ノ ー ト

パンコムギとデュラムコムギの正逆種間交雑によって相互に遺伝子を取り込んだ優良系統の育成

吉田 久¹⁾・乙部(桐潤)千雅子²⁾・藤田由美子²⁾・柳沢貴司²⁾・長嶺 敬³⁾

¹⁾ 茨城県阿見町, 〒300-0312

²⁾ 農研機構・次世代作物開発研究センター, 茨城県つくば市, 〒305-8518

³⁾ 農研機構・中央農業研究センター北陸研究拠点, 新潟県上越市, 〒943-0193

Breeding of promising lines with favorable genes by interspecific hybridization between bread wheat and durum wheat

Hisashi Yoshida¹⁾, Chikako Kiribuchi-Otobe²⁾, Yumiko Fujita²⁾, Takashi Yanagisawa²⁾ and Takashi Nagamine³⁾

¹⁾ Home, Ami, Ibaraki 300-0312, Japan

²⁾ Institute of Crop Science, NARO, Tsukuba, Ibaraki 305-8518, Japan

³⁾ Central Region Agricultural Research Center, NARO, Jyoutetsu, Niigata 943-0193, Japan

キーワード

種間雑種, パンコムギ, デュラムコムギ, 穂発芽抵抗性, 赤さび病抵抗性, 遺伝資源

緒 言

四倍体のデュラムコムギ (*Triticum durum* Desf.) は, 赤さび病抵抗性を示すものが多いが, 晩生で地中海沿岸諸国やカナダなどの乾燥地帯で栽培されてきたため穂発芽性が極易である. 収穫期が梅雨に遭遇する日本では, これまで栽培できず, パスタやマカロニの原料として, カナダや米国から年間 20 万トン余が輸入されてきた.

一方, 六倍体の日本のパンコムギ (*Triticum aestivum* L.) は, 穂発芽抵抗性, 早生性に関して, はるかに優れているが, 赤さび病抵抗性等の優良遺伝子を広く他の種属に求めることが望まれている.

そこで, デュラムコムギとパンコムギにそれぞれ存在する優良遺伝子の相互利用を図ることを育種目標に種間雑種による系統育成を実施した.

四倍体コムギと六倍体コムギの種間交雑は可能であるが, 雑種作出の成否はきわめて不安定であることが明らかにされている. 京都大学などでコムギの種間交雑の可能性, 五倍体コムギ雑種における染色体の行動に関する基礎的研究は行われてきたが (木原 1976, Kihara 1982), 国内のコムギ育種に両種間雑種を利用した例は少ない. 最近では, デュラムコムギの穂発芽抵抗性育種にパンコ

ムギの遺伝資源が有効であることを示唆する報告がある (Kato *et al.* 2017).

本系統育成では, 収穫期の梅雨による穂発芽を避けることができる早生で, 穂発芽抵抗性をもつデュラムコムギ系統の育成, および, 赤さび病に対する抵抗性を強化し, 良質・省力・安定生産に役立つパンコムギの育成を目標にした.

材料および方法

1. 材料

デュラムコムギには, 1991 年, 倉内伸幸氏 (当時, チュニジア・ケフ大学) らがチュニジア国内で探索・収集した系統のうち, 比較的早生の系統として分譲を受けた 18 系統を選定した. 一方, パンコムギは, 早生, 穂発芽抵抗性などを考慮して旧農業研究センター・麦育種法研究室で系統保存されていた 5 品種を供試した.

これらの材料は, 旧農業研究センター (現農研機構・次世代作物開発研究センター)・観音台圃場に, 1994 年 10 月 27 日に秋播きした. 翌 1995 年 4 月下旬に交配組み合わせの品種・系統を立毛等により選定した.

デュラムコムギは, 2 つの立毛タイプから「I-2 (ジーンバンク登録番号 JP239067)」と「I-18 (JP239068)」の 2 系統を交配親とした. なお, 「I-18」は「I-2」に比べて, 長稈で稈質が弱い. パンコムギは, 極早生, 穂発芽難品種の「西海 168 号 (きぬいろは)」, 穂発芽難品種の「トヨホコムギ」, 「伊賀筑後オレゴン」, 「東山 25 号 (しゅ

