農研機構
NARO 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

閉花性で赤かび病抵抗性に優れる「小麦中間母本農9号」 (赤かび系3号) の育成

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): Cleistogamy, Fusarium head blight (FHB), New variety, Resistance to FHB infection, Resistance to FHB spread, Wheat 作成者: 久保, 堅司, 河田, 尚之, 藤田, 雅也, 八田, 浩一, 松中, 仁, 小田, 俊介, 波多野, 哲也, 関, 昌子, 吉岡, 藤治, 乙部（桐淵）, 千雅子, 中島, 隆 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24514/00002108

閉花性で赤かび病抵抗性に優れる「小麦中間母本農９号」（赤かび系３号）の育成

久保堅司・河田尚之・藤田雅也・八田浩一・松中　仁・小田俊介[1)]・波多野哲也[2)]・関　昌子[3)]
吉岡藤治[4)]・乙部千雅子[1)]・中島　隆[5)]

（2011 年 8 月 3 日　受理）

要　旨

久保堅司・河田尚之・藤田雅也・八田浩一・松中　仁・小田俊介・波多野哲也・関　昌子・吉岡藤治・乙部千雅子・中島　隆（2012）閉花性で赤かび病抵抗性に優れる「小麦中間母本農9号」（赤かび系3号）の育成。九州沖縄農研報告　**57**：21-34.

「小麦中間母本農9号」は，閉花受粉性（閉花性：受精期に開頴しにくく，葯が抽出しない）の遺伝資源である「U24」と赤かび病進展抵抗性に優れる「西海165号」の交配から一穂一粒法により固定を図り作出された赤かび病抵抗性系統である。本系統は，既存の小麦品種・系統には稀な閉花性という特性を持ち，赤かび病の感染抵抗性に優れる。また，赤かび病抵抗性と関係する量的形質遺伝子座（QTL，*Fhb1*）の遺伝子型が抵抗性型で（マイクロサテライトマーカー *Xgwm533*および*Xgwm493*での多型調査による），赤かび病の進展抵抗性に優れる。圃場の罹病程度でみた赤かび病抵抗性は「強」である。「U24」は閉花性で感染抵抗性に優れるが，晩生のため交配親として活用しにくく，進展抵抗性が極弱であるため，後代での進展抵抗性の向上は望みにくい。「小麦中間母本農9号」は出穂・成熟期が「U24」より改善されているのに加え，感染抵抗性（閉花性）と進展抵抗性（*Fhb1*）を併せ持っているため，交配により機作の異なる赤かび病抵抗性の有用な遺伝因子を効率的に導入可能である。

キーワード：コムギ，赤かび病，感染抵抗性，進展抵抗性，閉花性，新品種。

Ⅰ．緒　言

麦類の赤かび病は，*Fusarium*属菌が開花した小花に感染することによって起こる病害で，子実の収量や品質を大きく低下させ，人畜に有害なかび毒（デオキシニバレノール（DON），ニバレノール（NIV）等）を子実に蓄積することから，麦作現場の大きな問題である。対策の一つとして抵抗性品種の作付けが挙げられるが，これまでの抵抗性品種では生産現場においては薬剤防除が必須であることから，品種の抵抗性の更なる向上が望まれる。小麦の赤かび病抵抗性は，初期感染に対する抵抗性（感染抵抗性），感染後の植物体内での菌の進展に対する抵抗性（進展抵抗性），かび毒の蓄積に対する抵抗性（かび毒蓄積抵抗性）に分類することができる（Schroeger and Christensen, 1963）。西日本の品種の赤かび病抵抗性には主に進展抵抗性が関わっており（Kubo and Kawada, 2009），その進展抵抗性には赤かび病抵抗性の遺伝資源である「蘇麦3号」由来の3B染色体上の量的形質遺伝子座（QTL，*Fhb1*）が関係していると考えられている。抵抗性の更なる向上のための戦略として，異なる抵抗性タイプの集積が考えられる。

コムギ系統「U24」は受精期に頴が開きにくく，葯が抽出しない，閉花受粉性（閉花性）という稀な特性を有しており（Ueno and Ito, 1997），感染抵

九州沖縄農業研究センター水用作・園芸研究領域：833-0041 福岡県筑後市和泉496
1）現，作物研究所
2）現，九州沖縄農業研究センター本所（熊本）
3）現，中央農業総合研究センター（北陸）
4）現，近畿中国四国農業研究センター（善通寺）
5）現，農業・食品産業技術総合研究機構

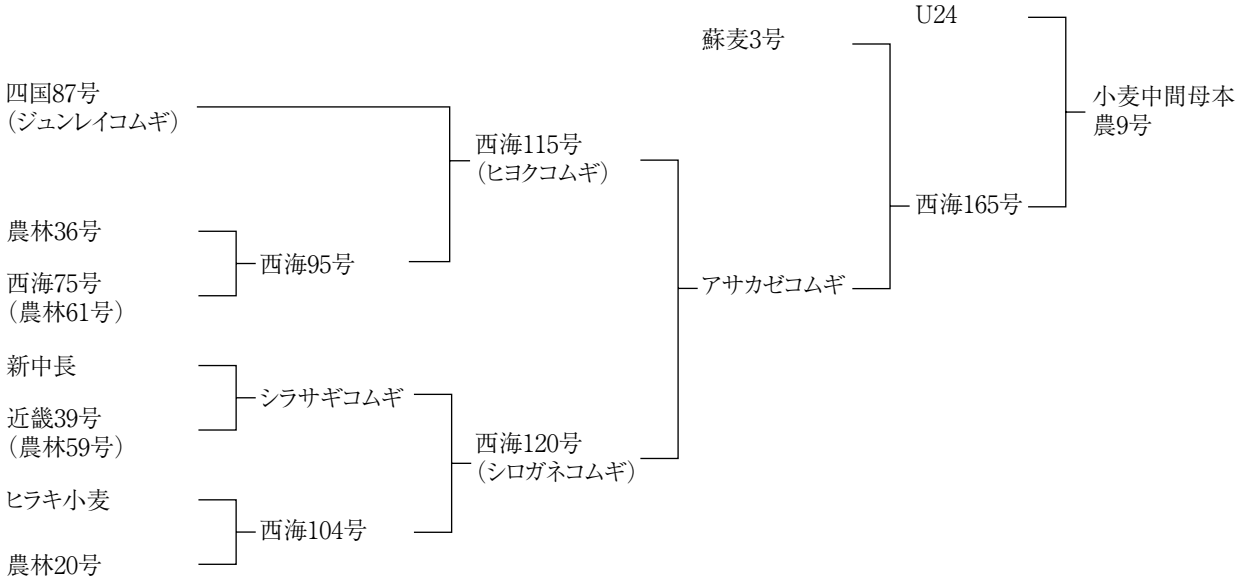
抗性に優れる（Kubo et al., 2010）。しかし，本系統は晩生である上，進展抵抗性が極めて劣るため，交配親として活用しにくい。そこで，九州沖縄農業研究センターでは，「蘇麦3号」由来の進展抵抗性を有するコムギ系統「西海165号」と「U24」の交配後代より，熟期が早く，感染抵抗性と進展抵抗性を併せ持つ系統「U24/S165-075（後の赤かび系3号）」の選定を進めてきた。本系統は感染抵抗性と進展抵抗性を併せ持つため，これを赤かび病抵抗性の育種素材として用いることにより効率的な選抜が可能になる。ここに本中間母本の育成経過および特性等を報告する。

