間、酪農場内にせよ、牛群構造が高乳量の方向へ個体間の斉性が高まっていることが示唆される。大規模化によるTMR利用とFS飼養の増加、低泌乳の過肥による疾病発生や除籍の可能性、低泌乳などの計画除籍の増加(第8表)などが、産乳の個体間の斉性を高める方向に反映したものと推察する。

1975～2009分産年次変化の初期増加乳量が2産≡初産であったが(第1-5図)、74頭以下層で2産<初産、75頭以上層で2産>初産の違い(第4表、

付図6-1)は、初産次が74頭以下層で主要な個別・乳期別飼養、75頭以上層で主要な一乳期1群飼養の影響が示唆される。すなわち初産次の泌乳後期エネルギー水準の高低が2産次の初期増加乳量に反映している可能性が推察される。前述の2群管理がピーク層の100～199頭層における305日・総乳量の比較的低い増加率、LPの高い初産牛ほど顕著に高い総乳量(第2表)や200頭以上のメガファームの主要飼養法である初産牛一乳期1群飼養を反映する高いLPと高い総乳量(第4表)を踏まえ、初産牛はこれまで推奨されている乳量・乳期別栄養管理と一乳期1群飼養との比較検証研究の必要性が求められる。

大規模層ほど分娩間隔が短縮するのは、さらに付表5でも詳細に確認されるが、FS飼養がつなぎ飼養にくらべ発情の行動的変化を目視でとらえやすく、また大規模酪農場で多く利用されている歩数計など発情発見補助具による高い検出率(坂口、2011)あるいはFS飼養の群分け栄養管理による適正なBCS調整が反映しているのかもしれない。また大規模層の低産次化(第8表)は、増頭過程の経営が多い可能性(佐々木ら、2009)から繁殖性の良い初産牛の割合が高い牛群構造が推察されることや、この階層の高い計画除籍率(第8表)などから、高乳量、高品質、作業の効率化に起因する除籍基準の厳格化(扇ら、2000;道立根釧農試・道立新得畜試^{†1)}、2000)も推察される。

4. 2005～2009年分産牛の北海道各地域別泌乳曲線、産乳、繁殖各指標

305日・総乳量は、粗飼料主体がとうもろこしサイレージの畑作酪農地域で高く、牧草サイレージの草地酪農地域で低い傾向を示し、濃厚飼料使用量も含め、給与飼料の水分含量や栄養含量の影響を反映したものと推察される(第6表)。

地域性も、頭数規模と同様に、酪農場の飼養法が泌乳曲線、産乳、繁殖各指標を反映している部分が多い。各地域のFS牛舎導入率の高い地域ほど305日・総乳量が高く、搾乳・乾乳日数が短い傾向、分娩間隔などの繁殖性が改善傾向を示した(第7表)。FS牛舎の給飼法は、分離給与が12.5%と少なく(北海道畜産振興課調べ、2011)、TMRの高い利用が305日・総乳量の増加に寄与していると考えられる。

泌乳曲線指標では、FS導入率が高い地域(n=14)ほど、初産次は、LP値が有意(p<0.01)に高く、ピー

ク乳量日が有意($p < 0.05$)に遅延して、泌乳曲線が平準化傾向にある(第7表)。2、3産次は、ピーク乳量日が有意に遅延するが、初期増加乳量やピーク乳量が高く、泌乳曲線が高ピーク低持続型傾向にある。産次の泌乳曲線形状の属性もあるが、初産次が一乳期、経産牛が泌乳前期と後期のF S栄養管理法の反映が推察される。

5. 2009～2011年の経産牛飼養頭数規模別と北海道各地域別の除籍理由割合と平均・除籍産次

除籍(淘汰)率、除籍理由割合や平均・除籍産次は、酪農中核地域別、頭数規模、飼養形態(つなぎとF S)別、乳量水準別に乳検データのほか共済データをもとにした1995～1997年の調査(扇ら、2000；扇、2001；道立根釧農試・道立新得畜試^{†1)}、2000)があるが、それ以降、乳牛の遺伝的改良や群飼養の増加などのさらなる飼養環境の変容もあり、今回、同様な解析を行ったが、その数値傾向に特に改善傾向はみられない(第8表)。すなわち、平均・除籍産次は大規模化や高泌乳牛ほど短く、草地酪農中核地域より畑作酪農中核地域で短かった。大規模層ほど肢蹄故障(運動器病)、消化器病の除籍割合が多い傾向にあった。

畑作型と草地型の飼養形態別1466戸の調査(扇ら、2000；扇、2001；道立根釧農試・道立新得畜試、2000^{†1)})では、除籍割合がつなぎ飼養でやや高く、除籍理由割合はF S飼養で運動器病、消化器病、死亡が高く、つなぎ飼養で乳房炎、乳器障害、乳用売却、繁殖障害が高いという。また根室217戸、十勝98戸各管内酪農場の共済データから、つなぎ飼養は乳房炎、乳頭損傷、卵巣疾患が、F S飼養は第四胃変位、乳熱が多いという。この傾向は、飼養形態の比率をある程度反映する経産牛頭数規模別や地域別の第8表から推察される部分がある。

除籍理由で最も高い割合の繁殖障害(第8表)が、飼養頭数規模で傾向がなく、酪農中核の十勝地域が釧路、根室地域よりも高いのは、積極的な淘汰(扇、2001)や305日乳量の違いのほかに、とうもろこしサイレージと牧草サイレージを粗飼料源とする飼養の違いによるBCS変化への影響が推察されるが詳細は不明である。

1995～1997年の調査(扇、2001)は、除籍割合を経産牛頭数に対する全除籍頭数割合で計算し、つなぎ飼養26.1%、F S飼養24.8%を示し、経産牛の在

群年数(生産寿命)のほぼ逆数となるとしている。除籍割合は、算出法により異なるので第8表に示さなかったが、これで算出すると2008～2011年で25.6%であり、現在も供用年数(初産時から除籍までの年数)延長改善はみられない。また除籍理由が明確な全除籍に対する不慮の除籍は85.1%と1997年の82.9%(道立根釧農試・道立新得畜試、2000^{†1)})にくらべ改善されていない。

「酪農および肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」(農林水産省、2010a)は北海道の推奨除籍(更新)産次を牧草地主体・家族経営・分離給与5.0、牧草地主体・家族経営・TMR給与4.5、畑主体・法人経営・TMR給与4.0としている。本成績の除籍産次は3.6であったが、畠山(2000、2001)は、北海道の草地型酪農経営をモデルとして線形計画法による最適除籍産次は3.6付近とし、高めの個体販売価格や高産次の乳質劣化や産乳能力の低下を考慮したためとしている。

検定成績(家畜改良事業団、2010)によると、4～5年型(3～4産)で305日乳量がピークとなり、7～8年型(6～7産)で2～3年型(1～2産)の産乳水準に戻ることや搾乳期間365日の生涯平均日乳量は産次が上がるほど高くなるがその差は小さく、6産から7産で3%強、7産から8産で2%強の上昇にとどまると指摘されている(武田、2011)。除籍産次延長は生産コストに占める乳牛償却費の低下につながるが(磯貝、1998；畠山、2001)、高産次延長による生産効率面も考慮する必要があると考える。

V. 総合考察

305日乳量はピーク乳量と最も高い正の相関を示し(第3、5表)、これまでの乳牛の育種改良と飼養技術が、ピーク乳量を上げることで305日乳量を向上させてきた経緯を裏付けている。泌乳曲線平準化のための過度の低ピーク乳量化を求めると305日・総乳量を低下させる可能性がある。また後述のように、泌乳前期の負のEBは低ピーク乳量化よりもTMR利用などによるエネルギー摂取量を上げることで改善効果が期待できると考える。

酪農現場からは今までの改良成果を崩さない事が重要で、理想としては高ピーク高持続性(高位平準化)が期待されている(久田^{†2)}、2011)。育種改良の継続性から、技術の定着に向けた当面の目標として、ピーク乳量の許容できる低下値及び目標となる

L P 値の提示が必要と考える。

第2表の305日乳量中水準のL P 値3水準でみると、高水準と中水準(高水準と低水準)の平均ピーク乳量差は、初産で2 kg(4 kg)、2、3産で3 kg(5 kg)であり、総乳量を低下させないピーク乳量の許容可能な低下値のおよその目安となる。同様にL P 値中水準の初産94、2、3産88～89をベースとした時、高水準の初産97、2、3産92～93がL P 値の目標となる。2産以上の経産牛のこのレベルは初産牛の平均L P 値並みとなり、B C S平準化を条件に、給与設計上から一乳期1群飼養も可能な目標水準と考える。

L P 向上の改良目的は、H22年家畜改良増殖目標によると、飼養管理が比較的容易となる乳牛の作出及び生涯生産性の向上であり、管理作業の省力面とウシの健康面の二面性を有している。前者の省力面において、一乳期1群飼養を想定し、給与設計及び群分けの単一化や飼料調製作業の軽労化、同時に疾病などの別搾乳作業の低減、牛群内搾乳量と搾乳時間の斉一化で、搾乳作業の省力化を図ることである。

後者のウシの健康面において、群レベルでは、一乳期1群飼養で飼料の構成や社会的な個体間関係を安定化させ、群分けや分娩前後移行期による乳量、体重、採食量の段差的变化(田中、2012；石井ら、2004)をなくすあるいは縮小することである。個体レベルでは、一乳期及び分娩前後のB C Sを平準化して、やせ過ぎや過肥の少ない、摂取した飼料を直接乳生産にまわす乳牛の改良で、飼料効率を高め、濃厚飼料給与量を減らし、抗病性と繁殖性を改善し生涯生産性を高めることである。

B C Sは摂取量と産乳量とのエネルギーバランスを示す体蓄積・損失脂肪量の指標であり、その平準化は体脂肪量の増減を縮小し、一乳期の変動をT D N充足率100%あるいはE Bをゼロに近づける改良と換言できる。泌乳曲線が遺伝的に平準化されると、泌乳前期で、泌乳曲線と乾物摂取量(D M I)曲線の乖離が小さいこと(DEKKERS、1998；富樫、2008a)、あるいはL P 向上に伴うピーク乳量日の遅延による飼料摂取量ピーク期への同期化(富樫、2007、2008b)によって、また泌乳後期で、L P 向上による摂取エネルギーの体脂肪蓄積よりも産乳への配分によって、B C SがL P との遺伝相関反応として間接選抜され、その平準化が期待される。

しかし、泌乳曲線平準化はIV章1節で考察したよ

うに、受胎の遅れ、暑熱、泌乳後期の濃厚飼料多給などの遺伝要因以外の飼養・自然環境要因が原因で表型化し、その場合必ずしもB C Sが平準化するわけではない。

B C S平準化特性を間接選抜するL P の遺伝的改良は、高泌乳化(305日・総乳量の維持)を前提とした泌乳曲線形状の改良であるので、生産現場の雌牛群も、前述のようにピーク乳量の大きい低下がないことのほかに、高L P と同時にB C Sの平準化が条件となる。換言すれば、L P の高い種雄牛との計画交配において、酪農場の雌牛群は総乳量とL P の他にB C Sを選抜指標として考慮すべきと考える。飼養管理面からは、B C Sが平準化した総乳量の多い雌牛の在群が抗病性や繁殖性改善による生涯生産性を高めると考えられているからである。

泌乳前期におけるやせ過ぎ(負のE B)の改善は、低ピーク乳量化よりもエネルギー摂取量(乾物摂取量(D M I)×エネルギー含量)の向上で比較的可能と考える。T M Rを給与した泌乳前期のE Bは、乳量が低いほど改善されるが($r = -0.25$ $p < 0.05$)、それよりもエネルギー摂取量($r = 0.73$ $p < 0.01$)を増やすことで改善されると報じられている(VILLA-GODOY *et al.*, 1988)。また高エネルギー(N E L 1.78Mcal/kg 乾物、D M I 体重比3.6%)と低エネルギー(N E L 1.52Mcal/kg 乾物、D M I 体重比3.2%)のT M Rを給与した成績(KENDRICK *et al.*, 1999)では、分娩後16週間平均日乳量はそれぞれ41.6kgと32.8kg、負から正のE Bに達した分娩後週がそれぞれ3週と7週であり、エネルギー摂取量が高いと高泌乳でもE Bの回復が早いことを示している。さらに最大D M Iをもたらず飼料条件(T D N 72～75% 乾物、C P 16～18% 乾物、N D F 30～40% 乾物(粗飼料構成で異なる)、乾物粗飼料率40～50%、飼料中乾物率40～65%、T M R 給与、給与量の5%の残飼量(自由採食))であれば、D M I 体重比4%が可能で分娩後1ヵ月ほどでT D Nが充足する成績が示されている(早坂、1997)。

特にT M Rは分娩後速やかにD M I を上げるのに有効であり、1960年代米国で、補正305日乳量8800kgの高泌乳牛の最大D M I が20.3kg、分娩後9週までの平均D M I が15.9kg、同体重比2.5%であった測定例(浜田、1984)と比べて、F S 飼養のT M R 給与やT M R センターの普及に支援されて、現在の泌乳前期のD M I は向上しており、飼養管理面から高ピー

ク乳量をあまり下げないで、負のEBの改善は比較的可能と考える。泌乳曲線平準化牛の特性である分娩後のゆるやかな乳量増加は、ピーク乳量をあまり下げないで、ピーク乳量日の遅延で可能であるので、初産牛を除く経産牛でその可能性の調査が必要であろう。以上から、泌乳前期に負のEBになりやすい粗飼料と濃厚飼料の分離給与牛あるいは最大DMIの飼料条件に満たさない飼養牛群に対してはLPの高い種雄牛の計画交配が推奨される。

泌乳後期における過肥は、低エネルギー含量の飼料設計あるいは制限給与が可能となき飼養分離給与のような個体精密栄養管理や乳期別群栄養管理で制御できる。しかし、一乳期1群TMR飼養に比較的多い泌乳曲線平準化牛は比較的分娩後のBCSの回復が早い傾向(YAMAZAKI *et al.*, 2011)もあり、一乳期の泌乳前期と同じ高い給与エネルギー水準や、受胎の遅れによる分娩間隔の延長(第2表)に起因する過肥(佐藤ら、2006)のリスクがある。その過肥と産乳量を改善するためのLPの高い種雄牛による雌牛への計画交配が推奨される。研究面では泌乳末期のBCSが適正上限に達する分娩後日数に基づく分娩間隔の標準値の検討や、一乳期1群飼養であればBCSの適正条件内の給与TDN水準の検証などの研究蓄積が必要と考える。

北海道酪農場の減少予測を2歳以上飼養頭数階層別にみると、80～90頭が酪農場数増減の分岐点となり、40～50頭層は大きく減少し、2020年には60～70頭層及び100～150頭層の双峰型を形成し、地域間格差はあるが平均は小規模層減少、中規模層残存、大規模層増加を示すという(鶴川ら、2004)。双峰型は第4表の乳検の経産牛解析頭数からも確認できる。十勝、網走(オホーツク)、釧路、根室の酪農中核地域は、その経産牛解析頭数の全解析頭数に対する割合が75%を占め、同居農業後継者を確保した農家率が30%前後と高く、農家継承が相対的に安定した地域であり(細山、2012)、FS導入率も高い(第6表)。

すでに一乳期1群飼養が100頭以下の大規模家族経営層を中核に主要階層を形成し(付表3)、FS飼養の主たる給与であるTMRが、TMRセンターの普及でつなぎ飼養にも導入される趨勢の中で、特に泌乳後期の過肥と産乳量を改善するLPの遺伝的改良は、個体管理から牛群管理の飼養に移行する時流に適っている。すなわち個体管理が難しいといわれ

る牛群管理(新搾乳システム実用化推進事業、1996)から個体斉一化管理に基づく、濃厚飼料給与量を節減し、抗病性と繁殖性を改善する省力化牛群管理への道を開くものと考ええる。

磯貝(1998)によると、酪農場の所得確保のためには、①生産コスト、②1頭あたりの年間乳量、③飼養頭数の三つの配慮が必要としている。LPの高い牛群作りに向けた乳牛改良と飼養管理は、泌乳期のBCSの平準化に基づく濃厚飼料の節減、抗病性、繁殖性の改善であるので、①の生産コストのうち、飼料費、乳牛償却費、獣医師・医薬品費、種付け料などの低減に寄与する。

②と③に関連して、最近の生乳生産量と乳牛の飼養頭数はそれぞれ1997年、1993年以降減少傾向で推移している(農林水産省、2011)。増頭による規模拡大が減速し、成熟段階に入りつつある。北海道の酪農中核地域でも、農家数減少は緩慢で農地供給の制約(細山、2012)から規模拡大はゆるやかな傾向にある。乳生産性の低下を防ぐために、群飼養下でも施設スペースに対する収容頭数の適正化、1頭あたりの給飼幅の確保、一定の残飼量のある自由採食の実施も順守される傾向にある。こうした背景から③の飼養頭数よりも②の1頭あたりの年間乳量の増加によって所得を向上する必要がある。LPの改良は、長命性に基づく生涯生産性の向上を目指す比較長期間を要する。短中期的には現行の飼養法を見直し、現状の平均産次の牛群で1頭あたり年間乳量の増加による生涯生産性の向上が必要と考える。

第4表によると初産牛の一乳期乳量は平均9381kgであり、200頭以上のメガファームは9897kgと50頭以下の酪農家の9064kgとくらべ約900kg多く、2、3産の総乳量も他の頭数規模階層を上回っている。メガファームはTMR利用などの他に、初産牛の高いLP値をもたらす一乳期1群飼養が多い点にその原因が推察される。初産次のLPと初産次、2産次、3産次の305日乳量との遺伝相関は0.46～0.51と高く(富樫、2008b)、初産次の乳量と高LPの改良が5産までの総乳量を最も改善すると報じられている(TOGASHI *et al.*, 2012)。但し、初産次の乳量、LPと在群性との遺伝相関はそれぞれ-0.01、0.09と低いので、在群性の改良には2、3産の乳量とLPが必要なことを示している(TOGASHI *et al.*, 2012)。

一方、FSの2群管理がピーク層を占める経産牛100～199頭層(付表3)は、1群管理がピーク層を占

める75～99頭層に対し、305日・総乳量の増加量が少なく(第4表)、高乳量牛の初期増加乳量が停滞し(付図6-1)、3群管理が増える200頭以上層になると305日・総乳量が著増している点から、2群管理における初産牛の乳期別栄養管理の問題が示唆される。これに関連して、BCSの面からも、2産分娩前8週間(初産次乾乳期)のBCSが他の産次前のそれよりも低い傾向が示され、初産牛のエネルギー増給の必要性を示唆する成績(KERTZ *et al.*, 1997)がある。

以上及びIV章3節の考察から、現行の飼養法の見直し案として、つなぎ飼養は乳量・乳期別給与から一乳期を同じ栄養濃度の給与、FS飼養の2群管理(泌乳前期と同後期)は、初産牛のみ泌乳前期群に一乳期収容することで、全道の産乳水準の底上げと所得向上が期待される可能性があり、それを仮説とした飼養試験が必要と考える。

初産牛は経産牛にくらべ泌乳曲線が平準化し、成長中で、個体間のバラツキが小さい特性から、一乳期1群管理に適した条件を備えている。普及現場で推奨されているが(田中、2012)、技術的にそれを実証し、その詳細な達成条件を示した研究成績はない。初産牛の採食量、乳量、体重の計測に基づく栄養水準はこれまで泌乳前期の飼養成績しか示されていない。また日本飼養標準・乳牛2006年版(農研機構編、2007)は初産牛の成長要求量を維持の30%増としているが、初産牛の給与飼料の高い代謝率や成長の逓減性から高いと推察される。同飼養標準は、初産牛の産乳や増体の効率に関する研究成績はあまりなく、その蓄積が望まれると指摘している。

酪農総合研究所による乳牛の淘汰基準のアンケート調査によると、「繁殖成績が悪い牛」が76%と最も多く、種付け回数は「5回」が最も多いという(時田・熊谷、2001)。また2007年の家畜改良事業団によるアンケート調査(農林水産省生産局畜産部畜産振興課、2009)は、北海道の酪農家は「乳量」とともに「受胎率等繁殖性」の改良に関心を寄せている。連産性、除籍産次(供用年数)あるいは在群性に関係する繁殖指標である空胎日数、分娩間隔をめぐっては、泌乳曲線平準化牛の高いLPと分娩間隔の延伸によって総乳量を増やす特性から、空胎日数の目標をたとえば120日から150日までというように分娩間隔の短縮化の考え方を幾分緩和する。しかし、2産以上の経産牛の分娩間隔の遺伝率が0.1以下と低く

