

土壤伝染病談話会レポート

(第 30 回土壤伝染病談話会講演要旨)

30th PSJ Soil-Borne Disease Workshop Report

主催：日本植物病理学会 土壤伝染病談話会
PSJ Soil-Borne Disease Workshop

本レポート（電子ファイル）の取り扱いについて

- ① 第三者への配布は固く禁じます。
- ② 本レポートに掲載された研究成果の中には未発表のものも含まれています。したがって、複製・転載・引用に当たっては、必ず事前に原著者の了承を得るようにしてください。

土壌伝染病談話会レポート No. 30

目次

第 30 回土壌伝染病談話会プログラム		2
土壌病害における最近の話題から		
AI を活用した土壌病害診断技術の開発	吉田 重信	3
サツマイモ基腐病の発生生態の解明	小林 有紀	11
サツマイモ基腐病に対する防除法の確立	西岡 一也	19
土壌伝染病としてのジャガイモ疫病の特性とその制御	秋野 聖之	28
SDG s 時代のナン白紋羽病に対する新たな防除法の開発	高橋 真秀	38
本会記事		47

第30回土壌伝染病談話会プログラム

1. 開催日時：令和4年（2022年）11月11日（金）13：00～17：10
2. 会場：オンライン（Zoom ウェビナー）
3. プログラム

13:00-13:05

開会の辞 「土壌病害における最近の話題から」

千葉大学大学院園芸学研究院 宍戸 雅宏

13:05-13:45

「AIを活用した土壌病害診断技術の開発」

農研機構 植物防疫研究部門 作物病害虫防除研究領域 吉田 重信

13:45-14:25

「サツマイモ基腐病の発生生態の解明」

農研機構 九州沖縄農業研究センター 暖地畑作物野菜研究領域 小林 有紀

14:25-15:05

「サツマイモ基腐病に対する防除法の確立」

鹿児島県農業開発総合センター 生産環境部 病理昆虫研究室 西岡 一也

15:20-16:00

「土壌伝染病としてのジャガイモ疫病の特性とその制御」

北海道大学 大学院農学研究院 秋野 聖之

16:00-16:40

「SDGs時代のナシ白紋羽病に対する新たな防除法の開発」

(現) 千葉県農林水産部 担い手支援課 専門普及指導室

(前) 千葉県農林総合研究センター 生物工学研究室

高橋 真秀

16:40-17:10

総合討論

17:10 閉会の辞

AI を活用した土壌病害診断技術の開発

吉田 重信

Shigenobu Yoshida

Development of soil-borne disease management system using artificial intelligence (AI)

Soil-borne diseases cause significant negative impacts on crop production. Although most farmers have been using chemicals such as soil fumigants to disinfest the field soils before scheduled planting against the diseases, such conventional applications often cause an excess use of the chemicals, thereby increasing disease control costs and inhibiting agricultural sustainability and environmental conservation. To avoid the unnecessary use of chemicals for disease management, it is necessary to diagnose and assess the disease-occurrence potential (D-potential) before planting in each field and take appropriate control measures based on the potential degree. Since such decision-making system is based on health check-up system, we named the system as the Health checkup-based Soil-borne Disease Management (HeSoDiM). HeSoDiM is a promising strategy to realize sustainable agriculture by decreasing input of costs and environmental stresses to arable lands, and necessary to be more propagated through further research and development on this soil-borne disease management system. Recently, we developed artificial intelligence (AI) assisting HeSoDiM practice adaptative to conditions of each target field, which automatically suggests appropriate diagnostic parameters, D-potential level and control methods recommendation, by a research project funded by MAFF (FY 2017-2021). This paper introduces the outline of the research project and AI application ‘HeSo+’ produced by the research.

Key words : 土壌病害、ヘソディム、人工知能 (AI)、HeSo+

(国) 農研機構 植物防疫研究部門

はじめに

土壌伝染性病害（土壌病害）は、難防除病害で経済的に大きな被害を与えるだけでなく、近年では圃場の耕作放棄や産地崩壊の契機となることもあり、産地や圃場の持続的生産の維持向上のためには、その対策がますます重要となっている。土壌病害は圃場での栽培期間中に一旦発生するとその後の対策が一般には困難となることから、現地では最悪の事態を回避するために、問題となっている病害に対して有効な土壌消毒剤を管理圃場に画一的に使用する防除（カレンダー防除）が行われることが多い。しかし、この防除法では本来消毒剤を使わなくてもよい圃場にも使用してしまうことがあり、結果的に過剰な作業労力や農薬代などが生じてしまっている。令和3年5月に農林水産省が策定した「みどりの食料システム戦略」では、2050年までに目指す姿のKPI（重要業績評価指標）として、「化学農薬使用量（リスク換算）の50%低減」が掲げられているが、過剰に使用される土壌消毒剤の削減はこのKPIの達成を図る上でも重要である。

土壌消毒剤の使用を低減しつつ、効率的に病害を管理するためには、圃場ごとに栽培前に「土壌病害の発生しやすさ（＝発病ポテンシャル）」を「診断」・「評価」し、防除の必要性の有無や発病ポテンシャルの程度（レベル）に応じた「対策」手段を講じる病害管理法が有効である。こうした管理法の概念は、健康診断を活用した人の健康管理（予防医学）と同じであることから、Tsushima and Yoshida (2012)¹⁾は「健康診断の発想に基づく土壌病害管理」の英語表現（Health checkup based Soil-borne Disease Management）の頭文字を取って「ヘソディム（HeSoDiM）」（図1）と命名し、全国の公設試験研究機関などと共同で代表的な土壌病害に対するヘソディムを開発しマニュアル化^{2,3)}した（図2）。これまでの実証試験では、ヘソディムの導入によって過剰な土壌消毒剤の使用を回避出来るようになり、

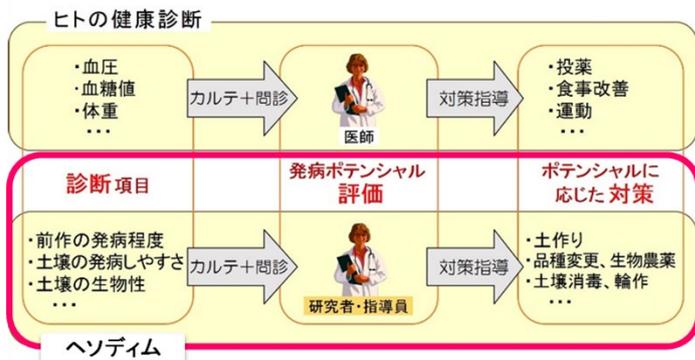


図1. ヘソディムの概念図



図2. ヘソディムマニュアル（2冊）の表紙

防除コストの削減に成功できることも確認されている。こうしたことから、ヘソディムの普及により、土壤消毒剤の使用や防除の効率化が図られ、生産者の収益性の向上に貢献することが期待できる。

筆者らは、ヘソディムに基づく土壤病害管理の普及に資することを目的に、農林水産省の委託プロジェクト研究「AI を活用した土壤病害診断技術の開発」（2017～2021 年度）において、さまざまな圃場条件に応じて土壤病害の発病ポテンシャルを AI で診断・評価し、評価結果に応じた対策を支援するシステムの構築に取り組み、10 種の土壤病害に対する診断、対策支援を行う AI アプリ「HeSo +（ヘソプラス）」を開発した。本稿では、その内容について概説したい。

プロジェクト研究の背景

上述のとおり、圃場単位で発病ポテンシャルを診断し、診断結果に応じて対策手段を講じる土壤病害管理法（ヘソディム）は、土壤消毒剤の使用量の削減には有効であり、筆者らはその普及のために主要な土壤病害を対象とした指導者向けのマニュアルを作成・公開してきた。しかし、これらのマニュアルは、限られた産地または圃場の栽培条件下での試験結果を基に作成されたものであるため、圃場環境や栽培条件が異なる圃場でヘソディムを実践する場合には、作成したマニュアルをベースに、指導者らが中心となって実際の診断対象圃場の条件に応じて臨機にマニュアルの内容を改変して取り組んでもらう必要がある。ところが、近年、特に熟練の指導者が減少しており、マニュアルの改変やそれに基づいた指導も行われにくい状況になっていることが、ヘソディムの普及上の課題となっていた。

このため、多くの圃場でヘソディムによる土壤病害管理を実践してもらうためには、圃場環境や栽培条件に応じて最適な発病ポテンシャルの診断等が簡便に行える新たなシステム作りが必要であり、具体的には、各圃場の条件に適した圃場の発病ポテンシャルの診断および対策を支援する技術の開発や、指導者による診断・対策支援をサポートできる仕組み作りが必要であることが考えられた。こうした課題を解決するアプローチとして、筆者らは AI（人工知能）を活用したデータマイニングによる診断・対策支援技術の開発が有効と考え、農林水産省の支援を受け、13 の公設試験研究機関、1 大学および民間企業 2 社と共同でプロジェクト研究（AI を活用した土壤病害診断技術の開発：2017～2021 年度）に取り組むこととした。

プロジェクト研究の概要

プロジェクト研究では、現地での被害が問題となっている主要な土壌病害のアブラナ科野菜（キャベツ、ブロッコリー、ナバナ）根こぶ病、ネギ黒腐菌核病、バーティシリウム病害（ハクサイ黄化病、キク半身萎凋病）、卵菌類病害（タマネギべと病、ショウガ根茎腐敗病）、トマトおよびショウガ青枯病を対象に、精度よく圃場の発病ポテンシャルを診断できる AI を開発するとともに、AI を活用した診断・対策支援システムを構築することを目標とした。一般に精度の高い AI を開発する上で、用いるデータの量と質の確保はその成否のための重要な要件とされている。そこで本研究では、可能な限り地域や栽培体系が多様な圃場条件下で多くの実証データを収集できるよう、プロジェクト参画機関が既存のマニュアルの内容を基本に各対象圃場の栽培条件に合わせて改変したヘソディムの現地実証を繰り返し行い、その過程で得られる耕種概要情報、土壌の生物性および理化学性等の各種データをデータセットとして整理し、機械学習用データとして用いた。

また、開発した AI を利用するための仕組み作りとして、AI で導出される対象圃場に適した発病ポテンシャルの診断項目（診断方法）、発病ポテンシャル診断結果および発病ポテンシャルに応じた対策技術をユーザーに分かりやすく提示できるインターフェースの開発を行った。さらに、ヘソディムの生産現場での普及を拡大するためには、多くの潜在的ステークホルダーに本インターフェースを利用してもらう必要があり、特に営農指導に携わる民間企業等によるインターフェースを用いた診断・対策支援サービスの事業化につなげることが重要と考え、その実現のためのビジネスモデルの構築にも取り組んだ。

以上の研究開発について参画メンバー全員で取り組んだ結果、上記の 10 種の作物病害に対する圃場の発病ポテンシャルを実用レベルの正確度で診断し、診断結果に応じた対策を支援できる AI アプリ「HeSo+（ヘソプラス）」を開発した（図 3）。



図 3. HeSo+のトップ画面

土壌病害診断対策支援のための AI アプリ「HeSo+（ヘソプラス）」

「HeSo+」では、発病ポテンシャルを診断する対象圃場をマップ上から選定するとともに診断対象の病害を指定すると、その圃場に適した発病ポテンシャル診断項目が提示される（図4）。入力する診断項目には、土壌の分類群、pHなどの土壌理化学性情報の他に、前作や周辺圃場での対象病害の発生程度、土壌中の病原菌密度などがあり、それらの中から対象病害や圃場に適した項目が提示されるようになっている。提示された項目に対して実際のデータを入力すると、対象圃場における発病ポテンシャルが3段階のレベル（低：レベル1～高：レベル3）が診断結果として示され、マップ上でも色分けでポテンシャルレベルが識



