

ジャガイモ疫病による塊茎腐敗の発生生態と新規防除法の検討

農研機構 北海道農業研究センター
寒地野菜水田作研究領域 研究員

おおさわ
大澤

ひさし
央

はじめに

ジャガイモ疫病（以下 疫病）は *Phytophthora infestans*（以下 疫病菌）によって引き起こされるジャガイモの重要病害のひとつであり、日本のみならず世界中で深刻な被害を与えている。罹病した植物体では、茎葉に暗緑色水浸状の病斑が観察されるほか、主に葉の裏面に胞子の一種である遊走子のうを大量に形成する。さらに、塊茎が感染すると腐敗の原因になることから、貯蔵腐敗の一因として産業界でも問題視されている（写真1）。栽培中から貯蔵中にかけて様々なタイミングで病気を引き起こす疫病であるが、本稿では「塊茎腐敗の要因としての疫病」に注目した近年の研究について紹介したい。

ジャガイモ疫病菌と塊茎腐敗

塊茎の腐敗は疫病菌のみならず様々な糸状菌・細菌・ウイルスによって引き起こされる。疫病のみに起因する腐敗塊茎の場合は軟化を伴わずに組織が赤褐色になる特徴があるが、しばしば二次的に軟化腐敗する。秋野ら（2018）は疫病に起因する二次的な軟化腐敗の病原微生物を同定したところ、これまでジャガイモに病原性が報告されていない細菌が分離され、さらにその細菌は健全塊茎からも分離されたと報告した¹⁾。これは一つの事例に過ぎないものの、二次的な軟化腐敗は単独で病原性を示さない細菌が疫病腐敗の後に増殖することにより起こっていた可能性がある、ということを示している。

このように、疫病による腐敗は二次的な

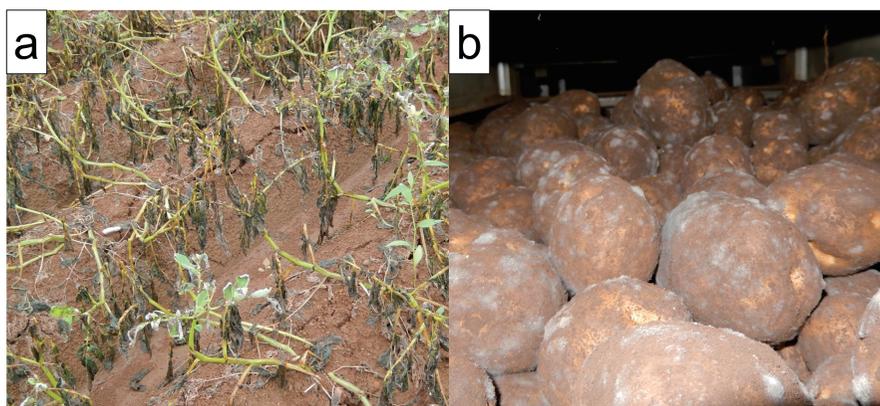


写真1 (a) ジャガイモ疫病激発圃場の地上部。(b) 貯蔵庫内での腐敗塊茎。

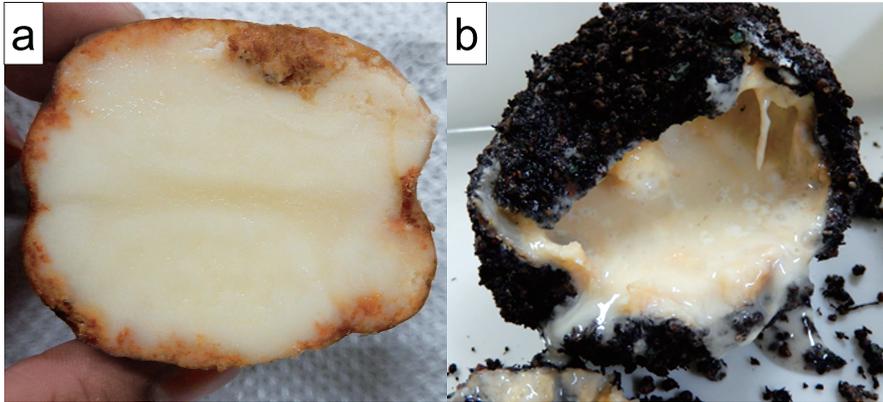


写真2 (a) ジャガイモ疫病に起因する腐敗塊茎。軟化しておらず、一部組織が赤褐色になる。
(b) 軟化腐敗塊茎。疫病腐敗に起因している可能性もあるものの、判断不能。

腐敗を伴うことが多いため、すでに軟化腐敗した塊茎を観察しても疫病腐敗に特徴的な赤褐色の組織も、疫病菌自体も観察できないことが多い。以上の理由から、腐敗が進んだ腐敗塊茎から直接的な要因を特定することは不可能であることも珍しくない(写真2)。