編集委員: 加藤鎌司

2018 年 8 月 1 日受領 2018 年 11 月 3 日受理

2018 年 11 月 28 日 J-STAGE 早期公開

Correspondence: yoshi8h@jcom.home.ne.jp

表 1. 両親の特性

品種名・系統名	播性	1999 年調査							2000 年調査								MFT 遺伝 子型	
		穂発芽検定 (%)			赤かび粒	赤さび病	稈色	稈毛	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	1 穂粒重 (g)	1 粒重 (mg)	1 穂 小穂数	1 穂 粒数		穂数
		16℃	22℃	判定														
西海 168 号	I～II	2.1	3.2	極難	0	無	褐	無	4.20	6.08	62	10.7	2.05	40.2	17	51	多	Zen
農林 61 号	II	3.4	1.5	極難	0	中	褐	無	4.27	6.14	80	10.4	2.66	43.6	20	61	多	Zen
伊賀筑後オレゴン	II	4.5	1.8	極難	0	中	褐	無	4.30	6.15	84	12.3	2.83	44.9	21	63	多	Zen
トヨホコムギ	II～III	8.2	1.9	難	0	無	褐	無	4.27	6.13	72	9.5	2.68	40.0	17	67	多	Zen
東山 25 号	IV	1.4	1.0	極難	0	中	褐	無	4.28	6.15	72	11.9	2.09	39.7	19	54	多	Zen
<i>T. durum</i> I-2	II	17.5	16.5	中	21	無	白	有	4.27	6.15	68	8.9	1.44	37.9	14	38	多	CS
<i>T. durum</i> I-18	IV	39.1	18.5	易	0	無	白	有	5.02	6.16	94	8.4	1.59	39.8	14	40	多	CS

両親の特性は、表 3 の各系統のそれぞれの調査年の 特性データに対応するデータとして参照。

んよう)」を交配親とし、標準品種とした「農林 61 号」を「I-18」とのみ交配した。なお、ジーンバンクには、これらの品種名の種子が保存されている。両親の特性を表 1 に示す。

2. 方法

育成経過の概要を図 1 に示す。世代養成を重ねながら、四倍体と六倍体への収斂を図って、系統選抜をした。

特性調査の方法は以下のとおりである。

1) 穂発芽検定および赤かび粒調査 (1999 年) : 成熟期に穂を採取して、-20℃のフリーザーに保存した。6 月下旬に 16℃および 22℃の 2 水準、湿度 100%の条件下に 10 日間処理して、各温度 2 穂の平均穂発芽粒率および 2 水準込み計 4 穂の平均赤かび粒数 (小数点以下は切り捨て) を調査した。

発芽粒率に対して、次の判定基準を用いた。

22℃で 40%以上の穂発芽 : 極易, 20~40% : 易, 20%以下のうち、16℃で 40%以上 : やや易, 20~40% : 中, 10~20% : やや難, 5~10% : 難, 5%未満 : 極難。

2) 赤さび病抵抗性の圃場調査 (1999 年) : 無・微・少・中・多・甚の 6 階級を圃場観察により調査した。

3) 穂発芽および赤かび病の圃場調査 (2000 年) : 株上げしたデュラムコムギ親・パンコムギ親および系統の各 10 株の主稈茎とみられる穂の穂発芽粒および赤かび病粒を調査した。

4) うどんこ病抵抗性の圃場調査 (2011 年) : ジーンバンク調査基準 (現農研機構・遺伝資源センター 2018) による極強~極弱の 7 階級の圃場観察により調査した。

5) 稈長・穂長調査 (2000 年) : 圃場で系統内 5 個体を計測した平均値を示した。

6) 粒重・粒数調査 (2000 年) : 株上げした各系統 10 個体の主稈茎とみられる穂を調査した。穂数は達観により、

図 1. 育成経過の概要。

多い系統を「多」とした。

7) MFT 遺伝子型の調査：DNeasy Plant Mini Kit (QIAGEN) を使用して、葉から抽出した DNA を用い、Nakamura *et al.* (2011) により開発された CAPS マーカー (CS3A06Proseq-F3:5'-GTAGCGGGTGAAATCTGCAT-3' および CS3AProseq-R5:5'-GGGACGTACGAGGGTGTAGA-3') を使用して PCR 増幅を行った。PCR 反応は、LA Taq (タカラバイオ株式会社) を用い、94°C 1 分間行った後 (94°C 30 秒間, 60°C 1 分間, 72°C 1 分間) × 35 回、その後、72°C 7 分間の条件で行った。増幅産物は *Cla*I を用いて処理した後、2% アガロースゲルにより分離した。

育成経過と結果

育成経過を表 2 に示す。

1. 正逆交雑：着粒率は、パンコムギが雌親の場合、どの組み合わせも 74% 以上 (平均 85%) であったが、デュラムコムギが雌親の場合、「東山 25 号」の組み合わせ (I-2: 71% と I-18: 81%) 以外では、相対的に着粒率は 68~43% と低下した (データ略) が、採種は可能であった。

