

ジャガイモシロシストセンチュウ 抵抗性品種開発の現状と課題

農研機構 北海道農業研究センター
畑作物開発利用研究領域

あさの けんじ
浅野 賢治

1 はじめに

2015年8月に北海道内の一部の圃場において、これまで国内で未発生だったジャガイモシロシストセンチュウ (*Globodera pallida*、以下Gp) の発生が確認された。その後の調査で発生面積の拡大が確認され、現時点で67圃場284haにおいてGpの発生が確認されている (2016年4月22日時点)。発生範囲の調査は現在も継続して進められており、発生範囲拡大も懸念されている。Gpが寄生したばれいしょでは従来のジャガイモシロシストセンチュウ (*G. rostochiensis*、以下Gr) と同様に萎ちょう症状や下葉の脱落、早期枯凋などにより収量が減少する。また、発生ほ場では種イモを生産することができない。将来にわたって安定的なばれいしょ生産を維持するためには、GpとGrの発生拡大を防止することが重要である。Gpの発生拡大を防止するための対策は、土壌の移動防止、殺線虫剤による防除、適正な輪作体系の確保、抵抗性品種の作付けなどGr対策と同様のものである。しかしながらGrに対しては国内にすでに多くの抵抗性品種があるのに対し、Gpに対しては現時点で国内に抵抗性が確認された品種はない。そのため、総合防除の基盤ともいえるGp抵抗性品種の開発が急務となっている。本稿ではGp抵抗

性品種育成の現状と今後の課題について紹介する。

2 Gr抵抗性とGp抵抗性の比較

現在世界で広く利用されているGr抵抗性は、1つの抵抗性遺伝子 *HI* を導入するだけで、ほぼ完全にGrの増殖を抑制できる。ヨーロッパではジャガイモシロシストセンチュウ (Gr及びGp) に対する抵抗性は、感受性の標準品種と比べて栽培後にどの程度密度が増減するかに基づき1～9段階 (9が最高レベル) で評価される (表1)⁽¹⁾。Gr抵抗性の場合、*HI* を持っていればシストはほとんど形成されず抵抗性は9となる

表1 EPPOによるジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性の判定基準

Relative susceptibilityはPf test variety/Pf standard variety × 100で算出
Pf test variety及びPf standard varietyは供試品種と標準品種の栽培後密度

Relative susceptibility (%)	Score
< 1	9
1.1-3	8
3.1-5	7
5.1-10	6
10.1-15	5
15.1-25	4
25.1-50	3
50.1-100	2
>100	1

9が最も強い抵抗性

表2 ジャガイモシストセンチュウ（Gr）とジャガイモシロシストセンチュウ（Gp）の比較

項目	Gr	Gp
抵抗性	完全な抵抗性を示す遺伝子あり	完全な抵抗性を示す実用的な遺伝子なし
育種的対応	抵抗性遺伝子 <i>H1</i> (1 遺伝子で対応可能)	複数の抵抗性遺伝子を 組み合わせる必要あり
抵抗性の検定	質的な評価 (+ - 判定のカップ検定法などが確立)	定量的な評価 (シスト数の相対評価法開発が必要)
DNA マーカー	高精度のマーカーあり	高精度のマーカー開発が必要
不良形質との連鎖	なし	あり (調理後黒変など)
抵抗性の打破	なし	あり (ドイツで報告)
国内の抵抗性品種	用途別に多数の品種あり	品種はない

る。抵抗性の判定はシストが形成するかどうかで判定できるため、抵抗性検定は容易である。また、*H1*では抵抗性遺伝子と不良形質の連鎖（抵抗性品種の導入に伴い、不良形質が導入されること）がなく、*H1*の有無を高精度で識別できるDNAマーカーが開発されていることから、不良形質を導入することなく効率的に抵抗性を導入することが可能となっている⁽²⁾。このようにGrに対しては、有用な抵抗性遺伝子、検定法、DNAマーカーなどが揃っており、強い抵抗性を示す品種を選抜することは比較的容易である。

一方Gp抵抗性については、単一の遺伝子のみで完全な抵抗性を示す実用的な遺伝子はこれまでに知られておらず、十分な抵抗性を付与するためには複数の抵抗性遺伝子を導入することが必要である。複数の抵抗性遺伝子をもつ場合でも完全にシスト形成を抑制する場合は少なく、標準品種に比べて形成されるシストが少ないという量的な抵抗性を示す。抵抗性の判定は、シスト形成の有無ではなく、いくつシストが形成されるかという定量的な評価が必要となり、より精密な試験が必要となる。またGp抵抗性遺伝子の一部は不良形質との連

鎖が知られており、抵抗性を導入することにより調理後黒変も伴って導入される場合がある。DNAマーカーも確実に抵抗性個体を選抜できる高精度のものは開発されていない。さらにはGr抵抗性では、これまでに既存の抵抗性が有効でなくなる抵抗性の打破は知られていないが、Gpに対してはすでにドイツ国内で抵抗性が打破された例が報告されておりヨーロッパでは新たな脅威となっている。このように、実用的な農業特性と強い抵抗性を併せ持つ品種の育成は、Gr抵抗性品種の育成に比べ多くの困難を伴う（表2）。

