

**アスパラガス疫病等をはじめとする
連作障害総合対策マニュアル
(技術者向け)**



2019年1月

アスパラガス安定生産コンソーシアム

「革新的技術開発・緊急展開事業」(うち地域戦略プロジェクト)

「研究分野名：(3) 野菜・花き」

「アスパラガス疫病をはじめとする連作障害の総合的な診断及び対策技術の開発」

(2016-2018年) 成果集

はじめに

アスパラガス生産において、改植時に土壌病害や排水不良による障害が問題となり、生産性が低下し続けています。特に、古くからの産地を中心にアスパラガス作付面積及び生産量は減少傾向が続いてきております。

アスパラガスの安定生産のためには計画的な改植により生産性を維持することが必要ですが、改植後の連作障害（茎葉の黄化枯死、若茎の不萌芽、欠株の多発）の発生が問題となり、改植が進んでいません。これらの生育不良要因として、土壌病害（疫病、立枯病、株腐病）、圃場の排水性不良による湿害等が挙げられますが、圃場により障害の主要因は異なっており、複数の要因が関与している圃場も多く存在します。しかしながら、主要因を簡易に且つ的確に診断する手法や複数要因に対する総合的な対策は十分に開発されていないため、安定的に改植を行うことができない状況にあります。

このような問題を解決するために、「革新的技術開発・緊急展開事業」（うち地域戦略プロジェクト）「アスパラガス疫病をはじめとする連作障害の総合的な診断及び対策技術の開発（2016～2018年度）」において研究開発を行ってきました。

その中で、アスパラガス疫病をはじめとするアスパラガス連作障害を引き起こす土壌病害について、バイオアッセイ等を活用した生物性診断技術を開発するとともに、ARISA 法や PCR 法をはじめとする分子生物学的手法による病原菌の検出、疫病の発生生態の解明及び診断結果に応じた対策技術として亜リン酸肥料の施用、排水改良技術及び耐病性品種等を活用した方法を開発してきました。本技術を圃場の状態に応じ、圃場ごとに最適な対策技術を組み合わせて実施することで、効率的な改植を推進し増収を図るとともに持続的なアスパラガス生産が可能となると思われます。本マニュアルでは、今回、新たに開発してきた、これらの技術について紹介します。

2019年1月

農研機構 中央農業研究センター 浦嶋泰文

目 次

I アスパラガス疫病とは

- 1) 発生圃場の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- 2) 疫病菌の生活環・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
- 3) 疫病菌の発生活長・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
- 4) 疫病の発生を助長する環境要因・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 2
- 5) 北海道における疫病の発生分布・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4

II 診断・対策フロー図

- 1) 全般的な診断・対策フロー図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 5
- 2) 圃場排水性診断・対策フロー図・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 6

III 診断技術概要

- 1) 土壌生物性の診断
 - ① バイオアッセイ法による診断手法（長野方式、福島方式）・・・・・・・・・・ 7
 - ② 分子生物学的手法（ARISA 法など）による病原菌の検出・・・・・・・・・・ 15
 - ③ アスパラガス土壌病原菌の簡易・迅速測定法・・・・・・・・・・ 20
- 2) 圃場排水性診断（簡易下層透水性診断手法）・・・・・・・・・・ 23
- 3) 化学性診断・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 25

IV 発生圃場での対策技術

- 1) 垂リン酸肥料施用による被害軽減技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 30
- 2) 耐病性品種、栽培管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 34
- 3) 排水性改善対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 39
- 4) 土壌消毒・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 44

V 未発生圃場での疫病対策技術・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 47

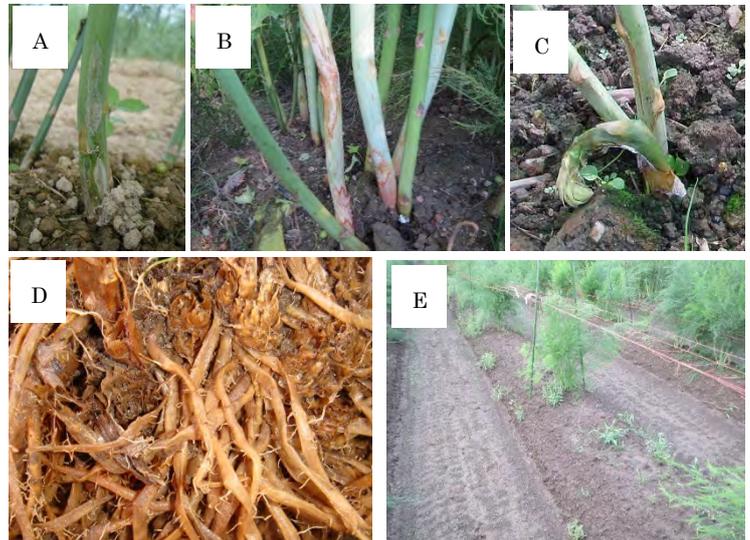
I アスパラガス疫病とは

1) 発生圃場の概要

アスパラガスの連作障害は、土壌の生物性、化学性および物理性の悪化により引き起こされると考えられています。土壌の生物性の悪化については、これまでフザリウム属菌の立枯病 (*Fusarium oxysporum*) および株腐病 (*Fusarium proliferatum*) が原因と考えられてきましたが、近年では愛媛、佐賀、福島、秋田および北海道において *Phytophthora* 属菌の疫病が発生し、新たな連作障害の要因となっています。

本病は、地際から数十 cm の高さまでの比較的低い位置に水浸状の病斑を形成し、その後は病斑が乾いて灰白色となり、やがて周縁が赤褐色となります (写真A、B)。また、若茎に発生した場合は、穂首が曲り萎凋症状を呈します (写真C)。病勢が進むと萌芽しなくなり、そのような株では鱗芽、地下茎、貯蔵根に腐敗症状が認められます (写真D)。また、本病が発生した圃場では、連続した欠株が認められることが多いです (写真E)。

なお、北海道、秋田、福島、長野など東日本で確認されている疫病菌は *Phytophthora* sp. であり、西日本で確認されている *Phytophthora nicotianae* と種が異なるとの報告があります。加えて、北海道においては、上記の *Phytophthora* sp. 以外に *P. asparagi* も報告されております。