図4. 「HeSo+」の圃場登録マップ画面（左）と発病ポテンシャル診断の入力画面例（右）

別できるようになっている（図5）。また、各発病ポテンシャルレベルに対応した対策技術も提示されるようになっており、その際には、ユーザーの志向性や目指すゴール（①例年どおりの収量確保を最優先とする場合、②増収増益を最優先とする場合、③生産物の高付加価値化を最優先とする場合、④圃場の持続的利用を最優先とする場合）別に最適な手段を提示するようになっている。さらに、「HeSo+」の診断結果に基づき、実際に行った病害管理の結果を入力するフォ



図5. 「HeSo+」におけるマップ上での圃場の発病ポテンシャル診断結果の表示画面例

マップ上で圃場の発病ポテンシャルのレベルが色分けで表示される（ポテンシャルレベル1：低 [青色]、2：中 [黄色]、3：高 [赤色]）。図では、発病ポテンシャルレベルが3と判定されたので、圃場が赤色枠で囲われて示される。発病ポテンシャルの自信度（AI がどの程度の確度で結果を導き出しているかの指標）が★の数（図では★2つ）で表示される。

ローアップ機能が実装されており、これらのデータを学習用データとして利用し、AI の性能を向上することができる設計となっている。「HeSo+」のその他の機能として、圃場で発生した病害の症状の写真撮影機能や病害発生箇所の記録機能なども付属している。

「HeSo+」の期待される利用形態

「HeSo+」は、令和4年4月より販売代理店である HeSoDiM 普及協議会 (<https://hesodim.or.jp/hesoplus/>) から販売が開始（図6）されており、多くの関係者による利用を通じて土壌病害の管理に役立ててもらいたいと考えている。具体的には、生産者と指導者が一緒になって「HeSo+」を使って対象圃場の発病ポテンシャルを診断し、診断結果を基に病害対策の方針や意思の決定に活用してもらいたい。これまでに、ブロッコリー圃場での根こぶ病の対策指導を行っている指導者が「HeSo+」を試用した結果では、「HeSo+」による診断結果に基づいた対策が成功したことに加え、本アプリを通じて生産者と密に病害管理方針の協議ができ、両者で円滑な合意形成が図れる効果があったとの評価が得られ

ている。このように、「HeSo+」は生産者と指導者との間の土壌病害管理に関するコミュニケーションツールとして有用である。



図6. 「HeSo+」の販売サイト画面 (<https://hesodim.or.jp/hesoplus/>)

おわりに

上述のプロジェクト研究で開発した「HeSo+」の利用にあたっては、予めAIの長所・短所を十分に理解した上で利用をしてもらうことが重要である。一般にAIは、データの複雑な組み合わせや微妙な兆候をとらえたり人が気づかない特徴を探し出すことが出来る利点があるとされているが、その一方で、AIの性能はデータの質・量に依存し、データの中からはしか学習できず、特殊な事例を見逃すことがあるなどの欠点もある。すなわち、AIは決して万能なものではなく、あくまでも道具の一つとして上手に使いこなすものであるという前提で利用することが重要である。「HeSo+」の利用においては、発病ポテンシャルの診断結果にそのまま盲目的に従うということはずせず、診断結果を参考に、ユーザー自らが、最終的な病害対策の判断・意思決定を主体的に行うことが大切である。こうした点に留意して「HeSo+」が多くの関係者で活用され、効率的な土壌病害管理の普及が図られるようになることを期待したい。

本稿で紹介した研究は、農林水産省の委託プロジェクト研究「AIを活用した土壌病害診断技術の開発」(JP17935468)において行ったものである。また、「HeSo+」は、以下に示す共同研究機関の関係各位との共同研究開発の成果であり、その共同開発なくして作り上げることはできなかったものである。関係各位には、この場をお借りして改めて心よりお礼申し上げます。

(共同研究機関)

北海道立総合研究機構 農業研究本部中央農業試験場、宮城県農業・園芸総合研究所、群馬県農業技術センター、千葉県農林総合研究センター、神奈川県農業技術センター、長野県野菜花き試験場、静岡県農林技術研究所、富山県農林水産総合技術センター、岐阜県農業技術センター、三重県農業研究所、香川県農業試験場、高知県農業技術センター、熊本県農業研究センター、東京農業大学、(株)システム計画研究所/ISP、アグロ カネショウ (株)、(株) CTI フロンティア

参考文献

- 1) Tsushima, S. and S. Yoshida (2012) TUA-FFTC international seminar on emerging infectious diseases of food crops in Asia. Abstract, 204.
- 2) 農業環境技術研究所 (現：農研機構農業環境研究部門)
<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/hesodim/>
- 3) 農業環境技術研究所 (現：農研機構農業環境研究部門)
<https://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/hesodim2/>

サツマイモ基腐病の発生生態の解明

小林 有紀

Yuki O. Kobayashi

Elucidation of the ecology of sweetpotato foot rot

摘要

鹿児島県、宮崎県および沖縄県のかんしょ産地において、国内ではこれまで発生報告のなかったサツマイモ基腐（もとぐされ）病が多発し、収量の減少が深刻な問題となっている。基腐病は、種苗伝染と土壌伝染をする。また、発病株に形成される大量の胞子が水を介して周辺株に広がりまん延するため、これら伝染環を断ち切るための防除対策が必要である。また、鹿児島県および宮崎県では、基腐病の他に、乾腐病、つる割病、茎根腐細菌病の発生も確認されているため、病徴や病原菌の形態または遺伝子診断法により基腐病を診断し、適切な対策をとる必要がある。

Key words : Sweetpotato, Stem blight, Foot rot, Storage tuber rot, ecology, diagnosis

(国) 農研機構 九州沖縄農業研究センター 暖地畑作物野菜研究領域

はじめに

国内有数のかんしょ産地を形成している鹿児島県および宮崎県において、2018 年秋から、かんしょの株が立枯れ、イモが腐敗する症状が多発し、収量の減少が深刻な問題となっている。沖縄県のかんしょ産地でも同様の症状が認められており、これら3県では、サツマイモ基腐病（以下「基腐病」という）が発生していたことが明らかになった。

株立枯れ・イモ腐敗症状発生圃場では、複数の病害が発生していると考えられたため、2018 年度には、農研機構と鹿児島県、宮崎県が協力して、株立枯れ・イモ腐敗症状の原因究明に取り組んだ。また、基腐病は本邦で初めて発生が確認された病害であるため、2019～2021 年度には沖縄県も研究グループに加わり、基腐病の発生生態の解明と診断・防除技術の開発に取り組んだ。

基腐病の防除法については他の演者より紹介があるため、ここでは、防除対策を策定し、実践するために必要となる基腐病の発生生態と診断法について得られた知見を紹介する。

1. 株立枯れ・イモ腐敗症状の原因菌

2018 年にかんしょに株立枯れ・イモ腐敗症状が認められた鹿児島県 8 郡市の 37 圃場、宮崎県 5 郡市の 26 圃場から、かんしょの枯れた茎および腐敗イモを採取して微生物を分離し、簡易な発病試験による病原性の確認と、遺伝子の塩基配

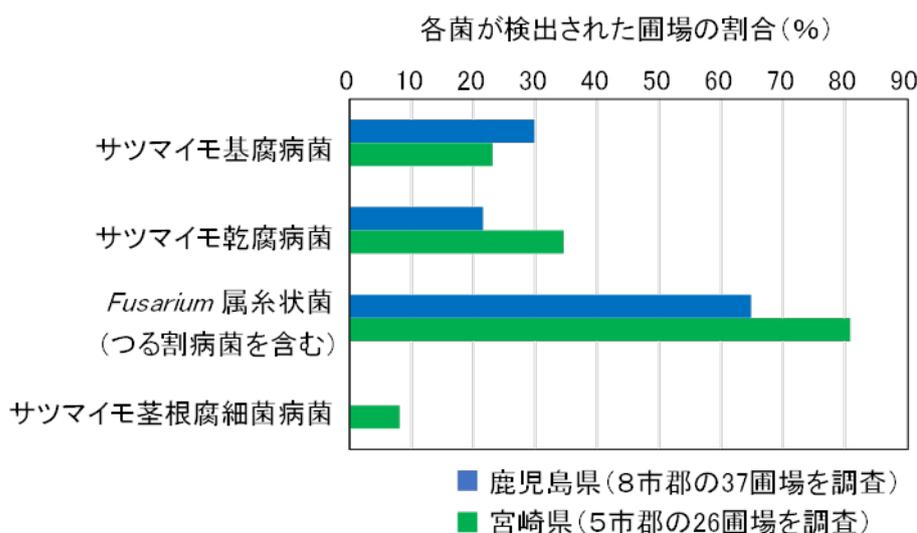


図1. かんしょの株立枯れ・イモ腐敗症状発生圃場における各微生物の検出割合 (パンフレット¹⁾ 掲載図を修正)

列解析による菌種の推定を行った。その結果、鹿児島県および宮崎県の調査圃場のそれぞれ 2～3 割から基腐病菌、同じく 2～3 割から乾腐病菌、7～8 割からつる割病菌を含む *Fusarium* 属糸状菌、宮崎県のみ約 1 割から茎根腐細菌病菌が検出された (図 1)。

2. 株立枯れ・イモ腐敗症状の発生要因

2018 年に株立枯れ・イモ腐敗症状が発生した地域を中心に、鹿児島県では 62 生産者 118 圃場および宮崎県では 38 生産者 76 圃場を対象に個別面談式アンケートと圃場の土壌分析を行い、病害の発生実態、栽培管理状況や土壌 pH などの圃場環境要因を調査し、統計学的手法により、病害の発生に影響を与える要因を解析した。その結果、株立枯れ・イモ腐敗症状の発生には、過去に圃場内で同様の症状が発生していたこと、適切な土壌消毒・苗消毒が実施されていないこと、圃場の排水が不良であること、が大きく影響していると考えられた。

2018 年に株立枯れ・イモ腐敗症状が発生した圃場のうち約 3 割の圃場では、過去にも同様の症状が発生しており (図 2A)、土壌や種イモが病原菌に汚染されていた可能性が考えられた。しかし、過去にも発生が認められたこうした圃場のうち約 7 割の圃場では罹病残渣の処理が、約 6 割の圃場では土壌消毒が、約 3 割の圃場では苗消毒が行われていなかった。