(藤田・鈴木、2006;阿部ら、2008)、遺伝的改良効果が低いことや、高泌乳化に伴う発情微弱化や無発情回帰(坂口、2010)、分娩間隔延伸に伴う計画交配と飼養法によるBCS調整の必要性、個体販売収入の期待などから、これからも適期授精の推進が必要と考える。付表6に、第2表から算出した総乳量階層別の305日乳量、繁殖指標の推定値を参考までに示す。

繁殖性と乳量との関係は、高泌乳化による受胎率や空胎日数などへの影響など相反する豊富な知見があり(坂口、2008、2011;MUIR *et al.*, 2004)、飼養法(給飼システム)別のフィールド観察調査によって、効率的に繁殖性改善の優先すべき指標が見つかるかもしれない。本研究の泌乳曲線形状などの解析でも、酪農場の飼養形態(つなぎ、FS)、飼料給与法(分離、TMR)、牛群栄養管理(個体、群分け数)といった多様化した飼養法の影響が推察された。牛群検定農家の飼養法調査を実施して、乳検データと統合することで、飼養法別の標準泌乳曲線形状、泌乳・繁殖指標(形質)、除籍理由などの飼養管理情報が得られれば、本考察のより精度の高い論考が可能になるほか、乳牛に関する研究・技術問題の摘出と克服を支援し、飼養法別の遺伝改良情報や普及指導情報として資するものとする。

VI. 摘 要

表型の泌乳曲線形状の年次変化の特徴と原因及び泌乳曲線形状の違いによる特性等を解析し、泌乳持続性(LP)の遺伝的改良に対する飼養管理面からの考察等を行うために、泌乳曲線形状の実態及び他の産乳、繁殖各指標との関係等を調査した。(社)北海道酪農検定検査協会に集積された北海道ホルスタイン種の牛群検定記録を用い、①1975～2009年分娩(誕生)牛の産次ごとの305日乳量と泌乳曲線形状の年次変化、②2005～2009年分娩牛の産次ごとの305日乳量・LP水準、飼養規模及び地域別の泌乳曲線、産乳、繁殖各指標、③2009～2011年の飼養規模と地域別の除籍理由-を解析し、次の結果を得た。

1. 泌乳曲線の分娩年次変化は、LP値(=分娩後240日乳量-同60日乳量+100)が1975年以降低下するが、1985年頃からピーク乳量日(ピーク乳量となる分娩後日数)の遅れとともに低下が緩やかになった。1995年頃から305日乳量とピーク乳量の上昇が穏やかになるとLP値は上昇傾向を示し、泌乳

曲線の平準化を認め、産次別では初産 > 2産 > 3産であった。

2. 305日乳量と泌乳曲線形状との相関は、ピーク乳量($r=0.86 \sim 0.88$) > 初期増加乳量(=分娩後35日乳量 - 同10日乳量) ($r=0.29 \sim 0.35$) > ピーク乳量日($r=0.23 \sim 0.31$) > LP値($r = -0.28 \sim 0.05$)であった。

3. 泌乳曲線平準化牛は、高いLP値とともに初期増加乳量とピーク乳量が低い傾向があり、非平準化牛に比べ、長い空胎日数と高いLP、長い搾乳日数と分娩間隔及び短い乾乳日数により総乳量が多い特性があった。

4. 経産牛飼養頭数の多い大規模酪農場ほど、搾乳・乾乳日数、分娩間隔、分娩月齢が短く、305日・総乳量が高い傾向を示した。また200頭以上層は、それ未満の規模階層に比べ、初産牛で最も泌乳曲線が平準化し、2、3産牛で最も高ピーク低持続型泌乳曲線を示した。

5. 地域別の305日・総乳量は、畑作酪農中核地域(十勝、網走)が、草地酪農中核地域(根室、釧路)よりも多い傾向を示した。またフリーストール(FS)牛舎導入率が高い地域ほど、分娩間隔が短く、305日・総乳量が高く、ピーク乳量日が有意($p < 0.05$)に遅れた。初産牛はさらにLP値が有意($p < 0.01$)に高く、泌乳曲線が平準化傾向を示した。

6. 大規模酪農場ほど、平均・除籍産次が短く、計画除籍率が高かった。また不慮の除籍理由では、肢蹄障害、消化器病が増える傾向、乳器障害が少ない傾向を示した。

以上の結果から、1990年代からの泌乳曲線平準化傾向及び表型の泌乳曲線平準化に影響する要因として、①省力群飼養に適した遺伝的な泌乳曲線平準化牛の在群漸増の可能性、②完全混合飼料(TMR)と省力群飼養の普及による濃厚飼料の多給化、③高泌乳化等に伴う分娩間隔延伸をもたらす繁殖性低下、④北海道の猛暑年や高温暑熱期間の延伸あるいはそれによる繁殖性低下、⑤乾乳日数短縮効果、⑥多回搾乳効果-を論考した。

泌乳曲線平準化牛はFS飼養、特に一乳期1群飼養牛に多く認める傾向と分娩後のボディコンディション(BCS)の回復が早い傾向を考察し、一乳期を泌乳前期水準のエネルギー含量での飼養や分娩間隔の延伸傾向から、過肥のリスクが比較的高く、LPの高い種雄牛の計画交配は泌乳末期の過肥の軽減

に資すると考察した。

泌乳曲線平準化は②~⑥の飼養・自然環境要因、すなわち受胎の遅れ、暑熱、濃厚飼料多給などの影響で表型化し、その場合必ずしもBCSが平準化していない。BCS平準化特性を間接選抜するLPの遺伝的改良に対応して、生産現場でも雌牛群はLPと総乳量と同時にBCSを選抜指標として考慮すべきと論考した。

泌乳曲線形状は、飼養規模別や地域別の解析から、多様化した飼養形態や飼料給与法といった飼養法の反映が推察された。飼養法と乳検データとを統合した比較解析で、より効率的な飼養技術に関する課題の摘出や克服、飼養法別遺伝改良情報の解析などに資すると考察した。

謝 辞

本研究を取りまとめるにあたり、(独)農研機構・北海道農業研究センターの古川力酪農領域長と村井勝専門員に助言と校閲、(社)家畜改良事業団の富樫研治顧問に助言及び2名のレフェリーの方々に対し謝意を表する。

引用文献

- 1) 阿部隼人、増田 豊、鈴木三義(2008): 北海道のホルスタイン種における初産分娩月齢と繁殖ならびに生産形質との遺伝的関連. 日畜会報. 79 (2)、203-209.
- 2) ARBEI, R., BIGUN, Y., EZRA, E., STURMAN H. and HOJMAN, D.(2001): The effects of extended calving intervals in high-yielding lactating cows on milk production and profitability. J. Dairy Sci.,84、600-608.
- 3) BAR-ANAN R. and RON. M.(1985): Association among milk yield, yield persistency, conception and culling of Israeli Holstein dairy cattle. J. Dairy Sci.,68、382-386.
- 4) BOHMANOVA, J., JAMROZIK J. and MIGLIOR F. (2009): Effect of pregnancy on production traits of Canadian Holstein cows. J. Dairy Sci., 92 (6)、2947-2959.
- 5) DEKKERS, J.C.M., TEN HAG J. H. and WEERSINK A.(1998): Economic aspects of persistency of lactation in dairy cattle. Livest. Prod. Sci., 53、237-252.

- 6) DE VRIES(2006): Economic value of persistency in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 89, 3876-3885.
- 7) 堂腰 顕(2012): 搾乳ロボットを使って搾乳回数をコントロールすることにより、牛群の乳量差を小さくして、ボディコンディションスコアを改善する. *根釧農試研究通信* .21、5-6.
- 8) 藤田千賀子、鈴木三義(2006): 乳牛の在群期間の遺伝率ならびに産乳、体型および繁殖形質との関連. *日畜会報*. 77 (1)、9-15.
- 9) 古村圭子(2012): 乳牛の一生 in 乳牛管理の基礎と応用(2012年改訂版)監修 柏村文郎、古村圭子、増子孝義. P.114-115, P.128-129, P.144. デーリイ・ジャパン社、東京.
- 10) 萩谷功一、安宅 倭、河原孝吉、後藤裕作、鈴木三義、白井達夫、渥美 正(2004): ホルスタイン雌牛の検定日記録から乳期生産量を予測する3種の方法の比較. *日畜会報*. 75、345-351.
- 11) 萩谷功一、佐分淳一(2009): 泌乳持続性と繁殖性に関する全国データを用いた検討 in 安全・安心な畜産物生産技術の開発. 農林水産技術会議事務局 研究成果470、154-162.
- 12) 浜田龍夫(1984): 乳牛の栄養代謝と飼料計算(6) - 乳牛のエネルギー代謝と飼料評価法の歴史的变化遷 -. *畜産の研究* .38 (10)、1251-1254.
- 13) 原悟志、大坂郁夫、遠谷良樹、草刈直仁、森清一、小倉紀美、川崎勉、石栗敏機、塚本達(1998): 泌乳牛一群管理のためのTMRエネルギー水準. H9年度研究成果情報 北海道農業. 北海道農業試験研究推進会議・農林水産省北海道農業試験場、138-139.
- 14) 畠山尚史、長南史男(2000): 草地型酪農における乳牛の供用年数と収益性. *北海道大学農経論叢* .56、77-83.
- 15) 畠山尚史(2001): 乳牛の供用年数と収益性 in 乳牛の供用年数を考える - その実態と決定要因 -. P.57-81. 酪総研選書 No.67酪農総合研究所、札幌.
- 16) 早坂貴代史、山岸規昭、田鎖直澄、宮谷内留行(1994): 北海道の乳牛に対する暑熱の問題 - なぜ北海道で暑熱が問題になるのか -. *畜産の研究* .48 (4)、443-446.
- 17) 早坂貴代史(1997): 完全混合飼料給与におけるホルスタイン種泌乳牛の乾物摂取量と養分要求量に関する研究. *北農研報*. 165、1-68.
- 18) 細山隆夫(2012): 北海道における農業構造変化の地域性と将来動向 - 2010年農業センサス個票組み替え分析 - in 北海道における農業構造変動と将来動向予測. *北農研農業経営研究*. 106、1-50.
- 19) 生田健太郎、吉村義久、丸山朝子、村中洋美、山科一樹、時田康広、加藤和雄、田鎖直澄、寺田文典(2009): 乳牛の乾乳期間を40日に短縮しても分娩状況、乳生産性、繁殖性に影響しない. H21年度近畿中国四国農業研究成果情報. [cited 19 September 2012] Available from URL : http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research_results/h21/08_chikusan/p197/01_804.html
- 20) 石井貴茂、楠原 徹、宇田三男(2004): 分娩後搾乳牛群加入時における経産牛及び初産牛の行動様式の相異. *茨城畜セ研報*. 36、39-47.
- 21) 磯貝 保(1998): UR後・21世紀に向けて 今こそ乳牛改良. P.22-24 酪総研選書 No.53 酪農総合研究所、札幌.
- 22) 家畜改良事業団(2010): 乳用牛群能力検定成績のまとめ - 平成22年度 -. 乳用牛群検定全国協議会、1-286.[cited 19 September 2012] Available from URL : <http://liaj.lin.gr.jp/japanese/newmilkset.html>
- 23) 家畜改良事業団(2012): 平成23年度乳用牛群能力検定成績速報(分娩間隔)、1-2. [cited 19 September 2012] Available from URL : <http://liaj.lin.gr.jp/japanese/newmilkset.html>
- 24) 家畜改良事業団・乳用牛群検定全国協議会(2012): 乳用種雄牛評価成績(2012-8月)、1-213.
- 25) 家畜改良センター(2011): 乳用牛評価報告. 31、1-156. [cited 19 September 2012] Available from URL : http://www.nlbc.go.jp/g_iden/nyuyou/houkoku.asp
- 26) 家畜改良センター(2012): HP「遺伝的能力評価」. [cited 19 September 2012] Available from URL : <http://www.nlbc.go.jp/pdf/iden/lact123.pdf>
- 27) 糟谷広高(2011): 1群TMR管理の適正なTDN含量とは. *DAIRY MAN*, 4、30-31.
- 28) KAWASHIMA, C., CA. MONTOYA, Y. MASUDA, E. KANEKO, M. MATSUI, T. SHIMIZU, N. MATSUNAGA, K. KIDA, YI. MIYAKE, M. SUZUKI and A. MIYAMOTO (2007): A positive relationship

- between the first ovulation postpartum and the increasing rate of milk yield in the first part of lactation in high-producing cows. *J. Dairy Sci.*, 90 (5)、2279-2282.
- 29) KENDRICK, K. W., T. L. BAILEY, A. S. GARST, A. W. PRYOR, A. AHMADZADEH, R. M. AKERS, W. E. EYESTONE, R. E. PEARSON and F. C. GWAZDAUSKAS(1999) : Effects of energy balance on hormones, ovarian activity, and recovered oocytes in lactating Holstein cows using transvaginal follicular aspiration. *J. Dairy Sci.*, 82、1731-1740.
- 30) KERTZ, A. F., L. F. REUTZEL, B. A. BARTON and R. L. ELY(1997) : Body weight, body condition score, and wither height of prepartum Holstein cows and birth weight and sex of calves by parity : A database and summary. *J. Dairy Sci.*, 80、525-529.
- 31) 小山 毅(2011) : 乾乳期間を短縮すると牛はどうなるか? . 根釧農試研究通信 . 20、4-5.
- 32) 宮本明夫、川島千帆(2009) : 低ピーク時の栄養状態が繁殖性に与える影響の解明と低ピーク化による繁殖性改善方向の検討 in 安全・安心な畜産物生産技術の開発. 農林水産技術会議事務局 研究成果470、154-162.
- 33) MUIR, B. L., J. FATEHI, and L. R. SCHAEFFER (2004) : Genetic relationships between persistency and reproductive performance in first-lactation Canadian Holstein. *J. Dairy Sci.*, 87、3029-3037.2004.
- 34) 内藤元男(1975) : 乳牛の育種 in 畜産大事典(佐々木清綱監修). P.108 養賢堂. 東京.
- 35) 中村正斗、中島恵一、高橋雄治(2011) : 乾乳期短縮が泌乳前期の乳量・乳成分、血液成分、疾病発生および繁殖性に及ぼす影響. *日畜会報*. 82 (1)、25-34
- 36) 根室農業改良普及センター (2012) : 夏バテもうご免～根室の夏をのり切ろう～. 暑熱対策営農改善資料. 根室生産農業協同組合連合会、1-64.
- 37) 農研機構編(2007) : 日本飼養標準・乳牛(2006年版). P.49、P.55. 中央畜産会. 東京.
- 38) 農林水産省生産局畜産部畜産振興課(2009) : 乳用牛の改良増殖をめぐる情勢. 12. [cited 19 September 2012] Available from URL : <http://jlia.lin.gr.jp/seisan/pdf/raku/raku-shiryoku05.pdf>
- 39) 農林水産省(2010a) : 家畜改良や畜産新技術の開発・普及等による生産性の向上 in 酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針、9. [cited 19 September 2012] Available from URL : http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/index.html
- 40) 農林水産省(2010b) : II 乳用牛 1 改良目標 in 家畜改良増殖目標、3-4.[cited 19 September 2012] Available from URL : http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/index.html
- 41) 農林水産省(2011) : 最近の牛乳乳製品をめぐる情勢について. 生産局畜産部牛乳乳製品課[cited 19 September 2012] Available from URL : http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/pdf/meguru_gyunyu.pdf#search='生乳の生産動向'
- 42) 扇 勉、金子 剛、堂腰 顕、杉本亘之、草刈直仁、出岡謙太郎、大坂郁夫、塚本 達(2000) : 乳牛の供用年数短縮の要因解析. H11年度研究成果情報 北海道農業. 北海道農業試験研究推進会議・農林水産省北海道農業試験場、180-181.
- 43) 扇 勉(2001) : 乳牛の除籍および傷病事故と乳量水準および飼養形態との関連 in 乳牛の供用年数を考える - その実態と決定要因 -. P.29-41. 酪総研選書 No.67 酪農総合研究所、札幌.
- 44) 坂口 実(2008) : 分娩後乳牛の繁殖性と生産性の関係. *日畜会報* 79 (3)、353-359.
- 45) 坂口 実(2010) : 乳牛の分娩後における無発情排卵の発生頻度. 北海道農研成果情報. [cited 19 September 2012] Available from URL : <http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2010/cryo10-34.html>
- 46) 坂口 実(2011) : 北海道農業研究センター飼養ホルスタイン種実験牛群の繁殖性. 北農研資料. 70、1-39.
- 47) 佐々木 修、相原光夫、長嶺慶隆、石井和雄、佐藤正寛(2009) : 乳量と産次数 0 の異なる酪農家間の繁殖形質および管理形質の比較. *日畜会報*. 80 (2)、145-156.
- 48) 鈴木三義(1998) 泌乳量の計測と標準化 in 動物遺伝育種学実験法(佐々木義之編). p.18-20. 朝倉書店、東京.

- 49) 佐藤めぐみ、岡田啓司、内藤善久(2006)：乳牛における TMR 泌乳期 1 群管理牛群と 2 群管理牛群の比較. 日本家畜臨床学会誌. 29 (3)、90-91.
- 50) 搾乳システム実用化推進事業(1996)：新搾乳システム定着化マニュアル. 畜産技術協会、182-183.
- 51) 武田尚人(2011)：同じ乳量水準でも泌乳持続性が高い方が効率はよい. DAIRY MAN, 3、66-67.
- 52) 田中義春(2012)：新(NEW)「乳」からのモニタリングー乳検成績を活用してー. P.18-19, P.28-33. Dairy Japan. 東京.
- 53) 富樫研治(2007)：泌乳曲線の平準化による自給飼料活用型乳牛への育種改良. 畜産の研究. 61 (1)、96-102.
- 54) 富樫研治(2008a)：泌乳持続性という新しい観点からの乳牛改良(1). 畜産の研究. 62 (1)、201-206.
- 55) 富樫研治(2008b)：泌乳持続性という新しい観点からの乳牛改良(2). 畜産の研究. 62 (2)、261-264.
- 56) TOGASHI, K., K. HAGIYA, T. OSAWA, T. NAKANISHI, T. YAMAZAKI, Y. NAGAMINE, C. Y. LIN, S. MATSUMOTO, M. AIHARA and K. HAYASAKA(2012)：Lactation persistency as a component trait of the selection index and increase in reliability by using single nucleotide polymorphism in net merit defined as the first five lactation milk yields and herd life. Asian-Aust. J. Anim. Sci. 25 (8)、1073-1082.
- 57) 時田正彦、熊谷知之(2001)：短縮化傾向を示す乳牛の供用年数 in 乳牛の供用年数を考えるーその実態と決定要因ー. P.1-28. 酪総研選書 No.67 酪農総合研究所、札幌.
- 58) 鶴川洋樹、細山隆夫、藤田直聡、安武正史(2004)：北海道酪農の経営規模階層別にみた動向予測. 北農研報. 180、45-161.
- 59) VILLA-GODOY, A., T. L. HUGHES, R. S. EMERY, L. T. CHAPLIN and R. L. FOGWELL(1988)：Association between energy balance and luteal function in lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 71 (4)、1063-1072.
- 60) 山口 諭、河原孝吉、後藤裕作、増田 豊、鈴木三義(2007)：ホルスタイン集団における最適な泌乳曲線モデルの検討. 日畜会報. 78 (4)、415-425.
- 61) 山口 諭、河原孝吉、後藤裕作、増田 豊、鈴木三義(2010)：多形質予測法による乳期中経過記録からの305日乳生産量の予測. 日畜会報. 81 (4)、401-412.
- 62) YAMAZAKI, T., H. TAKEDA, A. NISHIURA, Y. SASAI, N. SUGAWARA and K. TOGASHI(2011)：Phenotypic relationship between lactation persistency and change in body condition score in first-lactation Holstein cows. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 24 (5)、610 - 615.