本品種の育成に当たって，九州沖縄農業研究センター業務第2科の技術専門職員各位ならびに小麦・大麦育種グループの契約職員各位には，圃場管理業務，調査で多大な協力をいただいた。また，赤かび病菌は九州沖縄農業研究センター生産環境研究領域の吉田めぐみ氏から分譲いただいた菌株を増殖して試験に用いた。ここに心から厚くお礼申し上げる。

II．来歴および育成経過

小麦の赤かび病抵抗性の更なる向上には機作の異なる抵抗性形質の集積が必要である。そこで，閉花性の遺伝資源である「U24」と赤かび病進展抵抗性に優れる「西海165号」を親として交配を行い，閉花性による感染抵抗性と進展抵抗性を併せ持ち，かび毒の蓄積性が低い系統を開発することを目的とした。

2002年4月に作物研究所（茨城県つくば市）において，コムギ系統「U24」を母親，「西海165号」を父親として人工交配を行った。「U24」は中国由来の品種で（Ueno and Ito, 1997），受精期に開頴しにくく，葯が抽出しない閉花性という特性を持つ。「西海165号」は「アサカゼコムギ」と「蘇麦3号」との交配から育成された系統で，赤かび病進展抵抗性やかび毒蓄積抵抗性は「蘇麦3号」には及ばないが「アサカゼコムギ」より優れ（特に進展抵抗性に優れる）（Ban and Suenaga, 2000），「蘇麦3号」よりも短稈・早生（アサカゼコムギと同程度）である。F_1を温室で世代促進栽培し（6～10月），F_2を圃場に点播栽培し任意の150個体の穂を収穫した。2003年度（播種年度）以降は九州沖縄農業研究センター（福岡県筑後市）において，一穂一粒法で固定を図った。閉花性および赤かび病感染・進展抵抗性の評価はF_3～F_8にかけて行い，両抵抗性の優れる系統として「U24/S165-075」を選抜し，2007年度（F_7）以降は系統栽培し系統選抜を行った。SSRマーカーによる赤かび病進展抵抗性の量的形質遺伝子座（QTL, *Fhb1*）の遺伝子型の調査は，F_7において行った。2009年度（F_9）に「赤かび系3号」として生産力検定試験に供試し，栽培特性を評価した。その結果，長稈で収量性はやや劣るものの，



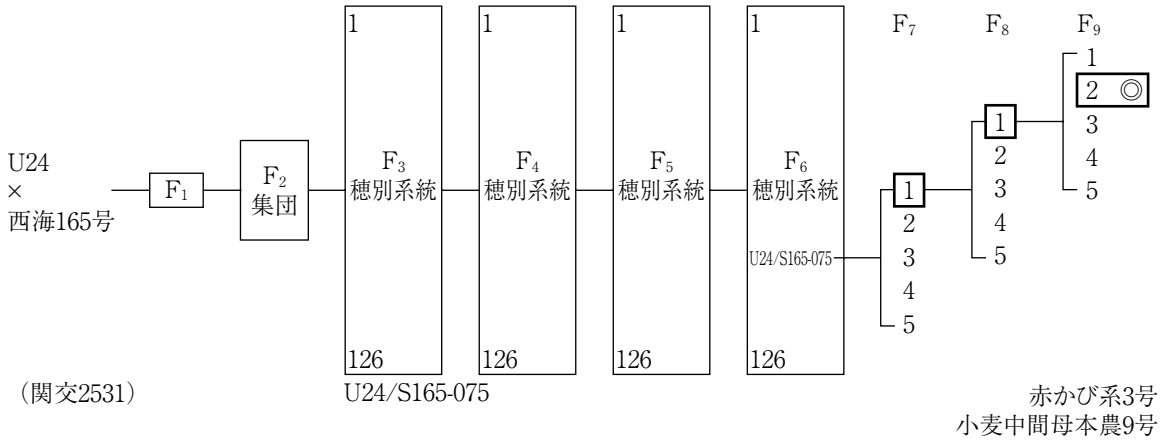
第 1 図　「小麦中間母本農9号」の系譜図
「蘇麦3号」の系譜についてはZheng（1993）に記載されている。

閉花性で進展抵抗性に優れることから，赤かび病抵抗性の育種素材としての活用が期待された。よって，2011年1月に「小麦中間母本農9号」として品種登録出願した。その系譜，選抜経過および育成系統図はそれぞれ第1図，第1表および第2図に示す通りである。

第 1 表　選抜経過

播種年度	2001	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
世代	交配	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9
試験地	作物研	作物研	作物研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研
供試系統群数				126	126	126	126	1	1	1
系統数	2穂	6	160	1	1	1	1	5	5	5
		個体	個体							
選抜系統群数										
系統数				126	126	126	1	1	1	1
個体数	24	全刈	150	1	1	1	5	5	5	10
	粒		穂	穂	穂					
選抜試験名	交配		穂選抜	SSD	SSD	SSD	系統選抜	系統選抜	系統選抜	系統選抜
備考	関交2531	世促		U24/S165-075						赤かび系3号
										小麦中間母本農9号
生産力										条播･多
検定試験										肥栽培
特性検定試験							1(1)	1(1)	1(1)	3(3)

