

北海道におけるテンサイ西部萎黄病(BWYV)の発生の現状と 今後の対応としてのBWYV抵抗性育種の試み

誌名	てん菜研究会報 = Proceedings of the Sugar Beet Research Association
ISSN	09121048
巻/号	57
掲載ページ	p. 12-19
発行年月	2017年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



北海道におけるテンサイ西部萎黄病(BWYV)の発生の現状と

今後の対応としての BWYV 抵抗性育種の試み

黒田洋輔・上田重文・岡崎和之・高篠賢二・豊島真吾・

佐野正和・高橋宙之・松平洋明・田口和憲

(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, 芽室町, 〒082-0081)

Current status of Beet Western Yellows Virus (BWYV) in Hokkaido and future approaches
to breeding for BWYV resistance in sugar beet

Yosuke Kuroda, Shigenori Ueda, Kazuyuki Okazaki, Kenji Takashino, Shingo Toyoshima, Masakazu Sano,

Hiroyuki Takahashi, Hiroaki Matuhira and Kazunori Taguchi

(Hokkaido Agricultural Research Center, NARO, Memuro 〒082-0081, Japan)

はじめに

テンサイに感染して黄化性障害を引き起こす萎黄性ウイルス病は、1950年代には札幌近郊のごく一部で確認されていた。しかし、その後も不定期ではあるが、道内各地で多発生を繰り返して、テンサイ生産に甚大な被害を与えてきており、直近では2013年前後の多発生が記憶に新しい。本論文では、まず、萎黄性ウイルス病をもたらすウイルスの種類、北海道での発生状況、北海道で被害をもたらすウイルスの種類や現状の防除手段について紹介する。次いで、萎黄性ウイルス病の病原ウイルスであるビート西部萎黄ウイルス(Beet western yellows virus, 略名: BWYV)や主たる媒介昆虫であるモモアカアブラムシの特性を踏まえて、新たな防除手段として BWYV 抵抗性品種の開発と作付けを提案する。最後に、BWYV 抵抗性テンサイ品種の育成は、これまでに我が国で実施されていない新たな取り組みであり、そのための研究方向や育成状況について紹介する。なお、本研究は「革新的技術開発・緊急展開事業」(うち先導プロジェクト)により実施した。

テンサイの萎黄性ウイルス病(Virus yellows)には複数のウイルス種が関与している

テンサイの萎黄性ウイルス病には、複数の病原性ウイルスが関与しており、総称して Virus yellows 病(略名 VY)と呼ばれている(Stevens et al. 2005)。VYの病原性ウイルスには、Beet yellows virus(略名: BYV, 和名: ビート萎黄ウイルス)、Beet western yellows virus(略名:

BWYV, 和名: ビート西部萎黄ウイルス)、Beet mild yellowing virus(略名: BMYV)及び Beet chlorosis virus(略名: BChV)が含まれる。なお、日本では、BYVによって引き起こされる病気をテンサイ萎黄病、そして BWYVによって引き起こされる病気をテンサイ西部萎黄病と呼ぶ。前述の4種のウイルスは、すべてモモアカアブラムシ(略名: GPA, 英名: green peach aphid, 学名: *Myzus persicae*)が主な媒介昆虫であるが、分類学的に異なるウイルスとされ、ウイルスの遺伝的特性や寄生植物が異なる。例えば、BYVはClosteroviridae科に属し、BWYV、BMYV及びBChVの3種はLuteoviridae科 Polerovirus属に属する。このうち、日本で発生するとされる BWYV は、最初 Radish yellows virus と呼ばれ、テンサイ、ホウレンソウやアブラナ科作物に黄化性障害を引き起こすウイルスとして、世界で初めてアメリカ西部のカリフォルニア州で確認された(Duffus 1960)。BWYVは、カブ、ダイコン、ブロッコリーなどアブラナ科植物やレタスに感染する点で BMYV と区別される。一方、BChVは、BWYVやBMYVと比べて宿主範囲が狭く、特にナズナやクレイトニヤに感染しないことで、両ウイルスと区別される。過去の研究では、これらウイルスは、血清学的に極めて近縁であることから、全て BWYV の系統とされていたこともある(Stevens et al. 2005)。テンサイでの発生は、ヨーロッパでは BYV よりも BMYV が多く、同様にアメリカでは BYV よりも BWYV が多いことが報告されている(Duffus 1960, Duffus 1961, Stevens et al. 2006)。このよう

に BWYV はアメリカで、BMV はヨーロッパで発生し、BChV はヨーロッパとアメリカ各地で確認されている(Duffus & Liu 1991). そのためアメリカでの VY 研究は、BYV に始まり、その後の研究の中心は BWYV や BChV に移った(Biancardi et al. 2012).