2. F₁ 種子の催芽：発芽は斉一ではなくシャーレ置床後、4 ヶ月続いた。パンコムギを雌親にした場合の発芽率は、パンコムギ品種の影響を受け、「西海 168 号」は両デュラムコムギの組み合わせとも 75% 前後、「トヨホコムギ」で「I-2」との交配で 56%、「I-18」との交配で 74%、「東山 25 号」で両デュラムコムギの組み合わせとも 20% 前後であった。「伊賀筑後オレゴン」では、それぞれ 18% と 65%、「I-18」とのみ交配した「農林 61 号」では 59% であった。

一方、デュラムコムギが雌親の場合、発芽率は 10% 以下となった。パンコムギを雌親にした場合の方が有利であるという現象は一般に認められている (Lelley 1976)。

3. F₁ 世代：パンコムギを雌親にした F₁ 個体は 60~100% (平均 88%) が稔実したが、未熟粒ではない完熟粒が採種できた個体の割合は 35~100% (平均 74%) に低下した。

4. F₂ 世代：パンコムギを雌親にした場合、組み合わせにより異なるが F₂ 世代で 29~78% (平均 48%) の個体が完熟まで展開できた。デュラムコムギが雌親の場合、稔実した F₂ 個体は養成できず、試験の継続はできなかった。

5. F₃ 世代：F₃ 世代では、出穂期が早生から極晩性 (4 月 16 日~5 月 6 日) まで広く分布したが、デュラムコムギタイプでは、晩性になる傾向がみられた。

6. F₄ 世代：圃場の特性調査では、出穂始期の変異は、F₃ 世代と同様に早生から極晩生まで広く分布した (表 2)。採種した 2,140 個体の粒重・粒数調査および穂発芽粒・赤かび粒調査を行って、充実良好でかつ穂発芽粒・赤かび粒の発生がないか、もしくは少ないパンコムギタイプ 107 個体、デュラムコムギタイプ 74 個体、計 181 個体を選んだ。

なお、1998 年 5 月から 6 月は、圃場で穂発芽、赤かび

病、うどんこ病が激発した。この 1998 年に選抜した個体は、穂発芽、赤かび病、うどんこ病に対して一定の抵抗性をもっていると期待できた。

7. F₅ 世代：稈色、稈毛の有無に注目すると、パンコムギタイプ、デュラムコムギタイプへ相互の両親の形質が認められた (表 3)。

穂発芽抵抗性を示したデュラムコムギタイプ系統で、パンコムギ品種程度に早生の系統は見いだされなかった。前年度同様、デュラムコムギタイプの系統については、1 系統から 1 個体を選び、穂発芽検定を行った。

選抜の結果、次年度に供試することになったデュラムコムギタイプ 40 系統の穂発芽抵抗性は、極難: 7 系統、難: 9 系統、やや難: 15 系統、中: 6 系統、やや易: 1 系統、易: 2 系統であった。

赤かび粒の発生状況は、デュラムコムギタイプの系統で多くみられる傾向を示したが、軽微な系統もあり、パンコムギ親の寄与があるものと考えられた (表 3)。

なお、1999 年は赤さび病の多発年で、圃場で赤さび病抵抗性の評価を行うことができた。

8. F₆ 世代：2000 年、圃場での特性調査および株上げして選抜した個体の粒重・粒数調査の結果を表 3 に示す。選抜は、粒重・粒数調査の際、穂発芽粒および赤かび粒の調査を併せて行った結果を総合した。

なお、2000 年は、収穫直前の長雨が 6 月 9 日以降 6 日間続き、6 月 9 日以前に収穫できなかった系統は、穂発芽のリスクが大きく、デュラムコムギタイプの系統については、圃場で穂発芽抵抗性の選抜ができた。

F₆ 世代までの選抜結果では、両親の組み合わせによって、選抜系統数に差異があり、パンコムギ親の「西海 168 号」や「トヨホコムギ」の組み合わせからは、多くの系統が選抜できた。選抜系統の早晩性は、デュラムコムギタイプはパンコムギタイプに比べて、晩生にシフトする傾向となった。また、稈長、穂長および粒重は、両タイプとも両親に比べて超越分離する系統がみられた。

以上、種間交雑により、「農林 61 号」程度の成熟期で穂発芽抵抗性をもつデュラムコムギタイプと赤さび病抵抗性をもつパンコムギタイプの系統が選抜できた (表 3)。