株立枯れ・イモ腐敗症状が発生した圃場のうち約 7 割の圃場では、つる割病や黒斑病の対策としてベノミル水和剤で消毒した苗が利用されてはいたが、調

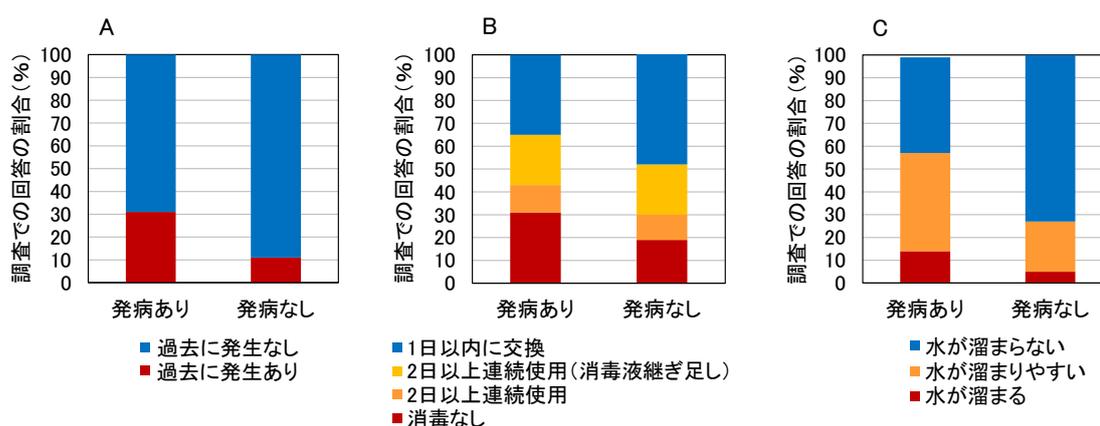


図 2. 2018 年の発病状況と (A) 圃場での過去の発生の有無、(B) 苗消毒液の交換時期および (C) 降雨後の圃場内の湛水の関係 (パンフレット¹⁾ 掲載図を改変)

製して 1 日以内の薬液を使った有効な苗消毒が行われていた圃場はそのうちの半数に留まっていた (図 2B)。一方、2018 年の発生圃場のうち約 6 割の圃場では排水が悪く (図 2C)、その排水不良の圃場のうち約 6 割の圃場では排水路が設置されていなかった。

3. 基腐病の発生生態

現地調査や接種試験を行い、基腐病の伝染環を明らかにした (図 3)。

基腐病は、基腐病菌 (糸状菌 : *Diaporthe destruens* (Harter) Hirooka, Minoshima & Rossman) に感染した種イモや苗を圃場 (苗床・本圃) に植え付けることで発生する。基腐病が発生した圃場では、罹病残渣中で病原菌が生き残り、次作の伝染源となる。菌単独では土壌中での生存期間は短いとの報告があるが²⁾、具体的な生存期間については研究中である。

発病株の病変部には柄子殻が多数形成され、水に濡れると中からおびただしい数の孢子が漏出する。孢子は、降雨により生じる湛水や跳ね上がりなどにより周辺株に広がり、本病のまん延を引き起こす。伸長した茎が、畝間の汚染土壌や周辺株の病変部に接触することによっても感染し、発病する。

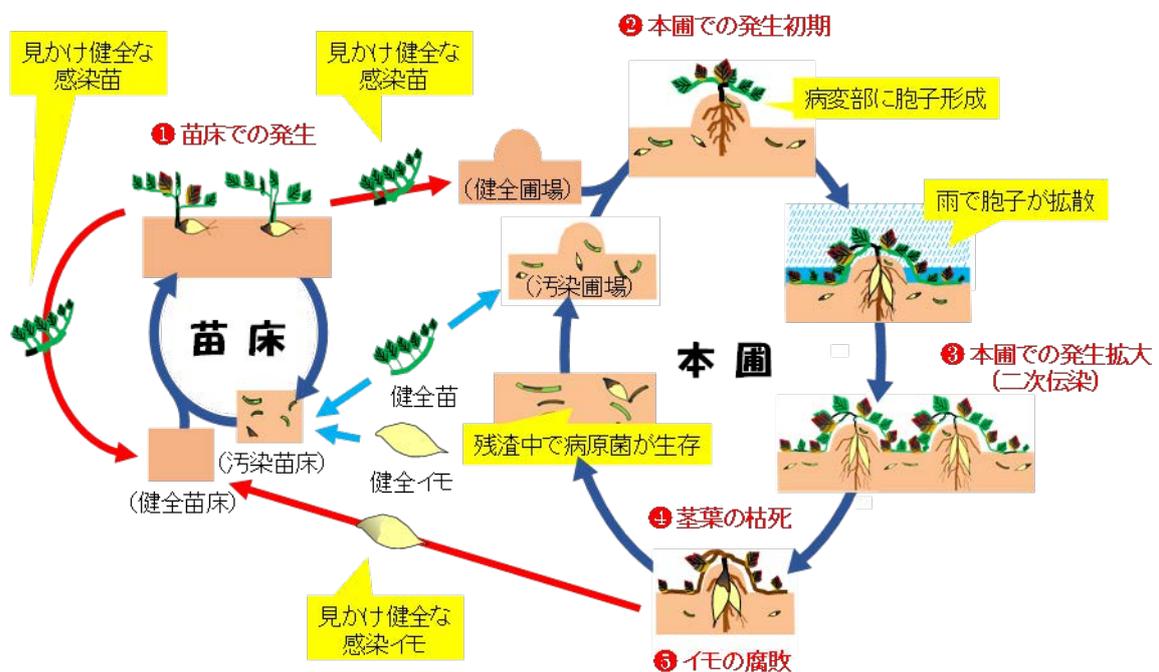


図 3. 基腐病の伝染環 (マニュアル⁷⁾ 掲載図を改変)

主に株基部の感染部位から、地下部の茎、諸梗（しよこう：茎とイモをつなぐ部分）、イモへと腐敗が進む。発生圃場から採取したイモは、収穫時に健全に見えても貯蔵中に腐敗し、接触している他のイモへの伝染源となることもある。

基腐病菌の人工接種によりヒルガオ科の数種植物が感染したが、自然発生が確認されているのはかんしょのみである。

4. 基腐病と類似病害の識別方法

(1) 基腐病の特徴

基腐病は、生育不良や萎れ、黄変、赤変などした株の地際のあたりが暗褐色～黒色に腐敗する（図 4）。伸長した茎の途中から腐敗することもある。腐敗部位には微小な黒粒（柄子殻）が多数形成され、その中に形態の異なる 2 種類の胞子（楕円形、二油滴の α 胞子と柱状の γ 胞子）が形成される。イモは主になり首側から、褐色～暗褐色にやや硬く腐敗する。イモの腐敗部位にも柄子殻が形成される。

(2) 乾腐病の特徴と基腐病との識別方法

乾腐病は、かんしょが基腐病菌と近縁の糸状菌である *Diaporthe batatas* Harter & E.C. Field に感染することにより発生する。主に貯蔵中のイモが腐敗する。乾腐病菌は基腐病菌に比べ病原性が弱く³⁾、本圃では、老化した茎が乾腐病菌に感染した可能性が考えられる⁴⁾。

乾腐病の症状は基腐病と類似しているため、症状からどちらの病害であるかを判断するのは難しいが、腐敗部位に柄子殻が形成されていれば、柄子殻内に形成される胞子を生物顕微鏡で観察することにより、比較的容易に診断することができる（図 4）。乾腐病菌も α 胞子を形成するが、基腐病菌の α 胞子よりも細く、端が尖った印象がある。また、乾腐病菌は、 γ 胞子ではなく、釣針状の β 胞子を形成する。なお、基腐病、乾腐病共に、2 種類の胞子のどちらか一方しか観察されないこともある。

柄子殻が形成されていない場合は、1 mm 四方の病変組織を素寒天培地に置いて培養し、生えてきた菌糸の先端をブドウ糖加用ジャガイモ煎汁寒天（PDA）培地に移植し、1 週間程度培養すると、菌糸の形状と生育の速さの違いから、基腐病菌か乾腐病菌かを推測できる。基腐病菌は、乾腐病菌に比べ PDA 培地上での生育が遅い³⁾。

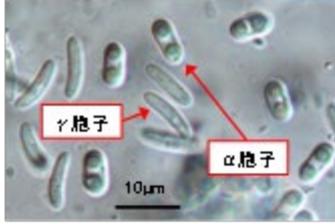
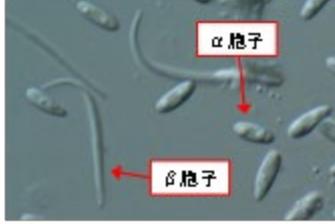
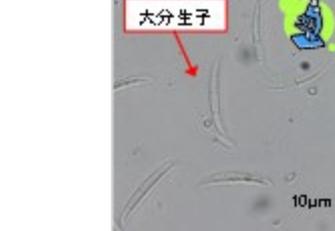
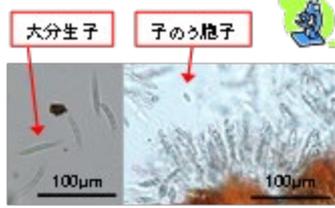
類似病害 比較表	茎の症状	イモの症状	病原菌
基腐病 ↑ 症状での識別困難 ↓	 <p>株元が暗褐色～黒色 病変部に微小な黒粒(柄子殻)</p>	 <p>なり首側からやや硬い腐敗 病変部に微小な黒粒(柄子殻)</p>	<p>糸状菌 <i>Diaporthe destruens</i></p>  <p>γ胞子 α胞子 10μm</p>
	 <p>病変部に微小な黒粒(柄子殻)</p>	 <p>主に貯蔵中のイモに発生 病変部に微小な黒粒(柄子殻)</p>	<p>糸状菌 <i>Diaporthe batatas</i></p>  <p>α胞子 β胞子</p>
つる割病	 <p>茎が縦に裂けて繊維が目立つ</p>	<p>無菌微感染</p>  <p>導管が褐変 なり首側が割れることあり</p>	<p>糸状菌 主に <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>batatas</i></p>  <p>大分生子 10μm</p>
(病名検討中)	 <p>病変部に橙色の粒(子のう殻)を形成することがある</p>	 <p>病斑からやや硬い腐敗</p>	<p>糸状菌 <i>Fusarium solani</i> 種複合体</p>  <p>大分生子 子のう胞子 100μm 100μm</p>
茎根腐細菌病	 <p>茎や葉柄が軟らかく腐敗</p>	 <p>軟らかく腐敗 種全卸との境界が黒褐色</p>	<p>細菌 <i>Dickeya</i> sp.</p>  <p>LB培地で育てた病原菌</p>

図4. かんしょに株立枯れ・イモ腐敗を生じる病害の特徴
(マニュアル⁷⁾掲載図を改変)

(3) つる割病の特徴

つる割病は、主に、糸状菌である *Fusarium oxysporum* Schlechtendal f. sp. *batatas* W.C. Snyder & H.N. Hansen に感染することにより発生する。茎が縦に裂けて繊維が目立つのが特徴であるが（図 4）、裂けずに黒褐色に腐敗し、基腐病との識別が困難なときもある。病変部には基腐病のような微小黒粒は生じず、白い粉が吹いたような部分を生物顕微鏡で観察すると、*Fusarium* 属菌の大分生子が確認できる。イモは基腐病のように腐敗しないが、外観が健全に見えても内部の導管が褐変していたり、なり首側が裂けて繊維状になったりすることがある。

つる割病ではないが、*Fusarium solani* 種複合体に属する糸状菌に感染することにより、基腐病によく似た株元の黒変、イモ腐敗症状が発生することも明らかになっている⁵⁾（図 4）。基腐病はイモのなり首側から腐敗することが多いが、本病は、イモのひげ根などを中心に病斑が形成された後、イモ全体に腐敗が広がる。

(4) 茎根腐細菌病の特徴

茎根腐細菌病は、細菌である *Dickeya* sp. に感染することにより発生する。茎や葉柄、イモが基腐病よりも軟らかく腐敗する（図 4）。イモの内部は、腐敗部と健全部との境界が黒褐色になることが多い。

5. 基腐病と乾腐病の遺伝子診断法

基腐病菌と乾腐病菌の rRNA 遺伝子の ITS 領域の塩基配列から、両菌を特異的に検出できる PCR プライマーを設計している⁶⁾。かんしょの茎またはイモの病変部から抽出した全 DNA を鋳型にリアルタイム PCR またはコンベンショナル PCR を行うと、最短 1 日で基腐病および乾腐病の診断が可能である。

