

国内外で発生したハウレンソウベと病菌レースの現状

(独)農業・食品産業技術総合研究機構 ^{やま}山 ^{うち}内 ^{のり}智 ^{ひと}史

はじめに

ハウレンソウベと病 (Downy mildew) は比較的冷涼な気候で、多湿条件の時に発生しやすく、いったん発生すると速やかに周囲の株へ感染を拡大させ、大きな被害をもたらすことがある。はじめ葉の表面に小さな黄白色、不整形の病斑を形成し、病斑の拡大に伴って健全部とのコントラストが明瞭になる (口絵①)。さらに症状が進展すると、葉が全体に黄化して枯死に至る。病斑部の裏面には、ねずみ色～灰紫色、粉状のかびを生じ (口絵②)、多数の分生子 (口絵③) が形成される。本病は可食部である葉に発生し、わずかな発病でも商品価値を著しく低下させることから、秋～春作のハウレンソウ栽培において重要な病害の一つとして位置づけられている。

ハウレンソウベと病菌の学名について、日本の書籍や各県の病害虫防除所から発表される病害虫発生予察特殊報などでは *Peronospora effusa* が一般的に用いられ、病原異名として *P. spinaciae* が併記されている場合がある。また、Choi et al. (2007) は、rDNA-ITS 領域の分子系統解析の結果から、ハウレンソウベと病菌は他のアカザ科ベと病菌を含む *P. farinosa* から独立させ、*P. effusa* にすべきであるとしている。しかし、昨年発表された総説 (CORRELL et al., 2011) やホームページで確認できる海外の報告 (Plantum NL, 2011 a; 2011 b) 等では依然として *P. farinosa* f. sp. *spinaciae* が用いられ、病原異名が併記されている場合には *P. effusa* が記されている。アブラナ科ベと病菌においても属や種の再編が進められているように、今後ハウレンソウを含むアカザ科のベと病菌においても詳細な分子系統解析、形態観察、宿主範囲の調査等を通じた総合的な検討により種の再編が行われていくものと思われる。

ハウレンソウベと病菌はハウレンソウにのみ病原性を示し、特定の品種に対して異なる病原性反応を示すレースの存在が古くから知られている。本誌においても、佐藤 (2009) により日本における本病菌レースの歴史と現状について報告されているが、その後、日本国内でこれまでに報告のあるものとは異なる病原性を持つレースの

発生が確認されている。また、世界的にも既報のものとは異なる新レースの発生が相次いで報告されるとともに、レース判別表の見直しも行われている。そこで、本稿ではこれら最近の状況を紹介するとともに、本病に対する防除対策などについても若干触れておきたい。

I 海外における新レースの発生

ハウレンソウベと病菌に関して、1990 年以前は 3 レースのみが確認されただけであったが、それ以降はレース 4 から 11 までが確認され、その数が急速に増加してきた (CORRELL et al., 2011; IRISH et al., 2007)。また、昨年には新たにレース 12 と 13 が加えられた (Plantum NL, 2011 a; 2011 b)。この間、新レースへの対応として新たに育成された抵抗性品種が現地に導入され、既存の品種に取って代わる歴史が繰り返されている。見方を変えると、新たな抵抗性品種の導入が契機となり、それらの品種が持つ抵抗性を打破する新たな病原性系統の存在を認識することにつながっているとも言える。

一部のレース番号については、海外の研究者間で食い違いを生じていたことがあり、混乱を招きかねない状況にあった。しかし、現在は、International Working Group on *Peronospora farinosa* (IWGP; ハウレンソウの種苗会社やオランダの Naktuinbouw 等から構成されるワーキンググループ) により、世界的に新たなレースの出現を監視する体制が組まれている (Plantum NL, 2011 a; 2011 b)。そして、共通のレース判別品種が使用され、新たなレース番号の付与にあたっては従来よりも慎重な検討が行われている。そのため、単に既知のレースとは異なる病原性を持つ菌株が発見されたというだけでは新レースとして認定されていない。