アスパラガス疫病の病徴および発生圃場

- A 地際部に形成された初期の病斑
- B 地際部に形成された中後期の病斑
- C 若茎の萎ちょう症状
- D 腐敗した根株
- E 連続した欠株が発生した圃場 (北海道の露地圃場)

2) 疫病菌の生活環

アスパラガス疫病は、罹病植物に卵胞子、次いで遊走子嚢が形成され、遊走子嚢から発芽した遊走子により植物体に感染します。また、罹病植物体上で形成された菌糸から直接植物体に浸入する場合があります。罹病植物体で形成された厚膜胞子も土壌に長期間残存し、感染源となります (図1)。

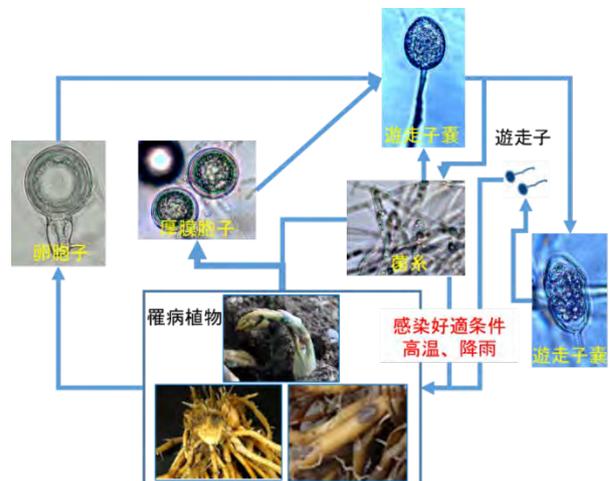


図1 アスパラガス疫病の生活環

3) 疫病菌の発生消長

北海道で発生している疫病菌の菌叢の生育温度範囲は約5~30℃であり、最も生育が盛んな生育適温は、20~25℃です。

北海道内の疫病常発圃場では収穫期の5月中旬に病斑形成が始まり、立茎後の気温の上昇と降雨により病斑形成株率が上昇します(図2)。

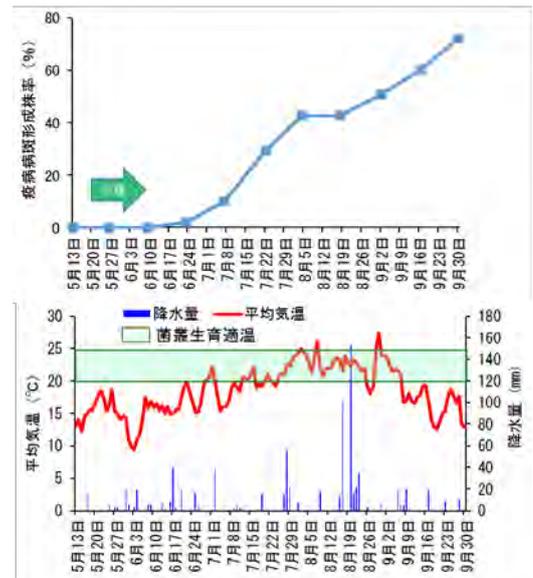


図2 北海道の疫病常発圃場における病斑形成の推移、平均気温および降水量

4) 疫病の発生を助長する環境要因

a. フザリウム属菌と疫病菌への重複感染の影響

北海道内のアスパラガス生産圃場から採取した生育不良株(71株)全てからフザリウム属菌が分離されました。そこで、フザリウム属菌と疫病菌の重複感染が発病の被害を助長する可能性について検討しました。

試験の結果、疫病菌の病原性は、立枯病菌または株腐病菌よりも強いことがわかりましたが、立枯病菌または株腐病菌を接種した株に疫病菌を重複接種した場合の発病度は疫病菌を単独接種した場合と差がありませんでした(図3)。したがって、フザリウム属菌と疫病菌の重複感染は、疫病の発生を助長する可能性は低いと考えられました。

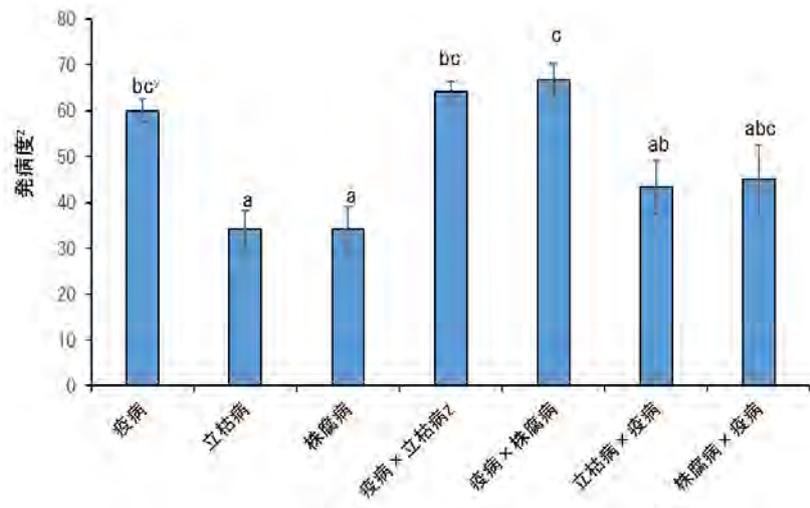


図3 アスパラガス疫病菌、立枯病菌および株腐病菌の単独および混合接種が発病に及ぼす影響

図中の縦棒は標準誤差を示す(n=3)

$$^{\text{a}} \text{発病度} = \Sigma (\text{程度別発病株数} \times \text{発病指数}) \times 100 / (\text{調査株数} \times 4)$$

^γ 同一アルファベット間には5%水準で有意差なし(Tukey法)

^α 疫病菌を接種した3日後に立枯病菌または株腐病菌を接種、立枯病菌または株腐病菌を接種した3日後に疫病菌を接種した

b. 発病に好適な温度および土壤水分条件

アスパラガス疫病の発生には、病原菌の有無だけでなく、温度条件や土壤中の水分条件（排水性）や病原菌密度などの関与が考えられます。そこで、これら環境要因とアスパラガス疫病の発病および病勢進展の関係を明らかにしました。