おわりに

鹿児島県および宮崎県の株立枯れ・イモ腐敗症状発生圃場では、複数の病害が発生していたが、急速に拡大し、各地で深刻な被害をもたらしているのは基腐病であると考えられた。基腐病は、種苗伝染と土壌伝染をする。また、発病株に形成される大量の胞子が水を介して周辺株に広がりまん延するため、これら伝染環を断ち切るための防除対策が必要である。また、病徴や病原菌の形態または遺伝子診断法により基腐病を的確に診断し、発生地域でのまん延や未発生地域への拡散を防止する必要がある。

これらの研究は、生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業」(JPJ007097)の支援を受けて行った。研究成果は、パンフレット¹⁾やマニュアル⁷⁾として取りまとめているのでそちらも参考にしていきたい。

引用文献

- 1) 農研機構九州沖縄農業研究センター・農研機構中央農業研究センター・鹿児島県農業開発総合センター・宮崎県総合農業試験場・宮崎県農政水産部農業経営支援課 (2019). かんしょ産地で発生している立枯・塊根腐敗症状の原因究明とその抑制対策 技術者向け.
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130564.html
- 2) Clark, C.A. and Moyer, J.W. (2013). Foot rot. *In* Compendium of sweetpotato diseases, pests, and disorders, second edition. pp.36-37, APS Press, Minnesota.
- 3) 小林有紀・西八束・西岡一也・櫛間義幸・臼井真奈美・小林晃・岡田吉弘 (2021). 南九州におけるサツマイモ基腐病菌およびサツマイモ乾腐病菌の分離と病原性比較. 日植病報 87 : 54. (講要)
- 4) Clark, C.A. and Moyer, J.W. (2013). Dry rot. *In* Compendium of sweetpotato diseases, pests, and disorders, second edition. pp.57-58, APS Press, Minnesota.
- 5) 小林有紀・森脇丈治・小林晃・西岡一也・臼井真奈美・西八束・櫛間義幸 (2022). サツマイモに株立枯れ・塊根腐敗を引き起こす *Fusarium solani* 種複合体の同定と病原性比較. 日植病報 88: 77. (講要)
- 6) Fujiwara, K., Kobayashi, Y.O., Usui, M., Nishioka, K., Nakamura, M., Kawano, S., Okada, Y., Kobayashi, A., Miyasaka, A., Hirayae, K., Kushima, Y., Nishi Y. and Inoue, H. (2021). Real-time PCR assay for the diagnosis and quantification of co-infections by *Diaporthe batatas* and *Diaporthe destruens* in sweet potato. *Front. Plant Sci.* 12: 694053.
- 7) 農研機構九州沖縄農業研究センター・農研機構植物防疫研究部門・鹿児島県農業開発総合センター・鹿児島県経済農業協同組合連合会・宮崎県総合農業試験場・沖縄県農業研究センター (2022). サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策 技術者向け(令和3年度版).
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/151859.html

サツマイモ基腐病に対する防除法の確立

西岡 一也

Kazuya Nishioka

摘要

サツマイモ基腐病（以下、基腐病）防除の基本は、圃場に病原菌を「持ち込まない」、「増やさない」、「残さない」ことである。基腐病の未発生地域では早期発見の警戒と「持ち込まない」対策の徹底を、初発生確認地域では少発生のうちに「残さない」対策を徹底し、早期発見の警戒と「持ち込まない」、「増やさない」の対策で定着させない取り組みが必要になると考えられる。既に、基腐病が定着・まん延している地域では、3つの対策を同時に進行させ、地域全体の病原菌密度を低下させなければならない。

1. 「持ち込まない」対策には、①健全種苗の確保、②採取苗の予防措置、③苗床の土壤消毒
2. 「増やさない」対策には、①圃場の排水対策、②連作の回避、③抵抗性品種への切り替え、④発病株の除去と薬剤散布、⑤早期収穫による被害軽減
3. 「残さない」対策には、①収穫後の残渣処理、②土壤消毒

基腐病菌は、未だに動態が明らかになっていない部分があり、まん延地域において、上記の個々の防除法は、単独で実施しても高い防除効果が得られないこともある。このため、基腐病の防除法は、個々の防除法で抜け落ちてしまう発生を、複数の防除法を組み合わせることで補う「総合防除」を地域全体で取り組む必要がある。

Key words : サツマイモ基腐病, 防除対策, 総合防除

鹿児島県農業開発総合センター 生産環境部病理昆虫研究室

1. はじめに

鹿児島県におけるサツマイモ基腐病（以下、基腐病）の発生は、2018年の発生確認以降、急速に県内に拡散し、2021年時点で1株でも発生が認められた圃場は、栽培面積の約75%で確認されており、生産量は激減している。急速に基腐病が広まった背景には、本県の8割超の栽培面積を占める原料用サツマイモの栽培過程において、①自家生産した種イモを苗生産に用いる割合が高いこと、②定植前の苗消毒の実施率が非常に低かったこと、が挙げられる。このため、基腐病の発生に気づかずに罹病種イモを育苗に用い、苗床で発病した罹病苗が複数の生産者の手に渡り、これらを苗消毒せずに圃場に定植した結果、地域内の多くの圃場で発生するパターンが繰り返された、と考察している。また、本県のサツマイモ生産圃場のほとんどが連作であり、発生圃場では残渣由来の基腐病菌が土壌中に蓄積されたことも、被害を大きくした要因と推測している。未知の病害に対して、健全種苗確保の取り組みがいかに重要であるかを、改めて痛感している。なお、本稿の成果の一部は、生研支援センター「イノベーション創出強化研究推進事業（O1020C）」により実施しており、本文、図表は「令和3年度版サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策」（農研機構等）の成果を引用している。

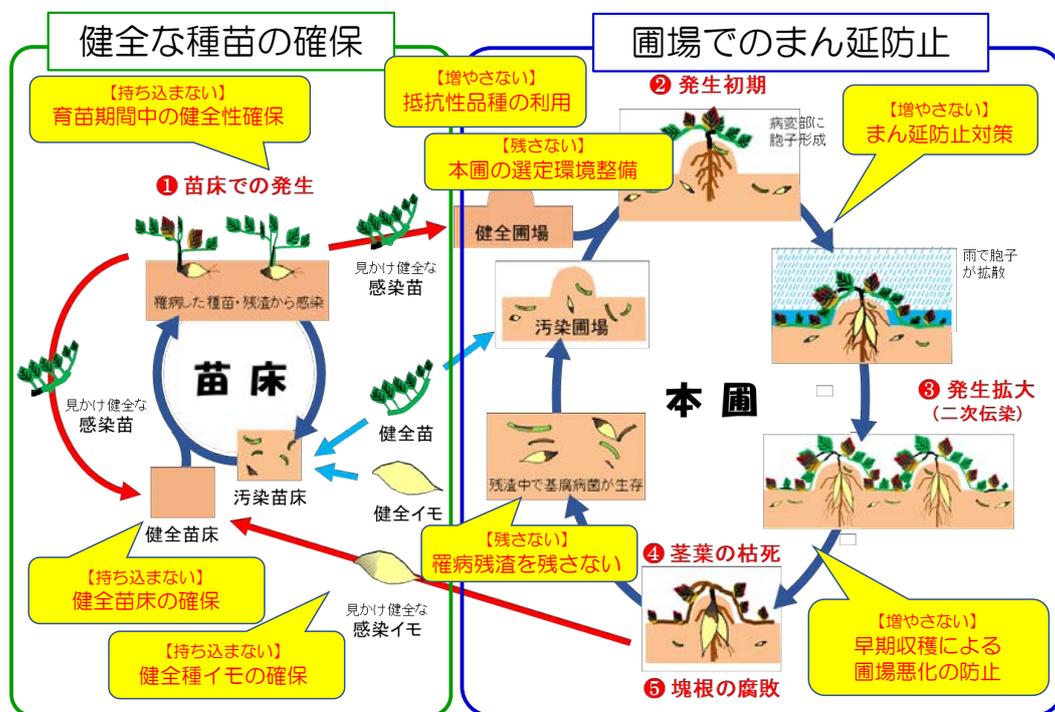


図1 基腐病の伝染環と防除対策のポイント

「令和3年度版サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策（技術者向け）」農研機構等の図を改変

2. 基腐病防除対策の考え方

基腐病防除の基本は、圃場に病原菌を「持ち込まない」、「増やさない」、「残さない」ことである（図1）。これらは、現場での発生状況調査や生産者からの聞き取り調査等の疫学調査から明らかにされた伝染環に基づいている。基腐病は、2022年10月現在、27都道県で発生が確認されているが、未発生地域では早期発見の警戒と「持ち込まない」対策の徹底が必要である。また、初発生確認地域では発生が少ないうちに「残さない」対策を徹底し、早期発見の警戒と「持ち込まない」、「増やさない」の対策で定着、まん延させない取り組みが必要になると考えられる。既に、基腐病が定着・まん延している本県や宮崎県、沖縄県では、3つの対策を同時に進行させ、地域全体の病原菌密度を低下させなければならず、発生前の状態に落ち着くまでにかかなりの時間を要すると思われる。本講演では、マニュアルに記載されている3つの対策について、防除の考え方と具体的な方法について紹介したい。

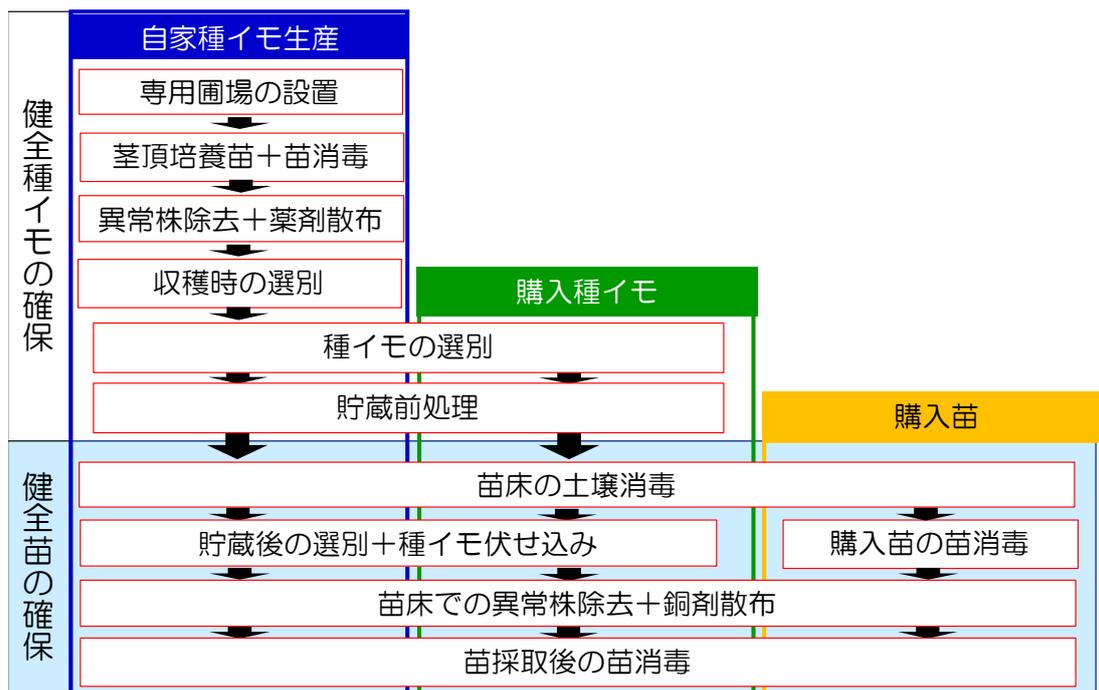


図2 健全種苗を確保するための防除対策

「令和3年度版サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策（技術者向け）」農研機構等の図を改変

3. 「持ち込まない」対策

この対策のポイントは、苗による圃場への持ち込みを防ぐため、その根幹となる健全種苗をいかに確保するかである（図2）。

(1) 健全種苗の確保

種イモ採取専用の圃場を設けて種イモを確保することが原則である。しかし、本県のように地域内でまん延している状況下では、やむを得ず発生圃場から種イモを採取することもある。発生圃場から採取した種イモは、収穫時の外観が無病徴でも、なり首側からの潜在感染により貯蔵中に症状が進み、発生が拡大することがある(図3)。このため、貯蔵前の選別や調整、種イモ消毒を施す貯蔵前処理を取り入れ、発病リスクを軽減しなければならない(図4、5)。また、定期的に茎頂培養苗を導入し、種イモの更新や抵抗性品種の導入を図る。