レース 12 は 2009 年 5 月にカリフォルニア州で初めて確認されたが、当初は基準菌株 UA2209 が設定されたものの、正式なレース番号の代わりに UA12 と仮置きされていた (CORRELL et al., 2011; Plantum NL, 2011 a)。その後、発生地域を拡大させ、2011 年 2 月になってようやく新レースとして正式に番号が付与された (Plantum NL, 2011 a)。なお、現在のところ海外の一部の種苗会社から本レースに対する抵抗性品種が販売されている。

レース 13 についても 2010 年 1 月にカリフォルニア州で初発生が確認された当初は基準菌株 UA0510-C が設

Recent Trends in Races of Spinach Downy Mildew in Japan and Overseas. By Norihito YAMAUCHI

(キーワード: ハウレンソウ, ベと病, レース, 抵抗性品種)

定され、正式なレース番号の代わりに UA13 が付与されていた (CORRELL et al., 2011 ; Plantum NL, 2011 b)。その後も発生状況などの追跡調査が行われ、2011 年に新レースとして正式に番号が付与されるに至った (Plantum NL, 2011 b)。

新レースに関する情報などは論文よりも先行して関係機関からニュースや簡単な報告書等の速報的な媒体で紹介されている。以下のホームページから「peronospora」などをキーワードとして検索し、参照していただきたい。

- ・ Plantum NL (<http://www.plantum.nl/english/index.php>)
- ・ Naktuinbouw (<http://www.naktuinbouw.nl/en>)
- ・ Monterey County Crop Notes, University of California Cooperative Extension (http://cemonterey.ucdavis.edu/news_880/Monterey_County_Crop_Notes/)
- ・ Recent News, Spinach portal, University of Arkansas-Division of Agriculture (<http://spinach.uark.edu/news.html>)

II 日本におけるレースの変遷

日本においてハウレンソウべと病菌のレース検定は、新レース（既に海外での発生報告はあるが、日本国内では初めて発生が確認された「広義の新レース」を含む）の可能性がある場合に実施されている。例えば、国内で発生報告のあるすべてのレースに抵抗性を持つ品種が栽培されていて、ある年に突然べと病の被害が出るようになった場合などには、緊急対応的にレース検定が実施されている場合が多い。逆に、比較的古くから栽培されているような品種（栽培特性や品質等は優れているが、高次のべと病抵抗性を保持していないような品種）にべと病が発生したとしても検定対象として取り上げられることは少ない。そのため、過去に発生報告のあるレースについて、それらの存否や発生実態について把握できていないのが実情である。

ハウレンソウべと病菌レースの初発の歴史を見ると、おおむねアメリカやヨーロッパで新レースの発生が確認されてから程なくして日本においても「広義の新レース」（以後、断りなく新レースとする）が発生するという傾向が認められる（佐藤，2009）。過去 10 年ほどを振り返ってみると、2000 年にレース 5 の発生が初めて確認された (SATOU et al., 2002 ; 2006)。その後、レース 1～5 抵抗性品種が導入されるようになったが、2005 年ころから各地のハウレンソウ産地においてそれらの抵抗性品種を犯す新たなべと病菌が確認されるようになった (佐藤，2009)。このべと病菌についてはレース 6 もしく

表-1 新レースなどに関する各県病害虫防除所からの報告

県	発生年月	新レースなどの記載内容の概略
岐阜県 ⁴⁾	平成 22 年 1 月	レース検定によりレース 8 と確認
奈良県 ⁷⁾	平成 22 年 3 月	レース 1～7 抵抗性品種で発病する新たなレースの可能性
徳島県 ¹⁴⁾	平成 22 年 4 月	レース検定によりレース 8 と確認
山口県 ¹⁶⁾	平成 22 年 12 月	レース検定によりレース 8 と確認
埼玉県 ¹⁰⁾	平成 22 年	レース 8 とは異なると見られる新たな病原性系統
福岡県 ³⁾	平成 23 年 1 月	レース 1～7 抵抗性品種で発病を確認、本県で未確認のレースの可能性が高い