北海道で VY の多発生は繰り返し起きている

過去を振り返ってみると、北海道では、VY の大発生が繰り返されているという現状がある。古くは、札幌周辺で認められたのが国内初であり、1955 年頃から札幌市周辺で多発したという記述がある(杉本ら 1970). 札幌で発生した VY は、その後、発生が衰えることなく 1960 年ごろには道内各地へ拡大し、1968 年には北海道のテンサイ作付け地帯 156 市町村の約 28%にあたる 44 市町村で発生が認められ(多発生 1 回目)、東北地方でも発生が認められるに至った(杉本ら 1970). 発生の拡大は、アメリカでも同様に起きている。アメリカでは、1945 年以降、カリフォルニア州(サリーナスバレー及びインペリアルバレー)で多発していたが、オレゴン州、ワシントン州、コロラド州でも多発し、その後、カンザス州、ネブラスカ州、アイダホ州、ユタ州、オハイオ州、ミネソタ州、ミシガン州の一部にも発生が拡大した(Coons & Kotila 1951, Bennett 1960). 日本では、1970 年代に入り発生が比較的少なかったものの、1975 年には再び網走、十勝、宗谷地方で多発し、栽培面積の 24%に当たる 11,500ha で発生し、5%に当たる 2,500ha で被害を受けたと報告された(多発生 2 回目)(成田 1980). 1976 年及び 1977 年には一転して減少に転じ、1976 年には発生面積が 845ha であり被害面積が 110ha、1977 年には発生面積が 400ha と被害面積が 50ha となった(成田 1980). それ以降十数年間は、大発生の記録はない。しかし、1989 年以降、道央・道南地方の一部で発生が認められていた VY(西部萎黄病)は、1991 年及び 1992 年には伊達市及びその周辺で大発生し(多発生 3 回目)、テンサイの生産へ著しい被害を及ぼした(成田ら 1992, 北海道農政部 1994). 2008 年、十勝、網走、胆振のテンサイにおいて VY(西部萎黄病)が多発した。そのため、2009 年には、北海道病害虫防除所(2009)が「平成 21 年度に特に注意を要する病害虫」として西部萎黄病の発生の注意勧告を行った。正確な統計データはないものの現在でも全道的な多発傾向が続いており、2016 年には、北海道病害虫防除所(2016a)が再び「平成

28 年度に特に注意を要する病害虫」として西部萎黄病の発生の注意勧告を行っている。

北海道で発生した VY の病原ウイルスは BWYV が主である

北海道で発生するテンサイの VY の病原ウイルスを調査した研究としては、以下の報告がある。古くは、カーボランダムを用いた汁液伝染試験及び GPA を用いた伝染試験であり、1966 年及び 1967 年に北海道各地より収集した VY 株について実施されている。その結果、北海道で発生した VY の病原ウイルスには BWYV と BYV の 2 種類あること(村山・讃井 1967, 讃井・村山 1969), そして、BYV の単独感染は少なく、BWYV と BYV の複合感染あるいは BWYV の単独感染が多いことが報告された(杉本・村山 1972). これは、前述のアメリカのカリフォルニア州と同様の結果である。しかし、これ以降、北海道のテンサイでは、BYV の報告は見られず、BWYV による被害を示す報告がある。例えば、1989 年～1991 年に道南を中心に発生した VY の原因を明らかにするために、ELISA 法による診断を試みた結果、ウイルスが感染したと思われる黄化株の新葉からはほとんどすべて BWYV が検出されたことと、BYV の症状が見られなかったことから BWYV 単独の感染であるとされた(成田ら 1992). その後、上田ら(2014)は、2009 年～2015 年に道内 13 地点から収集した黄化株について、ウイルスゲノム全塩基配列を決定して系統解析を行った結果、北海道産分離株は一つのクラスターを形成し、他のウイルスと比べてアメリカ産 BWYV (BWYV-USA) と最も近い関係にあることを示した。しかし、北海道で発生した BWYV は、BWYV-USA と比べて寄生範囲が狭く、アブラナ科、ナス科植物に対する寄生性が異なるため、BWYV とは別種であると指摘されている(吉田ら 2016)。

VY の発生はテンサイの生産に悪影響を及ぼす

VY の発生がテンサイ産業に与える直接的な悪影響は、原料畑のテンサイを減収させることであり、収量に対する影響については、以下の報告がある。杉本ら(1970)は、1964 年及び 1965 年に北見及び十勝の圃場において VY の自然感染株と健全株のテンサイの収量を比較した結果、発病株が健全株に比べて根重では 12%～32%の減収、糖分では実数値で約 0%～2.6%減少する

Current status of Beet Western Yellows Virus (BWYV) in Hokkaido and future approaches to breeding for BWYV resistance in sugar beet