9. F₇ 世代：特性調査と採種を行った 74 系統 (パンコムギタイプ 34 系統、デュラムコムギタイプ 40 系統) を遺伝資源として登録保存した。パンコムギタイプとデュラムコムギタイプの穂の形態の 1 例を図 2 に示す。

また、コムギの穂発芽を抑制する遺伝子 (*MFT* 遺伝子) が検出できる DNA マーカー (Nakamura *et al.* 2011) を使用して、デュラムコムギタイプ 29 系統と親品種系統の遺伝子型を調査した。デュラムコムギ親系統の「I-2」および「I-18」は、穂発芽抵抗性弱を示す CS 型 (「Chinese Spring」型)、パンコムギの親 5 品種は、穂発芽抵抗性強を示す Zen 型 (「ゼンコウジコムギ」型) であり、デュラムコムギタイプ 29 系統については CS 型が 15 系統、Zen 型が 14 系統であった (表 3)。

表 2. *T. aestivum*/*T. durum* 種間交雑の育成経過

No.	組み合わせ	交配・採種		シャレー発芽 (’95)			F ₁ 養成 (’95)			F ₂ 養成 (’95/’96)			F ₃ 養成 (’96/’97)			F ₄ 養成 (’97/’98)			F ₄ 世代 (’98)			F ₅ 養成 (’98/’99)			F ₆ 養成 (’99/’00)		
		交配 小花数	採種 粒数 (%)	置床粒 (%)	発芽粒 (%)	生育 個体 ¹⁾	稔実 個体 (%) ²⁾	完熟 個体 (%) ³⁾	展開 個体 ⁴⁾	完熟 個体 (%) ³⁾	展開 系統群	採種 個体	展開 系統群	採種 個体	展開 系統群	D タイプ	A タイプ	出穂始期の変異 (月・日) ⁵⁾	D タイプ	A タイプ	展開 系統群	D タイプ	A タイプ	展開 系統群	D タイプ	A タイプ	展開 系統群
1	西海 168 号/L-2	71	68(96)	68	53(78)	53	46(87)	33(62)	31	10(32)	8	98	8	18(8)	251	4.13~4.24	4.23~4.30	7	7	8	9	5	5	2	3		
2	西海 168 号/L-18	126	101(80)	101	72(71)	74	64(86)	46(62)	41	17(41)	12	23	235	16	37(12)	473	4.14~4.25	4.20~5.02	22	26	12	26	8	8	14	17	
3	農林 61 号/L-18	88	81(92)	58	34(59)	46	46(100)	46(100)	26	13(50)	8	12	107	6	16(3)	201	4.18~4.22	4.28~5.01	0	0	3	4	0	0	2	3	
4	伊賀筑後オレゴン/L-2	58	51(88)	51	9(18)	12	11(92)	10(83)	9	7(78)	4	7	66	5	13(1)	148	4.18~4.24	4.27	15	16	2	3	7	7	1	2	
5	伊賀筑後オレゴン/ L-18	90	73(81)	51	33(65)	35	32(91)	26(74)	12	4(33)	2	2	27	1	3(0)	48	4.18	—	0	0	0	0	0	0	0	0	
6	トヨホコムギ/L-2	148	131(89)	90	50(56)	50	44(88)	41(82)	37	23(62)	16	31	281	16	33(10)	457	4.13~4.22	4.23~4.29	38	38	9	18	5	5	5	6	
7	トヨホコムギ/L-18	122	106(87)	50	37(74)	47	46(98)	41(87)	26	13(50)	9	12	108	8	21(3)	306	4.13~4.22	4.24~4.25	9	10	3	4	6	6	3	4	
8	東山 25 号/L-2	156	117(75)	94	14(15)	20	12(60)	7(35)	7	2(29)	1	1	12	1	4(4)	56	—	4.21~4.26	0	0	8	10	0	0	4	5	
9	東山 25 号/L-18	246	183(74)	103	25(24)	26	23(88)	21(81)	14	8(57)	6	8	82	6	13(4)	200	4.14~4.22	4.25~4.28	10	10	0	0	3	3	0	0	
計		1,105	911(85)	666	327(51)	363	324(88)	271(74)	203	97(48)	66	105	1,016	67	158(45)	2,140	4.13~4.25	4.20~5.02	101	107	45	74	34	34	31	40	

1) シャレー上で発芽した交雑粒が土への移植後、生育した個体数

2) 生育個体のうち、稔実して着粒した個体数

3) 稔実個体のうち、未熟粒でなく完熟粒で次世代展開可能個体数

4) F₂ 養成で展開できた個体

5) 「両親の出穂始期」西海 168 号 : 4.11 農林 61 号 : 4.16 伊賀筑後オレゴン : 4.20 トヨホコムギ : 4.16 東山 25 号 : 4.20 I-18 : 4.24

表 3. 種間雑種ジーンバンク保存系統の特性 (*T. aestivum* (A), *T. durum* (D))