特検の数字は試験の種類または実施場所数を示す。()内は九州沖縄農研での試験数。
世代促進した「小麦中間母本農9号」の選抜経過についてのみ記載した。



第 2 図　育成系統図
世代促進した「小麦中間母本農9号」の選抜経過についてのみ記載した。

Ⅲ．試験成績

1．閉花性

写真1に「小麦中間母本農9号」とその両親である「U24」および「西海165号」の開花期の穂形態を示した。「小麦中間母本農9号」は開花期にも葯が抽出せず，「U24」が有する閉花性を引き継いでいた。「U24」と「西海165号」の交配から由来した組換え自殖系統群（F_7世代，126系統）での開閉花性の調査結果を第2表に示した。開花性の系統数が110，閉花性の系統数が16で，分離比は劣性3遺伝子支配の期待比に適合した。この結果はFujita et al.（2005）の推察とも一致した。

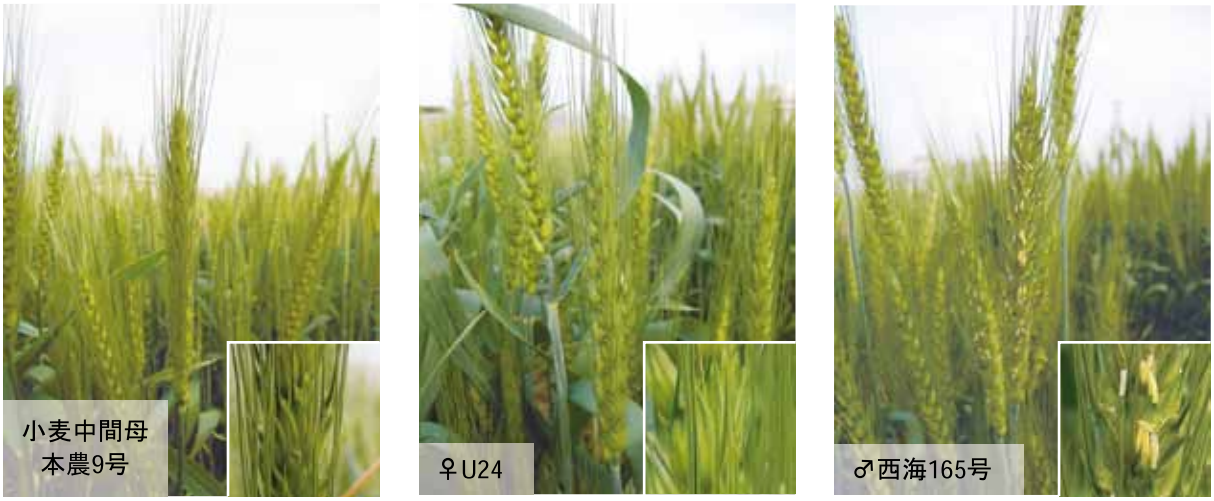


写真 1　開花（受精）期の穂

第 2 表　「U24」／「西海165号」の組換え自殖系統群（「小麦中間母本農9号」を含む）における閉花性の劣性3遺伝子支配の期待比

系統数		期待比	x^2	P
開花性	閉花性			
110	16	7.04:0.96	0.005	0.90<P<0.95

「U24」/「西海165号」の組換え自殖系統126系統（F_7）での閉花性の劣性3遺伝子支配の期待比。
受精（葯の開裂）後7,10,14,17日目に調査し,すべての調査で開穎･葯抽出していないものを閉花性系統と評価した。

2．赤かび病抵抗性

1）圃場での罹病程度で判定した赤かび病抵抗性

第3表に特性検定試験における赤かび病抵抗性の品種間比較を示した。本試験では圃場で赤かび病菌を蔓延させるため，赤かび病に罹病した大麦粒を茎立期に散布し（40L 10a^{-1}），開花期後スプリンクラーによる散水を定期的に行った（第7表に示した感染強度「強」の処理）。各系統の開花後3～4週目，罹病程度を（0（無）～9（甚））の罹病スコアで評価した（Ban and Suenaga, 2000）。調査は各系統2反復行った。その結果，圃場での罹病程度で判定した赤かび病抵抗性は「小麦中間母本農9号」が「ミナミノカオリ」や「農林61号」,「シロガネコムギ」よりも優れる「強」と判定された。

2）感染抵抗性

第4表に赤かび病感染抵抗性の品種間比較を示した。本試験では，ガラス室内でのポット試験において，開花期の穂に赤かび病菌を噴霧接種して感染を促した。接種後7，10，14，17日目（DAI）の穂の罹病程度を（0（無）～9（甚））の感染スコアで評価した。接種後日数が進むにつれて病変の拡大が進み、進展抵抗性を含んだ評価となったため、US Wheat and Barley Scab initiativeの手法（http://www.scabusa.org/pdfs/ptt/cowger_type1-screening_protocol.pdf）に従い、感染抵抗性は接種後7日目のスコアで評価した。調査は各系統3反復，1反復につき3穂調査した。その結果,「小麦中間母本農9号」の感染抵抗性は開花性の「農林61号」や「ミナミノカオリ」より優れた。また,「小麦中間母本農9号」を含む,「U24」と「西海165号」との交配から由来した後代系統群においても，閉花性の系統は開花性の系統よりも感染抵抗性が優れた。赤かび病菌は受精期に開花した小花に直接,あるいは小花から抽出した葯殻に感染・増殖することから（Dickson et al., 1921など），閉花性の「小麦中間母本農9号」は赤かび病菌に感染しにくいと考えられた。

3）進展抵抗性

第5表に赤かび病進展抵抗性の品種間比較を示した。本試験では，開花し始めた穂の小花に赤かび病菌の分生胞子懸濁液を注入し，切り穂として人工気象室内で7日間静置した後，小花からの褐変病斑の進展程度を0（無）～9（甚）の進展スコアで評価した。各系統につき2反復，1反復につき