こと、減収程度は発病時期が早いほど大きくなる傾向があることを報告した。成田ら(1992)は、洞爺及び恵庭のBWYV自然発生圃場において、テンサイの収量試験を実施した結果、発病株が健全株に比べて根重では8%~9%の減収、糖分では約1%~1.4%減少することを報告した。池谷ら(2009)は、2008年に網走地方におけるBWYV自然発生圃場において収量試験を実施した結果、発病株が健全株に比べて根重では22%~28%の減収、糖分では約1.4%~2.0%の減少と、発病時期が早いほど減収程度が大きくなる傾向があることを報告した。北海道農政部(2016)は、接種試験により、BWYVの接種時期を異にするテンサイの収量を比較した結果、接種時期が早い場合(5月下旬~7月下旬)は接種時期が遅い場合(8月下旬及び9月下旬)と比べて糖分と根重の積によって算出される糖量が30%程度減収することを報告した。直近では2013年前後にBWYVが全道各地の原料畑で多発した。その結果、最近では産糖量が減少傾向にある。例えば、2011年から2013年の産糖量は、それぞれ、56.5万トン、55.6万トン、55.1万トンであり、糖分取引制度に移行した1986年から2015年までの平均値である63.9万トンを大きく下回った。産糖量減少の要因として、栽培面積の減少傾向、夏季高温などの気象要因や褐斑病や黒根病などの重要病害による被害を無視することはできないが、BWYV感染による影響も少なくないと思われる。VYの感染による被害は、糖量だけではない。杉本ら(1970)は、1967年及び1968年にVYの発生がテンサイの採種量へ及ぼす影響について調査した結果、採種圃場において黄化症状が明白に認められた発病株は、健全株と比べて、採種量が23%~28%に減少すること、発病株に由来する種子は健全株に比べて発芽率に違いが認められなかったものの小粒傾向になることを報告した。二年生の生活環をもつテンサイの採種では、前年度に養成した母根を翌年に植え付ける方法が行われていることから、前年度の母根がウイルスに感染すると、当該年だけの問題ではなく、翌年にまで悪影響が及ぶという問題をはらんでいる。

VYを媒介するアブラムシはGPAである

欧米では、テンサイに寄生するアブラムシとして、GPA、ワタアブラムシ(学名: *Aphis gossypii*)、ジャガイモヒゲナガアブラムシ(学名: *Aulacorthum solani*)、ムギ

ワラギクオマルアブラムシ(学名: *Brachycaudus helichrysi*)、ダイコンアブラムシ(学名: *Brevicoryne brassicae*)、チューリップヒゲナガアブラムシ(学名: *Macrosiphum euphorbiae*)の報告がある(杉本・村山 1972, Hampton et al. 1998)。北海道のテンサイで観察されるアブラムシには、GPA、ワタアブラムシ、ジャガイモヒゲナガアブラムシ、マメクロアブラムシ(学名: *Aphis fabae*)の4種であるが、BWYVとBYVを伝染する主体はGPAであるとされている(杉本ら 1970, 北海道農政部 2016)。GPAの発生は、5月下旬に始まり11月の収穫まで確認される。札幌では、6月~7月と9月下旬にGPAの発生ピークが見られ(杉本ら 1970)、道南では道央より15日~30日早く、道東と道北は札幌より約30日遅れる(村山 1965, 松本 1965)という報告がある。2011年~2016年にバレイショ圃場の黄色水盤にトラップされたGPAは、長沼町が6月下旬~7月上旬にピークがあり、芽室町や訓子府町がそれよりもやや遅れて7月下旬~8月上旬にピークがあった(北海道病害虫防除所 2016b)。このようにGPAの発生ピークは年や地域によって異なると考えられる。GPAの寄主性については、採種テンサイに寄生するモモアカアブラムシの数は、原料用のテンサイよりも寄生数が多いという報告がある(Watson et al. 1951)。また、黄化した罹病葉におけるモモアカアブラムシの寄生数は健全葉の約2倍であり、その生存率が健全葉よりも罹病葉で高かったことが報告されている(Baker 1960)。

殺虫剤でGPAを防除する

VYの発生を抑制するには、ウイルスを媒介するGPAとテンサイとの接触を可能な限り絶つことが重要である。殺虫剤を利用したGPAの防除は、従来から行われている方法の一つである。移植栽培であれば定植直前の苗に薬剤を灌注する苗床灌注を基本とする。テンサイの苗床灌注用に登録されている薬剤として、ネオニコチノイド系薬剤のアクタラ顆粒水和剤、アドマイヤー顆粒水和剤、ダントツ水和剤、スタークル顆粒水和剤がある。これら薬剤は、それぞれチアメトキサム、イミダクロプリド、クロチアニジンを主成分とし、灌注することで、6月中旬頃まで高い死虫率が維持される(北海道農政部 2012)。一方、直播栽培では、種子のコーティング剤への混和使用が認められている浸透移行性殺虫剤成分のイミダクロプリドが、GPAに殺虫効果を