会議資料

- †1) 道立根釧農業試験場・道立新得畜産試験場(2000)：乳牛の供用年数短縮の要因解析. H11年度北海道農業試験会議(成績会議)資料、1-57.
- †2) 久田真樹(2011)：乳牛改良に寄せる期待 in 乳牛改良による新たな飼養. H23年度北海道地域マッチングフォーラム(農研機構)、46-53.

Current shapes of lactation curves and characteristics of milk production and reproductive traits and culling reasons in the Hokkaido Dairy Herd Improvement Milk Recording of Holstein cows

Summary

The current shapes of lactation curves and their relationships with other milk production and reproductive traits as well as reasons for culling were investigated in order to determine the characteristics and causes of annual changes in shapes of lactation curves as well as the characteristics due to differences in shapes of lactation curves, and to discuss the concepts of LP (lactation persistency) from cow management practices with respect to the breeding of LP. Data for lactation curves, milk production, reproduction in 1st ~3rd lactation Holstein cows and culling information obtained from the Hokkaido Dairy Milk Recording & Testing Association were used for analysis. The data were analyzed for annual changes in 305-d milk yields and shapes of lactation curves for cows born in the period from 1975 to 2009, for shapes of lactation curves and milk production and reproductive traits for each of 3 levels of 305-d yield and LP and 9 levels of their combinations, for sizes of herds on farms and areas of Hokkaido in cows born in 2005~2009, and for culling reasons for levels of herd size of farms and areas of Hokkaido in 2009~2011. The results obtained were as follows.

1. Annual changes in lactation curves of cows born from 1975 to 2009 showed that the LP value (=240 days in milk (DIM)–60 DIM+100) decreased from 1975 with the rate of decrease becoming slower with delay in the peak period (DIM of peak yield) from 1985 and that LP increased as the rises in 305-d milk yield and peak yield became mild from 1995, so that lactation

curve tended to be flatter. The extent of flatness of lactation curve was in the order of 1st parity > 2nd parity > 3rd parity.

2. Sperman correlations between 305-d yield and lactation curve traits were in the order of 0.86~0.88 with peak yield > 0.29~0.35 with initial growing yield (=35 DIM – 10 DIM) > 0.23~0.31 with peak period > –0.28~0.05 with LP value.

3. Cows with flatter lactation curves, due to lower initial growing yield and peak yield, higher LP value and longer days open, showed greater total milk yields due to longer lactation period and shorter dry period.

4. Cows in large-scale dairy farms tended to be younger at 1st calving and have greater 305-d and total milk yields with shorter days open, lactation and dry periods. Primiparous cows showed the flattest lactation curves and multiparous cows showed lactation curves with higher peaks and less persistency in cows on large-scale dairy farms with over 200 cows.

5. Cows on farms in upland dairy areas such as Ishikari, Tokachi and Abashiri tended to have higher 305-d and total milk yields than those of cows on farms in grassland dairy areas such as Nemuro and Kushiro. Cows in higher areas of farms with free stall barns had shorter days open, higher 305-d and total milk yields and longer peak period ($P<0.05$), and primiparous cows had the flattest lactation curves with highest LP values ($P<0.01$)

6. Cows in large-scale dairy farms had lower average and culling calving numbers, higher rates

of planned culling, higher incidences of hoof and digestive disorders and lower incidences of mammary disease.

From the results obtained, both the flatter lactation curve with lower peak yield and higher LP from the 1990s and the phenotype flatness of lactation curve can be explained by the following genetic and environmental factors: ① possibility that cows with genetic flatter lactation curves that are suitable for labor-saving herd management were gradually selected, ② increase in the use of concentrates due to widespread use of total mixed ration and labor-saving herd management, ③ increase in the incidence of reproductive disorders due to longer calving interval such as increases of high-producing cows, ④ record hot summers and longer heat stress periods or increase in the incidence of reproductive disorders caused by heat stress, ⑤ effects of shortened dry period, and ⑥ effects of frequent milkings.

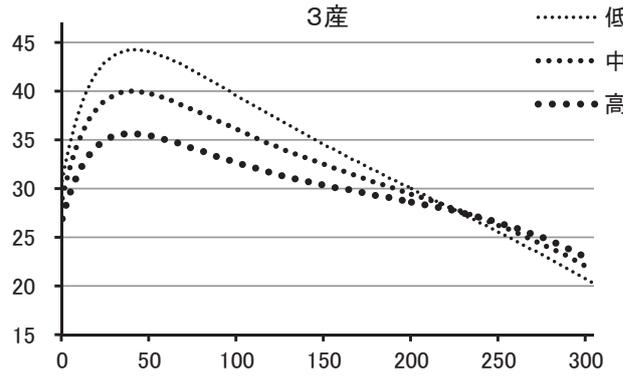
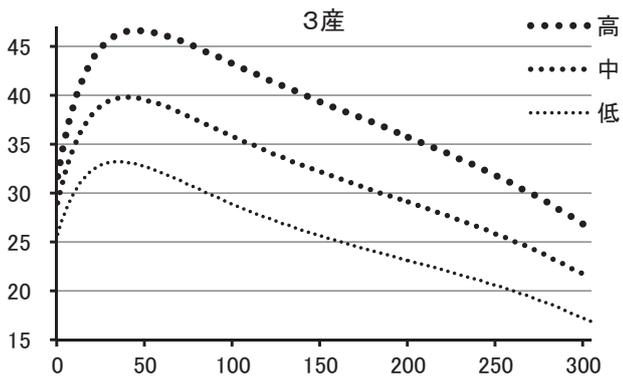
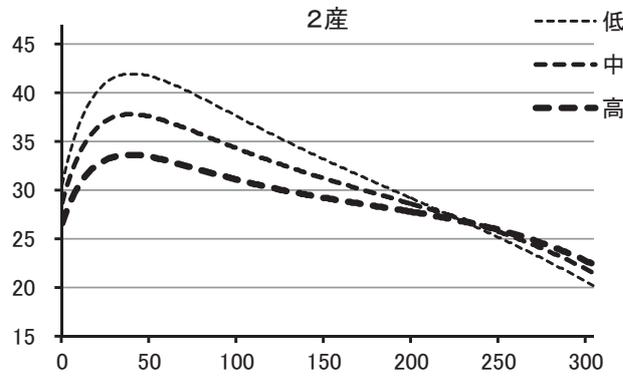
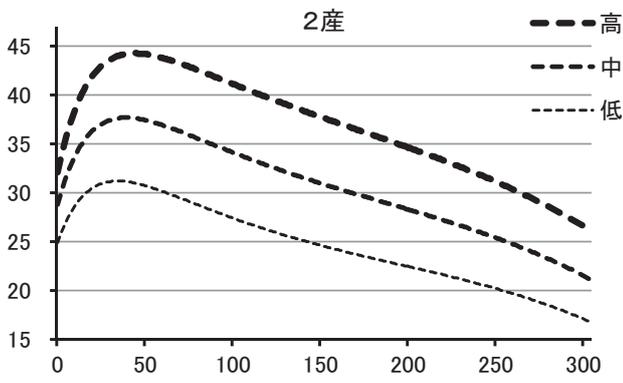
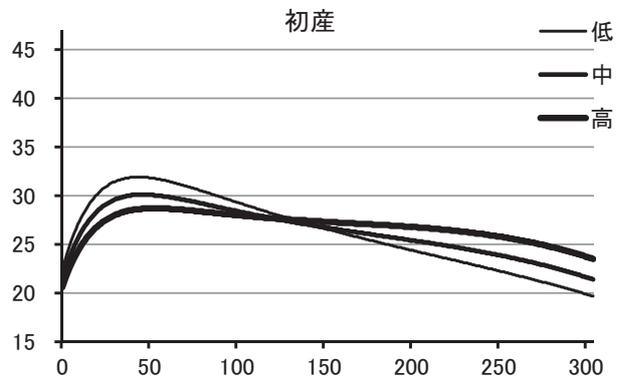
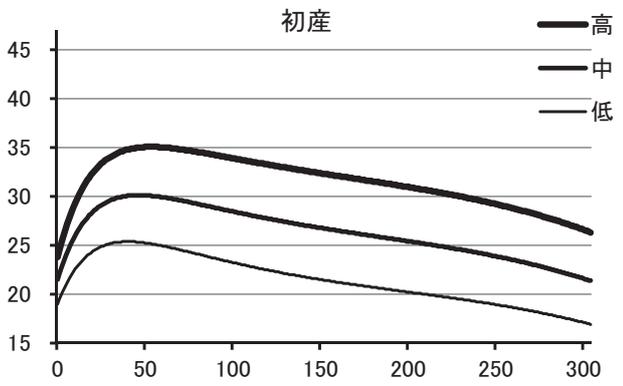
Cows with flatter lactation curves are thought to be particularly observed in one ration group

throughout the lactation period in free-stall housing. The cows thereby tend to have a relatively risk of high BCS (body condition score) in the late stage of lactation because of high energy ration and long calving interval. Therefore, mating with bulls with high LP is recommended.

The phenotype of flatter lactation curve might be caused by factors such as delayed conception, heat stress and use of a large amount of concentrates at late lactation. In that case, the BCS are not necessarily levelled. BCS together with total milk yield and LP should be considered as selection traits in terms of feeding and management, corresponding to the breeding of LP with indirect selection of levelled BCS.

Analysis of data for cows in herd of different sizes and in different areas suggested that shapes of lactation curves reflect differences in feeding methods. Integration of survey on feeding method and milk records of Dairy Herd Improvement should contribute to the establishment of efficient breeding and management methods.

付 図



付図1 産次ごとの305日乳量水準別泌乳曲線¹⁾

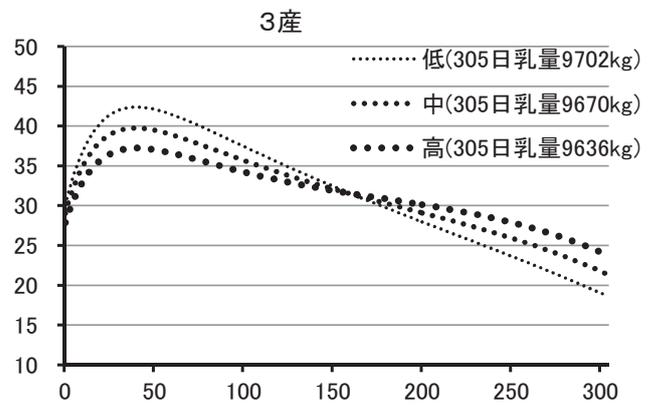
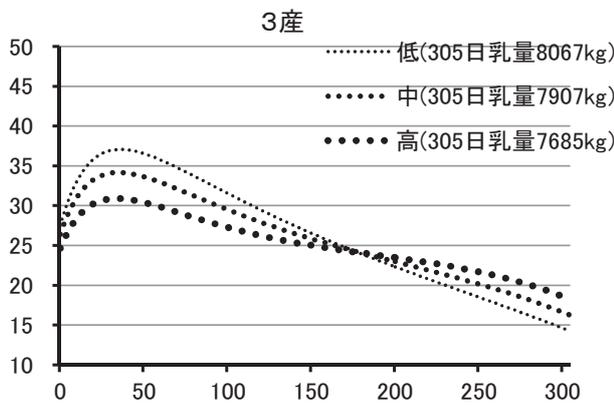
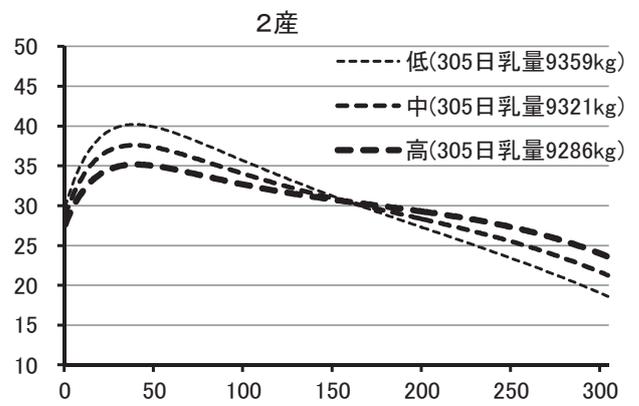
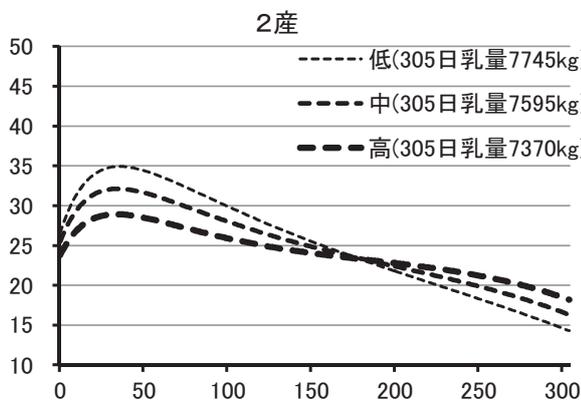
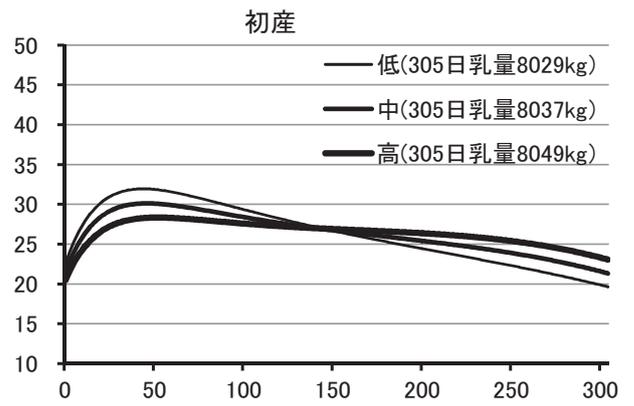
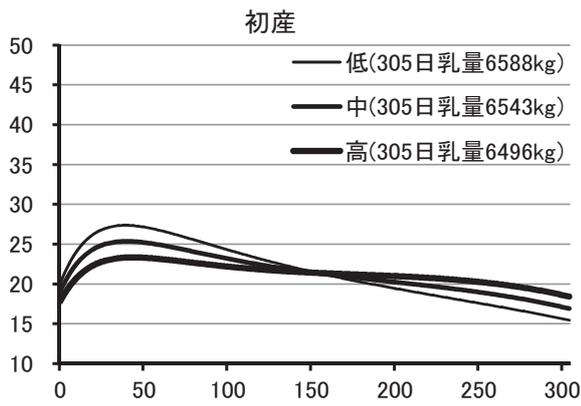
付図2 産次ごとの泌乳持続性(LP)水準別泌乳曲線