図3 基腐病の発生圃場から種イモを採取した時の株の発生程度
(株のイメージ図の黒い部位が基腐病の発症を示す)

(2) 採取苗の予防措置

育苗床では、異常株の早期発見と除去を徹底し、除去後は苗床に銅剤を散布して予防する。基腐病が発生した株は、地面に近い部位ほど菌密度が高い傾向があるため、苗は地際から5cm以上離して採取する。更に、頭上からのかん水によって、発病株周辺へ孢子が飛散している可能性があるため、採取後の苗消毒は、薬液に全身を浸すようにする。

●貯蔵前処理

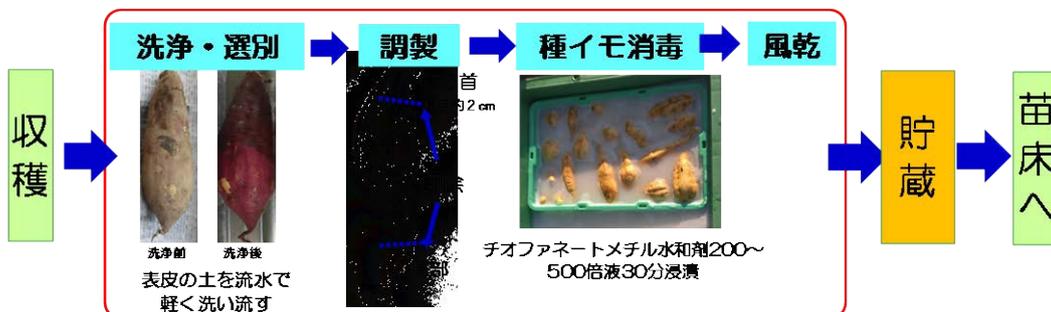


図4 種イモの貯蔵前処理の工程

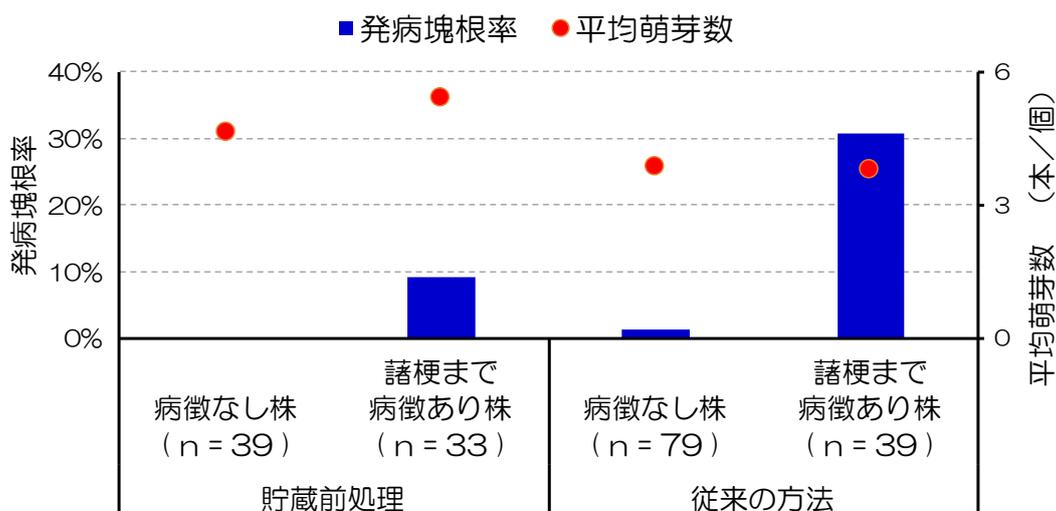


図5 収穫後の種イモの管理方法の違いによる貯蔵後の基腐病の発病と萌芽
(鹿児島農総セ)

品種：コガネセンガン
処理後の種イモを25℃、70から95%の湿度下で54日間保管後の発病種イモ数と、33日後の種イモ1個当たりの健全萌芽数を調査。

(3) 苗床の土壌消毒

育苗終了後の苗床は、残渣をできるだけ持ち出し、地温の高い時期に耕耘を繰り返して、取り残した残渣の分解を促す。その後、ダゾメット粉粒剤やカーバムナトリウム塩液剤を用いて、被覆による土壌消毒を徹底する。農薬の代わりに米ぬかを用いる土壌還元消毒も効果は高い。

4. 「増やさない」対策

「持ち込まない」対策によって得られた健全苗の利用は、圃場での定植後の発生を遅らせ、生育初期の発病株を少なくさせ、二次伝染のリスクを下げることを目的とする。

(1) 圃場の排水対策

基腐病菌は、発病株に形成された胞子が、降雨による圃場内の水滴の飛散や畝間の湛水を介して周辺株に広がる。2018～2019年の疫学調査においても、基腐病を含む立ち枯れ、塊根腐敗の病害が発生した圃場の83%は排水不良であり、発生に大きく関与していることが判明している。このため、圃場内に勾配をつけた排水路と圃場外へ排出する排水路の確保、排水を妨げる枕畝をつくらぬ等の表面排水対策を各圃場で取り組む。

(2) 連作の回避

過去に基腐病が発生した圃場では、収穫後の罹病残渣により土壌が汚染され、次作の伝染源となる。汚染程度は、前作の発生程度にも左右され、サツマイモの連作によって更に高まる。海外での先行研究やこれまでの試験から、サツマイモの休耕1年では土壌中の残渣に由来する発生抑制には不十分であり、2年以上の休作が必要である。

表1 基腐病に対する抵抗性

抵抗性	青果用	加工・原料用
弱	べにはるか	こなみずき, ダイチノユメ, コナホマレ
やや弱	高系14号	コガネセンガン
中		シロユタカ
やや強	べにまさり	みちしずく, こないしん
強		ベニハヤト, タマアカネ

(データ：農研機構 九州沖縄農研センター)

(3) 抵抗性品種への切り替え

2020～2021年にかけて基腐病の甚発生圃場で行われた品種試験において、基腐病に対する抵抗性程度が明らかにされ、南九州で栽培面積の多い‘コガネセンガン’と‘高系14号’は“やや弱”，‘べにはるか’は“弱”であることが判明した(表1)。抵抗性の弱い品種は生育初期から発生程度が高いため、発病圃場での連作は避けるのが望ましい。抵抗性の強い品種は、青果用では‘べにまさり’，加工・原料用では‘タマアカネ’，‘こないしん’，‘みちしずく’等であった。これらの品種は、前作で腐敗塊根が1割以上の発生圃場でも(青果用では腐敗塊根1割未満)，原料用ならば、排水対策，残渣処理，苗消毒，発病株除去等の基本対策を取ったうえで、後述の「総合防除」を実践することで、連作でも発生を低く抑え、持続的な栽培が可能になると考える(図6)。

(4) 発病株の除去と薬剤散布

「持ち込まない」対策から漏れた罹病苗や、土壌中の残渣に由来する発病株は二次伝染源になるため、畝間が茎葉に覆われる時期までに圃場内を見回り、異常株は必ず抜き取る(補植は厳禁)。発病株除去は、「増やさない」対策の中でも非常に重要な作業であり、銅剤，アゾキシストロビン水和剤およびトリフルミゾー

ル水和剤の薬剤散布と組み合わせると、生育初期の防除効果は更に高くなる（図7）。茎葉が繁茂する生育後半の薬剤散布は、台風などの強風を伴う降雨により、隣接する発生圃場からの侵入や圃場内での孢子拡散を防ぐために実施する。なお、銅剤以外の薬剤は、耐性菌リスクを考慮し、連続使用は避ける。

判断基準 収穫時の腐敗塊根割合	用途別・品種の選択	対策の内容・留意事項
腐敗イモ なし	青果用 原料用 特になし	・基本対策の遵守 排水対策、異常株除去+薬剤散布 残渣処理など
腐敗イモ 1割未満	青果用 抵抗性品種導入 'へにまさり' など	・交換耕作や品目変更が望ましい ・早植え・早掘り
	原料用 抵抗性 "弱" "やや弱"	・やむを得ず連作する場合は 早植え・早掘り
		抵抗性 "中" 以上
腐敗イモ 1割以上	青果用	・サツマイモを休作し 交換耕作・品目変更
	原料用 抵抗性 "中" 以上	・やむを得ず連作する場合は より高い抵抗性品種を選択

図6 収穫時の発病程度に基づく次作の対策

「令和3年度版サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策（技術者向け）」農研機構等の図を改変

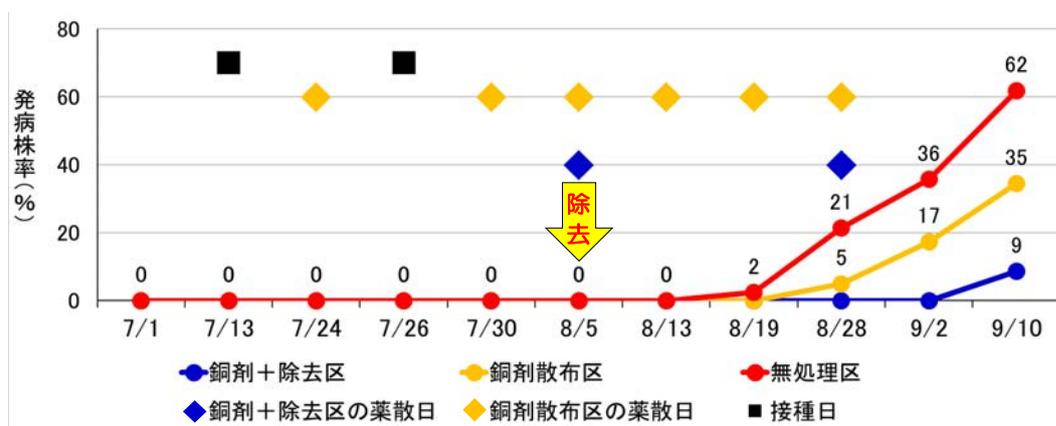


図7 発病株の除去と銅剤散布による二次伝染の防止効果（宮崎総農試）

7月上旬に健全苗を定植し、7月中旬に二次伝染源として各区内の2株に病原菌を接種した。接種株の発病が揃った8月5日に、薬散+除去区の接種株を除去した。

「令和3年度版サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策（技術者向け）」農研機構等の図を引用

(5) 早期収穫による被害軽減

基腐病菌は、株基部の茎から落葉へ、落葉から塊根へと進展して塊根の腐敗を引き起こす。‘コガネセンガン’や‘高系14号’では、株基部の発病株率が1割未満であれば塊根の腐敗はほとんど認められない(図8)。これを目安に収穫の前倒し(早期収穫)を行うと被害軽減に繋がる。ただし、貯蔵が必要な青果用では潜在感染により、貯蔵中に発生することもあるので注意する。