3 Gp抵抗性評価法開発の必要性

抵抗性評価方法の開発は抵抗性品種開発のための第一歩である。ヨーロッパでの抵抗性評価では、ヨーロッパ地中海地域植物防疫機構（EPPO）によって使用する土の量、環境条件、接種に用いるシストセンチュウの種類や数まで詳細に定められている⁽¹⁾。シストの着生数に基づき評価するGp抵抗性ではGr抵抗性に比べ精密な試験が必要となる。今後新たに開発するGp抵抗性品種の抵抗性程度を正確に評価するために、日本でもEPPOの基準を参考にして



図1 スコットランドで使用しているカップと4連のトレー

4連のトレーではカップより高精度、ポットより省スペースでの検定が可能なカップとポットの中間的な性質を持つ。

標準品種や接種条件、栽培環境等を検討しGp抵抗性の正確な評価方法を確立しなければならない。しかしながらEPPOの方法による評価は多くのスペースと労力を必要とするため、多検体を同時に検定する必要がある育種選抜には不向きであり、ヨーロッパの育種機関ではカップ検定やトレーを用いた簡易検定を実施していた(図1)。選抜基準は育種機関で異なっており、フランスではシストを10個接種し新たに形成されるシストが15個未満であれば抵抗性と判定しているのに対し、スコットランドでは3,000卵接種して複数の感受性や抵抗性の標準品種との比較によって抵抗性を判定している。日本でも標準品種の選定、接種条件の決定、抵抗性の判定基準等を確立していかなければならない。

4 抵抗性遺伝資源候補の探索

抵抗性評価法の開発と同様に重要となるのが、抵抗性品種開発に利用可能な抵抗性遺伝資源の探索である。抵抗性遺伝資源の探索は、遺伝資源に対する国内で発生したGpの接種検定を行うことが基本となる。しかしながら国内のパレイショ遺伝資源は

膨大であり、北農研が保有する遺伝資源だけでも800点を超える。現時点でGpを扱える施設は限定されており、これほど多くの遺伝資源すべての接種検定を実施するのは現実的ではない。そこでまずDNAマーカーと系譜情報を活用して候補となる遺伝資源の絞り込みを行った。DNAマーカーによる評価は、実用性が高いとされる二つの遺伝子を対象とした。これらの抵抗性遺伝子は二つ併せ持つことによって、より強い抵抗性を付与できることがヨーロッパでの研究から明らかになっている⁽³⁾。しかしながらこれらのDNAマーカーは、論文に示されている条件では国内の遺伝資源に対しては良い結果が得られなかったため、まず国内でも安定的に評価できるようにマーカーの改良を行った(図2)。次にこの二つのDNAマーカーを用いて保有する遺伝資源の評価を行った。その結果これらの抵抗性遺伝子を持つ可能性のある遺伝資源が複数選抜され、抵抗性遺伝資源の候補を絞り込むことができた。しかしながら、前述したようにGpに対するDNAマーカーは、現時点では抵抗性個体を確実に選抜できる高精度のものではない。そのため、今回

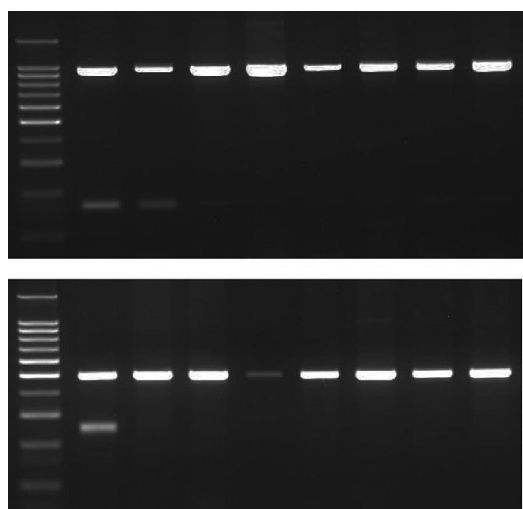


図2 改良した2つのDNAマーカー
黒矢頭がGp抵抗性との相関があるバンド

DNAマーカーによって選抜した遺伝資源について、一つ一つ接種検定を実施し抵抗性の確認を行わなければならない。系譜情報による絞り込みでは保有する遺伝資源の系譜情報を調査し、海外等でGpに対する抵抗性が確認された品種系統を祖先に持つ遺伝資源を選定した。これらについても順次接種検定を実施し、抵抗性の確認を行っていく。抵抗性が確認された遺伝資源がそのまま普及できる特性を持っていれば速やかに普及を図り、そうでない場合は抵抗性品種育成の素材として利用していく。