縦軸：乳量 kg 横軸：分娩後日数

縦軸：乳量 kg 横軸：分娩後日数

¹⁾ 2005～2009年分娩牛の北海道牛群検定記録を集計

¹⁾ 2005～2009年分娩牛の北海道牛群検定記録を集計



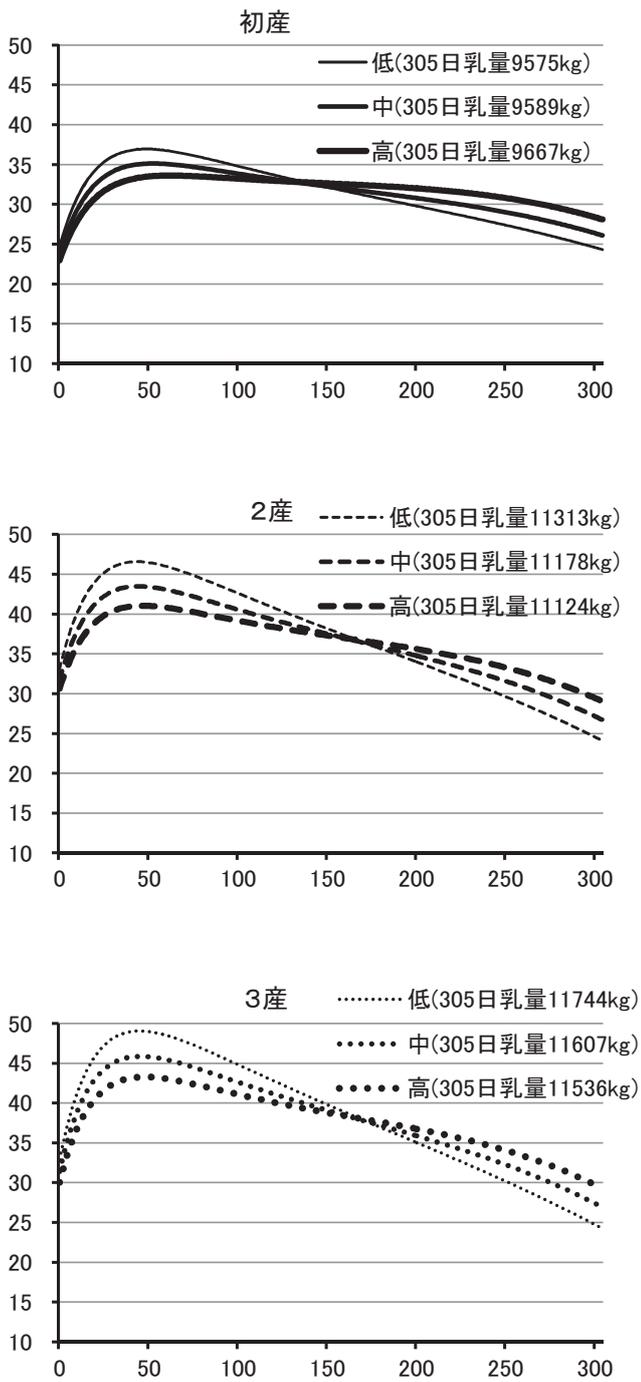
付図3-1 産次ごとの305日乳量低水準の泌乳持続性(LP)水準別泌乳曲線¹⁾

付図3-2 産次ごとの305日乳量中水準のLP水準別泌乳曲線¹⁾

縦軸：乳量 kg 横軸：分娩後日数

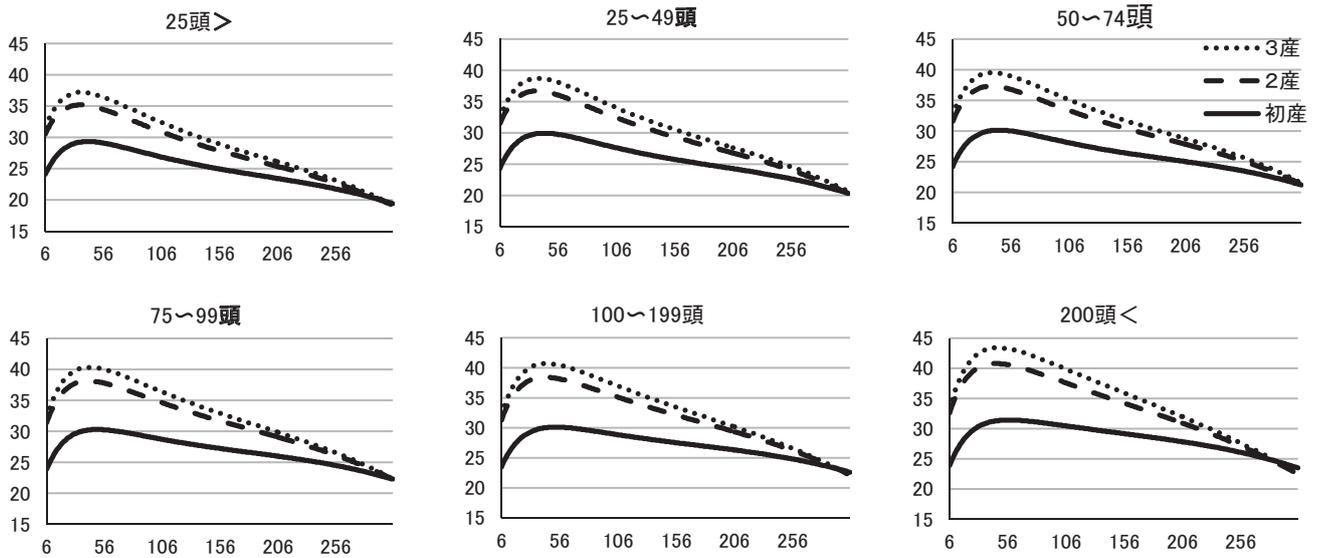
縦軸：乳量 kg 横軸：分娩後日数

¹⁾ 2005～2009年分娩牛の北海道牛群検定記録を集計



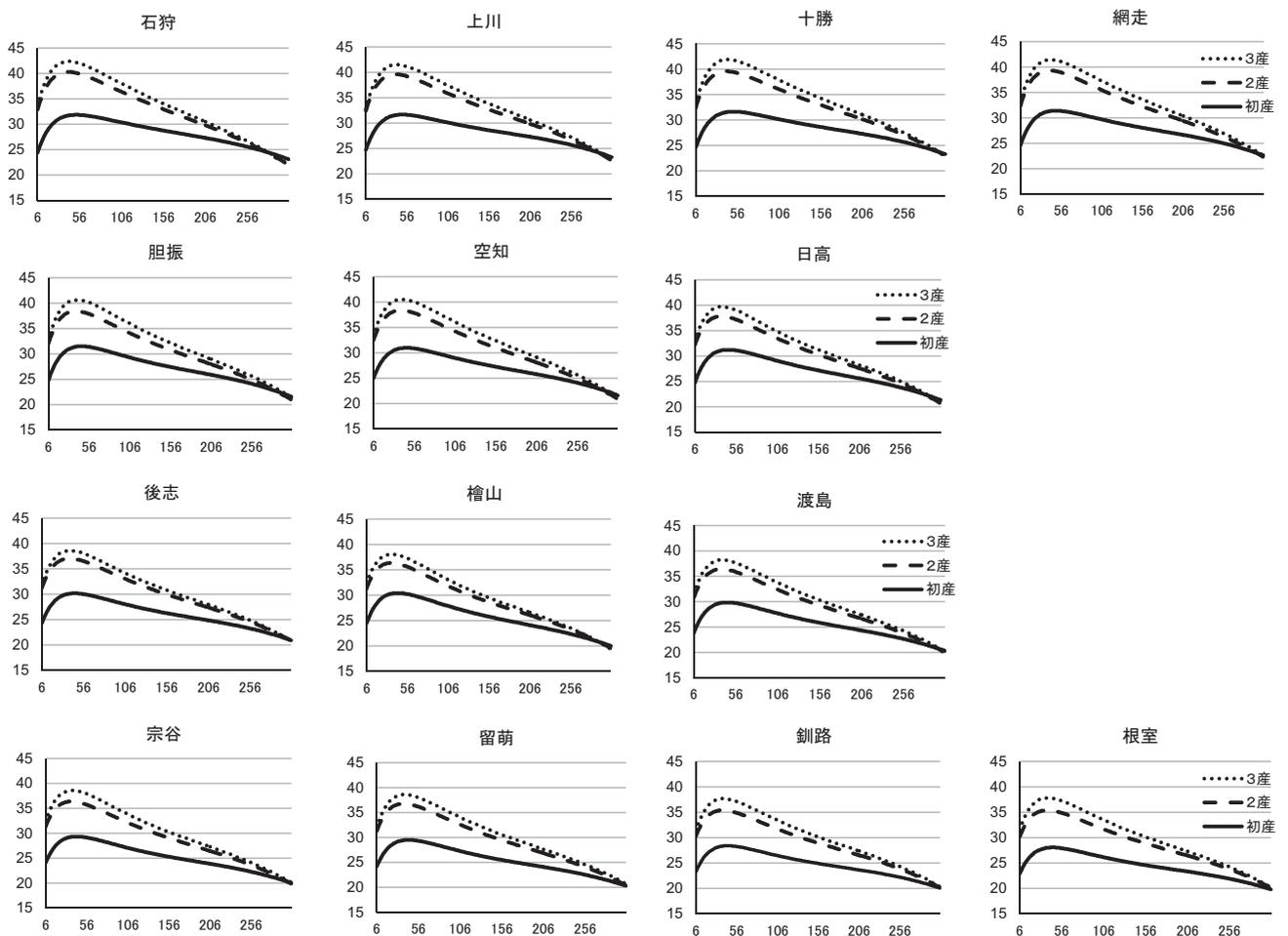
付図3-3 産次ごとの305日乳量高水準のLP水準別泌乳曲線¹⁾

縦軸：乳量 kg 横軸：分娩後日数



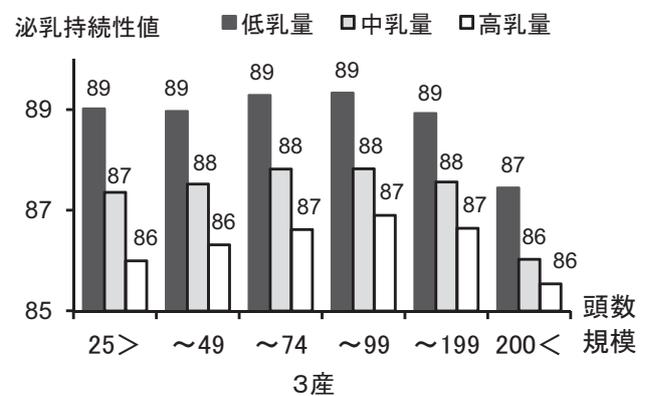
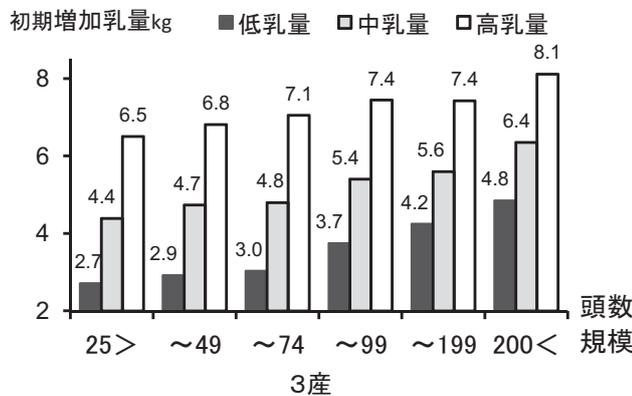
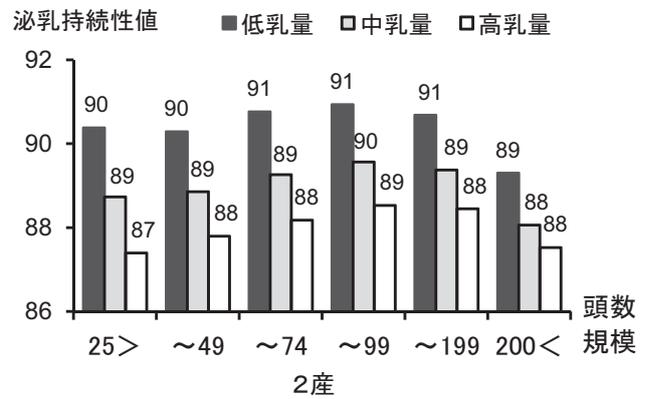
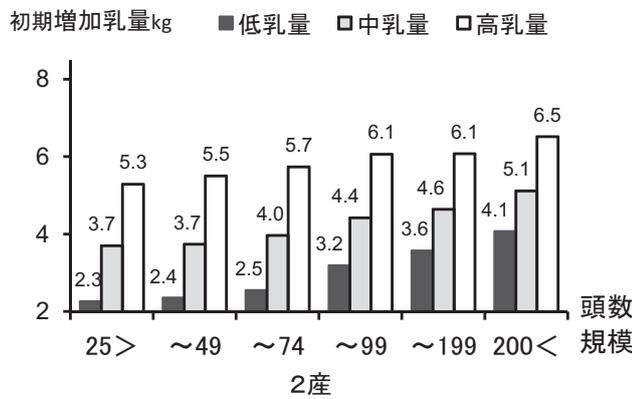
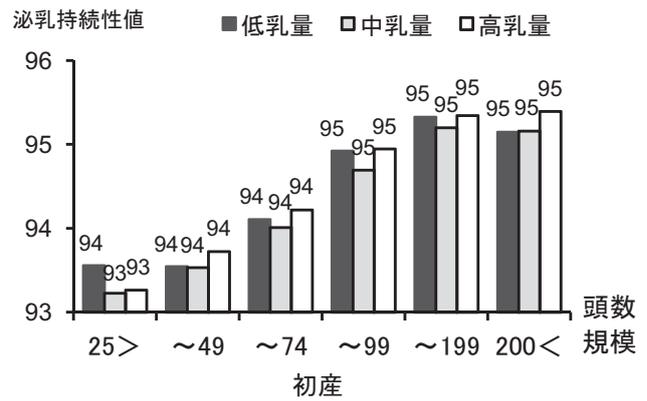
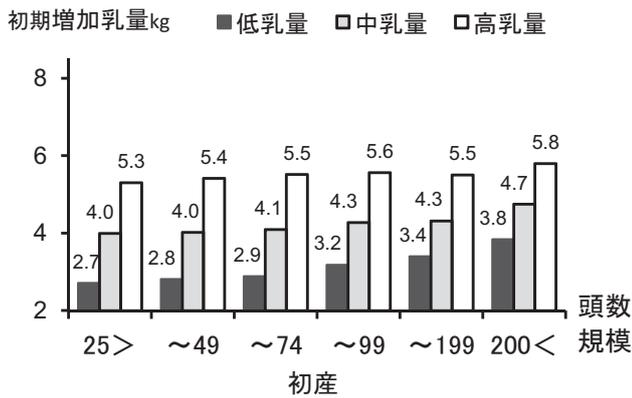
付図4 産次ごとの経産牛飼養頭数規模別の泌乳曲線

縦軸：乳量 kg 横軸：分娩後日数
 1) 2005～2009年分娩牛の北海道牛群検定記録を集計



付図5 産次ごとの北海道各地域(旧支庁区分)の泌乳曲線

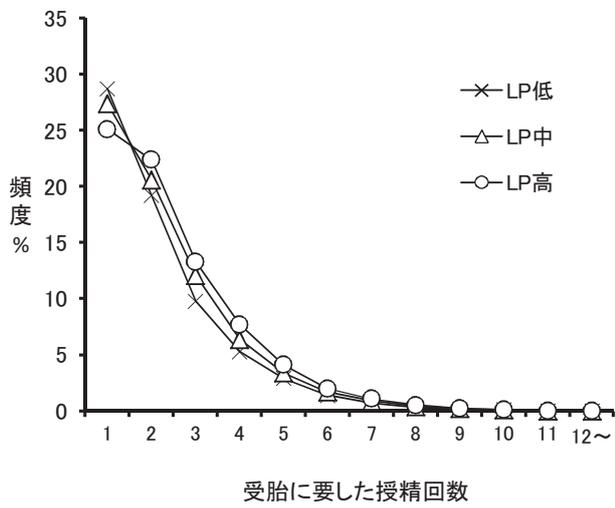
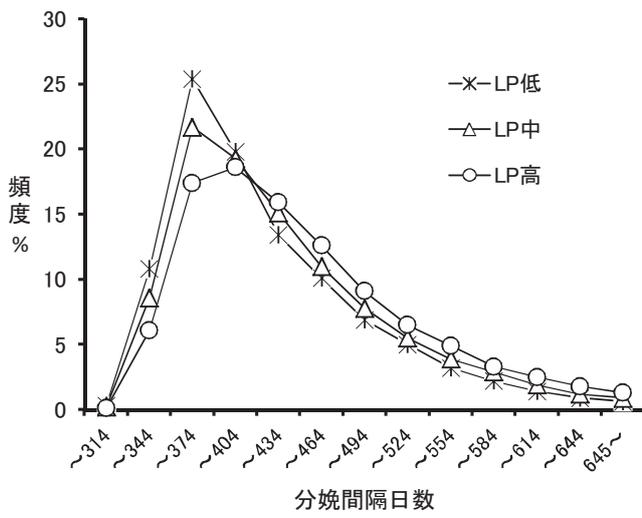
縦軸：乳量 kg、横軸：分娩後日数
 1) 2005～2009年分娩牛の北海道牛群検定記録を集計



付図6-1 経産牛飼養頭数別の305日乳量階層ごとの産次別初期増加乳量 kg

付図6-2 経産牛飼養頭数別の305日乳量階層ごとの産次別泌乳持続性(LP)値

1) 2005～2009年分娩牛の北海道牛群検定記録を集計



付図7 2産次305日乳量中水準の泌乳持続性(LP)水準別の分娩間隔日数及び受胎に要した授精回数の頻度分布

付 表

付表1 日乳量 kg の算出式 (Legendre 多項式 3 次 + Wilink の指数項)

$$Y_t = \text{const} + le1 \times L_1(X_t) + le2 \times L_2(X_t) + le3 \times L_3(X_t) + wil \times e^{-0.05t}$$

Y_t : 泌乳t日目の乳量kg
 X_t : 標準化した泌乳日数 = $-1 + 2 \times (t-1) / (305-1)$
 L_1 : Legendre多項式1次項 = $(3/2)^{0.5} \times X_t / (1/2)^{0.5}$
 L_2 : Legendre多項式2次項 = $(5/2)^{0.5} \times 0.5 \times (3X_t^2 - 1) / (1/2)^{0.5}$
 L_3 : Legendre多項式3次項 = $(7/2)^{0.5} \times 0.5 \times (5X_t^3 - 3X_t) / (1/2)^{0.5}$
 $e^{-0.05t}$: Wilinkの指数項
const, le1, le2, le3, wil: 各パラメータ

付表2-1 1988,1998,2008各分娩年の産次ごとの泌乳曲線モデル(第2図)のパラメータ値

産次	分娩年	const	le1	le2	le3	wil
初産	1988	22.23	-3.830	0.5634	-0.3710	-11.47
	1998	25.51	-3.695	0.5547	-0.3765	-13.66
	2008	27.49	-3.309	0.4728	-0.3807	-14.76
2産	1988	26.19	-6.565	0.7922	-0.5082	-14.14
	1998	30.02	-6.616	0.8158	-0.5307	-16.67
	2008	31.65	-5.963	0.6782	-0.5435	-17.59
3産	1988	27.92	-7.618	0.7533	-0.4389	-15.81
	1998	31.64	-7.556	0.8726	-0.5181	-19.60
	2008	33.22	-6.853	0.7844	-0.5561	-20.77

付表2-2 産次ごとの305日乳量水準別泌乳曲線モデル(付図1)のパラメータ値

産次	305日乳量	const	le1	le2	le3	wil
初産	低	22.24	-3.399	0.7083	-0.3819	-12.32
	中	27.29	-3.463	0.5023	-0.3977	-14.71
	高	32.62	-3.379	0.2610	-0.3801	-17.13
2産	低	25.55	-5.400	0.9118	-0.5459	-14.15
	中	31.68	-6.185	0.7254	-0.5430	-17.54
	高	38.15	-6.746	0.4554	-0.5069	-21.17
3産	低	26.73	-6.210	1.0963	-0.5920	-16.49
	中	33.02	-7.035	0.8704	-0.5718	-20.66
	高	39.79	-7.653	0.5196	-0.5156	-25.06

付表2-3 産次ごとの泌乳持続性水準(LP)別泌乳曲線モデル(付図2)のパラメータ値

産次	LP	const	le1	le2	le3	wil
初産	低	27.35	-4.906	0.7055	-0.2819	-16.63
	中	27.30	-3.459	0.5274	-0.4120	-14.87
	高	27.60	-1.984	0.2518	-0.4600	-12.85
2産	低	33.80	-8.192	0.7113	-0.3804	-20.97
	中	31.93	-6.111	0.7365	-0.5589	-17.81
	高	29.88	-4.163	0.6437	-0.6480	-14.34
3産	低	35.23	-9.131	0.7835	-0.3437	-24.06
	中	33.32	-6.978	0.8664	-0.5856	-20.90
	高	31.22	-4.959	0.8319	-0.7349	-17.55

付表2-4 産次ごとの305日乳量及び泌乳持続性(LP)の組み合わせ
水準別泌乳曲線モデル(付図3-1~3)のパラメータ値

産次	305 日乳 量	LP	const	le1	le2	le3	wil
初産		低	22.50	-4.808	0.9054	-0.2762	-14.22
		中	22.24	-3.387	0.7321	-0.4136	-12.38
		高	21.95	-1.953	0.4801	-0.4593	-10.29
2産	低	低	26.51	-7.834	1.0206	-0.3473	-17.53
		中	25.85	-5.951	0.9637	-0.5241	-14.91
		高	24.94	-3.976	0.8299	-0.6465	-12.17
3産		低	27.70	-8.738	1.1679	-0.3202	-19.73
		中	27.01	-6.794	1.1323	-0.5539	-17.19
		高	26.13	-4.740	1.0418	-0.7336	-14.65
初産		低	27.38	-4.912	0.6958	-0.2898	-16.54
		中	27.30	-3.478	0.5339	-0.4280	-14.89
		高	27.20	-2.013	0.2795	-0.4748	-12.72
2産	中	低	31.95	-8.126	0.7925	-0.3867	-19.92
		中	31.68	-6.127	0.7677	-0.5783	-17.66
		高	31.40	-4.271	0.6123	-0.6646	-14.99
3産		低	33.26	-9.053	0.8792	-0.3483	-22.82
		中	33.02	-6.990	0.9158	-0.6051	-20.73
		高	32.76	-5.083	0.8149	-0.7590	-18.43
初産		低	32.63	-5.006	0.4960	-0.2797	-19.39
		中	32.55	-3.514	0.3080	-0.3941	-17.42
		高	32.66	-1.985	0.0371	-0.4479	-15.10
2産	高	低	38.58	-8.410	0.5062	-0.3910	-23.36
		中	37.97	-6.248	0.4877	-0.5722	-20.72
		高	37.61	-4.385	0.3174	-0.6285	-17.78
3産		低	40.23	-9.374	0.5322	-0.3512	-27.02
		中	39.62	-7.141	0.5625	-0.5959	-24.60
		高	39.23	-5.221	0.4372	-0.7041	-22.11

付表2-5 産次ごとの経産牛飼養規模別泌乳曲線モデル(付図4)のパラメータ値

	経産牛頭 数規模	const	le1	le2	le3	wil
初産	25>	25.79	-3.912	0.6693	-0.4174	-14.21
	~49	26.59	-3.833	0.6664	-0.4233	-14.75
	~74	27.14	-3.577	0.6095	-0.4143	-14.85
	~99	27.80	-3.190	0.4372	-0.3743	-14.80
	~199	27.92	-2.938	0.2869	-0.3336	-14.34
	200<	29.32	-2.968	0.0677	-0.3174	-15.19
2産	25>	28.99	-5.999	0.8780	-0.5486	-15.49
	~49	30.49	-6.145	0.8771	-0.5717	-16.60
	~74	31.42	-6.021	0.8192	-0.5641	-17.28
	~99	32.54	-5.981	0.6454	-0.5228	-18.33
	~199	32.82	-6.063	0.4851	-0.4844	-18.43
	200<	34.66	-6.710	0.1998	-0.4048	-19.70
3産	25>	30.26	-6.783	1.0213	-0.6004	-18.07
	~49	31.87	-6.925	1.0425	-0.6223	-19.75
	~74	32.89	-6.858	0.9539	-0.6018	-20.31
	~99	33.94	-6.885	0.7678	-0.5467	-21.62
	~199	34.26	-7.006	0.5504	-0.4745	-21.58
	200<	36.38	-7.733	0.2040	-0.3601	-23.42