注) 片括弧付きの数字は引用文献の番号を示す。

は 7 と推測されているが、両者を明確に区別するためのレース判別品種を用いた接種検定が実施されていないため結論は得られてない (SATOU et al., 2006)。その後、各種苗会社から多くのレース 1～7 抵抗性品種が発売され、べと病の発生しやすい時期を中心に、全国各地の産地に導入が進められてきた。ところが、2010 年の初めころより、各地の産地において多くのレース 1～7 抵抗性品種にべと病が発生するようになった。その一部のサンプルについては、レース 8 と、レース 1～13 とは異なる新たな病原性系統であることが確認されている (YAMAUCHI et al., 2011)。これまでのところレース 1～7 抵抗性品種におけるべと病の発生に関して各県からの報告は岐阜県、奈良県、徳島県、山口県、埼玉県、福岡県にとどまっているが (表-1)、その他の県においても発生が確認されている。これらの中にはハウレンソウの主産県を含んでいることから、今後の発生動向について注視していく必要があるだろう。なお、レース 8 は、2004 年にオランダで、2007 年にアリゾナ州で発生が確認されているが (IRISH et al., 2007 ; TOMLINSON et al., 2007)、日本国内で発生した経緯については解明されていない。

III レース判別と問題点

ハウレンソウべと病菌のレースは、原則として表-2 に示した判別品種を用いた接種検定を行い、子葉における分生子形成の有無や形成量から判別される。最近のレース判別表については CORRELL et al. (2011) の論文を参照していただきたい。なお、本レース判別表 (CORRELL et al., 2011) には UA12 や UA13 と記されているが、両レースが正式なレースとして認められる以前の仮置き段階のものであり、それぞれレース 12 やレース 13 と読み替えることができる。また、判別表の見直しは随時行われており、新たな病原性を持つ系統が見つかった新レー

表-2 ホウレンソウの子葉と本葉のべと病菌に対する感受性差異

レース判別品種 ^{a)}	分離菌株 ^{b)}		レース ^{a)}	
	子葉	本葉	8	9
Viroflay	+	+	+	+
Resistoflay	+	+	+	+
Califlay	-	-	-	-
Clermont	+	+	+	+
Campania	+	+	+	+
Avenger	+	-	+	-
Lion	-	-	-	-
Lazio	-	-	-	-
Whale	-	-	-	-

+ : 感受性, 分生子形成.

- : 抵抗性, 分生子形成なし.

^{a)} CORRELL et al. (2011), 子葉における分生子形成の有無で判定.^{b)} 2010 年にレース 1 ~ 7 抵抗性品種より分離された菌株.

スとして認められると, 判別品種に対する反応がレース判別表に書き加えられたり, 判別品種が変更されることもある。ちなみに, レース番号の前に「Pfs :」があるものとないものが文献上で見られるが, 同じ番号は同じレースを意味している。

レース判別品種の入手が困難な場合, 簡易レース検定と称して日本国内で市販されている品種を用いた接種検定が試みられることがあるが, これには問題がある。一つ目は, 日本の市販品種の場合, べと病抵抗性の表示は日本で過去に発生したことの, もしくは発生したと推定されるレースに限定されており, 日本未発生の新しいレースに対する表示がない場合が多い。そのため, 例えばレース 1 ~ 7 抵抗性と表示のある品種の場合, レース 8 以降のレースに対して必ずしも感受性というわけではなく, 一部のレースに抵抗性を持つこともあり得る。また, 比較的古い品種における抵抗性の表示は, 各品種が発売された時点までに発生報告のあるレースに限定され, それ以降, 新たに発生したレースに対する抵抗性の表示が追加されることは少ない。そのため, 国内市販品種だけでレース判別を行うと, 誤った結論を導き出す可能性がある。