第３表　特性検定試験における赤かび病抵抗性（罹病スコア）

品種名･系統名	播種年度	罹病スコア[1]
小麦中間母本農9号	2006	1.5
	2007	1.5
	2008	1.3
	2009	1.2
西海165号	2006	1.0
	2007	2.3
	2008	3.0
	2009	1.6
ミナミノカオリ	2006	2.3
	2007	4.3
	2008	6.0
	2009	4.5
シロガネコムギ	2006	1.0
	2007	2.5
	2008	2.8
	2009	2.7
農林61号	2006	2.0
	2007	4.0
	2008	4.6
	2009	4.0
(参)蘇麦3号	2006	0.5
	2007	1.3
	2008	0.0
	2009	0.3
小麦中間母本農9号	総合判定	1.4 ab2
西海165号		2.0 ab
ミナミノカオリ		4.3 c
シロガネコムギ		2.3 b
農林61号		3.7 c
(参)蘇麦3号		0.5 a
有意性[3]		**

[1] 第７表に示した感染強度「強」の圃場で栽培し，開花（受精）後３週目の罹病程度を０（無）～９（甚）の罹病スコアで評価した。[2]各列の異なる英文字間にはRyan-Einot-Gabriel-Welschの多重検定（P<0.05）で有意差があることを示す。[3]** は1%水準で有意差があることを示す。

第４表　「小麦中間母本農９号」における赤かび病の感染程度（感染スコア）

品種名･系統名	2006年度		2007年度			
	7DAT[1]	14DAI	7DAI	10DAI	14DAI	17DAI
両親･基準品種との比較						
小麦中間母本農9号	0.1 a2	1.0 a	0.0 a	0.0 a	0.1 a	0.2 a
♀U24	0.1 a	3.5 bc	0.0 a	1.3 a	3.0 b	6.3 b
♂西海165号	0.1 a	1.4 ab	0.1 a	0.7 a	1.2 ab	2.3 a
農林61号	0.8 a	1.8 abc	1.3 b	3.3 b	5.5 c	7.0 b
ミナミノカオリ	2.3 b	3.7 c	0.1 a	1.1 a	2.0 ab	2.8 a
トワイズミ	0.4 a	1.7 abc	0.1 a	0.3 a	2.0 ab	3.3 a
有意性[3]	**	**	**	**	**	**
(参)蘇麦3号	0.0	1.5	0.1	0.7	1.3	2.2
「U24」/「西海165号」の後代系統群（「赤かび系3号」を含む）						
開花性系統（n=110）	1.18	4.00	0.58	1.56	3.24	4.84
閉花性系統（n=16）	0.31	2.56	0.05	0.45	1.42	2.58
有意性	**	**	**	**	**	**

ガラス室内でのポット試験において,開花期の穂に赤かび病菌を噴霧接種して感染を促した。接種後7,10,14,17日目（DAI）の穂の罹病程度を（0（無）～9（甚））の感染スコアで評価した。各系統につき3穂調査した。[1]接種後日数。[2,3]第3表に同じ。

6小花（3小花×2穂）調査した。その結果，「小麦中間母本農9号」は進展抵抗性に優れる「西海165号」と同程度に優れた抵抗性を示した。進展抵抗性は「蘇麦3号」由来の3BS染色体上の量的形質遺伝子座（QTL, *Fhb1*）と関係し，それはSSRマーカー *Xgwm533*と*Xgwm493*の近傍であることが報告されている（Bai et al. 1999; Anderson et al. 2001; Buerstmayr et al. 2002; Zhou et al. 2002）。また，最近ではSSRマーカー *Xgwm533*のごく近傍であるとの報告がある（Zhou et al. 2010）。「U24」と「西海165号」との交配から由来した後代系統群においても，*Fhb1*が「西海165号」型（抵抗性型）の

系統は「U24」型（非抵抗性型）の系統よりも優れた進展抵抗性を示した。「小麦中間母本農9号」は*Fhb1*を「西海165号」から引き継いでおり（SSRマーカー*Xgwm533*および*Xgwm493*での多型調査による），これが優れた進展抵抗性と関係しているものと推察された。

第 5 表　「小麦中間母本農 9 号」における赤かび病の進展程度（進展スコア）と進展抵抗性と関係する量的形質遺伝子座（QTL, *Fhb1*）近傍の SSR マーカーの多型

品種名･系統名	進展スコア				多型調査	
	2006年度	2007年度	2008年度	2009年度	*Xgwm533*	*Xgwm493*
両親･基準品種との比較						
小麦中間母本農9号	2.7 [al]	3.5 [a]	4.3 [a]	2.8 [a]	蘇麦型[2]	蘇麦型
♀U24	5.8 [bc]	6.4 [b]	6.4 [b]	− [3]	非蘇麦型	非蘇麦型
♂西海165号	2.1 [a]	4.5 [ab]	5.2 [a]	2.4 [a]	蘇麦型	蘇麦型
農林61号	4.1 [ab]	5.3 [ab]	−	4.7 [b]	−	−
ミナミノカオリ	6.4 [c]	5.1 [ab]	−	3.5 [ab]	非蘇麦型	蘇麦型
トワイズミ	3.3 [a]	4.7 [ab]	−	2.4 [a]	蘇麦型	蘇麦型
有意性[4]	**	*	*	*		
(参)蘇麦3号	2.3	4.0	2.4	2.3	蘇麦型	蘇麦型
「U24」/「西海165号」の後代系統群（「赤かび系3号」を含む）						
*Fhb1*抵抗性型系統（n=49）	−	4.3	5.2	−	蘇麦型	蘇麦型
*Fhb1*非抵抗性型系統（n=58）	−	5.9	6.4	−	非蘇麦型	非蘇麦型
有意性		**	**			

開花し始めた穂の小花に赤かび病菌の分生胞子懸濁液を注入し，切り穂として人工気象室内で7日間静置した後，小花からの褐変病斑の進展程度を0（無）～9（甚）の進展スコアで評価した。1系統につき2反復，1反復につき6小花（3小花×2穂）調査した。[1]第3表の[2]に同じ。[2]蘇麦型は抵抗性型，非蘇麦型は非抵抗性型であることを示す。[3]データなし。[4]**,*はそれぞれ1%,5%水準で有意差があることを示す。