付表2-6 産次ごとの北海道地域(旧支庁区分)別泌乳曲線モデル(付図5)のパラメータ値

	地域	const	le1	le2	le3	wil
初産	石狩	29.23	-3.440	0.3365	-0.3505	-16.24
	上川	29.16	-3.321	0.4258	-0.4067	-15.86
	十勝	29.12	-3.305	0.3794	-0.3698	-15.72
	網走	28.65	-3.496	0.4562	-0.3905	-15.70
	胆振	28.22	-3.960	0.6136	-0.4522	-16.53
	空知	27.91	-3.664	0.5068	-0.3967	-14.76
	日高	27.92	-3.939	0.5815	-0.4146	-15.85
	後志	27.05	-3.687	0.6198	-0.4221	-14.99
	檜山	26.70	-4.181	0.7319	-0.4094	-15.67
	渡島	26.60	-3.795	0.5920	-0.3960	-15.08
	留萌	26.29	-3.659	0.6246	-0.3963	-13.99
	宗谷	26.09	-3.690	0.6301	-0.4145	-13.99
	釧路	25.59	-3.296	0.5404	-0.3925	-13.20
	根室	25.28	-3.277	0.5487	-0.3793	-13.24
2産	石狩	33.81	-6.861	0.6033	-0.4930	-19.84
	上川	33.61	-6.401	0.6919	-0.5365	-19.56
	十勝	33.76	-6.240	0.5873	-0.5047	-18.95
	網走	33.21	-6.444	0.7011	-0.5299	-19.09
	胆振	31.94	-6.619	0.8831	-0.5816	-18.87
	空知	31.95	-6.497	0.7167	-0.5177	-17.40
	日高	31.41	-6.423	0.8548	-0.5992	-17.32
	後志	31.04	-6.122	0.8187	-0.5409	-17.44
	檜山	29.89	-6.314	0.9706	-0.6049	-16.72
	渡島	30.31	-6.163	0.7827	-0.5317	-16.97
	留萌	30.60	-6.180	0.8660	-0.5432	-16.97
	宗谷	30.14	-6.165	0.8285	-0.5580	-16.19
	釧路	29.85	-5.654	0.6860	-0.5412	-15.66
	根室	29.82	-5.701	0.7265	-0.5442	-15.98
3産	石狩	35.09	-7.696	0.7205	-0.4885	-22.75
	上川	34.89	-7.136	0.7905	-0.5406	-22.71
	十勝	35.26	-7.168	0.7064	-0.5315	-22.59
	網走	34.69	-7.211	0.7960	-0.5449	-22.27
	胆振	33.50	-7.402	0.9915	-0.5738	-22.17
	空知	33.47	-7.256	0.8030	-0.5329	-20.45
	日高	32.62	-7.199	1.0664	-0.6621	-20.68
	後志	32.02	-6.781	0.9513	-0.6053	-20.16
	檜山	30.88	-7.017	1.0802	-0.6445	-18.77
	渡島	31.52	-6.871	0.9346	-0.5984	-19.91
	留萌	31.85	-6.850	0.9731	-0.5662	-19.58
	宗谷	31.55	-7.009	0.9836	-0.5812	-19.16
	釧路	31.28	-6.557	0.8568	-0.5889	-18.82
	根室	31.30	-6.647	0.8713	-0.5752	-18.78

付表3 経産牛飼養頭数規模とフリーストール(F S)飼養の群分け割合%

頭数規模	1群	2群	3群	計
50>	67	28	6	100
~99	59	31	10	100
~149	42	45	13	100
~199	33	50	17	100
~299	25	46	30	100
300≤	11	33	56	100

(北海道畜産振興課調べ、2011年6月現在)

付表4 2、3産の305日乳量中水準の泌乳持続性(LP)値3水準別の前産次繁殖・泌乳曲線指標

産次 305日乳量水準	2産 中(8590~10060kg)			3産 中(8920~10430kg)		
	低(87.7<)	中(87.7~91.0)	高(91.0≤)	低(86.0<)	中(86.0~89.5)	高(89.5≤)
LP値						
記録数 ¹⁾	17328	19160	19313	12093	13237	13872
前産次分娩間隔日数	408	411	415	410	418	425
前産次分娩後初回授精日数	83	85	87	83	86	89
前産次ピーク乳量kg	32	31	30	40	38	37
前産次ピーク乳量日	47	47	50	37	36	37

¹⁾ 次の範囲内で編集：分娩間隔日数285～680日、空胎日数20～400日、分娩後初回授精日数20～305日、初回授精～受胎日数0～340日

付表5 経産牛頭数規模別平均分娩間隔^{1,2)}

経産牛頭数規模	検定農家数	分娩頭数	平均分娩間隔
~19	82	352	437
~39	709	6969	428
~59	1606	24553	426
~79	1050	22971	424
~99	487	13897	423
~119	250	8970	422
~139	183	7931	419
~159	101	5064	419
~179	69	3857	415
~199	38	2440	420
~299	98	8036	412
~399	36	4545	411
~499	23	3621	406
~599	8	1695	404
~699	4	1022	408
~799	2	551	397
~899	3	924	399
900~	1	352	429
計(or平均)	4750	117750	421

¹⁾ 2011.07～2012.06分娩牛

²⁾ 次の範囲内で編集：分娩間隔日数285～680日、分娩後初回授精日数20～305日

付表6 総乳量階層別の繁殖指標の推定値¹⁾

総乳量kg	305日乳量kg	初産				2産				3産			
		空胎日数	分娩後初回授精日数	初回授精～受胎日数	受胎に要した授精回数	空胎日数	分娩後初回授精日数	初回授精～受胎日数	受胎に要した授精回数	空胎日数	分娩後初回授精日数	初回授精～受胎日数	受胎に要した授精回数
7000	6467	132	86	47	2.1	132	87	47	2.1	134	88	49	2.1
8000	7243	135	87	50	2.2	136	87	51	2.2	138	88	52	2.1
9000	8019	138	87	53	2.3	140	88	54	2.3	141	89	55	2.2
10000	8794	141	87	56	2.3	144	88	58	2.4	145	89	59	2.3
11000	9570	144	87	59	2.4	148	88	61	2.5	149	90	62	2.4
12000	10345	147	87	62	2.5	152	89	65	2.5	153	90	65	2.5
13000	11121	150	87	65	2.6	156	89	68	2.6	156	90	68	2.5
14000	11897	153	87	67	2.7	160	90	72	2.7	160	91	72	2.6
決定係数	0.96	0.60	0.01	0.68	0.76	0.51	0.09	0.66	0.72	0.46	0.06	0.62	0.85

¹⁾ 第2表の各産次15水準の総乳量を説明変数、305日乳量、繁殖指標を従属変数とする直線回帰式から算出

Watermelon (*Citrullus lanatus*) Seed Formation by Pollination with Normal Pollen Following Pollination with Soft X-ray Irradiated Pollen

Keita SUGIYAMA ¹⁾, Daisuke KAMI ¹⁾ and Takato MURO ²⁾

I . Introduction

Almost all seedless watermelon (*Citrullus lanatus*) is produced by a triploid technique by which diploid pollen is used to pollinate a pistillate flowers (KIYHARA, 1951; TERADA and MASUDA, 1943) . Another method for producing seedless watermelon is by pollinating with soft X-ray irradiated pollen (SUGIYAMA and MORISHITA, 2000) . Using soft X-ray irradiated pollen (partially inactivated pollen; PI-Pollen) has an advantage because seedless watermelons can be produced with ordinary cultivation methods since they are diploid plants; however, the production of seedless watermelon by PI-Pollen is time-consuming. In addition to making the PI-Pollen, pistillate flowers must be covered with a bag before flowering, the flowers must be artificially pollinated and the pistillate flower must be covered after pollination.

The first problem in this new method is that a large amount of PI-Pollen must be produced prior to pollination for the mass production of seedless watermelon. To overcome this issue, we developed a pollen storage method for watermelon (AKUTSU and SUGIYAMA, 2008) , allowing us to offer the farmer PI-Pollen in large amounts. The second problem is the need to cover pistillate flowers with a bag before anthesis to prevent normal pollination by insects. To solve this problem, we

tested pollinating flower buds in the afternoon prior to anthesis and found equivalent fruit set rates to flowers pollinated on the day of anthesis (SUGIYAMA and AKUTSU, 2010) . We thought that this bud pollination method was sufficiently effective to omit covering the pistillate flower with a bag; however, even if pollinating pistillate flowers with PI-Pollen before anthesis, we found normal seeds in the fruit.

Our goal in this paper was to verify the effectiveness of the bud pollination method. That is, we tested the efficacy of the bud pollination method to block normal pollen carried by insects. After pollination of PI-Pollen on the day before anthesis, normal pollen was used to pollinate flowers on the day of anthesis. We investigated the relationship between number of normal seeds and the timing of using normal pollen after pollination with PI-Pollen. The difference in pollen tube elongation into the ovaries for normal pollen and PI-Pollen was also investigated. In addition, the distribution of normal seeds in the mature fruits produced by the use of normal pollen after pollination with PI-Pollen was determined.

II . Materials and Methods

1 . Normal seed formation by pollinating with normal pollen after pollination with PI-Pollen

Watermelon cultivar 'Fujihikari TR' (a monoecious plant) seeds were sown in pots on June 22, 2008 in a glasshouse, and seedlings with five to six leaves were transplanted 50 cm apart in two beds (2.3 m X 25 m) in a greenhouse on

Accepted ; December 25, 2012

1) NARO Hokkaido Agricultural Research Center,
Lowland Farming Research Division

2) NARO Hokkaido Agricultural Research Center, Upland
Farming Research Division

July 18. The bed was covered with black and gray polyethylene film and fertilized with a pre-plant broadcast application of N-10 P-10 K-10 (kg/ha) before transplanting. Plants were topped at the five-leaf stage, and three lateral vines were allowed to grow. Pistillate flowers were pollinated starting at about the 15th node of the lateral branches. Experiments were performed at the National Agriculture and Food Research Organization Hokkaido Agricultural Research Center in Sapporo, Japan.

Pollen from watermelon was collected by cutting the anthers from the male flowers on the day of anthesis and shaking the contents through a stainless steel filter into a stainless steel cup. Collected pollen was packed in paraffin paper and irradiated with 600 Gy soft X-ray (Soft X-ray Unit OM-60R, OHMIC Co., Ltd.) at 15.0 Gy/min. Irradiated pollen (PI-Pollen) was packed with a vacuum packaging machine ('TOSPACK' V-380G, TOSEI, Shizuoka, Japan), under vacuum for storage at -25°C. Normal pollen was collected on packed in paraffin paper and was packed with a vacuum packaging machine, under vacuum for storage at -25°C. Pollen was stored no longer than one week prior to use in pollinating pistillate flowers of 'Fujihikari TR'.

After pollination with PI-Pollen on the day before anthesis, normal pollen was used to pollinate flowers 14, 16, 20 and 24 h later. Prepared pollen was applied to the stigmas with a brush. After pollination, pistillate flowers were covered with cellophane bags to prevent contact with insect-transferred pollen.

Fruits were selectively thinned, leaving one fruit per plant to mature for each treatment. Mature fruits were harvested about 40 days after pollination. Fruit weight, shape, rind thickness, flesh color, soluble solids (Brix) and the number of normal seeds were recorded for each fruit. The fruit shape index (*l/w*) was expressed as the ratio of length from the peduncle to the blossom end to the equatorial diameter. Mature harvested watermelons were cut in half, and the flesh color

was measured with a colorimeter (*a**: hue relates to the red (+60) - green (-60) color axes. NF 333, NIPPON DENSHOKU INDUSTRIES Co., Ltd. Tokyo, Japan). The number of normal seeds produced was recorded for each treatment.

Each treatment was arranged in a randomized block design with three replications and one block had four or five plants. The fruits of the same treatment were treated as one group in data analysis. The mean differences between normal fruit and seedless fruit were determined by the *t* test. The Tukey-Kramer multiple-range test ($p < 0.05$) was used to test differences between treatment means.

2. Normal seed formation and distribution of normal seeds in the fruit by pollinating with normal pollen after pollination with PI-Pollen

Watermelon cultivar 'Fujihikari TR' seeds were sown in pots on June 10, 2009 in a glasshouse, and seedlings with five to six leaves were transplanted 50 cm apart in two beds (2.3 m X 25 m) in a greenhouse on July 6. Other cultivation conditions and pollination methods were identical to those in II -1.

After pollination with PI-Pollen on the day before anthesis, normal pollen was used to pollinate flowers 24 and 30 h later. Pollination with PI-Pollen was performed at noon or 4 AM on the day before anthesis.

Mature fruits were harvested about 40 days after pollination. The fruit was cut in half equatorially, and the number of normal seeds on the lower portion (on blossom end side) and on the upper portion (on the stem end side) was recorded.

Each treatment was arranged in a randomized design with five single-plant replicates. The mean differences between normal fruit and seedless fruit were determined by the *t* test. The Tukey-Kramer multiple-range test ($p < 0.05$) was used to test differences between treatment means.

3. Difference in pollen tube elongation after pollination with normal pollen and PI-Pollen

Plant cultivation was the same as II -1. The treatment was as follows: 1) normal pollen or PI-Pollen was used to pollinate flowers at 8 AM on the day before anthesis; 2) normal pollen or PI-Pollen was used to pollinate flowers at 4 PM on the day before anthesis; 3) normal pollen or PI-Pollen was used to pollinate flowers at 8 AM on the day of anthesis.

To observe the elongation of pollen tubes, three pistillate flowers from each treatment were collected after pollination and rapidly fixed with an acetic acid-ethanol (1:3) solution. The ovary was cut in one of the sections as indicated in Fig. 1. Thin cross-sections of the ovaries in each position were soaked in 1N sodium hydroxide for 10 min, washed and stained with 0.5% aniline blue until the tissues were stained.

III . Results

1. Normal seed formation by pollinating with normal pollen after pollination with PI-Pollen

When normal pollen only was used to pollinate pistillate flowers on the day of anthesis at 8 AM, there were about 560 normal seeds in the fruit (Table 1) . When only PI-Pollen was used to pollinate on the day of anthesis or the day before anthesis, normal seeds were not found in the fruit.

The number of normal seeds was about 150 when normal pollen was used to pollinate flowers 14 h after pollination with PI-Pollen. When normal pollen was used to pollinate flowers 16 h after pollination with PI-Pollen, there were about 350 normal seeds, which was the peak value. When normal pollen was used to pollinate flowers at 20 h or 24 h after pollination with PI-Pollen, about 200 normal seeds or 160 normal seeds were formed respectively. Thus, normal seed formation was inhibited by pollination with PI-Pollen before pollination with normal pollen; however, normal seeds were formed when normal pollen was used for pollination even 24 h after pollination with PI-Pollen.

Fruit weight of plants pollinated with normal pollen on the day of anthesis at 8 AM or PI-Pollen on the day of anthesis at 8 AM was lower than that of when normal pollen was used to pollinate flowers at 14 h or 16 h after pollination with PI-Pollen. Although fruit thickness of plants pollinated with normal pollen on the day of anthesis at 8 AM or PI-Pollen on the day of anthesis at 8 AM tended to be thinner than for other treatment, there was no consistent relationship with pollination time of normal pollen after pollination of PI-Pollen (Table 2) . There was no significant difference in fruit shape, color or Brix among the treatments.

Table 1. Seed formation by pollination with normal pollen after pollination with PI-Pollen.

Time of pollination		Number of fruit	The time from A to B (hour)	No. of normal seed per fruit
A: PI-Pollen ¹⁾	B: Normal pollen			
One day pre-anthesis	Anthesis			
—	8 AM	13	—	557.3±26.1 d ²⁾
12 PM (twelve noon)	12 PM (twelve noon)	13	24	163.9±39.4 ab
4 PM (16:00)	—	13	—	0.0 a
4 PM (16:00)	6 AM	13	14	148.4±39.2 ab
4 PM (16:00)	8 AM	13	16	351.7±63.4 c
4 PM (16:00)	12 PM (twelve noon)	12	20	200.6±39.1 bc
8 AM (Anthesis)	—	7	—	0.0 a

¹⁾ Partially inactivated pollen.

²⁾ Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Tukey-kramer's multiple-range test.

Table 2. Fruit quality of watermelon produced by different pollination methods.

Time of pollination		The time from A to B (hour)	Number of fruit	Fruit weight (kg)	Fruit shape ¹⁾ (l/w)	Rind thickness (mm)	Flesh color ²⁾	Brix (%)
A: PI-Pollen ³⁾	B: Normal pollen							
One day pre-anthesis	Anthesis	(hour)						
—	8 AM	—	13	5.8 a ⁴⁾	1.07a	16.0 a	19.1a	12.1a
12 PM (twelve noon)	12 PM (twelve noon)	24	13	6.9 ab	1.15a	18.3 b	19.3a	12.2a
4 PM (16:00)	—	—	13	6.3 ab	1.14a	18.1 b	20.0a	12.4a
4 PM (16:00)	6 AM	14	13	7.1 b	1.12a	18.2 b	20.1a	12.5a
4 PM (16:00)	8 AM	16	13	7.1 b	1.09a	17.6 ab	19.1a	12.6a
4 PM (16:00)	12 PM (twelve noon)	20	12	6.6 ab	1.07a	17.5 ab	18.9a	12.6a
8 AM (Anthesis)	—	—	7	5.5 a	1.07a	15.4 a	18.5a	11.9a

¹⁾ Length/width

²⁾ a*: Hue relates to red (+60) – green (-60) color axes.

³⁾ Partially inactivated pollen

⁴⁾ Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Tukey-kramer's multiple-range test.

2. Normal seed formation and distribution of normal seeds in the fruit by pollinating with normal pollen after pollination with PI-Pollen

When normal pollen only was used to pollinate flowers at noon on the day of anthesis, 500 normal seeds were produced (Table 3). When only PI-Pollen was used to pollinate flowers at noon on the day before anthesis, normal seeds were not observed. The number of normal seeds was decreased by pollinating with normal pollen after pollinating with PI-Pollen as well as II-1. About 106 normal seeds were obtained in the case of

pollinating of normal pollen at 24 h (12 PM) after pollination of PI-Pollen. And about 43 normal seeds developed for plants whose flowers were pollinated with normal pollen 30 h after pollination of PI-Pollen.

As for the distribution of normal seeds in the fruits from all treatments, there were more normal seeds on the blossom end side (upper portion) of the fruit than on the stem end side (lower portion). When only normal pollen (control) was used for pollination, about 60% of the total normal seeds were in the upper portion, and the remaining 40%

Table 3. Seed formation and distribution of seeds in the fruit resulting from pollination with normal pollen after pollination with PI-Pollen.

Time of pollination		The time from A to B (hour)	Number of fruit	Fruit weight (kg)	Total seed number per fruit	No. of normal seed in different portion	Portion	Seed ratio of upper portion and lower portion in the fruit (%)
A: PI-Pollen ¹⁾	B: Normal pollen							
One day pre-anthesis	Anthesis	(hour)		(kg)				
—	12 PM (twelve noon)	—	5	5.3a ²⁾	499.5 ± 47.4a	291.8 ± 17.0 upper ³⁾ 207.8 ± 32.1 lower ⁴⁾		58.4 41.6
12 PM (twelve noon)	12 PM (twelve noon)	24	5	4.1a	105.8 ± 41.3b	69.4 ± 24.4 upper 36.4 ± 17.5 lower		65.6 34.4
12 PM (twelve noon)	6 PM (18:00)	30	5	4.2a	43.0 ± 14.9b	34.6 ± 11.0 upper 8.4 ± 4.1 lower		80.5 19.5
12 PM (twelve noon)	—	—	5	5.3a	0.0	0.0 upper 0.0 lower		- -
4 PM (16:00)	4 PM (16:00)	24	5	5.3a	71.0 ± 22.1b	53.8 ± 15.3 upper 17.3 ± 8.7 lower		75.7 24.3

¹⁾ Partially inactivated pollen.

²⁾ Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level by Tukey-kramer's multiple-range test.

³⁾ The portion from the blossom end to the equatorial position of the fruit.

⁴⁾ The portion from the stem end to the equatorial position of the fruit.

were in the lower portion. Having a higher percentage of normal seeds in the upper portion is a result similar to the case of using normal pollen after pollination with PI-Pollen. Additional increases in the percentage of normal seeds in the upper portion of the fruit were measured when normal pollen was used after even longer time periods after pollination with PI-Pollen; 80.5% of the normal seeds were in the upper portion when normal pollen was used 30 h after PI-Pollen.

There was no significant difference in the fruit weight among the treatments.

3. Difference in pollen tube elongation after pollination with normal pollen and PI-Pollen

The elongation of pollen tubes from PI-Pollen used for pollination on the day of anthesis tended to be faster than those from normal pollen used for pollination one day pre-anthesis (Table 4). The growth of PI-Pollen tubes 48 h after pollination was similar to the growth of normal

pollen tubes at 24 h after pollination. When PI-Pollen was used to pollinate flowers at 8 AM one day prior to anthesis, only a few pollen tubes elongated and they were quite short. When normal pollen and PI-Pollen were used to pollinate flowers one day pre-anthesis, pollen tubes at 24 h after pollination did not penetrate the micropyles. At 48 h since pollination with normal pollen one day pre-anthesis, pollen tubes were observed in the lower portion of the ovary. PI-Pollen tubes were observed in the upper portion of the ovary at 48 h after pollination one day pre-anthesis.

