

作物研究所研究報告

2015.3 No.15

目 次

【新品種】

品質が良好で多収性の蒸切干加工用サツマイモ品種「ほしこがね」の育成

…………… 藏之内利和・高田明子・中村善行・藤田敏郎・中谷 誠・熊谷 亨・
片山健二 …… 1

【原著論文】

Genetic Studies of Photoperiod Response Genes and Their Effect on Heading
Time in Japanese Wheat Cultivars

…………… Masako SEKI …… 29

【新品種】

いもち病抵抗性遺伝子*Pi9*を導入したコシヒカリ準同質遺伝子系統「コシヒカリ
関東BL1号」の育成

…………… 常松浩史・安東郁男・根本 博・春原嘉弘・加藤 浩・平林秀介・
竹内善信・前田英郎・佐藤宏之・田中淳一・池ヶ谷智仁・太田久稔・
石井卓朗・出田 収・平山正賢・杉田左江子・安藤 露・坂 紀邦・
永吉嘉文・安田伸子・小林伸哉・後藤明俊・黒木 慎・井辺時雄
…………… 75



作物研究所研究報告 第15号

編集委員会

委員長	浦尾	剛
委員	熊谷	亨
	藤郷	誠
	山守	誠
	三枝	貴代
事務局	坪倉	倫代

品質が良好で多収性の蒸切干加工用 サツマイモ品種「ほしこがね」の育成

藏之内利和・高田明子・中村善行・藤田敏郎*¹・
中谷 誠*²・熊谷 亨・片山健二

抄 録

サツマイモ蒸切干は重要な地域特産品となっている。しかし近年、近隣国からの輸入量増加に伴い、国産蒸切干の食味・外観をはじめとした高品質化を進め、差別化を図ることが重要となり、作物研究所では2009年に「ほしキラリ」を育成した。「ほしキラリ」は多収の基幹品種「タマユタカ」で問題となっている品質障害シロタの発生が少なく、良食味品種「泉13号」並みまたはより優れる食味を備えている。しかし、「ほしキラリ」は収量が「タマユタカ」の6割程度と劣るため、その改善が課題となってきた。そこで、高品質性と「タマユタカ」に近い収量性を備えた品種の開発を進め、「ほしこがね」を開発した。

「ほしこがね」の特徴は以下のとおりである。

1. 多収性品種「タマユタカ」の9割程度の収量がある。
2. 蒸切干にシロタがほとんど発生しない。
3. 「タマユタカ」よりも蒸切干の色調が良く、食味が良い。
4. 「タマユタカ」よりも塊根糖度が収穫後の早い時期から高く、年内加工等に適する。

蒸切干の主産地である茨城県において奨励品種採用に向けた試験が継続されており、多収性と良好な品質性を活かし、普及が期待されている。

キーワード：サツマイモ、糖度、蒸切干、干しいも、シロタ

平成26年 8 月 4 日受付 平成26年12月 1 日受理

*¹ 現 農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター

*² 現 農林水産省農林水産技術会議事務局

Breeding of a New Sweetpotato Variety “Hoshikogane” Suitable for Steamed and Cured Sweetpotato Slices (“Hoshi-imo”) with High Yield and Good Quality

Toshikazu KURANOCHI, Akiko TAKADA, Yoshiyuki NAKAMURA, Toshirou FUJITA*¹,
Makoto NAKATANI*², Toru KUMAGAI, Kenji KATAYAMA

Abstract

Steamed and cured sweetpotato slices, called “hoshi-imo”, are an important local agricultural product in Japan. More than 10 years ago, improvement of the quality of “hoshi-imo” became an urgent problem because of increasing quantities of imported sweetpotato. We released a new cultivar, “Hoshikirari”, in 2009 to address this problem. An opaque, white defect, known as “shirota”, occurs frequently in “hoshi-imo” made from cultivar “Tamayutaka”, a leading cultivar for “hoshi-imo” production.

“Shirota” defects were rarely observed in “Hoshikirari”, and the taste of “hoshi-imo” made from “Hoshikirari” was equal or superior to that made from cultivar “Izumi-13”, a high-quality variety. However, the storage root yield of “Hoshikirari” was lower than that of “Tamayutaka”, and improvement of the yield was an important target.

A new cultivar, “Hoshikogane”, was bred as part of our sweetpotato breeding program for “hoshi-imo” production. This new cultivar was derived from a cross between “Kanto 120” and “Quick Sweet” in 2003. Characteristics of “Hoshikogane” are as follows.

1. The storage root yield of “Hoshikogane” is about 90% of “Tamayutaka”, which possesses high root yield.
2. “Shirota” defects are rarely detected in “Hoshikogane”.
3. The color of “hoshi-imo” made from “Hoshikogane” is light yellow, and the taste is somewhat superior to “Tamayutaka”.
4. The Brix value of storage roots of “Hoshikogane” increases readily when the roots are stored after harvesting, and “Hoshikogane” is suitable for processing in early winter.

“Hoshikogane” is expected to increase sales of “hoshi-imo” by making use of its high yield and good quality.

Key Words: sweetpotato, sugar content, steamed and cured sweet potato slices, “hoshi-imo”, “shirota” defect.

*¹ NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center

*² Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat, Ministry of
Agriculture, Forestry and Fisheries

I 緒 言

サツマイモ蒸切干（干しいもとも呼ばれる、以下蒸切干と省略）は、茨城県、静岡県、長崎県、三重県、群馬県をはじめ全国各地で生産されるようになってきており、重要な地域農産加工品となっている。蒸切干加工に用いられるサツマイモは全国で4万5千トン強が生産されているが、茨城県が圧倒的に多く9割程度の生産を占める主産地となっている（狩谷 2013）。当該地域では、蒸切干加工用サツマイモが営農上で重要な位置を占めてきた（泉澤 1989、泉澤 1991）。また、近年は近隣国からの輸入量が増加し、国産蒸切干の高品質化を進めて外国産品との差別化を図ることが重要となるほか、6次産業化の面でも蒸切干が重視され、産地では品種・栽培・加工面等で様々な対策が取られてきている。

蒸切干の加工は、いもを洗浄後に蒸煮し、剥皮・スライスして干し網に並べ、1週間程度乾燥させるのが一般的であり、加工時期は12月から2月頃までが主となっている。加工に際しては、収穫したいもを7~10℃程度の低温で一定期間貯蔵することで、でん粉の糖化を促進し、蒸切干の食味向上が図られている。

品種としては「タマユタカ」（小野田ら 1970）が圧倒的に多く作付けされてきている。この品種は多収性であり、蒸切干に素朴な風味

と甘味があること、病虫害抵抗性が比較的強く、低温下でのいもの貯蔵が比較的容易であることなどから広く普及してきた。しかし、「タマユタカ」は「シロタ」（「中白」）と呼ばれる品質障害が発生しやすく、産地で大きな問題となっており、他品種へ切り替える動きも出てきている。「シロタ」は蒸切干の一部が白色不透明になって外観・食味を損ねる障害であり、原因としては水分の挙動が深く関わっていることが指摘されている（中村ら 2007）。また、「タマユタカ」は蒸切干の黒変が多く、灰色を帯びた外観となりやすいのが欠点である。そこで、当所では、蒸切干の外観・食味が優れ、シロタの発生が少ない高品質品種の育成を進め、2009年に「ほしキラリ」（藏之内ら 2012）を育成し、2011年に品種登録されるとともに茨城県の準奨励品種に採用された。しかし、「ほしキラリ」は収量が「タマユタカ」の6割程度と劣ることから、普及は限定的となっている。そのため、シロタ障害が発生せず蒸切干品質が良好であるとともに収量性が優れる品種の開発が急務となっていった。そこで当所では、こうした特性を備えた品種の開発を進め、2012年に「ほしこがね」を育成した。「ほしこがね」は2014年に品種登録され、茨城県において奨励品種採用に向けた検討が継続されている。

II 育成経過

「ほしこがね」は、やや多収でいもの外観が優れる「関東120号」を母親、いものでん粉糊化開始温度が低い「クイックスイート」（片山ら 2003）を父親とする交配組合せから選抜・育成した品種であり、その系譜は図1に示したとおりである。

交配採種は、2003年に九州沖縄農業研究セン

ター業務第3科（都城研究拠点）で実施した。2004年以降は作物研究所畑作物研究部甘しょ育種研究室（現 畑作物研究領域（カンショ品種開発・利用プロジェクト））で選抜・育成を行い、表1に示した耕種概要に基づいて各試験を実施した。選抜経過は表2に示したとおりであり、2004年の実生個体選抜試験において、いも

の外観および結しよ性に優れていたことから、「作03184-155」の系統番号を付して選抜した。以後、2005年に系統選抜試験、2006年に生産力

検定予備試験へ供試した。諸特性を検討した結果、いもの外観や蒸切干の特性が優れていたの
で、「作系17」の系統番号を付し、2007年以降

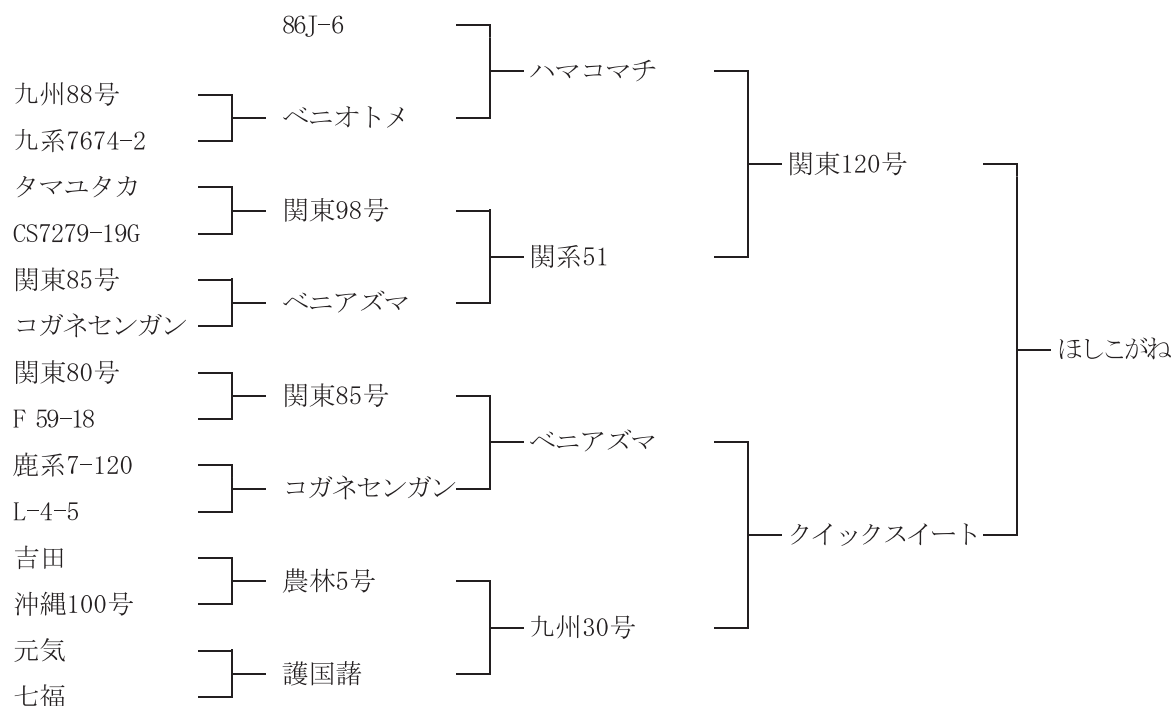


図1 「ほしこがね」の系譜

表1 育成地における生産力検定試験の耕種概要

試験年度	試験名	栽植様式 (cm)	施肥量* (kg/a)	1区株数 (畦数)	区制	植付月日	収穫月日
2007	無マルチ標準	70×30	4.0	40 (4)	3	5. 9	10. 15
	マルチ標準	100×25	4.0	40 (4)	3	5. 21	10. 25
	マルチ多肥	100×25	10.0	40 (4)	3	5. 28	10. 30
2008	無マルチ標準	70×30	4.0	40 (4)	3	5. 12	10. 27
	マルチ標準	100×25	4.0	40 (4)	3	5. 21	10. 28
	マルチ多肥	100×25	10.0	40 (4)	3	5. 27	10. 30
2009	無マルチ標準	70×30	4.0	40 (4)	3	5. 11	10. 21
	マルチ標準	100×25	4.0	40 (4)	3	5. 19	10. 28
	マルチ多肥	100×25	10.0	40 (4)	3	5. 19	10. 29
2010	無マルチ標準	70×30	4.0	40 (4)	3	5. 7	10. 14
	マルチ標準	100×25	4.0	40 (4)	3	5. 17	10. 19
	マルチ多肥	100×25	10.0	40 (4)	3	5. 28	10. 22
2011	無マルチ標準	70×30	4.0	40 (4)	3	5. 12	10. 14
	マルチ標準	100×25	4.0	40 (4)	3	5. 24	10. 18
	マルチ多肥	100×25	10.0	40 (4)	3	5. 31	10. 21

*: 標準 さつま化成 (3-12-10) N:0.12 (kg/a)、P:0.48 (＼)、K:0.40 (＼)
多肥 化成肥料 (10-10-10) N:1.00 (kg/a)、P:1.00 (＼)、K:1.00 (＼)

の生産力検定試験、系統適応性検定試験（埼玉県農林総合研究センター、愛媛県農林水産研究所、長崎県農林技術開発センターおよび鹿児島県農業開発総合センター）、黒斑病抵抗性検定試験（長崎県農林技術開発センター）、サツマイモネコブセンチュウ抵抗性検定試験（静岡県農林技術研究所海岸砂地分場）および立枯病抵抗性検定試験（徳島県立農林水産総合技術支援センター）に供試した。さらにこれらの試験成績を総合的に検討した結果、2007年12月に「関

東131号」の系統名を付し、2008年以降に育成地における生産力検定試験と関係機関における奨励品種決定試験等に供試した。その結果、「関東131号」は「タマユタカ」に近い収量性があり、蒸切干の品質および食味が優れていることが明らかとなり、茨城県より普及を図りたい意向が示された。そのため、2012年2月に「ほしこがね」として品種登録出願を行い、同年3月に品種登録出願公表され、2014年3月に品種登録された。

表2 「ほしこがね」の選抜経過

年 度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
供試系統数	685粒	19	2	1	1	1	1	1
選抜系統数	19個体	2	1	1	1	1	1	1
	交配番号 03184	作03184 -115	作系17	関東131号				
実生個体 選抜試験	———							
系統選抜 試験		———						
生産力検定 予備試験			———					
			マルチ・無マルチ 病虫害抵抗性検定					
生産力検定 試験					———			
					マルチ・無マルチ 病虫害抵抗性検定・貯蔵性検定			
系統適応性 検定試験*				4				
特性検定試験				ネコブセンチュウ・黒斑病			立枯病	
奨励品種 決定調査**								
茨城県					2	2	2	2
静岡県					1	1		
石川県							1	
鹿児島県					1			

*：場所数、**：箇所数。

III 特性の概要

特性調査は、種苗特性分類調査報告書（農林水産技術情報協会 1981）に準拠して実施した。なお、地上部および地下部の特性は、無マルチ栽培における特性値を基準とした。

1 萌芽性

苗床における「ほしこがね」の萌芽の遅速はやや早、萌芽揃いの整否はやや整、伸長の遅速はやや早、萌芽の多少は多であることから、萌芽性はやや良である（表3）。

2 地上部特性

圃場における「ほしこがね」の草型はやや匍匐（ほふく）型であり、「タマユタカ」と同じである（表4）。巻きつる性は無である。茎の着色は無、節の着色は無、茎の太さはやや細、茎長は中であり、毛茸はやや少である。頂葉色は緑、葉色は緑、葉の大きさはやや小で葉形は単欠刻浅裂である。葉脈および蜜腺ならびに葉脚の着色は無である。

表3 「ほしこがね」の苗床特性（2007年～2011年の平均）

特 性 名	品 種 名			
	ほしこがね	タマユタカ	泉13号	クイックスイート
萌芽の遅速	やや早	中	中	やや遅
萌芽揃いの整否	やや整	中	中	やや否
萌芽伸長の遅速	やや早	やや早	中	やや遅
萌芽の多少	多	やや多	やや多	やや多
萌芽性	やや良	やや良	中	やや不良

農林水産技術情報協会（1981）かんしょ種苗特性分類調査報告書を基に判定。

表4 「ほしこがね」の地上部特性（2007年～2011年の平均）

特 性 名	品 種 名			
	ほしこがね	タマユタカ	泉13号	クイックスイート
草型	やや匍匐	やや匍匐	匍匐	やや匍匐
巻きつる性	無	無	無	無
茎色（着色の程度）	無	微	少	無
節色（ " ）	無	微	少	無
茎の太さ	やや細	中	やや細	やや太
茎長	中	中	やや短	中
節間長	やや短	やや短	やや短	やや短
茎の毛茸	やや少	少	少	中
頂葉色	緑	帯紫緑	褐	淡緑
葉色	緑	緑	緑	緑
葉形	単欠刻浅裂	単欠刻浅裂	三角形	単欠刻浅裂
葉の大小	やや小	やや小	やや小	やや大
葉柄長	やや短	やや短	短	中
葉脈色（着色の程度）	無	微	無	無
蜜腺色（ " ）	無	無	無	無
葉脚色（ " ）	無	少	微	無
葉柄の太さ	やや細	やや細	細	やや太

農林水産技術情報協会（1981）かんしょ種苗特性分類調査報告書を基に判定。
クイックスイートは2007年～2008年の平均。

3 地下部特性

圃場における「ほしこがね」のしよ梗の長さはやや短、強さは強、結しよの位置は浅く、掘取の難易は易である(表5)。いもの形状は短紡錘形で、形状整否はやや整、いもの大きさはやや大、大小整否は中で外観はやや上である。いもの皮色は赤紫で肉色は黄白である(写真1)。いもの目は浅く、条溝が無、裂開は微で皮脈は

無である。

4 品質特性

蒸切干の作製は以下の方法により実施した。すなわち、12月上旬に生いもを8℃で1週間の低温処理を行ってでん粉の糖化を促進させ、洗浄後に2時間30分程度蒸籠で蒸煮し、自然冷却後に剥皮して1.1cm厚で縦方向に薄切りした。さらに、それら蒸しいも切片をガラス室内に設

表5 「ほしこがね」の地下部特性(2007年~2011年の平均)

特性名	品種名			
	ほしこがね	タマユタカ	泉13号	クイックスイート
しよ梗の長さ	やや短	やや長	やや長	やや短
しよ梗の強さ	強	強	強	強
結しよの位置	浅	浅	やや浅	浅
掘取の難易	易	易	やや易	易
いもの形状	短紡錘形	短紡錘形	紡錘形	紡錘形
いもの形状整否	やや整	中	中	中
いもの大小	やや大	やや大	中	やや大
いもの大小整否	中	中	中	中
いもの皮色	赤紫	帯紅淡黄白	淡黄白	濃赤紫
いもの肉色	黄白	淡黄白	黄白	黄白
いものうんの多少	無	無	無	無
いものカロテンの多少	無	無	無	無
いもの芽の深浅	浅	中	中	やや浅
いもの条溝	無	少	微	無
いもの裂開	微	微	無	少
いもの皮脈	無	微	無	無
いもの外皮の粗滑	やや滑	中	やや滑	中
いもの外観	やや上	中	やや下	中

農林水産技術情報協会(1981)かんしょ種苗特性分類調査報告書を基に判定。クイックスイートは2007年~2008年の平均。



「ほしこがね」(左)の地上部、右は「タマユタカ」



「ほしこがね」(左)の地下部、右は「タマユタカ」
黒線は20cmを示す

写真1 「ほしこがね」の地上部および地下部の形態

置した干し網上に並べ、1週間程度自然通風乾燥させた。なお、乾燥時の平均気温は10℃程度、平均湿度は50%程度であった。

「ほしこがね」の蒸切干でのシロタ発生は無であり、「タマユタカ」(少)より明らかに少ない(表6)。蒸切干の肉色は淡黄で外観が優れ

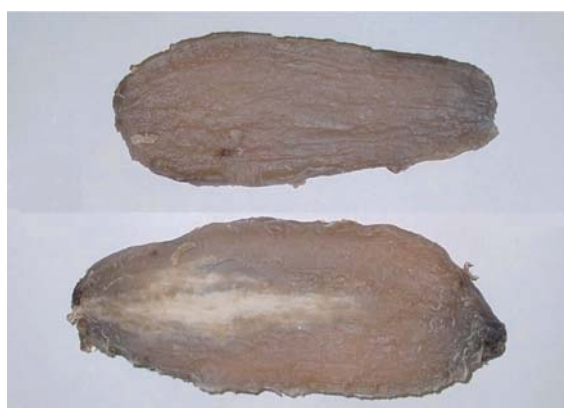
ており(写真2)、肉質はやや粘、繊維は中である。蒸切干の食味はやや上～上で「タマユタカ」並みまたはやや優れる。蒸切干の糖度は6.4 Brix% (10倍希釈)で「タマユタカ」の5.0 Brix%より高い(表6)。

表6 「ほしこがね」の蒸切干の品質(2007年～2011年)

特 性 名	試験 年度	無マルチ標準栽培			マルチ標準栽培		
		ほしこがね	タマユタカ	泉13号	ほしこがね	タマユタカ	泉13号
蒸切干の 対生いも歩合 (%)	2007	35.7	37.3	43.9	34.6	34.3	42.6
	2008	37.2	44.3	32.6	36.6	39.6	43.3
	2009	38.5	38.3	43.0	29.3	33.6	37.8
	2010	33.0	35.4	39.3	31.4	33.6	40.8
	2011	34.7	31.6	38.9	35.6	37.9	40.8
	平均	35.8	37.4	39.5	33.5	35.8	41.1
蒸切干の シロタ(中白)	2007	無	中	微	無	やや少	少
	2008	無	やや少	無	無	少	微
	2009	無	少	無	無	少	無
	2010	無	少	無	無	少	少
	2011	無	少	無	無	微	微
	平均	無	少	無	無	少	微
蒸切干の 肉色	2007	淡黄	灰白	黄白	黄白	灰白	黄白
	2008	淡黄	灰白	黄白	淡黄	灰白	黄白
	2009	淡黄	灰白	黄白	淡黄	灰白	黄白
	2010	淡黄	灰白	黄白	淡黄	灰白	黄白
	2011	淡黄	灰白	黄白	淡黄	灰白	黄白
	平均	淡黄	灰白	黄白	淡黄	灰白	黄白
蒸切干の 肉質	2007	やや粘	中	中	中～やや粘	中	中
	2008	粘	中～やや粘	中～やや粘	粘	中	中
	2009	粘	やや粘	中	やや粘	中～やや粘	中
	2010	やや粘	中	中	やや粘	中	中
	2011	やや粘	中～やや粘	中	中～やや粘	中	中
	平均	やや粘	中～やや粘	中	やや粘	中	中
蒸切干の 繊維	2007	中	やや少	中	やや少	やや少	中
	2008	中	やや少	中	中	やや少	中
	2009	中	やや少	中	やや少～中	中	中
	2010	中	中	中	中	中	中
	2011	中	中	中	中	中	中
	平均	中	やや少	中	中	中	中
蒸切干の 食味	2007	やや上	やや上	上	やや上	やや上	やや上～上
	2008	やや上～上	やや上	上	やや上	やや上	やや上～上
	2009	やや上～上	やや上	やや上～上	やや上	やや上	やや上～上
	2010	やや上～上	中～やや上	やや上～上	やや上～上	中～やや上	やや上～上
	2011	やや上～上	やや上	上	やや上	中	やや上
	平均	やや上～上	やや上	上	やや上	やや上	やや上～上
蒸切干の 糖度(Brix%) (10倍希釈値)	2010	6.3	4.8	5.6			
	2011	6.5	5.3	6.1			
	平均	6.4	5.0	5.8			

シロタ(中白)は無、微、少、やや少、中、やや多、多の7段階に区分。

その他の評価は農林水産技術情報協会(1981)かんしょ種苗特性分類調査報告書を基に判定。



「ほしこがね」(左) の蒸切干、右は「タマユタカ」

「タマユタカ」の蒸切干 (下側はシロタが発生)

写真2 「ほしこがね」および「タマユタカ」の蒸切干の形態

表7 「ほしこがね」の蒸しいものの品質 (2007年~2011年、マルチ標準栽培)

特 性 名	試 験 年 度	品 種 名		
		ほしこがね	タマユタカ	泉13号
蒸しいもの 肉 色	2007	淡黄	灰白	淡黄白
	2008	淡黄	淡黄白	淡黄
	2009	淡黄	淡黄白	淡黄
	2010	黄	灰白	淡黄
	2011	黄	灰黄	淡黄
	平均	淡黄	灰黄白	淡黄
蒸しいもの 肉 質	2007	中	中	中
	2008	やや粘	やや粉	中
	2009	やや粘	やや粘	中
	2010	やや粘	やや粉	やや粘
	2011	粘	中	中
	平均	やや粘	中	中
蒸しいもの 繊維の多少	2007	少	中	中
	2008	中	中	やや多
	2009	中	中	やや多
	2010	やや少	中	やや多
	2011	中	中	やや多
	平均	やや少	中	やや多
蒸しいもの 黒変度	2007	少	やや多	やや多
	2008	微	多	中
	2009	少	やや多	やや多
	2010	微	やや多	やや多
	2011	やや少	やや多	中
	平均	少	やや多	やや多
蒸しいもの 食 味	2007	中	中	中
	2008	中~やや上	やや下	中~やや上
	2009	中~やや上	やや下	中~やや上
	2010	やや上	中	中
	2011	中~やや上	中~やや下	中~やや上
	平均	中~やや上	中~やや下	中
蒸しいもの 糖 度 (Brix %)	2007	25.2	24.8	28.4
	2008	14.8	16.4	15.6
	2009	20.4	17.6	24.4
	2010	19.6	17.6	24.0
	2011	23.6	17.2	25.2
	平均	20.8	18.8	23.6

10月中旬に調査。1時間~1時間30分蒸煮した。黒変は無、微、少、やや少、中、やや多、多の7段階評価。糖度は3倍量の水を加えて攪拌後に測定し、原液濃度に換算。その他評価は、農林水産技術情報協会(1981)かんしょ種苗特性分類調査報告書を基に判定。

「ほしこがね」の蒸しいもの肉色は淡黄で、肉質はやや粘であり、繊維はやや少ない(表7)。蒸しいもの黒変は少であり、「タマユタカ」(やや多)より少ない。蒸しいもの食味は中～やや上であり、「タマユタカ」(中～やや下)より優

れる。蒸しいもの糖度は「タマユタカ」並みまたはやや高い。

ラピッドビスコアライザーによる測定の結果、「ほしこがね」のでん粉糊化開始温度は「タマユタカ」よりも3℃程度低い(表8)。

表8 「ほしこがね」のでん粉糊化特性(2010年～2011年、無マルチ標準栽培)

特 性 名	試 験 年 度	品 種 名		
		ほしこがね	タマユタカ	泉13号
糊化開始温度 (°C)	2010	70.4	73.7	70.7
	2011	68.0	71.4	65.9
	平均	69.2	72.6	68.3
最高粘度 (RVU)	2010	113	121	74
	2011	245	231	203
	平均	179	176	139
ブレイクダウン (RVU)	2010	46	36	19
	2011	117	101	59
	平均	82	69	39
セットバック (RVU)	2010	78	88	61
	2011	158	159	176
	平均	118	124	119

ブレイクダウン：加熱によってでん粉粒が壊れ、粘度が下がる程度を示す。値が低いほど、でん粉の熱安定性が高いことを示す。

セットバック：冷却によってでん粉の粘度が上昇する程度を示す。値が低いほど、でん粉が老化しにくいことを示す。

表9 「ほしこがね」のβ-アミラーゼ活性および蒸しいもの糖組成(2011年、無マルチ標準栽培)

特 性 名	品 種 名		
	ほしこがね	タマユタカ	泉13号
β-アミラーゼ活性 ¹⁾ (m mole maltose/mg protein /min)	0.385	0.242	0.379
蒸しいも糖度 ²⁾ (Brix %)	19.2	17.8	21.8
糖組成(重量%) ³⁾			
フルクトース	0.5	0.9	0.3
グルコース	— ⁴⁾	1.2	—
スクロース	2.7	1.0	3.5
マルトース	9.8	8.8	10.6

1) 粗酵素液と可溶性でん粉の糊化溶液とを混ぜ、40℃で10分間反応させ、生成したマルトースをソモギー・ネルソン法で定量。粗酵素液中のタンパク質含量(mg)および反応時間(min)当たりで表記。

2) 蒸しいも3gに蒸留水9mLを加えたホモジネイトの上清を測定し、4倍換算。

3) 蒸しいも1gに80%エタノール20mLを加えたホモジネイトの上清を50mLに定容し、その20μLをHPLC装置に注入して分析。溶離液は75%(v/v)アセトニトリル水溶液。カラムはAsahipakNH2P(昭和電工)。検出はRI。

4) —は、検出限界以下。

「ほしこがね」のβ-アミラーゼ活性は「タマユタカ」よりも高い(表9)。「ほしこがね」の蒸しいもの糖度は「泉13号」より低い「タマユタカ」より高く、蒸しいもの糖組成では、「タマユタカ」よりスクロースが多く、マルトースがやや多い。

5 病虫害抵抗性

サツマイモ黒斑病抵抗性は、黒斑病菌 (*Ceratocystis fimbriata* Ell. et Halst.) を接種した苗を圃場に挿苗し、約70日後に掘り取り、茎の罹

表10 「ほしこがね」の病虫害抵抗性検定試験成績 (2007年~2011年)

特 性 名	試 験 年度	品 種 名		
		ほしこがね	タマユタカ	泉13号
黒斑病 ¹⁾	2007	やや強	やや強	やや強
	2008	やや強	強	—
	2009	やや強	強	やや強
	2010	やや強	強	やや強
	2011	やや強	強	中
	平均	やや強	強	やや強
つる割病 ²⁾	2007	やや強	中	やや弱
	2008	やや強	中	弱
	2009	やや強	やや強	やや弱
	2010	やや強	やや強	やや弱
	2011	強	やや強	中
	平均	やや強	やや強	やや弱
立枯病 ³⁾	2007	弱	やや弱	弱
	2008	やや弱	中	弱
	2009	弱	やや弱	やや弱
	2010	弱	やや弱	やや弱
	2011	弱	やや弱	やや弱
	平均	弱	やや弱	やや弱
ネコブ センチュウ 抵抗性 (場内) ⁴⁾	2007	強	中	やや強
	2008	強	中	やや強
	2009	強	やや強	やや強
	2010	強	中	やや強
	2011	強	やや強	やや強
	平均	強	中	やや強
ネコブ センチュウ 抵抗性 (現地) ⁵⁾	2007	強	やや強	強
	2008	強	中	中
	2009	強	やや強	やや強
	2010	やや強	中	やや強
	2011	中	やや強	やや強
	平均	やや強	やや強	やや強

それぞれの抵抗性は、弱、やや弱、中、やや強、強の5段階で判定。

- 1) 黒斑病菌 (*Ceratocystis fimbriata* Ell. et Halst.) を接種した苗を圃場に挿苗し、約70日後に掘り取り、茎の罹病程度及び塊根の病斑発生程度により判定。
- 2) 苗の切り口をつる割れ病菌 (*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. batatatis (Wollenw.) Snyder et Hans.) の懸濁液に浸漬して植え付け、約40日後に掘り取り、茎の罹病程度により判定。
- 3) 本病菌 (*Streptomyces ipomoeae* (Person et W. J. Martin) Waksman & Henrici) が比較的安定して発生する現地検定圃場を設定し、挿苗約60日後に掘り取り、茎及び塊根の病斑発生程度、細根の根腐れ程度、地上部の生育程度を調査し、総合的に判定。
- 4) 感受性品種やホウセンカの栽培によりサツマイモネコブセンチュウ (*Meloidogyne incognita* Kofoid et White) の生息密度を高めた検定圃場に植え付け、約80日後に掘り取って、フロキシシンBに染色された細根上の根瘤(ゴール)の数及び密度により判定。
- 5) 毎年サツマイモネコブセンチュウ害が多発する現地検定圃場(千葉県香取市)において、挿苗後約80日目のゴールの発生程度、塊根の裂開程度などにより判定。

病程度及び塊根の病斑発生程度による判定から、やや強である（表10）。長崎県農林技術開発センターでの黒斑病抵抗性検定試験ではやや強～強の抵抗性である（表11）。これらを総合した黒斑病抵抗性はやや強である。なお、「タマユタカ」の抵抗性は強である。

サツマイモつる割病抵抗性は、苗の切り口をつる割れ病菌 (*Fusarium oxysporum* Schlecht. f. sp. *batastatis* (Wollenw.) Snyd. et Hans.) の懸濁液に浸漬して植え付け、約40日後に掘り取り、茎の罹病程度による判定から、やや強である（表10）。なお、「タマユタカ」の抵抗性はやや強である。

サツマイモ立枯病抵抗性は、本病菌 (*Streptomyces ipomoeae* (Person et W. J. Martin) Waksman & Henrici) が比較的安定して発生する現地検定圃場を設定し、発病促進を図るために消石灰施用と透明マルチ被覆を行った。挿苗約60日後に掘り取り、茎及び塊根の病斑発生程度、細根の根腐れ程度、地上部の生育程度を調