交配組み合わせ ジーンバンク 登録番号	穂の タイプ	F ₅ (1999 年調査)				F ₆ (2000 年調査)						F ₇ (2011 年調査)				MFT 遺伝子型							
		穂発芽検定 (%)		赤かび粒	赤さび病	稃色	稃毛	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	1 穂粒重 (g)	1 粒重 (mg)	1 穂 小穂数	1 穂 粒数		穂数	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	稈長 (cm)	うどんこ病	立毛良 系統	
		16℃	22℃																				
西海 168 号/I-2	A				無	褐	有	4.26	6.15	80	2.54	39.1	18	65	多	4.26	6.18	89	やや強	○			
	A	9.1	5.8	難	無	淡褐	無	4.20	6.17	68	2.79	47.3	15	59	多	4.27	6.18	74	中	○			
	A				無	褐	無	4.29	6.17	69	1.31	40.9	14	32	多	4.25	6.22	72	中				
	A				無	褐	有	4.28	6.17	80	2.41	57.4	16	42	多	4.25	6.20	86	中	○			
	A	5.8	0.9	難	無	白	有	4.22	6.10	78	3.00	46.2	17	65	多	4.24	6.18	82	極強				
	D	19.4	2.4	やや難	無	褐	有	4.29	6.15	67	1.86	27.8	20	67	多	5.05	6.21	54	中	○		Zen	
	D	5.6	1.9	難	無	淡褐	無	5.06	6.16	109	1.50	30.0	21	50	多	5.12	6.20	79	やや強			CS	
	D	5.6	1.9	難	無	淡褐	無	5.03	6.15	111	1.73	30.4	21	57	多	5.11	6.13	65	やや強			CS	
	西海 168 号/I-18	A				無	白	有	4.25	6.13	77	2.76	43.8	18	63	多	4.28	6.18	73	中			
		A	41.0	13.3	やや易	無	淡褐	有	4.26	6.09	61	2.34	46.8	17	50	多	4.28	6.19	76	強			
		A				無	淡褐	有	4.25	6.13	76	2.66	44.3	16	60	多	4.24	6.22	77	中			
		A				無	褐	無	4.25	6.16	79	3.80	50.0	19	76	多	4.24	6.20	85	やや強	○	○	
		A	3.2	3.8	極難	無	淡褐	無	4.23	6.08	54	2.69	43.4	18	62	多	4.22	6.15	71	中	○	○	
		A				多	淡褐	無	4.27	6.17	76	3.18	48.9	18	65	多	4.28	6.18	101	中			
		A				多	淡褐	無	4.27	6.17	44	8.3	0.36	32.7	8	11	多	4.20	6.14	62	中		
A					無	白	有	4.27	6.14	63	14.5	3.35	40.9	17	82	多	4.23	6.22	82	やや強	○	○	
D		0.0	8.8	極難	無	淡褐	無	4.27	6.14	69	6.4	0.77	32.1	17	24	多	5.01	6.19	67	中	○		Zen
D		0.0	8.8	極難	無	淡褐	無	4.26	6.14	74	6.9	0.60	31.6	12	19	多	4.30	6.13	73	中	○		Zen
D		20.5	15.4	中	無	淡褐	無	5.01	6.16	65	7.6	1.69	29.6	19	57	多	5.06	6.22	55	極強	○		
D		4.6	11.4	極難	無	淡褐	有	5.05	6.19	76	9.8	1.18	39.3	21	30	多	5.08	6.23	61	極強	○		CS
D		9.5	14.6	やや難	無	白	無	5.02	6.18	64	8.4	1.45	29.0	21	50	多	5.04	6.23	63	やや強			CS
D		9.0	1.4	やや難	無	白	無	5.02	6.19	64	7.4	1.42	32.3	23	44	多	発芽せず						CS
D		9.0	1.4	やや難	無	白	無	4.30	6.19	62	7.0	1.13	26.9	23	42	多	5.06	6.23	57	極強	○		CS
農林 61 号/I-18	D	34.0	10.9	やや易	無	白	無	4.27	6.18	64	7.1	1.42	36.4	20	39	多	4.28	6.22	45	やや強			
	D	6.5	1.2	難	無	白	無	5.01	6.18	57	6.3	1.14	35.6	17	32	多	5.02	6.21	51	極強	○		
	D	6.5	1.2	難	無	白	有	5.02	6.18	55	5.7	1.19	35.0	16	34	多	5.05	6.21	54	極強			Zen
	D	5.3	0.0	難	無	白	有	5.03	6.17	30	6.5	0.94	32.4	18	29	多	5.02	6.18	31	極強			Zen
	D	11.7	4.0	やや難	無	白	有	4.30	6.15	53	8.0	1.58	28.2	24	56	多	5.07	6.18	49	極強			Zen
	D	25.2	8.2	中	無	淡褐	無	4.30	6.17	64	7.8	1.65	37.5	17	44	多	5.09	6.23	54	極強			Zen
	D	25.3	1.2	中	無	淡褐	有	5.01	6.18	69	7.1	1.62	34.5	17	47	多	5.01	6.21	69	極強	○	○	
	D	5.5	1.0	難	無	淡褐	無	5.06	6.13	76	8.2	1.01	24.0	18	42	多	5.05	6.13	69	極強			Zen
	D	9.3	9.3	やや難	無	淡褐	無	5.01	6.13	85	7.7	1.26	28.0	18	45	多	5.05	6.09	78	中			Zen
	D	14.0	2.0	やや難	無	淡褐	無	5.02	6.15	96	8.1	1.43	28.6	16	50	多	5.01	6.09	70	極強			Zen
	D				無	淡褐	無	5.08	6.16	99	9.5	1.27	25.9	19	49	多	5.11	6.20	81	中			CS
	D	6.0	7.2	難	無	淡褐	無	5.10	6.17	110	11.2	1.95	33.6	23	58	多	5.13	6.22	81	やや強			Zen
	D	14.3	2.6	やや難	無	白	無	5.09	6.17	98	9.8	1.58	29.8	21	53	多	5.08	6.21	88	やや強	○		Zen