When normal pollen and PI-Pollen were used to pollinate flowers at 8 AM on the day of anthesis, the penetration speed of the pollen tubes was fast; at 24 h after pollination tubes had penetrated into the micropyles. In normal pollen, tubes penetrated into the micropyle in the middle portion of the ovary at 24 h after pollination and penetrated into the micropyle in the lower portion of the ovary at 48 h after pollination. On the other hand, in PI-

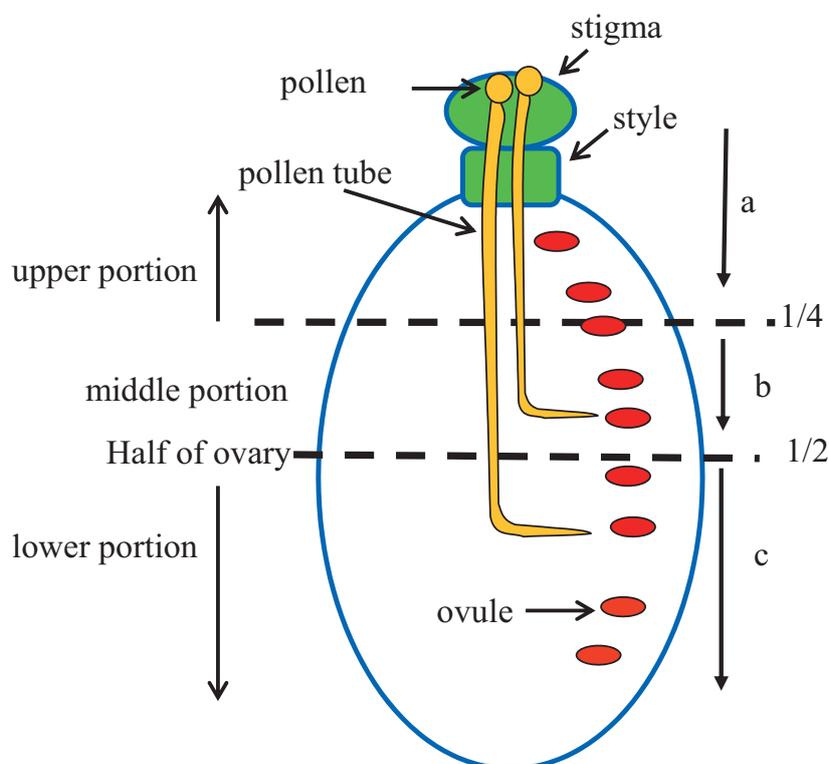


Fig. 1. Position of pollen tubes in an ovary after pollination

a: upper portion, b: middle portion, c: lower portion.

Table 4. Position of pollen tube in normal pollen and PI-Pollen after pollination.

Type of pollen	One day pre-anthesis				Anthesis	
	8 AM		4 PM		8 AM	
	24 h ¹⁾	48 h.	24 h	48 h	24 h	48 h
Normal pollen	a ²⁾	<i>b</i> ³⁾ -c	a-b	<i>b</i> -c	<i>b</i> -c	<i>c</i>
PI-Pollen	a	<i>a</i>	a	<i>a</i> -b	<i>a</i> -c	<i>b</i> -c

¹⁾ Time after pollination.

²⁾ See Fig. 1.

³⁾ Bold and italicized letters indicate that penetration of pollen tubes into the micropyle was observed.

Pollen, elongation of pollen tubes tended to be slower than for normal pollen tubes.

The above results indicate that the elongation speed of PI-Pollen tubes was slower than that of normal pollen tubes, and the position at 48 h after pollination of the PI-Pollen was close to the position at 24 h after pollination with normal pollen. Moreover, elongation of pollen tubes after pollination on the day of anthesis was faster than that of tubes from pollen used for pollination one day pre-anthesis.

IV . Discussion

Generally, fertilization of watermelon occurs between 24 h and 48 h after pollination with normal pollen (BUTTROSE and SEDGLEY, 1979; SUGIYAMA, 2001) . We observed almost the same results in this test. Also, we reported that fruit was able to set when pollination occurred one day pre-anthesis (SUGIYAMA and AKUTSU, 2010) . The fruit set rate of plants pollinated on the afternoon of the day before anthesis was almost the same as the fruit set rate of plants pollinated of the day of anthesis. To maximize the number of normal seeds, we presumed that it was necessary to use normal pollen as soon as possible after pollinating with PI-Pollen; however, more normal seeds were produced after pollination with normal pollen after 16 h than after 14 h. Anthesis began at about 6 AM, and the flowers were open completely at about 8 AM. Therefore, we hypothesized that the best time of the day for elongation of pollen tubes occurred from 8 to 10 AM to obtain the highest

fruit set percentage (SUGIYAMA, 2001) .

The number of normal seeds decreased by pollinating with PI-Pollen beforehand in all treatments in comparison with pollinations using normal pollen only. We hypothesized that PI-Pollen tubes would penetrate the ovules earlier than the pollen tubes from the later pollinated normal pollen and would disturb the normal pollen tubes.

However, normal seeds were resulted from pollinating with normal pollen even at 30 h after pollination with PI-Pollen. This result indicated that it was difficult to completely prevent later fertilization by normal pollen with early pollination of PI-Pollen. Therefore, prevention of pollination with normal pollen carried by insects is necessary for the production of seedless watermelon when using PI-Pollen.

Nearly all of the pollen tubes from the early PI-Pollen pollinations reached the nearest ovules; that is, ovules of the upper portion (blossom end side) . Therefore, it must be a rare event that later pollinated pollen tubes can penetrate to the ovules of the blossom end side (upper portion) ; however, we obtained the opposite results. In the case of pollination with PI-Pollen at 4 PM one day pre-anthesis, pollen tubes reached the middle portion of the ovary at 48 h after pollination. On the other hand, in the case of pollination with normal pollen at 8 AM on the day of anthesis, 24 h after pollination the position of normal pollen tubes was at a slightly lower position (stem end side) of the ovary comparison with PI-Pollen tubes. Also,

we previously reported that fertilization by PI-Pollen was later than normal pollen (SUGIYAMA *et al.*, 2002). Although it was obvious that normal pollen elongates fast we expected that PI-Pollens would occupy ovules at the blossom end. That is, many normal seeds in the lower portion of the fruit should be present if normal pollen can elongate ahead of PI-Pollen. As for the reason for the opposite outcome, we hypothesize that normal pollen tubes penetrated the ovules that the PI-Pollen tubes had not reached, or the timing for the arrival of normal pollen tubes to mature ovules was perfectly matched.

The number of normal seeds in the lower and upper portions of the ovary decreased after pollinating with PI-Pollen beforehand. When normal pollen was used to pollinate flowers on the day of anthesis at 6 PM after pollination with PI-Pollen one day pre-anthesis at 12 PM, the ratio of the number of normal seeds in the lower portion was very low. We assumed that PI-Pollen tubes blocked the pathway of normal pollen tubes in from the style to the upper portion of ovary. Also, perhaps the continued aging of the pistillate flower decreased the ability for fertilization to occur.

Fruit weight of 'Fujihikari TR' is usually 5 to 7 kg in this cultivation season (SUGIYAMA, and AKUTSU, 2010). In the experiments, the fruit was roughly normal size. Fruit weight of plants pollinated on the day of anthesis tended to be lower than plants pollinated one day pre-anthesis in Table 2, but there was no significant difference in fruit weight for plants pollinated on the day of anthesis in Table 3. Also, in our previous report, there was no effect of fruit weight on pollination time (SUGIYAMA, and AKUTSU, 2010). Accordingly, the fruit weight had no relationship with the treatments. Other fruit characteristics had no relationship with the treatment used for pollination.

V. Summary

We developed a method using soft X-ray irradiated pollen (partially inactivated pollen; PI-

Pollen) to pollinate pistillate flowers of watermelon (*Citrullus lanatus*) prior to anthesis for producing seedless watermelon and hopefully prevent later normal pollination by insects. In this study, we have further characterized the efficacy of this method by pollinating pistillate flowers with PI-Pollen one day pre-anthesis and testing the effects of varying the timing of subsequent pollination with normal pollen. Normal seed formation was inhibited by pollination with PI-Pollen before pollination with normal pollen. However, normal seed was formed as a result of pollinating with normal pollen even at 30 h after pollination with PI-Pollen. The number of normal seeds on the blossom end side of the fruit (upper portion) was greater than on the stem end side (lower portion) in all treatments. The percentage of normal seeds in the upper portion of the fruit tended to increase as the duration increased between pollinating with normal pollen after first pollinating with PI-Pollen. The tubes of PI-Pollen pollinated to pistillate flower on the day before anthesis elongated more slowly than normal pollen tubes. In the case of pollination with normal pollen on the day of anthesis, 24 h after pollination the position of normal pollen tubes was at a lower position of the ovary comparison with PI-Pollen tubes. Therefore, for production seedless watermelon by IP-Pollen, it pollination by insects after bud pollination with PI-Pollen must be prevented.

Acknowledgements

This research was supported by grants from K-one Co., Ltd.

Reference

- 1) AKUTSU, M. and SUGIYAMA, K. (2008) : Establishment of a long-term storage method for soft X-ray irradiated pollen in Watermelon. *Euphytica*, 164, 303-308.
- 2) BUTTROSE, M. S. and SEDGLEY, M. (1979) : Anatomy of watermelon embryo sacs following pollination, non-pollination or parthenocarpic induction of fruit development. *Ann. Bot.*, 43,

- 141-146.
- 3) KIHARA, H. (1951) : Triploid watermelon. Proc. Am. Soc. Hort. Sci., 58, 217-230.
- 4) SUGIYAMA, K. (2001) : Studies on breeding of watermelon for female flower-bearing ability and cracking resistance. Bull. Natl. Res. Inst. Veg., Ornam. Plants & Tea., 16, 265-310.
- 5) SUGIYAMA, K. and AKUTSU, M. (2010) : Bud pollination for production diploid seedless watermelon using partially inactivated pollen. Hort. Res. (Japan) , 9 (3) , 319-324 (In Japanese with English abstract) .
- 6) SUGIYAMA, K. and MORISHITA, M. (2000) : Production of seedless watermelon using soft X-ray irradiated pollen. Sci. Hortic., 84, 255-264.
- 7) SUGIYAMA, K., MORISHITA, M. and NISHINO, E. (2002) : Seedless watermelons produced via soft-X-irradiated pollen. HortScience, 37, 292-295.
- 8) TERADA, J. and MASUDA, K. (1943) : Parthenocarpy of triploid watermelon. Agric. Hort., 18, 15-16. (In Japanese) .

スイカにおける軟X線照射花粉の受粉後の普通花粉受粉による種子形成

杉山慶太¹⁾・嘉見大助¹⁾・室 崇人²⁾

摘 要

軟X線照射花粉(部分不活化花粉)を利用した種なしスイカを生産するにあたり、昆虫による普通花粉の受粉を防ぐために雌花に袋かけ等を行っている。我々はこの労力を削減するために、雌花が蕾である開花前日に部分不活化花粉を受粉する方法を開発した。これにより昆虫によって後から受粉された普通花粉の授精を妨げることが期待された。そこで、本研究では部分不活化花粉を開花前日に受粉することで、開花日における普通花粉の受粉による種子形成を妨げることが可能かどうか検討した。スイカ果実内の種子の数は、部分不活化花粉を普通花粉より先に受粉することで減少したが、部分不活化花粉を

受粉した30時間後に、普通花粉が受粉された場合でも種子が形成された。果実内の種子は果実の中央部から花痕側の部分の方が、果梗側の部分よりも多かった。また、部分不活化花粉の受粉後に普通花粉を受粉するまでの時間が長くなるにしたがって、花痕部側における種子割合が多い傾向があった。部分不活化花粉の花粉管の伸長速度は普通花粉よりも遅く、部分不活化花粉を前日に受粉した場合よりも、開花当日に普通花粉を受粉した場合の方が早く子房の下部に到達した。以上のことから、部分不活化花粉による種なしスイカの生産には、開花前日の受粉であっても昆虫による普通花粉の受粉を防除する必要があった。

1) 北海道農業研究センター 水田作研究領域
2) 北海道農業研究センター 畑作研究領域

Probenazole Promotes Root Growth and Suppresses Expression of Pathogenesis-related Proteins in Roots of Rice Seedlings

Yutaka SATO¹⁾, Hideki KATO²⁾, Akira ENDO¹⁾, Mihoko OHASHI¹⁾
and Ayano MEGURO¹⁾

I . Introduction

Although rice is the staple food for more than half of the human population, its cultivation is hampered by problems such as low temperatures, fungal infections, insect damage and drought, which all serve to reduce crop yield. In cool and humid climatic conditions, rice blast fungus (*Magnaporthe grisea*) often causes severe damage to rice production. Under these conditions, rice crops are often treated with an agrochemical such as Oryzemat (Meiji Seika, Japan) to counter rice blast fungal infection. The active ingredient of Oryzemat is probenazole (IWAI *et al.*, 2007) , and is applied as a granular treatment to the paddy field or used as a seedling box treatment (WALTERS and FOUNTAIN, 2009) . Probenazole is absorbed by the roots and is then transferred systemically throughout the plant (IWATA, 2001) . In the cells, probenazole is converted into 1,2-benzisothiazole-1,1-dioxide where it induces salicylic acid (SA) accumulation and induces expression of pathogenesis-related genes (YOSHIOKA *et al.*, 2001; MIDOH and IWATA, 1996; IWAI *et al.*, 2007; UMEMURA *et al.*, 2009) . SA acts as a key endogenous signaling molecule that mediates systemic acquired resistance (UMEMURA *et al.*, 2009) .

SA also affects plant growth and development

(VICENTE and PLASENCIA 2011) . Growth promotion occurs following SA treatment in soybean (GUTIERREZ-CORONADO *et al.*, 1998) , wheat (SHAKIROVA *et al.*, 2003) , maize (GUNES *et al.*, 2007) , chamomile (KOVACIK *et al.*, 2009) , rice (MOHAMMED 2009) and fennel (HASHMI *et al.*, 2012) . In soybean, foliar spray with SA in the range 10 nM to 10 mM not only promotes shoot growth but also accelerates root growth. In wheat, a presowing treatment of seeds with 50 μ M SA promotes germination and subsequent seedling growth, and results in an increased yield. In maize, application of 0.1 – 1 mM SA to the soil increases the dry yield of plants under both saline and non-saline conditions. Chamomile plants grown in a solution containing 50 μ M SA exhibit increased biomass of leaf rosettes and roots, whereas, in a solution containing 250 μ M SA, they show inhibition of growth. The treatment of rice leaves with 1 mM SA increases the number of filled grains per panicle and produces an increased grain yield. Foliar spray of fennel plants with 0.1 mM SA significantly increases fresh and dry weights of shoots and roots, seed yield and oil yield. Increased plant growth has also been reported in rice and sunflowers that have higher levels of endogenous SA accumulation following a bacterial infection (SAIKIA *et al.*, 2006; FORCHETTI *et al.*, 2010) . In rice, growth was promoted by infection with *Pseudomonas aeruginosa* that induces the accumulation of endogenous SA in roots. In sunflowers under water stress, seedling growth is promoted by SA produced by endophytic bacteria.

Accepted ; December 25, 2012

1) NARO Hokkaido Agricultural Research Center, Crop Breeding Research Division

2) Department of Biological Research, Odawara Research Center, Nippon

However, exogenous SA has also been reported to have a negative effect on growth. For example, PANCHEVA *et al.*, (1996) reported that leaf and root growth are reduced in barley plants and TRAW and BERGELSON (2003) found that SA (100 μ M and 1 mM) reduces trichome density and number in Arabidopsis. High endogenous levels of SA are associated with a dwarf phenotype in Arabidopsis mutants (BOWLING *et al.*, 1997; RATE *et al.*, 1999; RATE and GREENBERG 2001). KUREPIN *et al.*, (2012) reported that in the shade ecotype of *Stellaria longipes*, endogenous SA levels are increased and dry shoot biomass is decreased in plants grown under normal compared to reduced light quality.

Although probenazole is known to induce SA accumulation, which might affect plant growth and development as described above, and has been used to protect rice plants from rice blast fungus for over three decades, to date no study has examined its effect on the growth of rice plants. Here, we treated rice seedlings with probenazole and monitored root and shoot growth. We found that root growth was significantly accelerated by probenazole treatment. In addition, we found that probenazole treatment altered endogenous SA levels, and expression of genes related to SA metabolism enzymes and of pathogenesis related proteins.

II . Materials and Methods

1. Plant materials and probenazole treatment

Rice (*Oryza sativa* Japonica group cultivar 'Oborozuki') seeds were washed with sterilized water and then soaked in water for two days at 28°C in the dark. After being soaked, germinating seeds were placed in hydroponic conditions in the dark. Nine seeds were placed on a plastic grid (ca. 35 x 35 mm), which was then floated in a plastic cup holding 100 ml of distilled water with various concentrations of Oryzmate (48% probenazole (w/w), Meiji Seika, Japan) or SA. Acetone has been used as a solvent to dissolve probenazole (IWAI *et al.*, 2007); however, we found that even a low concentration of acetone had an adverse effect

on rice root growth. We therefore used water-soluble Oryzmate instead of probenazole. Since Oryzmate contains substances such as minerals other than probenazole, the control solution should have contained those additive substances. However, we used distilled water as a control because details of those additive substances are not disclosed by the manufacturer. SA was initially dissolved in 100 μ L dimethyl sulfoxide (DMSO) and a 100 mM stock solution was made up with distilled water and adjusted to pH 5.8 with KOH. Hydroponic culture was performed in a growth chamber (continuous dark, 25°C) for 1, 4 or 7 days. After incubation, the lengths of the primary roots and shoots were measured.

2. Quantitative reverse transcriptional (QRT) - PCR

Root and shoot samples were collected from 4-day-old plants grown with or without 100 μ M probenazole or 10 μ M SA in the dark. Tissue samples were frozen with liquid N₂ and stored in a -80°C freezer until use. Total RNA was extracted from 100~200 mg of tissue samples using FastRNA PRO GREEN KIT (MP Biomedicals, USA). RNA samples were treated with DNase I (TaKaRa Bio, Japan) to remove genomic DNA and then subjected to chloroform purification to remove the DNase I. Complementary DNA (cDNA) was synthesized from 0.5 μ g samples of the RNA using PrimeScript RT master mix (TaKaRa Bio, Japan). The levels of expression of the following groups of genes were examined after probenazole or SA treatment by QRT-PCR with a LightCycler Carousel-based system (Roche, Germany) using LightCycler TaqMan Master (Roche, Germany): the pathogenesis related genes, *PR2* (Os01g094700), *PR3* (Os10g0416500), *PR5* (Os12g0628600), *PBZ1* (Os12g0555500), and *RSOsPR10* (Os12g0555000); genes associated with SA metabolism, isochorismate synthase (Os09g0361500), phenylalanine ammonia-lyase (Os02g0627100, Os02g0626100, Os05g0427400), chorismate mutase (Os01g0764400, Os12g0578200) and salicylate

glycosyl transferase (Os09g0518200) . The gene-specific primer sets and universal TaqMan probes were designed using information from the website <https://www.roche-applied-science.com/sis/rtPCR/upl/index.jsp?id=UP030000>. The primer sequences and corresponding universal probes are listed in Table 1. Relative mRNA abundance was normalized against the level of ubiquitin (CHEN *et al.*, 2009) . Three biological replicates were performed.