① 温度条件

アスパラガス疫病菌密度および土壤水分条件を一定にした場合、10～35℃の温度条件でアスパラガス疫病が発病しました。この中で、15℃、20℃、25℃および30℃の温度条件においてアスパラガス疫病の発病が多く、時間の経過とともに30℃、25℃および20℃の順で重症化しました。さらに、25℃および30℃で病勢の進展が早かったため、25～30℃が発病に好適な温度条件と考えられました（図4、5）。

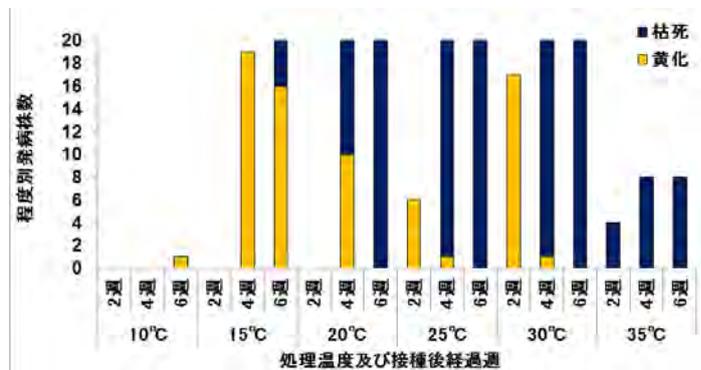


図4 温度条件の違いによるアスパラガス疫病の地上部における発病

注) 供試株数 20 株。

注) 無接種区は発病が認められなかった。

図5 アスパラガス茎葉部の黄化 (左)、枯死 (右)

② 発病に好適な土壤水分条件

アスパラガスの生育に悪影響の出るような土壤乾燥条件でも、アスパラガス疫病は発病しますが、土壤の水分条件が高いほどアスパラガス疫病発病株率は高くなり（図6）、短期間での発病が助長されると考えられました。

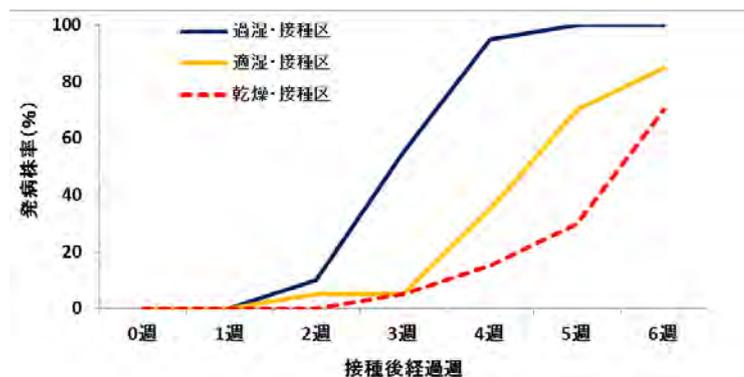


図6 土壤水分条件の違いによるアスパラガス疫病の地上部における発病

注) 無接種区は発病が認められなかった。

注) 土壤の体積含水率 (% VWC) は、過湿区が 36.7、適湿区が 18.5、乾燥区が 15.5 であった。

5) 北海道における疫病の発生分布

北海道では、愛媛県および佐賀県で確認された *Phytophthora nicotianae* とは異なる新種と考えられる *Phytophthora* sp. および *P. asparagi* による疫病が発生しています。病徴の確認、病原菌の分離および遺伝子同定がされた範囲は、2018年6月の段階で、留萌、上川、空知および石狩の4地方です。また、病原菌の分離はされていないが、病徴の確認および遺伝子同定がされたのは、後志地方です。網走、紋別、十勝、日高、檜山地方では、疫病の病徴も確認されていません。北海道における疫病は、比較的、生産歴の長い地方での発生でした（図7）。

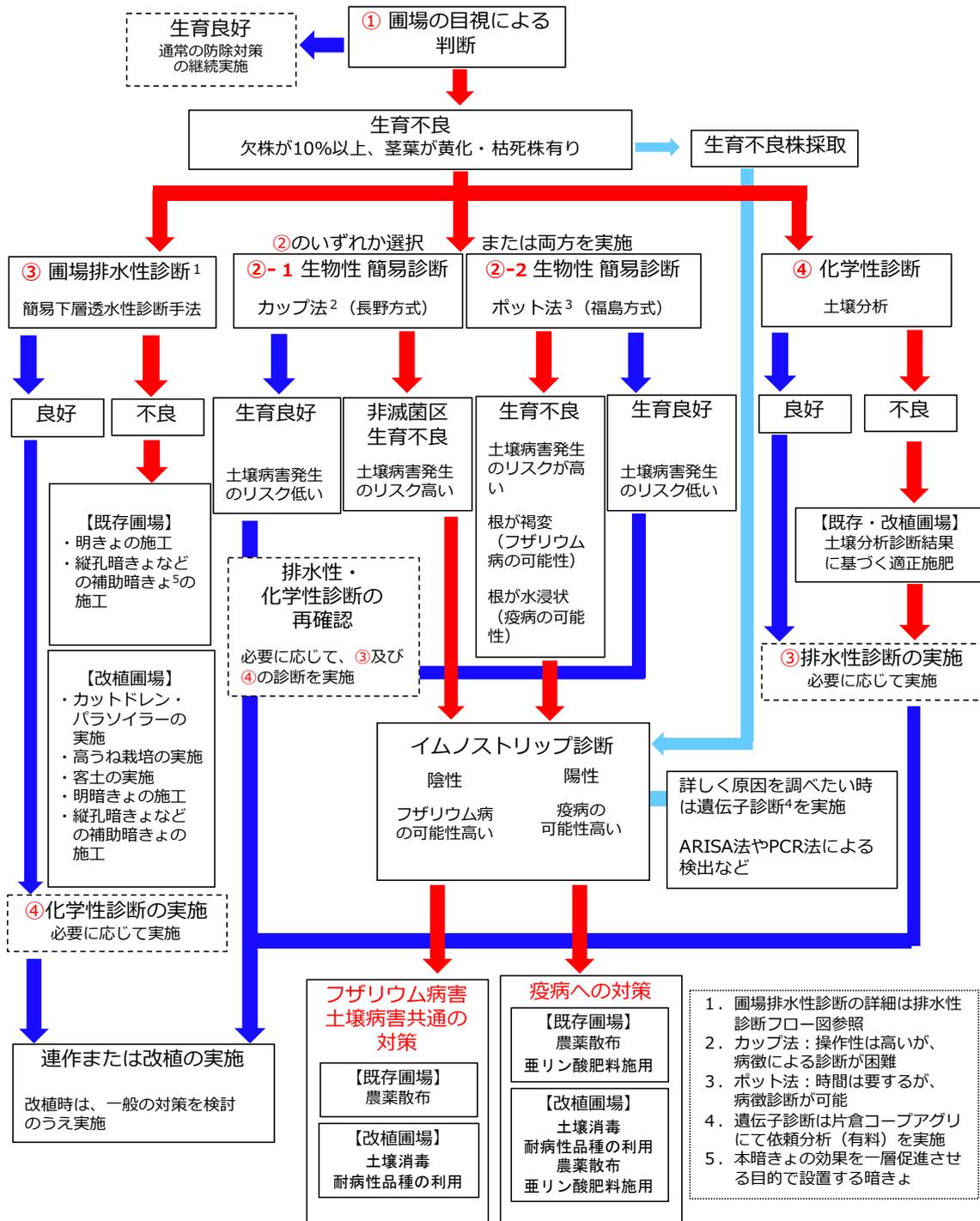
今後、視察や調査などでアスパラガス圃場に入る際には、ブーツカバーの着用などによる疫病の拡大防止対策を講じる必要があります。なお、宗谷、釧路、根室、胆振および渡島地方は、アスパラガスの作付けが少ないため、調査を実施していません。



