

コムギ縞萎縮病抵抗性品種‘ゆめちから’の育成と抵抗性遺伝子の由来

農研機構 北海道農業研究センター ^{にし}西 ^お尾 ^{ぜん}善 ^た太*

はじめに

‘ゆめちから’は、従来の「うどん用」の品種とブレンドして、パンやラーメンを作る「超強力コムギ」で、大手製パンメーカーから‘ゆめちから’を使用した製品の本格販売が始まるなど、注目を集める。従来のパン用小麦品種と比べて病気に強く収量が多いことや、国による生産支援等から普及が急速に拡大し、2013年に約6,000ヘクタール、2014年には北海道の小麦栽培面積の約1割にあたる13,000ヘクタールを超える見込みである。その一方、‘ゆめちから’の普及が決まった背景には、北海道で初めての、優れたコムギ縞萎縮病抵抗性に対する生産現場からの強い要望があった。本稿では、‘ゆめちから’の育成や、その優れた抵抗性の由来について、最近の研究を交えて紹介する。

I 我が国におけるコムギ縞萎縮病の発生状況

コムギ縞萎縮病は我が国で古くから発生が報告されている麦類の土壤伝染性のウイルス病である。本病は越冬前のコムギの幼苗期に根を通じて感染後地上部へ移行し、越冬後に黄化症状や萎縮症状を示す（口絵①）。我が国のコムギの主産地である北海道、関東、九州地方等で広く発生が見られ、近年、各地の被害が拡大傾向にあることから、国産コムギの安定生産上の大きな問題になっている。

九州地方では‘シロガネコムギ’、‘チクゴイズミ’等の比較的抵抗性の強い品種が普及している。しかし、その他の地域では縞萎縮病抵抗性品種への転換が遅れており、関東以西の古くからの主要品種である‘農林61号’や、北海道の主力品種の‘きたほなみ’等は本病に罹病性である。

本病の病原ウイルスはコムギとオオムギで異なり、コムギではコムギ縞萎縮ウイルス（*Wheat Yellow Mosaic*

Virus, WYMV）、オオムギではオオムギ縞萎縮ウイルス（*Barley Yellow Mosaic Virus*, BaYMV）がかかわる。WYMVはオオムギ縞萎縮ウイルス（BaYMV）を代表種とする *Bymovirus* 属に分類される。酵素結合免疫吸着法（ELISA法）を用いた簡便かつ高感度の検定法が確立されており、圃場検診に広く利用されている。

縞萎縮ウイルスは、コムギおよびオオムギの根に寄生する菌類の一種である *Polymyxa graminis* によって媒介される。*P. graminis* の活動適温は13～15℃で、コムギへの感染は5～15℃で起こり、コムギ縞萎縮ウイルスの増殖には10℃前後が適している（大藤, 2005）。一般に、秋季にコムギを早播きすると幼苗期が感染に適した気温になるためコムギ縞萎縮病の発病が激しくなる。越冬後は、気温の上昇とともにウイルスの増殖が抑制され、病徴は軽減されるが、春季が低温の年は、ウイルスの増殖に適した条件が続くため、被害が大きくなる。

北海道では、1991年に恵庭市においてコムギ縞萎縮病の発生が初めて確認され、胆振地方を中心に伊達市、千歳市、長沼町等で次々に見つかった。前述のように、北海道の主力品種は本病に罹病性のため、コムギ縞萎縮病の被害が拡大した（楠目ら, 1997；竹内ら, 2010）。北海道内でコムギ縞萎縮病の発生が確認された地域は、1996年の4支庁7市町から、2012年には9振興局51市町村となった。その分布状況から、道内の主要な秋まきコムギ栽培地帯のほぼ全域に広がったと考えられる。

日本国内におけるコムギ縞萎縮ウイルスの分化については、古くより異なる系統の存在を指摘されてきた。大藤ら（2006）は日本各地のコムギ縞萎縮病発生圃場から分離したウイルスをⅠ～Ⅲの三つの病原型に類別し、T株（茨城県つくば市）に代表されるⅠ型は、主に東北地方以西の西日本に、M株（岩手県盛岡市）に代表されるⅡ型は岩手県以北の北日本に、すべての判別品種をおかずⅢ型は福岡県のみに分布することを報告した。