塊茎腐敗と塊茎受傷の関係

塊茎の感染タイミングは「栽培中」「収穫時」に大別される。栽培中の感染は地上部の病斑から降雨等により疫病菌が土壤に浸透し、塊茎に到達することで起こる。一方で、収穫時の感染は収穫時にできた大きささまざまな表面の傷(写真3)に汚染土壤等が接触し、疫病菌が侵入する。どちらも貯蔵腐敗の要因であるが、栽培中に感染した塊茎は収穫時には腐敗していることも多く、そのような腐敗塊茎は収穫時の選別で廃棄される。したがって、収穫時には見た目健全であった塊茎がしばらく後に貯蔵庫内で大規模に腐敗する現象は、主に収穫時に感染した塊茎が引き起こしている可能性がある。以上の仮説から、近年では収穫時

の感染に注目した研究が進められている。

まず、収穫時の塊茎受傷がどの程度貯蔵塊茎腐敗に関与するか確かめる試験を複数事例行った。収穫時に受傷した塊茎を人工的に再現し、疫病菌を含む土壤と混和・培養したところ、試験事例によって異なるものの半数程度の塊茎が腐敗症状を呈した。一方で、なるべく塊茎に傷がつかないように手掘りで丁寧に収穫した塊茎に同様の汚染土壤を混和・培養すると、塊茎腐敗率はわずか1%であった²⁾。傷がついた塊茎に疫病菌が付着することで腐敗しやすいことは想像に難くない。むしろこの研究で興味



写真3 収穫時に受傷(矢印部)した塊茎。

深いのは、たとえ疫病菌が表面に大量に存在していても、傷が少ない塊茎であれば疫病腐敗数は予想よりもはるかに少なかったということであった。

土壌中のジャガイモ疫病菌密度の定量法

前章の研究成果により、汚染土壌と受傷塊茎の接触が貯蔵塊茎腐敗の重要な要因であることがわかった。塊茎受傷を減らすこと、または土壌中の疫病菌密度を減らすこと、の少なくとも1つを達成することが貯蔵塊茎腐敗被害軽減に必要な要因である。しかし、塊茎受傷を完全に防ぐことは不可能である。したがって、土壌中の疫病菌密度の低減を図ることが現実的に貯蔵腐敗の減少につながると考えられる。

土壌中の疫病菌密度を論じるためには正確な定量が不可欠であるが、従来の定量法(バイオアッセイ)は正確・迅速・簡便でないデメリットがあった。バイオアッセイは生物検定とも呼ばれ、生物素材を用いて試験を行う。塊茎腐敗のバイオアッセイの場合、健全塊茎に検定土壌を混和・培養して疫病による塊茎腐敗の数や程度で菌密度を推定していた。しかし、この方法は培養期間が必要な上に、塊茎が疫病で腐敗したのか、雑菌等で腐敗したのかを判別することも難しい。さらに、材料として生物を使う特性上、試験条件を均一にすることも難しい。そこで、疫病菌密度を正確・迅速・簡便に定量するために疫病菌DNAに注目し、土壌中の疫病菌DNAを定量することで疫病菌密度を定量することとした。

開発した定量法は日本の代表的な畑作土壌で土壌種にほぼ依存しない汎用性が確認された。本法を用いて、栽培期間中に約1

週間おきに無防除圃場の土壌中の疫病菌DNAを定量したところ、地上部の疫病消長と一致したDNA量の推移が認められた。また、畝表面の土壌と畝頂上から深さ約15cmの塊茎周辺土の疫病菌DNA量を比較したところ、畝表面土の方が塊茎周辺土よりDNA量は多い傾向があった。定量された疫病菌DNA量を遊走子のうの数に換算すると、例えば地上部で疫病が激発していた2017年8月5日の畝表面は土壌1gあたり約 10^4 - 10^5 個の遊走子のうが含まれていたことになり、塊茎腐敗を引き起こすには十分なほどの非常に高い疫病菌密度であった。さらに、地上部が消失した後疫病菌DNA量は1週間で約10分の1に減少していることから、疫病菌は畝表面や土壌中では比較的速やかに活性を失い、分解されると考えられた(図1)。

次に、本法で疫病が発生した一般圃場の土壌中の疫病菌DNAを定量したところ、感染ポテンシャル(この場合、“土壌が持つ塊茎を腐敗させる力”を示す)と相関が認められたことから、本法で疫病菌DNAを定量することで感染ポテンシャルを間接的に定量できるとわかった³⁾。定量された疫病菌DNAは塊茎を腐敗させることのできる活性のある疫病菌由来のDNA以外にも、死滅した疫病菌由来のものも含まれている。産業界での応用を考えた場合、真に必要な情報は活性のある疫病菌の密度である。活性のある疫病菌を定量するには先述したデメリットがあるバイオアッセイが基本的な手法であったが、本法でバイオアッセイではなくとも感染ポテンシャルを定量できることは研究上大きな進歩であった。