査し、総合的に判定した抵抗性は、弱である（表10）。なお、「タマユタカ」の抵抗性はやや弱である。

サツマイモネコブセンチュウ (*Meloidogyne incognita* Kofoid et White) 抵抗性は、「関東14号」など感受性品種やハウセンカの栽培により生息密度を高めた検定圃場に植え付け、約80日後に掘り取って、フロキシシンBに染色された細根上の根瘤（ゴール）の数及び密度による判定では、強である。一方、毎年サツマイモネコブセンチュウ害が多発する現地検定圃場（千葉県香取市）において、挿苗後約80日目のゴールの発生程度、塊根の裂開程度などによる判定では、やや強である（表10）。静岡県農林技術研究所海岸砂地分場において実施されたサツマイモネコブセンチュウ抵抗性検定試験では、抵抗性はやや強～強である（表12）。これらを総合して判定した抵抗性は、やや強～強である。なお、「タマユタカ」の抵抗性は中～やや強である。

表11 長崎県総合農林試験場における黒斑病抵抗性検定成績（2007年～2008年）

試験年度	品種・系統名	つる		いもの 発病率(圃場) (%)	接種いもの 病斑面積 (mm ²)	圃場 試験 判定	総合 判定
		発病度 (%)	治癒株率 (%)				
2007	ほしこがね	23	53	1.6	168	強	やや強
	黒斑1号(強)	24	19	8.2	65	やや強	やや強
	農林1号(強)	33	12	2.0	105	強	やや強
	沖縄100号(中)	26	14	2.2	163	強	やや強
	農林2号(中)	31	5	2.6	128	やや弱	やや弱
	高系14号(弱)	32	3	0.8	130	中	中
	コガネガシ(弱)	37	11	6.8	223	中	やや弱
2008	ほしこがね	27	3	0.0	83	やや強	強
	黒斑1号(強)	32	2	8.3	50	中	やや強
	農林1号(強)	32	0	1.9	53	やや強	強
	沖縄100号(中)	34	1	6.4	114	中	中
	農林2号(中)	34	4	6.0	197	中	中
	高系14号(弱)	28	0	17.4	247	弱	弱
	コガネガシ(弱)	36	0	31.8	362	弱	弱

判定基準：

階級	つるの 発病度		つるの 治癒株率(%)		いもの 発病率(圃場)(%)		接種いもの 病斑面積(mm ²)	
	2007	2008	2007	2008	2007	2008	2007	2008
	強	0～30	0～30	11～100	11～100	0～2.5	0～5.0	0～100
中	31～40	31～40	6～10	6～10	2.6～4.0	5.1～10.0	101～200	101～200
弱	41～100	41～100	0～5	0～5	4.1～	10.1～	201～	201～

抵抗性は、弱、やや弱、中、やや強、強の5段階で判定。

表12 静岡県農業試験場海岸砂地分場におけるサツマイモネコブセンチュウ抵抗性検定成績 (2007年～2008年)

試験 年度	品種・系統名	評価点			判定
		根	塊根	平均	
2007	ほしこがね	1.0	1.0	1.0	強
	関東14号(弱)	3.1	2.1	2.6	中
	農林5号(強)	1.1	1.0	1.0	強
	シロサツマ (中)	1.3	1.1	1.2	強
2008	ほしこがね	2.2	2.2	2.2	やや強
	関東14号(弱)	5.0	3.7	4.3	やや弱
	農林5号(強)	2.2	2.6	2.4	やや強
	シロサツマ (中)	3.7	2.7	3.2	中

判定基準：評価点の平均について、以下の基準により判定。

強：0.0～1.4、やや強：1.5～2.4、中：2.5～3.4、やや弱：3.5～4.4、弱：4.5～5.0。

6 貯蔵性

冬期間無加温の収納舎に放置したときの、60日後および90日後の腐敗程度から判定した「ほしこがね」の貯蔵性は難であり、「タマユタカ」(中)より劣る(表13)。貯蔵後60日での腐敗率

(5年間の平均)は、「ほしこがね」が36.8%、「タマユタカ」が11.0%であり、貯蔵後90日では「ほしこがね」が88.7%、「タマユタカ」が25.7%である。なお、同様の試験を種いも貯蔵庫において実施した場合には「ほしこがね」の腐敗は見られなかった。

表13 貯蔵性検定試験成績 (2007～2011年)

特 性 名	試験 年度	品 種 名		
		ほしこがね	タマユタカ	泉13号
いもの 腐敗率 (%) 90日後	2007	94.7	25.0	50.0
	2008	100.0	46.7	46.7
	2009	85.7	0.0	0.0
	2010	83.3	16.7	16.7
	2011	80.0	40.0	26.7
	平均		88.7	25.7
貯蔵性	2007	難	中	中
	2008	難	中	中
	2009	難	易	易
	2010	難	やや易	やや易
	2011	やや難	中	中
	平均		難	中

冬期間無加温の屋内に放置したときの、60日後および90日後(2006年は120日後も実施)の腐敗程度から判定。
判定基準：いもの腐敗率について、以下の基準で判定。易：0～9.9%、やや易：10～19.9%、中：20～49.9%、
やや難：50～79.9%、難：80～100%。

IV 収量性及び関連特性

1 育成地における成績

無マルチ標準栽培における「ほしこがね」の上いも重（1個重が50g以上のいもの収量）は、「タマユタカ」比90%と比較的優れており、「泉13号」（同40%）より大幅に多い（表14）。株当たり上いも個数は2.8で「タマユタカ」（2.3）よりやや多い。上いも1個重は274gで、「タマユタカ」（349g）よりやや軽い。切干歩合は30.9%で「タマユタカ」と同程度である。でん粉含有率は20.7%で「タマユタカ」と同程度である。

マルチ標準栽培における上いも重は、「タマユタカ」比90%と比較的優れており、「泉13号」（同38%）より大幅に多い（表15）。株当たり上いも個数は3.3で、「タマユタカ」と同等である。上いも1個重は295gで、「タマユタカ」（355g）よりやや軽い。切干歩合は31.7%で「タマユタカ」と同程度である。でん粉含有率は20.6%で、「タマユタカ」と同程度である。多肥栽培（標準栽培の施肥量比で、N:8.3倍、P₂O₅:2.1倍、K₂O:2.5倍）では、「ほしこがね」は上いも重が減少するが、「タマユタカ」比でみれば変わらない。すなわち、標準的な栽植密度では、大幅な多肥条件で栽培すると収量が減少するが、「タマユタカ」と比較すると大差はみられない。

2 配付先における成績

2007年に実施された各県での系統適応性検定試験等では表16に示す耕種概要で栽培され、上いも重の標準比は、標準品種が「タマユタカ」の場合では、茨城県で76%、埼玉県で83%と劣

るが、長崎県で102%で同等、愛媛県で220%、鹿児島県で195%と大幅に優った（表17）。標準品種が「泉13号」の場合では、静岡県で139%と優った。蒸切干の食味は中～上で、全体的に「タマユタカ」よりやや優れていた。

奨励品種等候補として試験を継続した茨城県では、2008年から2011年まで県農業総合センター農業研究所において表18に示す耕種概要で栽培され、「ほしこがね」の上いも重は「タマユタカ」比で88%であった（表19）。株当たり上いも個数は「タマユタカ」と同等であり、上いも1個重は「タマユタカ」並みまたはやや軽かった。蒸切干の食味は上であり、「タマユタカ」（やや上）より優った。ひたちなか市の現地試験では、2008年から2011年まで表18に示す耕種概要で栽培され、上いも重は「タマユタカ」比で125%で優った（表20）。株当たり上いも個数は「タマユタカ」より多く、上いも1個重は「タマユタカ」よりやや軽かった。蒸切干の食味はやや上であり、「タマユタカ」より優った。

石川県では2010年に砂丘地農業試験場において表18に示す耕種概要により栽培され、「ほしこがね」の上いも重は「タマユタカ」比で111%と多収を示したがA品率は低かった（表21）。静岡県では2008年から2009年にかけて表18に示す耕種概要により栽培され、「ほしこがね」は「泉13号」よりも多収を示し、食味は良好であった（表22）。鹿児島県では2008年に大隅支場において表18に示す耕種概要により栽培され、「ほしこがね」は「コガネセンガン」より早掘栽培でやや低収だったが、標準栽培では多収を示した（表23）。

表14 無マルチ栽培における収穫物調査成績 (2007~2011年)

特 性 名	試 験 年度	品 種 名		
		ほしこがね	タマユタカ	泉13号
つる重 (kg/a)	2007	541	535	582
	2008	723	482	485
	2009	353	260	242
	2010	204	220	201
	2011	252	258	229
	平均	415	351	348
上いも重 (kg/a)	2007	293	294	101
	2008	359	410	145
	2009	378	424	172
	2010	335	336	155
	2011	316	396	171
	平均	336	372	149
同上対標準比 (%)	2007	100	100	34
	2008	88	100	35
	2009	89	100	40
	2010	100	100	46
	2011	80	100	43
	平均	90	100	40
上いも1個重 (g)	2007	326	314	181
	2008	313	406	162
	2009	285	409	192
	2010	239	278	158
	2011	205	338	151
	平均	274	349	169
1株当り 上いも個数	2007	2.2	2.1	1.4
	2008	2.5	2.3	2.1
	2009	3.0	2.2	2.1
	2010	3.1	2.6	2.2
	2011	3.2	2.5	2.4
	平均	2.8	2.3	2.0
切干歩合 (%)	2007	30.9	30.5	35.4
	2008	31.3	30.8	34.5
	2009	30.8	30.2	35.4
	2010	30.7	32.0	37.1
	2011	30.9	31.1	36.2
	平均	30.9	30.9	35.7
でん粉歩留 (%)	2007	19.6	18.3	22.7
	2008	20.7	21.3	22.8
	2009	21.0	21.0	24.0
	2010	20.4	21.6	25.5
	2011	21.6	22.3	25.2
	平均	20.7	20.9	24.0

表15 マルチ栽培における収穫物調査成績（2007～2011年）

特 性 名	試験 年度	マルチ標準栽培			マルチ多肥栽培	
		ほしこがね	タマユタカ	泉13号	ほしこがね	タマユタカ
つる重 (kg/a)	2007	616	571	476	—	—
	2008	380	265	253	532	514
	2009	340	301	241	514	454
	2010	229	223	192	369	399
	2011	217	193	177	505	576
	平均	356	311	268	480	486
上いも重 (kg/a)	2007	363	356	91	—	—
	2008	458	521	162	280	280
	2009	407	493	217	293	423
	2010	330	346	141	346	309
	2011	344	399	187	205	226
	平均	380	423	180	281	310
同上対標準比 (%)	2007	102	100	26	—	—
	2008	88	100	31	100	100
	2009	83	100	44	69	100
	2010	95	100	41	112	100
	2011	86	100	47	91	100
	平均	90	100	38	91	100
上いも1個重 (g)	2007	327	310	149	—	—
	2008	363	468	160	393	494
	2009	306	437	198	227	337
	2010	237	273	131	274	392
	2011	243	289	142	225	360
	平均	295	355	156	280	396
1株当り 上いも個数	2007	2.9	2.9	1.6	—	—
	2008	3.2	2.9	2.8	1.9	1.6
	2009	3.5	3.0	3.0	3.3	3.1
	2010	3.6	3.2	2.8	3.2	2.0
	2011	3.5	3.5	3.5	2.3	1.6
	平均	3.3	3.1	2.7	2.7	2.1
切干歩合 (%)	2007	32.1	29.5	35.4	—	—
	2008	31.1	31.2	34.9	32.2	30.4
	2009	33.1	31.5	37.6	32.6	28.3
	2010	30.9	33.2	39.0	30.8	31.2
	2011	31.5	31.2	37.3	29.8	25.1
	平均	31.7	31.3	36.8	31.4	28.8
でん粉歩留 (%)	2007	19.8	18.4	22.7	—	—
	2008	21.4	22.1	24.1	—	—
	2009	20.4	19.9	24.6	—	—
	2010	20.0	22.6	26.4	—	—
	2011	21.6	20.7	25.3	—	—
	平均	20.6	20.7	24.6	—	—

表16 系統適応性検定試験等における耕種概要

県名・試験場所名等						
試験年度	栽培条件	栽植様式 (cm)	施肥量 (kg/a)	植付月日	収穫月日	
茨城県農業総合センター農業研究所						
2007	無マルチ	100×25	N:0.1, P ₂ O ₅ :1.2, K ₂ O:1.0	5月22日	10月10日	
埼玉県農林総合研究センター(園芸研究所)						
2007	無マルチ	110×40	N:0.1, P ₂ O ₅ :0.8, K ₂ O:1.3	5月14日	10月16日	
静岡県農林技術研究所(栽培技術部)						
2007	無マルチ	90×30	N:0.74, P ₂ O ₅ :1.66, K ₂ O:2.05 追肥N: -, P ₂ O ₅ :0.25, K ₂ O:0.25	6月12日	10月30日	
愛媛県農業試験場						
2007	黒マルチ	110×30	N:0.48, P ₂ O ₅ :1.6, K ₂ O:1.6	5月15日	9月18日	
長崎県総合農林試験場						
2007	無マルチ	80×30	N:0.6, P ₂ O ₅ :0.8, K ₂ O:1.4	5月15日	10月16日	
鹿児島県農業総合センター(大隅支場)						
2007	黒マルチ	80×35	N:0.4, P ₂ O ₅ :1.2, K ₂ O:1.2	5月24日	9月25日	

表17 系統適応性検定試験等における「ほしこがね」の試験成績一覧

県名・試験場所名等							
試験年度	栽培条件	上いも重 (kg/a)	対標準比 (%)	いもの 外観	蒸切干の 食味	判定	概評
茨城・農業総合センター農業研究所(標準品種:タムユタカ)							
2007	無マルチ	235	76	上	上	中	低収。甘味が強い。シタ微。
埼玉・農林総合研究センター園芸研究所(標準品種:タムユタカ)							
2007	無マルチ	289	83	やや下	やや上	中	裂開目立つ。形状・大小不整。
静岡・農業試験場海岸砂地分場(標準品種:泉13号)							
2007	無マルチ	421	139	中	—	優	紡錘形で揃い良好。多収。
愛媛・農業試験場(標準品種:タムユタカ)							
2007	黒マルチ	159	220	やや下	やや上*	中	多収。腐れやや多、外観やや劣。
長崎・総合農林試験場(標準品種:タムユタカ)							
2007	無マルチ	451	102	上	中*	優	外観優る。収量・食味は標準。
鹿児島・農業開発総合センター(標準品種:タムユタカ)							
2007	黒マルチ	207	195	やや上	やや上*	優	多収。いも数多く外観やや上。

*: 蒸しいもの食味。

表18 奨励品種決定調査・現地試験等における耕種概要

県名・試験場所名等					
試験年度	栽培条件	栽植様式 (cm)	施肥量 (kg/a)	植付月日	収穫月日
茨城県農業総合センター農業研究所					
2008	無マルチ	100×25	N:0.1, P ₂ O ₅ :1.2, K ₂ O:1.0	5月21日	10月9日
2009	無マルチ	100×25	N:0.1, P ₂ O ₅ :1.2, K ₂ O:1.0	5月19日	10月13日
2010	無マルチ	100×25	N:0.1, P ₂ O ₅ :1.2, K ₂ O:1.0	5月18日	10月6日
2011	無マルチ	100×25	N:0.1, P ₂ O ₅ :1.2, K ₂ O:1.0	5月19日	10月11日
茨城県現地試験（ひたちなか市）					
2008	無マルチ	120×25	N:0.21, P ₂ O ₅ :1.05, K ₂ O:0.35	5月23日	10月10日
2009	無マルチ	120×25	N:0.06, P ₂ O ₅ :0.72, K ₂ O:0.6	5月25日	10月19日
2010	無マルチ	125×25	N:0.21, P ₂ O ₅ :1.05, K ₂ O:0.35	5月27日	10月15日
2011	無マルチ	100×25	N:0.21, P ₂ O ₅ :1.05, K ₂ O:0.35	5月26日	10月14日
石川県農業総合研究センター（砂丘地農業試験場）					
2010	無マルチ	80×40	N:1.0, P ₂ O ₅ :2.0, K ₂ O:2.4	5月27日	10月29日
静岡県農林技術研究所（栽培技術部）					
2008	標準無マルチ	110×30	N:1.08, P ₂ O ₅ :3.33, K ₂ O:1.43	6月16日	10月30日
2009	晩植無マルチ	110×30	N:1.08, P ₂ O ₅ :3.33, K ₂ O:1.43	—	10月27日
鹿児島県農業開発総合センター（大隅支場）					
2008	早掘黒マルチ	80×35	N:0.4, P ₂ O ₅ :1.2, K ₂ O:1.2	4月25日	8月22日
2008	標準黒マルチ	80×35	N:0.4, P ₂ O ₅ :1.2, K ₂ O:1.2	6月4日	11月4日

表19 茨城県農業総合センター農業研究所における特性調査成績

特 性 名	試 験 年 度	品 種 名	
		ほしこがね	タムユタカ
いもの皮色		赤紫～濃赤紫	黄白(両端帯紅)
肉色		黄	淡黄白
形状		紡錘形	短紡錘形
大小		やや大	やや大
条溝		無～微	微
裂開		微	微
外観		やや上	やや上
蒸切干の肉色		黄	灰白
肉質		粘	やや粘
繊維の多少		少	やや少
シロタ		微	やや少
食味		上	やや上
つる重 (kg/a)	2008	274	214
	2009	504	396
	2010	454	546
	2011	577	512
	平均	452	417
上いも重* (kg/a)	2008	274	320
	2009	359	402
	2010	292	313
	2011	258	317
	平均	296	338
同上対標準比 (%)	2008	86	100
	2009	89	100
	2010	94	100
	2011	81	100
	平均	88	100
切干歩合 (%)	2008	31.1	32.2
	2009	34.9	32.7
	2010	32.0	31.3
	2011	35.0	31.0
	平均	33.3	31.8
1株当たり 上いも個数	2008	3.2	2.9
	2009	5.0	4.2
	2010	2.9	4.0
	2011	3.0	3.8
	平均	3.5	3.7
上いも1個重 (g)	2008	216	276
	2009	182	240
	2010	256	194
	2011	219	210
	平均	218	230
判定・概評	2008	中	塊根の外観が優れる。蒸切干の食味良好であるが中央部分に黒変発生。
	2009	中	裂開あり。甘味があり食味良好。
	2010	優	タムユタカよりやや低収。蒸切干は甘味が強く食味良好。
	2011	優	タムユタカよりやや低収。蒸切干は甘味が強く食味良好。

いもの皮色～蒸切干の食味は4年間の平均。

*: 「ほしこがね」と「タムユタカ」の平均値はt検定で有意差無し。

表20 茨城県現地試験（ひたちなか市）における特性調査成績

特 性 名	試 験 年 度	品 種 名	
		ほしこがね	タマユタカ
いもの皮色 肉色 形状 大小 条溝 裂開 外観 蒸切干の肉色 肉質の多少 繊維の多少 食味		赤紫 黄 短紡錘形 大 無～微 少 中 黄 やや粘 少 やや上	黄白(両端帯紅) 淡黄白 短紡錘形 大 微 やや少 中 灰白 やや粘 やや少 中
つる重 (kg/a)	2008	402	335
	2009	259	341
	2010	350	479
	2011	526	622
	平均	384	444
上いも重 (kg/a)	2008	356	354
	2009	383	350
	2010	313	194
	2011	371	241
	平均	356	285
同上対標準比 (%)	2008	101	100
	2009	109	100
	2010	161	100
	2011	154	100
	平均	125	100
切干歩合 (%)	2008	32.3	31.1
	2009	30.3	32.1
	2010	29.5	28.9
	2011	32.0	29.0
	平均	31.0	30.3
1株当たり 上いも個数	2008	2.7	2.9
	2009	3.8	2.7
	2010	3.0	1.9
	2011	2.9	1.6
	平均	3.1	2.3
上いも1個重 (g)	2008	401	464
	2009	300	403
	2010	333	324
	2011	386	465
	平均	355	414
判定・概評	2008	中	上いも重はタマユタカよりやや多収。 上いも重はタマユタカを大きく上回る。
	2009	中	
	2010	優	
	2011	優	

いもの皮色～蒸切干の食味は4年間の平均。

表21 石川県農業総合研究センター（砂丘地農業試験場）における特性調査成績

特 性 名	品 種 名		
	ほしこがね	兼六	タムユタカ
いもの皮色	紫	紫赤	黄紅
肉色	黄	橙	黄白
形状	長紡錘形	長紡錘形	短紡錘形
大小	やや大	やや少	やや大
条溝	無	少	無
裂開	無	無	無
外観	中	中	やや下
蒸切干の肉色	黄	橙	淡黄
肉質	やや粉	粘	粉
繊維の多少	中	中	中
糖度	6.6	6.3	5.7
上いも重 (kg/a)	211	191	255
同上対標準比 (%)	111	100	133
A品率 (%)	19	32	57
上いも1個重 (g)	144	111	186
1株当たり上いも個数	4.7	5.5	4.4
判定・概評	劣	上いも1個重は高くやや多収。先細り形状が多い。	

試験年度は2010年度。

表22 静岡県農林技術研究所（栽培技術部）における特性調査成績
標準栽培（2008年度）

特 性 名	品 種 名		
	ほしこがね	泉13号	
いもの皮色	赤紫	白	
肉色	淡黄白	淡黄白	
形状	紡錘形～長紡錘形	短紡錘形～紡錘形	
大小	やや大	中	
条溝	微	少	
裂開	少	微	
外観	中～やや上	中	
蒸切干の肉色	飴色（明黄）	飴色（黄白）	
肉質	軟	やや軟	
繊維の多少	中	中	
食味	上	やや上	
つる重（kg/a）	292	226	
上いも重（kg/a）	329	204	
同上対標準比（%）	161	100	
A品率（%）	85	76	
上いも1個重（g）	218	184	
1株当たり上いも個数	5.5	4.0	
切干歩合（%）	32.4	36.3	
判定・概評	優	多収。蒸切干は甘味が強く食味評価が高い。シロタ（中白）微量にあり。	

晩植栽培（2009年度）

特 性 名	品 種 名		
	ほしこがね	泉13号	
いもの皮色	赤紫	白	
肉色	淡黄	淡黄	
形状	短紡錘形～紡錘形	長紡錘形～紡錘形	
大小	大	中	
条溝	無	無	
裂開	無	無	
外観	やや上	中	
蒸切干の肉色	黄	淡黄	
肉質	粘	粘	
繊維の多少	中	中	
食味	上	上	
上いも重（kg/a）	310	269	
同上対標準比（%）	115	100	
A品率（%）	97	90	
上いも1個重（g）	187	124	
株当たり上いも個数	5.5	7.1	
判定・概評	劣	年次変動が少なく安定した収量。甘味が強く食味評価が高い。	

表23 鹿児島県農業開発総合センター（大隅支場）における特性調査成績

早堀栽培（2008年度）

特 性 名	品 種 名	
	ほしこがね	コガネセンガン
いもの皮色	紫紅	淡黄白
肉色	黄	淡黄白
形状	短紡錘形	下膨紡錘形
大小	中	中
条溝	微	深
裂開	無	無
外観	やや上	中
糖度	11.8	10.4
つる重 (kg/a)	304	189
上いも重 (kg/a)	174	198
同上対標準比 (%)	88	100
上いも重歩合 (%)	95	95
上いも1個重 (g)	181	147
株当たり上いも個数	2.7	3.8
切干歩合 (%)	35.7	37.7
でん粉歩留 (%)	21.4	23.2
判定・概評	劣	コガネセンガンよりやや低収。上いも重歩合は同程度。切干歩合、でん粉歩留はやや低い。上いも1個重は重く、上いも個数はやや少ない

標準栽培（2008年度）

特 性 名	品 種 名	
	ほしこがね	コガネセンガン
いもの皮色	赤紫	黄白
肉色	黄白	黄白
形状	短紡錘形～丸	下膨紡錘形
大小	大	中
条溝	浅	やや深
裂開	微	無
外観	やや上	中
糖度	12.9	11.2
つる重 (kg/a)	174	201
上いも重 (kg/a)	328	280
同上対標準比 (%)	117	100
上いも重歩合 (%)	98	95
上いも1個重 (g)	260	166
株当たり上いも個数	3.6	4.7
切干歩合 (%)	33.0	37.3
でん粉歩留 (%)	21.9	23.1
判定・概評	中	コガネセンガンより多収。上いも重歩合は高い。切干歩合、でん粉歩留はやや低い。上いも重は重く、上いも個数はやや少ない。

V 低温貯蔵に伴う糖度の変化

産地では、蒸切干加工の前に生いもを低温貯蔵し、塊根内のでん粉の糖化を進めてから加工が実施される。そこで、2012年および2013年に収穫された塊根を用い、「ほしこがね」と「タマユタカ」における糖化特性の差を調査した。塊根は10月中旬に収穫後、塊根貯蔵庫にて貯蔵し、11月中旬に低温貯蔵試験を開始した。低温処理温度は8℃とし、処理期間は2週間（塊根貯蔵庫で2週間貯蔵後に開始）および4週間とした。比較として、塊根貯蔵庫（調査期間の平均温度は約18℃）で同時期に貯蔵した生いもを

調査した。いずれの品種も低温処理により生いも糖度が大幅に上昇したが、「ほしこがね」は「タマユタカ」より全期間で糖度が高く、2週間の低温処理でも14 Brix%を超え、4週間の処理では16 Brix%近くになった（図2）。「タマユタカ」は4週間の低温処理により糖度が上昇したが、「ほしこがね」には及ばなかった。このように、「ほしこがね」の生いも糖度は「タマユタカ」より早い時期から高くなることが明らかとなり、年内等の早期加工に適することが示された。

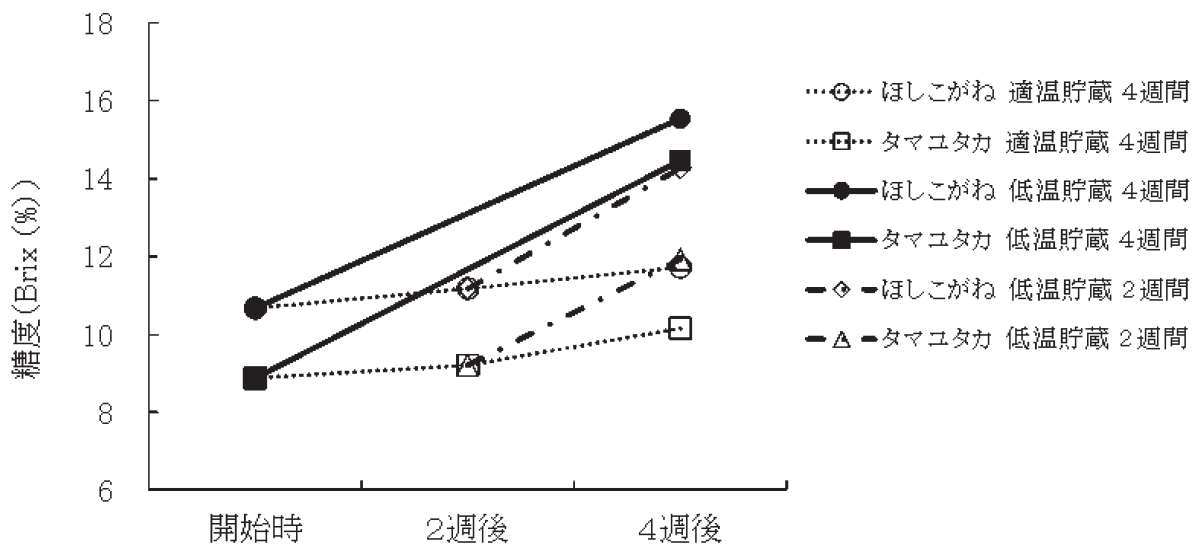


図2 低温貯蔵に伴う生いもの糖度の変化

低温貯蔵はプレハブ低温庫（約8℃）、適温貯蔵はいも貯蔵庫（約18℃）にて貯蔵。低温貯蔵2週間区は、塊根貯蔵庫で2週間貯蔵後に低温貯蔵開始。

VI 考 察

長年にわたって蒸切干加工用の基幹品種となってきた「タマユタカ」であるが、近年のような生育期後半における高温乾燥気象条件に遭遇すると「シロタ」が発生しやすいことが大きな問題点であり（藏之内ら 2010）、「ほしこがね」

はこの点を改良したことが大きなメリットと言えよう。育成地の他、配付先での試験結果でも、シロタの発生は「タマユタカ」に比較して大幅に低く、無～微発生にとどまっており、ほぼ問題となることはないと考えられる。また、「タ

「マユタカ」は蒸切干加工時に黒変しやすいため製品の外観が劣化し、消費者の購買意欲を低下させる欠点も生産関係者から指摘されているが、「ほしこがね」ではこの点も大幅に改良されている。

「ほしこがね」は、生いも貯蔵時に「タマユタカ」より早い時期に糖度が高まり、歳暮等で需要の高い年内加工に向くことも特長となる。しかし、貯蔵性が難であるため、生いもの低温貯蔵期間が長引いたり、過度の低温に遭遇すると低温障害等により黒変や腐敗を発生しやすいので注意が必要である。蒸切干生産地では、生いもを袋に入れたまま庭先で保管してから加工する事例も見られ、気象条件によっては過度の低温遭遇が懸念されるため、「ほしこがね」はこのような保管には適さないので注意が必要であろう。なお、「ほしこがね」を10℃一定で貯蔵後に蒸切干加工した場合には、40日間の貯蔵でも黒変が発生せず糖化を促進できることが確認されている（茨城県農業総合センター園芸研究所・農業研究所 2014）。一方、「ほしこがね」を塊根貯蔵庫にて種いも用として保存した場合には腐敗等の増加は認められないので、種いも貯蔵については支障はないものと考えられる。

サツマイモでは貯蔵中の低温遭遇による糖化でスクロース含有率が高まることが知られており（吉永ら 1999、増田ら 2007）、「ほしこがね」の蒸いもが「タマユタカ」より高いスクロース含有率を示したことに繋がると考えられる。マルトースに対してスクロースの甘味度への影

響力を3倍程度とすることで、官能評価の結果が説明できることが確認されており（高畑ら 1993）、より甘味度影響力のあるスクロース含有率が高まることによる食味向上への貢献も期待できる。

また、 β -アミラーゼは加熱により糊化したでん粉に作用してマルトースを生成するが、その活性が高いことは蒸煮中の糖度上昇につながり、蒸しいもの糖度ひいては蒸切干の糖度を高めることにつながる。実際に、「ほしこがね」は「タマユタカ」よりも β -アミラーゼ活性が高く（表9）、蒸しいもの糖度（表7、表9）と蒸切干の糖度（表6）がともに高い。さらに、「ほしこがね」の糊化開始温度は「タマユタカ」より3℃程度低いが、より低い温度で β -アミラーゼによる糖化が始まることで糖度上昇にも貢献していると考えられる。このように、「ほしこがね」は糖度の高くなりやすい特性を有し、食味の上で優点を持つとともに、糖化がスムーズに進むことでシロタの発生しにくい特性にもつながっていると推察される。

今回育成した「ほしこがね」は収量性が比較的優れることから、基幹品種の「タマユタカ」の一部に置き換わることが期待されており、普及が見込まれている。なお、当所が2009年に育成した「ほしキラリ」は、塊根収量が低いが良い食味で蒸切干品質が優れており、産地からは高級蒸切干用として期待できるとの評価を受け、「泉13号」に置き換わることが想定されている。

VII 適地及び栽培上の留意点

全国のサツマイモ栽培地帯に適するが、当面は茨城県での作付けが見込まれている。

栽培にあたっては、以下の点に注意することが必要である。

1. 立枯病抵抗性が弱であるので、同病害の発生圃場では土壤消毒等の防除に努める。
2. 貯蔵中の塊根でん粉の糖化は早い傾向にあるので、年内出荷等の早めの加工に適する。

VIII 命名の由来

「ほしこがね」は、蒸切干（干しいも）用で、蒸切干の外観が黄金色を帯びるとともに、収量が比較的良好なことから生産者の収益増に貢献することを願って命名された。

IX 育成従事者

実生個体選抜時以降、表24に示す7名が従事した。

表24 育成従事者氏名

年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
試験名	実生個体	系統選抜	生産力検定	生産力	同左	同左	同左	同左
氏名	選抜試験	試験	予備試験	検定試験				
片山健二								_____
中村善行			_____	_____	_____	_____	_____	_____
藏之内利和	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
高田明子			_____	_____	_____	_____	_____	_____
藤田敏郎							_____	_____
熊谷 亨	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
中谷 誠	_____							

X 謝 辞

本品種の交配は、九州沖縄農業研究センターサツマイモ育種研究チーム（都城研究拠点）の協力のもと、同センター業務第3科（都城研究拠点）において行われた。また、系統適応性検定試験、特性検定試験及び奨励品種決定調査の実施については関係各県の農業試験場等のご協力をいただいた。特に、茨城県農業総合センター農業研究所ならびに水戸地域農業改良普及センターには格段のご協力をいただいた。さらに現

地試験等では干しいも対策協議会、ひたちなか市ならびに現地農家のご協力をいただいた。育成関係試験の実施に際し、中央農業総合研究センター業務第3科（谷和原畑圃場）の科員および契約職員の各位にご協力をいただいた。データ取りまとめに際しては、担当の契約職員の各位にご協力をいただいた。以上の皆様に対し、厚く御礼を申し上げます。

引用文献

- 茨城県農業総合センター園芸研究所・農業研究所 (2014) 干しいも (原料いも) の品種別糖化特性および加工時の変色程度, 茨城県園芸研究所研究成果 (平成25年度).
- 泉澤直 (1989) 茨城の干いも・過去・現在・未来. いも類振興情報, 18, 20-25.
- 泉澤直 (1991) 茨城県の干いもー現状を中心にー. いも類振興情報, 27, 13-17.
- 狩谷昭男 (2013) 干しいもの需給現状と課題. いも類振興情報, 117, 2-8.
- 片山健二・田宮誠司・蔵之内利和・小巻克巳・中谷誠 (2003) サツマイモ新品種「クイックスイート」. 作物研報, 3, 35-52.
- 蔵之内利和・中村善行・高田明子・田宮誠司・中谷誠・熊谷亨 (2010) サツマイモ蒸切干加工用品種の収量・品質関連形質に及ぼすマルチ被覆および気象の影響. 日作紀, 79(4), 491-498.
- 蔵之内利和・中村善行・高田明子・田宮誠司・中谷誠・熊谷亨 (2012) 高品質蒸切干加工用サツマイモ品種「ほしキラリ」の育成. 作物研報, 13, 1-22.
- 増田大祐・福岡信之・後藤秀幸・加納恭卓 (2007) 収穫後のサツマイモへの低温処理が糖含量ならびに貯蔵性に及ぼす影響. 園学研, 6(4), 597-601.
- 中村善行・蔵之内利和・石田信昭・熊谷亨・中谷誠 (2007) サツマイモ蒸切干の中白障害「シロタ」発生に関わる塊根のでん粉および水分の含量. 日作紀, 76(4), 576-585.
- 農林水産技術情報協会 (1981) かんしょ種苗特性分類調査報告書. 1-49.
- 小野田正利・福田俊夫・大田陽一郎・知識敬道・豊田芳松・鈴木惣一・石川博美・竹股知久 (1970) 甘しょ新品種「クリマサリ, タマユタカ, コナセンガン」について. 農事試研報, 14, 167-194.
- 高畑康浩・野田高弘・永田忠博 (1993) カンショ塊根遊離糖類組成の地域間比較及び遊離糖類組成と食味との関連. 九州農研報, 55, 43.
- 吉永優・山川理・中谷誠 (1999) 収穫後の低温処理による食用カンショの品質向上. 九州農研報, 61, 19.