図7 北海道におけるアスパラガス疫病の発生分布

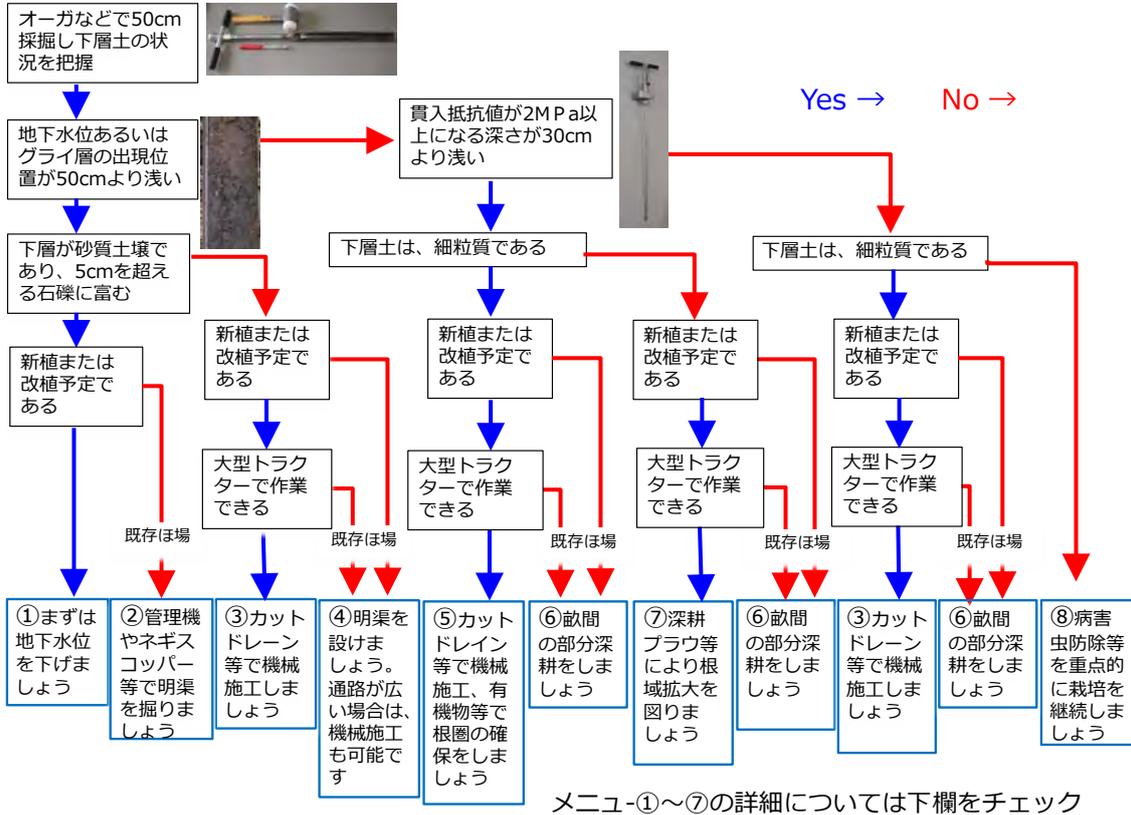
II 診断・対策フロー図

1) 全般的な診断・対策フロー図



2) 圃場排水性診断・対策フロー図

簡易下層透水性診断（23ページ）を実施し「排水不良」と評価された場合。



番号	具体的な対策方法
①	客土により作土層を確保して高畝で栽培します。不透水層が浅いため、暗渠を設け地下水位を下げる必要があります。
②	根本的な対策が難しいですが、ネギスコッパー等でほ場の周囲に明渠を設けます。
③	カットドレーン等の機械施工が可能です。さらに高畝栽培で、根が地下水位に影響を受けにくいようにします。
④	ほ場の周囲と畝間に、ネギスコッパーや管理機で明渠を設けます。通路が2m以上確保してある場合は、カットドレーン等の機械施工も可能です。
⑤	カットドレーン、パラソイラー、サブソイラー等で排水対策を実施後、有機物（堆肥や緑肥等）施用により土壌を膨軟化させ、高畝栽培で根圏拡大を図ります。
⑥	ロータリーによる畦間の部分深耕と有機物(堆肥や緑肥等) 施用により根域拡大を図ります。
⑦	深耕プラウによる根圏拡大と環境改善、サブソイラー等により耕盤破碎を行います。
⑧	病害虫防除等を徹底して栽培を継続しましょう。