収穫時の感染は貯蔵塊茎腐敗の要因のひ

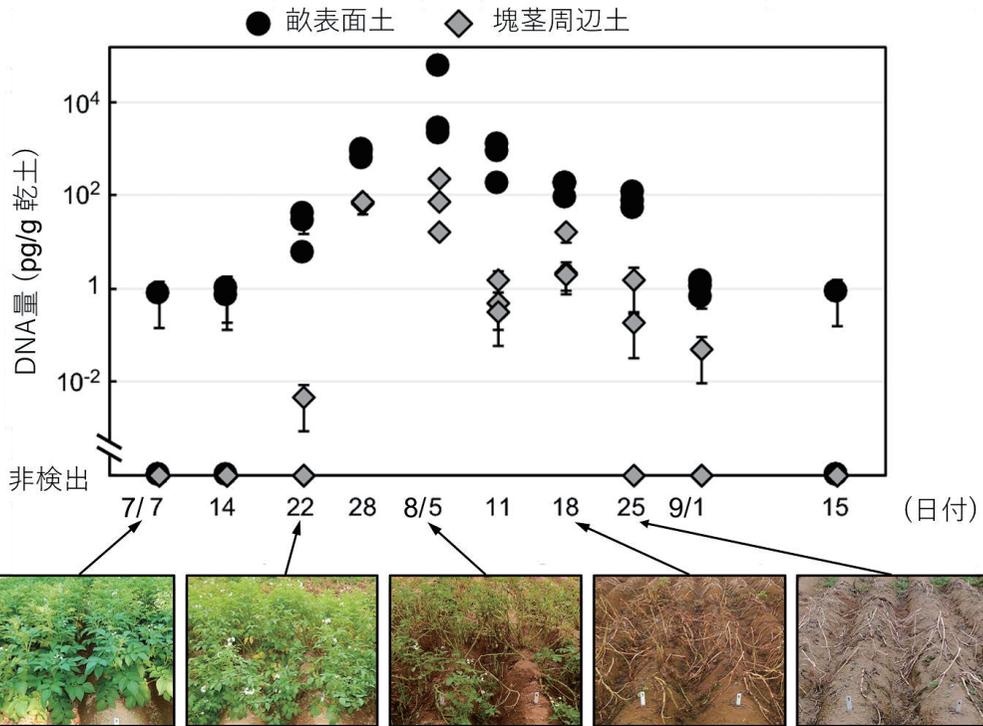


図1 2017年の無防除圃場の土壌疫病菌DNA量の推移と地上部の様子。Osawa et al. (2021) を改変。

とつであるため、収穫前に本法で土壌疫病菌密度を定量することによって、圃場ごとの塊茎腐敗の起こりやすさが予測できる可能性がある。これまでの定量法のバイオアッセイに比べ、本方法は数時間程度で定量結果が出るので迅速な予測が可能という点でもメリットが大きい。

茎葉残渣への殺菌剤散布による疫病菌密度減少

土壌中の疫病菌密度定量法が開発されたことによって、激発圃場の畝表面に疫病菌が大量に存在していたことがわかった。貯蔵中の塊茎腐敗は汚染土壌と受傷塊茎が接触することが一因なのであれば、畝表面に大量に存在する疫病菌を殺菌することで貯蔵腐敗は減少する可能性がある。そこで、

塊茎腐敗に効果があり広く使用されている殺菌剤のひとつであるシアゾファミド水和剤（商品名ランマンフロアブル、石原バイオサイエンス株式会社、以下 CF剤）を、「畝表面に残る疫病菌残渣に向かって散布する」新しい散布法を試みることで土壌疫病菌密度の低減を図った。

CF剤を散布した試験区の土壌疫病菌DNA量は最大で無処理区の19%にまで減少した。CF剤散布区の土壌と健全塊茎を混和・培養する試験を複数回行って解析したところ、本散布法を行うことで塊茎腐敗発生数を無散布区の6-8%に抑制できる可能性があると示された。この要因としては、CF剤の散布によって残渣等に存在する疫病菌の活性が低下したことに加え、残渣から新たに生じる遊走子のうの形成も阻

害されたため疫病菌密度が総合的に減少したと考察された。しかし、本試験は圃場で実用が難しい条件を含むため、薬剤の適切な濃度や量などの更なる検討が望まれる⁴⁾。

おわりに

「収穫時の土壤に疫病菌が存在すれば貯蔵中に腐敗する」という現象そのものは経験的にも理解しやすい上に科学的にも旧知の事実であった。近年の研究で、土壤中の疫病菌の量を具体的な数値で、かつ簡便に定量できるようになった。開発した定量法と新しく検討した防除法を併せることで、将来的にはこれまで以上に正確かつ経験に頼らない塊茎腐敗の発生予測・防除ができるのではないかと。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費JP19J10787の助成を受けて遂行された。また、紹介した研究は北海道大学秋野聖之博士をはじめ、数多くの方々にご助言・ご協力をいただいたものである。ここに深く感謝の意を表す。

引用文献

- 1) 秋野ら (2018) 日植病報 84: 255 (講要)
- 2) Osawa, H et al. (2018) Eur J Plant Pathol 152: 561-565
- 3) Osawa, H et al. (2021) Sci Rep 11: 6266
- 4) 大澤ら (2020) 北日本病虫研報 71: 53-57