持ち西部萎黄病の発生を低減させる効果が認められている(池谷ら 2009). 苗床灌注や種子コーティング剤の殺虫成分が弱まる 6 月中旬以降は、適宜、茎葉散布を行う。茎葉散布できる薬剤として、ネオニコチノイド系薬剤のアクタラ顆粒水和剤、ダントツ水和剤、スタークル顆粒水和剤、モスピラン SL 液剤と有機リン剤のダズバン乳剤が農薬登録されており(北海道農政部生産振興局技術普及課・北海道病害虫防除所 2016a), クロチアニジンを主成分とする薬剤は約 2 週間程度の薬効の持続効果が報告されている(北海道農政部 2012).

冬季のハウスクリーニングはアブラムシと BWYV の発生を抑制する

BWYV は GPA によって永続的に伝搬される。しかし、BWYV が保持されるのは当代限りであり、GPA の増殖過程で卵や胎生によって後代へ引き継がれることはない。GPA は北海道の露地では越冬できないとされているのに、北海道で VY が発生するという事は、どこかでウイルスを保有した GPA あるいはウイルスに感染した植物が越冬している可能性が高い。そこで、北海道農政部(2016)は、2013 年～2015 年に北海道の西部萎黄病の発生生態と多発生要因の解明について調査した。その結果、発生地域にあるハウス内で GPA が越冬できないように適正管理することで、翌年以降の西部萎黄病の発生を抑制できたこと、ハウスを適正管理できなかった地点では殺虫剤を利用しても西部萎黄病が多発生する複数の事例があったことなどを明らかにした。これらのことを踏まえ、西部萎黄病の発生を抑制するためには、冬季のハウスの被覆を除去する、あるいはハウス内の植物残渣を除去することで、GPA が越冬できない環境にすることが最も重要であり、化学的(薬剤)防除については補助的な防除手段であるとした。1991 年に胆振地方で多発生した場合も、GPA が越冬可能なハウス内作物の除去や圃場に放置された作物の除去によって翌年度の西部萎黄病の発生が軽減されたという事例がある(北海道農政部 1994).

BWYV を絶滅することは困難である

冬季のハウスクリーニングは西部萎黄病の発生を抑制する効果が認められているが、過去数十年に起きた 4 回もの突発的な大発生の根本的な要因については明

らかになっていない。その理由の一つに、媒介昆虫である GPA が 50 科以上の植物種を寄主とする多食性であり、100 種類以上のウイルスの媒介昆虫となっていることを挙げることができる(Blackman & Eastop 2000, Kennedy et al. 1962). その一方、BWYV は、宿主範囲が広く、テンサイ、ホウレンソウ、ダイコンを含む、11 科 33 種の植物に感染すること(Duffus 1960), 宿主となり得る植物が圃場の周囲に絶えず存在することなどから撲滅することは難しいとされている(Lewellen & Skoyen 1984). アメリカのオレゴン州で VY の感染地域を拡大させた要因として、年間を通じて野菜が栽培されていること、テンサイの採種のために一年目に生育させた大根を越冬させて用いていること、VY の宿主となる雑草が多く存在すること、が指摘されている(Hampton et al. 1998). 日本における発生についても越冬源はハウスの中に限られたものではなく、アメリカ同様のテンサイ以外の雑草や作物で発生消長を繰り返していると考えられる。北海道でもこれまでに、テンサイ以外のホウレンソウ、ハクサイ、ブロッコリー、カリフラワー、キャベツ、チンゲンサイやナズナから BWYV が検出され、重要な感染源になっていると推定されている(北海道農政部 1994). 北海道の畑作では、上記の作物がテンサイ栽培圃場の周辺で栽培されていることや、ナズナは圃場周辺に生育するごくありふれた雑草であるので、これらの周辺部から BWYV が伝播することも考えられ、テンサイのみを対象として防除したとしても発生を完全に防ぐことは困難である。また、発生した場合に完全に駆逐することが困難な理由として、GPA の生態的特性を挙げることができる。GPA は防除薬がかかりにくいテンサイの新葉部分にコロニーを作るため、葉面から殺虫成分が葉組織内部に浸透する浸透移行性の薬剤であっても、防除薬が効きにくいことが考えられる。また、EU ではミツバチのコロニーや幼虫に対して悪影響の可能性を否定できないとして GPA に対して防除効果が認められるイミダクロプリド、チアメトキサム、クロチアニジンを成分とするネオニコチノイド系の農薬の使用を 2013 年 12 月から禁止した。この動きはアメリカや韓国などにも広がりを見せている。薬剤防除かかるコストや環境へ与える影響に加えて農薬の規制の点からも、抵抗性品種の作付けの重要性が指摘されている(Zhang et al. 2008).