Genetic Studies of Photoperiod Response Genes and Their Effect on Heading Time in Japanese Wheat Cultivars

Masako SEKI*

Abstract

Wheat (*Triticum aestivum* L.) should be harvested before the rainy season in Japan. Therefore, early heading is one of the most important traits in wheat breeding. However, shorter growth periods generally result in lower grain yields, and early-heading wheat cultivars with early apical development and stem elongation are prone to frost injury. Heading time of wheat is a complex characteristic determined by three factors: narrow-sense earliness (also termed earliness *per se*), vernalization response, and photoperiod response. For fine tuning of heading time in wheat breeding, genetic factors controlling these characteristics should be combined properly.

In this study, genotypes of the photoperiod response genes, *Ppd-A1*, *Ppd-B1* and *Ppd-D1*, in 240 Japanese cultivars were determined using PCR-based methods, and the effect of *Ppd-1* genotype on heading time was discussed. In addition, the introduction of photoperiod-insensitive alleles into Japanese cultivars was discussed.

The distribution of photoperiod-insensitive alleles differed among *Ppd-1* genes, as well as among geographic areas. Most Tohoku-Kyushu cultivars (97.5%) carried *Ppd-D1a*, and 10 cultivars, including three commercial extra-early cultivars, carried both *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a*, while no cultivars carried *Ppd-A1a*. Among Hokkaido winter wheat cultivars, 41.4% and 24.1% carried *Ppd-A1a* and *Ppd-D1a*, respectively, and none of the cultivars carried *Ppd-B1a*. In contrast, in Hokkaido spring wheat cultivars, only one experimental line carried *Ppd-D1a*, and the other cultivars did not carry photoperiod-insensitive alleles.

The effect of *Ppd-1* alleles on heading time also differed among areas. In the Tohoku-Kyushu region, wheat cultivars carrying the photoperiod-insensitive allele *Ppd-D1a* headed earlier by 10.3 days than did photoperiod-sensitive cultivars, and *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype headed earlier by 6.7 days than did *Ppd-B1b/Ppd-D1a* genotype. In the Hokkaido region, photoperiod-insensitive cultivars with *Ppd-A1a* or *Ppd-D1a* headed earlier by 2.5 days than did photoperiod-sensitive cultivars with no photoperiod-insensitive alleles, although the effect of these alleles was less than that in the Kanto region. The geographical difference of distribution and the effect of photoperiod-insensitive alleles in this study may result from the difference of day-length of the wheat apical spike formation stage.

Pedigree analysis of extra-early wheat cultivars showed that *Ppd-B1a* in three extra-early commercial cultivars was inherited from 'Shiroboro 21' by early-heading

Chugoku lines, bred at the Chugoku Agriculture Experimental Station. In Japan, except in Hokkaido, the rainy season starts before the wheat harvest; thus, early cultivars with *Ppd-D1a* have been selected to avoid damages such as preharvest sprouting and Fusarium head blight. Furthermore, it is suggested that the introduction of the *Ppd-B1a* accelerated early-maturity wheat breeding in Japan. Three cultivars with *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype are successfully established only in the Chugoku or Kyushu region. It was considered that such cultivars often suffered from late frost because of early stem elongation in eastern Japan, like the Kanto region, where the daily minimum temperature was below freezing in the winter. Besides, heading time of extra-early cultivars is variable depending on winter temperature, and causes instability of grain yield. However, heading time of extra-early cultivars can be stabilized by the introduction of adequate vernalization requirements.

Pedigree analysis of Hokkaido winter wheat cultivars showed that 'Purple Straw' and 'Tohoku 118' were one of the donor(s) of *Ppd-A1a* and *Ppd-D1a* in Hokkaido wheat cultivars, respectively. Wheat cultivars recently developed in Hokkaido carry photoperiod-insensitive alleles at a high frequency. For efficient utilization of *Ppd-1* alleles in the Hokkaido wheat-breeding program, the effect of *Ppd-1* on growth pattern and grain yield should be investigated.

The results in this study clearly indicated that heading time varied largely even among the Japanese spring type cultivars except those in the Hokkaido region, in spite of having the same set of photoperiod response and vernalization response genes. It was suggested that their heading time is affected by other photoperiod response genetic factor(s) and other photoperiod insensitive allele(s) of *Ppd-1*. In addition, variation in heading time could be partly explained by narrow-sense earliness, since it is also important for the control of heading time in Japanese wheat cultivars. Further advancement of molecular genetics of narrow-sense earliness should be expected, and would make it possible to discuss the significance of this characteristic in Japanese wheat breeding.

Key Words: wheat, photoperiod response gene, *Ppd-1*, *Ppd-A1*, *Ppd-B1*, *Ppd-D1*, heading time, Japanese wheat cultivars

Accepted on December 1, 2014

* NARO Agricultural Research Center

日本コムギ品種における日長反応性遺伝子と その出穂期への効果に関する遺伝学的研究

関 昌子*

抄 録

日本のコムギ作では、収穫期の雨害回避のために早生品種が求められる。しかし、早生品種は、生育期間が短いこと、茎立期が早く凍霜害に遭いやすいことなどにより、収量が低下しやすい。コムギの出穂早晩性は、日長反応性、低温要求性、純粋早晩性の複合形質であり、これらの形質を遺伝的にコントロールし組み合わせることで、生育や収量が安定したコムギ品種の育成が可能となると考えられる。

本研究では、日本品種240品種におけるコムギ日長反応性遺伝子*Ppd-A1*、*Ppd-B1*、*Ppd-D1*の遺伝子型をPCR法により判別するとともに、各*Ppd-1*遺伝子が出穂期への効果について検討した。さらに、日本のコムギ育種における各*Ppd-1*遺伝子の導入経緯および意義について議論した。

各*Ppd-1*の不感光性遺伝子の分布地域には差がみられた。東北-九州地域品種の97.5%が不感光性遺伝子*Ppd-D1a*を保有し、極早生コムギ品種を含む10品種が不感光性遺伝子*Ppd-B1a*と*Ppd-D1a*を併せ持ち、不感光性遺伝子*Ppd-A1a*を保有する品種はなかった。北海道の秋播コムギ品種では、*Ppd-A1a*、*Ppd-D1a*を保有する品種がそれぞれ41.4%、24.1%あり、*Ppd-B1a*を保有する品種はなかった。北海道の春播コムギ品種では、実験系統1系統を除いて、不感光性遺伝子を保有する品種はなかった。

*Ppd-1*の出穂期への効果については、東北-九州地域の品種では、*Ppd-D1a*が感光性型の*Ppd-D1b*に対して明確に早生化効果を示し、*Ppd-B1a*を併せて保有することで、さらなる早生化効果が示された。北海道では*Ppd-A1a*もしくは*Ppd-D1a*の保有により早生化効果がみられたが、関東地域での効果より小さかった。これは、北海道では幼穂形成期の日長が関東地域よりも長いことによると考えられた。

実用的な極早生コムギ3品種の*Ppd-B1a*は、白ボロ21号から早生の中国系統（中国農業試験場育成）を経て遺伝したことが示された。東北-九州品種では雨害回避のため、より早生となる*Ppd-D1a*を有する早生品種が選抜され、*Ppd-B1a*の導入によりさらに極早生品種が育成されたことが確認された。*Ppd-B1a/Ppd-D1a*型の実用品種は、中国地域と九州地域でのみ育成されてきた。冬期の最低気温が氷点下となる関東地域では、*Ppd-B1a*の導入は凍霜害の危険を高める恐れがあったため*Ppd-B1a/Ppd-D1a*型の実用品種が育成されてこなかったと推察されるが、適度な低温要求性を組み合わせることで、その懸念は回避されると考えられる。

北海道品種への*Ppd-A1a*および*Ppd-D1a*それぞれの供与親のひとつはPurple Strawおよび東北118号であることが確認された。近年、北海道で育成されたコムギ品種の多くが不感光性遺伝子を保有している。北海道のコムギ育種における*Ppd-1*の有用性について明らか

にするためには、*Ppd-1*の生育特性、収量特性への効果を調査する必要がある。

東北-九州品種では、同じ低温要求性遺伝子と日長反応性遺伝子を持つ品種間でも、出穂期に変異がある。日本品種の中に、*Ppd-1*の別の対立遺伝子や、*Ppd-1*とは異なる日長反応性遺伝子が存在する可能性がある。また、これまでに、日本でのコムギの早生化に純粋早晩性が重要な役割を果たしたことが示されている。今後、これらの遺伝子についても、日本のコムギ育種における意義について議論が可能となるよう、分子生物学的研究の発展が期待される。なお、本論文は岡山大学大学院自然科学研究科審査学位論文を加筆修正したものである。

キーワード：コムギ、日長反応性遺伝子、*Ppd-1*、*Ppd-A1*、*Ppd-B1*、*Ppd-D1*、出穂期、日本コムギ品種

平成26年 8 月 8 日受付 平成26年12月 1 日受理

* 現 (独)農研機構中央農業総合研究センター

I Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important crops in the world, its production was 662 million tons in the year 2012. However, like other crops, wheat production is affected by the recent global climate change and has become unstable because of frequent drought in various areas around the world. Furthermore, the rapid growth of world population will lead to severe food shortage, and, thus, stable production of wheat is required in Japan as well as in the world. In such circumstances, the Japanese government is making efforts to increase food self-sufficiency and sets the target of increasing wheat production from 880 thousand tons in 2008 to 1.8 million tons in 2020.

In Japan, wheat should be harvested before the rainy season to avoid damage such as preharvest sprouting and *Fusarium* head blight, and before transplanting of rice for double cropping of wheat and rice. Therefore, early heading is one of the most important traits in wheat breeding. Since the 1970's, early heading cultivars such as 'Sakigakekomugi' (Yoshida *et al.* 1973), 'Gogatsukomugi' (Yoshida *et al.* 1975), 'Shiroganekomugi' (Yoshida *et al.* 1977), 'Asakazekomugi' (Nonaka *et al.* 1979) and 'Abukumawase' (Ujihara *et al.* 1994) have been bred in the Kyushu region, while 'Fukuwasekomugi' (Sumida *et al.* 1988) and 'Bandowase' (Seko *et al.* 1997) were bred in Chugoku and Kanto regions, respectively. However, shorter growth periods generally result in lower grain yields, and early-heading wheat cultivars with early apical development and stem elongation are prone to frost injury (Eguchi *et al.* 1984, Hukumoto and Takahashi 1950, Taya 1993). Taya (1993) proposed the scheme for the breeding of early maturing wheat varieties with higher grain yield. Following his scheme, early cultivars with high yield like 'Nishikazekomugi' (Nonaka *et al.* 1987), 'Daichinominori' (Ujihara *et al.* 1991) and 'Chikugoizumi' (Ujihara *et al.* 1995) have been successfully bred. However, instability of grain yield is arising from the yearly or regional fluctuation of the length of each growth stage. Thus, heading characteristics related to the length of growth stages must be adjusted for the stable production of wheat in each area.

Heading time of wheat is a complex characteristic determined by three factors, narrow-sense earliness (also termed earliness *per se*), vernalization response and photoperiod response (Kato and Yamashita 1991, Yasuda and Shimoyama 1965). For fine tuning of heading time in wheat breeding, genetic factors controlling these characteristics should be combined properly.

Vernalization response was roughly estimated by the degree of spring growth habit, which was partly affected by narrow-sense earliness and photoperiod response in earlier studies (Kakizaki and Suzuki 1937), and, thereafter, several methods to evaluate vernalization response have been proposed (Gotoh 1976, Kakizaki and Suzuki 1937, Kato and Yamagata 1988, Yasuda and Shimoyama 1965). Hashimoto and Hirano (1963) hypothesized that early cultivars with winter growth habit would be available to avoid frost injury, and this hypothesis was confirmed by Fujita *et al.* (1995) who compared heading characteristics among winter- and spring-type near-isogenic lines of the Japanese wheat cultivars. Based on these findings, the early heading cultivar with winter growth habit, 'Iwainodaichi', was successfully bred (Taya *et al.* 2003). It was reported that photoperiod response is the major determinant of earliness in autumn-sown wheat in central and south-western

Japan (Tanio *et al.* 2006, Yasuda and Shimoyama 1965, Yoshida *et al.* 1983), and it is closely related to the *Ppd* genotype but independent of the *Vrn* genotype, controlling vernalization response (Fujita *et al.* 1995, Kato and Yamashita 1991, Tanio *et al.* 2005). For narrow-sense earliness, Kato and Wada (1999) indicated that it was a heritable character, in spite of its quantitative nature, and could be efficiently optimized through artificial selection. It was also indicated that small response to photoperiod and short narrow-sense earliness should be combined for breeding of early heading varieties (Hashimoto and Hirano 1963, Yoshida *et al.* 1983).

Recently, *Vrn-1* and *Ppd-1* genes, the major genetic factors controlling vernalization response and photoperiod response in wheat, have been cloned (Beales *et al.* 2007, Fu *et al.* 2005, Nishida *et al.* 2013, Yan *et al.* 2003, 2004), and DNA markers for the distinction of variant or mutant alleles of each gene have been developed. These advances in molecular genetics facilitated genotyping of a large number of wheat cultivars and, hence, the elucidation of adaptive significance of *Vrn-1* and *Ppd-1* genes in various areas. *Vrn-1* genotype of the Japanese wheat cultivars has been analyzed by conventional segregation analysis, and it was revealed that most wheat cultivars in the central and south-western region carried *Vrn-D1*, and spring wheat cultivars in Hokkaido region carried *Vrn-A1* (Gotoh 1979, Iwaki *et al.* 2000). These results have been confirmed by analysis using DNA markers (Matsunaka *et al.* unpublished). On the contrary, little is known about the *Ppd-1* genotype of the Japanese wheat cultivars, except eight cultivars analyzed by the conventional segregation analysis (Tanio *et al.* 2005). Therefore, the comprehensive analysis of the *Ppd-1* genotype of Japanese wheat cultivars is required to know the effect of *Ppd-1* genes on heading time and the significance of *Ppd-1* genes for Japanese wheat breeding. Such an analysis would bring useful information for fine tuning of heading characteristics in breeding program.

In this study, the *Ppd-1* genotype of Japanese cultivars was determined by PCR-based methods and the effect of *Ppd-1* genotype on heading time was discussed. First, in chapter II, *Ppd-B1* and *Ppd-D1* genotypes were determined and their important role in adjusting the heading time in Japan except the Hokkaido region was evaluated. Furthermore, the pedigree of extra-early wheat cultivars was analyzed. In chapter III, *Ppd-A1* genotype was determined and its effect on the heading time in Hokkaido region was evaluated. In addition, the introduction of *Ppd-A1a* and *Ppd-D1a* alleles into Hokkaido wheat cultivars was discussed. This report is the revision of the dissertation submitted to Graduate School of Natural Science and Technology, Okayama University.

II Distribution of photoperiod-insensitive alleles *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a* and their effect on heading time

The photoperiod response is a very important physiological character in wheat, as it determines the earliness of heading with vernalization response and narrow-sense earliness (Yasuda and Shimoyama 1965). Photoperiod response is controlled mainly by three major genes, namely, *Ppd-D1* (previously designated *Ppd1*), *Ppd-B1* (*Ppd2*), and *Ppd-A1* (*Ppd3*), located on homoeologous group two chromosomes (Scarth and Law 1983, 1984, Welsh *et al.* 1973). The barley homoeologue *Ppd-H1* was identified as a member of the pseudo-response regulator (*PRR*) gene family (Turner *et al.* 2005). The orthologous *PRR* genes of the A, B, and D genomes have been isolated from wheat

BAC (bacterial artificial chromosome) libraries, and sequence analyses revealed that the photoperiod-insensitive *Ppd-D1a* allele is associated with a 2,089-bp deletion upstream of the coding region (Beales *et al.* 2007). Recent data show that the photoperiod-insensitive *Ppd-A1a* and *Ppd-B1a* alleles are associated with a 1085-bp deletion and a 308-bp insertion, respectively (Nishida *et al.* 2013), both of which share the common region with a deletion of *Ppd-D1a*.

Based on the sequence polymorphism among *Ppd-D1* alleles reported by Beales *et al.* (2007), Yang *et al.* (2009) determined the *Ppd-D1* genotype of Chinese wheat landraces and indicated that *Ppd-D1a* allele frequency varies among different areas, even within China. The *Ppd-D1a* allele was not found in northern China but was found frequently in southeastern China. Most of the European wheat cultivars with photoperiod insensitivity probably carry *Ppd-D1a* derived from ‘Akakomugi’ (Worland 1996). This assumption is supported by Guo *et al.* (2010), who showed that most Italian wheat cultivars carry *Ppd-D1a*. Tanio *et al.* (2005) analyzed the *Ppd-1* genotype of Japanese wheat cultivars by conventional segregation analysis and reported the following results. The very late-heading cultivar ‘Haruhikari’ does not carry any major photoperiod-insensitive alleles. Medium- to late-heading cultivars such as ‘Norin 61’ and ‘Saitama 27’ carry a single allele for photoperiod insensitivity. Extremely early-heading cultivars carry two alleles for photoperiod insensitivity. Lately, it was revealed that the former single allele is *Ppd-D1a*, and the latter two alleles are *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a* by Nishida *et al.* (2013). However, only eight cultivars were analyzed because the conventional segregation procedure is labor intensive. On the contrary, genotyping based on the detection of sequence differences allows for the analysis of many wheat cultivars and a comprehensive analysis of the relationship between the *Ppd-1* genotype and the heading time of Japanese wheat cultivars.

In this chapter, the *Ppd-B1* and *Ppd-D1* genotypes of Japanese wheat cultivars were determined by a PCR-based method to detect large deletions or insertions in the upstream region of the respective gene. Heading date in the field was compared among wheat cultivars carrying a sensitive or insensitive allele of each gene, and the effect of *Ppd-1* genotypes on heading time was successfully evaluated. In addition, the pedigree of extremely early-heading cultivars was discussed based on *Ppd-1* genotype.

1 Materials and Methods

A total of 263 wheat cultivars, consisting of Japanese commercial cultivars (161 cultivars), Japanese breeding lines (47 cultivars), Japanese landraces (22 cultivars), and foreign cultivars introduced for breeding (33 cultivars), were used in the present study. Geographical origins are summarized in Table 2.

For DNA extraction, all wheat genotypes were grown in a growth chamber maintained at 20 °C under a natural photoperiod. Genomic DNA was extracted from 2-week-old seedlings using a modified CTAB method (Murray and Thompson 1980).

Ppd-B1 and *Ppd-D1* genotypes were determined using PCR-based methods with the primer sets designed to identify the deletion of 2089 bp in the upstream region of *Ppd-D1a* (Beales *et al.* 2007) or the insertion of 308 bp in the upstream region of *Ppd-B1a* (Nishida *et al.* 2013). Three primers, namely, Ppd-D1_F1, Ppd-D1_R1, and Ppd-D1_R2 (developed by Beales *et al.* 2007), were used for *Ppd-D1*, and two primers, i.e., TaPpd-B1proF1 and TaPpd-B1int1R1 (developed in this study), were

used for *Ppd-B1*. The nucleotide sequence of each primer is shown in Table 1.

For the analysis of *Ppd-D1*, PCR amplification was performed in a 5- μ l mixture containing 10 ng genomic DNA, 0.5 μ l 10 \times *Ex Taq* buffer (TaKaRa Bio Inc., Otsu, Japan; 20 mM Tris-HCl at pH 8.0, 100 mM KCl, 20 mM Mg²⁺), 0.2 mM dNTP, 0.2 μ M of each primer, and 0.125 U *Ex Taq* Hot Start Version (TaKaRa). The PCR cycle was as follows: an initial denaturing step at 98 °C for 30 sec; 35 PCR cycles at 98 °C for 10 sec, 54 °C for 1 min, and 72 °C for 30 sec; and a final extension step at 72 °C for 2 min. For the analysis of *Ppd-B1*, PCR amplification was performed in a 5- μ l mixture containing 10 ng genomic DNA, 0.5 μ l 10 \times *Pyrobest* buffer (TaKaRa; 50 mM Tris-HCl at pH 8.2, 10 mM Mg²⁺), 0.2 mM dNTP, 0.2 μ M of each primer, and 0.125 U *Pyrobest* DNA polymerase (TaKaRa). The PCR cycle was as follows: an initial denaturing step at 98 °C for 30 sec; 35 PCR cycles at 98 °C for 10 sec, 64 °C for 1 min, and 72 °C for 30 sec; and a final extension step at 72 °C for 2 min. Amplification reactions were conducted using a GeneAmp PCR System 9700 thermal cycler (Applied Biosystems, CA, USA). PCR products were electrophoresed on acrylamide gel. Electrophoresis and polymorphism detection were based on the description by Hori *et al.* (2003).

The cultivars were grown in a field at the NARO Institute of Crop Science (36°01'N, 140°06'E) in the Kanto region of Japan and were sown on November 4, November 10, and October 31 for the 2004/2005, 2005/2006, and 2006/2007 wheat growing seasons, respectively. Each experimental plot consisted of a single 1.0-m-long row, and the planting distance was 70 cm between rows and 8.5 cm between plants. Heading date was recorded when the tip of the first ear emerged from the flag leaf sheath in one-half of the plants for each cultivar.

Heading date data were analyzed using statistical software (SPSS Ver. 18.0 J for Windows, SPSS Japan Inc.).

Table 1. Primers used to determined the *Ppd-D1* and *Ppd-B1* genotypes

Locus	Primer name	Sequence(5'→3')
<i>Ppd-B1</i>	TaPpd-B1proF1	ACACTAGGGCTGGTCTGAAGA
	TaPpd-B1int1R1	CCGAGCCAGTGCAAATTAAC
<i>Ppd-D1</i>	TaPpd-D1_F1	ACGCCTCCCCTACTACTG
	TaPpd-D1_R1	TGTTGGTTCAAACAGAGAGC
	TaPpd-D1_R2	CACTGGTGGTAGCTGAGATT

2 Results

Expected PCR product sizes, i.e., 288 bp from *Ppd-D1a* or 415 bp from *Ppd-D1b*, photoperiod-sensitive allele without a deletion of 2089bp, were successfully amplified by multiplex PCR in all of the cultivars tested. For *Ppd-B1*, 1600 bp from *Ppd-B1a* or 1292 bp from *Ppd-B1b*, photoperiod-sensitive allele without an insertion of 308 bp, were successfully amplified in all of the cultivars tested. Among 263 cultivars, 221 cultivars (84.0%) proved to carry the photoperiod-insensitive allele *Ppd-D1a* (Table 2). Frequency of the *Ppd-D1a* genotype was different among geographical groups. Only seven cultivars of winter wheat carried the *Ppd-D1a* allele in Hokkaido, whereas 196 of 201 Japanese wheat cultivars (97.5%), except those from the Hokkaido region, and half of the foreign cultivars (51.5%) carried the *Ppd-D1a* allele (Table 2, Fig. 1). On the other hand, only 11 cultivars (4.2%) carried *Ppd-B1a* allele (Table 2). Among them, two accessions from the Kanto and Tokai regions and six accessions from the Kinki, Chugoku, and Shikoku regions included an extra-early cultivar, 'Fukuwasekomugi', and five breeding lines. Two cultivars from the Kyushu region, i.e., 'Sakigakekomugi' and 'Abukumawase', and one cultivar from Korea, i.e., 'Tapdongmil', also carried *Ppd-B1a* allele (Table 2, Fig. 2). All of the cultivars with *Ppd-B1a* allele carried *Ppd-D1a* allele as well; the *Ppd-B1a/Ppd-D1b* genotype was not found in this study.

Table 2. Distribution of photoperiod insensitive alleles *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a* in Japanese and foreign wheat cultivars

Area of origin	Total number of cultivars	<i>Ppd-B1</i>		<i>Ppd-D1</i>	
		<i>Ppd-B1a</i>	<i>Ppd-B1b</i>	<i>Ppd-D1a</i>	<i>Ppd-D1b</i>
Hokkaido(Winter wheat)	19	0	19	7	12
Hokkaido(Spring wheat)	10	0	10	1 ^f	9
Tohoku,Hokuriku	47	0	47	43	4 ^g
Kanto,Tokai	63	2 ^b	61	63	0
Kinki,Chugoku,Shikoku	43	6 ^c	37	42	1 ^h
Kyushu	48	2 ^d	46	48	0
Foreign cultivars ^a					
High latitude area	11	0	11	4	7
Low latitude area	22	1 ^e	21	13	9
Total	263	11	252	221	42

^a High and low latitude areas are tentatively separated by 40 degrees.

^b Carrier of *Ppd-B1a*; 'Konosu 4' and 'Shiroboro 21'

^c Carrier of *Ppd-B1a*; 'Chugoku 55', 'Chugoku 81', 'Chugoku 91', 'Chugoku 98', 'Chugoku 114' and 'Fukuwasekomugi'

^d Carrier of *Ppd-B1a*; 'Sakigakekomugi' and 'Abukumawase'

^e Carrier of *Ppd-B1a*; 'Tapdongmil'

^f Carrier of *Ppd-D1a*; 'OS21-5'

^g Carrier of *Ppd-D1b*; 'Fultz Daruma', 'Norin 6', 'Norin 24' and 'Norin 38'

^h Carrier of *Ppd-D1b*; 'Eshima'

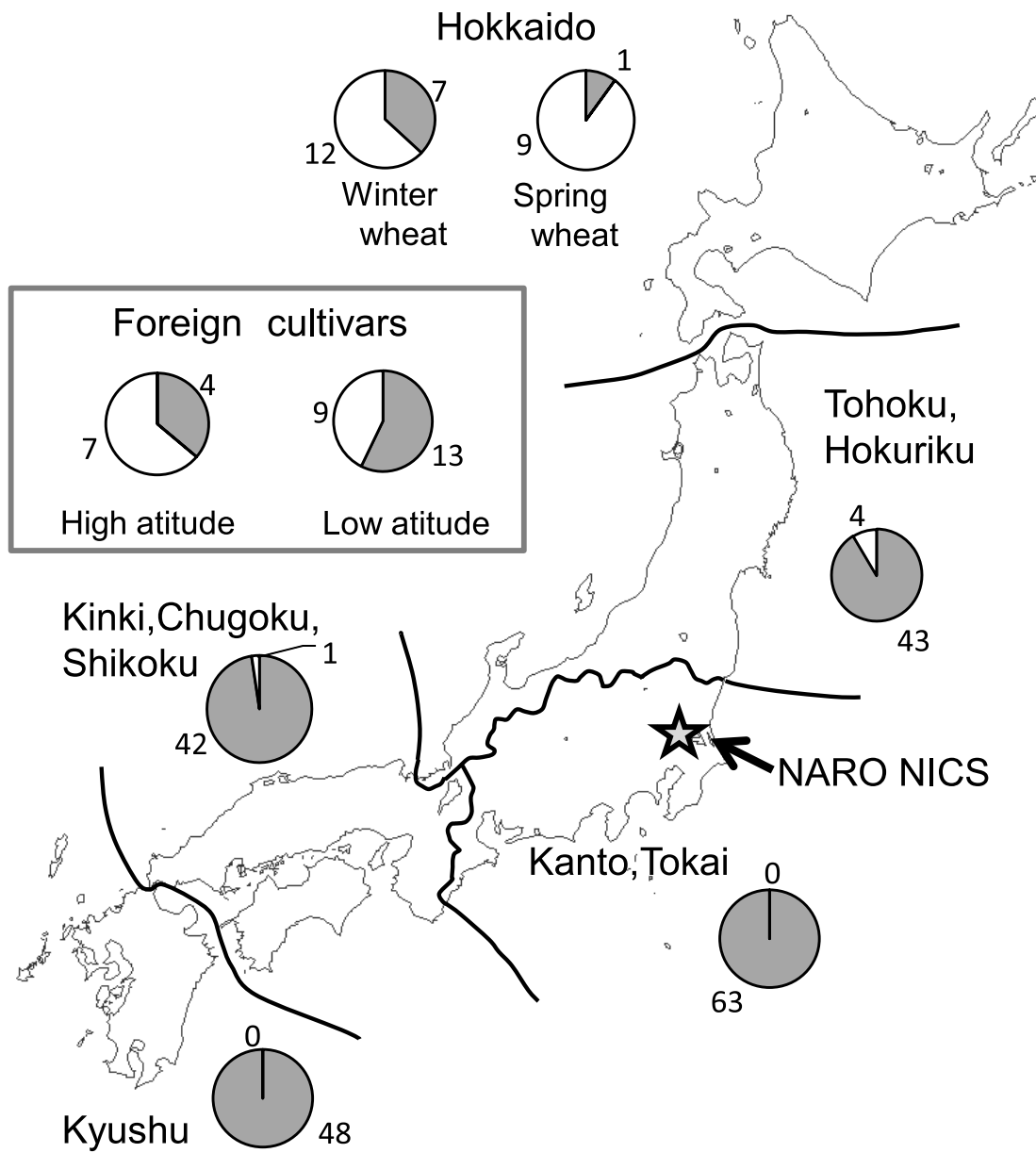


Fig. 1. Geographical distribution of *Ppd-D1a* and *Ppd-D1b*. Solid and open parts of the circular chart indicate the proportions of wheat cultivars carrying *Ppd-D1a* and *Ppd-D1b*, respectively. Number of cultivars was also indicated.