二つ目は, 品種により子葉と本葉でべと病菌に対する反応が異なる場合である。一例を示すと, 2010 年にレース 1 ~ 7 抵抗性品種より分離された菌株 (レース 8 と判定) をレース判別品種に接種したところ, **Avenger** の子葉は感受性, 本葉は抵抗性を示した (表-2)。この品種は海外由来であるが種苗会社のカタログ上で, レース

1 ~ 7, 9, 11 抵抗性と表示されており, 子葉と本葉のいずれかが感受性であれば当該品種は感受性と判断されているようである。つまり, 同様の現象は日本の市販品種においても想定されることであり, このような品種の特性を知らずに子葉のみあるいは本葉のみでレース検定を実施した場合には, レースの判定を誤る恐れがある。したがって, 正確なレース判別には, 十分に品種の特性が調査されているレース判別品種を用いることが不可欠となる。

現在のところ, レース判別には接種検定が欠かせない。ところが, レース検定を試みようとした罹病葉サンプルの中には, 明らかに病斑が認められ, 多量の分生子が形成されているにもかかわらず, 継代接種による増殖ができずに接種検定に進めないものがあつた。発病後の農薬散布によるべと病菌の活性低下や接種源の増殖に用いたホウレンソウ品種との親和性の問題, 雑菌の混入等が考えられるが, 原因については明らかにされていない。また, レース判別品種の入手, 接種源と検定植物の準備, サンプルの長期保存等, 接種検定の実施にあたってはいくつかのハードルがある。将来的には, 一部の植物病原菌で確立されているような遺伝子診断によるレース判別法がホウレンソウべと病菌についても開発されることにより, 接種検定を経ることなく, また, べと病菌の取り扱い経験や専門知識が浅くても実施できるような検定・検査体制が確立されることを期待したい。

IV 防 除 対 策

ホウレンソウべと病の防除対策としてはやはり抵抗性品種の利用が基本となる。一昨年, 日本で初発生が確認されたレース 8 に対する抵抗性品種は, 少ないながらも日本の各種苗会社から発売されてきており, 今後, 現地への導入も順次進められていくと考えられる。なお, それらの品種の中に, 以前はレース 1 ~ 7 抵抗性と表示されていたものが, レース 1 ~ 8 抵抗性と変更されているものも含まれており, 各品種の抵抗性については最新の情報を入手していただきたい。また, 一部の種苗会社からはレース 1 ~ 11 抵抗性品種の発売も予定されており, 今後は国内発生レースを先取りした形で抵抗性品種が発売されていくのかもしれない。

現在のところ日本の市販品種はレース 7 までの抵抗性を持つとされているものが多いため, 新レースへの対策としては薬剤防除も重要な要素の一つとなる。本病の特徴として植物体が混み合ってきた状態で発生しやすく, いったん発生してからでは防除薬剤を散布しても十分な効果が得られにくい。堀之内ら (2010) は, 播種時のメ

タラキシル粒剤処理と、その後のシアゾファミド水和剤の1回散布を組合せた防除体系の有効性、さらにシアゾファミド水和剤散布のタイミングの重要性を指摘している。農家への聞き取りからも、防除薬剤の散布時期の遅れが大きな被害を招いたと考えられるような事例があり、栽培時期や植物体の生育ステージ、薬効の持続性等を考慮したうえで防除適期について再確認する必要がある。

さらに、べと病菌を新たに外から持ち込まず、仮に圃場へ侵入したとしても増殖・定着させず、周辺圃場へ拡散させない栽培環境を作ることが大切である。とかく栽培環境を一つの農家の一つの圃場やハウス内で完結して考えてしまいがちであるが、近隣の圃場やハウス、残渣置き場にも注意を払うべきである。さらには、それらとの橋渡しとなり得るような作業用の機械類、作業者等の往来、風向きや立地条件等も含めて総点検し、地域としてべと病菌の伝染環を断ち切るように改善していくことが被害を最小限に抑えるうえで重要である。また、発生の多い低温時の栽培では作物の保温性や作業者の軽労化を重視しすぎるあまりに、ハウスやトンネル内が長時間にわたって過湿条件となり、べと病菌の感染・増殖にとって好適な環境を作り出しているケースも見受けられる。抵抗性品種に対して過度の期待を寄せるのではなく、べと病の発生生態を踏まえた防除薬剤の予防散布、栽培環境や作業工程の改善等を組合せた総合的な取り組みが、何よりも安定生産の実現に寄与するものと考えられる。