OHKI et al. (2014) は、国内各地のコムギ縞萎縮ウイルスのRNA（RNA1, RNA2）の配列を解析した結果、病原型の変異はRNA1の配列と関係しており、関東以西のウイルスと、北日本のウイルスは、2本のRNAとも異なるタイプであることを明らかにした。

コムギ縞萎縮病の防除については、土壌処理剤の効果

Breeding of a *Wheat Yellow Mosaic Virus* (WYMV) Resistant Variety ‘Yumechikara’ and the Source of WYMV Resistance Gene.
By Zenta Nishio

（キーワード：コムギ、縞萎縮病、抵抗性遺伝子、DNAマーカー、ゆめちから）

* 現所属：農林水産省大臣官房政策課

が認められているが、環境に対する負荷やコストにより、一般圃場での実施は困難である。一方、様々なコムギ品種を調べると、その中には、縞萎縮病に対して優れた抵抗性を持つ品種が見いだされる。したがって、コムギ縞萎縮病が発生してしまった圃場では、そのような抵抗性品種を栽培するのが、最も実用的な対策である。

これまでのコムギ縞萎縮病に対する抵抗性の評価法は、縞萎縮病ウイルス重度汚染圃場におけるコムギの発病度を調査する方法が一般的である。しかし、この選抜法は年に 1 回しか抵抗性の評価を行うことができず、毎年発病度がウイルスの土壌汚染程度や、気象条件等に大きく影響されるため制約条件が大きい。このため、コムギ縞萎縮病の抵抗性を判別する DNA マーカーなどの新たな選抜法開発が待たれていた。

II コムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子の解析

近年、中国のコムギ品種‘Yangfu 9311’において、コムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子の座乗位置が報告された(Liu et al., 2005)。しかし、当品種の入手も困難なことから、我が国で発生しているコムギ縞萎縮病への適用可能性は明らかでなかった。

筆者らのグループでは、北海道のコムギ縞萎縮病発生圃場において優れた抵抗性を示したオランダ由来のコムギ品種‘Ibis’の抵抗性を解析材料とした。抵抗性品種の‘Ibis’と罹病性品種の‘Münstertaler’と掛け合わせた実験材料を、北海道と九州のコムギ縞萎縮病発生圃場にそれぞれ播種し、発病度を調査した。

同一の実験材料について、北海道と九州のコムギ縞萎縮病発生圃場で 2 年間の試験を行ったところ、コムギ縞萎縮病に対して抵抗性の系統と、罹病性の系統が、両試験地とも 1:1 の比率で分かれた。1:1 に分離することとは、抵抗性に関与する遺伝子が一つであるということを示していた。抵抗性遺伝子が乗っている染色体を調べた結果、その遺伝子は、Liu et al. (2005) の報告と同様に、コムギの 2D 染色体上に座乗していた(Nishio et al., 2010)。コムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子と最も近い DNA マーカー (DNA の目印) によって、実験材料 98 系統のうち、92 系統 (約 94%) を抵抗性と罹病性に正しく分類することが可能であった。

ほぼ同時期に、北海道立中央農業試験場 (現道総研中央農業試験場) のグループが、米国由来のコムギ縞萎縮病抵抗性品種‘Madsen’の抵抗性を解析し、やはり 2D 染色体上にコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子があることを報告した (竹内ら, 2010)。これらの結果より、北海道で有効なコムギ縞萎縮病の抵抗性遺伝子は、2D 染色体上

にあることが複数の抵抗性品種の解析で一致した。

一連の研究で見つかったコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子は、抵抗性の親品種の名前にちなんで、それぞれ *YmYF* (Liu et al., 2005), *YmIb* (Nishio et al., 2010), *YmMD* (竹内ら, 2010) と名付けられ、それぞれ、2D 染色体上の同様の位置にマッピングされている。しかしながら、それぞれの抵抗性の由来となっている親品種は明らかになっていないため、これらの抵抗性遺伝子の相同性の確認が必要である。