第 6 表　「小麦中間母本農 9 号」の罹病粒率および DON 濃度

品種名･系統名	2007年度	2008年度			2009年度		
	強[1]	弱	中	強	弱	中	強
罹病粒率（%）							
小麦中間母本農9号	22.1 [a2]	10.1 [a]	13.6 [a]	18.0 [a]	7.0 [a]	12.4 [a]	28.1 [a]
♀U24	75.0 [b]	29.4 [d]	53.2 [c]	78.6 [c]	81.8 [c]	87.6 [c]	96.3 [c]
♂西海165号	23.8 [a]	18.4 [b]	18.8 [ab]	30.0 [ab]	6.4 [a]	14.5 [a]	30.7 [a]
農林61号	20.5 [a]	24.9 [cd]	25.8 [b]	34.4 [b]	9.5 [ab]	17.9 [ab]	47.2 [b]
ミナミノカオリ	24.5 [a]	25.9 [cd]	27.7 [b]	34.6 [b]	16.0 [b]	24.1 [b]	39.5 [ab]
トワイズミ	19.8 [a]	23.3 [bc]	20.3 [ab]	21.8 [ab]	10.0 [ab]	18.5 [ab]	36.2 [ab]
有意性[3]	**	**	**	**	**	**	**
DON濃度（$\mu g\ g^{-1}$）							
小麦中間母本農9号	3.4 [a2]	0.1 [a]	0.4 [a]	2.2 [a]	0.3 [a]	0.6 [a]	7.0 [a]
♀U24	27.5 [b]	2.3 [b]	9.5 [b]	31.3 [b]	14.1 [b]	17.1 [b]	32.4 [b]
♂西海165号	4.4 [a]	0.1 [a]	0.2 [a]	3.2 [a]	0.2 [a]	0.4 [a]	2.7 [a]
農林61号	4.3 [a]	0.1 [a]	0.4 [a]	4.1 [a]	0.4 [a]	0.8 [a]	5.1 [a]
ミナミノカオリ	4.9 [a]	0.6 [a]	1.1 [a]	6.5 [a]	0.8 [a]	1.6 [a]	5.0 [a]
トワイズミ	3.9 [a]	0.1 [a]	0.3 [a]	3.2 [a]	0.2 [a]	0.6 [a]	3.9 [a]
有意性[3]	**	**	**	**	**	**	**

[1]罹病を促すための処理として，赤かび病に罹病した大麦粒を茎立期に散布し（40L $10a^{-1}$），開花期後スプリンクラーによる散水を定期的に行った。2008年度および2009年度には，赤かび病菌の接種および散水頻度を変えることにより感染･罹病強度が3段階（弱,中,強）に異なる処理区を設けた（第7表参照）。収穫・脱穀後2.0mmの篩いを通した子実について罹病粒率を測定し，粉砕後，ELISA法でDON濃度を測定した。[2,3]第3表に同じ。

第 7 表　2008 年度および 2009 年度の接種・散水処理

感染強度	赤かび病に罹病した大麦粒の散布	赤かび病菌分生胞子懸濁液の噴霧接種	散水（開花始期～成熟の10日前頃まで）
弱	×	20mL plot^{-1}	×
中	×	20mL plot^{-1}	毎夕1回
強	40L 10a^{-1}	20mL plot^{-1}	90～180分間隔で1.5分間

４）かび毒濃度

第6表に罹病粒率およびかび毒濃度の品種間比較を示した。本試験では，赤かび病菌を蔓延させた圃場（第7表）より収穫した子実について，脱穀後2.0mmの篩いを通したサンプルについて罹病粒率を測定し，粉砕後，ELISA法でDON濃度を測定した。その結果,「小麦中間母本農9号」のかび毒濃度は「農林61号」や「ミナミノカオリ」よりも優れた。しかし,「小麦中間母本農9号」は「西海165号」よりも罹病粒率が低い傾向にある一方で，かび毒濃度は同程度だった。これらの結果から,「小麦中間母本農9号」のかび毒蓄積抵抗性についてはさらに解析が必要であると考えられた。

３．後代検定試験成績

「小麦中間母本農9号」が有する閉花性と赤かび病進展抵抗性の後代への遺伝性について第8表，第3図および第9表に示した。「ミナミノカオリ」/「小麦中間母本農9号」のF_2系統における開閉花性の分離比は，これまでに報告のある劣性3遺伝子支配の期待比に適合し，本特性は後代へ遺伝すると考えられた。また，*Fhb1*の遺伝子型が「小麦中間母本農9号」型の系統は「ミナミノカオリ」型の系統よりも進展抵抗性が優れる傾向が示されたことから，本抵抗性は後代へ遺伝すると考えられた。

４．その他の特性

１）生育・収量調査成績

生育および収量調査試験の結果を第10表に示した。条播多肥栽培した本試験では,「小麦中間母本農9号」は「農林61号」と比べて，出穂期と成熟期は2日程度遅かった。稈長と穂長は長かった。穂数は同程度，耐倒伏性はやや劣った。うどんこ病抵抗性および赤さび病抵抗性は優れた。千粒重はやや低く，収量は低かった。容積重と外観品質は同程度だった。

２）赤かび病抵抗性以外の特性検定試験成績

赤かび病抵抗性以外の特性検定試験の結果を第11表に示した。「小麦中間母本農9号」の播性はIIで,穂発芽性は「農林61号」と比較して劣るが,「ミナミノカオリ」並みかやや優れた。

３）品質調査成績

製粉・粉質試験の結果を第12表に示した。「小麦中間母本農9号」は「農林61号」と比較して，原粒の灰分，蛋白質含量，SKCS硬度は同程度，製粉歩留はやや高く，明度，赤みおよび黄色みはやや低かった。RVAの最高粘度は同程度，ブレークダウンはやや小さかった。

４）固定度

固定度の調査結果を第13表に示した。出穂期,稈長および一株穂数における「小麦中間母本農9号」の平均値および変動係数は「農林61号」と顕著な差異がないことから,「小麦中間母本農9号」は「農林61号」と同程度に固定しており，実用的に支障がないと考えられた。