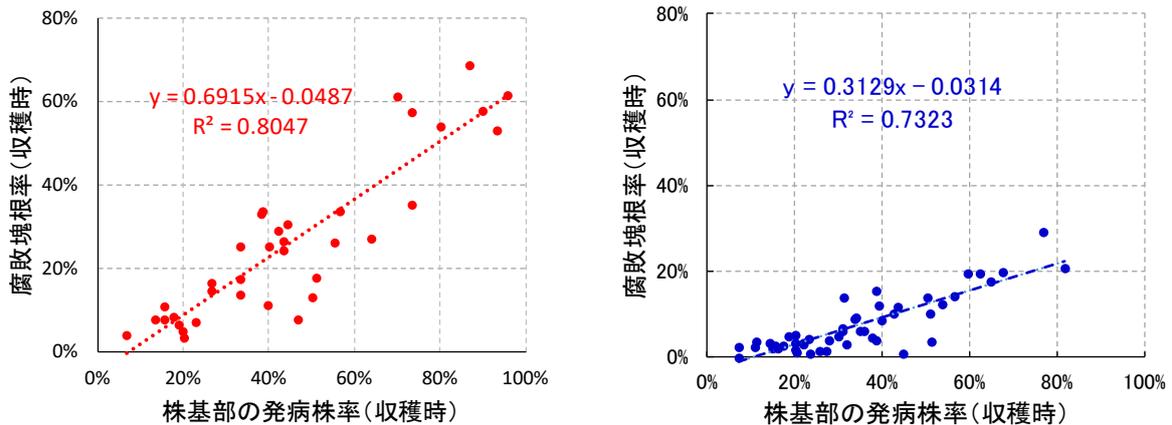


図8 収穫時の株基部の発病株率¹⁾と腐敗塊根率²⁾の発生割合

(宮崎総農試, 鹿児島農総セ)

株基部の発病株率: 地際部の茎が基腐病により黒変した株の割合。

腐敗塊根率: 基腐病による腐敗症状を示す塊根の割合。

「高系14号(宮崎紅)」: 2020~2021年の36事例(定植から概ね130~140日目の調査)。

「コガネセンガン」: 2020~2021年の49事例(定植から概ね150日目の調査)。

「令和3年度版サツマイモ基腐病の発生生態と防除対策(技術者向け)」農研機構等の図を引用

5. 「残さない」対策

基腐病菌に汚染された圃場を元の状態に戻すために、最も低コストで効果的な方法は、2年以上サツマイモを休作することである。これには、サツマイモ以外の品目との交換耕作が必要になり、地域営農の仕組みを変える必要が生じる。このため、「残さない対策」は、最も時間を要する課題ともいえる。しかし、青果用や限られた土地で連作を行わなければならない経営の場合、以下の防除法を取り入れる必要がある。

(1) 収穫後の残渣処理

基腐病菌は、サツマイモの収穫残渣で越冬し、翌年の一次伝染源となる。越冬中の基腐病菌の動態は明らかになっていないが、以下の3つの方法(①残渣を圃場から持ち出す, ②収穫後、速やかに土中にすき込む, ③耕土層と心土層を入

れ替える天地返し)は、次作の発生軽減効果も認められている。しかし、前作の発生程度にもよるが、残渣処理単独では、連作における防除効果は不十分であり、後述の土壤消毒、または畝立て前のフルアジナム水和剤による土壤混和处理と組み合わせて、防除効果を高める必要がある。

(2) 土壤消毒

基腐病で使用できる土壤消毒剤には、ダゾメット粉粒剤やカーバムナトリウム塩液剤がある。いずれも使用基準に基づき、適切な土壤水分と地温が必要で、防除効果を高めるためには被覆が必須となる。また、基腐病菌が有効成分に暴露されるよう、土壤消毒前に耕耘を繰り返して残渣を細かくすることも重要である。基腐病の感染は畝間の土壤からも生じるため、土壤消毒は圃場全面に行う必要があり、高コストな防除法となる。

6. 総合防除

基腐病菌は、未だに動態が明らかになっていない部分があり、まん延地域において、個々の防除法は、単独で実施しても高い防除効果が得られないことが多い。また、生産現場では、「健全育苗の対策をとったので苗床では発生しないだろう」、「初めて栽培する圃場に定植したので発生しないだろう」、との思い込みで早期発見を見逃し、防除対策が手遅れになる事例が後を絶たない。このため、基腐病の防除法は、個々の防除法で抜け落ちてしまう発生を、複数の防除法を組み合わせた「総合防除」で取り組むことが重要である。鹿児島県では、各地域振興局単位で基腐病対策プロジェクトチームを立ち上げており、各地域で行政と普及が一丸となって、研究で開発した技術を駆使した「総合防除」による展示実証に取り組んでいる。その防除効果は高く、生産者や指導者への技術普及に大きく寄与している。基腐病のまん延地域では、「総合防除」を地域全体で取り組むことで、地域全体の菌密度を低下させていかなければならない。

土壌伝染病としてのジャガイモ疫病の特性とその制御

秋野聖之¹

Seishi AKINO

Characteristics and control of potato late blight as a soil-borne disease

摘要

ジャガイモ疫病は栽培時の拡大期には茎葉部に対する空気伝染性病害としての性質を示す一方で塊茎に対しては土壌伝染性病害となる。病原菌 *Phytophthora infestans* の遊走子のうは茎葉で形成された後に土壌に落下し、栽培中および収穫時に塊茎に接触して腐敗症状の原因となる。土壌の菌密度が高い状態でも栽培中の無傷の塊茎は比較的疫病に感染しにくかったが、収穫時の傷量は塊茎腐敗の発生頻度に密接に影響した。塊茎腐敗の被害を防ぐためには収穫時の傷の軽減または残渣・土壌中の病原菌量の低下が効果的であると考えられた。枯凋剤処理後の残渣・土壌への殺菌剤処理は菌量を効果的に低下させ、塊茎腐敗の発生を抑制した。塊茎腐敗の発生生態については上記に当てはまらない未知の要因の存在が示唆されており、今後はこれらについての検討も必要となる。

Key words: *Phytophthora infestans*, tuber rot, survival in soil, permeability of zoospore, tuber injury, real-time PCR, cyazofamid

¹ 北海道大学大学院農学研究院 植物病理学研究室

Laboratory of Plant Pathology, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University

1. はじめに

栽培中および貯蔵中のジャガイモ塊茎の腐敗は傷・打撲などの物理的な要因や様々な病原微生物によって引き起こされており、特に貯蔵庫では *Phytophthora infestans* (以下疫病菌とする) による疫病に起因する塊茎腐敗が多く観察される。この塊茎腐敗は条件によっては貯蔵庫内の多くの塊茎に被害が及ぶ場合もあり、その効果的な対策法の確立が望まれている。有性生殖の途絶により卵胞子の形成が確認されなくなった日本では第一次伝染源が種いも・野良生えいも・廃棄された放置いもなどの可能性がありはっきりしないが主要産地では疫病が毎年のように発生しており、ジャガイモ栽培の開花期前からその茎葉で発生が認められる。ジャガイモの生育盛期における病害の拡大は茎葉に形成される遊走子のうの拡散による伝搬が主要な要因であり、この時期の疫病は空気伝染性病害(風媒・水媒)としての性質を持つ。生育後期になると茎葉の遊走子のうが土壌に落下し、残渣や植物体を基質として土壌中で生存する土壌伝染性病害としての性質を示すようになり、塊茎腐敗の原因となる。本稿では特にこの土壌伝染性病害としての疫病菌の性質とその防除のための試みについて述べる。

2. 塊茎腐敗に影響を与える要因についての検討

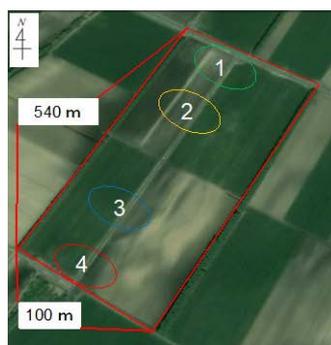
ジャガイモ栽培圃場での観察により、収穫時には健全であっても貯蔵庫に入った後の1ヶ月程度の間腐敗症状を呈する塊茎が多いことがわかった。これらの中には軟腐病や乾腐病またはその他の要因による腐敗も含まれるが、疫病によると思われるものが多数を占めることが認められた。これらの疫病に起因する塊茎腐敗がどの時期に感染したものであるのかを調べるために以下の調査・実験を行なった。

2-1 収穫期の圃場における疫病菌の生存調査

収穫前のジャガイモ圃場内の土壌について、それらのどの部位に疫病菌が存在しているのかを調査した。2014年の帯広市内の圃場において、9/5 枯凋剤処理前・9/26 枯凋剤処理1週間後・10/1 収穫当日の ①表層土壌・②塊茎周辺土壌・③塊茎 を採取した(9/5 および 9/26 は地上部に疫病の病斑が認められた植物体直下の土壌を採取したが10/1は発病植物体が識別できなかったため採取場所は無作為選択とした)。各サンプルを疫病菌特異的な nested PCR 反応(Hussain ら 2005)に供し、疫病菌検出の有無を判定した。その結果、枯凋剤処

理前には約半数のサンプルで疫病菌が塊茎まで達していることが示された（表 1・いずれの塊茎でも腐敗症状は見られなかった）。疫病菌の検出割合は枯凋剤処理後には低下し，収穫当日には全く見られなくなった。これらの結果から，枯凋剤処理後であっても病斑を持つ植物体の直下では土壌表面や塊茎での疫病菌の生存がありうることが示された。

表 1 圃場から採取した土壌・塊茎からの疫病検出検体数（12 検体／回）



	枯凋前	枯凋後	収穫当日
表層土壌	7	4	0
塊茎周辺土壌	3	0	0
塊茎	6	2	0

数値は枯凋前・後は試験区 1/2/3/4 の合計

収穫当日は 1/2/3 の合計

（大塚ら 2015）

2-2 無病徴塊茎上での生存

実験 2-1 の結果では疫病菌が検出された塊茎でも発病・腐敗が認められたものがなかったことから，疫病が発生している圃場では無病徴の塊茎でも疫病菌を保持している可能性が示された。この点を確認するため，無傷の塊茎に疫病菌を接種した後に土壌に埋没し，経時的に疫病菌の生存を確認するポット実験を行なった。収穫前の男爵薯の塊茎を 9 月に回収し，これに塊茎 1 個あたり 5000 / 1000 / 200 個の遊走子のうを接種して園芸用培土に埋没した。その後水分含量 25~30%・気温 20℃に維持して 8 週間培養した。1 週間ごとに 18 個の塊茎を回収し，人工付傷した後に高湿度条件で 10 日間培養し，各塊茎上で疫病菌の生育が認められた面積を測定した。その結果土壌埋没中に発病した塊茎はなく，回収後の付傷培養での疫病菌の生育が 8 週間目まで認められた（図 1）。接種密度による発病の違いは特に培養後期では顕著ではなかった。この結果から疫病菌は理想的な条件下では土壌中の無傷塊茎の表面で 2 か月までは生存しうる事が確認された。このことは栽培中に塊茎に達した疫病菌は直ちにそれらを腐敗させるとは限らず，収穫時の付傷によって塊茎に侵入し貯蔵庫内で腐敗を引き起こす場合がある可能性を示していると考えられた。