おわりに

ハウレンソウベと病菌の新レースがどのようなメカニズムで発生するのかは興味が持たれるところであるが、現在のところ明らかにされていない。日本では海外における初発生の後を追うようなタイミングで発生していること、多くの種子が海外で生産されて輸入されているこ

と、これまでにべと病の発生した履歴のない圃場でも新たに発生していること等から、種子とともに新レースが持ち込まれていることが推測されている。しかし、海外の採種地域でのべと病の発生状況や輸入種子における当該病原菌の存否については明らかにされておらず、確固たる証拠は得られていない。また、ハウレンソウの残渣や中間宿主を介して生き残った既存のレースが、作付けされた抵抗性品種を犯すように変異するという可能性も考えられる。国内外のべと病菌を広く収集して分子疫学的手法による解析を行うことにより、これらの疑問の一端が明らかにされるかもしれない。今後も、生産者や行政、研究機関、種苗会社等が情報共有、連携協力を促進するとともに、本病に対する取り組みをより一層強化していくことを期待したい。

引用文献

- 1) CHOI, Y. J. et al. (2007): Mycol. Res. 111: 381 ~ 391.
- 2) CORRELL, J. C. et al. (2011): Eur. J. Plant Pathol. 129: 193 ~ 205.
- 3) 福岡県病害虫防除所 (2011): 平成 22 年度病害虫発生予察技術情報第 4 号 (3 月 1 日)。
- 4) 岐阜県病害虫防除所 (2010): 平成 22 年度病害虫発生予察特殊報第 2 号 (12 月 3 日)。
- 5) 堀之内勇人ら (2010): 関西病虫研報 52: 77 ~ 79.
- 6) IRISH, B. M. et al. (2007): Plant Dis. 91: 1392 ~ 1396.
- 7) 奈良県病害虫防除所 (2010): 平成 22 年度農作物病害虫情報 (第 2 号) (5 月 21 日)。
- 8) Plantum NL (2011 a): News, <http://www.plantum.nl/english/news/1-news/52-denomination-of-pfs-12-a-new-race-of-downy-mildew-in-spinach>
- 9) ————— (2011 b): News, <http://www.plantum.nl/english/news/1-news/66-benoeming-van-fysio-pfs-13-een-nieuwe-fysio-van-valse-meeldauw-in-spinazie>
- 10) 埼玉県病害虫防除所 (2011): メールサービス情報 (2 月 25 日)。
- 11) 佐藤 衛 (2009): 植物防疫 63: 290 ~ 292.
- 12) SATOU, M. et al. (2006): J. Gen. Plant Pathol. 72: 193 ~ 194.
- 13) ————— et al. (2002): ibid. 68: 49 ~ 51.
- 14) 徳島県立農林水産総合技術支援センター病害虫防除所 (2010): 平成 22 年度農作物病害虫発生予察特殊報第 1 号 (11 月 19 日)。
- 15) TOMLINSON, A. N. et al. (2007): Plant Dis. 91: 1205.
- 16) 山口県病害虫防除所 (2011): 平成 22 年度病害虫発生予察特殊報第 4 号 (3 月 31 日)。
- 17) YAMAUCHI, N. et al. (2011): J. Gen. Plant Pathol. 77: 260 ~ 262.

農林水産省プレスリリース (24.2.16 ~ 24.3.15)

農林水産省プレスリリースから、病害虫関連の情報を紹介します。

<http://www.maff.go.jp/j/press/syouan> の後にそれぞれ該当のアドレスを追加してご覧下さい。

◆平成 23 年度病害虫発生予報第 10 号の発表について (2/16)

/syokubo/120216.html