Current status of Beet Western Yellows Virus (BWYV) in Hokkaido and future approaches to breeding for BWYV resistance in sugar beet

BWYV に抵抗性を示す遺伝資源が存在する

抵抗性品種を開発するためには、VY に抵抗性を示す遺伝資源の発掘が欠かせない。VY のうち BMVYV については、ヨーロッパで抵抗性遺伝資源の発掘が進められ、部分的な抵抗性を示す遺伝資源がこれまでに発掘されている(Asher et al. 2001)。一方、BWYV に抵抗性を示す遺伝資源の発掘についてはアメリカを中心に実施されてきた。McFarlane & Bennett (1963)は、1957年から1958年にかけて350種類の品種や系統に対して接種試験を実施して、減収率が6%~65%の広い変異を示すことを明らかにした。また、杉本ら(1970)は33品種について発病調査を行い、KWS-Eなどの品種ではやや強い抵抗性を示すことを明らかにした。Beta 属野生種については、杉本ら(1970)が、*B. lomatogona* (SP583041-1)、*B. orientalis* (WB44)、*B. triglyana* (SP4-1842-01、Hokunoshi)の発病程度が低いこと、Freseら(2001)が*B. vulgaris* ssp. *maritima*、*B. lomatogona*、*B. intermedia* 及び *B. triglyana* に発病程度に種内変異が存在することを報告している。

アメリカは VY 抵抗性育種に取り組んだ唯一の国である

アメリカ合衆国カリフォルニア州は古くから VY が多発生した地域であり、その後の研究によって BYV と BWYV の感染がテンサイの生産へ大きな悪影響を及ぼしたことは前述のとおりである。こうした背景から、1955年からカリフォルニア州のサリーナス市にあるアメリカ農務省農業調査局(USDA-ARS)のサリーナス試験場では、BYV と BWYV を混合接種して選抜する方法で、VY 抵抗性品種の開発を進めてきた(McFarlane & Skoyen 1968, McFarlane, Skoyen & Lewellen 1969)。これまでに、複数の抵抗性品種や抵抗性遺伝資源が開発されている(Panella et al. 2015)。抵抗性品種として、“USH9”及び“USH10”は1968年に、“USH11”は1979年にリリースされている。抵抗性は部分的であり、ポリジーン支配であると推察されるが選抜効果が認められている。ちなみに前出の3つの抵抗性品種は、VY 抵抗性の花粉親(それぞれ“C13”、“C17”及び“C36”)と、VY 抵抗性を持たない種子親との交雑により育成された F₁ である。抵抗性品種の作付けの効果については以下の報告がある。ウイルスを接種した際のテンサイの減収割合は、原系統が41%であったのに対して、7回の選抜を

経た系統では20%であった(McFarlane et al. 1969)。同様に、テンサイの減収割合は、当時の主要品種の“USH7”が40%であったのに対して、“USH9”が28%であり(McFarlane & Skoyen 1968)、罹病性品種が3割減少する中で“USH11”は1割減に留まったと報告されている(Lewellen & Skoyen 1984)。

我が国で BWYV 抵抗性テンサイの品種開発に着手する

USDA による F₁ 品種の開発は、1960年の“USH2”に始まるが、1970年代からテンサイの品種開発に民間企業が参入したことにより、残念ながら1981年の“USH23”以降はリリースされていない(Doney 1995)。とはいえ USDA が開発した35年以上前の抵抗性品種をそのまま日本で使用することは、数年でより性能の高い品種に完全に置き換わるテンサイ品種の推移の現状を鑑みると、現実的ではない。そのため、わが国で唯一テンサイの品種開発を行っている農研機構北海道農業研究センターが中核となり新たに品種開発を進めることが重要である。今後、日本で品種開発を効率的に推進するためには、以下の3点を解決しなければならない。

- ① 抵抗性遺伝資源を発掘する：この過程が無くして品種開発を進めること自体が不可能であり、抵抗性遺伝資源の発掘が何よりも重要である。北海道農業研究センターには、海外から導入した多数の遺伝資源や、日本で育成した育種系統が保存されており、これらの多様な材料の中から BWYV 抵抗性遺伝資源の発掘が期待される。ここで実施する遺伝資源の探索は、ウイルス抵抗性に限る必要はなく、媒介昆虫の GPA が寄生しにくいという観点を含めて行うことが重要である。
- ② 抵抗性検定法を開発する：抵抗性の検定法がなければ変異を特定できないことから、抵抗性検定法の開発は、①と同様に重要である。検定法については、USDA の先行事例がある(McFarlane & Bennett 1963, McFarlane et al. 1969, Lewellen & Skoyen 1984)。その方法によると、(1)温室等を利用して BWYV 感染植物体上で PGA を飼育する、(2)圃場に種子を播いて幼植物体を生育させる(畦間は71cmとする)、