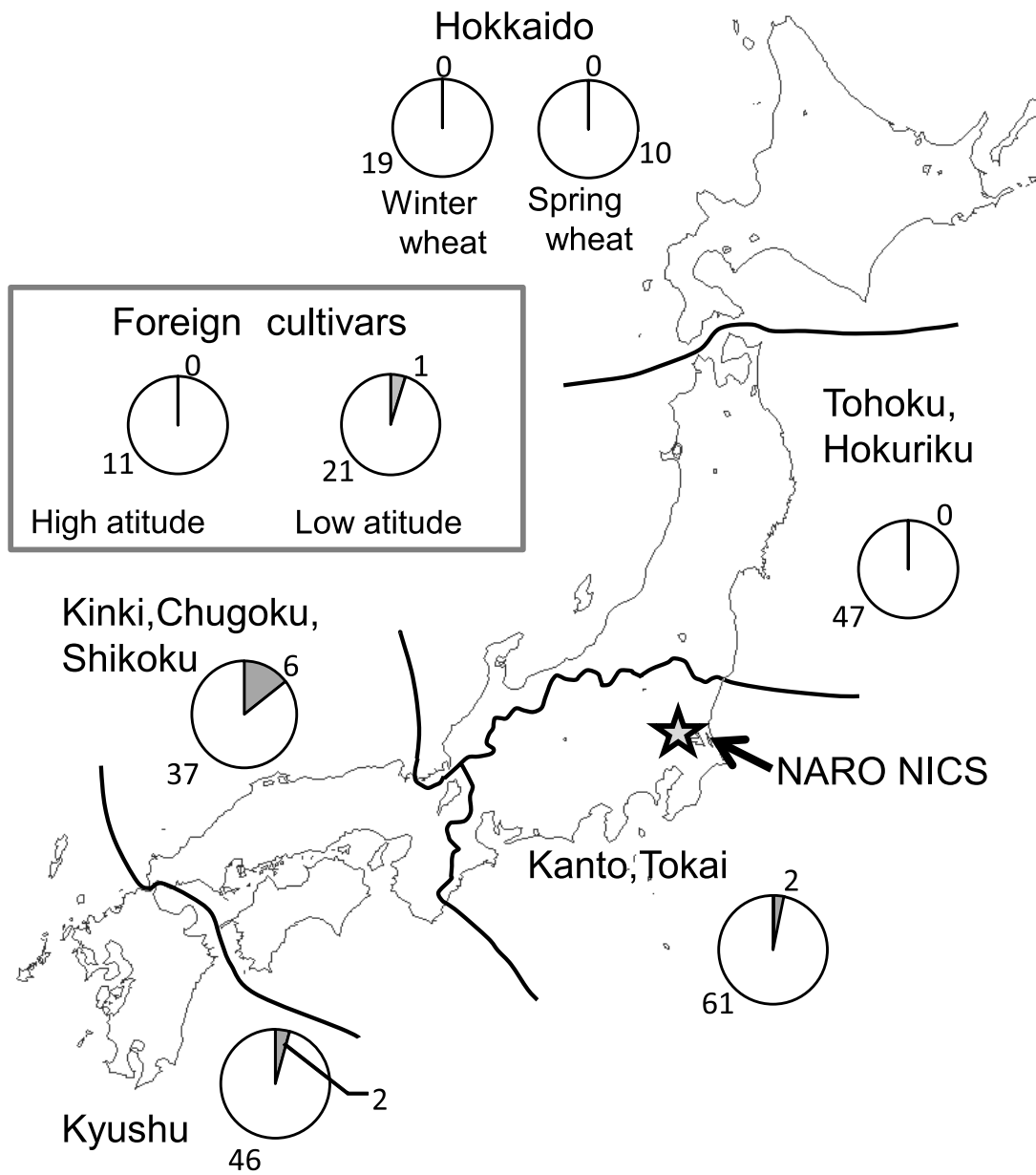


Fig. 2. Geographical distribution of *Ppd-B1a* and *Ppd-B1b*. Solid and open parts of the circular charts indicate the proportions of wheat cultivars carrying *Ppd-B1a* and *Ppd-B1b*, respectively. Number of cultivars was also indicated.

As summarized in Table 3, heading date of wheat cultivars differed significantly among the three seasons as well as among *Ppd-D1* genotypes ($P \leq 0.001$). As shown in Fig. 3, monthly average temperatures differed among the three wheat growing seasons. Compared with average temperatures for the last 30 years, temperatures during the early growing stage of wheat were higher in the 2004/2005 season and lower in the 2005/2006 season. In contrast, a warm winter in 2006/2007 resulted in higher temperatures for the entire growing season.

Table 3. Average of heading date of each *Ppd-D1* genotype

Growing season	<i>Ppd-D1</i> genotype	Total		Hokkaido				Tohoku-Kyushu		Foreign cultivars					
		n	Heading date ^a	n	Heading date	Winter wheat		n	Heading date	Total		High latitude area ^b		Low latitude area ^b	
2004 /2005	<i>Ppd-D1a</i>	216	28.2±0.3	8	36.1±1.5	7	37.1±1.3	192	27.8±0.3	16	28.2±1.2	4	32.0±1.3	12	26.9±1.4
	<i>Ppd-D1b</i>	42	35.7±0.8	21	36.3±0.9	12	37.8±1.1	5	36.0±3.3	16	34.9±1.5	7	37.3±2.8	9	33.0±1.4
			***		ns		ns		***		***		ns		***
2005 /2006	<i>Ppd-D1a</i>	216	32.1±0.3	8	40.3±1.9	7	40.7±2.1	192	31.8±0.2	16	32.6±1.7	4	38.3±1.0	12	30.7±1.9
	<i>Ppd-D1b</i>	42	43.0±0.9	21	44.1±1.2	12	43.8±1.7	5	41.8±3.5	16	41.8±1.5	7	43.3±2.7	9	40.7±1.7
			***		ns		ns		***		***		ns		***
2006 /2007	<i>Ppd-D1a</i>	216	19.9±0.4	8	29.6±1.7	7	30.5±1.6	192	19.5±0.4	16	19.8±1.6	4	24.0±1.4	12	18.4±1.9
	<i>Ppd-D1b</i>	42	30.5±0.8	21	31.6±1.0	12	32.2±1.2	5	32.2±3.1	16	28.4±1.5	7	30.0±2.7	9	27.1±1.6
			***		ns		ns		***		***		ns		***
F-value of ANOVA ^c															
Growing season(A)		225.2 ***		34.30 ***		24.70 ***		30.27 ***		38.66 ***		13.33 ***		27.93 ***	
<i>Ppd-D1</i> genotype(E)		410.1 ***		3.133 ns		1.906 ns		80.45 ***		44.84 ***		6.217 *		34.18 ***	
(A)*(B)		4.775 *		0.850 ns		0.311 ns		1.300 ns		0.394 ns		0.018 ns		0.664 ns	

^a Values showed mean ± standard error. 1=1st April. *** and 'ns' indicate significance at 0.1% levels and no significance at 5% level, respectively, by T-test.

^b High and low latitude areas are tentatively separated by 40 degrees.

^c * and *** indicate significance at 5% and 0.1% level, respectively, and 'ns' indicates no significance at 5% level.

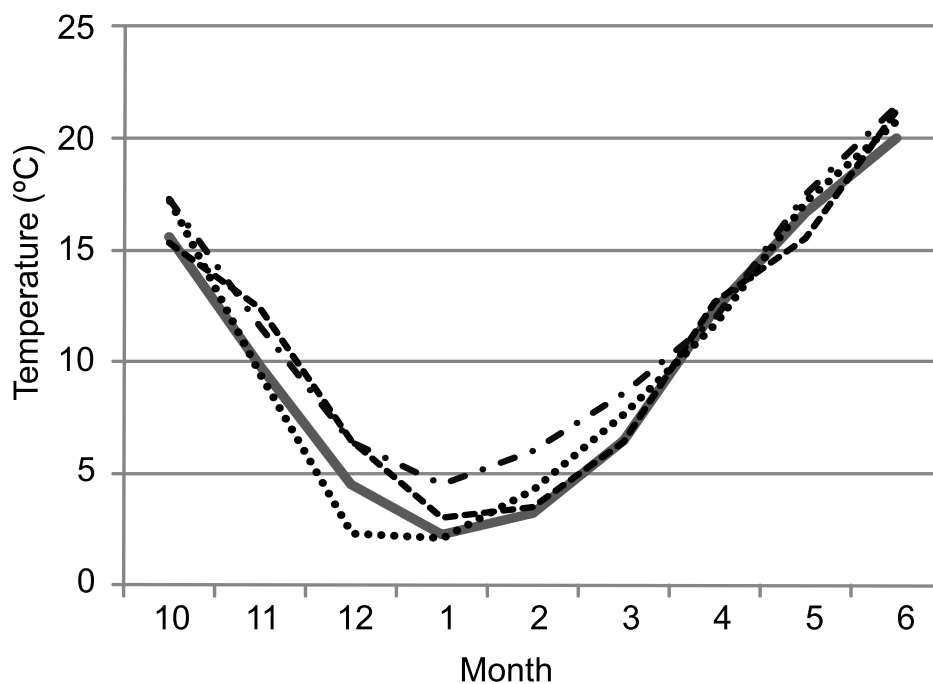


Fig. 3. Monthly mean temperature at Tateno, Tsukuba.

— ; Average of the last 30 years, - - - ; 2004/2005 growing season,
 ; 2005/2006 growing season, - · - · ; 2006/2007 growing season.

Data by Japan Meteorological Agency

Average heading date of the *Ppd-D1a* and *Ppd-D1b* genotypes were 28.2 April and 5.7 May, respectively, for the 2004/2005 season. A similar genotypic difference was observed in the other two seasons, indicating that the *Ppd-D1a* genotype headed approximately 10 days earlier than the *Ppd-D1b* genotype. The genotypic difference was not significant in wheat cultivars from the Hokkaido region, where winter wheat and spring wheat are grown in different areas. For winter

wheat cultivars in this region, average heading date of the *Ppd-D1a* and *Ppd-D1b* genotypes were 7.1 May and 7.8 May, respectively, for the 2004/2005 season. In foreign cultivars from high-latitude areas, the *Ppd-D1a* genotype headed 5–6 days earlier than the *Ppd-D1b* genotype. The genotypic differences in each season were not significant. However, ANOVA results showed that the *Ppd-D1* genotype was significant for heading at the 5% level.

Heading date of the three genotypes detected in the present study, namely, *Ppd-B1a/Ppd-D1a*, *Ppd-B1b/Ppd-D1a*, and *Ppd-B1b/Ppd-D1b*, are shown in Table 4. Because wheat cultivars of the *Ppd-B1a/Ppd-D1b* genotype were not detected, the effect of the *Ppd-B1* gene under the *Ppd-D1b* genetic background could not be analyzed. Therefore, heading date was compared between two genotypes, *Ppd-B1a/Ppd-D1a* and *Ppd-B1b/Ppd-D1a*, to determine the interaction between the *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a* alleles. Heading date of *Ppd-B1a/Ppd-D1a* and *Ppd-B1b/Ppd-D1a* genotypes were 22.1 April and 28.5 April for the 2004/2005 season, respectively; similar results were obtained for the other two seasons. Heading date of photoperiod-insensitive wheat cultivars carrying *Ppd-D1a* was accelerated by 4.9–8.7 days when combined with *Ppd-B1a*. Heading time stability among the three seasons also differed depending on the *Ppd-1* genotype. Heading time differences between the 2005/2006 season with a cold winter and the 2006/2007 season with a warm winter was 15.9 days in the *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype and 12.0–12.5 days in the other *Ppd-1* genotypes (Table 5).

The *Ppd-B1* genotypes of wheat lines in the pedigree of extremely early wheat cultivars carrying *Ppd-B1a* allele (‘Sakigakekomugi’, ‘Fukuwasekomugi’, and ‘Abukumawase’) are summarized in Fig. 4. Four early-heading breeding lines, ‘Chugoku 55’, ‘Chugoku 81’, ‘Chugoku 91’, and ‘Chugoku 114’, bred at the Chugoku Agriculture Experimental Station proved to carry *Ppd-B1a*.

Table 4. Additive effect of *Ppd-D1a* and *Ppd-B1a* for heading date

Growing season	<i>Ppd-1</i> genotype	Number of cultivars	Heading date ^a
2004/2005	<i>Ppd-B1a/Ppd-D1a</i>	10	22.1 ± 0.8 ^a
	<i>Ppd-B1b/Ppd-D1a</i>	206	28.5 ± 0.3 ^b
	<i>Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>	42	35.7 ± 0.8 ^c
2005/2006	<i>Ppd-B1a/Ppd-D1a</i>	10	27.5 ± 0.7 ^a
	<i>Ppd-B1b/Ppd-D1a</i>	206	32.4 ± 0.3 ^b
	<i>Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>	42	43.0 ± 0.9 ^c
2006/2007	<i>Ppd-B1a/Ppd-D1a</i>	10	11.6 ± 0.8 ^a
	<i>Ppd-B1b/Ppd-D1a</i>	206	20.3 ± 0.4 ^b
	<i>Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>	42	30.5 ± 0.8 ^c
F-value of ANOVA ^b			
	Growing season(A)		144.4 ***
	<i>Ppd-1</i> genotype(B)		208.7 ***
	(A)*(B)		3.380 **

^a Values showed mean ± standard error. 1=1st April.

Values with the different letter indicate significant difference (P<0.001) by Tukey HSD multiple range test, for each growing season.

^b ** and *** indicate significance at 1% and 0.1% level, respectively.

The old cultivars ‘Konosu 4’ and ‘Shiroboro 21’ also carried *Ppd-B1a*, whereas the other cultivars carried *Ppd-B1b* (Fig. 4). This result indicated that *Ppd-B1a* of extremely early wheat cultivars was inherited from ‘Shiroboro 21’ by early-heading Chugoku lines, although the *Ppd-1* genotype was not determined for ‘Kinki 14’ because seed was not available.

Table 5. Difference of heading time between 2005/2006 (cold winter) and 2006/2007 (warm winter)

<i>Ppd-1</i> genotype	Number of cultivars	Difference of heading date ^a
<i>Ppd-B1a/Ppd-D1a</i>	10	15.9 ± 0.5 ^a
<i>Ppd-B1b/Ppd-D1a</i>	206	12.0 ± 0.2 ^b
<i>Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>	42	12.5 ± 0.4 ^b
F-value of ANOVA ^b		
<i>Ppd-1</i> genotype		7.173**

^a Values showed mean ± standard error.

Values with the different letter indicate significant difference (P<0.01) by Tukey HSD multiple range test.

^b ** indicates significance at 1% level.

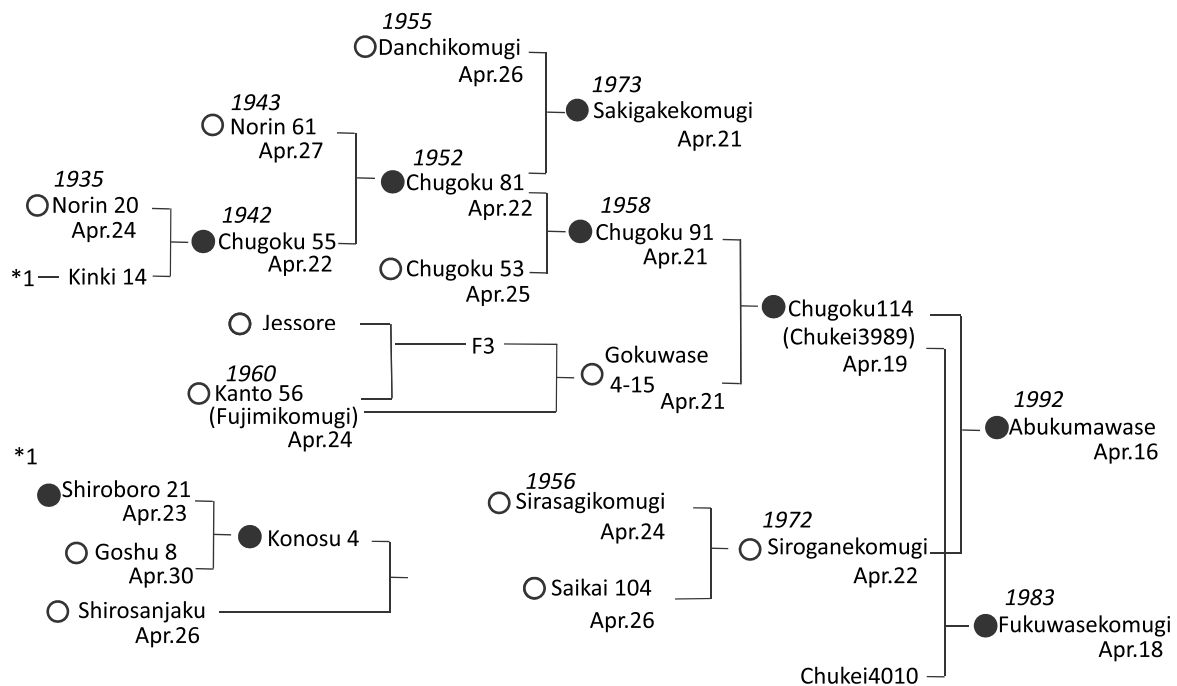


Fig. 4. *Ppd-B1* genotype and heading date of wheat cultivars on the pedigree of extra early wheat cultivars

● : Carrier of *Ppd-B1a*. ○ : Carrier of *Ppd-B1b*.

Ppd-1 genotype and heading date of ‘Kinki 14’ and ‘Chukey4010’ and heading date of ‘Jessore’ and ‘Konosu4’ were not tested. The average of heading date for three growing seasons is indicated by calendar date.

The year of registration was shown in italics. *1 shows the pedigree of ‘Kinki14’.

3 Discussion

Examination of the *Ppd-D1* genotypes of 230 Japanese wheat cultivars by PCR-based analysis detected a deletion of 2089 bp in the 5' upstream region (Beales *et al.* 2007), showing that 204 cultivars (88.7%) carried the insensitive allele *Ppd-D1a* (Table 2). In the Tohoku-Kyushu region, most of the cultivars (97.5%) carried *Ppd-D1a*. The predominance of the *Ppd-D1a* allele was also found in Chinese improved wheat cultivars (90.6%, Yang *et al.* 2009) and Pakistani spring bread wheat cultivars (98.3%, Iqbal *et al.* 2011). According to Guo *et al.* (2010), *Ppd-D1a* was carried in 11 of 12 Italian cultivars and in all 29 Mexican cultivars but was uncommon in Europe and North America except for Italy and Mexico. For such a geographical difference, Worland *et al.* (1996) explained as follows: *Ppd-D1a* accelerates flowering by 4–8 days, so that only the early genotype carrying *Ppd-D1a* is able to fill grain before the hot, dry summer season in southern Europe. The result in this study also indicated that *Ppd-D1a* accelerates heading by 8.2–12.7 days in the Tohoku-Kyushu cultivars (Table 3). In Japan, except in Hokkaido, the rainy season starts before the wheat harvest; thus, early cultivars with *Ppd-D1a* have been selected to avoid damage such as preharvest sprouting and Fusarium head blight.

Ppd-D1a frequency in the Hokkaido cultivars was 27.6%, which was lower than *Ppd-D1a* frequency in the Tohoku-Kyushu region (Table 2, Fig. 1). *Ppd-D1a* also was less frequent in wheat landraces from northern China than in wheat landraces from southern China (Yang *et al.* 2009). In addition, heading dates of the *Ppd-D1a* genotype was not significantly different from that of the *Ppd-D1b* genotype in Hokkaido cultivars, and was similar to that of *Ppd-D1b* genotype in the Tohoku-Kyushu cultivars. The lateness of the Hokkaido cultivars is an important trait for adaptation to longer winters. However, in foreign cultivars from high-latitude areas, heading date differed significantly among the *Ppd-D1* genotype (Table 3, $P < 0.05$). According to Foulkes *et al.* (2004) who analyzed the NILs of United Kingdom cultivars 'Merica' and 'Cappela-Desprez', differing in *Ppd-D1* genotypes, flag leaf unfolding was 12.5 days earlier in *Ppd-D1a* NILs than in *Ppd-D1b* NILs. These findings suggest that the *Ppd-D1a* genotype of the Hokkaido cultivar has another genetic mechanism for late heading. Although this mechanism is unknown, foreign wheat cultivars have been introduced from Europe and the United States for breeding Hokkaido cultivars (Fukunaga and Inagaki 1985, Hoshino *et al.* 2001); thus, the genetic background of Hokkaido cultivars is considered different from that of wheat cultivars in other areas of Japan. Another possibility is the functional difference among the *Ppd-D1a* alleles, though *Ppd-D1a* allele of the Hokkaido cultivars has not been sequenced. Further study is required to uncover the genetic factors involved in the control of heading time in Hokkaido cultivars.

Although 'Chinese Spring' carries the photoperiod-insensitive allele *Ppd-B1* (Law *et al.* 1978, Scarth and Law 1983), a 308-bp insertion was not detected in the 5' upstream region, and this result shows that 'Chinese Spring' carried an allele that was different from *Ppd-B1a* (Nishida *et al.* 2013). In the present study, 11 cultivars were proved to carry *Ppd-B1a* with the 308-bp insertion, as well as *Ppd-D1a*. Among them, 'Fukuwasekomugi' and 'Abukumawase' were already confirmed to have *Ppd-B1a* by conventional segregation or molecular genetics analysis (Nishida *et al.* 2013, Tanio *et al.* 2005). The results of this study were consistent with those of previous studies. However, the effect of *Ppd-B1a* could not be determined, because cultivars with the *Ppd-B1a/Ppd-D1b* genotype were not found in the Japanese improved cultivars. Tanio and Kato (2007)

analyzed ‘Haruhikari’ NILs with different *Ppd-1* genotypes and revealed that photoperiodic response was smallest in the *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype followed by the *Ppd-B1a/Ppd-D1b*, *Ppd-B1b/Ppd-D1a*, and *Ppd-B1b/Ppd-D1b* genotypes. The result, summarized in Table 4, also showed that the *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype headed 4.9–8.7 days earlier than the *Ppd-B1b/Ppd-D1a* genotype, indicating a significant effect of *Ppd-B1a* in the genetic background with *Ppd-D1a* and suggesting that early-maturity wheat breeding in Japan has been accelerated by the introduction of the *Ppd-B1a* allele.

Although the Bangladeshi cultivar ‘Jessore’ was considered the donor of the *Ppd-B1a* allele in extremely early cultivars in Japan (Tanio and Kato 2007, Yoshida et al. 1983), the *Ppd-1* genotype proved to be *Ppd-B1b/Ppd-D1a*. Therefore, as summarized in Fig. 4, it was concluded that the old Japanese cultivar ‘Shiroboro 21’ was the *Ppd-B1a* donor. *Ppd-B1a* probably had been introduced from ‘Kinki 14’ for the breeding of early-heading wheat at the Chugoku Agriculture Experimental Station during the 1940s–1950s. As shown in Table 1, one of the introduced cultivars, ‘Tapdong mil’, also carried *Ppd-B1a*. Although ‘Tapdongmil’ is a Korean cultivar, ‘Chugoku 81’, bred at the Chugoku Agriculture Experimental Station, was used as one of the cross parents (Sung *et al.* 1987). Therefore, *Ppd-B1a* in ‘Tapdongmil’ must be inherited from ‘Chugoku 81’.

Using near-isogenic lines of ‘Haruhikari’ with different *Ppd-1* genotypes, Tanio and Kato (2007) showed that NILs carrying the photoperiod-insensitive allele *Ppd-B1a* started floral development and stem elongation earlier than the other NILs. Three cultivars confirmed to carry *Ppd-B1a* are successfully grown in the Chugoku or Kyushu regions of Japan, where the average daily minimum temperature from 1971 to 2000 was above freezing all year (Japan Meteorological Agency, 2014). In contrast, in the north Kanto region, where the average daily minimum temperature was below freezing for 2–3 months, the cultivars suffered from late frost because of early stem elongation and poor adaptability (Inamura *et al.* 1958). Reflecting such a climatic difference, no cultivars carried *Ppd-B1a* in eastern Japan.

Taya (1993) reported that yield decreased with the advancement of heading time because of the decrease in spikelet number. The photoperiod-insensitive allele *Ppd-1* genes also reportedly shortened the duration of spikelet initiation (Gonzalez *et al.* 2005, Scarth *et al.* 1985, Tanio and Kato 2007). In the present study, heading date of cultivars carrying two genes, namely, *Ppd-B1a/Ppd-D1a*, were earlier than those of the other *Ppd-1* genotypes. In addition, heading date differences between two crop years, 2005/2006 (cold winter) and 2006/2007 (mild winter), were larger in the *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype than in the other genotypes (Table 5). These results suggest that grain yield of early-heading cultivars carrying the two photoperiod-insensitive genes *Ppd-B1a/Ppd-D1a* will be lower, especially in warm-winter seasons. However, Fujita *et al.* (1995) and Seki *et al.* (2007) reported that the yearly fluctuation of heading time is smaller in the winter-type NILs of ‘Abuk umawase’ carrying *Ppd-B1a/Ppd-D1a*. The fluctuation of heading time due to early sowing is also estimated to be smaller in winter type wheat (Fujita *et al.* 1995). Therefore, to breed early-heading cultivars adaptable to the Kanto region, *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a* genes should be introduced with adequate vernalization requirement.

The previous genetic analysis indicated that spring type cultivars originated in the Tohoku-Kyushu region carry the vernalization response gene *Vrn-D1* (Gotoh 1979, Iwaki *et al.* 2000), and the present study showed that most of the cultivars in the Tohoku-Kyushu region carried the

photoperiod-insensitive gene *Ppd-D1a*. These results indicate that most of the Japanese spring type cultivars, except those in the Hokkaido region, have the same set of genes for both the vernalization response and the photoperiod response. However, heading time varies between cultivars. Therefore, to refine heading time, further study is required to determine the genetic factors involved, including *Ppd-A1* (Nishida *et al.* 2013), the FT-like gene known as the photoperiod response gene in barley (Kikuchi *et al.* 2009), and other QTLs for photoperiod response and earliness *per se*.

4 Summary

The genotypes of photoperiod response genes *Ppd-B1* and *Ppd-D1* in Japanese wheat cultivars were determined by a PCR-based method, and heading times were compared among genotypes. Most of the Japanese wheat cultivars, except those from the Hokkaido region, carried the photoperiod-insensitive allele *Ppd-D1a*, and heading was accelerated 10.3 days compared with the *Ppd-D1b* genotype. Early cultivars with *Ppd-D1a* may have been selected to avoid damage from preharvest rain. In the Hokkaido region, *Ppd-D1a* frequency was lower and heading date was late regardless of *Ppd-D1* genotype, suggesting another genetic mechanism for late heading in Hokkaido cultivars. In this study, only 11 cultivars proved to carry *Ppd-B1a*, and all of them carried another photoperiod-insensitive allele, *Ppd-D1a*. The *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype headed 6.7 days earlier than the *Ppd-B1b/Ppd-D1a* genotype, indicating a significant effect of *Ppd-B1a* in the genetic background with *Ppd-D1a*. Early-maturity breeding in Japan is believed to be accelerated by the introduction of the *Ppd-B1a* allele into medium-heading cultivars carrying *Ppd-D1a*. Pedigree analysis showed that *Ppd-B1a* in three extra-early commercial cultivars was inherited from 'Shiroboro 21' by early-heading Chugoku lines bred at the Chugoku Agriculture Experimental Station.

III Distribution of photoperiod-insensitive alleles *Ppd-A1a* and their effect on heading time

Heading time of wheat is a complex character controlled by narrow-sense earliness (also termed earliness *per se*) and is modified by vernalization response and photoperiod response (Kato and Yamashita 1991, Yasuda and Shimoyama 1965). Photoperiod response is controlled mainly by three major genes, namely, *Ppd-A1*, *Ppd-B1*, and *Ppd-D1* (Scarath and Law 1983, 1984, Welsh *et al.* 1973). Recently, these genes have been cloned (Beales *et al.* 2007, Fu *et al.* 2005, Nishida *et al.* 2013, Yan *et al.* 2003, 2004,) and DNA markers for the distinction of variant or mutant alleles of each gene have been developed.

There are some investigations about geographical distribution of *Ppd-D1a* before. Based on the sequence polymorphism among *Ppd-D1* alleles reported by Beales *et al.* (2007), Yang *et al.* (2009) determined the *Ppd-D1* genotype of Chinese wheat landraces and indicated that the frequency of *Ppd-D1a* allele varies among areas. Guo *et al.* (2010) showed that most Italian wheat cultivars carry *Ppd-D1a*. As for *Ppd-A1* and *Ppd-B1*, little is known about the distribution of photoperiod-insensitive alleles because the critical sequence polymorphism among alleles has not been detected until recently by Nishida *et al.* (2013).

In Chapter II, the *Ppd-B1* and *Ppd-D1* genotypes of Japanese wheat cultivars were determined, and it was revealed that most of the cultivars in Tohoku-Kyushu region carried *Ppd-D1a* and extra-early cultivars in southwestern Japan carried *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a*. *Ppd-B1a* showed a stronger effect on accelerating heading compared with *Ppd-D1a* (Chapter II, Tanio and Kato 2007). Therefore, it was suggested that introduction of the *Ppd-B1a* allele enabled breeding of early maturity wheat cultivars required for avoiding preharvest sprouting and Fusarium head blight during the rainy season (Chapter II, Tanio and Kato 2007). The photoperiod-insensitive allele *Ppd-D1a* has also been found in Hokkaido wheat cultivars, though its effect on heading time was insignificant under the genetic background of Hokkaido wheat cultivars. In addition to these two alleles, another photoperiod-insensitive allele *Ppd-A1a* was found in a Hokkaido cultivar 'Chihokukomugi' by Nishida *et al.* (2013). They compared the heading time among DH lines differing in *Ppd-1* genotype, and showed that the effect of *Ppd-A1a* was weaker than that of *Ppd-B1a* or *Ppd-D1a*. However, since an insensitive allele of *Ppd-A1* had not been previously reported, very little is known regarding the effect of *Ppd-A1a* and its distribution in Japanese wheat cultivars.

In this chapter, the *Ppd-A1* genotype of Japanese wheat cultivars was determined by PCR-based method to detect the deletion in the upstream region of this gene. Thereafter, the *Ppd-A1* genotype of wheat cultivars and breeding lines present in the pedigree of Hokkaido winter wheat cultivars was determined to reveal the origin of *Ppd-A1a* allele and to discuss the effect of *Ppd-A1a* and *Ppd-D1a* on heading time in Hokkaido wheat cultivars.

1 Materials and Methods

A total of 280 wheat cultivars consisting of Japanese commercial cultivars (164 cultivars), Japanese breeding lines (54 cultivars), Japanese landraces (22 cultivars), and foreign cultivars introduced for breeding (40 cultivars) were used in the present study. The geographical origin of these cultivars is summarized in Table 7.

For DNA extraction, all wheat genotypes were grown in a growth chamber maintained at 20 °C under a natural photoperiod. Genomic DNA was extracted from 2-week-old seedlings by using a modified CTAB method (Murray and Thompson 1980).

The *Ppd-1* genotypes were determined using PCR-based methods with the primer sets designed to identify the deletion of 1085 bp in the upstream region of *Ppd-A1a*, the insertion of 308 bp in the upstream region of *Ppd-B1a* (Nishida *et al.* 2013), or the deletion of 2089 bp in the upstream region of *Ppd-D1a* (Beales *et al.* 2007). Three primers, namely, TaPpd-A1prodelF1, TaPpd-A1prodelR3, and TaPpd-A1prodelR2 (developed by Nishida *et al.* 2013) were used for *Ppd-A1*, and two primers, namely, TaPpd-B1proF1 and TaPpd-B1int1R1 (developed in this study) were used for *Ppd-B1*. Three primers, namely, Ppd-D1_F1, Ppd-D1_R1, and Ppd-D1_R2 (developed by Beales *et al.* 2007) were used for *Ppd-D1*. The nucleotide sequence of each primer is shown in Table 6.

Table 6. Primers used to determined the *Ppd-1* genotypes

Locus	Primer name	Sequence(5'→3')
<i>Ppd-A1</i>	TaPpd-A1prodelF1	CGTACTCCCTCCGTTTCTTT
	TaPpd-A1prodelR3	AATTTACGGGGACCAAATACC
	TaPpd-A1prodelR2	GTTGGGGTCGTTTGGTGGTG
<i>Ppd-B1</i>	TaPpd-B1proF1	ACACTAGGGCTGGTCAAGA
	TaPpd-B1int1R1	CCGAGCCAGTGCAAATTAAC
<i>Ppd-D1</i>	TaPpd-D1_F1	ACGCCTCCCCTACTACTG
	TaPpd-D1_R1	TGTTGGTTCAAACAGAGAGC
	TaPpd-D1_R2	CACTGGTGGTAGCTGAGATT

For the analysis of *Ppd-A1* and *Ppd-D1*, PCR amplification was performed in a 5- μ l mixture containing 10 ng genomic DNA, 0.5 μ l 10 \times *Ex Taq* buffer (TaKaRa; 20 mM Tris-HCl at pH 8.0, 100 mM KCl, 20 mM Mg²⁺), 0.2 mM dNTP, 0.2 μ M of each primer, and 0.125 U *Ex Taq* Hot Start Version (TaKaRa). The PCR cycle for *Ppd-A1* was as follows: an initial denaturing step at 98 °C for 30 sec; 35 PCR cycles at 98 °C for 10 sec, 57 °C for 30 sec, and 72 °C for 30 sec; and a final extension step at 72 °C for 2 min. The PCR cycle for *Ppd-D1* was as follows: an initial denaturing step at 98 °C for 30 sec; 35 PCR cycles at 98 °C for 10 sec, 54 °C for 1 min, and 72 °C for 30 sec; and a final extension step at 72 °C for 2 min. For the analysis of *Ppd-B1*, PCR amplification was performed in a 5- μ l mixture containing 10 ng genomic DNA, 0.5 μ l 10 \times *Pyrobest* buffer (TaKaRa; 50 mM Tris-HCl at pH 8.2, 10 mM Mg²⁺), 0.2 mM dNTP, 0.2 μ M of each primer, and 0.125 U *Pyrobest* DNA polymerase (TaKaRa). The PCR cycle was as follows: an initial denaturing step at 98 °C for 30 sec; 35 PCR cycles at 98 °C for 10 sec, 64 °C for 1 min, and 72 °C for 30 sec; and a final extension step at 72 °C for 2 min. Amplification reactions were conducted using a GeneAmp PCR System 9700 thermal cycler (Applied Biosystems). PCR products were separated by electrophoresis on a 13% polyacrylamide gel. Electrophoresis and polymorphism detection were based on the description by Hori *et al.* (2003). For 263 cultivars, the *Ppd-B1* and *Ppd-D1* genotypes have been analyzed in chapter II, and their genotype data was used in this chapter.