Ⅲ 診断技術概要

1) 土壤生物性の診断

①-1 バイオアッセイ法による診断手法（長野方式）

A. 催芽種子を用いた簡易診断法

a. 技術の概要

アスパラガスの主要な生育阻害要因の一つとして、立枯病、株腐病、疫病といった土壤病害の発生が考えられます。本技術において、生育不良圃場で採取した土壤と、それを電子レンジで簡易に殺菌したものをそれぞれ園芸培土に混合してアスパラガスを播種し、その約 1 か月後の生育を比較することで、生育不良の主因が土壤病害であるか否かを簡易に診断することができます。

b. 必要器材

b-1. 播種まで

①消耗品など

- ・アスパラガス種子（メリーワシントン）
- ・プラスチックカップ（容量 220 mL 程度） 土壤試料 1 点につき 4 個
- ・電子レンジ対応プラスチック容器（1 区あたり容量 500 mL を 2 個）
- ・園芸培土
- ・ペーパータオル
- ・キムワイプもしくはティッシュ
- ・シャーレ
- ・チャック付のポリ袋（Kサイズ（チャック下 400 mm×袋巾 280 mm 程度）がよい）
- ・底面給水トレーとマット（番重とペーパータオルでもよいが、専用品を使うとやりやすいです）
- ・水耕栽培用ウレタン（必須ではないが、あると底面給水がやりやすいです）
- ・塩化ベンザルコニウム（殺菌消毒剤）
- ・育苗箱

②装置など

- ・電子レンジ
- ・はかり
- ・バケツ
- ・ふるい（5 mm 程度の粗さ）
- ・計量スプーン（25g が適しています）
- ・ピンセット
- ・移植ゴテ

b-2. 調査時

- ・オートクレーブ用バッグ（大）

- ・バケツ
- ・はさみ
- ・はかり (0.1g 単位より精度が高いものが必要です)

c. 準備

診断は気温が 20～30℃程度の時期に実施します。実施に向け、下記のような準備が必要です。

① 土壌の採取

診断対象の土壌は、欠株や生育不良などが発生している株のすぐ近くから 1 圃場につき 5 か所選んで採取・混合します。表層の土壌を薄く剥ぎ取り、その下から 15cm 程度の深さまで掘りとります。採取量の目安は 1kg 程度です。器具は圃場ごとに塩化ベンザルコニウムの希釈液で洗浄、消毒し、採取した土壌は冷蔵保存します。試験は土壌採取後 1 か月以内に開始し、長期保存は避けて下さい。

② 土壌のふるいがけ

採取した土壌をふるいにかけて、ごみを取り除きます。ふるいはサンプルごとに塩化ベンザルコニウムの希釈液で洗浄、消毒します。

③ カップの用意

1 つの土壌試料につき最低 4 個のプラスチックカップが必要です。プラスチックカップの底面に穴を 6 つあけます。カップを 5 個程度重ねて電動ドリルで開けると効率が良いです。

④ アスパラガス種子の催芽

土壌 1 サンプルあたり 30 粒程度催芽します。種子をペーパータオルにくるみ、流水で 1 分洗います。プラスチックシャーレにろ紙かキムワイブを敷いて水で湿らせ、この上に薄く種をばらまきます。種子が軽くつかる程度に水を加えて、ふたをして 25℃程度の環境に静置します。1～2 日に 1 回、換気と給水を実施します。種子は 5 日～7 日程度で発芽します。

d. 手順

1 カップ 1 反復として、1 圃場につき無処理区 2 反復と電子レンジ処理区 2 反復用意します。すなわち、圃場あたり 4 カップ必要です。また、比較として、園芸培土でも栽培します。

(1) 混合用園芸培土の準備

- ① 土壌サンプルの 2 倍の数のポリ袋に園芸培土を 250 g ずつ充填し、チャックを閉めておきます。

(2) 土壌の殺菌

- ① 土壌試料を 1 サンプルあたり電子レンジ対応プラスチック容器 2 個に 250 g ずつはかりとります。サンプルを変更する際にはスプーンをアルコール消毒します。プラスチック容器のふたを軽くしめ、2 個並べて 500W・10 分間電子レンジにかけます。この際にやけどに注意して下さい。
- ② 土壌が冷めるまで待ちます。

(3) 土壌の混合

- ① (1)で用意したポリ袋に、未処理の土壌試料または(2)で殺菌処理した土壌試料を 250 g ずつ加えて 500 g にする。
- ② ポリ袋に空気を含ませた状態で口を閉め、袋を回転させながら土壌試料を混合します。

(4) 底面給水トレーの用意

- ① 底面給水トレーを準備します。水耕用ウレタンマットを使用する場合は、濡らしながら揉んでよく水になじませておく必要があります。
- ② 底面給水トレーにウレタンマットを敷き、その上に給水マットを敷きます。
(ウレタンマットや給水マットを用いない場合には、プラスチックトレーにペーパータオルを2重に敷いて濡らしておきます)
- ③ 用意したトレーは、土壌を充填したカップをすぐ置けるようにしておきます。

(5) 充填と播種

- ① (3)で作成した土壌試料を、袋あたりプラスチックカップ2個に100 g ずつはかりとります。はかりの皿にはキムワイプを敷き、試料ごとに交換します。土壌を充填したカップを底面給水トレーに並べます。
- ② 催芽したアスパラガスの種子をカップあたり5粒、土壌表面にピンセットで落として播種します。
- ③ 園芸培土を25 mL 計量スプーンではかって覆土します。
- ④ シャワーなどを使ってカップの土をよく湿らせます。
- ⑤ プラスチックトレーに水をはり、底面給水します。水の深さは給水マットがつかう程度で、ペーパータオルを用いる場合は0.5 cm とします。深すぎると過湿になるので、特に発芽前は注意する必要があります。
- ⑥ 以降、水の減少を見ながら乾かないように給水します。温度がおおよそ20~30℃の環境で栽培し、対照区の地上部が20cm程度で2本目の茎が伸長し始めるくらいまで育てます(30~40日程度)。