III コムギ縞萎縮病抵抗性品種‘ゆめちから’の育成

‘ゆめちから’は、1996 年に、北海道農業研究センター (北農研) 育成系統の‘札系 159 号 (タクネコムギ//チホクコムギ/東北 140 号)’と米国カンザス州立大学育成材料‘KS831957’の F₁ (雑種第一代) に‘月系 9509 (後の‘キタノカオリ)’を掛け合わせ、その交雑集団から選抜して育成された。後に‘ゆめちから’になる材料に系統番号が付された 2003 年に、北海道伊達市のコムギ縞萎縮病発生圃場において優れた抵抗性が確認され、それ以来、毎年優れた抵抗性を示している。

‘ゆめちから’は、コムギ縞萎縮病の発生地帯の現地試験圃場 (伊達市、千歳市、北見市) において、本病に罹病性の対照品種である‘ホクシン’または‘きたほなみ’とくらべて、7~27% の多収を示した (田引ら, 2011)。当時、コムギ縞萎縮病発生地帯の千歳市では、主力品種の‘ホクシン’と比較して、コムギ縞萎縮病の発病程度が比較的軽い‘タクネコムギ’を栽培していた。しかし、‘タクネコムギ’は約 40 年前に育成された品種で、草丈が高いため倒伏しやすく、生産性が低かったことから、現地の生産者から‘ゆめちから’への置き換えが要望された。北海道内のコムギ縞萎縮病発生地帯への緊急的な対応の必要性や、国産の「パン・中華めん用」コムギに対する実需者の要望もあり、‘ゆめちから’は 2009 年に北海道優良品種に認定された。

IV コムギ縞萎縮病抵抗性の由来

‘ゆめちから’が持つコムギ縞萎縮病抵抗性の由来を調査するため、親品種のコムギ縞萎縮病抵抗性を調査した。その結果、米国由来の‘KS831957’が優れた抵抗性を示し、抵抗性の供与親であることが判明した。前述のコムギ縞萎縮病抵抗性品種‘Ibis’において同定された 2D 染色体上の DNA マーカーを調査したところ、‘KS831957’と‘ゆめちから’は、ともに‘Ibis’と同様の抵抗性型を示した (図-1)。その後、‘ゆめちから’とコムギ縞萎縮病に罹病性の‘きたほなみ’を交配した実験材料

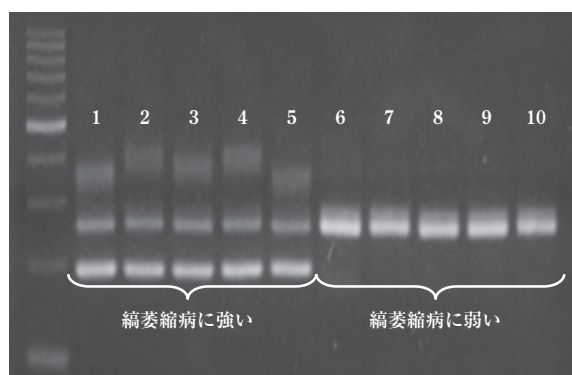


図-1 コムギ縞萎縮病抵抗性と 2D 染色体上の DNA マーカー *wmc181* の多型

抵抗性品種：1 Ibis, 2 KS 831957, 3 Madsen, 4 ゆめちから, 5 Jagger.

罹病性品種：6 Müstertaler, 7 キタノカオリ, 8 きたもえ, 9 ホクシン, 10 きたほなみ.

の遺伝解析からも、‘ゆめちから’は、2D 染色体上に抵抗性遺伝子を持つことが明らかになっている。

‘KS831957’が持つコムギ縞萎縮病抵抗性の由来については、親品種である‘Plainsman V’と‘Odeskaya51’のうち、ウクライナで 1969 年に育成された‘Odeskaya51’がコムギ縞萎縮病抵抗性を持つことが報告されている (Zhu et al., 2012)。

筆者らは北農研が保有する海外の遺伝資源約 200 品種について、前述の 2D 染色体上のコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子に連鎖する DNA マーカーの多型を調査した。その結果、東欧を含むヨーロッパの品種にコムギ縞萎縮病抵抗性の多型を持つ品種が多い傾向が見られた。したがって、‘ゆめちから’のコムギ縞萎縮病抵抗性は、ウクライナ→米国→日本と伝わった可能性がある。