5 Gp抵抗性育種の方向性

現時点では国内にGp抵抗性が確認された品種がなく、発生圃場で栽培可能なGp抵抗性品種の開発が強く望まれている。また、発生圃場ではGpとGrが混在しているため、Gp抵抗性だけでなくGr抵抗性も併せ持つ品種が必要である。早急に抵抗性品種を開発するために、まずは海外からの導入品種や育成の進んだ系統の中から抵抗性を持つ系統を選抜し、速やかに品種登録を進めていく。しかしながら当面は抵抗性を持つことを最優先として開発を進めるため、栽培特性や品質が劣ることが懸念される。特に海外からの導入品種を日本で栽培すると、極晩生化や内部異常の多発などが見られることがあり、そのまま既存品種に置き換わるような品種となる可能性は低い。そのため抵抗性遺伝資源を国内の品種系統と交配し、抵抗性の導入を図るとともに栽培特性や品質面での改良も進めていく。品種の用途としては、発生地域の主力であるでん粉原料用を最優先して進めるが、発生地域拡大への備えや他地域への侵入防止対策として、生食用や加工用など他の用途の品種開発も並行して進めていく(図3)。現在発生範囲の調査が進められて

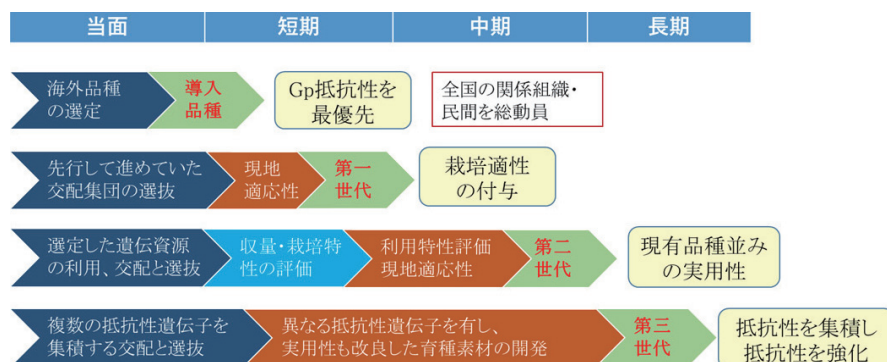


図3 ジャガイモシロシストセンチュウ抵抗性品種開発の道のり

いるが、発生範囲が広範囲に及ぶ場合には今後育成する全ての品種にGpとGr抵抗性の両方を付与することが必要となっていくだろう。

6 抵抗性品種育成に向けた今後の課題

Gp抵抗性に関しては、抵抗性遺伝子を複数有することによって強い抵抗性を付与できること、限られた抵抗性遺伝子への依存は抵抗性の打破を招く恐れがあることから多様な抵抗性遺伝子を一つの品種に集積した品種を育成していく必要がある。しかしながら利用する抵抗性遺伝資源は目的とする形質が劣る可能性が考えられるため、一段階で二つの抵抗性遺伝子を有する優れた品種の育成は難しく、まず目的とする特性を改良した育種素材の開発が必要となる。例えばでん粉原料用品種の育成を例とすると、これまでにDNAマーカーにより選定された抵抗性遺伝資源候補は、でん粉原料用としてはでん粉価が低いものがほとんどである。でん粉価の低い物同士の交配から、両親を大きく越えるようなでん粉価をもつ個体が出現する可能性は極めて低い。そのため、選定した遺伝資源同士を交配して高でん粉価で2つの抵抗性遺伝子を有する品種を育成することは困難である。そのため、一旦それぞれの遺伝資源を高でん粉価の材料と交配し、その後代からそれぞれの抵抗性遺伝子を有する高でん粉の育種素材を育成し、その後に育種素材間の交配によって高でん粉かつ2つの抵抗性遺伝子を有する品種を育成するという2段階の品種育成が

必要である。他の用途でも同様のケースが想定され、それぞれの抵抗性遺伝子を導入した抵抗性育種素材を育成し、両者の交配によって抵抗性遺伝子の集積を行うといった長期的な視点での育種も必要となる(図3)。また、現時点では国内で利用可能な遺伝資源は限られている。利用可能な遺伝資源は多様であることが重要である。今日では海外からの遺伝資源の導入が難しくなっているが、国内の各育種機関が利用しやすい形で海外の多様な遺伝資源の導入し遺伝資源の充実を図ることも重要である。

Gp抵抗性品種の開発は「農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業」及び「革新的技術開発・緊急展開事業(うち先導プロジェクト)」の研究予算を得て、国内の主要な育種機関が参画して実施している。本プロジェクトを通じて、総合防除の基盤となる抵抗性品種の開発早急に進めていきたい。

参考文献

- (1) Testing of potato varieties to assess resistance to *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida* (2006) Bulletin OEPP/EPPO Bulletin 36: p.419-420
- (2) 竹内ら ばれいしょの病害虫抵抗性遺伝子を選抜するDNAマーカー (2009) 研究成果情報
- (3) Dalton et al., The effect of pyramiding two potato cyst nematode resistance loci to *Globodera pallida* Pa2/3 in potato (2013) Molecular Breeding 31: p.921-930