(6) 調査

- ① オートクレーブ用のバッグを張ったバケツを用意します。洗浄に使った水と土壌はここに回収します。
- ② ①のバケツの上で、カップに静かに水を注ぎ入れ、土を洗い流して株を取り出します。この際に、根が切れないよう注意して下さい。
- ③ 根部の土をよく洗い流し、ペーパータオルの上でよく水気を除きます。
- ④ 種子殻を取り除き、地下部重、鱗芽部・根部の褐変率と腐敗率を調査します。地下部重は1カップ分をまとめて量り、株数で割って1本あたりに換算しても良いです。
- ⑤ 無処理区と電子レンジ処理区を比較します。電子レンジ処理により、地下部重の増加、根部・鱗芽の褐変および腐敗の減少がみられた場合には、土壌病害が発生している可能性が高いと判断できます。地下部重については統計処理(t検定等)を行うと良いです。
- ⑥ 褐変・腐敗部位を phyt イムノストリップキットで検定することで、疫病の発生を診断できます。(ただし、褐変・腐敗部位によっては、イムノストリップキットで検定しても陽性にならない場合があるので注意が必要です)



催芽した種子



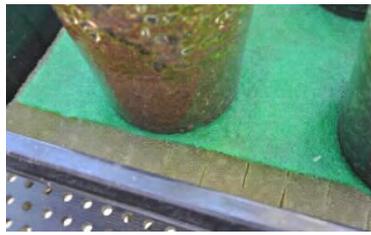
穴あけしたカップ



底面給水用ウレタンマット



底面給水トレイとマット



ウレタンマットと重ねて使用



電子レンジ容器



並べて電子レンジで処理



マットが浸かる程度に給水



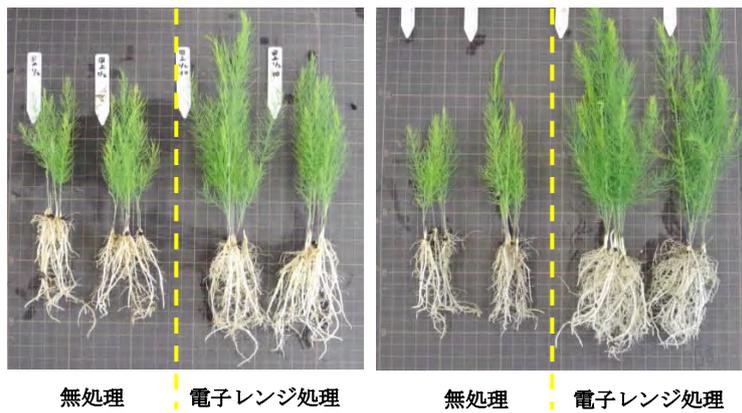
トレーにカップを並べて底面給水



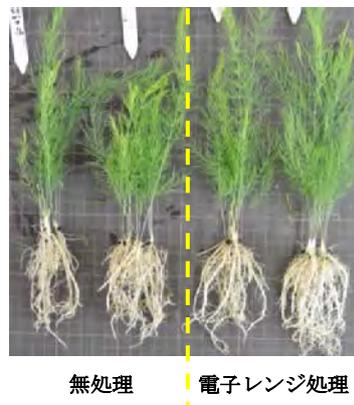
立枯病菌による鱗芽部・根部の褐変症状



疫病菌による根部・鱗芽部の腐敗



土壤病害発生圃場での無処理区と殺菌処理区の比較



健全圃場での無処理区と殺菌処理区の比較

①-2 バイオアッセイ法による診断手法（福島方式）

a. 技術の概要

アスパラガス疫病や *Fusarium* 属菌によるアスパラガス立枯病 (*Fusarium oxysporum*) やアスパラガス株腐病 (*Fusarium proliferatum*) は、成茎の黄化や株全体の枯死などの被害を発生させますが、各病害における特徴的な症状が明らかでないため、症状による判別は困難です。成茎の黄化や枯死など原因不明の障害が発生しているアスパラガスほ場より、土壌を採取し、アスパラガス苗を用いたバイオアッセイ（生物検定）を実施し、イムノクロマト法による疫病検定を併せて行うことで、アスパラガス疫病や *Fusarium* 属菌によるアスパラガス立枯病、アスパラガス株腐病を診断することができます。アスパラガス苗の根部に水浸腐敗症状がみられた場合にはアスパラガス疫病の発生が推測され、地際や根部の褐変症状がみられた場合には *Fusarium* 属菌による病害の発生が推測できます（表1）。検定用のアスパラガス苗の準備期間で約1ヶ月、バイオアッセイで約1ヶ月、合計2ヶ月の所用期間になります。

表1 バイオアッセイにおける診断方法

	地上部の症状	根部の症状		イムノクロマト検定		診断結果
	黄化・枯死	地際、根部の褐変	根部の水浸腐敗	要否	判定 ^{a)}	
例1	-	-	-	否	—	健全
例2	-	○	-	否	—	<i>Fusarium</i> 属菌(株腐病)
例3	○	○	-	否	—	<i>Fusarium</i> 属菌(立枯病)
例4	○	-	○	要	+	疫病菌
例5	○	○	○	要	+	疫病菌、 <i>Fusarium</i> 属菌 ^{b)}
例6 ^{c)}	○	○	○	要	-	<i>Fusarium</i> 属菌(立枯病)?