Ⅳ．中間母本登録の理由および利用上の注意

１．中間母本登録の理由

「U24」は閉花性で感染抵抗性に優れるが，晩生のため交配親として活用しにくく，進展抵抗性が極弱であるため，後代系統での進展抵抗性の向上は望みにくい。「小麦中間母本農9号」は出穂・成熟期が「U24」より改善されているのに加え，感染抵抗性（閉花性）と進展抵抗性（*Fhb1*）を併せ持っているため，交配により機作の異なる赤かび病抵抗性の有用な遺伝因子を「西海165号」よりも効率的に導入できる。

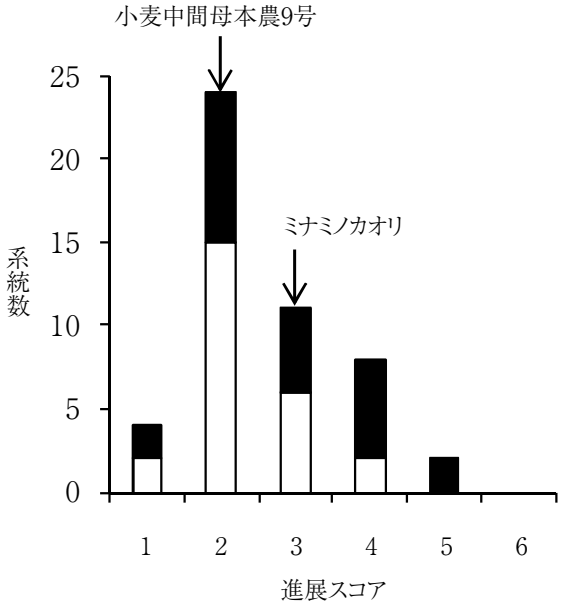
２．母本として利用する上での注意

「小麦中間母本農9号」は長稈で耐倒伏性が劣るため，後代系統での選抜に留意する。また,「小麦

中間母本農9号」と開花性品種・系統との交配後代では受精期に葯殻が頴に挟まりわずかに抽出した状態となる系統が分離し，閉花性と見誤ることがある。その系統は一般的な開花性の系統よりも感染抵抗性が劣る可能性があるため（久保ら，2010），閉花性系統が出現する期待比も考慮し，経時的に観察しながら注意深く観察を行い，すべての調査で開頴・葯抽出していないものを閉花性系統として選抜する。

第 8 表 「ミナミノカオリ」/「小麦中間母本農 9 号」の F_2 系統における閉花性の劣性 3 遺伝子支配の期待比

系統数		期待比	x^2	P
開花性	閉花性			
182	3	63:1	0.29	0.50<P<0.70



第 3 図 「ミナミノカオリ」/「小麦中間母本農 9 号」の F_2 系統における赤かび病の進展程度（進展スコア）の頻度分布進展抵抗性と関係する QTL（*Fhb1*）の遺伝子型を SSR マーカー（*Xgwm533*）で調査し，遺伝子型別の進展スコアの分布を示した。□:*Fhb1* が抵抗性型（「小麦中間母本農 9 号」型）の系統。■：*Fhb1* が非抵抗性型（「ミナミノカオリ」型）の系統。

第 9 表 「ミナミノカオリ」/「小麦中間母本農 9 号」の F_2 系統の赤かび病の進展程度（進展スコア）

進展スコアの分布	*Fhb1*の遺伝子型		t検定でのP値
	「ミナミノカオリ」型	「小麦中間母本農9号」型	
1.5−5.5	3.2（24）[1]	2.7（25）	0.053

進展抵抗性と関係するQTL（*Fhb1*）の遺伝子型をSSRマーカー（*Xgwm533*）で調査し，遺伝子型間での進展スコアを比較した。[1]（）内の数字は解析に用いた系統数。ヘテロ型の系統は解析から除いた。

第 10 表　生育および収量調査成績（条播多肥栽培,2009 年度）

品種名・系統名	出穂期（月.日）	成熟期（月.日）	稈長（cm）[1]	穂長（cm）[2]	穂数（本/m^2）[3]	倒伏[4]	うどんこ病[4]	赤さび病[4]	子実重（kg/a）[5]	収量比（%）	容積重（g/L）[5]	千粒重（g）[5]	外観品質[6]
小麦中間母本農9号	4.11	6.02	108	11.0	483	5.0[7]	0.0	0.0	43.0	73	820	33.0	中中
♀U24	(4.18)[8]	(6.09)											
♂西海165号	4.06	5.30	82	8.1	577	3.0	2.5	3.0	50.3	85	810	32.3	中上
農林61号	4.09	5.31	94	8.5	482	5.0	1.5	2.0	58.9	100	817	37.0	中中

[1]1 区あたり立毛の 10 茎を調査。[2] 稈長を測定した 10 穂について調査。[3]1 区あたり 50cm 間の穂数を 2 カ所調査し，m^2 当たりに換算。[4]0（無），1（微），2（少），3（中），4（多），5（甚）の 6 階級調査。[5] 風選した材料について調査。[6]1（上上）～ 5（中中）～ 9（下下）の 9 階級評価。[7]「小麦中間母本農 9 号」は農林 61 号よりも早期に倒伏した。[8] 雨除けハウスでの栽培における参考値。圃場栽培では温度の影響により生育がより遅れるため、「小麦中間母本農 9 号」は「U24」と比較して出穂期および成熟期が 7 日間以上早い。「U24」は極晩生のため、生育および収量調査は実施できなかった。

第 11 表　特性検定試験成績（2009年度）

品種名・系統名	播性程度[1]	穂発芽性[2]
小麦中間母本農9号	II	易
西海165号[3]	II～III	難～極難
ミナミノカオリ	I	易
シロガネコムギ	II	やや易
農林61号	II	難

[1]1月末より戸外播種した材料で判定。[2]成熟期の穂を吸水後,20℃の恒温高湿槽に置き,1週間後の発芽粒率から難易を判定。[3]参考成績書より引用した。

第 12 表　製粉・粉質試験成績（条播多肥栽培, 2009 年度）

品種名・系統名	原粒				A粉の色相[5]			RVA[6]	
	灰分（%）[1]	粗蛋白質（%）[2]	SKCS 硬度[3]	製粉歩留（%）[4]	L*	a*	b*	最高粘度（BU）	ブレークダウン（BU）
小麦中間母本農9号	1.61	10.7	35.0	56.7	87.9	0.13	12.74	327	154
農林61号	1.65	10.3	33.8	52.6	88.4	0.37	13.70	328	195