Among 280 wheat cultivars, 23 cultivars and breeding lines appeared in the pedigree of 'Kita honami', the latest registered winter wheat cultivar cultivated in Hokkaido, were tested in the field at the NARO Institute of Crop Science (Tsukuba, Ibaraki, 36°01'N, 140°06'E) in the Kanto region and the HRO Kitami Agricultural Experiment Station (Kunneppu, Hokkaido, 43°47'N, 143°42'E) in the Hokkaido region of Japan. The details are summarized in Table 8.

At Tsukuba, they were sown on November 6 and November 5 in the 2008/2009 and 2009/2010 wheat-growing seasons, respectively. Each experimental plot consisted of a single 1.0-m-long row; the planting distance was 70 cm between rows and 8.5 cm between plants. At Kunneppu, they were sown on September 21, September 20, and September 19 for the 2007/2008, 2008/2009, and 2009/2010 wheat-growing seasons, respectively. Each experimental plot consisted of six 4.5-m-long rows; the planting distance was 20 cm between rows and 255 seeds per square meter. Heading time was recorded when the tip of the first ear emerged from the flag leaf sheath in one-half of the plants for each cultivar.

Heading date data were analyzed using statistical software (SPSS Ver. 18.0 J for Windows, SPSS Japan Inc.). The effective day-length at Tsukuba and Kunneppu was calculated according to methods presented by Gotoh (1977). According to Gotoh (1977), effective day-length should include predawn time with light intensity over 20 lux and twilight time with light intensity over 10 lux, which was 26 and 23 min at Fukuyama (34°30'N), respectively. The calculation formula was as follows:

$$(\text{effective day-length in minutes at } \theta \text{ degrees latitude}) = (\text{astronomical day-length}) + 49 (\cos 34^{\circ}30' / \cos \theta).$$

2 Results

Expected PCR product sizes, i.e., 338 bp from *Ppd-A1a* or 299 bp from *Ppd-A1b*, a photoperiod-sensitive allele without deletion of 1085 bp, were successfully amplified by multiplex PCR in all of the cultivars tested. For *Ppd-B1*, 1600 bp from *Ppd-B1a* or 1292 bp from *Ppd-B1b*, a photoperiod-sensitive allele without an insertion of 308 bp, and for *Ppd-D1*, 288 bp from *Ppd-D1a* or 415 bp from *Ppd-D1b*, a photoperiod-sensitive allele without deletion of 2089 bp, were successfully amplified in all of the cultivars tested. Among 280 cultivars, only 14 cultivars (5.0%) carried the *Ppd-A1a* allele (Table 7), i.e., 12 Hokkaido winter wheat cultivars and two foreign cultivars, 'Purcam (U-11)' and 'Purple Straw' (Table 7 and Fig. 5). The *Ppd-A1a* allele was not found in Hokkaido spring wheat cultivars or Tohoku-Kyushu cultivars. As reported in Chapter II, most of the cultivars in the Tohoku-Kyushu region and eight cultivars in the Hokkaido region carried the photoperiod-insensitive allele *Ppd-D1a*, and 11 cultivars, including three extra-early commercial cultivars, carried the two photoperiod-insensitive alleles *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a*. The other genotypes with two or three photoperiod-insensitive alleles, i.e., the *Ppd-A1a/Ppd-B1a/Ppd-D1b*, *Ppd-A1a/Ppd-B1b/Ppd-D1a*, and *Ppd-A1a/Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotypes, were not found in this study.

Among the 23 genotypes in the pedigree of 'Kitahonami', 10 carried *Ppd-A1a* and five carried *Ppd-D1a* as a photoperiod-insensitive allele, while the others did not carry insensitive alleles of *Ppd-1* (Table 8). The heading date examined at Tsukuba and Kunneppu was compared among three *Ppd-1* genotypes, namely, *Ppd-A1a/Ppd-B1b/Ppd-D1b*, *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1a*, and *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1b* (Table 9). Genotypic difference of heading date was significant at the 0.1% level at Tsukuba and 5% level at Kunneppu. At Tsukuba, the average heading date of the *Ppd-A1a/Ppd-B1b/Ppd-D1b*, *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1a*, and *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1b* genotypes was 28.4 April, 25.0 April, and 5.3 May, respectively, for the 2008/2009 season. A similar genotypic difference was observed for the 2009/2010 seasons, indicating that the *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1b* genotype headed 6.9-9.8 days later than other genotypes with a photoperiod-insensitive allele. Among the genotypes with a photoperiod-insensitive allele, the *Ppd-A1a/Ppd-B1b/Ppd-D1b* genotype headed 2-3 days later than the *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1a* genotype, though the difference was not significant. At Kunneppu, the *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1b* genotype headed 2.5 days later than other genotypes with a photoperiod-insensitive allele, though the difference was less than at Tsukuba.

Table 7. Result of genotyping of *Ppd-1*

Area of origin	Total number of cultivars	<i>Ppd-A1</i>		<i>Ppd-B1</i>		<i>Ppd-D1</i>	
		<i>Ppd-A1a</i>	<i>Ppd-A1b</i>	<i>Ppd-B1a</i>	<i>Ppd-B1b</i>	<i>Ppd-D1a</i>	<i>Ppd-D1b</i>
Hokkaido(Winter wheat)	29	12	17	0	29	7	22
Hokkaido(Spring wheat)	10	0	10	0	10	1 ^f	9
Tohoku,Hokuriku	47	0	47	0	47	43	4 ^g
Kanto,Tokai	63	0	63	2 ^b	61	63	0
Kinki,Chugoku,Shikoku	43	0	43	6 ^c	37	42	1 ^h
Kyushu	48	0	48	2 ^d	46	48	0
Foreign cultivars	40	2 ^a	38	1 ^e	39	18	22
Total	280	14	266	11	269	222	58

^a Carrier of *Ppd-A1a*; 'Purcam(U-11)' and 'Purple Straw'

^b Carrier of *Ppd-B1a*; 'Konosu 4' and 'Shiroboro 21'

^c Carrier of *Ppd-B1a*; 'Chugoku 55', 'Chugoku 81', 'Chugoku 91', 'Chugoku 98', 'Chugoku 114' and 'Fukuwasekomugi'

^d Carrier of *Ppd-B1a*; 'Sakigakekomugi' and 'Abukumawase'

^e Carrier of *Ppd-B1a*; 'Tapdongmil'

^f Carrier of *Ppd-D1a*; 'OS21-5'

^g Carrier of *Ppd-D1b*; 'Fultz Daruma', 'Norin 6', 'Norin 24' and 'Norin 38'

^h Carrier of *Ppd-D1b*; 'Eshima'

Table 8. Cultivars tested in fields

	<i>Ppd-1</i> genotype			Heading date							
	<i>Ppd-A1</i> _a	<i>Ppd-B1</i> _b	<i>Ppd-D1</i> _c	Tsukuba ^d			Kunneppu ^e				
				2008/2009	2009/2010	Av.	2007/2008	2008/2009	2009/2010	Av.	
Kitakei 221	a	b	b	May 2	May 7	May 4	—	—	—	—	
Kitakei 497	a	b	b	Apr. 22	May 1	Apr. 26	—	—	—	—	
Kitakei 1354	a	b	b	May 1	May 6	May 3	June 14	June 10	June 15	June 13	
Kitakei 1463	a	b	b	May 3	May 10	May 6	June 13	June 11	June 16	June 13	
Kitami 19	a	b	b	May 2	May 7	May 4	June 13	June 9	June 15	June 12	
Kitami 33	a	b	b	Apr. 22	May 1	Apr. 26	June 9	June 4	June 12	June 8	
Takunekomugi	a	b	b	Apr. 22	May 2	Apr. 27	June 6	June 1	June 8	June 5	
Chihokukomugi	a	b	b	May 1	May 8	May 4	June 13	June 10	June 17	June 13	
Kitamoe	a	b	b	Apr. 30	May 6	May 3	June 12	June 10	June 15	June 12	
Kitahonami	a	b	b	Apr. 29	May 5	May 2	June 11	June 8	June 14	June 11	
Kitakei 1093	b	b	a	May 2	May 8	May 5	June 12	June 12	June 17	June 13	
Kitami 27	b	b	a	Apr. 22	May 2	Apr. 27	June 10	June 5	June 13	June 9	
Kitami 35	b	b	a	Apr. 20	Apr. 29	Apr. 24	June 6	June 4	June 12	June 7	
Tohoku 118	b	b	a	Apr. 19	Apr. 28	Apr. 23	—	—	—	—	
Horoshirikomugi	b	b	a	May 2	May 8	May 5	June 14	June 11	June 16	June 13	
Kitakei 320	b	b	b	May 2	May 8	May 5	—	—	—	—	
Kitakei 1409	b	b	b	May 7	May 12	May 9	June 14	June 11	June 15	June 13	
Kitakei 1660	b	b	b	May 8	May 15	May 11	June 17	June 13	June 18	June 16	
Kitami 18	b	b	b	May 6	May 16	May 11	—	—	—	—	
Kitami 53	b	b	b	May 10	May 18	May 14	June 17	June 12	June 17	June 15	
Hokuei	b	b	b	—	—	—	June 16	June 11	June 17	June 14	
Mukakomugi	b	b	b	—	—	—	June 11	June 9	June 15	June 11	
Hokushin	b	b	b	Apr. 29	May 5	May 2	June 10	June 7	June 13	June 10	

^a "a" and "b" indicate *Ppd-A1a* and *Ppd-A1b*, respectively.

^b "a" and "b" indicate *Ppd-B1a* and *Ppd-B1b*, respectively.

^c "a" and "b" indicate *Ppd-D1a* and *Ppd-D1b*, respectively.

^d Heading date at Tsukuba, 21 cultivars were tested; 'Hokuei' and 'Mukakomugi' were not tested.

^e Heading date at Kunneppu, 18 cultivars were tested; 'Kitakei 221', 'Kitakei 497', 'Tohoku 118', 'Kitakei 320', and 'Kitami 18' were not tested.

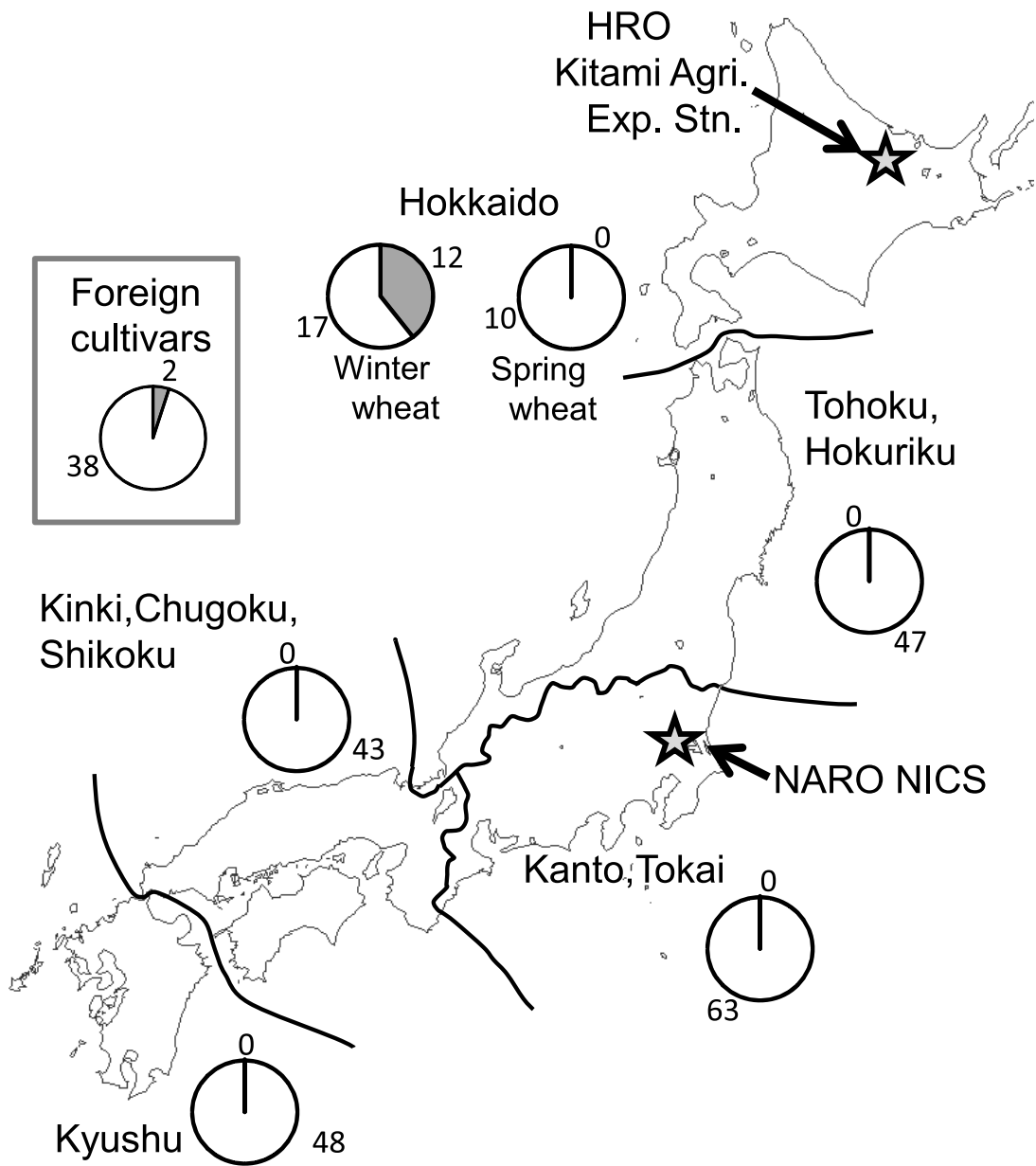


Fig. 5. Geographical distribution of *Ppd-A1a* and *Ppd-A1b*. Solid and open parts of the circular charts indicate the proportions of wheat cultivars carrying *Ppd-A1a* and *Ppd-A1b*, respectively. Number of cultivars was also indicated.

Table 9. Effect of *Ppd-1* genotype on heading date in cultivars on the pedigree of 'Kitahonami'

Growing season	<i>Ppd</i> genotype	Tsukuba		Kunneppu	
		n	Heading date ^a	n	Heading date ^a
2007/2008	<i>Ppd-A1a/Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>		–	8	11.4±0.9 ^a
	<i>Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1a</i>		–	4	10.5±1.7 ^a
	<i>Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>		–	6	14.2±1.2 ^a
2008/2009	<i>Ppd-A1a/Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>	10	28.4±1.4 ^{ab}	8	7.9±0.9 ^a
	<i>Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1a</i>	5	25.0±2.9 ^a	4	8.0±2.0 ^a
	<i>Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>	6	35.3±1.7 ^b	6	10.5±0.9 ^a
2009/2010	<i>Ppd-A1a/Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>	10	35.3±0.9 ^a	8	14.0±1.0 ^a
	<i>Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1a</i>	5	33.0±2.1 ^a	4	14.5±1.2 ^a
	<i>Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1b</i>	6	42.3±2.0 ^b	6	15.8±0.7 ^a
F-value of ANOVA ^b					
Growing season(A)			25.03 ***		17.57 ***
genotype(B)			14.47 ***		4.228 *
(A)*(B)			0.053 ns		0.201 ns

^a Values showed mean ± standard error.
1=1st April in Tsukuba, and =1st June in Kunneppu.

Values followed by the different letters in same growing season are significantly different(P<0.05) by Tukey HSD multiple range test.

^b * and *** indicate significance at 5% and 0.1% level, respectively, and 'ns' indicates no significance at 5% level.

As shown in Fig. 6B, monthly average temperature differed among the three wheat-growing seasons. At Tsukuba, compared with the average temperatures over the last 30 years, temperatures in winter were slightly higher during the 2008/2009 and 2009/2010 seasons. In the 2009/2010 season, temperatures were lower in April, which is just before heading. According to meteorological data from Sakaino, near Kunneppu, and the end of continuous snow cover on the test field at Kunneppu, in the 2007/2008 season, snow melted very early after that, temperatures were warmer during March and April. In the 2008/2009 season, the temperature after snow melted was warmer until heading time. In contrast, the temperature after snow melted was lower until 2 or 4 weeks before heading time in the 2009/2010 season. These differences in temperature conditions resulted in a significance difference in heading time between test years.

The *Ppd-1* genotypes of wheat cultivars and breeding lines in the pedigree of Hokkaido winter wheat cultivars are summarized in Fig. 7. Pedigree analysis showed that *Ppd-A1a* in the three cultivars, 'Takunekomugi', 'Kitamoe', and 'Kitahonami' was inherited from 'Purple Straw' through 'Purcam (U-11)' and 'Hokkai 240'. *Ppd-D1a* was inherited from 'Tohoku 118' to 'Kitami 27' and 'Kitami 35'. However, the source of *Ppd-A1a* of 'Kitami 19' could not be identified.

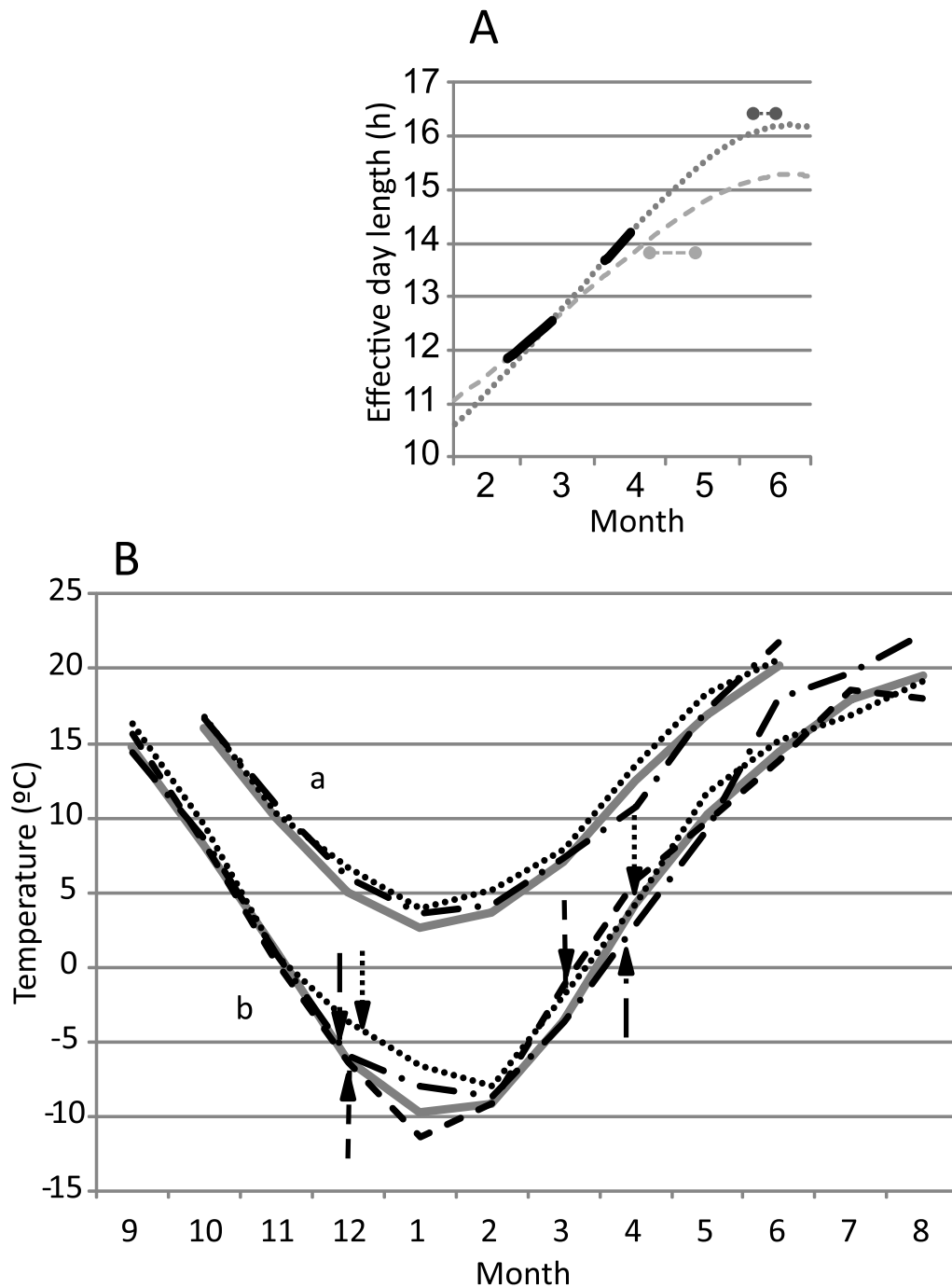


Fig. 6. A. Effective day-length at two sites.

--- : Tsukuba,
 : Kunneppu.

Lines flanked by circles indicate the range of heading date at each site. Solid and thick lines indicate the effective day-length two months before heading.

B. Monthly mean temperature.

— : Average temperature over the last 30 years,
 --- : 2007/2008 growing season,
 : 2008/2009 growing season,
 - · - : 2009/2010 growing season.

a: Tateno (in Tsukuba), b: Sakaino (near Kunneppu).

Data were taken from the Japan Meteorological Agency.

Arrows indicating the start and the end of continuous snow cover duration during each season at Kunneppu.

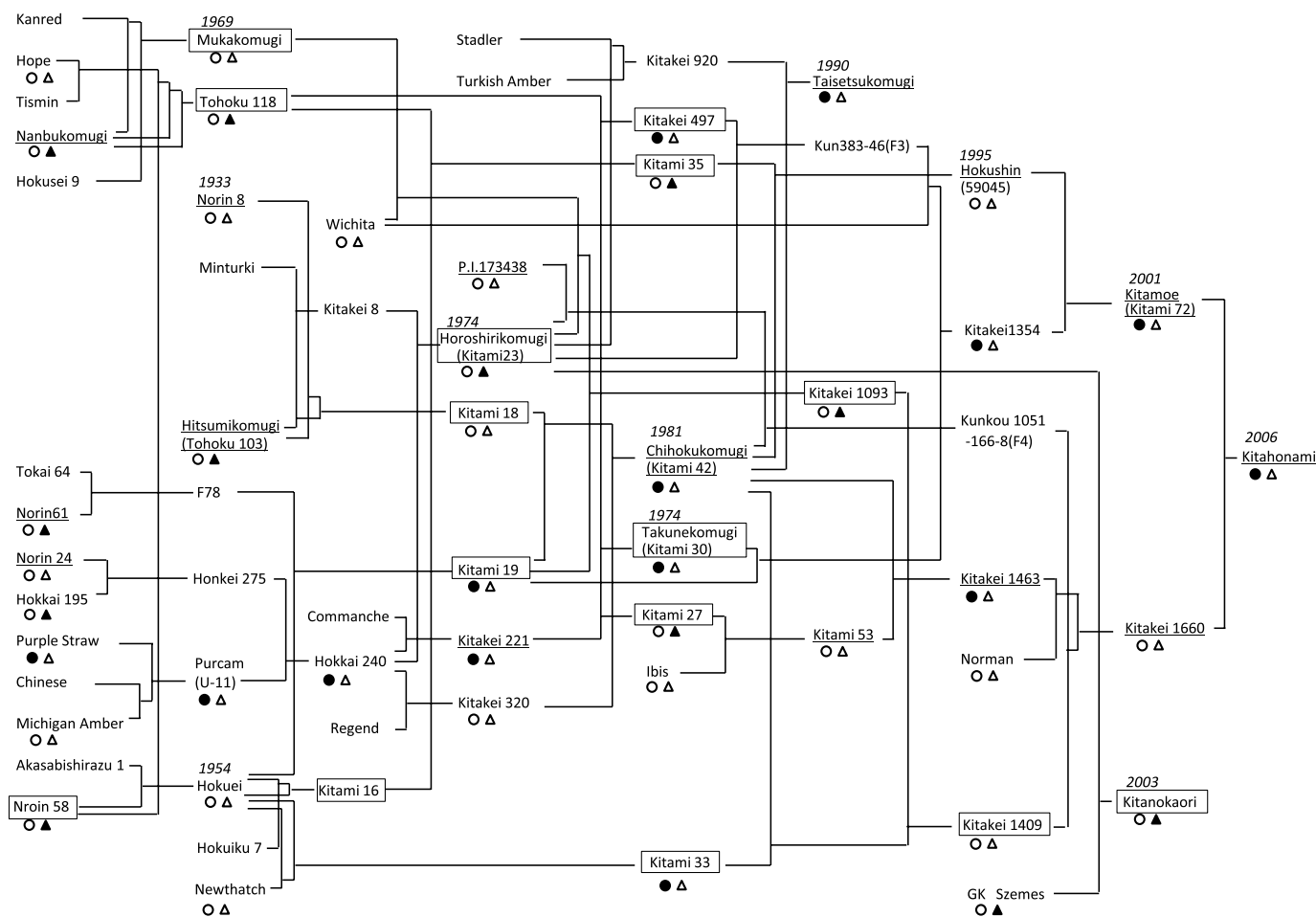


Fig. 7. *Ppd-1* genotypes of wheat cultivars in the pedigree of Hokkaido winter wheat

●:Carrier of *Ppd-A1a*. ○:Carrier of *Ppd-A1b*.
 ▲:Carrier of *Ppd-D1a*. △:Carrier of *Ppd-D1b*.

Cultivars with no symbols were not tested for genotyping of *Ppd-1*.

Some cultivars were tested for genotyping of *Pina* and *Pinb* using the method of ‘Marker assist selection in wheat’ project (<http://maswheat.ucdavis.edu/protocols/Hardness/index.htm>).

In a previous report, Japanese hard wheat cultivars were classified as one of three genotypes, *Pina-D1b/Pinb-D1a*, *Pina-D1a/Pinb-D1b* and *Pina-D1a/Pinb-D1c* (Ikeda et al. 2005). In this pedigree, cultivars enclosed rectangles were *Pina-D1a/Pinb-D1b* or *Pina-D1a/Pinb-D1c*, showing these cultivars hard wheat. Cultivars with underlines were not the three genotypes classified as Japanese hard wheat cultivars, suggested that these cultivars were soft wheat.

The year of registration is shown in italics.

3 Discussion

The combination of *Ppd-1* alleles is important for the control of photoperiod response and hence, for the fine tuning of heading time. The introduction of photoperiod-insensitive alleles of *Ppd-1* is indispensable for breeding early-heading wheat cultivars that enable stable wheat production in Japan. To investigate the *Ppd-1* genotypes of Japanese wheat cultivars using the Japanese cultivars, including 164 commercial cultivars, 22 landraces, and 54 breeding lines, the *Ppd-B1* and *Ppd-D1* genotypes were determined in Chapter II; the *Ppd-A1* genotype was analyzed in this chapter.

Most Tohoku-Kyushu cultivars (97.5%) carried *Ppd-D1a*; extra-early cultivars (5.0%) carried *Ppd-B1a* as reported in Chapter II. However, no cultivars carried *Ppd-A1a* (Table 7). In contrast, among Hokkaido cultivars, none of the cultivars carried *Ppd-B1a*, and the frequency of the *Ppd-A1a* and *Ppd-D1a* alleles generally differed between winter wheat and spring wheat. Among winter wheat cultivars, 41.4% and 24.1% carried *Ppd-A1a* and *Ppd-D1a*, respectively (Table 7). In contrast, in spring wheat cultivars, most (90%) did not carry photoperiod-insensitive alleles (Table 7).

As shown in a chapter II, in Tohoku-Kyushu cultivars, heading times differed depending on their *Ppd-1* genotypes, i.e., cultivars without photoperiod-insensitive alleles headed late, those with *Ppd-D1a* headed early to middle, while those with *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a* headed very early. Consequently, the importance of photoperiod response in controlling heading time was confirmed, indicating the possibility of adjusting the heading time by altering *Ppd-1* genotypes in the Tohoku-Kyushu region. In contrast, in Hokkaido cultivars, an effect of *Ppd-D1a* on heading time was not observed, indicating the involvement of other factors in controlling heading time. In this chapter, the heading date was investigated at Tsukuba in the Kanto region and at Kunneppu in the Hokkaido region using 23 Japanese cultivars and lines in the pedigree of 'Kitahonami'. The heading date was significantly different between the *Ppd-1* genotypes (Table 9), indicating acceleration of heading due to the photoperiod-insensitive alleles *Ppd-A1a* or *Ppd-D1a*, and the effect of *Ppd-1* was lower at Kunneppu than at Tsukuba (Table 9). According to Gotoh (1977), the effective day-length at the spike formation stage, two months before heading, is approximately 14 h in Hokkaido winter wheat and 15 h in Hokkaido spring wheat, while it is shorter (approximately 12 h) in the southwestern region, which includes Kanto. Based on these data, Gotoh (1977) suggested that photoperiod sensitivity is less important for the earliness of heading in the Hokkaido region compared to in the southwestern region that includes Kanto. Analysis of photoperiod-sensitive and -insensitive wheat cultivars clearly showed drastic heading time difference between two types under 8–12 h day-length, while the difference was small or negligible under 14–24 h day-length (Evans 1987, Klaimi and Qualset 1973, Ormrod 1963, Slafer and Rawson 1996). These results also support the conclusion of Gotoh (1977). In this study, effective day-length two months before heading of cultivars of the pedigree of 'Kitahonami' is approximately 14 h at Kunneppu and similar to that shown by Gotoh (1977) (Fig. 6A). Therefore, the regional difference in the day-length could explain the geographical difference of the effect of *Ppd-1* on the heading time.

Pedigree analysis of Hokkaido winter wheat cultivars suggested that *Ppd-D1a* in Hokkaido cultivars has been introduced from several Tohoku cultivars, among which 'Tohoku 118' is thought to be one of the donors (Fig. 7). In Hokkaido, artificial cross-breeding of wheat has been performed since 1919 to develop hard wheat cultivars. Tohoku cultivars were used as cross-parents as well as foreign cultivars, resulting in introduction of the *Ppd-D1a* allele. For *Ppd-A1a*, pedigree analysis showed that 'Hokkai 240' inherited the allele from a US wheat cultivar 'Purcam (U-11)', for which *Ppd-A1a* could be traced back to an old US cultivar 'Purple Straw' (Fig. 7). 'Hokkai 240', which is tolerance to leaf rust and lodging (Iriki et al. 1985), should have contributed to introduction of *Ppd-A1a* into Hokkaido cultivars. Since the 1980s, soft wheat cultivars suitable for the Japanese noodles have been developed in Hokkaido. Thereafter, no commercial cultivar with *Ppd-D1a* was developed except for 'Kitanokaori', a hard wheat cultivar for bread. 'Chihokukomu', a soft wheat cultivar with *Ppd-A1a*, was registered in 1981. This cultivar possessed high

quality for Japanese noodle and was frequently crossed in wheat breeding. The shift of breeding target from hard wheat to soft wheat was considered the turning point, and then the frequency of *Ppd-A1a* increased in Hokkaido cultivars.

Hokkaido cultivars carried insensitive alleles of *Ppd-1*, although the photoperiod-insensitive alleles have a less effect on heading time under long day conditions. A possible explanation would be the pleiotropic effects of *Ppd-D1a* detected under the growing conditions in Europe, high latitude area such as Hokkaido (Börner *et al.* 1993, Worland *et al.* 1988, Worland 1996). According to these reports, the *Ppd-D1a* allele reduced the number of spikelets per ear, resulting in increased spikelet fertility. These studies demonstrated that the photoperiod-insensitive allele *Ppd-D1a* is advantageous for increasing grain yield. The effect of *Ppd-1* on the growth pattern and grain yield in the Hokkaido region should be investigated to clarify the reason for higher frequency of photoperiod-insensitive alleles in recently developed Hokkaido cultivars. Another possibility could be the genetic linkage between *Ppd-1* and other genes. Tolerance to lodging and diseases, particularly leaf rust, has been one of the main targets since the beginning of wheat breeding in Hokkaido. According to the previous reports, the *Ppd-D1a* allele reduced the plant height independently of the semi-dwarf gene *Rht* (Börner *et al.* 1993, Worland *et al.* 1988). The possibility cannot be excluded that the introduction of the lodging tolerance from ‘Hokkai 240’ resulted in the introduction of *Ppd-A1a* into Hokkaido cultivars. On the contrary, there is no previous works showing close linkage between *Ppd-1* and genes for disease tolerance or flour quality, while some QTLs were reported on homoeologous group two chromosomes on which *Ppd-1* loci are located (Chhuneja *et al.* 2006, Roncallo *et al.* 2012, Watanabe *et al.* 2006). Additionally studies examining the relationship between *Ppd-1* and improvement of tolerance to lodging and diseases or flour qualities in wheat breeding will reveal details of *Ppd-A1a* introduction into Hokkaido cultivars.