(3)圃場の幼植物体上にウイルス保毒 GPA 各 10 頭を接種する, (4)2 日後に殺虫剤を散布して GPA を駆除する, (5)約 8 週間後に地上部の黄化症状を判定する, (6)根部を収穫して糖収量を調査する. この検定法に基づいて調査した結果, 地上部の黄化症状と糖収量の間には, BYV では相関が認められないが, BWYV では正の相関 ($r=0.6\sim 0.9$) が確認されている (Lewellen & Skoyen 1984). BWYV 抵抗性の検定法を確立する上では, この手法を参考にし, 地上部の黄化が判別できるような条件を見いだすことが重要である.

- ③ 抵抗性の遺伝性を解明する: 抵抗性遺伝資源と検定法が明らかになっても, 遺伝性が不明では抵抗性育種を効率的に行うことができない. BYV 抵抗性については, 近年, 発展が著しい分子生物学的解析法を利用した量的形質の遺伝子座の解明を通じて, 抵抗性に関与する 3 つの量的遺伝子座の存在が解明された (Grimmer et al. 2008). BWYV 抵抗性は, USDA における抵抗性遺伝資源の育成事例から見ても, 選抜効果があったことから, 育種で獲得可能な遺伝形質の可能性が高い. そのため, BWYV 抵抗性についても量的形質の遺伝子座の解明を通じて, BWYV 抵抗性遺伝子の解明が期待される. しかし, ポリジーン支配のいわゆる量的形質は, メジャージーン支配の質的形質に比べて, 環境による変動を受けやすいため, BWYV 抵抗性で想定される量的形質の遺伝様式を明らかにするためには, 高い検定精度が求められる.

USDA から VY 抵抗性遺伝資源を導入した

USDA では, F_1 品種の開発は中止されているが, 品種を構成する親系統の開発は続けられている. BWYV 抵抗性に関しては, USDA サリーナス試験場の Dr. Lewellen を中心に系統の開発が実施されてきた. そこで, 国内で抵抗性育種を実施するにあたり, USDA から BWYV 抵抗性の親系統“CY77”, “CY95”, “C81-22”及び“CR951-210”の 4 系統を導入した. それぞれの特性及び来歴は, U.S. National Plant Germplasm System

(<https://npgsweb.ars-grin.gov/gringlobal/search.aspx>) に以下のように記載されている.

- “CY77” (2011 年に登録): VY (BYV, BWYV, BChV) に抵抗性を示す近縁野生種 (*Beta maritima*) と中程度の VY 抵抗性を示す栽培種 (*B. vulgaris*) との交配から育成された. 交雑後代について, VY 抵抗性の集団選抜, 栽培種による戻し交配, さらに VY 抵抗性とそう根病抵抗性の集団選抜を 5 回経て育成された. 野生種ゲノムの割合は, 6%程度含まれると推定される. 糖分が中程度であり, 収量性が高い. そう根病抵抗性遺伝子としては *Rz1* と, 野生種由来の別の抵抗性遺伝子を保有する.
- “CY95” (2011 年に登録): 以下の多数の遺伝資源を組み合わせた全兄妹で構成される. つまり, ①VY, そう根病, 軟腐病 (*Erwinia*), 抽苔性の改良が期待される系統 (“C80”, “C90”, “C81”, “C69”, “C81-22”, “C76”), ②うどん粉病, ビートシストセンチュウ, そう根病, VY の改良が期待される系統 (“CP03”, “CP04”, “CP05”, “CP07”, “CP08”), ③そう根病, VY, ビートシストセンチュウの改良が期待される系統 (“C67/2”, “C72”, “CY75”) である. 集団選抜や検定交配を行い, 高収量のものを選抜した. ビートシストセンチュウに対する抵抗性は低頻度であるが, そう根病抵抗性 (*Rz1*) やうどん粉病に対する抵抗性はやや高頻度である.
- “CR-951-210” (2008 年に登録): 雄性不稔系統の “CR11” と VY 抵抗性遺伝資源系統の Y90 のトップクロスに由来する. 緑胚軸, 多胚, 自家和合性であり, 遺伝性の雄性不稔が分離する. そう根病抵抗性だけでなく, 中程度の褐斑病抵抗性, 抽苔耐性, VY 抵抗性を示す. 病害が多発する条件では, 高糖分, 高収量を示す. “CR11” と “Y90” の雑種第 1 代 (F_1) を無作為に選抜して増殖した自殖第 1 代 (S_1) を, 病害のない環境で評価して, 組み合わせ能力の高い系統を選抜して育成した.
- “C81-22” (2003 年に登録): そう根病抵抗性, VY 抵抗性を示す, 自家不和合性, 多胚の系統