小島ら (2012) は、我が国のコムギ品種で農林登録された 165 品種 (農林 1 号～165 号) について、2D 染色体上のコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子に連鎖する DNA マーカーの多型を調査したところ、抵抗性の多型を持つものはわずか 6 品種であった。それらの、系譜上の品種をたどって抵抗性の多型を調査すると、抵抗性遺伝子の由来は、ヨーロッパの品種である可能性が高いことが推察された。

竹内ら (2010) がコムギ縞萎縮病抵抗性の解析に用いた米国品種‘Madsen’は、米国ワシントン州立大学が 1988 年に育成した眼紋病抵抗性品種で、‘Madsen’の系譜には、眼紋病抵抗性遺伝子の由来となったフランスの品種‘VPM-1’が含まれる。北農研が保存する‘VPM-1’を調査したところ、2D 染色体上の DNA マーカーは、

抵抗性の多型を示した。

V 新たなコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子の発見

最近、2D 染色体上のコムギ縞萎縮病抵抗性とは別に、中国のグループによって、我が国のコムギ品種である‘ニシカゼコムギ’の 3B 染色体上と 5A 染色体上にコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子が存在することが報告された (Zhu et al., 2012)。また、北海道立農業試験場のグループにより、‘Madsen’には、2D 染色体に加えて、3B 染色体上に抵抗性遺伝子が存在することが報告された (鈴木ら, 2010)。

前述のコムギ縞萎縮病抵抗性品種‘Ibis’は、2D 染色体上に単一の抵抗性遺伝子を持つが、その後の試験により、試験年によってコムギ縞萎縮病に感染する事例があることが判明した。したがって、コムギ縞萎縮病の感染条件が厳しい場合は、単一の抵抗性遺伝子のみでは完全に感染を防ぐことができない可能性が示された。

小島ら (2012) は、‘ニシカゼコムギ’で同定された 5A 染色体上のコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子の近傍にある DNA マーカーについて、コムギ農林登録 165 品種について調査した。その結果、半数近くの 76 品種が、5A 染色体上に抵抗性型の DNA マーカーの多型を持つことが判明した。

さらに、コムギ農林登録 165 品種について、国内 3 箇所のコムギ縞萎縮病試験地 (北海道、栃木県、福岡県) において抵抗性調査のための発病試験を行った。その結果、2D 染色体上と 5A 染色体上の両方の抵抗性遺伝子を持つ品種は、どの試験地においても発病しなかった。一方、2D 染色体上のみ、あるいは、5A 染色体上のみ抵抗性品種を持つ品種では、それぞれ一定の割合で発病が見られ、2D 染色体上のみ品種のほうが、5A 染色体上のみ品種よりも発病度は低かった (小島ら, 2012)。

3B 染色体上の抵抗性遺伝子の効果については、現在も試験を継続中であるが、これまでの試験結果は、安定したコムギ縞萎縮病の抵抗性の発現には、複数のコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子が複合的に作用する必要があることを示している。

コムギ縞萎縮病の感染は、縞萎縮ウイルスを保有した *P. graminis* の根への感染、根へウイルスの侵入、コムギ体内でのウイルスの増殖および地上部への移行、コムギ植物地上部での病徴発現の段階を経る。最近解明された複数の抵抗性遺伝子による、それぞれの抵抗性のメカニズムについてはいまだ不明であるが、それぞれ、コムギ縞萎縮病ウイルス感染および移行の重要な部分に作用している可能性が高い。

今後、それぞれのコムギ縞萎縮病抵抗性遺伝子を導入した準同質遺伝子系統などの開発により、抵抗性遺伝子の機能解明と抵抗性のメカニズムが解明され、より効率的なコムギ縞萎縮病抵抗性の選抜法が開発されると期待される。また、前述の我が国において発生する複数のコムギ縞萎縮病ウイルスの系統関係に対して、どのような抵抗性遺伝子の組合せが最も有効であるかなどの、重要な研究テーマが残されている。