In this study, no Tohoku-Kyushu cultivar carried *Ppd-A1a*. Cultivars carrying *Ppd-A1a* such as ‘Chihokukomugi’ and ‘Kitamoe’ have been used as cross parents in Tohoku-Kyushu wheat breeding; however, these cultivars carried genetic factors of late heading such as vernalization genes, so that only one cultivar, ‘Nebarigoshi’, was developed successfully in Tohoku. Introduction of *Ppd-A1a* into Tohoku-Kyushu cultivars has not been carried out so far. A photoperiod-insensitive allele *Ppd-A1a* analyzed in this study was first found by Nishida *et al.* (2013), and thus the effect of this allele on heading time has not been extensively investigated. According to Nishida *et al.* (2013), who analyzed the heading time of a DH population segregating for three *Ppd-1* genes, the *Ppd-A1a/Ppd-B1b/Ppd-D1b* genotype headed two days later in Okayama, Chugoku region, compared to the *Ppd-A1b/Ppd-B1a/Ppd-D1b* or the *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1a* genotypes, though the difference was not significant. Consistent with these data, our results demonstrate that cultivars carrying *Ppd-A1a* headed 2-3 days later in the Kanto region than those carrying *Ppd-D1a*, though the difference was insignificant (Table 9). Although early heading is important to avoid various damages in the rainy season, shorter growth periods generally result in lower grain yields; early-heading cultivars with early apical development and stem elongation are prone to frost injury (Hukumoto and Takahashi 1950, Taya 1993). Thus, heading characteristics must be adjusted for the stable production of wheat in each area. *Ppd-A1a* may be useful as a unique gene source for fine-tuning heading time in the Tohoku-Kyushu region. Nishida *et al.* (2013) developed DNA markers to determine *Ppd-A1* genotypes, making it possible to introduce *Ppd-A1a* into Tohoku-Kyushu cultivars by MAS.

However, the interaction between *Ppd-A1a* and other photoperiod-insensitive allele(s) is not clear. Furthermore, Eagles *et al.* (2010) indicated that the effect of *Ppd-D1a* depended on the genotype of vernalization genes. The additive effects and the interactions between *Ppd-1* genes and those between the *Ppd-1* and *Vrn-1* genes should be investigated to elucidate the usefulness of *Ppd-A1a*.

4 Summary

The *Ppd-A1* genotype of 240 Japanese wheat cultivars and 40 foreign cultivars was determined using a PCR-based method. Among Japanese cultivars, only 12 cultivars, all of which were Hokkaido winter wheat, carried the *Ppd-A1a* allele, while this allele was not found in Hokkaido spring wheat cultivars or Tohoku-Kyushu cultivars. Cultivars with a photoperiod-insensitive allele headed 6.9-9.8 days earlier in Kanto and 2.5 days earlier in Hokkaido compared to photoperiod-sensitive cultivars. The lower effect of photoperiod-insensitive alleles observed in Hokkaido could be due to the longer day-length at the spike formation stage compared with that in Kanto. Pedigree analysis showed that 'Purple Straw' and 'Tohoku 118' were one of the donor(s) of *Ppd-A1a* and *Ppd-D1a* in Hokkaido wheat cultivars, respectively. Wheat cultivars recently developed in Hokkaido carry photoperiod-insensitive alleles at a high frequency. For efficient utilization of *Ppd-1* alleles in the Hokkaido wheat-breeding program, the effect of *Ppd-1* on growth pattern and grain yield should be investigated. *Ppd-A1a* may be useful as a unique gene source for fine tuning of heading time in the Tohoku-Kyushu region since the effect of *Ppd-A1a* on photoperiod insensitivity appears to differ from the effect of *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a*.

IV Conclusion

Heading characteristics must be adjusted to the growing conditions in each area for the stable production of wheat. Heading time of wheat is a complex characteristic, determined by three factors: narrow-sense earliness (also termed earliness *per se*), vernalization response and photoperiod response (Kato and Yamashita 1991, Yasuda and Shimoyama 1965). Fine tuning of heading characteristics is achievable by combining these genetic factors in wheat breeding. Genotyping of wheat cultivars, established in each area, is one of the promising approaches for discerning the best combination of these genetic factors and would bring useful information for fine tuning of heading characteristics in breeding programs.

In this study, the *Ppd-1* genotypes of 240 Japanese wheat cultivars were examined and photoperiod-insensitive alleles of three *Ppd-1* genes were successfully detected. The distribution of photoperiod-insensitive alleles differed among *Ppd-1* genes, as well as among geographic areas (Table 2, Table 7, Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 5). Almost all cultivars in the Tohoku-Kyushu region carried the photoperiod-insensitive allele *Ppd-D1a* (Table 2, Table 7, and Fig. 1), and 10 cultivars including three commercial extra-early cultivars carried both *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a* (Table 2, Table 7, and Fig. 2), while no cultivars carried *Ppd-A1a* (Table 7 and Fig. 5). Of 29 winter wheat cultivars in the Hokkaido region, 12 cultivars carried *Ppd-A1a* (Table 7 and Fig. 5), and 7 cultivars carried *Ppd-D1a* (Table 2, Table 7, and Fig. 1), while no cultivars carried *Ppd-B1a* (Table 2, Table

7, and Fig. 2). Of 10 spring wheat cultivars in Hokkaido region, only one experimental line carried *Ppd-D1a* (Table 2, Table 7, and Fig. 1) and the other cultivars carried no photoperiod-insensitive alleles. The effect of *Ppd-1* alleles on heading time also differed between areas (Table 3, Table 4, and Table 9). In Tohoku-Kyushu region, wheat cultivars carrying the photoperiod-insensitive allele *Ppd-D1a* headed earlier by 10.3 days than did photoperiod-sensitive cultivars (Table 3), and *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype headed earlier by 6.7 days than did *Ppd-B1b/Ppd-D1a* genotype (Table 4). These results support the hypothesis that early-maturity wheat breeding in Japan has been accelerated by the introduction of *Ppd-B1a* (Tanio and Kato 2005). In the Hokkaido region, among wheat cultivars on the pedigree of 'Kitahonami', photoperiod-insensitive cultivars with *Ppd-A1a* or *Ppd-D1a* headed earlier by 2.5 days than did photoperiod-sensitive cultivars with no photoperiod-insensitive alleles, although the effect of these alleles was less than that in the Kanto region (Table 9). Gotoh (1977) suggested that the importance of photoperiod sensitivity for the earliness of heading is less in the Hokkaido region than in the Kanto region based on the day-length of two months before the wheat heading time, which is equivalent to the wheat spike formation stage, and 2-3 hours longer in the Hokkaido region than in the Kanto region. The geographical difference of distribution and effect of photoperiod-insensitive alleles in this study may be result from the difference of day-length of wheat apical specializing time.

Fujita (1997) indicated that photoperiod-insensitivity of 'Abukumawase' was traced to 'Chugoku 114', 'Chugoku 91' and 'Chugoku 81' on the pedigree. Hashimoto and Hirano (1963) mentioned that 'Chugoku 81' was one of the best cross parents for breeding early maturing wheat cultivars. By the pedigree analysis of extra-early cultivars in central to south-western regions of Japan, it was clearly demonstrated that the *Ppd-B1a* allele of three extra-early cultivars was inherited from 'Shir oboro 21' by these Chugoku lines (Fig. 4). The pedigree analysis in this study confirmed the adequacy of the above two reports. Three cultivars with *Ppd-B1a/Ppd-D1a* genotype are successfully established only in the Chugoku or Kyushu region. It was considered that such cultivars often suffered from late frost because of early stem elongation in eastern Japan where the daily minimum temperature was below freezing in the winter. Furthermore, heading time of extra-early cultivars is variable depending on winter temperature (Table 5), causing instability of grain yield. However, according to Fujita *et al.* (1995) and Seki *et al.* (2007) who compared heading time among spring- and winter-type NILs, heading time of extra-early cultivars can be stabilized by the introduction of adequate vernalization requirements.

Fujita (1997) also mentioned that photoperiod-insensitivity of the early cultivar 'Asakazeko mugi' was traced to 'Hiyokukomugi', 'Junreikomugi' and 'Norin 26'. Yoshida *et al.* (1983) also suggested that photoperiod-insensitivity of extra-early breeding lines 'Gokuwase 2' and 'Gokuwase 4-15' was inherited from 'Jessore'. However, none of these cultivars carried *Ppd-B1a* (Table 2, Fig. 4) and no cultivars in the Tohoku-Kyushu region carried *Ppd-A1a* (Table 7, Fig. 5). These results clearly indicated that heading time varied largely even among the Japanese wheat cultivars of *Ppd-A1b/Ppd-B1b/Ppd-D1a* genotype, suggesting that their heading time is affected by other photoperiod response genetic factor(s) such as the FT-like gene reported in barley (Kikuchi *et al.* 2009) and other photoperiod-insensitive allele(s) of *Ppd-1* like *Ppd-B1* allele of Chinese Spring (Law *et al.* 1978, Scarth and Law 1983).

A photoperiod-insensitive allele *Ppd-A1a* was first found in a Hokkaido cultivar 'Chihokukomu

gi' by Nishida *et al.* (2013), and no cultivars carried this allele in the Tohoku-Kyushu region (Table 7 and Fig. 5). According to Nishida *et al.* (2013), the effect of *Ppd-A1a* on photoperiod insensitivity was smaller than those of *Ppd-B1a* and *Ppd-D1a*. Therefore, *Ppd-A1a* may be useful as a unique gene source for fine tuning of heading time in the Tohoku-Kyushu region.

The *Ppd-1* genes have a strong effect on heading time and, thus, also affect the growth and yield of wheat cultivars, as reported by Börner *et al.* (1993), Foulkes *et al.* (2004) and Worland *et al.* (1988, 1998). However, as to the Japanese wheat cultivars, the effect of *Ppd-1* genes on growth and yield has not been investigated, although the effect of *Vrn-1* vernalization response genes on growth and yield in the south-western region of Japan was recently clarified (Seki *et al.* 2007). For the identification of the *Ppd-1* alleles which can be utilized for fine tuning of heading time in the south-western region of Japan, the effect of *Ppd-1* genes and interactions of *Ppd-1* genes and *Vrn-1* genes on growth and yield of the Japanese wheat cultivars should be investigated.

The significance of *Ppd-1* in Hokkaido region was also discussed. It was clarified that 'Purple Straw' and 'Tohoku 118' are one of the donor(s) of *Ppd-A1a* and *Ppd-D1a* respectively of Hokkaido wheat cultivars (Fig. 7). As mentioned above, the effect of these alleles on heading time in the Hokkaido region was less than in the Kanto region. Additionally, studies examining the relationship between *Ppd-1* and improved tolerance to lodging and diseases or flour qualities in wheat breeding, will reveal details of *Ppd-A1a* introduction into Hokkaido cultivars. Although the frequency of wheat cultivars carrying a photoperiod-insensitive allele is increasing in Hokkaido (Appendix Table, Fig. 7), the reason is unknown, and, thus, the effect of *Ppd-1* on growth and yield in Hokkaido should be also studied.

Although most of the Japanese spring wheat cultivars except those in the Hokkaido region have the same set of *Ppd-1* and *Vrn-1* genes, heading time varies largely between these cultivars. The variation of heading time could be partly explained by narrow-sense earliness, since it is also important for the control of heading time in Japanese wheat cultivars (Fujita 1997, Hashimoto and Hirano 1963, Kato and Wada 1999). The narrow-sense earliness genes (*Eps*: earliness per se genes) have been identified on different wheat chromosomes, and some of them have been mapped as QTLs for heading time (Kato *et al.* 2002, Kucheul *et al.* 2006, Scarth and Law 1984, Sourdille *et al.* 2000, Worland and Law 1986). The *Eps-A^m1* was mapped on chromosome 1AmL of diploid wheat *Triticum monococcum* L. (Lewis *et al.* 2008). Further advancement of molecular genetics of narrow-sense earliness should be expected and would make it possible to discuss the significance of this characteristic in Japanese wheat breeding.

Acknowledgements

I wish to express appreciation to

Professor Kenji Kato, Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, for continuous guidance and reviewing the manuscript of this dissertation,

Professor Makoto Tahara and Professor Yasutaka Kubo, Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, for reviewing the manuscript of this dissertation and for

valuable comments and criticisms,

Associate professor Hidetaka Nishida, Graduate School of Environmental and Life Science, Okayama University, for warm encouragement and for valuable suggestions,

Dr. Shunsuke Oda, NARO Institute of Crop Science, for warm encouragement throughout this work and for insightful comments and suggestions,

Dr. Masaya Fujita, NARO Institute of Crop Science, for warm encouragement throughout this work and for meticulous comments and suggestions,

Dr. Makiko Chono, NARO Institute of Crop Science, for training molecular techniques, for valuable suggestions and for warm encouragement throughout this work,

Dr. Hitoshi Matsunaka, NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, and Ms. Hisayo Kojima, NARO Institute of Crop Science, for sharing hard time throughout this work and for giving me informative data,

Dr. Chikako Kiribuchi-Otobe, NARO Institute of Crop Science, and Dr. Katashi Kubo, NARO Tohoku Agricultural Research Center, for their helpful advices and for warm encouragement,

Mr. Yasuhiro Yoshimura HRO, Agricultural Research Department Kitami Agricultural Experiment Station, Dr. Mikako Sato, Agricultural Research Department Central Agricultural Experiment Station, and Mr. Tsutomu Nishimura, HRO, Agricultural Research Department Kamikawa Agricultural Experiment Station, for examination of field at Kunneppu in Hokkaido and for giving me informative data,

Dr. Shozo Taya, for warm encouragement throughout this work and for valuable comments and suggestions,

Professor Hiroaki Yamauchi, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Dr. Yoshiaki Watanabe and Mr. Takashi Nagamine, NARO Agricultural Research Center, for warm encouragement for their helpful advices,

Dr. Hisao Eguchi, for valuable suggestions and for warm encouragement,

Mr. Soichi Suzuki, Mr. Tsutomu Yanagida, Mr. Masaki Yoshida and Mr. Kazuya Sato, Research Support Center of NARO Agricultural Research Center, for maintenance of test fields and for generous supports,

Ms. Chizuru Amemiya, Ms. Yasuyo Maki, Ms. Momoko Saito, Ms. Kimie Suzuki, Ms. Mika Someya and Ms. Akiko Yamase, for their helpful technical supports.

References

- Beales, J., A. Turner, S. Griffiths, J. W. Snape and D. A. Laurie (2007) A *Pseudo-Response Regulator* is misexpressed in the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* mutant of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.*, 115, 721-733.
- Börner, A., A. J. Worland, J. Plaschke, E. Schumann and C. N. Law (1993) Pleiotropic effect of genes for reduced height (*Rht*) and day length insensitivity (*Ppd*) on yield and its components for wheat grown in middle Europe. *Plant Breed.*, 111, 204-216.
- Chhuneja, P., S. Kaur, R. K. Goel and H.S. Dhaliwal (2006) Mapping of leaf rust and stripe rust

- resistance QTLs in bread wheat x synthetic RIL population under Indian field conditions. *Indian J. Crop Science*,1, 49-54.
- Eagles, H. A., K. Cane, H. Kuchel, G. J. Hollamby, N. Vallance, R. F. Easteed, N. N. Gororo and P. J. Martin (2010) Photoperiod and vernalization gene effects in southern Australian wheat. *Crop and Pasture Sci.*,61, 721-730.
- Eguchi, H., M. Shin and F. Hirokawa (1984) Cultural practices to produce high grain yield in early maturing wheat cultivars. *Bull. Chugoku Agr. Exp. Station*,A32, 17-34. (in Japanese with English summary).
- Evans,L.T (1987) Short day induction of inflorescence initiation in some winter wheat varieties. *Aust. J. Plant Physiol.*,14, 277-286.
- Foulkes, M.J.,R. Sylvester-Bradley, A. J. Worland and J. W. Snape (2004) Effects of a photoperiod-response gene *Ppd-D1* on yield potential and drought resistance in UK winter wheat. *Euphytica*,135, 63-73.
- Fu, D., P. Szűcs, L. Yan, M. Helguera, J. S. Skinner, J. Zitzewitz, P. M. Hayes and J. Dubcovsky (2005) Large deletion within the first intron in the *VRN-1* are associated with spring growth habit in barley and wheat. *Mol. Genet. Genomics*,273, 54-65.
- Fujita, M., Y. Taniguchi, K. Ujihara and A. Sasaki (1995) Ear primordia development and stem elongation of near-isogenic lines for vernalization requirement in extremely-early maturing wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Breed. Sci.*,45, 97-104 (in Japanese with English summary).
- Fujita, M. (1997) Studies on breeding of early maturing wheat cultivars with tiller frost avoidance. *Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.*,32, 1-50. (in Japanese with English summary).
- Fukunaga, K., and M. Inagaki (1985) Genealogical pedigrees of Japanese wheat cultivars. *Japan. J. Breed.*,35, 89-92 (in Japanese).
- Gonzalez, F. G., G. A. Slafer and D. J. Miralles (2005) Pre-anthesis development and number of fertile florets in wheat as affected by photoperiod sensitivity genes *Ppd-D1* and *Ppd-B1*. *Euphytica*,146, 253-269.
- Gotoh, T. (1976) Studies on varietal differences in vernalization requirement in wheat. *Jpn. J. Breed.*,26, 307-327 (in Japanese with English summary).
- Gotoh, T. (1977) Varietal differences in photoperiodic and thermal responses of wheat. *Jpn. J. Breed.*,27, 57-69 (in Japanese with English summary).
- Gotoh, T. (1979) Genetic studies on growth habit of some important spring wheat cultivars in Japan, with special reference to the identification of the spring genes involved. *Jpn. J. Breed.*,29, 133-145.
- Guo, Z., Y. Song, R. Zhou, Z. Ren and J. Jia (2010) Discovery, evaluation and distribution of haplotypes of the wheat *Ppd-D1* gene. *New Phytol.*,185, 841-851.
- Hashimoto, R., and J. Hirano (1963) Selection of parental materials for crosses in the early-maturity breeding program of wheat. (Part 3) Genetic studies on maturing date in F₂-F₅ generations. *Bull. Chugoku Natl. Agric. Exp. Stn.*,9, 31-61 (in Japanese with English summary).
- Hori, K., T. Kobayashi, A. Shimizu, K. Sato, K. Takeda and S. Kawasaki (2003) Efficient construction of high-density linkage map and its application to QTL analysis in barley. *Theor. Appl. Genet.*,107, 806-813.

- Hoshino, T., K. Kato and K. Ueno (2001) "Japanese Wheat Pool". The world wheat book, A history of wheat breeding. Bonjean, A. P. and W. J. Angus., eds. Paris, Lavoisier Publishing, 703-726.
- Hukumoto, T. and M. Takahashi (1950) About unusual warmth in winter and cold injury of wheat and barley in 1949. Bull. Nagano Agric. Exp. Stn.,10, 1-81 (in Japanese with English summary).
- Ikeda, T.M., N. Ohnishi, T. Nagamine, S. Oda, T. Hisatomi and H. Yano, (2005) Identification of new puroindoline genotypes and their relationship to flour texture among wheat cultivars. J. Cereal Sci.,41, 1-6.
- Inamura, H., I. Yamaga, K. Suzuki and M. Gokan (1958) Study on the breeding of early varieties cultivars of wheat and barley. (I.) Varietal differences of the early wheat and barley in the internode-elongation in relation to the death of young ear by frost damage in early spring. Bull. Kanto-Tozan Natl. Agric. Exp. Stn.,11, 20-28 (in Japanese with English summary).
- Iqbal, M., A. Shahzad and I. Ahmed (2011) Allelic variation at the *Vrn-A1*, *Vrn-B1*, *Vrn-D1*, *Vrn-B3* and *Ppd-D1a* loci of Pakistani spring wheat cultivars. Electron. J. Biotechnol.,14 (issue1), fulltext-6.
- Iriki, N., T. Kuwabara, S. Tabata and T. Kumagai (1985) Report of plant genetic resources in Hokkaido, Japan. Part 2. Misc. Publ. Hokkaido Natl. Agric. Exp. Stn.,27, 56-61.
- Iwaki, K., K. Nakagawa, H. Kuno and K. Kato (2000) Ecogeographical differentiation in east Asian wheat, revealed from the geographical variation of growth habit and *Vrn* genotype. Euphytica,111, 137-143.
- Japan Meteorological Agency (2014) Climate statistic
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>
- Kakizaki, Y. and S. Suzuki (1937) Studies on the physiology of earing in wheat. J. Imp. Agr. Exp. Stat.,3, 41-92 (in Japanese with English summary).
- Kato, K and H. Yamagata (1988) Method for evaluation of chilling requirement and narrow-sense earliness of wheat cultivars. Jpn. J. Breed.,38, 172-186.
- Kato, K and S. Yamashita (1991) Varietal variation in photoperiodic response, chilling requirement and narrow-sense earliness and their relation to heading time in wheat (*Triticum aestivum* L.). Jpn. J. Breed.,41, 475-484.
- Kato, K. and T. Wada (1999) Genetic analysis and selection experiment for narrow-sense earliness in wheat by using segregating hybrid progenies. Breed. Sci.,49, 233-238.
- Kato, K., H. Miura and S. Sawada (2002) Characterization of *Q Eet.ocs-5A.1*, a quantitative trait locus for ear emergence time on wheat chromosome 5AL. Plant Breed.,121, 389-393.
- Kikuchi, R., H. Kawahigashi, T. Ando, T. Tonooka and H. Handa (2009) Molecular and functional characterization of PEBP genes in barley reveal the diversification of their roles in flowering. Plant Physiol.,149, 1341-1353.
- Klaimi, Y. Y. and Qualset C. O (1973) Genetics of heading time in wheat (*Triticum aestivum* L.). I. The inheritance of photoperiodic response. Genetics,74, 139-156.
- Kuchel, H., G. Hollamby, P. Langridge, K. Williams and S. P. Jefferies (2006) Identification of genetic loci associated with ear-emergence in bread wheat. Theor. Appl. Genet.,113, 1103-1112.
- Law, C. N., J. Sutka and A. J. Worland (1978) A genetic study of day-length response in wheat. Heredity,41, 185-191.

- Lewis, S., M. E. Faricelli, M. L. Appendino, M. Valarik and J. Dobcovsky (2008) The chromosome region including the earliness per se locus *Eps-A^m1* affects the duration of early developmental phases and spikelet number in diploid wheat. *J. Exp. Bot.*,59, 3595-3607.
- Murray, M.G. and W.F. Thompson (1980) Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. *Nucleic Acids Res.*,8, 4321-4325.
- Nishida, H., T. Yoshida, K. Kawakami, M. Fujita, B. Long, Y. Akashi, D. A. Laurie and K. Kato (2013) Structural variation in the 5' upstream region of photoperiod-insensitive alleles *Ppd-A1a* and *Ppd-B1a* identified in hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.), and their effect on heading time. *Mol. Breed.*,31, 27-37.
- Nonaka, S., Y. Yoshida, S. Kitahara, M. Tsuru, S. Taya, H. Araki and H. Gocho (1979) A new wheat cultivar 'Asakaze-Komugi'. *Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.*,20, 221-237 (in Japanese with English summary).
- Nonaka, S., Y. Yoshida, S. Taya, H. Araki I. Yamaguchi, S. Kitahara, M. Tsuru, H. Gocho and E. Shinmoto (1987) A new wheat cultivar 'Nishikaze-Komugi'. *Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.*,24, 441-458 (in Japanese with English summary).
- Ormrod D. P. (1963) Photoperiodic sensitivity of head differentiation, culm elongation, and heading in some spring wheat and spring barley varieties. *Can. J. Plant Sci.*,43, 323-329.
- Roncillo, P. F., G. L. Cervigni, C. Jensen, R. Miranda, A. D. Carrera, M. Helguera and V. Echenique (2012) QTL analysis of main and epistatic effects for flour color traits in durum wheat. *Euphytica*,185, 77-92.
- Scarth, R. and C. N. Law (1983) The location of the photoperiod gene, *Ppd2* and an additional genetic factor for ear-emergence time on chromosome 2B of wheat. *Heredity*,51, 607-619.
- Scarth, R. and C. N. Law (1984) The control of the day-length response in wheat by the group 2 chromosomes. *Z. Pflanzenzüchtg.*,92, 140-150.
- Scarth, R., E. J. M. Kirby and C. N. Law (1985) Effects of the photoperiod genes *Ppd1* and *Ppd2* on growth and development of the shoot apex in wheat. *Ann. Bot.*,55, 351-359.
- Seki, M., S. Oda, H. Matsunaka, K. Hatta, M. Fujita, T. Hatano, C. Kiribuchi-Otobe, N. Kawada and K. Kato (2007) Growth and yield of near-isogenic wheat lines carrying different vernalization response genes. *Breed. Res.*,9, 125-133 (in Japanese with English summary).
- Seko, H., Y. Amano, S. Oda, K. Fukunaga, H. Maeda, T. Matsumoto, S. Miyakawa, A. Kuroda, T. Hoshino, M. Makita, T. Kuwabara and H. Yoshida (1997) A new wheat variety 'Bandowase'. *Bull. Natl. Agric. Res. Cent.*,27, 73-92 (in Japanese with English summary).
- Slafer G. A. and H. M. Rawson (1996) Responses to photoperiod change with phenophase and temperature during wheat development. *Field Crops Research*,46, 1-13.
- Sourdille, P., J. W. Snape, T. Cadalen, G. Charmet, N. Nakata, S. Bernard and M. Bernard (2000) Detection of QTLs for heading time and photoperiod response in wheat using a doubled-haploid population. *Genome*,43, 487-494.
- Sumida, T., H. Namitome, A. Eguchi, T. Kashio, T. Gotoh, N. Itakura, I. Tarumoto and H. Saitoh (1988) A new wheat variety 'Fukuwase-Komugi'. *Bull. Chugoku Natl. Agric. Exp. Stn.*,3, 1-30 (in Japanese with English summary).
- Sung, B. R., K. B. Youn, J. J. Hwang, H. S. Song, C. S. Park, W. S. Ahn, M. W. Park and S. Y. Lee (1987) A new early maturing, semi-dwarf, lodging resistance and good quality bread wheat

- variety “Tapdongmil”. Res. Rept. RDA (Crops),29, 154-158 (in Korean with English summary).
- Tanio, M., K. Kato, N. Ishikawa, Y. Tamura, M. Sato, H. Takagi and M. Matsuoka (2005) Genetic analysis of photoperiod response in wheat and its relation with the earliness of heading in the southwestern part of Japan. Breed. Sci.,55, 327-334.
- Tanio, M., K. Kato, N. Ishikawa, T. Tabiki, Z. Nishio, K. Nakamichi, Y. Tamura, M. Sato, H. Takagi and M. Matsuoka (2006) Effect of shuttle breeding with rapid generation advancement on heading traits of Japanese Wheat. Breed. Sci.,56, 311-320.
- Tanio, M. and K. Kato (2007) Development of near-isogenic lines for photoperiod-insensitive gene, *Ppd-B1* and *Ppd-D1*, carried by Japanese wheat cultivars and their effect on apical development. Breed. Sci.,57, 65-72.
- Taya, S. (1993) Breeding of early maturing wheat varieties with higher grain yield in southwestern regions of Japan. Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.,27, 333-398 (in Japanese with English summary).
- Taya, S., T. Tohnooka, M. Seki, M. Taira, T. Tsutsumi, K. Ujihara, A. Sasaki, R. Yoshikawa, M. Fujita, Y. Taniguchi and T. Ban (2003) New wheat cultivar “Iwainodaichi”. Bull. Natl. Agric. Res. Cent. Kyushu Okinawa Reg.,42, 1-18 (in Japanese with English summary).
- Turner, A., J. Beales, S. Faure, R. P. Dunford and D. A. Laurie (2005) The pseudo-response regulator *Ppd-H1* provides adaption to photoperiod in barley. Science,310, 1031-1034.
- Ujihara, K., S. Nonaka, R. Yoshikawa, S. Taya, M. Fujita, H. Araki, I. Yamaguchi and E. Shinmoto (1991) A new wheat cultivar ‘Daichinominori’. Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.,27, 81-99 (in Japanese with English summary).
- Ujihara, K., S. Nonaka, S. Taya, M. Fujita, H. Araki, R. Yoshikawa, S. Kitahara, Y. Yoshida, I. Yamaguchi, T. Kashio, Y. Taniguchi, E. Shinmoto and M. Tsuru (1994) A new wheat cultivar ‘Abukumawase’. Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.,28, 53-78 (in Japanese with English summary).
- Ujihara, K., M. Fujita, R. Yoshikawa, and Y. Taniguchi (1995) A new wheat cultivar ‘Chikugoizumi’. Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.,28, 195-217 (in Japanese with English summary).
- Watanabe N., A. S. M. G. M. Akond and M. M. Nachit. (2006) Genetic mapping of the gene affecting polyphenol oxidase activity in tetraploid durum wheat. J. Appl. Genet.,47, 201-205.
- Welsh, J. R., D. L. Keim, B. Pirasteh and R. D. Richards (1973) “Genetic control of photoperiod response in wheat”. Proc. 4th Int. Wheat Genet. Symp. Columbia, University of Missouri, 879-884.
- Worland, A. J. and C. N. Law (1986) Genetic analysis of Chromosome 2D of wheat. I. The location of genes affecting height, day-length insensitivity, hybrid dwarfism and yellow-rust resistance. Z. Pflanzenzüchtg, 96, 331-345.
- Worland, A. J., S. Petrovic and C. N. Law (1988) Genetic analysis of Chromosome 2D of wheat. II. The importance of this chromosome to Yugoslavian varieties. Plant Breeding, 100, 247-259.
- Worland, A. J. (1996) The influence of flowering time gene on environmental adaptability in European wheats. Euphytica, 89, 49-57.
- Worland, A. J., A. Börner, V. Korzun, W. M. Li, S. Petrovic and E. J. Sayers (1998) The influence of photoperiod genes on the adaptability of European winter wheat. Euphytica,100, 385-394.

- Yan, L., A. Loukoianov, G. Tranquilli, M. Helguera, T. Fahima and J. Dubcovsky (2003) Positional cloning of wheat vernalization gene *VRN1*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA.,100, 6263-6268.
- Yan, L., M. Helguera, K. Kato, S. Fukuyama, J. Sherman and J. Dubcovsky (2004) Allelic variation at the *VRN-1* promoter region in polyploid wheat. Theor. Appl. Genet.,109, 1677-1686.
- Yang, F. P., X. K. Zhang, X. C. Xia, D. A. Laurie, W. X. Yang and Z. H. He (2009) Distribution of the photoperiod insensitive *Ppd-D1a* allele in Chinese wheat cultivars. Euphytica,165, 445-452.
- Yasuda, S., and H. Shimoyama (1965) Analysis of internal factors influencing the heading time of wheat varieties. Ber. Ohara Inst. landw. Biol. Okayama U.,13, 23-38.
- Yoshida, H., M. Kamio and K. Kawaguchi (1983) "Evaluation of cultivars for early maturity in the Japanese wheat breeding." Proc. 6th Int. Wheat Genet. Symp. Kyoto, Kyoto University, 601-612.
- Yoshida, Y., S. Kitahara, M. Tsuru, T. Kiriyaama, H. Fukuoka and K. Yoshitomi (1973) A new wheat cultivar 'Sakigake-Komugi'. Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.,16, 593-604 (in Japanese with English summary).
- Yoshida, Y., S. Kitahara, M. Tsuru, H. Fukuoka, H. Gocho, T. Kashio and H. Araki (1975) A new wheat cultivar 'Gogatsu-Komugi'. Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.,18, 43-52 (in Japanese with English summary).
- Yoshida, Y., S. Kitahara, M. Tsuru, T. Kiriyaama, H. Fukuoka K. Yoshitomi, H. Gocho, T. Kashio and H. Araki (1977) A new wheat cultivar 'Shirogane-Komugi'. Bull. Kyushu Natl. Agric. Exp. Stn.,19, 1-12 (in Japanese with English summary).

Appendix Table. List of wheat cultivars tested.