3. Salicylic acid quantification

Extraction and quantification of endogenous SA levels were performed as described by MALAMY

et al., (1992) and YASUDA *et al.*, (2008) with minor changes. Plant tissues (approximately 100 mg) were homogenized in 2 ml of 90% methanol (v/v) and centrifuged at 13000 x g for 5 minutes. The pellet was extracted again by adding 100% methanol and centrifuged. Methanol extracts were combined and dried under vacuum. Dried samples were suspended with 1 ml of distilled water at 80°C for 5 minutes. Samples were divided into two portions for analyzing free SA and total SA (sum of free and conjugated SA) . For free SA extraction, a 250 µl aliquot was acidified by adding 10 µl of HCl and then vigorously mixed with 500 µl

Table 1. Primer and probe sets used for QRT-PCR

Locus ID	Description	Universal Probe	Primer sequence
Os09g0361500	Isochorismate synthase (ICS)	#83	F: GGGCCAAAATGCTTATCAGT R: AGTATTTCCGATGAAATAATTGCTACT
Os02g0627100	Phenylalanine ammonia-lyase (PAL)	#25	F: GCACCGACGGTCATGTTT R: ACCGGATGCCGGAGTATC
Os05g0427400	Phenylalanine ammonia-lyase (PAL)	#53	F: CTCATGTCCTCCACCTTCCT R: GACGTTCTCCTCGATGTGG
Os02g0626100	Phenylalanine ammonia-lyase (PAL)	#152	F: CATCGTCAATGGCACGTC R: CATCACCTCGCAGAACACC
Os01g0764400	Chorismate mutase (CM)	#136	F: TCAACAAGGAGATTTGGAAAATG R: CTTCTTTCTTTCACTAATCTTGGAA
Os12g0578200	Chorismate mutase (CM)	#67	F: AGGTACAAGAGCCCGGATG R: CATACTCAACAGATGGCTCCAC
Os09g0518200	Salicylate glycosyl transferase (SA-GTase)	#5	F: CCTCGTCAACTCCTTCTACGA R: GAGGCGGTTGTCGAGGTA
Os01g0940700	PR2	#88	F: TACATCACGGTCGGCAAC R: GCTGTTTCATGTTCTGCATGG
Os10g0416500	PR3	#141	F: CCATGGTCAGCAGCTACAAG R: TCGATGGACGATCAGTGG
Os12g0628600	PR5	#149	F: CTCTCCGCTGTCCTCGT R: GGTTGGTGATGGTGAAGGTC
Os12g0555500	PBZ1	#34	F: CTGCCGAATACGCCTAAGAT R: CATTCTGCGGCTCTCATT
Os12g0555000	RSOsPR10	#38	F: TGCTTAAAAATTGTCATAAACCAAA R: GGATTTGTCGTGGCTCACA
Os03g0234200	Ubiquitin	#42	F: TGGATGTTGTTGAACCGTGT R: GACCAATATAGTTTGCTGCCAAT

Primer design and universal probe selection were performed using data from the Roche Applied Science website.

of 50% cyclohexane/50% acetate (v/v) . The upper organic phase was subsequently collected into a new tube. The partitioning step was repeated twice and the combined organic phase was dried by vacuum. The dried residue was dissolved with 20 mM sodium acetate (pH 5.0) containing 20% methanol (v/v) .

To extract total SA, the second 250 μ l aliquot was mixed with an equal volume of 10 unit/ml β -glucosidase (Oriental Yeast Co. Japan) . The mixture was incubated at 37°C for 10 hours. After the glucosidase digestion, samples were partitioned using organic solvents as described above. The resultant extracts were analyzed using the HPLC CLASS-LC10 system (SHIMAZU, Japan) equipped with a TSK-gel ODS-80 column (4.6 x 150 mm; Tosoh, Japan) . The amount of SA O-beta-glucoside (SAG) was estimated by subtracting the measured free SA from the measured total SA.

III. Results

1. Probenazole promotes root growth

Rice seedlings were grown under hydroponic conditions and treated with probenazole for 4 days. The probenazole-treated seedlings had longer seminal roots than the control seedlings, but there was no significant difference between the two groups for shoot lengths (Fig. 1a) . As the largest effect on root growth was observed using 100 μ M probenazole, this concentration was selected for all subsequent experiments.

Next, germinated rice seeds were treated with 100 μ M probenazole for 1, 4 or 7 days and seminal root and shoot lengths were measured. The probenazole treated seedlings had longer roots after 4 and 7 days of culture compared to control (untreated) seedlings (Fig. 1b) . As described above in the initial experiment, probenazole had no significant effect on shoot lengths (Fig. 1c) .

The effects of exogenous SA on root growth were examined by treating rice seedlings with 10 or 100 μ M SA. Root elongation in seedlings treated with 10 μ M SA was found to be greater than controls and to be similar to that observed after

treatment with 100 μ M probenazole; however, 100 μ M SA severely inhibited root growth (Fig. 1d) .

2. Probenazole reduces endogenous SA levels in roots

Endogenous SA levels were measured in control seedlings and in seedlings grown in 100 μ M probenazole for 4 days. The roots and shoots were separated for analysis of endogenous SA contents. In the root tissue, free SA was decreased by the probenazole treatment (Fig. 2a) , whereas the level of free SA was not altered in shoots after probenazole treatment (Fig. 2b) . The amount of SAG in roots was not affected by probenazole treatment (Fig. 2a) , however, the amount of SAG in shoots was increased (Fig. 2b) .

We examined the effect of probenazole treatment on expression of genes associated with SA metabolism by QRT-PCR (see Materials and Methods and Fig. 3) . The salicylate glycosyl transferase (SA-GTase) gene (Os09g0518200) was found to show significantly increased expression in roots after probenazole treatment; there was also a significant increase in expression in shoots, albeit from a markedly lower level than in roots (Fig. 3g) . The phenylalanine ammonia-lyase (PAL) gene (Os02g06260100) and the chorismate mutase (CM) gene (Os12g0578200) showed increased expression in roots but not shoots after probenazole treatment (Fig. 3c and 3f) . Probenazole treatment did not affect the level of expression of the isochorismate synthase (ICS) gene (Os09g0361500) in either roots or shoots (Fig. 3a) .

3. Probenazole reduces the levels of expression of genes for pathogenesis related proteins in roots

We carried out a similar QRT-PCR analysis as above for expression of genes associated with pathogenesis related (PR) proteins in control, and probenazole or SA treated seedlings. The treated seedlings were exposed to 100 μ M probenazole or 10 μ M SA for 4 days, and roots and shoots were

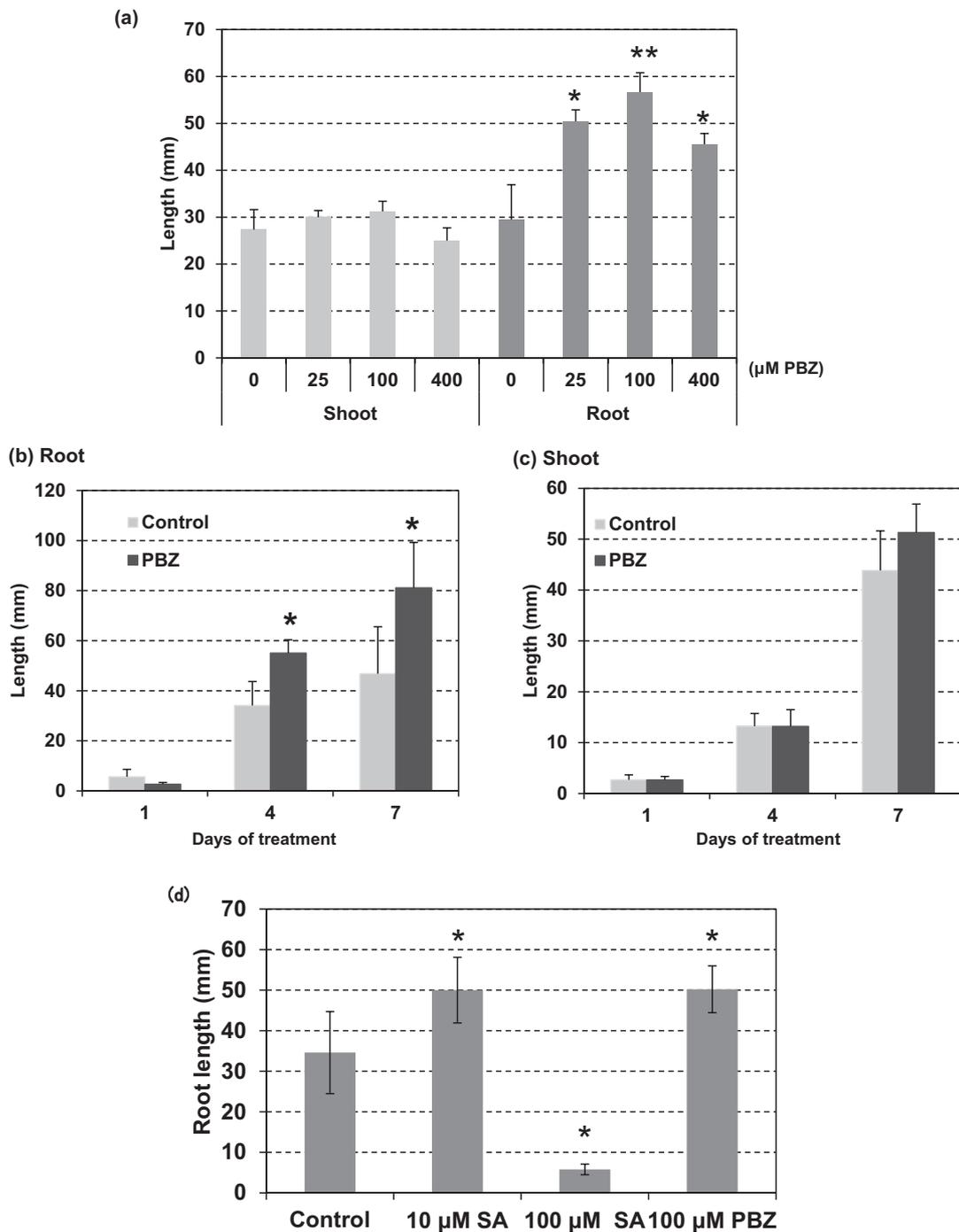


Fig. 1. The effect of probenazole on early growth of dark-grown rice seedlings.

- (a) The effects of different doses of probenazole (PBZ) on root and shoot lengths. Shoot and root lengths were measured after 4 days. Error bars show standard deviation (SD) ($n = 9$). Asterisks indicate a significant difference from the control mean (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, Student's t test).
- (b, c) The effect of probenazole on growth rates in rice seedlings. Plants were grown in the dark for 1, 4 or 7 days with or without 100 μM PBZ. The lengths of roots (b) or shoots (c) were measured at each time point. Error bars show the SD ($n = 27$). Asterisks indicate significant differences in mean root lengths at 4 or 7 days compared to controls ($P < 0.05$, Student's t test).
- (d) Effect of SA on seedlings grown for 4 days in the dark with or without 10 μM SA, 100 μM SA or 100 μM PBZ. Error bars show the SD ($n = 9$). Asterisks indicate a significant difference from the control mean ($P < 0.05$, Student's t test). The experiments were repeated three times with similar results.

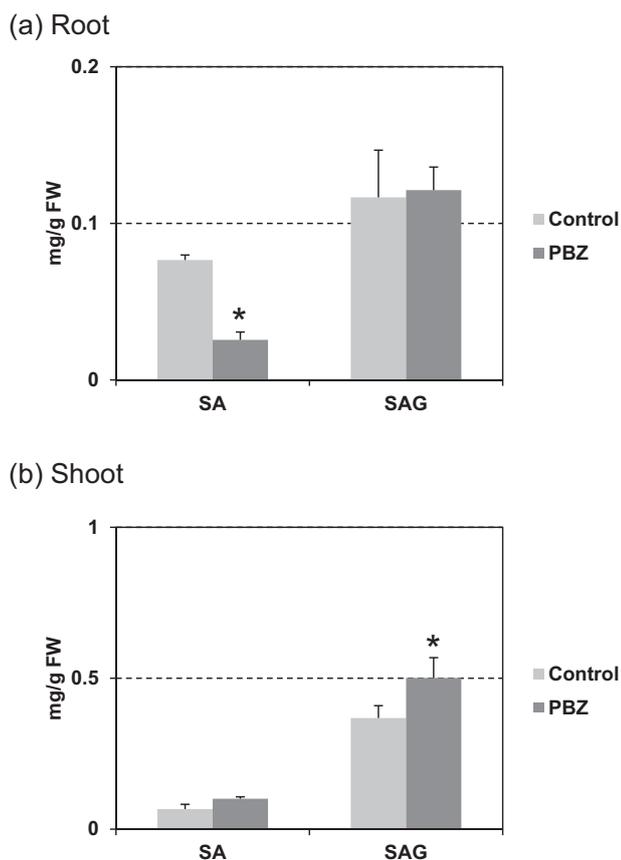


Fig. 2 Determination of endogenous SA levels in probenazole treated roots.

SA levels in roots (a) and shoots (b) were measured in 4-day-old seedlings grown in the presence of 0.1% DMSO (control), 100 μ M probenazole (PBZ), 10 μ M SA, or 100 μ M SA in the dark. SA and SAG indicate free SA and SA O-beta-glucoside, respectively. Bars show the SD (n = 3). Asterisks indicate a significant difference from the control mean (P < 0.05, Student's t test).

separated for analysis. The levels of expression of the *PR2*, *PR3*, *PR5* and *RSOsPR10* genes were higher in roots than shoots of the control seedlings (Fig. 4). Probenazole or SA treatment caused a reduction in the levels of expression of *PR2*, *PR3*, *PR5*, *PBZ1* and *RSOsPR10* in roots but had no effect on expression levels in shoots (Fig. 4). Probenazole induced a greater reduction in expression of *PR2*, *PBZ1* and *RSOsPR10* than exogenous SA (Fig. 4).

IV. Discussion

In this study, we have demonstrated that increased root growth is induced in rice seedlings treated with probenazole (Fig. 1). Although SA has been reported to promote plant growth (GUTIERREZ-CORONADO *et al.*, 1998; SHAKIROVA *et al.*, 2003; GUNES *et al.*, 2007; KOVACIK *et al.*, 2009; MOHAMMED 2009; HASHMI *et al.*, 2012), this is the first study to show that probenazole promotes root growth. Since exogenous SA also promotes root growth (Fig. 1), probenazole probably affects root growth through SA biosynthesis or SA signals. In roots, probenazole induces increased expression of the PAL and CM genes (Fig. 3) that are related to the PAL mediated pathway for synthesis of SA (DEMPSEY *et al.*, 2011); however, probenazole did not affect expression of the gene for ICS (Fig. 3), which is required for the isochorismate pathway for synthesis of SA (DEMPSEY *et al.*, 2011). Although the gene for SA-GTase, which converts free SA to SAG, was up-regulated by probenazole both in shoots and roots, the increase was much larger in roots than in shoots (Fig. 3). The level of free SA was reduced in roots after probenazole treatment but was not altered in shoots (Fig. 2). There are many reports showing that SA accumulates in probenazole-treated plants; however, none of these have suggested that free SA is reduced in the roots after treatment. The reduction in free SA levels in roots might result from the increased level of SA-GTase gene expression. However, SAG did not increase in the roots (Fig. 3). Further investigation will be required to elucidate the metabolic mechanisms of free SA reduction in roots by probenazole.

One possible mechanism for the faster growth in roots after probenazole treatment is that the reduction in free SA diminishes the known negative effect of the hormone on plant growth (BOWLING *et al.*, 1997; RATE *et al.*, 1999; RATE and GREENBERG 2001; KUREPIN *et al.*, 2012). However, this mechanism seems unlikely because we observed accelerated root growth after SA

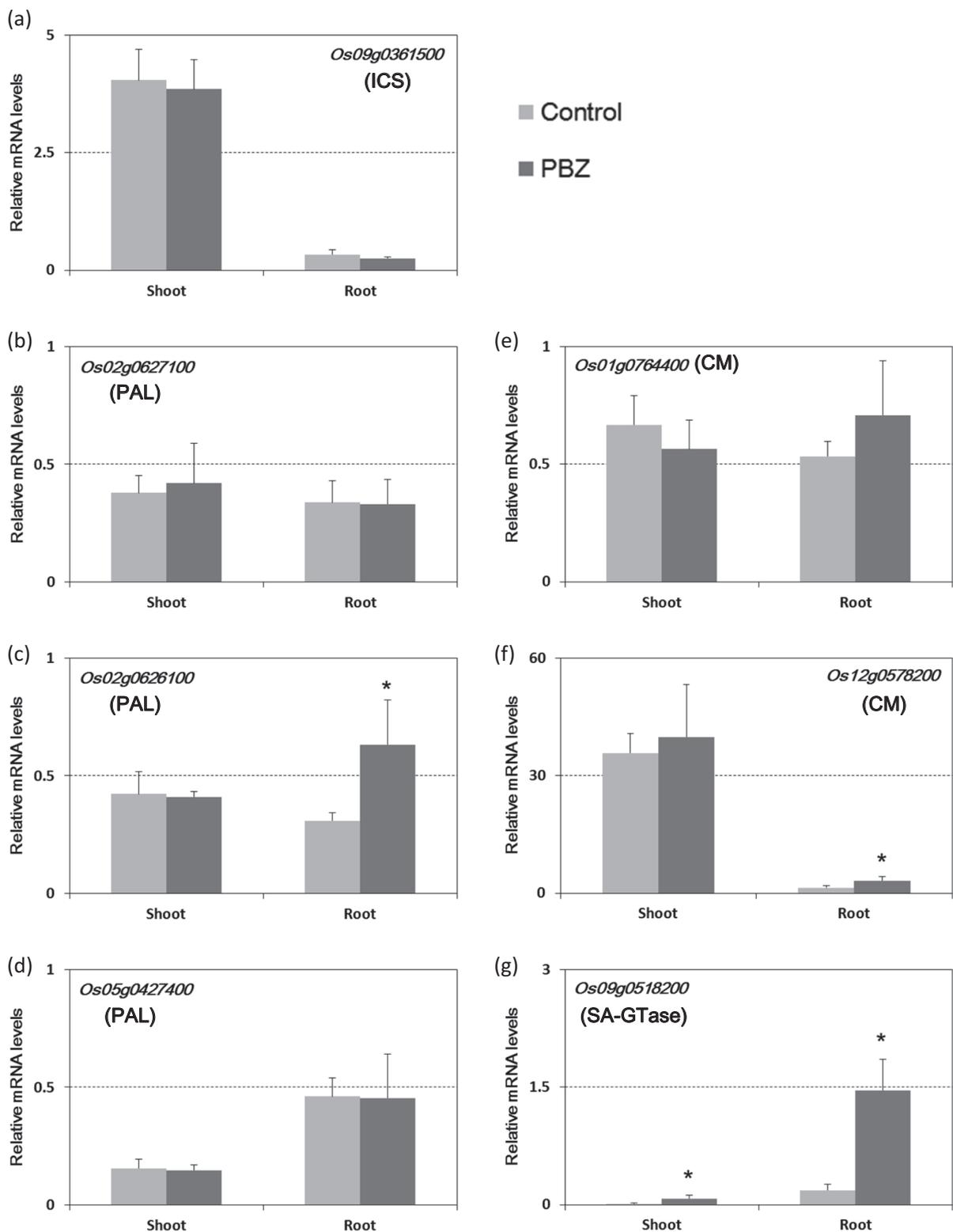


Fig. 3 The effect of probenazole on the expression of genes related to SA metabolism.

Rice seedlings were treated with or without 100 μ M probenazole (PBZ) in the dark for 4 days and total RNAs extracted from their shoots or roots. Gene transcript levels were analyzed by QRT-PCR: (a) isochorismate synthase; (b, c and d) phenylalanine ammonia-lyase; (e and f) chorismate mutase; and (g) salicylate glycosyl transferase. Gene IDs are shown in each figure. Transcript levels were normalized against the ubiquitin gene. Bars show the SD (n = 3). Asterisks indicate a significant difference from the control mean (P < 0.05, Student's *t* test).