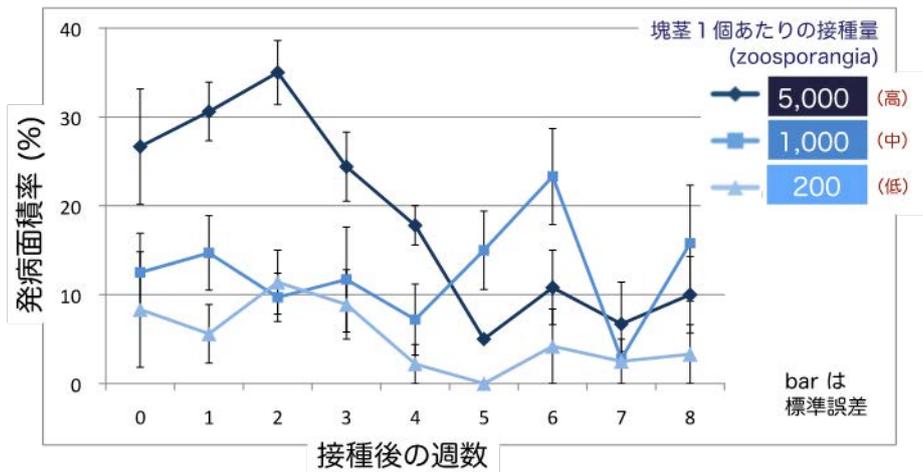


図1 塊茎表面接種実験における疫病菌の生存 (秋野ら 2018)

2-3 遊走子のうの土壌透過 (塊茎への到達)

塊茎の疫病への感染の一部は栽培期間中に起こるが、これは雨によって地上に落下した遊走子のうおよび遊走子が塊茎に達することによることが知られている(Sato 1980). そこで複数のジャガイモ圃場の土壌を採取して直径 4cm 長さ 30 cm のガラスカラムに入れ、その上部から 25 mL の遊走子のう懸濁液 (密度 1.0×10^4 zoosporangia/mL) を注入した後 500 mm 降水量に相当する水を加え、カラムの通過液およびカラム内の土壌中の遊走子のう数を培養して計測した. その結果遊走子のうは土壌表面に留まっており全く土壌中に浸透しないことがわかった. このことから、緊密土壌では遊走子のうの塊茎到達はほとんどない可能性が示された. ただし本実験では土壌に亀裂がある場合や遊走子が放出された場合については検討していないので、2-1 で見られた疫病菌検出塊茎はそのような要因によるものであると考えられた.

2-4 亀裂のある土壌に埋没した塊茎の感染

土壌の亀裂がある場合を想定して、土壌表面に露出した生育中の塊茎の疫病菌への暴露による感染の有無について調べた. 北大ジャガイモ圃場土を入れた直径 40cm のポリポットで男爵薯を栽培し、3か月目に人工的な亀裂を作成し、土壌表面に 500 zoosporangia/cm² の遊走子のうを接種した後に 100 mm 降水量相当の灌水を行なった. 試験区は ①無亀裂無接種区・②亀裂無接種区・③無亀裂接種区・④亀裂接種区を設定して処理した. 対照区では同一菌株を人工的に付傷した塊茎に接種した. その後3週間栽培を継続し、塊茎を回収して腐敗塊茎率を

算出した。その結果、対照としての付傷接種区ではすべての塊茎が腐敗したのに対して ③無亀裂接種区では発病が見られず、④亀裂接種区では1割程度の褐変病斑が見られた(図2)。この結果と2-3の結果を合わせると栽培中の塊茎は露出した状態にあっても傷のついた状態に比較すると発病しにくい、疫病菌を保持しうる可能性が示された。

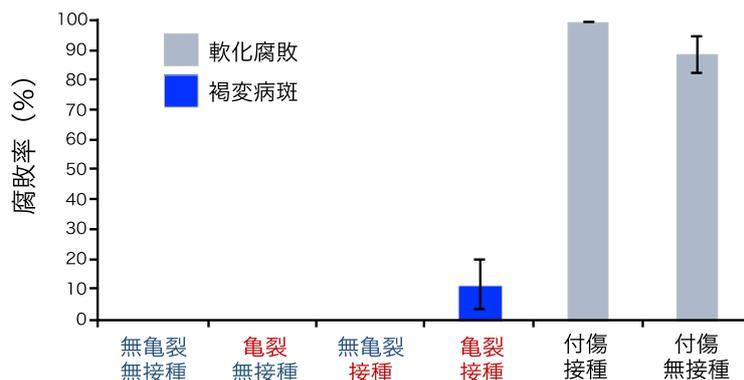


図2 土壌亀裂の有無が塊茎腐敗の発生に与える影響
(大澤 2018 を改変)

2-5 傷の有無と塊茎腐敗の頻度

前項の実験により、疫病による塊茎腐敗の発生には塊茎の露出よりも傷の有無の影響が大きい可能性が示された。そこで本実験では傷の有無による発病の

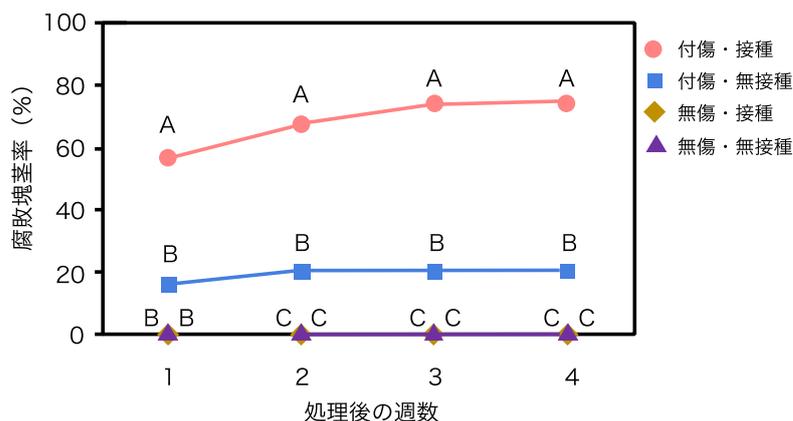


図3 塊茎付傷および疫病菌接種の有無と腐敗塊茎率 (Osawa ら 2018)

大文字が異なる腐敗塊茎率はポストホックテストで有意差あり (ボンフェローニ補正後 $P \leq 0.05$)

違いについて検討した。2016年に圃場で収穫したスノーデン塊茎を用いて ①無傷無接種区・②無傷接種区・③付傷無接種区・④付傷接種区の4区(塊茎

30 個/区・3 反復)を設定して試験を行なった。付傷はポリバケツ内で塊茎を砂利とともに振幅 20cm で 20 回振盪することで行ない、接種は 5000 zoosporangia / 塊茎とした。18°Cの試験貯蔵庫内で培養し、1 週間ごとに腐敗塊茎の割合を算出した。その結果、収穫時の傷と疫病菌の存在は貯蔵中の腐敗塊茎の発生に影響する重要な要因であることが示された(図 3)。茎葉の発病は生育期間中に葉を適切な薬剤で保護することで減らすことが可能であると考えられるが、現在でも収穫時に部分的に発病茎葉が残存している例が見られる。塊茎の傷についても、生産現場では受傷を防ぐために圃場を整備し、収穫機械の改良が行なわれているが完全に防ぐことは難しいのが現状である。塊茎腐敗を効果的に防除するには、傷と菌量を的確に評価する方法が必要であると考えられた。

3. 塊茎表面の傷の定量

これまで塊茎の受傷の程度を数値的に把握することは困難であったことから、受傷した塊茎から放出されるジャガイモ DNA 量を測定することで受傷量を評価する「溶出 DNA 測定法」の実用性を試験した。北海道芽室町のジャガイモ圃場において、① 手掘り収穫区・② 機械収穫区(慣行)・③ 人工付傷区(対照)の塊茎(品種スノーデン)から収穫直後の塊茎を 1 圃場あたり 7 kg ずつ回収し、これを 7L の水道水に 3 分間浸漬した後に 150 mL の懸濁液を採取してここから全 DNA を分離した後、ジャガイモ 18SrDNA をリアルタイム PCR によって定量

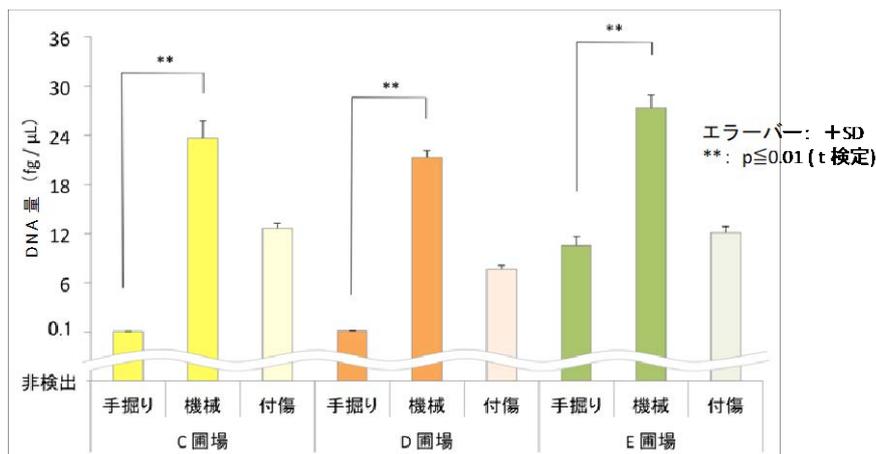


図 4 溶出 DNA 測定法による塊茎傷量の評価 (上堂 2019)

した。予備試験で検出されたジャガイモ rDNA 量は傷の程度に比例することが確認されたことから、圃場サンプルについても同様の試験を行なった。その結果、

供試した圃場ではいずれもジャガイモ DNA 量は手掘り区<機械区であることが確認され (図 4), さらに DNA 量と同塊茎への疫病菌接種時の発病程度に関係があることが認められた. このことから, この「溶出 DNA 測定法」により塊茎の付傷程度を評価できる可能性が示された.

4. 土壌における疫病菌量の測定

塊茎腐敗において塊茎の受傷量とともに重要な要因であると考えられるのは土壌中の疫病菌量である. 本実験では 2017-2018 年の無防除実験圃場における 7 月の栽培中の発病初期から 9 月中旬の収穫期までの疫病菌密度の推移を調査した. 栽培中の 3 つの植物体直下の表面土壌と塊茎周辺土壌を採取し, CTAB-bead 法 (Osawa ら 2021) を用いて全 DNA を抽出した. この DNA 中に含まれる疫病菌 DNA 量を Lees ら (2012) による疫病菌特異的リアルタイム PCR 法によって定量した. その結果土壌表面および塊茎周辺土壌の疫病菌 DNA 量は植物体地上部の疫病の進展に伴って増加し, その後減少した (図 5). 土壌で検出された DNA 量は, 茎葉部の疫病発生程度を反映していた. 検出された DNA 量を遊走子のう数に換算すると, 疫病の激発期には土壌表面では遊走子のうが 1000~10000 個/g 乾土, 塊茎表面土壌では 1~100 個/g 乾土程度存在していると試算された. この結果から, リアルタイム PCR によって土壌中の疫病菌密度を推測できる可能性が示された.