A. Hokkaido cultivars

Cultivar		Registration year		<i>Ppd-1</i> genotype		
			Reference	<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-B1</i>	<i>Ppd-D1</i>
Winter Wheat						
Akakawa-aka	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 8	commercial cultivar	1933	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 62	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hokuei	commercial cultivar	1954	2	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Mukakomugi	commercial cultivar	1969	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Horoshirikomugi	commercial cultivar	1974	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Takunekomugi	commercial cultivar	1974	1	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Chihokukomugi	commercial cultivar	1981	1	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Taisetsukomugi	commercial cultivar	1990	1	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Hokushin	commercial cultivar	1995	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitamoe	commercial cultivar	2001	1	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitanokaori	commercial cultivar	2003	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kitahonami	commercial cultivar	2006	1	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Hokkai 195	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hokkai 240	breeding line			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitakei 221	breeding line			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitakei 320	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitakei 497	breeding line			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitakei 1093	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kitakei 1354	breeding line			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitakei 1409	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitakei 1463	breeding line			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitakei 1660	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitami 18	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitami 19	breeding line			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitami 27	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kitami 33	breeding line			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Kitami 35	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kitami 53	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Spring Wheat						
Norin 3	commercial cultivar	1930	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 29	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 35	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 75	commercial cultivar	1948	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Haruhikari	commercial cultivar	1965	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Haruminori	commercial cultivar	1969	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Haruyutaka	commercial cultivar	1985	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Harunoakebono	commercial cultivar	1994	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Haruhinode	commercial cultivar	2001	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
OS21-5	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

B. Tohoku cultivars

Cultivar		Registration year		<i>Ppd-I</i> genotype		
			Reference	<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-B1</i>	<i>Ppd-D1</i>
Furutsudaruma	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 1	commercial cultivar	1929	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 2	commercial cultivar	1929	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 6	commercial cultivar	1932	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 10	commercial cultivar	1935	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 14	commercial cultivar	1935	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 15	commercial cultivar	1935	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 17	commercial cultivar	1936	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 18	commercial cultivar	1936	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 22	commercial cultivar	1936	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 24	commercial cultivar	1937	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 27	commercial cultivar	1937	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 31	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 33	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 38	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norin 39	commercial cultivar	1939	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 40	commercial cultivar	1939	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 54	commercial cultivar	1943	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 55	commercial cultivar	1943	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 58	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 66	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Susonokomugi	commercial cultivar	1950	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Mutsubenkei	commercial cultivar	1950	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Aobakomugi	commercial cultivar	1951	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Nanbukomugi	commercial cultivar	1951	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Yukichabo	commercial cultivar	1952	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hikarikomugi	commercial cultivar	1952	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Myokokomugi	commercial cultivar	1952	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hitsumikomugi	commercial cultivar	1953	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kokeshikomugi	commercial cultivar	1953	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Okukomugi	commercial cultivar	1955	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Sakyukomugi	commercial cultivar	1956	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Furutsumasari	commercial cultivar	1956	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kitakamikomugi	commercial cultivar	1959	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shimofusakomugi	commercial cultivar	1963	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Miyaginokomugi	commercial cultivar	1964	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hachimankomugi	commercial cultivar	1973	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hanagasakomugi	commercial cultivar	1974	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Wakamatsukomugi	commercial cultivar	1982	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Koyukikomugi	commercial cultivar	1988	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Akitakko	commercial cultivar	1992	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Nebarigoshi	commercial cultivar	2001	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Haruibuki	commercial cultivar	2001	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Yukichikara	commercial cultivar	2002	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

B. Tohoku cultivars (continue)

Cultivar	Registraion year Reference	<i>Ppd-I</i> genotype		
		<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-B1</i>	<i>Ppd-D1</i>
Tohoku 71	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Tohoku 101	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Tohoku 118	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

C. Kanto and Tokai cultivars

Cultivar		Registration year		<i>Ppd-I</i> genotype		
			Reference	<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-B1</i>	<i>Ppd-D1</i>
Akabozu	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Akadaruma	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Akakomugi	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Igachikugo Oregon	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shiroboro 21	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Shirochabo	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shirodaruma	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shirosanjaku	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 7	commercial cultivar	1932	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 9	commercial cultivar	1935	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 12	commercial cultivar	1935	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 13	commercial cultivar	1935	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 16	commercial cultivar	1936	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 28	commercial cultivar	1937	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 30	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 41	commercial cultivar	1939	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 42	commercial cultivar	1939	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 44	commercial cultivar	1939	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 48	commercial cultivar	1942	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 50	commercial cultivar	1942	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 53	commercial cultivar	1943	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 57	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 64	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 67	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 68	commercial cultivar	1946	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 69	commercial cultivar	1946	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 70	commercial cultivar	1946	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Yuyakekomugi	commercial cultivar	1950	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Fujimikomugi	commercial cultivar	1960	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Mikunikomugi	commercial cultivar	1962	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Omasekomugi	commercial cultivar	1969	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Zenkojikomugi	commercial cultivar	1969	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kobushikomugi	commercial cultivar	1969	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Toyohokomugi	commercial cultivar	1975	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Fukuhokomugi	commercial cultivar	1979	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shiranekomugi	commercial cultivar	1986	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Airakomugi	commercial cultivar	1988	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Bandowase	commercial cultivar	1990	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shunyo	commercial cultivar	1995	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Ayahikari	commercial cultivar	2000	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kinuhime	commercial cultivar	2000	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kinunonami	commercial cultivar	2000	3	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kinuazuma	commercial cultivar	2001	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Yumeseiki	commercial cultivar	2001	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Tamaizumi	commercial cultivar	2002	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Fusetsu	commercial cultivar	2004	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

C. Kanto and Tokai cultivars (continue)

Cultivar	Registration year Reference	<i>Ppd-I</i> genotype		
		<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-B1</i>	<i>Ppd-D1</i>
Kankei w361	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kankei w364	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanto 101	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanto 107	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanto 66	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanto 79	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanto 82	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanto 87	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanto 95	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanto 99	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kitakanto 44	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kitakanto 48	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Konosu 4	breeding line	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Saitama 29	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Tosan 18	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Tosan 38(Yumeasahi)	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Tosan 40(Hanamanten)	breeding line	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

D. Kinki, Chugoku and Shikoku cultivars

Cultivar		Registration year		<i>Ppd-I</i> genotype		
			Reference	<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-B1</i>	<i>Ppd-D1</i>
Eshima	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Hirakikomugi	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hiroshimashipuree 3	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Sanin 1	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shinchunaga	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shinrikikomugi	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Yushoki 347	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 4	commercial cultivar	1931	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 11	commercial cultivar	1935	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 19	commercial cultivar	1936	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 21	commercial cultivar	1936	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 23	commercial cultivar	1936	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 25	commercial cultivar	1937	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 26	commercial cultivar	1937	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 32	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 37	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 43	commercial cultivar	1939	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 46	commercial cultivar	1940	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 47	commercial cultivar	1940	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 51	commercial cultivar	1943	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 52	commercial cultivar	1943	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 56	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 59	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 63	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 65	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 71	commercial cultivar	1948	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 72	commercial cultivar	1948	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 73	commercial cultivar	1948	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 74	commercial cultivar	1948	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Iyokomugi	commercial cultivar	1950	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Akatsukikomugi	commercial cultivar	1951	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shirasagikomugi	commercial cultivar	1956	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Junreikomugi	commercial cultivar	1957	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Ushiokomugi	commercial cultivar	1967	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Fukuwasekomugi	commercial cultivar	1983	1	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Sanukinoyume 2000	commercial cultivar	2000	4	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Fukusayaka	commercial cultivar	2002	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Chugoku 53	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Chugoku 55	breeding line			<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Chugoku 81	breeding line			<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Chugoku 91	breeding line			<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Chugoku 98	breeding line			<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Chugoku 114	breeding line			<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>

E. Kyushu cultivars

Cultivar	Reference	Registraion year		<i>Ppd-I</i> genotype		
				<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-B1</i>	<i>Ppd-D1</i>
Eshimashinriki	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hayakomugi	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Igachikugo	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shirokomugi	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Sojukuakage	Japanese landrace			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 5	commercial cultivar	1931	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 20	commercial cultivar	1936	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 34	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 36	commercial cultivar	1938	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 45	commercial cultivar	1940	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 49	commercial cultivar	1942	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 60	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Norin 61	commercial cultivar	1944	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hatamasari	commercial cultivar	1950	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Ebisukomugi	commercial cultivar	1952	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Yutakakomugi	commercial cultivar	1956	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Danchikomugi	commercial cultivar	1956	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hayatokomugi	commercial cultivar	1961	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Nichirinkomugi	commercial cultivar	1964	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hiyokukomugi	commercial cultivar	1969	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Sakigakekomugi	commercial cultivar	1972	1	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Shiroganekomugi	commercial cultivar	1974	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Gogatsukomugi	commercial cultivar	1974	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Setokomugi	commercial cultivar	1976	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Chikushikomugi	commercial cultivar	1977	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Shirowasekomugi	commercial cultivar	1977	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Asakazekomugi	commercial cultivar	1978	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Minaminokomugi	commercial cultivar	1979	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Nishikazekomugi	commercial cultivar	1984	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Daichinominori	commercial cultivar	1989	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Abukumawase	commercial cultivar	1992	1	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Kinuiroha	commercial cultivar	1994	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Chikugoizumi	commercial cultivar	1994	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Nishihonami	commercial cultivar	1995	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Iwainodaichi	commercial cultivar	2000	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Nishinokaori	commercial cultivar	2000	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Minaminokaori	commercial cultivar	2004	1	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Aki 9	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Chogokuwase	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Fukuokakomugi 18	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Gokuwase 2	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Gokuwase 4-15	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Saikai 77	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Saikai 87	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Saikai 95	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Saikai 98	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Saikai 104	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Saikai 113	breeding line			<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>

F. Foreign cultivars

Cultivar	Origin	<i>Ppd-I</i> genotype		
		<i>Ppd-A1</i>	<i>Ppd-B1</i>	<i>Ppd-D1</i>
Alsen	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Ardito	Italy	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Aroona	Australia	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Arrino	Australia	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
AUS1408	Australia	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Combine	Italy	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Corringin	Australia	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Creopatra	Mexico	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
D6899	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Dawson 1	Canada	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Eradu	Australia	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Geurumil	Korea	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
GK Szemes	Hungary	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Goshu 13	Australia	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Goshu 8	Australia	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Hope	GB	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
IA7873	Mexico	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Ibis	Nederland	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Jagger	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Jessore	Bangladesh	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Kanred	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
KS831957	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Martin	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Michigan Amber	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Newthatch	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Norman	GB	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Olgrumil	Korea	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Pampa INTA	Argentina	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
PI 173438	Turkey	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Purcam(U-11)	USA	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Purple Straw	USA	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Reeder	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Rieti	Italy	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Roblin	Canada	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Rosella	Australia	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>
Suweon235	Korea	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Tapdongmil	Korea	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>
Tordo	Mexico	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Victoria INTA	Argentina	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>a</i>
Wichita	USA	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>b</i>

References

1. Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council, MAFF, Japan (2011) List of cultivars MAFF accredited, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries of Japan, p.29-33.
2. Hokkaido Prefectural Agricultural Experiment Stations (1960) Varieties of field crops in Hokkaido. Misc. Pub. Hokkaido Prefect. Agric. Exp. Stn. 3: 26-27.
3. Takahashi T., A. Orimo, A. Narizuka, Y. Saito, M. Osawa and Y. Obuchi (2003) Breeding of new wheat variety 'Kinunonami'. Bull. Gunma Agr. Exp. Stn. 8: 1-7.
4. Honda Y., T. Ohta, T. Miki and S. Tada (2002) Breeding of new wheat cultivar 'Sanukinoyume 2000'. Bull. Kagawa Agric. Exp. Stn. 55: 1-8.

いもち病抵抗性遺伝子*Pi9*を導入したコシヒカリ準同質 遺伝子系統「コシヒカリ関東BL1号」の育成

常松浩史・安東郁男・根本 博^{*1}・春原嘉弘^{*2}・加藤 浩^{*1}・平林秀介・
竹内善信・前田英郎^{*3}・佐藤宏之^{*4}・田中淳一・池ヶ谷智仁^{*2}・太田久稔^{*5}・
石井卓朗・出田 収^{*6}・平山正賢^{*7}・杉田左江子^{*8}・安藤 露^{*1}・坂 紀邦^{*9}・
永吉嘉文^{*10}・安田伸子^{*3}・小林伸哉・後藤明俊・黒木 慎・井辺時雄^{*11}

抄 録

水稻品種「コシヒカリ関東BL1号」は、いもち病抵抗性遺伝子*Pi9*を国際判別品種「IRB L9-W」より「コシヒカリ」に導入したいもち病抵抗性の準同質遺伝子系統である。*Pi9*の導入には戻し交配といもち病の接種検定およびDNAマーカー選抜を併用した。2009年に地方番号「関東IL9号」を付与し、共同研究機関でも栽培試験を行い「コシヒカリ」の準同質遺伝子系統として問題のないことを確認した。2011年に新品種「コシヒカリ関東BL1号」として品種登録出願し、2014年3月に品種登録された。「コシヒカリ関東BL1号」の特徴は次のとおりである。

1. 形態的特性は、いずれも「コシヒカリ」と同等であり、両者を区別することはできない。
2. 生態的特性は、いもち病抵抗性を除いて「コシヒカリ」と同等か「コシヒカリ」並である。
3. いもち病抵抗性遺伝子は*Pi9*を保有する。*Pi9*が多くのいもち病菌に高度抵抗性を示すため、葉いもちと穂いもちの圃場抵抗性は評価が不可能で不明である。
4. 食味は「コシヒカリ」と同程度の極良食味である。

「コシヒカリ関東BL1号」はいもち病抵抗性遺伝子*Pi9*を持つ「コシヒカリ」の準同質遺伝子系統であり、「コシヒカリ」のマルチラインの構成品種として利用できる。

キーワード： 水稻、コシヒカリ、いもち病抵抗性、*Pi9*、準同質遺伝子系統、DNAマーカー、マルチライン、コシヒカリ関東BL1号

平成26年11月28日受付 平成27年2月4日受理

*1 現 農業生物資源研究所

*2 現 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

*3 現 農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター

- *4 現 農業・食品産業技術総合研究機構九州沖縄農業研究センター
- *5 現 農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター
- *6 現 農業・食品産業技術総合研究機構近畿中国四国農業研究センター
- *7 現 茨城県農業総合センター
- *8 現 香川大学農学部
- *9 現 愛知県農業総合試験場
- *10 現 宮崎県北諸県農林振興局
- *11 現 農業・食品産業技術総合研究機構

Breeding of “Koshihikari Kanto BL1”, a Near Isogenic Line of “Koshihikari” with Blast Resistance Gene *Pi9*

Hiroshi TSUNEMATSU, Ikuo ANDO, Hiroshi NEMOTO^{*1}, Yoshihiro SUNOHARA^{*2},
Hiroshi KATO^{*1}, Hideyuki HIRABAYASHI, Yoshinobu TAKEUCHI, Hideo MAEDA^{*3},
Hiroyuki SATO^{*4}, Junichi TANAKA, Tomohito IKEGAYA^{*2}, Hisatoshi OHTA^{*5},
Takuro ISHII, Osamu IDETA^{*6}, Masakata HIRAYAMA^{*7}, Saeko SUGITA^{*8},
Tsuyu ANDO^{*1}, Norikuni SAKA^{*9}, Yoshifumi NAGAYOSHI^{*10}, Nobuko YASUDA^{*3},
Nobuya KOBAYASHI, Akitoshi GOTO, Makoto KUROKI, Tokio IMBE^{*11}

Abstract

To improve the resistance of rice cultivar “Koshihikari” to blast, resistance gene *Pi9* was incorporated from “IRBL9-W”, an international blast resistance differential line, into “Koshihikari”. As a near isogenic line of “Koshihikari”, a selected line was designated as “KantoIL9” in 2009. Backcross breeding and DNA marker-assisted selection were employed to develop “KantoIL9”. Characterization of “KantoIL9” as an isogenic line of “Koshihikari” was performed as part of a collaborative observation program.

After confirmation of isogenicity with “Koshihikari”, “KantoIL9” was registered by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries as “Koshihikari Kanto BL1” in 2014. All morphological traits of “Koshihikari Kanto BL1” were almost the same as “Koshihikari”, and these two varieties are essentially indistinguishable. All physiological traits of “Koshihikari Kanto BL1” were the same as “Koshihikari” except for blast resistance caused by *Pi9*. In the presence of *Pi9*, the field resistance of leaf and neck blast of “Koshihikari Kanto BL1” was masked and could not be estimated. The eating quality of “Koshihikari Kanto BL1” was nearly equivalent as that of “Koshihikari”.

“Koshihikari Kanto BL1” is a near isogenic line of “Koshihikari” and can be used as a new blast resistance source in multiline cultivation of “Koshihikari”.

Key Words: rice, Koshihikari, blast resistance, *Pi9*, near isogenic line, DNA marker, multi lines, Koshihikari Kanto BL1

Accepted on February 4, 2015

^{*1} National Institute of Agrobiological Sciences

^{*2} NARO Hokkaido Agricultural Research Center

- *³ NARO Agricultural Research Center
- *⁴ NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center
- *⁵ NARO Tohoku Agricultural Research Center
- *⁶ NARO Western Region Agricultural Research Center
- *⁷ Ibaraki Agriculture Institute
- *⁸ Kagawa University Faculty of Agriculture
- *⁹ Aichi Agricultural Research Center
- *¹⁰ Miyazaki Kitamorokata Agricultural Community Development Bureau
- *¹¹ NARO Headquarters

I 緒 言

「コシヒカリ」は育成からすでに50年以上が経過しているが（農林認定品種1956；<http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/4010000100>）、その食味は消費者に高く評価され、日本では1979年から品種当たり最大の栽培面積を占めている（太田ら 2005；http://ineweb.narcc.affrc.go.jp/search/ine.cgi?action=fukyumenseki_menu、食糧統計年報2008；<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001065026>）。「コシヒカリ」はイネの重要病害のいもち病に弱く、その防除には殺菌剤の利用が欠かせない。しかし、消費者ニーズ、コスト削減および環境保全の観点から農薬の使用抑制が求められており、抵抗性遺伝子の有効活用によるいもち病防除技術が強く要望されている。

いもち病抵抗性育種では、かつて真性抵抗性遺伝子の導入とその抵抗性の崩壊を繰り返してきた。いもち病真性抵抗性遺伝子*Pik*を導入した「クサブエ」は1962年に富山県で奨励品種として普及されたが、いもち病菌の変異と密度の増大によりわずか3年で罹病化することとなった（沢崎・守田 1966）。青森県農業試験場で1979年に育成された「ハマアサヒ」は、4つのいもち病真性抵抗性遺伝子*Pia*、*Pii*、*Pik*、*Pib*を持ち奨励品種に採用されたが、1981年には作付地帯のほぼ全域で葉いもちが多発した（青森県農業試験場1982）。このような経験から真性抵抗性を単独もしくは集積して利用した場合でも、いもち病菌の病原性が容易に変異し、2-3年で発病を抑制できなくなることが明らかとなった。そこで真性抵抗性によるいもち病の抵抗性の付与は敬遠され、圃場抵抗性の導入が我が国のいもち病抵抗性育種の主流となった（東・赤間 1990）。

単一個体に真性抵抗性を集積するのではなく、いもち病抵抗性以外の一般形質が同質で互いに異なる真性抵抗性を持つ系統群（多系品種：マルチライン）は、真性抵抗性の最も有効な利用

法と期待されており（Johnson and Allen 1975）、イネいもち病においてもマルチラインの育成とその複数混合栽培による防除が試みられるようになった。

これまでに、いもち病真性抵抗性遺伝子を利用したマルチラインは、「日本晴」（東ら 1981、堀末ら1984）、「トヨニシキ」（中島 1994）、「ササニシキ」（松永 1996、佐々木ら2002）、「コシヒカリ」（Ishizaki *et al.* 2005、小島ら2003）を反復親として育成されており、いもち病に対する発病抑制効果が確認されている（進藤・堀野 1989、小泉1983a、小泉1983b、小泉・藤1994、小泉ら 1996）。中でも新潟県では2005年に「コシヒカリ」の大部分がマルチラインの「コシヒカリBL」へと移行した（新潟県コシヒカリBL；<http://www.pref.niigata.lg.jp/nosanengei/1204823747830.html>）。マルチライン栽培ではいもち病菌レースの変化に応じて抵抗性遺伝子の種類と割合を変化させるが、その選択枝が少なればスーパーレースの出現により、やがてマルチライン栽培自体が崩壊することが懸念される。既存のマルチライン品種の多くは、過去に導入し罹病化した経験のある真性抵抗性遺伝子で構成されていることから、マルチライン品種を構成する抵抗性遺伝子の多様化が喫緊の課題となっている。

いもち病真性抵抗性遺伝子*Pi9*はイネの野生種*Oryza minuta*に見いだされ、*O. sativa*に導入された（Amante-Bordeos *et al.* 1992）。*Pi9*は多くのいもち病菌系に抵抗性を示すことが報告されている（Liu *et al.* 2002、Telebanco-Yanoria *et al.* 2010、Qu *et al.* 2006）。日本では農業試験研究機関での抵抗性の検定以外に一般栽培品種への*Pi9*導入の報告は未だない。

以上のことから、*Pi9*を「コシヒカリ」に導入し「コシヒカリ」の準同質遺伝子系統を育成し「コシヒカリ」と比較することで*Pi9*の日本での詳細な特性を明らかにし、「コシヒカリ」の

マルチライン栽培で利用することを目的として「コシヒカリ関東BL1号」の育成を行った。「コシヒカリ関東BL1号」はいもち病真性抵抗性遺伝子*Pi9*を含む約1.9Mbの染色体断片を、戻し交配といもち病の接種検定およびDNAマーカー選抜により「コシヒカリ」に導入したいもち病抵抗性の準同質遺伝子系統である。2009年から「関東IL9号」の地方系統番号で共同研究先でも

栽培試験を行い「コシヒカリ」との同質性を確認した。2010年には各県の奨励品種決定調査にも供試し、その結果、「コシヒカリ」との同質性に問題はなく、いもち病抵抗性も確認されたことから、2011年に「コシヒカリ関東BL1号」の品種名で品種登録出願（出願番号：第25711号）を行った。

II 育成経過

1 来歴

「コシヒカリ関東BL1号」の系譜を図1に示す。「コシヒカリ関東BL1号」は、国際稲研究所（IRRI）育成のいもち病抵抗性国際判別品種

のうち*Pi9*を有する系統「IRBL9-W」（Kobayashi *et al* 2007）を一回親とし、「コシヒカリ」を反復親として、戻し交配といもち病接種検定およびDNAマーカー選抜により育成された系統である。「IRBL9-W」はIRRIより分譲を受けた。

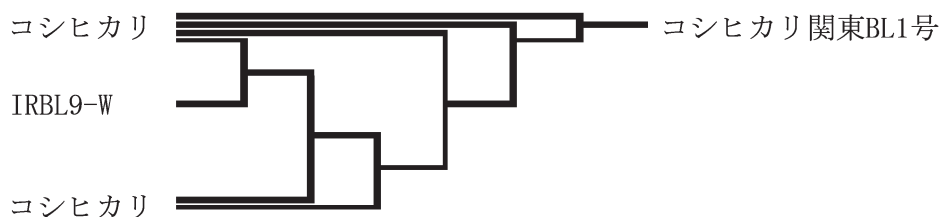


図1 「コシヒカリ関東BL1号」の系譜図

2 選抜経過

「コシヒカリ関東BL1号」の選抜経過を表1に示す。2004年に作物研究所において「コシヒカリ」を母、「IRBL9-W」を父とする人工交配を行った。以降、農林水産先端技術研究所（STAFF研）でDNAマーカーによる選抜を行い、その結果に基づき作物研究所で戻し交配を行った。2004年冬期に温室内でF₁を養成し「コシヒカリ」を戻し交配し、2005年にさらに「コシヒカリ」を戻し交配し、*Pi9*近傍のDNAマーカーで*Pi9*を含む染色体断片導入個体を選抜し、戻し交配を行った。2006年にさらに戻し交配とDNAマーカー選抜を行いBC₄F₁種子を得た。これらを養成し、

全ゲノムをカバーする96のSSRマーカーで遺伝子型調査を行い、抵抗性遺伝子領域をヘテロで持ちそれ以外の領域が「コシヒカリ」型に置換された1個体（07*Pi9*冬世26-2）を選抜し、戻し交配を行った。2007年にBC₅F₁を育苗し、いもち病菌レース033.1菌を接種し、抵抗性個体を圃場に移植した。その後圃場で諸形質を調査し、出穂期が「コシヒカリ」に近い1個体を選抜した。さらにその個体について、*Pi9*近傍の出穂期に関与する*Hd1*領域および全ゲノムのギャップ領域の22マーカーが「コシヒカリ」型に置換されていることを確認し、BC₅F₂を養成した。そのうち、*Pi9*近傍領域がホモになった14個体をDNAマーカーで選抜した（図2）。2008年にBC₅F₃系統を圃場栽培し、生育調査、葉いもち

検定および粒形調査を行った。

2009年、BC₅F₄世代より「和1850」の系統番号で生産力検定試験および特性検定試験に供試し、共同研究先の近畿中国四国農業研究センター（近中四農研）、愛知県農業総合試験場山間農業研究所（愛知山間）および宮崎県総合農業試験場（宮崎総農試）で生産力検定試験を行った。それらの成績にいもち病抵抗性と同質性に見通

しを得たことから「関東IL9号」の地方系統名を付し、関係府県の奨励品種決定調査に配付し、実用性を検討した。

2011年に雑種第6代で「コシヒカリ関東BL1号」の品種名で種苗法に基づく品種登録に出願し、2014年3月に登録された（登録日：2014年3月6日、登録番号：第23133号）。

表1 「コシヒカリ関東BL1号」の選抜経過

年次 世代	2004		2005		2006	2007	2008	2009	2010		
	交配	戻し交配・BC ₁ F ₁	戻し交配・BC ₂ F ₁	戻し交配・BC ₃ F ₁							
試験番号	関交04-5	04冬交配	BC ₂ F ₁ -7		コシヒカリ/ <i>Pi9</i> -1-4	コシヒカリ/07 <i>Pi9</i> 冬世26-2	07AN354	07 <i>Pi9</i> 冬世促	08AN303-316 (AN306)	4542-4546 (4542)	4521-4525 (4524)
栽植系統群数	99粒	8粒	242粒	55粒	32粒	46粒					
栽植系統数			68*	55*	5*	21* ¹⁾	56*	14	5	1	5
選抜系統数			21*	13*	3*	1*	14*	1	1	1	1

注) 試験番号の () 内は本系統である。*は個体数である。

1) いもち病接種検定で46個体から21個体に選抜

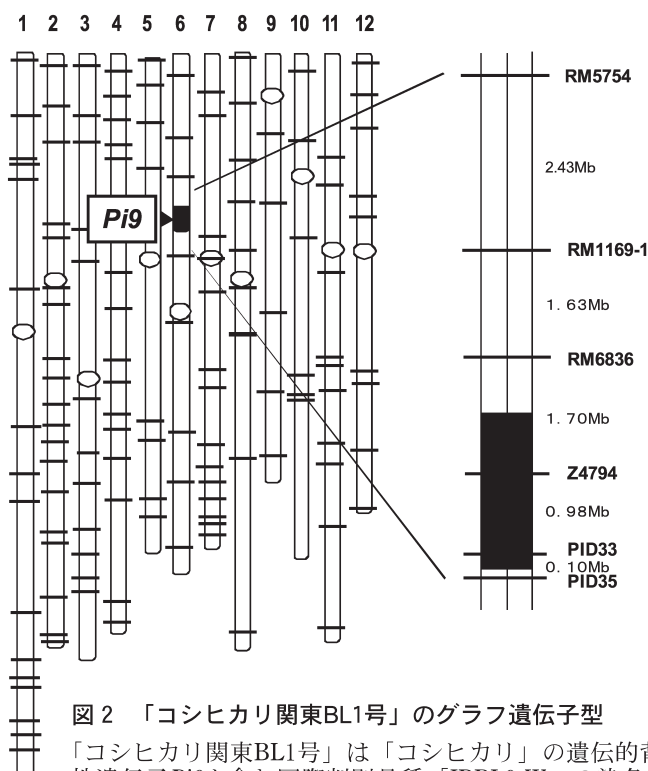


図2 「コシヒカリ関東BL1号」のグラフ遺伝子型

「コシヒカリ関東BL1号」は「コシヒカリ」の遺伝的背景にいもち病真性抵抗性遺伝子*Pi9*を含む国際判別品種「IRBL9-W」の染色体断片約1.9Mbを連続戻し交配により導入した。その他の部分はコシヒカリ型の品種である。白領域：コシヒカリ型、黒領域：IRBL9-W型

Ⅲ 特 性

1 形態的特性

「コシヒカリ関東BL1号」の稈の太さは“中”で稈質は“やや柔”である。“短”い芒を“先端のみ”に生じる。ふ先色は“白”でふ色は“黄白”である。粒着は“中”で、脱粒性は“難”である。以上、すべての形質において

「コシヒカリ関東BL1号」は、「コシヒカリ」と同じである（表2）。

育成地での早植栽培における稈長、穂長、穂数の値は「コシヒカリ」とほぼ同じで、特性分類は「コシヒカリ」と同じ稈長は“長”、穂長は“中”、穂数は“中”である。草型は“中間型”で「コシヒカリ」と同じである。（表3、写真1、写真2）。

表2 形態的特性調査成績

品 種 名	稈		芒		ふ先色	ふ色	粒着 密度	脱粒 難易
	細太	剛柔	分布	長短				
コシヒカリ関東BL1号	中	やや柔	先端のみ	短	白	黄白	中	難
コシヒカリ	中	やや柔	先端のみ	短	白	黄白	中	難

注) 作物研究所での2009・2010年の早期栽培による成績。

表3 生育調査成績

品 種 名	試験 年次	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 程度	紋枯	下葉 枯
コシヒカリ 関東BL1号	2009	8.07	9.17	101	19.3	332	6.5	2.0	5.0
	2010	8.04	9.07	89	19.9	289	5.0	2.0	5.0
	平均	8.06	9.12	95	19.6	311	5.8	2.0	5.0
コシヒカリ	2009	8.07	9.17	100	19.5	342	6.0	2.0	5.0
	2010	8.03	9.08	88	19.9	309	4.0	2.0	5.0
	平均	8.05	9.13	94	19.7	326	5.0	2.0	5.0

注) 倒伏:0(無)~9(全倒伏)までの達観判定。紋枯・下葉枯 0(無)~9(甚)までの達観判定



(左: コシヒカリ、
右: コシヒカリ関東BL1号)

写真1 育成地における「コシヒカリ
関東BL1号」の草姿



コシヒカリ コシヒカリ関東BL1号

写真2 育成地圃場における「コシヒカリ関東BL1号」の草姿

2 生態的特性

1) いもち病抵抗性

いもち病菌レースの幼苗噴霧接種の結果およびそのグラフ遺伝子型から、「コシヒカリ関東BL1号」はいもち病抵抗性遺伝子*Pi9*を有する(表4、表5、図2)。表4は*Pia*、*Pii*、*Pik*の推定が可能な4菌系を「コシヒカリ関東BL1号」に接種した結果であるが、いずれの菌系にも抵抗性を示した。さらに病原性の広い菌系の接種試験をした結果、「コシヒカリ関東BL1号」と「IRBL9-W」は接種したすべての菌系に抵抗性を示し、既知の真性抵抗性遺伝子とは明らかに反応が異なった(表5)。これらの結果とグラ

フ遺伝子型(図2)から総合的に判断して「コシヒカリ関東BL1号」は*Pi9*を保有すると結論した。表6に育成地と近中四農研における畑晩播法による葉いもち圃場抵抗性検定の結果を示す。「コシヒカリ」が従来どおり“弱”と判断されるのに対し、「コシヒカリ関東BL1号」は“極強”レベルであった。これは*Pi9*の抵抗性にマスクされていると判断されるので判定結果は“不明”とした。表7に育成地と近中四農研とにおける穂いもち圃場抵抗性検定の結果を示す。「コシヒカリ」が“弱”から“中”程度に評価されるのに対し、「コシヒカリ関東BL1号」は“極強”から“強”レベルであった。これも*Pi9*の抵抗性の存在下での評価であり、総合判定としては“不明”と評価した。「コシヒカリ

表4 育成地におけるいもち病真性抵抗性遺伝子の推定(2009年)

系統名 品種名	レース				推定 遺伝子型
	007	033	035	037	
コシヒカリ 関東BL1号	R	R	R	R	<i>Pi9</i> ¹⁾
コシヒカリ	S	S	S	S	+
新2号	S	S	S	S	+
愛知旭	S	S	R	S	<i>Pia</i>
藤坂5号	S	R	S	S	<i>Pii</i>
クサブエ	R	S	S	S	<i>Pik</i>

1) 導入した染色体領域から推定

表5 中央農業総合研究センターにおける病原性の広いいもち病日本菌系の接種試験成績(2009年)

いもち病 菌株名 (レース)	抵抗性 遺伝子	青92-06-2 (337.1)	Spr777.3 (777.3)	84R-62B (447)	TH87-06-1 (337.3)	TH2000-53 (037.7)	IW81-04 (437.1)	愛74-134 (477.1)	愛79-142 (037.3)
コシヒカリ 関東BL1号	<i>Pi9</i>	R	R	R	R	R	R	R	R
IRBL9-w	<i>Pi9</i>	R	R	R	R	R	R	R	R
コシヒカリ	+	S	S-M	S	S	S	S	S	S
新2号	+	S	S-M	S	S	S	S	S	S
愛知旭	<i>Pia</i>	S	S-M	S	S	S	S	S	S
石狩白毛	<i>Pii</i>	S	S-M	S	S-M	S	S-M	S-M	S
関東51号	<i>Pik</i>	S	S-M	R	S-M	S-M	S-M	S-M	S
ツユアケ	<i>Pik-m</i>	S-M	S	R	S	S	S-M	S	S
フクニシキ	<i>Piz</i>	R	S-M	S	R	R	R	S	R
ヤシロモチ	<i>Pi</i>	S	S-M	R-M	S-M	R	R	R	R
PiNo4	<i>Pita-2</i>	S-M	S-M	R	M	R	R	R	R
とりで1号	<i>Piz-t</i>	R	S-M	S	R	R	S-M	S-M	R
K60	<i>Pik-p</i>	S	S	R	S	S	S	S	S
BL1	<i>Pib</i>	R	S-M	R	S	S	R	R	S
K59	<i>Pi-t</i>	R	R	R	R	S	R	R	R