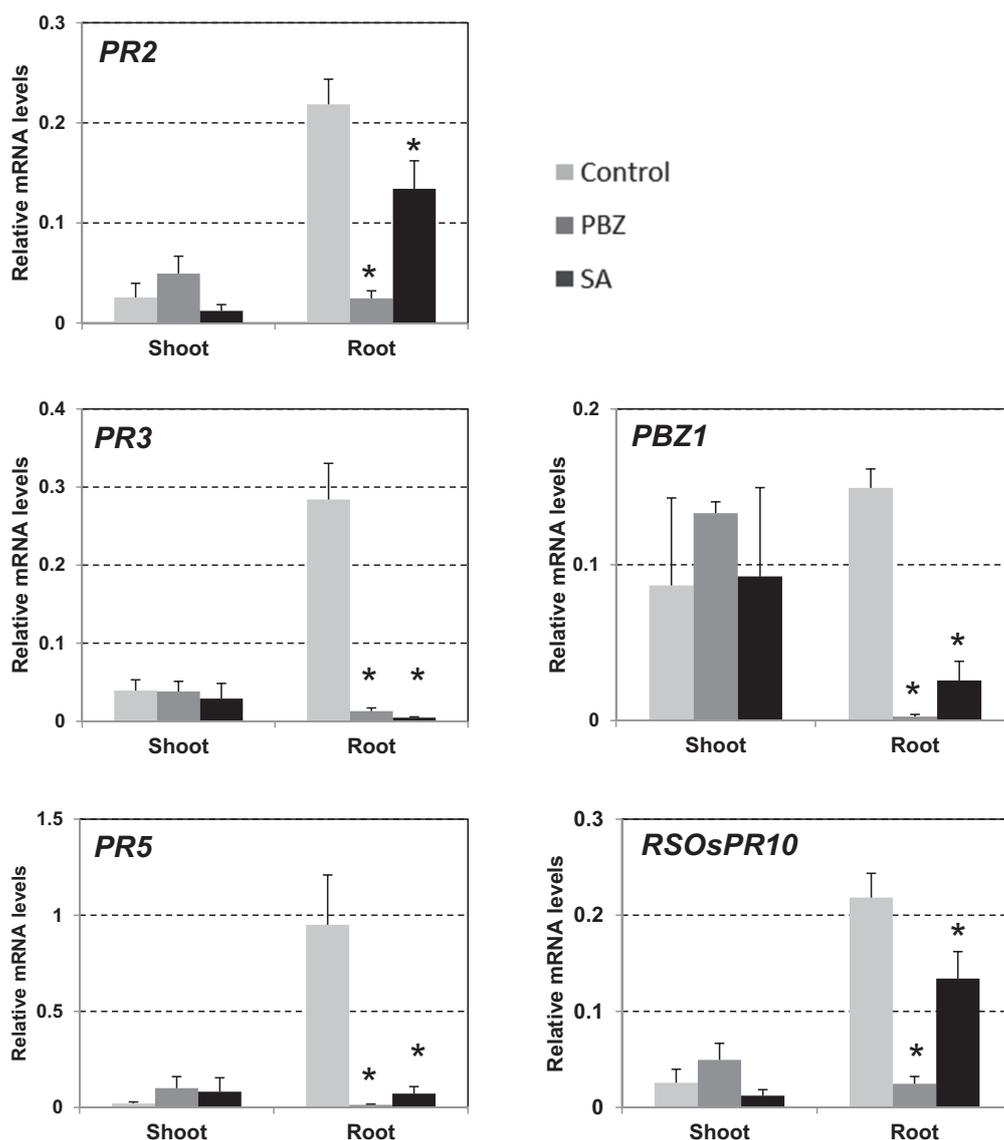


Fig. 4 Analysis of expression of genes for pathogenesis related proteins in probenazole or SA treated seedlings.

Rice seeds were treated for 4 days with 0.1% DMSO (control), 100 μ M probenazole (PBZ) or 10 μ M SA. Total RNAs from shoots or roots were used for QRT-PCR. Expression levels were normalized against the ubiquitin gene. Bars show the SD (n = 3). Asterisks indicate a significant difference from the control mean (P < 0.05, Student's *t* test).

treatment (Fig. 1). Treatment of roots with SA caused an increase in endogenous free SA content compared to control and probenazole treated roots (data not shown). Thus, there does not appear to be a clear correlation between endogenous SA levels and root growth. Possibly, further insight into the mechanism might be obtained through use of SA-deficient transgenic rice expressing nahG (Yang *et al.*, 2004).

We examined the effects of probenazole and exogenous SA treatments on the levels of expression of genes for pathogenesis related proteins. Probenazole has previously been shown to induce increased expression of the *PR2*, *PR3*, *PR5* and *PBZ1* genes in leaves and of *RSOsPR10* in roots (MEI *et al.*, 2006; KANO *et al.*, 2010; MAHMOOD *et al.*, 2009; IWAI *et al.*, 2007; HASHIMOTO *et al.*, 2004). Here, we found a significant reduction in

expression of all these genes in roots but not shoots after either probenazole or exogenous SA treatment (Fig. 4). The non-induction of PR genes by probenazole in shoots might be due to the age of the plants when treated. IWAI *et al.*, (2007) demonstrated that probenazole induces accumulation of PR proteins in adult rice plants but not in young seedlings. It is also possible that the dose of probenazole used may have affected the outcome. Here, we treated the seedlings with 100 μ M probenazole, whereas previous studies used 450 – 500 μ M probenazole (IWAI *et al.*, 2007; MAHMOOD *et al.*, 2009; HASHIMOTO *et al.*, 2004). Although the unexpected failure to induce increased expression of PR genes in shoots might be ascribed to differences in plant ages and dose of probenazole, the suppression of their expression in roots cannot be explained by these factors.

MEI *et al.*, (2006) reported that levels of expression of *PR2*, *PR2*, *PR3* and *PR5* genes increased in transgenic rice plants that accumulated a high concentration of endogenous jasmonic acid (JA) compared to wild type plants. HASHIMOTO *et al.*, (2004) and TAKEUCHI *et al.*, (2011) subsequently found that exogenous JA strongly induces *RSOsPR10* expression in roots. Analyses of mutant and transgenic plants have demonstrated that jasmonic acid has an important role in defense gene expression in tomato, tobacco, and potato (MEI *et al.*, 2006). It is also well known that antagonistic interactions between the SA and JA signaling mechanisms modulate expression of defense genes (TAKAHASHI *et al.*, 2004). Therefore, it is conceivable that probenazole and exogenous SA suppress the PR genes through antagonistic suppression of JA signals in roots of young rice seedlings.

The over-expression of *NH3* (an *NPR1* paraolog) driven by the *Ubi-1* promoter causes toxicity leading to lethality in transgenic rice (BAI *et al.*, 2010). It has also been reported that transgenic rice plants over-expressing *WRKY45* show retarded growth (SHIMONO *et al.*, 2007). Genes for PR proteins are probably expressed constitutively in

these transgenic plants because *NH3* and *WRKY45* are positive regulators of defense response signals. Toxicity and retarded growth in these transgenic rice plants may be associated with this constitutive expression of genes for PR proteins. This suggests that the increased rate of root growth induced by probenazole or SA treatments might be caused by suppression of genes for PR proteins. Since we did not find any change in the levels of expression of these genes in shoots after probenazole and SA treatment, there may be another mechanism for regulation of gene expression by probenazole and SA in roots and shoots. A future study will be initiated to investigate the mechanisms of tissue-specific responses to probenazole and SA.

V. Summary

Probenazole is the active ingredient of Oryzmate, an agrochemical that is widely used for protection of rice plants against the rice blast fungus *Magnaporthe grisea*. We found that treatment of rice seedlings with probenazole resulted in an acceleration of root growth. Although probenazole treatment has been shown previously to cause an accumulation of salicylic acid (SA), we found here that the SA levels in treated seedling roots were reduced. Expression of the gene for salicylate glycosyl transferase (SAGTase), which converts SA to SA O-beta-glucoside (SAG), was induced in roots by probenazole treatment. Treatment of roots with either probenazole or SA significantly reduced expression of genes for the pathogenesis-related proteins PR2, PR3, PR5, PBZ1 and RSOsPR10.

Acknowledgements

We would like to thank Noriko Goto and Akiko Fujii for technical assistance. This work was supported by the Programme for Promotion of Basic and Applied Researches for Innovations in Bio-oriented Industry.

References

- 1) BAI, W., CHERN, M., RUAN, D., CANLAS, P. E., SZE-TO, W. H. and RONALD, P. C. (2011) : Enhanced disease resistance and hypersensitivity to BTH by introduction of an NH1/OsNPR1 paralog. *Plant Biotechnol.*, 9, 205-215.
- 2) BOWLING, S. A., CLARKE, J. D., LIU, Y., KLESSIG, D. F. and DONG, X. (1997) : The *cpr5* mutant of *Arabidopsis* expresses both NPR1-dependent and NPR1-independent resistance. *The Plant Cell*, 9, 1573-1584.
- 3) CHEN, S., SONGKUMARN, P., LIU, J. and WANG, G. L. (2009) A versatile zero background T-vector system for gene cloning and functional Genomics. *Plant Physiol.*, 150, 1111-1121.
- 4) DEMPSEY, D. A., VLOT, A. C., WILDERMUTH, M. C. and KLESSIG, D. F. (2011) : Salicylic Acid biosynthesis and metabolism. *Arabidopsis Book*, 9, e0156.
- 5) FORCHETTI, G., MASCIARELLI, O., IZAGUIRRE, M. J., ALEMANO, S. and ABDALA, G. (2010) : Edaphytic bacteria improve seedling growth of sunflower under water stress, produce salicylic acid, and inhibit growth of pathogenic fungi. *Curr. Microbiol.*, 61, 485-493.
- 6) GUTIERREZ-CORONADO, M. A., TREJO-LOPEZ, C. and LARQUE-SAAVEDRA, A. (1998) : Effects of salicylic acid on growth of roots and shoots in soybean. *Plant Physiol. Biochem.*, 36, 563-565.
- 7) GUNES, A., INAL, A., ALPASLAN, M., ERASLAN, F., GUNERI, B. E. and CICEK, N. (2007) : Salicylic acid induced changes on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress and mineral nutrition in maize (*Zea mays* L.) grown under salinity. *J. Plant Physiol.*, 164, 728-736.
- 8) HASHIMOTO, M., KISSELEVA, L., SAWA, S., FURUKAWA, T., KOMATSU, S. and KOSHIBA, T. (2004) : A novel rice PR10 protein, RSOsPR10, specifically induced in roots by biotic and abiotic stresses, possibly via the jasmonic acid signaling pathway. *Plant Cell Physiol.*, 45, 550-559.
- 9) HASHMI, N., KHAN, M. M. A., MOINUDDIN, IDREES, M. and AFTAB, T. (2012) : Exogenous salicylic acid stimulates physiological and biochemical changes to improve growth, yield and active constituents of fennel essential oil. *Plant Growth Regul.*, DOI: 10.1007/s10725-012-9716-0.
- 10) IWAI, T., SEO, S., MITSUHARA, I. and OHASHI, Y. (2007) : Probenazole-induced accumulation of salicylic acid confers resistance to *Magnaporthe grisea* in adult rice plants. *Plant Cell Physiol.*, 48, 915-924.
- 11) IWATA, M. (2001) : Probenazole - a plant defense activator. *Pesticide Outlook - February 2001*, 28-31.
- 12) KANO, A., GOMI, K., YAMASAKI-KOKUDO, Y., SATOH, M., FUKUMOTO, T., OHTANI, K., TAJIMA, S., IZUMORI, K., TANAKA, K., ISHIDA, Y., TADA, Y., NISHIZAWA, Y. and AKIMITSU, K. (2010) : A rare sugar, d-allose, confers resistance to rice bacterial blight with upregulation of defense-related genes in *Oryza sativa*. *Phytopathology*, 100, 85-90.
- 13) KOVACIK, J., GRUZ, J., BACKOR, M., STRNAD, M. and REPCAČ, M. (2009) Salicylic acid-induced changes to growth and phenolic metabolism in *Matricaria chamomilla* plants. *Plant Cell Rep.*, 28, 135-143.
- 14) KUREPIN, L. V., WALTON, L. J., HAYWARD, A., EMERY, R. J. N., REID, D. M. and CHINNAPPA, C. C. (2012) : Shade light interaction with salicylic acid in regulating growth of sun (alpine) and shade (prairie) ecotypes of *Stellaria longipes*. *Plant Growth Regul.*, 68, 1-8.
- 15) MALAMY, J., HENNIG, J. and KLESSIG, D. F. (1992) : Temperature-dependent induction of salicylic acid and its conjugates during the resistance response to tobacco mosaic virus infection. *Plant Cell*, 4, 359-366.
- 16) MEI, C., QI, M., SHENG, G. and YANG, Y. (2006) : Inducible overexpression of a rice allene oxide synthase gene increases the endogenous jasmonic acid level, PR gene expression, and host resistance to fungal infection. *Mol. Plant*

- Microbe Interact., 19, 1127-37.
- 17) MIDOH, N. and IWATA, M. (1996) : Cloning and characterization of a probenazole-inducible gene for an intercellular pathogenesis-related protein in rice. *Plant Cell Physiol.*, 37, 9-18.
 - 18) MAHMOOD, T., KAKISHIMA, M. and KOMATSU, S. (2009) : Proteome analysis of probenazole-effect in rice-bacterial blight interactions. *Protein Pept Lett* 16:1041-52.
 - 19) MOHAMMED, A. R. (2009) : Characterization of rice (*Oryza sativa* L.) physiological responses to α -tocopherol, glycine betaine or salicylic acid application. *J. Agr. Sci.*, 3, 3-13.
 - 20) PANCHEVA, T. V., POPOVA, L. P. and UZUNOVA, A. N. (1996) : Effects of salicylic acid on growth and photosynthesis in barley plants. *J. Plant Physiol.*, 149, 57-63.
 - 21) RATE, D. N., CUENCA, J. V., BOWMAN, G. R., GUTTMAN, D. S. and GREENBERG, J. T. (1999) : The gain-of-function Arabidopsis *acd6* mutant reveals novel regulation and function of the salicylic acid signaling pathway in controlling cell death, defenses and cell growth. *Plant Cell*, 11, 1695-1708.
 - 22) RATE, D. N. and GREENBERG, J. T. (2001) : The Arabidopsis aberrant growth and death2 mutant shows resistance to *Pseudomonas syringae* and reveals a role for NPR1 in suppressing hypersensitive cell death. *Plant J.*, 27, 203-211.
 - 23) SAIKIA, R., KUMAR, R., AROPA, D. K., GOGOI, D. K. and AZAD, P. (2006) : *Pseudomonas aeruginosa* inducing rice resistance against *Rhizoctonia solani*: Production of salicylic acid and peroxidases. *Folia Microbiol.*, 51, 375-380.
 - 24) SHAKIROVA, F. M., SAKHABUTDINOVA, A. R., BEZRUKOVA, V., FATKHUTDINOVA, R. A. and FATKHUTDINOVA, D. R. (2003) : Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Sci.*, 164, 317-322.
 - 25) SHIMONO, M., SUGANO, S., NAKAYAMA, A., JIANG, C. J., ONO, K., TOKI, S. and TAKATSUJI, H. (2007) : Rice WRKY45 plays a crucial role in benzothiadiazole-inducible blast resistance. *Plant Cell*, 19, 2064-2076.
 - 26) TAKEUCHI, K., GYOHDA, A., TOMINAGA, M., KAWAKATSU, M., HATAKEYAMA, A., ISHII, N., SHIMAYA, K., NISHIMURA, T., RIEMANN, M., Nick, P., HASHIMOTO, M., KOMANO, T., ENDO, A., OKAMOTO, T., JIKUMARU, Y., KAMIYA, Y., TERAKAWA, T. and KOSHIBA, T. (2011) : RSOsPR10 expression in response to environmental stresses is regulated antagonistically by jasmonate/ethylene and salicylic acid signaling pathways in rice roots. *Plant Cell Physiol.*, 52, 1686-1696.
 - 27) TAKAHASHI, H., KANAYAMA, Y., ZHENG, M. S., KUSANO, T., HASE, S., IKEGAMI, M. and SHAH, J. (2004) : Antagonistic interactions between the SA and JA signaling pathways in Arabidopsis modulate expression of defense genes and gene-for-gene resistance to cucumber mosaic virus. *Plant Cell Physiol.*, 45, 803-809.
 - 28) TRAW, M. B. and BERGELSON, J. (2003) : Interactive effects of jasmonic acid, salicylic acid, and gibberellin on induction of trichomes in Arabidopsis. *Plant Physiol.*, 133, 1367-1375.
 - 29) UMEMURA, K., SATOU, J., IWATA, M., UOZUMI, N., KOGA, J., KAWANO, T., KOSHIBA, T., ANZAI, H. and MITOMI, M. (2009) : Contribution of salicylic acid glucosyltransferase, OsSGT1, to chemically induced disease resistance in rice plants. *Plant J.*, 57, 463-72.
 - 30) VICENTE, M. R. S. and PLASENCIA, J. (2011) : Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *J. Exp. Bot.*, 62, 3321-3338.
 - 31) WALTERS, D. R. and FOUNTAINE, J. M. (2009) : Practical application of induced resistance to plant diseases: an appraisal of effectiveness under field conditions. *J. Agr. Sci.*, 147, 523-535.
 - 32) YANG, Y., QI, M. and MEI, C. (2004) : Endogenous salicylic acid protects rice plants from oxidative damage caused by aging as well as biotic and abiotic stress. *Plant J.*, 40, 909-919.
 - 33) YASUDA, M., ISHIKAWA, A., JIKUMARU, Y., SEKI, M., UMEZAWA, T., ASAMI, T., MARUYAMA, N. A.,

KUDO, T., SHINOZAKI, K., YOSHIDA, S. and NAKASHITA, H. (2008) : Antagonistic Interaction between Systemic Acquired Resistance and the Abscisic Acid-Mediated Abiotic Stress Response in Arabidopsis. *Plant Cell*, 20, 1678-1692.

34) YOSHIOKA, K., NAKASHITA, H., KLESSIG, D. F. and YAMAGUCHI, I. (2001) : Probenazole induces systemic acquired resistance in Arabidopsis with a novel type of action. *Plant J.*, 25, 149-157.

プロベナゾールはイネ実生の根の生育を促進し、感染特異的タンパク質遺伝子の発現を抑制する

佐藤 裕¹⁾・加藤英樹²⁾・遠藤 亮¹⁾・大橋美帆子¹⁾・目黒文乃¹⁾

摘 要

プロベナゾールはイネいもち病防除のために広く用いられている農薬「オリゼメート」の主要成分である。我々は、プロベナゾール処理によりイネ幼苗の主根の伸長が促進されることを見出した。プロベナゾールは植物体内において、病害抵抗性を誘導することが知られているサリチル酸(SA)の蓄積を誘導することが報告されているが、本研究によってプロベナゾール処理された根ではSA濃度が減少する

ことが明らかとなった。プロベナゾール処理された根では、SAをSA O-beta-glucoside (SAG)に変換するSalicylate glycosyl transferase (SA-GTase)遺伝子の発現が増加していることから、この変換によりSA濃度が低下した可能性がある。さらに、プロベナゾール処理された根では感染特異的(PR)タンパク質遺伝子であるPR2, PR3, PR5, PBZ1およびRSOsPR10タンパク質遺伝子の発現が顕著に減少していた。

1) 北海道農業研究センター 寒地作物研究領域
2) 現 日本曹達(株)小田原研究所創薬生物研究部

北海道農業研究センターの組織

【札幌（本所）】	〒062-8555	札幌市豊平区羊ヶ丘1番地	Hitsujigaoka, Toyohira, Sapporo, 062-8555, Japan
【芽室（芽室研究拠点）】	〒082-0081	河西郡芽室町新生南9-4	Memuro, Kasai, 082-0081, Japan
【美唄（美唄試験地）】	〒072-0045	美唄市開発町南	Kaihatsu, Bibai, 072-0045, Japan
企画管理部		(札幌・芽室)	
水田作研究領域		(札幌)	
酪農研究領域		(札幌)	
寒地作物研究領域		(札幌)	
生産環境研究領域		(札幌)	
畑作研究領域		(芽室)	
バレイショ先端遺伝特別研究室		(芽室)	
研究支援センター		(札幌・芽室・美唄)	

Organization of the NARO Hokkaido Agricultural Research Center

Organization	Location
Department of Planning and General Administration	(Sapporo/Memuro)
Lowland Farming Research Division	(Sapporo)
Dairy Production Research Division	(Sapporo)
Crop Breeding Research Division	(Sapporo)
Agro-environmental Research Division	(Sapporo)
Upland Farming Research Division	(Memuro)
Potato Genetics Laboratory	(Memuro)
Research Support Center	(Sapporo/Memuro/Bibai)

北海道農業研究センター研究報告 第198号

平成25年2月22日 印刷

平成25年2月28日 発行

農研機構 北海道農業研究センター

〒062-8555 札幌市豊平区羊ヶ丘1番地 電話 (011) 851-9141
<http://cryo.naro.affrc.go.jp/>

印刷 ひまわり印刷株式会社

〒053-0815 苫小牧市永福町2丁目1-2 電話 (0144) 74-4500

本研究報告から転載・複製する場合は、北海道農業研究センターの許可を得てください。



NARO