表 3. (続き)

交配組み合わせ ジーンバンク 登録番号	穂の タイプ	F ₅ (1999年調査)				F ₆ (2000年調査)							F ₇ (2011年調査)				MFT 遺伝子型			
		穂発芽検定 (%) 16℃ 22℃ 判定	赤かび粒	赤さび病	稲毛	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	穂長 (cm)	1穂粒重 (g)	1粒重 (mg)	1穂 小穂数	1穂粒数 穂数	出穂期 (月・日)	成熟期 (月・日)	穂長 (cm)	うどんこ病		立毛良 系統		
伊賀筑後オレゴン/L2	A				無	白	4.29	6.16	92	3.17	52.0	20	61	4.28	6.23	87	中	○	CS	
	A				無	淡褐	5.01	6.17	90	3.32	53.4	20	64	4.30	6.20	94	中	○		
	A				中	白	4.26	6.16	88	11.3	2.07	44.0	17	47	5.01	6.20	94	中		○
	A				中	淡褐	5.02	6.18	105	14.2	2.73	21	49	5.02	6.22	105	強			
	A	10.0	7.9	やや難	微	有	5.02	6.15	76	15.6	3.20	44.4	23	72	5.06	6.18	80	強		CS
	A				無	淡褐	4.30	6.15	83	13.1	3.24	22	57	5.02	6.19	85	中	○		
	A				無	淡褐	5.01	6.15	86	13.2	2.88	45.0	21	64	5.02	6.18	83	中		
	D	10.1	3.3	やや難	2	有	5.04	6.18	60	7.1	0.57	19.0	19	30	5.06	6.20	55	極強		
	D	9.7	21.4	易	1	無	5.04	6.16	56	7.4	0.79	23.9	17	33	5.07	6.21	57	極強		CS
	トヨホコムギ/L2	A				微	淡褐	4.29	6.18	78	11.8	3.35	41.4	19	81	5.01	6.23	85	やや弱	○～◎
A					無	淡褐	4.29	6.17	48	10.2	2.78	52.5	16	53	4.25	6.21	61	やや弱	○	
A					無	淡褐	4.28	6.17	56	9.3	2.32	52.7	17	44	4.26	6.21	62	極強		
A					無	白	4.29	6.15	66	11.3	3.93	52.4	21	75	5.02	6.22	72	極強		
A		24.6	6.1	中	多	無	4.25	6.13	76	10.8	2.50	44.6	14	56	4.26	6.19	78	中		CS
D		13.4	6.4	やや難	18	無	5.07	6.23	122	10.5	1.05	25.6	22	41	5.11	6.22	110	極強		
D		20.3	8.5	中	2	無	5.03	6.22	98	11.7	2.12	33.1	21	64	5.05	6.18	95	やや強	○～◎	
D		7.5	17.7	難	2	無	5.10	6.23	107	9.9	0.82	31.5	19	26	5.09	6.18	106	中	○	
D		0.0	0.0	極難	13	無	5.08	6.23	131	9.7	1.48	38.9	21	38	5.04	6.20	132	中	○	CS
D		0.0	0.0	極難	13	無	5.10	6.23	140	9.9	1.46	39.5	21	37	5.05	6.22	125	やや強	○～◎	
D	13.8	0.0	やや難	18	無	5.12	6.25	104	10.4	2.32	35.7	20	65	5.18	7.01	101	やや強	○～◎	CS	
トヨホコムギ/L18	A	1.4	0.8	極難	多	淡褐	4.23	6.09	60	10.6	2.88	45.0	17	64	4.23	6.18	74	やや強	○～◎	CS
	A				少	淡褐	4.26	6.18	75	9.8	2.35	43.5	15	54	4.29	6.19	76	やや強	○	
	A				少	淡褐	4.26	6.18	70	10.1	2.52	46.7	15	54	4.24	6.20	75	やや弱	○～◎	
	A				多	淡褐	4.25	6.16	91	10.1	2.54	38.5	18	66	4.24	6.18	101	中		
	A	5.6	0.8	難	多	白	4.25	6.13	83	11.6	2.67	49.4	17	54	4.23	6.18	95	やや強	○	CS
	A				少	無	4.23	6.15	74	9.3	1.58	45.1	13	35	4.21	6.21	85	やや強	○～◎	
	D	10.9	0.0	やや難	6	無	5.18	6.25	90	12.6	1.21	28.1	19	43	5.08	6.21	107	強		
	D	18.2	0.0	やや難	11	無	5.11	6.23	110	11.3	2.66	40.9	25	65	5.17	6.28	59	中		
	D	0.9	0.0	極難	6	無	5.01	6.16	95	7.9	1.85	33.0	21	56	5.01	6.11	95	極強	○～◎	CS
	D	0.9	0.0	極難	0	無	4.29	6.15	94	8.4	1.72	31.3	19	55	4.30	6.12	92	やや強	◎	
東山25号/L2	D	8.9	1.3	難	1	無	4.30	6.16	103	7.8	1.49	46.6	16	32	5.02	6.18	90	中		CS
	D	59.9	37.7	易	1	無	4.30	6.16	71	8.3	1.01	29.7	17	34	4.30	6.15	74	やや強		Zen
	D	25.9	3.8	中	1	有	5.01	6.18	80	6.4	1.11	32.6	16	34		発芽せず				
	D	25.9	3.8	中	1	無	5.01	6.18	73	6.6	0.89	31.8	17	28	5.05	6.16	74	極強		Zen
	D	18.5	—	やや難	4	無	4.30	6.15	81	8.3	1.25	27.2	21	46	5.06	6.16	70	極強		CS
東山25号/L18	A				中	淡褐	4.26	6.17	68	10.7	2.14	35.7	17	60	4.26	6.18	79	やや弱	○～◎	Zen
	A	31.1	8.2	中	中	淡褐	4.25	6.11	77	12.1	2.24	40.7	16	55	4.27	6.15	81	やや強		
	A	43.8	21.2	易	無	褐	4.24	6.11	72	12.3	2.21	48.0	16	46	4.27	6.18	76	やや弱