注)R：抵抗性、M：中度抵抗性、S：罹病性

関東BL1号」は*Pi9*を保有し、抵抗性を発現するために圃場抵抗性の評価が不可能で、圃場抵抗性は葉いもち (表6)、穂いもち (表7) ともに“不明”である。

表6 畑晩播法による葉いもち圃場抵抗性検定調査成績

品 種 名	いもち病 真性抵抗性 遺伝子	育 成 地				近中四農研センター				総合 判定
		2008		2009		2008		2009		
		発病程度	判定	発病程度	判定	発病程度	判定	発病程度	判定	
コシヒカリ関東BL1号	<i>Pi9</i>	0.3	-	0.0	-	0.0	-	0.2	-	不明
コシヒカリ	+	5.5	弱	5.3	弱	6.5	弱	3.8	中	弱
IRBL9-w (<i>Pi9</i>)	<i>Pi9</i>	0.9	-	-	-	-	-	-	-	不明
コシヒカリ愛知SBL	+(<i>Pbi</i>)	-	-	3.2	強	5.9	中	3.4	中	やや強
黄金錦	+	3.6	強	2.8	強	-	-	-	-	強
日本晴	+	3.5	強	4.3	中	-	-	-	-	中
農林29号	+	5.8	弱	5.6	弱	-	-	-	-	弱

注) 0 (無発病) ~10 (全葉枯死) の達観判定。

表7 穂いもち圃場抵抗性検定調査成績

品 種 名	いもち 真性抵抗性 遺伝子	育 成 地 (御前山現地)				近中四農研センター			
		2009		2010		2009		2010	
		発病程度	判定	発病程度	判定	発病程度	判定	発病程度	判定
コシヒカリ関東BL1号	<i>Pi9</i>	1.6	極強	0.0	極強	0.0	極強	3.0	強
コシヒカリ	+	7.3	弱	5.4	やや弱	3.8	中	8.2	弱
コシヒカリ愛知SBL	+(<i>Pbi</i>)	-	-	0.5	極強	1.5	強	3.4	強
キヌヒカリ	<i>Pii</i>	4.6	やや強	3.8	やや強	-	-	-	-
中部32号	+(<i>Pi34</i>)	0.6	極強	0.8	極強	-	-	-	-
チヨニシキ	<i>Pia</i>	3.6	強	2.5	強	-	-	-	-
トドロキワセ	<i>Pii</i>	4.5	やや強	3.5	強	-	-	-	-

注) 0 (罹病なし) ~10 (全穂首いもち) までの達観判定

2) 出穂特性

「コシヒカリ関東BL1号」の育成地での早植栽培における出穂期は“早生の晩”で、成熟期は“早生の晩”であり、いずれも「コシヒカリ」と同じである (表3)。

3) 耐倒伏性

耐倒伏性は「コシヒカリ」と同じ“弱”である (表3)。

4) 収量および品質特性

「コシヒカリ関東BL1号」の育成地での早植栽培における収量性は「コシヒカリ」と同程度である。玄米千粒重は「コシヒカリ」とほぼ同じである (表8)。玄米の外観品質は「コシヒカリ」とほぼ同じである (表8、写真3)。

表8 収量および品質調査成績

品 種 名	試験 年次	全重 (kg/a)	玄米重 (kg/a)	同左 比率 (%)	屑米重 歩合 (%)	玄 米								
						千粒重 (g)	総合 (1-9)	腹白 (0-9)	心白 (0-9)	乳白 (0-9)	背基白 (0-9)	光沢 (3-7)	色沢 (3-7)	粒揃 (1-9)
コシヒカリ 関東BL1号	2009	158.4	56.8	96	3.0	22.0	4.6	0.0	1.5	1.0	1.5	4.0	5.0	5.0
	2010	151.3	55.6	101	3.0	20.4	5.5	1.0	1.0	4.0	1.0	4.0	5.0	5.0
	平均	154.9	56.2	98	3.0	21.2	5.1	0.5	1.3	2.5	1.3	4.0	5.0	5.0
コシヒカリ	2009	172.0	59.4	100	1.3	22.1	4.5	0.0	1.5	1.0	1.5	4.0	5.0	5.0
	2010	154.6	55.3	100	2.0	19.9	5.3	1.0	1.0	3.5	1.5	4.0	5.0	5.0
	平均	163.3	57.4	100	1.7	21.0	4.9	0.5	1.3	2.3	1.5	4.0	5.0	5.0

注) 玄米品質の総合、粒揃は1(上上)~9(下下)、腹白、心白、乳白、背基白、は0(無)~9(甚)で評価
光沢、色沢は3(小)~7(大)で評価



コシヒカリ コシヒカリ関東BL1号

写真3 育成地における「コシヒカリ関東BL1号」の
 粳と玄米

5) 搗精および食味特性

「コシヒカリ関東BL1号」の搗精時間は「コシヒカリ」並である。適搗精時搗精歩留まり、

白度および胚芽残存歩合は「コシヒカリ」と同程度である(表9)。

「コシヒカリ関東BL1号」のアミロース含有率およびタンパク質含有率は「コシヒカリ」とほぼ同等である(表10)。「コシヒカリ関東BL1号」の炊飯米の食味は「コシヒカリ」とほぼ同等である(表11)。

6) いもち病以外の病害抵抗性、穂発芽性および耐冷性

「コシヒカリ関東BL1号」の縞葉枯病抵抗性は、そのグラフ遺伝子型より「コシヒカリ」と同じ“罹病性”と推定される。白葉枯病抵抗性は育成地の結果から「コシヒカリ」と同じく“中”である(表12)。

「コシヒカリ関東BL1号」の穂発芽性は「コシヒカリ」と同じく“難”である(表13)。障害型耐冷性は育成地の結果から「コシヒカリ」と同じく“極強”である(表14)。

表9 搗精試験調査成績(2010年)

品種名	搗精歩合 (%)	玄米水分 (%)	玄米白度	搗精時間			
				15秒	20秒	25秒	30秒
コシヒカリ 関東BL1号	搗精歩合 (%)			93.0	91.7	91.1	90.5
	白度	14.4	23.9	34.8	38.3	40.3	41.8
	胚芽残存歩合 (%)			18.5	7.8	5.3	2.3
コシヒカリ	搗精歩合 (%)			92.8	91.5	90.8	90.3
	白度	14.3	24.4	35.6	38.5	40.7	41.8
	胚芽残存歩合 (%)			11.5	7.8	4.5	2.0

注) 搗精はKett、TP-2型搗精機を使用。玄米50g、2反復。
 白度の測定には、KettC-300を使用。
 胚芽残存歩合は、1試験区400粒程度を調査。
 □は適搗精を示す。

表10 アミロースおよびタンパク質含有率

品種名	アミロース含有率 (%)			タンパク質含有率 (%)		
	2009	2010	平均	2009	2010	平均
コシヒカリ 関東BL1号	17.5	15.9	16.7	6.6	5.7	6.2
コシヒカリ	17.5	16.1	16.8	6.2	6.7	6.5

注) アミロースは比色法による測定
 タンパク質は燃焼法による測定

表11 炊飯米食味官能試験調査成績

品 種 名	官 能 評 価 試 験 平 均 値					試験日時 基準品種
	総合評価	外観	うま味	粘り	硬さ	
コシヒカリ関東BL1号	0.11	0.11	0.17	0.44 **	-0.11	2009. 12. 14 コシヒカリ (食味)
コシヒカリ	0.00	0.11	0.06	0.22	0.06	
月の光	-1.94 **	-1.67 **	-1.56 **	-1.11 **	1.11 **	
コシヒカリ関東BL1号	0.04	0.00	0.13	0.04	0.00	2009. 12. 24 コシヒカリ (食味)
コシヒカリ	0.30 *	0.04	0.17	0.17	-0.22	
月の光	-1.83 **	-1.61 **	-1.35 **	-1.70 **	0.74 *	
コシヒカリ関東BL1号	-0.08	0.00	-0.17	-0.21	0.17	2010. 2. 18 コシヒカリ (食味)
コシヒカリ	-0.17	0.00	-0.13	-0.13	0.63 **	
月の光	-1.92 **	-1.46 **	-1.54 **	-1.50 **	0.88 **	
コシヒカリ関東BL1号	-0.39 *	-0.39 *	-0.17	0.22	0.11	2010. 12. 9 コシヒカリ (食味)
コシヒカリ	-0.39	0.06	-0.17	-0.11	-0.44	
月の光	-1.89 **	-1.83 **	-1.50 **	-1.33 **	0.56	
コシヒカリ関東BL1号	0.33 *	0.13	0.33 *	0.53 **	-0.27	2011. 12. 6 コシヒカリ (食味)
コシヒカリ	0.00	0.07	0.13	0.27	-0.27	
月の光	-2.07 **	-1.80 **	-1.80 **	-1.47 **	1.07 **	
コシヒカリ関東BL1号	-0.28	0.00	-0.33	-0.17	0.28	2012. 12. 7 コシヒカリ (食味)
コシヒカリ	0.06	0.00	0.00	0.00	0.17	
月の光	-2.00 **	-1.83 **	-1.61 **	-1.67 **	1.22 **	
コシヒカリ関東BL1号	-0.47 **	-0.13	-0.33 *	-0.07	0.00	2013. 12. 3 コシヒカリ (食味)
コシヒカリ	-0.53 **	-0.20	-0.40	-0.33	0.07	
月の光	-2.33 **	-1.67 **	-1.73 **	-1.53 **	1.20 **	

注) **, *はそれぞれ1%、5%水準で基準品種と有意差あり
ブラインド基準品種(コシヒカリ(食味))との差による補正

表12 白葉枯病抵抗性検定調査成績

品 種 名	2009		2010	
	発病程度	判定	発病程度	判定
コシヒカリ関東BL1号	6.3	弱	6.0	中
コシヒカリ	5.3	やや弱	6.0	中
コシヒカリ愛知SBL	5.2	やや弱	6.0	中
日本晴	2.6	やや強	2.9	強

注) 0 (無発病) ~9 (全葉枯死) の達観判定
II群菌を剪葉接種

表13 穂発芽性検定調査成績

品 種 名	育成地				近中四農研			
	2009		2010		2009		2010	
	発芽程度	判定	発芽程度	判定	発芽程度	判定	発芽程度	判定
コシヒカリ 関東BL1号	3.0	難	3.0	難	2.0	難	3.0	難
コシヒカリ	3.0	難	3.0	難	1.7	難	3.0	難

注) 成熟期に収穫した切り穂を28℃、7日間処理
2 (極難) ~8 (極易) の7段階で達観評価

表14 障害型耐冷性検定調査成績（2010年）

品 種 名	出穂期 (月日)	不稔程度 (0~10)	判定
コシヒカリ関東BL1号	8.24	1.6	極強
コシヒカリ	8.24	1.9	極強
キヌヒカリ	8.24	6.9	中
ミネアサヒ	8.22	8.4	中
月の光	9.01	9.8	弱

注) 恒温水槽による検定。水温19℃、水深20cm。

1系統当たり中庸な5個体(5穂)を採取し調査。2反復。

不稔程度は0~100%を0~10までのランクで表した。

IV 共同研究先における試験成績

「コシヒカリ関東BL1号」は2009年に愛知山間で、2009年と2010年に近中四農研および宮崎総農試の3試験地で生産力検定試験を実施した(表15)。近中四農研および宮崎総農試では「コ

シヒカリ関東BL1号」は「コシヒカリ」とほぼ同じ成績を記録し、両品種の同質性には問題がないことが確認された。これに対し、愛知山間では「コシヒカリ」の玄米重48.5kg/aに対し

表15 共同研究先における生産力検定試験成績

試験年次	試験地	品 種 名	作 期	施 肥	出穂期 (月日)	成熟期 (月日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/m ²)	倒伏 程度
2009	近中四農研	コシヒカリ 関東BL1号	普通期	標肥	8.05	9.18	100	20.3	379	4.0
		コシヒカリ	普通期	標肥	8.05	9.18	101	20.4	388	3.5
2009	愛知山間	コシヒカリ 関東BL1号	早植	標肥	8.01	9.04	82	15.8	425	2.0
		コシヒカリ	早植	標肥	7.30	9.04	84	17.6	396	1.8
2009	宮崎総農試	コシヒカリ 関東BL1号	早植	標肥	6.22	7.25	79	18.7	465	0.5
		コシヒカリ	早植	標肥	6.22	7.25	76	19.0	438	3.0
2010	近中四農研	コシヒカリ 関東BL1号	普通期	標肥	8.06	9.12	91	21.1	293	2.0
		コシヒカリ	普通期	標肥	8.06	9.12	90	20.8	333	2.0
2010	宮崎総農試	コシヒカリ 関東BL1号	早植	標肥	7.01	8.04	86	19.0	408	1.0
		コシヒカリ	早植	標肥	6.30	8.04	87	19.3	436	0.5

試験年次	試験地	品 種 名	作 期	施 肥	いもち病	紋 枯	下 葉 枯	全 重 (kg/a)	玄米重 (kg/a)	同左 比率 (%)	屑米重 歩合 (%)	玄米	
												千粒重 (g)	品質 (1-9)
2009	近中四農研	コシヒカリ 関東BL1号	普通期	標肥	極強	0.0	5.0	154.0	54.2	100	-	21.4	5.0
		コシヒカリ	普通期	標肥	弱	0.0	5.0	156.9	54.2	100	-	20.9	4.8
2009	愛知山間	コシヒカリ 関東BL1号	早植	標肥	強	-	-	123.9	60.8	125	-	22.5	4.0
		コシヒカリ	早植	標肥	弱	-	-	117.5	48.5	100	-	22.7	5.0
2009	宮崎総農試	コシヒカリ 関東BL1号	早植	標肥	強	1.0	1.0	147.7	62.7	101	3.8	20.9	4.2
		コシヒカリ	早植	標肥	弱	1.5	1.0	148.5	62.4	100	3.5	20.9	4.2
2010	近中四農研	コシヒカリ 関東BL1号	普通期	標肥	強	0.0	6.0	148.8	54.2	100	-	22.0	4.8
		コシヒカリ	普通期	標肥	弱~中	0.0	6.0	150.6	54.3	100	-	21.7	5.3
2010	宮崎総農試	コシヒカリ 関東BL1号	早植	標肥	極強	0.0	2.0	140.6	60.6	105	3.5	20.4	4.5
		コシヒカリ	早植	標肥	弱	0.0	1.0	138.6	57.9	100	1.9	20.9	4.1

注) 近中四農研：近畿中国四国農業研究センター
 愛知山間：愛知県農業総合試験場山間農業研究所
 宮崎総農試：宮崎県総合農業試験場

「コシヒカリ関東BL1号」は60.8kg/aであり、両品種間には明確な差があった。また、「コシヒカリ」の玄米品質5.0に対し「コシヒカリ関東BL1号」は4.0であった。これは2009年に愛知山間の試験圃場ではいもち病が多発したために、いもち病に感受性の「コシヒカリ」が減収し、

また、玄米品質が低下したためと考えられる。

このことから愛知山間での両品種の差はいもち病抵抗性の差であると推定される。これらの共同研究結果を総合的に判断し、両品種の同質性には問題はないと結論づけた。

V 配布先における試験成績

「コシヒカリ関東BL1号」は2010年に8県9試験地で奨励品種決定調査に供試された(表16)。対照品種は「コシヒカリ」である。両品種の同質性でみると、良くそろって高い同質性を示す試験地がある一方で、少しばらつきがあり必ず

しも高い同質性を示さない試験地もあった。愛知山間では「コシヒカリ関東BL1号」は「コシヒカリ」に対し明らかに高い玄米収量を示した。これは愛知山間での2009年の生産力検定試験と同様で、試験圃場でいもち病の発生があり「コ

表16 奨励品種決定調査試験成績 (2010年)

試験地	栽培様式		品種名	移植期 (月.日)	出穂期 (月.日)	成熟期 (月.日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/ m ²)	全重 (kg/a)	玄米 収量 (kg/a)	玄米 収量 比率 (%)	玄米 千粒 重 (g)	玄米 品質 (1~9)	倒伏 程度 (0~5)
	作期	施肥 水準													
茨城	早植	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	5.12	8.03	9.12	90	21.6	386	167	67.3	109	23.2	6.0	2.3
			コシヒカリ	5.12	7.31	9.07	90	21.6	381	163	62.0	100	22.9	5.5	1.0
竜ヶ崎	早期	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	4.28	7.27	8.29	92	18.7	482	172	58.2	100	21.1	6.3	1.3
			コシヒカリ	4.28	7.24	8.29	91	18.5	478	170	58.4	100	21.0	6.0	1.0
北総	早期	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	4.26	7.26	9.02	95	20.0	389	173	60.5	92	19.5	6.0	2.5
			コシヒカリ	4.26	7.25	9.01	96	19.4	402	171	65.5	100	19.8	6.0	3.0
神奈川	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	6.08	8.08	9.17	89	18.9	362	153	60.2	102	22.6	4.0	3.0
			コシヒカリ	6.08	8.08	9.19	88	19.4	331	169	58.8	100	20.4	5.0	3.0
新潟	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	5.19	8.04	9.11	95	18.9	386	157	60.9	101	23.0	5.5	4.0
			コシヒカリ	5.19	8.03	9.11	96	19.2	390	156	60.4	100	22.4	5.3	4.0
富山	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	5.12	8.03	9.10	84	19.4	377	152	60.4	101	22.8	5.5	2.8
			コシヒカリ	5.12	8.03	9.10	81	19.8	354	157	59.9	100	22.6	4.0	1.3
石川	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	5.11	8.05	9.11	101	21.7	362	172	58.1	102	22.2	3.8	2.5
			コシヒカリ	5.11	8.05	9.09	100	20.4	374	169	56.8	100	22.0	3.3	2.8
長野	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	5.20	8.04	9.13	101	19.6	468	207	69.0	95	22.8	4.0	3.0
			コシヒカリ	5.20	8.04	9.12	102	18.6	547	221	72.6	100	21.0	5.0	3.0
愛知山間	早植	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	5.17	8.01	9.09	88	20.1	452		69.2	113	23.9	4.5	1.5
			コシヒカリ	5.17	7.31	9.05	81	19.4	497	125	60.9	100	24.5	4.3	2.5

注) 茨城：茨城県農業総合センター農業研究所
 竜ヶ崎：茨城県農業総合センター水田利用研究室
 北総：千葉県農業総合研究センター水田利用研究室
 神奈川：神奈川県農業技術センター
 新潟：新潟県農業総合研究所
 富山：富山県農林水産総合技術センター
 石川：石川県農林総合研究センター
 長野：長野県農業試験場
 愛知山間：愛知県農業総合試験場山間農業研究所

表16 奨励品種決定調査試験成績（続き）

試験地	栽培様式		品種名	葉いもち (0~5)	穂いもち (0~5)	白葉枯病 (0~5)	縹葉枯病 (0~5)	冷害 (0~5)	有望度	有利形質		不利形質				
	作期	施肥 水準								1	2	1	2	3	4	
茨城	早植	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	0.0	0.0				×	収量		心白	食味	背白	倒伏	
			コシヒカリ	0.0	0.0											
竜ヶ崎	早期	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	0.0	0.0		0.7		△			品質				
			コシヒカリ	0.0	0.0		0.8									
北総	早期	標肥	コシヒカリ 関東BL1号		0.0				×	食味		乳白	背白	粒大		
			コシヒカリ		1.0											
神奈川	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号 コシヒカリ						×							
新潟	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	0.0	0.0				○			倒伏				
			コシヒカリ	0.0	0.0											
富山	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	0.5	0.0				×			倒伏				
			コシヒカリ	0.0	0.0											
石川	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	0.0	0.0				△	穂発芽		倒伏				
			コシヒカリ	0.0	0.0											
長野	普通	標肥	コシヒカリ 関東BL1号	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	△×			稈長	倒伏			
			コシヒカリ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0								
愛山間	早植	標肥	コシヒカリ 関東BL1号		0.0		0.0		△	いもち病	収量					
			コシヒカリ		1.0		0.0									

シヒカリ関東BL1号」が「コシヒカリ」よりもいもち病に強かったために玄米収量に差がついたと考えられる。

富山県農林水産総合技術センター農業試験場では「コシヒカリ関東BL1号」は「コシヒカリ」に対し、やや稈長が高く、やや全重が低く、倒

伏がやや多かったが、1年で打ち切りとなったこともあり、その理由は明確ではない。

奨励品種決定調査を行った中では、新潟県農業総合研究所作物研究センターで「コシヒカリ関東BL1号」はやや有望と評価された。

VI 考 察

「コシヒカリ関東BL1号」に導入された*Pi9*は近縁野生種*Oryza minuta*に見いだされたいもち病抵抗性遺伝子で、これまでに日本においてこの遺伝子を導入した品種の栽培事例が無く、いもちの発病抑制に有効であると考えられる。*Pi9*は広範な菌に抵抗性を示す抵抗性遺伝子として報告されたが、海外では*Pi9*を侵す菌の存在が既に報告されていること (Qu *et al.* 2006) から、*Pi9*を侵す菌が日本でも出現することが予想される。従って「コシヒカリ関東BL1号」が有する*Pi9*については、これまでに日本の一

般品種に導入したことの無い真性抵抗性遺伝子として取り扱うほうがリスクは少ない。よって本品種を単独で「コシヒカリ」に代替することはせず、「コシヒカリ」のいもち病抵抗性のマルチライン構成品種としての利用をまず考えるべきである。「コシヒカリ関東BL1号」はいもち病抵抗性を除いた主要形質は「コシヒカリ」と同等と考えられていることから、「コシヒカリBL」のマルチライン栽培を実施・検討している地域での利用が望まれる。

また今後、レースの変化に柔軟に対応するた

めには、さらに抵抗性遺伝子を探索して有効なマルチライン系統を追加育成する必要がある。その際、本品種育成でも用いたDNAマーカー育種は、育種の効率化および遺伝的な同質性の証明に極めて有用である。

また、真性抵抗性をレース非特異的な抵抗性と組み合わせ利用することも有効な手法である。近年、レース非特異的な抵抗性とされる *pi21*

(Fukuoka *et al.* 2009) や *Pb1* (Hayashi *et al.* 2010) が単離同定され、DNAマーカー選抜が可能となっている。特に *Pb1* はレース非特異的な穂もち抵抗性遺伝子として日本では広く用いられているが、その抵抗性が打破されたという報告はこれまでにはない。*Pi9* とこうしたレース非特異的な抵抗性を組み合わせた品種を育成することは意義が大きいと考える。

Ⅶ 栽培適地および栽培上の留意点

「コシヒカリ関東BL1号」の栽培適地は、現在の「コシヒカリ」栽培地域である。いもち病の防除以外の栽培管理は「コシヒカリ」の栽培基準に準じて行う。「コシヒカリ」のいもち病抵抗性のマルチラインの構成品種として「コシ

ヒカリ」の栽培を代替することができる。侵害レースの発生に留意し、発病を見たら適切に防除し、マルチラインの場合は構成品種を変更する。

表17 育成従事者

年次・世代 氏名	2004 F ₁ ~BC ₁ F ₁	2005 BC ₂ F ₁ ~BC ₃ F ₁	2006 BC ₄ F ₁ ~BC ₅ F ₁	2007 BC ₃ F ₁ ~BC ₅ F ₂	2008 BC ₅ F ₃	2009 BC ₅ F ₄	2010 BC ₅ F ₅	備考
常松浩史						○ 4月		現在員
根本 博				○ 4月		○ 3月	○ 4月	現 生物資源研
春原嘉弘						○ 4月		現 北海道農研
加藤 浩	○ 4月							現 生物資源研
平林秀介								現在員
竹内善信								現在員
前田英郎			○ 4月					現 北陸農研
佐藤宏之					○ 3月		○ 4月	現 九沖農研
田中淳一							○ 4月	現在員
池ヶ谷智仁							○ 4月	現 北海道農研
安東郁男							○ 3月	現在員
太田久稔							○ 3月	現 東北農研
石井卓朗			○ 4月				○ 3月	現在員
出田 収 ¹⁾			○ 3月		○			現 近中四農研
平山正賢			○ 3月					現 茨城農総セ
井辺時雄			○ 4月	○ 3月				現 農研機構本部

1) 2008年から2010年は近中四農研との共同育成

VIII 育成従事者

育成従事者は表17に示す16名である。

IX 命名の由来

「反復親の品種名＋育成地名＋異なる特性を示す記号＋番号」によった。BLとはBlast resistance lines (いもち病抵抗性準同質遺伝子系統)

の略であり、作物研究所（関東）で最初に育成された「コシヒカリ」のいもち病準同質遺伝子系統であることを表記したものである。

X 謝 辞

本品種の育成および育成過程の各種検定試験は、農林水産省委託プロジェクト研究「新農業展開ゲノムプロジェクト」の一部として作物研究所、愛知県農業総合試験場山間農業研究所、近畿中国四国農業研究センター、宮崎県総合農

業試験場および農林水産先端技術研究所を共同研究機関として行われたものである。また本品種の育成に当たり、圃場試験に御協力をいただいた農研機構中央農業総合研究センター業務第2科および第1科の関係各位に深く感謝する。

引用文献

Amante-Bordeos, A., L.A. Sitch, R. Nelson, R.D. Damacio, N. P. Oliva, H. Aswidinnor and H. Leung (1992) Transfer of bacterial blight and blast resistance from the tetraploid wild rice *Oryza minuta* to cultivated rice *Oryza sativa*. Theor. Appl. Genet. 84: 345-354.
青森県農業試験場 (1982) “ハマアサヒのいもち病対策”. 青森県における昭和56年水稻冷害の実態とその要因解析. pp136.
Fukuoka S, N. Saka, H. Koga, K. Ono, T. Shimizu, K. Ebana, N. Hayashi, A. Takahashi, H. Hirochika, K. Okuno and M. Yano (2009) Loss of function of a proline-containing

protein confers durable disease resistance in rice. Science 325: 998-1001
Hayashi N, H. Inoue, T. Kato, T. Funao, M. Shirota, T. Shimizu, H. Kanamori, H. Yamane, Y. Hayano-Saito, T. Matsumoto, M. Yano and H. Takatsuji (2010) Durable panicle blast-resistance gene *Pb1* encodes an atypical CC-NBS-LRR protein and was generated by acquiring a promoter through local genome duplication. Plant J. 64: 498-510.
東正昭・佐藤尚雄・堀末登・藤巻宏 (1981) イネいもち病同質遺伝子系統の育成 1. B_4F_2 系統と反復親との形質の比較. 育雑 31 (別1) : 46-47.

- 東正昭・赤間芳洋 (1990) いもち病抵抗性育種. 農業技術 45(8): 375-380.
- 堀末登・東正昭・佐藤尚雄・小泉信三 (1984) イネいもち病同質遺伝子系統の育成 2. 育成系統関東IL1~14号の諸特性. 育種 34 (別1): 316-317.
- Ishizaki, K., T. Hoshi, S. Abe, Y. Sasaki, K. Kobayashi, H. Kasaneyama, T. Matsui and S. Azuma (2005) Breeding of blast resistant isogenic lines in rice variety "Koshihikari" and evaluation of their characters. *Breed. Sci.* 55: 371-377.
- Johnson, R. and D. J. Allen (1975) Induced resistance to rust diseases and its possible role in the resistance of multiline varieties. *Ann. appl. Biol.* 80: 359-363.
- Kobayashi, N., M. J. T. Yanoria, H. Tsunematsu, H. Kato, T. Imbe and Y. Fukuta (2007) Development of new sets of international standard differential varieties for blast resistance in rice (*Oryza sativa* L.). *JARQ* 41 (1): 31-37.
- 小泉信三 (1983a) イネいもち病のレース対策としての多系品種利用の可能性と問題点 (1). 植物防疫 37: 17-20.
- 小泉信三 (1983b) イネいもち病のレース対策としての多系品種利用の可能性と問題点 (2). 植物防疫 37: 38-41.
- 小泉信三・藤晋一 (1994) ササニシキ及び日本晴から育成されたイネの多系品種のいもち病多発生条件下における発病抑制効果. 愛知農総研試研報 26: 87-97.
- 小泉信三・谷俊男・藤晋一 (1996) イネいもち病防除における多系品種の利用. 農業技術 51: 89-93.
- 小島洋一郎・蛭谷武志・金田宏・土肥正幸・石橋岳彦・木谷吉則・向野尚之・山口琢也・麦野元保・山本良孝 (2003) 水稻新品種「コシヒカリ富山BL」の育成と有効利用 I. 「コシヒカリ富山BL1号~6号」の育成. 富山県農技研報 20: 13-32.
- Liu, G., G. Lu, L. Zeng and L. Wang (2002) Two broad-spectrum blast resistance genes, *Pi9(t)* and *Pi2(t)*, are physically linked on rice chromosome 6. *Mol. Genet. Genomics* 267: 472-480
- 松永和久 (1996) ササニシキのマルチライン育成と宮城県におけるいもち病防除への利用. 農業技術 51: 173-176.
- 中島俊彦 (1994) マルチライン (多系品種) によるイネいもち病制御のメカニズム. 農業技術 49: 390-395.
- 新潟県コシヒカリBL: <http://www.pref.niigata.lg.jp/nosanengei/1204823747830.html>
- 農林認定品種 (1956): <http://agriknowledge.affrc.go.jp/RN/4010000100>
- 太田久稔・井辺時雄・安東郁男・清水博之・山口誠之・芦澤武人・三浦清之・春原嘉弘・岡本正弘 (2005) イネ品種特性データベースとその検索システム. 平成17年度作物研究成果情報: 40-41.
- Qu, S., G. Liu, B. Zhou, M. Bellizzi, L. Zeng, L. Dai, B. Han and G-L. Wang (2006) The broad-spectrum blast resistance gene *Pi9* encodes a nucleotide-binding site-leucine-rich repeat protein and is a member of a multi-gene family in rice. *Genetics* 172: 1901-1914.
- 佐々木武彦・阿部眞三・松永和久・岡本栄治・永野邦明・丹野耕一・千葉芳則・狩野篤・植松克彦・滝沢浩幸・早坂浩志・涌井茂・黒田倫子・薄木茂樹・千葉文弥・宮野法近・佐々木都彦・遠藤貴司 (2002) ササニシキの多系品種「ササニシキBL」について. 宮城古川農試報 3: 1-35.
- 沢崎彬・守田美典 (1966) 富山県におけるいもち病抵抗性品種クサブエの罹病化について. 北日本病虫研報 14: 16-17.
- 進藤敬助・堀野修 (1989) 多系品種の利用によるいもち病の発生の抑制. 東北農試研報 79: 1-13.
- 食糧統計年報 (2008) 水稻の主要品種の作付状況 (平成18年-平成20年)
- Telebanco-Yanoria, M.J., Y. Koide, Y. Fukuta, T. Imbe, H. Kato, H. Tsunematsu and N.

Kobayashi (2010) Development of near-isogenic lines of Japonica-type rice variety Lijiangxintuanheigu as differentials for blast resistance. *Breed. Sci.* 60: 629-638.

BULLETIN OF THE NARO INSTITUTE OF CROP SCIENCE

No. 15

Editorial Committee

Editor-in Chief	Takeshi URAO
Consulting Editors	Toru KUMAGAI
	Makoto TOUGOU
	Makoto YAMAMORI
	Takayo SAIKUSA
Editorial Secretariat	Michiyo T _{SUBOKURA}

作物研究所研究報告第15号審査員

作物研究所研究報告に掲載された論文については、下記の方々に審査を受けました。
ここに記してお礼申し上げます（50音順、所属は審査時）。

鈴木 保弘（作物研究所）
高畑 康浩（九州沖縄農業研究センター）
高山 敏之（作物研究所）
谷尾 昌彦（中央農業総合研究センター）
田村 克徳（九州沖縄農業研究センター）
山守 誠（作物研究所）

作物研究所研究報告 第15号

発行 平成27年3月31日
発行者 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 作物研究所
編集 作物研究所編集委員会
（事務局：企画管理室企画チーム029-838-8547）
〒305-8518 茨城県つくば市観音台2-1-18
印刷所 筑波印刷情報サービスセンター協同組合

BULLETIN OF THE NARO INSTITUTE OF CROP SCIENCE

No.15 (March 2015)

Contents

【New Cultivar】

- Toshikazu KURANOCHI, Akiko OHARA-TAKADA, Yoshiyuki NAKAMURA, Toshiro FUJITA,
Makoto NAKATANI, Toru KUMAGAI and Kenji KATAYAMA
Breeding of a New Sweetpotato Variety “Hoshikogane” Suitable for “Hoshi-imo”
Steamed and Cured Slices with High Yield and Good Quality 1

【Original Article】

- Masako SEKI
Genetic Studies of Photoperiod Response Genes and Their Effect on
Heading Time in Japanese Wheat Cultivars 29

【New Cultivar】

- Hiroshi TSUNEMATSU, Ikuo ANDO, Hiroshi NEMOTO, Yoshihiro SUNOHARA, Hiroshi KATO,
Hideyuki HIRABAYASHI, Yoshinobu TAKEUCHI, Hideo MAEDA, Hiroyuki SATO, Junichi TANAKA,
Tomohito IKEGAYA, Hisatoshi OHTA, Takuro ISHII, Osamu IDETA, Masakata HIRAYAMA,
Saeko SUGITA, Tsuyu ANDO, Norikuni SAKA, Yoshifumi NAGAYOSHI, Nobuko YASUDA,
Nobuya KOBAYASHI, Akitoshi GOTO, Makoto KUROKI, Tokio IMBE
Breeding of “Koshihikari Kanto BL1”, a Near Isogenic Line of
“Koshihikari” with Blast Resistance Gene *Pi9* 75