VI 今後のコムギ縞萎縮病抵抗性育種について

植物の病害抵抗性の選抜に DNA マーカーを適用する基準として、①接種試験と比較した効率性と利点があるかどうか、②実際の選抜集団における目的の DNA マーカーの多型性が十分かどうか、③コスト、処理可能検体数を勘案して全体の選抜時間の短縮が可能かどうかを考慮することが挙げられる。本研究で対象としたコムギ縞萎縮病のように汚染圃場の準備や、正確な評価に複数年を必要とする病害では、信頼性の高い DNA マーカーの開発によって、選抜の効率化に大いに貢献すると考えられる。

米国ではコムギにおける DNA マーカー選抜のインフラとして、米国農務省 (USDA) のプロジェクトにおいて、全米の作物育種研究拠点に DNA 自動抽出装置と多検体用の PCR マシンおよび電気泳動装置を備えた

USDA 地域作物遺伝子型判別センター (USDA-ARS Regional Small Grains Genotyping Centers) が設置され、州立大学を中心としたコムギの育成機関と連携して選抜が進められている (<http://maswheat.ucdavis.edu/>)。

DNA マーカーの研究や技術の進展によって、分子レベルにおける作物の病害抵抗性遺伝子と DNA マーカー選抜の重要度はさらに高まると考えられる。既に我が国においてもコムギの製パン性や製めん性に大きく影響する高分子・低分子グルテニンサブユニット遺伝子や、うどんやパン等の「もちもち感」の食感を左右するアミロース含量を決定するワキシー遺伝子については、国内の研究機関の間で連携しながら DNA マーカー選抜が実用段階に入っている。今後、コムギ縞萎縮病抵抗性などの病害抵抗性改良にも同様の仕組みが構築されることが期待される。

引用文献

- 1) 小島久代ら (2012): 育種学研究 14 (別 2): 209 (講要).
- 2) 楠目俊三ら (1997): 日植病報 63: 107 ~ 109.
- 3) Liu, S. et al. (2005): Theor. Appl. Genet. 110: 454 ~ 461.
- 4) Nishio, Z. et al. (2010): Euphytica 176: 223 ~ 229.
- 5) Oniki, T. et al. (2014): Phytopathology 104: (in press).
- 6) 大藤泰雄 (2005): 東北農研報 104: 17 ~ 74.
- 7) ————ら (2006): 日植病報 72: 93 ~ 100.
- 8) 鈴木孝子ら (2010): 育種学研究 12 (別 2): 40 (講要).
- 9) 田引 正ら (2011): 北海道農研報 195: 1 ~ 12.
- 10) 竹内 徹ら (2010): 育種学研究 12: 1 ~ 8.
- 11) Zhu, X. et al. (2012): Theor. Appl. Genet. 124: 177 ~ 188.

登録が失効した農薬 (26.1.1 ~ 1.31)

掲載は、種類名、登録番号: 商品名 (製造者又は輸入者) 登録失効年月日。

「殺虫剤」

- エトフェンプロックス・MEP 乳剤
18266: ヤシマスミチオントレボン乳剤 (協友アグリ) 14/1/22
- MEP・フェノキサニル粉剤
20742: アチーブスミチオン粉剤 DL (日本農薬) 14/1/10

「殺菌剤」

- チウラム・ペフラゾエート水和剤
18272: ホクコーヘルシード T 水和剤 (北興化学工業) 14/1/22
- チウラム・ペフラゾエート水和剤
18273: UBE ヘルシード T 水和剤 (エス・ディー・エス パイオテック) 14/1/22

「殺虫殺菌剤」

- カルタップ・バリダマイシン粉剤
15692: パダンバリダ粉剤 DL (住友化学) 14/1/31
- テブフェノジド・ブプロフェジン・フェノキサニル・フルトラニル粉剤
20741: シテンノー F 粉剤 DL (日本農薬) 14/1/10

「除草剤」

- DBN・DCMU 水和剤
15688: ホクバック水和剤 (北興化学工業) 14/1/31
- イソキサベン・トリフルラリン粒剤
20134: スナップショット粒剤 (ダウ・ケミカル日本) 14/1/14