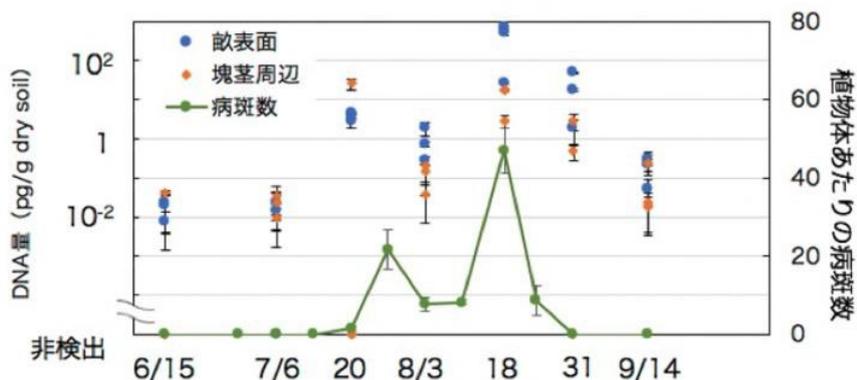


図 5 リアルタイム PCR による圃場土の疫病菌量の推定 (Osawa ら 2021)

5. 残渣・土壌の殺菌剤処理による防除の試み

前項の実験で土壌中の疫病菌量を評価することが可能になったことから、本実験では収穫直前の圃場の土壌表面の菌密度を低下させることによる塊茎腐敗の抑制効果について検討した。2017 / 2018 年に北海道芽室町のジャガイモ実験圃場のスノーデン区を用い、収穫期の9月に試験を行なった。本実験では収穫時に疫病菌が残存している状態を再現するため、人工接種によって菌量を確保した。地上部がほとんど枯死した圃場の畝上に1区あたり5株分の残渣に見立てた茎葉を置き、同圃場で採取した菌株の遊走子のう懸濁液 (9.0×10^4 zoosporangia / 5株) を散布接種した。同日にシアゾファミド剤を2段階の濃度設定で茎葉上に散布し、1週間後に表面土壌を採取して前述の方法で疫病菌 DNA 量を測定した。さらに測定された DNA 量が疫病の活性を反映しているかどうかを確認するため、同一土壌について付傷塊茎を用いたバイオアッセイによる活性調査を同時に行なった。その結果リアルタイム PCR による疫病菌 DNA 測定値とバイオアッセイの結果が一致した (図6) ことから、この方法で土壌中の疫病菌の活性を評価できる可能性が示された。さらに薬剤処理による疫病菌 DNA 量の減少およびバイオアッセイによる疫病菌活性の低下が認められたことから、収穫期直前の地上部残渣への殺菌剤散布には塊茎腐敗の抑制効果があり、4回の試験結果のメタ解析によりこの薬剤処理によって塊茎腐敗発生数を約10%まで抑制できることが示された (Osawa ら 2021)。

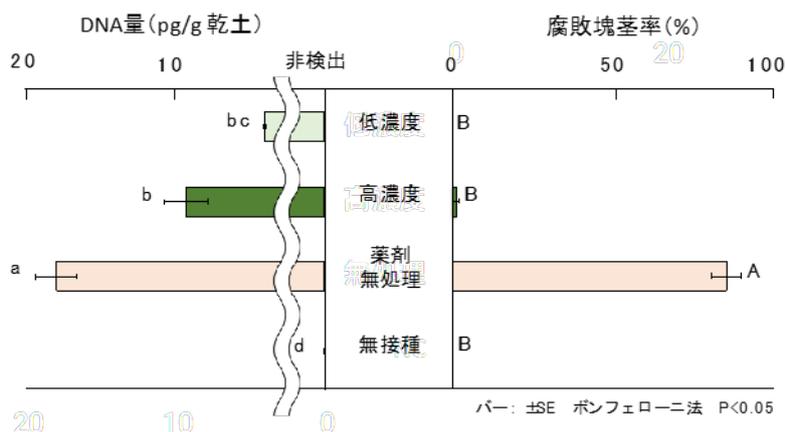


図6 疫病菌 DNA 量と塊茎腐敗率に対する殺菌剤処理の影響 (Osawa ら 2020)

今後は異なる系統の疫病菌が存在する各地の圃場で同様の試験を行ない安定した効果が得られるかどうかを確認することと、この方法を実際の商業圃場で行なう方法（圃場全面に処理するのではなく発病ポイントを正確に判別して処理する必要がある）を検討することが課題となる。

6. おわりに

本稿では疫病菌の土壌伝染性に関わる性質について調査した結果を紹介した。日本のジャガイモ疫病菌は 1990 年代以降その系統構成が大きく変化しており（Akino ら 2013），それに伴って生態的・病理学的な性質が変化している可能性があるため、新しい菌株を用いて発病および防除試験を行なう必要がある。最近の試験結果により、塊茎腐敗の防除に向けての検討を進めるための方向性がある程度明確になったのではないかと考えられた。

今回ここに挙げた実験による知見は 2010 年代以降のジャガイモ疫病による塊茎腐敗の基本的な一面を示していると考えられるが、圃場で起きている現象すべてを説明できているわけではないことに注意が必要である。なぜならば圃場では栽培中の塊茎腐敗がある程度観察されるし、地上での発病と塊茎腐敗の程度とが一致しない例も見られることに加え、貯蔵庫では原因不明の塊茎腐敗が起こることも多いからである。これらのことは塊茎腐敗の発生についてはまだ把握できていない要因が存在していることを示していると考えられた。これらの現象がどのような理由で起きているのかを実験的に証明することも今後の課題である。

謝辞

本稿に挙げた一連の実験の遂行にあたっては、農研機構北海道農業研究センター芽室研究拠点の田宮誠司博士・浅野賢治博士・赤井浩太郎氏、北海道総合研究機構の池田幸子博士・白井佳代氏、カルビーポテト株式会社の植村弘之氏・荒木宏通博士ほか多くの方々のご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

引用文献

Sato, N. (1980) Sources of inoculum and sites of infection of potato tubers by *Phytophthora infestans* in soil. Ann. Phytopath. Soc. Japan 46: 231-240.

- Hussain ほか (2005) Development of a species-specific and sensitive detection assay for *Phytophthora infestans* and its application for monitoring of inoculum in tubers and soil. *Plant Pathology* 54: 373-382.
- Lees, A.K. ほか (2012) Development of a quantitative real-time PCR assay for *Phytophthora infestans* and its applicability to leaf, tuber and soil samples. *Plant Pathology* 61:867-876.
- Akino, S. ほか (2013) *Phytophthora infestans*: A review of past and current studies on potato late blight. *Journal of General Plant Pathology* 80: 24-37.
- 大塚美幸 ほか (2015) 栽培後期の圃場におけるジャガイモ疫病菌の存在場所. *日本植物病理学会報* 81 : 90.
- 秋野聖之 ほか (2016) 無病徴塊茎におけるジャガイモ疫病菌の生存と塊茎腐敗への関与. *日本植物病理学会報* 82 : 195.
- 大澤 央 (2017) 日本におけるジャガイモ塊茎腐敗の発生生態. 北海道大学大学院農学研究院修士論文.
- 上堂陽葉 ほか (2019) 収穫時のジャガイモ塊茎受傷程度と貯蔵腐敗発生の関係. *日本植物病理学会報* 85 : 82.
- 大澤 央 ほか (2020) 茎葉残渣へのシアゾファミド散布による表層土壌中のジャガイモ疫病菌密度と感染ポテンシャルの低下. *北日本病害虫研究会報* 71 : 53-57.
- Osawa, H. ほか (2021) Quantification of *Phytophthora infestans* population densities and their changes in potato field soil using real-time PCR. *Scientific Reports* 11: 6266.

本会記事

1. 土壌伝染病談話会の開催記録

	年月日	開催地	開催場所
第1回	1963年9月26-27日	札幌市	北海道大学農学部
第2回	1964年11月27-28日	京都市	京都府総合資料館
第3回	1966年10月21-22日	盛岡市	つなぎ温泉清温荘
第4回	1968年10月13-15日	鹿児島市	鹿児島大学農学部
第5回	1970年11月27-29日	高知市	高知電気ビル
第6回	1972年11月21-22日	静岡市	静岡県農業会館
第7回	1974年11月19-21日	水戸市	茨城県農協会館
第8回	1976年9月2-4日	帯広市	帯広市十勝農協連会館
第9回	1978年10月17-18日	岩手県松尾村	八幡平温泉郷八幡平ハイツ
第10回	1980年10月1-3日	小諸市	小諸市農協会館
第11回	1982年11月4-5日	名古屋市	愛知県婦人文化会館
第12回	1984年10月8-10日	京都市	京都府立大学
第13回	1986年10月2-3日	山口市	山口県教育会館
第14回	1989年10月20-21日	高知市	高知電気ビル
第15回	1990年11月1-2日	那覇市	沖縄県自治会館
第16回	1992年7月15-17日	網走市	東京農業大学生物産業学部
第17回	1994年11月10-11日	堺市	大阪府立大学学術交流会館
第18回	1996年11月14-15日	千葉市	千葉大学けやき会館
第19回	1998年10月21-22日	仙台市	東北大学医学部良陵会館
第20回	2000年10月24-26日	熊本市	熊本市国際交流会館
第21回	2002年8月21-23日	高山市	高山市民文化会館
第22回	2004年9月8-10日	札幌市	かでの2・7
第23回	2006年9月7-8日	草津市	草津音楽の森国際コンサートホール
第24回	2008年9月11-12日	南国市	高知大学農学部
第25回	2010年9月16-17日	大阪市	新梅田研修センター
第26回	2012年9月20日	柏市	東葛テクノプラザ
第27回	2014年9月24-25日	盛岡市	いわて県民交流センター(アイーナ)
第28回	2016年11月8日	佐賀市	グランデはがくれ
第29回	2018年10月17日	札幌市	北海道大学農学部
	2020年9月17日	つくば市	ACPP(アジア植物病理学会)内のコンカレントセッションとして開催予定であったが、新型コロナウイルス蔓延のため中止
第30回	2022年11月11日	WEB開催	Zoomウェビナー(千葉大学園芸学部)

2. 講演要旨集の体裁

- 1) 誌名は、「土壌伝染病談話会レポート」(英文誌名「PSJ Soilborne Disease Workshop Report」)とする。
- 2) 冊子体で発行する場合は、国会図書館の指導に従い、ISDS(国際逐次刊行物データ・システム)登録を行い、ISSN(国際標準逐次刊行物番号

ISSN0918-2764) を付して発行する。ただし、PDF 等の電子ファイルで発行する場合はこの限りではない。

3. 第 30 回土壌伝染病談話会運営委員 (◎委員長、○幹事)

◎宍戸雅宏、宇佐見俊行

4. 第 31 回土壌伝染病談話会について

第 31 回土壌伝染病談話会は、2024 年に農研機構 植物防疫研究部門 果樹茶病虫害研究領域の兼松聡子領域長を実行委員長として開催する予定である。

土壤伝染病談話会レポート 30号
(第30回土壤伝染病談話会講演要旨)

30th PSJ Soil-Borne Disease Workshop Report

日本植物病理学会 土壤伝染病談話会
PSJ Soil-Borne Disease Workshop

本レポート（電子ファイル）の取り扱いについて

- ① 第三者への配布は固く禁じます。
- ② 本レポートに掲載された研究成果の中には未発表のものも含まれています。したがって、複製・転載・引用に当たっては、必ず事前に原著者の了承を得るようにしてください。