Current status of Beet Western Yellows Virus (BWYV) in Hokkaido and future approaches to breeding for BWYV resistance in sugar beet

である。うどん粉病及び軟腐病に対しては中程度の抵抗性を示し、カーリートップウイルスに対してやや感受性が高い。抽苔耐性が強く、高糖分かつ高収量の特性を持つ。そう根病抵抗性の集団に“C31/6”を戻し交配した“R881”に由来する。

日本における BWYV 抵抗性育種の展望

アメリカで開発された抵抗性遺伝資源は、長い年月をかけて育成されてきたものであり、日本でも抵抗性を示す可能性がある。しかし、アメリカと日本では気候風土が異なるため、アメリカで抵抗性を示すからといって日本で抵抗性を示すとは限らない。BWYV についてもアメリカ産の BWYV と北海道産の BWYV では寄生性が異なり(吉田 2016)、ウイルスゲノムの塩基配列にも違いがあることがわかってきた(上田ら 2014)。そのため、USDA で開発された抵抗性品種は、日本のウイルスに対しても抵抗性を示すのか、日本で育成された遺伝資源・系統に抵抗性を示すものが存在するか等を調査して、日本で発生している BWYV に抵抗性を示す遺伝資源を探索する必要がある。今のところ予備的な情報ではあるが、屋外の自然発生条件下あるいは人為接種後の屋内条件下において黄化症状の予備的に調査を実施して、USDA から導入した抵抗性遺伝資源の葉の黄化程度が、国内の品種や系統に比べて少ないことが確認されている(高橋・上田、未発表データ)。今後の確認により抵抗性が実証されれば、日本で未踏地の BWYV 抵抗性品種育成に向けて大きな一歩を踏み出すことになる。

引用文献

- Asher MJC, Luterbacher MC, Freese L (2001) Wild Beta species as sources of resistance to sugar beet pests and diseases. *International Sugar Journal*, 103, 447-456.
- Baker PE (1960) Aphid behavior on healthy and on yellows-virus-infected sugar beet. *Annals of Applied Biology*, 48, 384-391.
- Bennett CW (1960) Sugar beet yellows disease in the United States. U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin, 1218, 1-63.
- Biancardi E, Panella LW, Lewellen RT (2012) Source of useful traits. In “Beta maritima-The origin of beet”, 173-223.
- Blackman RL, Eastop VF (2000) *Aphids on the World's Crops: An Identification and Information Guide*, 2nd Edition. John Wiley, Chichester, UK
- Coons GH, Kotila JE (1951) Virus yellows of sugar beets and tests for its occurrence in the United States. (Abstract) *Phytopathology*, 41, 559.
- Doney DL (1995) USDA-ARS sugarbeet releases. *Journal of Sugar Beet Research*, 32, 229-257.
- Duffus (1960) Radish yellows, a disease of radish, sugar beet and other crops. *Phytopathology*, 50, 389-394.
- Duffus (1961) Economic significance of beet western yellows (radish yellows) on sugar beet. *Phytopathology*, 51, 605.
- Duffus JE, Liu HY (1991) Unique beet western yellows isolates from California and Texas. *Journal of Sugar Beet Research*, 28, 68.
- Frese L, Desprez B, Ziegler D (2001) Potential of genetic resources and breeding strategies for base-broadening in Beta. In “Broadening the Genetic Base of Crop Production” (eds by HD Cooper, Spillane C, Hodgkin T), 295-309.
- Grimmer MK, Bean KMR, Stevens AQM, Asher MJC (2008) The action of three Beet yellows virus resistance QTLs depends on alleles at a novel genetic locus that controls symptom development. *Plant Breeding* 127, 391-397.
- Hampton, RO, Keller KE, Baggett JR (1998) Prospective aphid (Homoptera: Aphididae) vectors of beet western yellows luteovirus in western Oregon. *Proc. Oregon Horticultural Society*, 89, 121-128.
- 北海道病害虫防除所 (2009) てんさいの西部萎黄病. 平成 21 年度に特に注意を要する病害虫 (<http://www.agri.hro.or.jp/boujoshou/chui/21chui.htm>)
- 北海道病害虫防除所 (2016a) てんさいの西部萎黄病. 平成 28 年度に特に注意を要する病害虫 (<http://www.agri.hro.or.jp/boujoshou/>)
- 北海道病害虫防除所 (2016b) 予察定ポイントほ場における病害虫発生状況 (http://www.agri.hro.or.jp/boujoshou/teiten_jouhou/framepage.html)