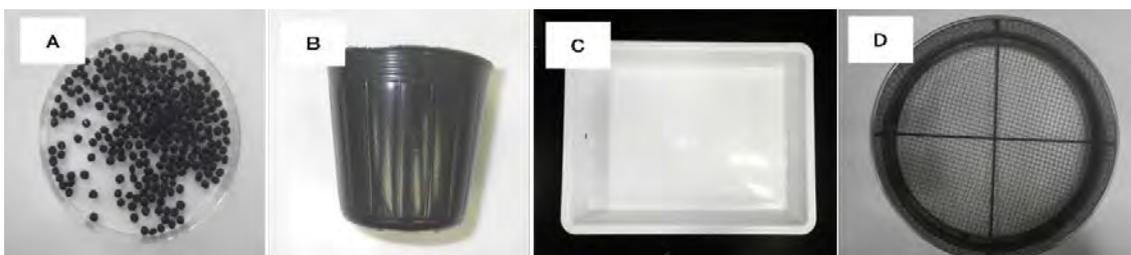
a) イムノクロマト法による *Phytophthora* 属菌の有無を示し、+は陽性、-は陰性を示す。

b) 地上部の症状は疫病菌による影響も考えられるため、どちらの *Fusarium* 属菌かまでは特定できない。

c) 48ほ場でこの診断手法を実施した中で、事例は少ないものの、例6の事例が確認された。全ての事例で根部から *Fusarium* 属菌は分離されており、*Fusarium* 属菌の存在が認められるが、水浸腐敗の原因は特定できていない。

b. 必要機材

- アスパラガス種子（品種はウェルカムもしくはメリーワシントン）
- 育苗用園芸培土
- 1 cm 目合いの篩い
- 7.5 cm ポリポット
- プラスチックトレイ※底面吸水の際に水深1 cm となるよう、底面から1 cm の位置に穴をあけるか、マーカーなどで印をつけておくと良いです。



バイオアッセイに必要な機材

- (A) アスパラガス種子 (B) 7.5 cm ポリポット
(C) プラスチックトレイ (D) 1 cm 目合いの篩い

c. 準備

a) アスパラガス苗の育苗

アスパラガス種子を、25℃で5日間吸水させた後、市販の園芸培土を用いてセルトレイもしくは箱トレイに播種し、約25℃で栽培します。なお、バイオアッセイに供試するまでに1ヶ月の育苗期間を要することを考慮して、播種時期を決定します。

b) 土壌の採取と調整

ほ場内の3地点から、表面の乾燥した土壌を取り除き、比較的湿潤な土壌を計6Lほど採取します。アスパラガスが栽培されているほ場から土壌を採取する場合には、根部にできるだけ近い畦上の土壌を採取します。また、ほ場内で生育不良や欠株などの障害がみられている場合は、障害発生箇所から採取します。採取した土壌は、よく混和した後に1cm目合いの篩いを通し、7.5cmポットに150mlずつ充填します。



アスパラガス苗の育苗の様子



土壌採取の様子

d. 手順

a) アスパラガス苗の移植と管理

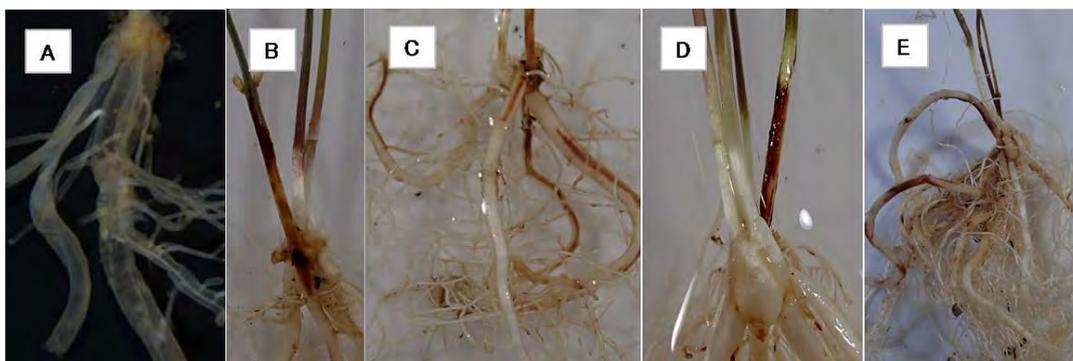
現地土壌を詰めたポットに播種1ヶ月後の苗を移植し、プラスチックトレイに並べて、25℃条件、底面吸水で栽培します。バイオアッセイに供試する苗数としては、1ほ場あたり20株(1株/ポット)以上とするのが望ましいです。



バイオアッセイの様子

b) 調査方法

調査はポット移植1ヶ月後に実施し、地上部の黄化や枯死、根部の水浸腐敗症状、地際や根部の褐変症状の有無について調査します。根部の水浸腐敗症状がみられた場合にはアスパラガス疫病の発生が推測され、地際や根部の褐変症状がみられた場合には *Fusarium* 属菌による病害（アスパラガス立枯病、アスパラガス株腐病）の発生が推測されます。



Phytophthora 属菌によるアスパラガス疫病および *Fusarium* 属菌による病害（アスパラガス立枯病、アスパラガス株腐病）の診断指標

- (A) 疫病菌接種苗の根部水浸腐敗 (B) 立枯病菌接種苗の地際褐変
(C) 立枯病菌接種苗の根部褐変 (D) 株腐病菌接種苗の地際褐変
(E) 株腐病菌接種苗の根部褐変

c) イムノクロマト法による疫病検定

アスパラガス疫病の診断については、病徴の調査のみでは正確な診断ができない事例があったため、バイオアッセイに供試した苗の根部を用いて、イムノクロマト法 (phy イムノストリップキット、Agdia 社) による疫病の検定を実施しました。バイオアッセイで根部の水浸腐敗症状が認められた場合には、水浸腐敗した根部を検定に用いて下さい。



イムノストリップキット

【検定の手順】

- ① バイオアッセイに供試した苗の根部を切り離し、検定組織（根部）を準備します。
- ② キットに含まれる緩衝液に検定組織を入れ、何か硬い物を使い、植物体をすり潰します。
- ③ キットに含まれる試験紙の先を緩衝液に浸し、30分ほど置きます。
- ④ 試験紙に線が2本出た場合には陽性で、1本のみの場合には陰性と判断できます。

e. 留意点

・複数ほ場から土壌を採取する場合には、異なるほ場の土壌が混ざらないように、移植ペラは毎回変えるか、綺麗に水洗してから使用します。また、靴にはシューズカバーを付けて、各ほ場の土壌を人為的に持ち出さないようにして下さい。