[1] 燃焼法（550℃，12 時間）により測定，水分 13.5%換算。[2] 近赤外分析装置 Infratec1241 により測定，水分 13.5%換算。[3]SKCS4100 により測定。[4] ブラベンダー社小型製粉機を用いて 6XX の篩を使用して，フィード速度 150g/7 分，14.0%テンパリング，2反復で製粉。製粉歩留（%）は，（A 粉+B 粉）/（A 粉+B 粉+ふすま）×100（%）で計算。[5] 色彩色差計（ミノルタ CM-3500d）を用いて測定。[6]Newport Scientific 社 Rapid Visco Analyser（RVA-3D）により測定。設定条件は noodle method（小麦粉 4.0g, 水 25mL, 60℃で 2 分間温度一定, 60℃から毎分 5.8℃ずつ昇温, 95℃で 4 分温度一定, 95℃から毎分 11.2℃ずつ降温, その後 50℃で 4 分間温度一定）を用いた。

第 13 表　固定度調査成績（2009 年度）

品種名･系統名	系統番号	出穂日	稈長(cm)		穂長(cm)		1株穂数（本）	
			平均	CV（%）	平均	CV（%）	平均	CV（%）
小麦中間	1	4.15	99.9	2.7	13.1	3.0	11.3	16.6
母本農9号	②	4.15	102.0	3.1	12.9	4.3	9.8	19.8
	3	4.15	102.0	2.7	12.8	4.6	10.1	20.2
	4	4.16	100.8	2.5	13.1	3.4	11.3	17.9
	5	4.16	101.1	3.1	13.0	2.7	9.8	12.3
	平均	4.15	101.2	2.8	13.0	3.6	10.5	17.4
農林61号	1	4.12	90.3	3.6	9.3	8.2	11.8	10.9
	2	4.12	87.7	3.4	9.2	5.9	10.1	17.0
	3	4.12	84.5	4.3	9.4	4.3	10.3	21.6
	4	4.12	88.4	3.5	9.3	5.9	10.4	14.4
	5	4.12	85.8	3.4	9.4	6.7	10.0	15.6
	平均	4.12	87.3	3.6	9.3	6.2	10.5	15.9

○：選抜した系統。CVは変動係数を示す。

写真 2　草姿（左），穂（右上），子実（右下）A：小麦中間母本農9号，B：西海165号，C：U24

引用文献

1）Anderson, J.A., Stack, R.W., Liu, S., Waldron, B.L., Fjeld, A.D., Coyne, C., Moreno-Sevilla, B., Mitchell Fetch, J., Song, Q.J., Cregan P.B. and Frohberg, R.C.（2001） DNA markers for Fusarium head blight resistance QTL in two wheat populations. *Theor. Appl. Genet.* **102**：1164-1168.

2）Bai, G., Kolb, F.L., Shaner, G. and Dornier, L.L.（1999） Amplified fragment length polymorphism markers linked to a major quantitative trait locus controlling scab resistance in wheat. *Phytopathology* **89**：343-347.

3）Ban, T. and Suenaga, K.（2000） Genetic analysis of resistance to Fusarium head blight caused by *Fusarium graminearum* in Chinese wheat cultivar Sumai 3 and the Japanese cultivar Saikai 165. *Euphytica* **113**：87-99.

4）Buerstmayr , H., Lemmens , M., Hartl, L., Doldi, L., Steiner, B., Stierschneider, M. and Ruckenbauer, P.（2002） Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread（type II resistance）. *Theor. Appl. Genet.* **104**：84-91.

5）Dickson, J.G., Johann, H. and Wineland, G.（1921） Second progress report on the Fusarium head blight（scab） on wheat. *Phytopathology* **11**：35.

6）Fujita, M., Watanabe, Y., Honda, I., Eguchi, H., Matsunaka, H., Kiribuchi-Otobe, C. and Seki, M.（2005） Inheritance of the cleistogamy in wheat（*Triticum aestivum* L. var. "U24"）. *Proceedings of 10th SABRAO*, G-9.

7）Kubo, K. and Kawada, N.（2009） Varietal difference in resistance to spread of Fusarium head blight and its relationship with grain mycotoxin accumulation in wheat. *Breed. Sci.* **59**：261-268.

8）Kubo, K., Kawada, N., Fujita, M., Hatta, K., Oda, S. and Nakajima, T.（2010） Effect of cleistogamy on *Fusarium* head blight resistance in wheat. *Breed. Sci.* **60**：405-411.

9）久保堅司・河田尚之・藤田雅也・八田浩一・松中仁・小田俊介・牛山智彦・中村和弘・中島隆（2010） コムギにおける葯の抽出程度と赤かび病の感染に対する抵抗性との関係．育種学研究 **12**（別1）：175.

10）Schroeder, H.W. and Christensen, J.J.（1963） Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* **53**：831-838.

11）Ueno, K. and Itoh, H.（1997） Cleistogamy in wheat： genetic control and the effect of environmental conditions. *Cereal Res. Comm.* **25**：185–189.

12）Zheng, D.（1993） Use of Italian wheat varieties in China. *Genetic Res. Crop Evol.* **40**：137-142.

13）Zhou, M.P., Hayden, M.J., Zhang, Z.Y., Lu, W.Z. and Ma, H.X.（2010） Saturation and mapping of a major *Fusarium* head blight resistance QTL on chromosome 3BS of Sumai 3 wheat. *J. Appl. Genet.* **51**：19-25.

14）Zhou, W.C., Kolb, F.L., Bai, G., Shaner, G. and Domier, L.L.（2002） Genetic analysis of scab resistance QTL in wheat with microsatellite and AFLP markers. *Genome* **45**：719-727.