- 北海道農政部 (1994) テンサイ西部萎黄病の多発原因の究明と対策. 普及奨励ならびに指導参考事項, 204-207.
- 北海道農政部 (2012) アブラムシ防除によるてん菜の西部萎黄病防除対策. 普及奨励ならびに指導参考事項, 177-179.
- 北海道農政部 (2016) てんさいの西部萎黄病の発生生態と多発生要因の解明. 普及奨励ならびに指導参考事項, 44-46.
- 北海道農政部生産振興局技術普及課, 北海道病害虫防除所 (2016) 平成 28 年度北海道農作物病害虫・雑草防除ガイド, 北海道農業改良普及協会, 120-130.
- 池谷美奈子, 石川岳史, 荒木英晴, 山名利一, 白井佳代, 吉川勝弘 (2009) 2008 年北海道網走地方におけるテンサイ西部萎黄病の発生-減収程度と感染時期. 北日本病害虫研究会報, 60, 51-54.
- Kennedy JS, Day MF, Eastop VF (1962) A Conspectus of Aphids as Vector of Plant Viruses. Commonwealth Institute of Entomology, London, UK
- Lewellen RT, Skoyen IO (1984) Beet western yellows can cause heavy losses in sugarbeet. *California Agriculture* 38, 4-5.
- McFarlane JS, Bennett CW (1963) Occurrence of yellows resistance in sugar beet with an appraisal of the opportunities for developing resistant varieties. *Journal of the A.S.S.B.T.*, 12, 503-514.
- McFarlane JS, Skoyen IO (1968) New sugar beet varieties reduce losses from virus yellows. *California Agriculture*, 1968, 14-15.
- McFarlane JS, Skoyen IO, Lewellen RT (1969) Development of sugar beet breeding lines and varieties resistant to yellows. *Journal of the A.S.S.B.T.*, 15, 347-360.
- 松本蕃 (1965) 馬鈴薯のアブラムシ. 北海道の農薬, 2, 32-40.
- 村山大記 (1965) ジャガイモのウイルス病. 北海道の農業, 2, 1-29.
- 村山大記, 讚井蕃 (1967) テンサイ萎黄病(Sugar beet yellows)について. 日植病報, 33, 94.
- 成田武四 (1980) 萎黄病および西部萎黄病. 北海道農作物病害総覧, 276-277.
- 成田正孝, 菅原寿一, 木村雅暢, 楠目俊三, 玉田哲男 (1992) 西胆振・後志地方における西部萎黄病の多発について. てん菜研究会報, 34, 133-138.
- Panella L, Campbell LG, Eujayl IA, Lewellen RT, McGrath JM (2015) USDA-ARS sugarbeet releases and breeding over the past 20 years. *Journal of Sugar Beet Research*, 52, 22-71.
- 讚井蕃, 村山大記 (1969) サトウダイコン西部萎黄病ウイルス(Sugar beet western yellows virus)について. 日植病報, 35, 125.
- Stevens M, Freeman B, Liu HY, Herrbach E, Lemaire O (2005) Beet poleroviruses: close friends or distant relatives? *Molecular Plant Pathology*, 6, 1-9.
- Stevens M, Liu HY, Lemaire O (2006) Virus diseases. In "Sugar beet (eds. by Draycott, A. Philip)". Blackwell Publishing. 265-270.
- 杉本利哉, 村山大記, 讚井蕃 (1970) てん菜の萎黄性ウイルス病に関する研究(第 1 報). てん菜研究会報, 8, 1-163.
- 杉本利哉, 村山大記 (1972) てん菜の萎黄性ウイルス病(萎黄病)に関する研究(第 2 報). てん菜研究会報, 13, 1-72.
- 上田重文, 三宅規文, 安岡眞二 (2014) 北海道内で発生するビート西部萎黄ウイルスの系統解析. 北日本病害虫研究会報, 65, 37-41.
- 吉田直人, 丹 昌信, 玉田哲男 (2016) テンサイ西部萎黄病に関与するウイルスの寄生性, ELISA 検出および分類学的考察. てん菜研究会報, 57, 31-33.
- Watson MA, Hull R, Blencowe JW, Hamlyn BMG (1951) The spread of beet yellows and beet mosaic viruses in the sugar-beet root crop I. Field observations on the virus diseases of sugar beet and their vectors *Myzus persicae* Sulz. and *Aphis fabae* Koch. *Annals of Applied Biology*, 38, 743-764.
- Zhang CL, Xu DC, Jiang XC, Zhou Y, Cui J, Zhang CX, Chen DF, Fowler MR, Elliott MC, Scott NW, Dewar AM, Slater A (2008) Genetic approaches to sustainable pest management in sugar beet (*Beta vulgaris*). *Annals of Applied Biology* 152, 143-156.