図2. パンコムギ (A) タイプ (左) およびデュラムコムギ (B) タイプ (右) の育成系統。いずれも (西海 168 号/I-18) F_7 世代, JP239125 および JP239094 (表3)。

考 察

普通系コムギ (六倍体, $2n=42$) と二粒系コムギ (四倍体, $2n=28$) との F_1 雑種は, 五倍体コムギ雑種 ($2n=5x=35$, 14II+7I, AABBDD) となる (木原 1976, Kihara 1982)。木原によれば, $2n=34$ から $2n=29$ の染色体減少群は, F_5 世代で $2n=28$ で固定する。一方, $2n=36$ から $2n=41$ の染色体増加群は, F_5 世代で $2n=42$ となって固定する。

本研究で選抜・育成した系統の染色体数は同定していない。しかし, 両種がもつ形態的特徴からパンコムギとデュラムコムギを識別することは有効であるとされている (館岡 1983)。穂の形態的特徴から選抜したそれぞれのタイプの F_7 世代では, $2n=42$ および $2n=28$ であると想定された。

穂発芽は, 登熟後半の気温など環境の影響を受けやすく, その生理的機構 (吸水性 (Yoshida *et al.* 1995), 種子休眠性 (野田 1993) など) は複雑で, 種子の組織が複雑に関係している複合形質であることが知られている (桑原 1993)。穂発芽難のパンコムギ品種「ゼンコウジコムギ」をデュラムコムギに連続戻し交雑して作成した準同質遺伝子系統 (NILs) を解析した結果, 赤粒, *MFT* 遺伝子および *QPhs-5AL* を集積した NILs は最も高い穂発芽抵抗性を示したとしている (Kato *et al.* 2017)。