付表 1 形態的特性

形質番号	形質	小麦中間母本農9号	農林61号	シロガネコムギ
1	叢性	4(やや直立)	4(やや直立)	4(やや直立)
2	株の開閉	5(中)	5(中)	7(開)
3	鞘葉の色	1(無)	1(無)	1(無)
4	稈長	7(長)	6(やや長)	3(短)
5	稈の細太	6(やや太)	5(中)	6(やや太)
6	稈の剛柔	5(中)	5(中)	5(中)
7	稈のワックスの多少	6(やや多)	4(やや少)	5(中)
8	葉色	6(やや濃)	5(中)	4(やや淡)
9	葉鞘のワックスの多少	6(やや多)	4(やや少)	5(中)
10	葉鞘の毛の有無･多少	1(無)	1(無)	1(無)
11	葉身の下垂度	4(やや小)	5(中)	6(やや大)
12	フレッケンの有無･多少	3(少)	3(少)	4(やや少)
13	穂型	2(紡錘状)	2(紡錘状)	2(紡錘状)
14	穂長	7(長)	6(やや長)	4(やや短)
15	粒着の粗密	4(やや粗)	5(中)	5(中)
17	穂のワックスの多少	5(中)	4(やや少)	3(少)
18	ふ毛の有無	1(無)	1(無)	1(無)
19	葯の色	1(黄)	1(黄)	1(黄)
20	芒の有無･多少	6(やや多)	5(中)	6(やや多)
21	芒長	5(中)	5(中)	6(やや長)
22	ふ色	4(褐)	4(褐)	2(黄)
23	粒の形	5(中)	5(中)	5(中)
24	粒の大小	5(中)	5(中)	5(中)
25	粒の色	3(黄褐)	5(赤褐)	3(黄褐)
26	頂毛部の大きさ	5(中)	5(中)	5(中)
27	粒の黒目の有無･多少	1(極少)	1(極少)	1(極少)
28	千粒重	4(やや小)	5(中)	5(中)
29	容積重	5(中)	5(中)	6(やや大)
30	原麦粒の見かけの品質	5(中中)	5(中中)	6(中上)
31	粗蛋白質含量	5(中)	5(中)	5(中)
32	灰分含量	5(中)	5(中)	4(やや少)
33	うるち･もちの別	1(うるち)	1(うるち)	1(うるち)

注)種苗特性分類調査基準(平成10年3月)の階級値および区分を示す。

付表 2 生態的特性･品質特性

形質番号	形質	小麦中間母本農9号	農林61号	シロガネコムギ
34	播性の程度	2(II)	2(II)	2(II)
35	茎立性	6(やや晩)	5(中)	4(やや早)
36	出穂期	6(やや晩)	5(中)	3(早)
37	成熟期	6(やや晩)	5(中)	3(早)
45	耐倒伏性	4(やや弱)	5(中)	8(かなり強)
46	穂発芽性	3(易)	7(難)	4(やや易)
47	脱粒性	6(やや難)	5(中)	4(やや易)
48	収量性	3(少)	5(中)	6(やや多)
49	粒の硬軟	5(中)	5(中)	4(やや軟)
50	粒質	1(粉状質)	1(粉状質)	1(粉状質)
51	製粉歩留	6(やや高)	5(中)	6(やや高)
59	粉の明度	4(やや低)	5(中)	6(やや高)
60	粉の赤色み	4(やや低)	5(中)	4(やや低)
61	粉の黄色み	4(やや低)	5(中)	−
68	最高粘度	5(中)	5(中)	4(やや小)
69	ブレークダウン	4(やや小)	5(中)	4(やや小)
71	赤かび病抵抗性	7(強)	5(中)	5(中)
72	うどんこ病抵抗性	7(強)	5(中)	5(中)
73	赤さび病抵抗性	7(強)	5(中)	4(やや弱)

注)種苗特性分類調査基準(平成10年3月)の階級値および区分を示す。

付表 3 育成従事者

播種年度	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
世代	交配−F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	
試験名		穂選抜	SSD	SSD	SSD	系統選抜 特性検定 ポット 切り穂	系統選抜 特性検定 かび毒 ポット 切り穂	系統選抜 特性検定 かび毒 切り穂	系統選抜 条播･多肥栽培 特性検定 かび毒 切り穂	
試験地	作物研	作物研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	九州沖縄農研	
河田尚之	━	━	━	━	━	━	━	━	━	現在員
藤田雅也	━	━	━				━	━	━	現在員
八田浩一			━	━	━	━	━	━	━	現在員
久保堅司							━	━	━	現在員
松中仁	━	━	━						━	現在員
小田俊介			━	━	━	━	━	━		作物研
波多野哲也			━	━	━					九州農研
関昌子			━	━						作物研
吉岡藤治	━	━								作物研
乙部千雅子	━	━	━							作物研

Development of 'Wheat Norin-PL 9 (Akakabikei 3)', a Cleistogamous Wheat Line with Fusarium Head Blight Resistance

Katashi Kubo, Naoyuki Kawada, Masaya Fujita, Koichi Hatta, Hitoshi Matsunaka
Shunsuke Oda[1), Tetsuya Hatano[2), Masako Seki[3), Toji Yoshioka[4), Chikako Otobe[1)
and Takashi Nakajima[5)

Summary

Wheat Norin PL-9 (Akakabikei 3) developed by NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, Chikugo, Fukuoka, Japan, was selected from cross U24 (a cleistogamous line) / Saikai 165 (a chasmogamous line with Fusarium head blight (FHB) resistance) made in 2001 and registered in 2011. Norin PL-9 has cleistogamous characteristics that increase the resistance to initial infection of FHB. Norin PL-9 also has Saikai 165 (resistant) genotype in the quantitative trait locus (QTL) located on the short arm of the 3B chromosome (*Fhb1*), which is related to resistance to the spread of FHB. In addition, the accumulation of mycotoxin in grains due to FHB is similar to that of Saikai 165. Therefore, comprehensive resistance to FHB is excellent. Compared with the cleistogamous parent U24, Norin PL-9 usually matures seven days earlier and has higher resistance to FHB spread and mycotoxin accumulation. Norin PL-9 can introduce multiple factors related to FHB resistance to wheat materials in breeding programs.

Key words: Cleistogamy, Fusarium head blight (FHB), New variety, Resistance to FHB infection, Resistance to FHB spread, Wheat.

Lowland Farming and Horture Research Divison, NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, 496 Izumi, Chikugo, Fukuoka, 833-0041 Japan.
Present Address:
1) NARO Institute of Crop Science
2) NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center (Kumamoto)
3) NARO National Agricultural Research Center (Hokuriku)
4) NARO Western Region Agricultural Research Center (Zentsuji)
5) National Agriculture and Food Research Organization