選抜したデュラムコムギタイプの系統の中には, パンコムギ親から穂発芽抵抗性強の遺伝子型を受け継ぐ系統が含まれることから, 穂発芽抵抗性が付与された可能性が高い。今回用いた DNA マーカーで検出される *MFT* 遺伝子は, 3A 染色体に座乗しており, 寄与率は 30%程度とみられことから, より詳細な形質調査が望まれる。

また, デュラムコムギへの穂発芽抵抗性の獲得とともに, 早生化を目論んだが, デュラムコムギタイプの系統は, パンコムギタイプの系統に比べて, 晩生の傾向を示

した。パンコムギは D ゲノムを取り込むことによって生理生態的に四倍体の適応しえない地帯を含めた幅広い広域適応性を獲得したことが指摘されている (田中 1975)。両種の早晩性と関係しているかの解明は今後の課題である。

日本では種間交雑育種法は, アブラナ科 (皿嶋・生井 1979) で行われている。

コムギでは, 百足ら (1975, 1986) が, 染色体工学的育種法により異種・属遺伝子の導入により赤さび病抵抗性育種を実践し, 野生二粒系コムギやチモフェビー系コムギの抵抗性を取り込んだ「小麦中間母本農 2 号」などを育成した例がある。

一方, 日本初のデュラムコムギ品種「セトデュール」がデュラムコムギ品種間の交配によって, 2016 年に育成され, 瀬戸内地方の降雨が比較的少ない地域限定として栽培普及に移された (谷中ら 2018)。しかし, 穂発芽抵抗性や赤かび病抵抗性に改良の余地があり, 後継品種の育成が望まれている。

本系統育成では, 両種の有用遺伝子の相互利用を目的に圃場での立毛観察からデュラムコムギタイプとパンコムギタイプを選抜した。実用面では, 選抜・育成したデュラムコムギタイプが既存のデュラムコムギ並の pasta 適性をもっているかどうかの品質評価が望まれる。パンコムギ並の穂発芽抵抗性をもち, かつ pasta 適性をもった遺伝資源は, 日本はもとより, 穂発芽性で栽培できない国・地域にも貢献できるであろう。また, 赤さび病抵抗性をもつ早生・大穂・短強稈のパンコムギタイプは, 交配母材として, 今後の育種事業に利用されることが期待される。

これらの種子は, 農研機構・遺伝資源センターの農業生物資源ジーンバンクのウェブサイトから検索でき, 試験研究用または教育用として種子の配布を受けることができる。

謝 辞

本研究は農水省「作物開発強化事業」(平成 6~10 年度)によって実施された。育種を進める上で旧農業研究センター企画調整部業務科職員が圃場管理に従事した。また, 室内特性調査などについて, 契約職員の協力を得た。これらの方々に対して, 謝意を表する。

引用文献

- Kato, K., W. Maruyama-Funatsuki, M. Yanaka, Y. Ban and K. Takata (2017) *Breed. Sci.* 67: 466–471.
- 木原 均 (1976) 自然, 1 月号: 95–103.
- Kihara, H. (1982) *Wheat Studies—Retrospect and Prospects—*, Kodansha LTD, Tokyo, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York, 1–18, 19–51.
- 桑原達雄 (1993) 育種学最近の進歩, 第 35 集: 130–135.

- Lelley, J. (1976) Wheat breeding—Theory and Practice—, Akademiai Kiado, Budapest, 174–175.
- 百足幸一郎・神尾正義・細田 清（1975）育種学最近の進歩, 第 15 集: 65–74.
- 百足幸一郎（1979）育種学最近の進歩, 第 20 集: 108–115.
- 百足幸一郎・細田 潔・山守 誠（1986）東北農試研報 73 号: 1–13.
- Nakamura, S., F. Abe, H. Kawahigashi, K. Nakazono, A. Tagiri, T. Matsumoto, S. Utsugi, T. Ogawa, H. Handa, H. Ishida *et al.* (2011) *Plant Cell* 23: 3215–3229.
- 野田和彦（1993）育種学最近の進歩, 第 35 集: 136–139.
- 農研機構・遺伝資源センター（2018）植物遺伝資源特性調査マニュアル（小麦）[http://www.gene.affrc.go.jp/manuals-plant_characterization.php]
- 皿嶋正雄・生井兵治（1979）育種学最近の進歩, 第 20 集: 63–71.
- 田中正武（1975）栽培植物の起源, NHK ブックス, 81–89.
- 館岡亜緒（1983）植物の種分化と分類, 養賢堂, 152–154.
- 谷中美貴子・高田兼則・石川直幸・船附雅子・長嶺 敬（2018）農研機構報告・西日本農研 18: 13–28.
- Yoshida, H., A. Horigane and A.K. Horigane (1995) *Proc. 7th Int. Symposium on Pre-Harvest Sprouting in Cereals*, 79–85.