② 分子生物学的手法（ARISA 法など）による病原菌の検出

a. 技術（ARISA 法）の概略

ARISA (Automated Ribosomal Intergenic Spacer Analysis) は環境 DNA の多型解析手法として、主に微生物群集構造解析に利用された方法です。本法では、細菌類あるいは真菌類のユニバーサルプライマーを用いた PCR による環境 DNA に含まれる微生物の DNA 断片を増幅します。このとき、蛍光色素で標識したプライマーを用いることで増幅断片が蛍光ラベルされます。これを蛍光シークエンサーによって検出し、サイズ値および蛍光強度として結果が与えられます。サイズ値は微生物（菌類）の種類によってほぼ一定の値を示すことから、予めこの値を求めておくことで、種を推定することができるようになります。

本技術では、用いたユニバーサルプライマーに反応する微生物を一挙に検出できることから、診断に当たってどの病原菌が主要因か事前に想定することは必要ではありません。ここでは、複数の病原菌をアスパラガス地下部から一挙に検出する方法を解説します。

b. DNA 抽出

(1) 試料の準備

- DNA の抽出にはキアゲン社 (QIAGEN) の「DNeasy Plant Mini Kit」あるいは「PEX 法」を使用します。前者は抽出された DNA が長期間（少なくとも 1 年以上）で使用可能です。
- 抽出用の試料はハサミまたはメスを使用して火炎滅菌後に 5-10 mm の大きさに切断し、50-100 mg（生重）に調整します。細断した試料はピンセットで「2.0 ml 破砕用チューブ（ザルスタット社製）」に入れ、DNA の抽出時まで冷凍（-20℃以下）で保存します。

(2) DNA 抽出

(i) DNeasy Plant Mini Kit による方法

- 購入時に付録されているマニュアルに従って DNA を抽出します。抽出後の DNA は冷蔵（4-5℃）で保存します。

(ii) PEX 法

- 予め下記の溶液を準備します。
 1. PEX 溶液（6.25 mM ジチオ炭酸 0-エチルカリウム、100 mM Tris-HCl (pH7.5)、10 mM EDTA (pH8.0)、700mM NaCl)
 2. 99.5%エタノール
 3. 70%エタノール
 4. 超純水

*PEX 溶液は合計 100 ml を混合後に 0.22 μm のステリトップ（型：SCGPT01RE、メルクミリポア社）でフィルター滅菌します。

*超純水がない場合、高圧蒸気滅菌した蒸留水を使用します。

- 始めに、サンプルを入れた 2.0 ml 破砕用チューブに PEX 溶液 300 μl を加え、ボルテ

- ・PCR 反応後に電気泳動によって増幅を確認した後、ARISA 解析用のサンプルを準備します。ARISA 解析はジェネティックアナライザーによる解析です。ここでは、Applied Biosystems 社製のジェネティックアナライザー (3130XL) による解析のためのサンプルの準備法を紹介します。
- ・予め準備する試薬は以下の 2 種類 (Applied Biosystem 社製) です。

Hi-Di Formamide	9.85 μ l
Genescan 1200LIZ size standard	0.15 μ l

これらの試薬をサンプル数+1 サンプル分の分量で 1.5 ml チューブで混合します。
- *Hi-Di Formamide は冷凍 (-20°C) 保存で、使用する毎に常温に溶かします。25 ml の同液を購入した場合、1 ml ずつ 1.5 ml チューブに小分けすることをお勧めします。Genescan 1200LIZ size standard は感光性なので、冷蔵庫から取り出したら、できるだけ早く混合してください。
- ・上記 2 種類の試薬を混合したら 96 穴 PCR プレート (ABI 専用のプレートは WATOSON などの様々なメーカーで販売されている) に分注し、PCR 後の混合液 1 μ l と混合します。全てのサンプルの準備ができたならジェネティックアナライザーで解析します。
- *使用する施設がジェネティックアナライザーを保有していなければ、保有しする施設に解析依頼することをお勧めします。

d. 分子生物学的病原菌検出技術の活用例

前項で開発した技術は、病気の診断と作物からの病原菌の検出に利用できます。ここでは ARISA を中心とした遺伝子解析技術を用いて秋田県におけるアスパラガス土壌病害の発生マップを作成した例を紹介します (図 8)。

調査は平成 25 年から 30 年にかけて実施しました。検査する株の採取は秋田県農業試験場と秋田県内の各地域振興局の協力を得ました。それぞれの圃場で最も生育が悪い株を冷蔵して秋田県立大に送付していただき、受領後は通常 3 日以内に分析を開始しました。検査対象部位 (器官) は地下茎、貯蔵根及び鱗芽群周辺としました。検査に供する組織は地下茎を基本とし、疫病とこれに類似する病斑が見られる貯蔵根及び腐敗した鱗芽群周辺を適宜用いました。地下茎については内部組織のみを検査対象とし、褐変ないしは赤褐変した部分を採取しました。表面の腐敗した表皮あるいはそれに近い柔組織等は含まないように注意したことから、地下茎から検出された糸状菌は寄生性を有する菌類であると推定されます。また茎地上部に疫病と類似する病斑が見られるときにはそれも対象としましたが、ほとんど採取されることはありませんでした。

検出対象の病原菌はアスパラガス疫病菌 (*Phytophthora* sp.)、同立枯病菌 *Fusarium oxysporum*、同株腐病菌 *F. proliferatum* としました¹⁾。このうち *F. oxysporum* と *F. proliferatum* については、地下茎内部の病斑組織から採取した試料のみを用いて検査を実施したことから、両種とも寄生性を有する菌が検出された可能性が高いと考えられま

す²⁾。使用した検出技術は ARISA 法を基本としましたが、本研究ではそれに加えてそれぞれの病原菌の属あるいは種特異的プライマーを用いた PCR 法も併用し、精度の向上と検査結果の確認を行いました³⁾。

調査の結果、アスパラガス疫病菌陽性圃場の分布には県内で偏りが見られました(図8)。陽性圃場は県南の内陸部にかなり集中していたほか、沿岸地域でも散見されました。これに対して、秋田市以北すなわち県中央部から北に向かった沿岸地域(ここにもアスパラガスのまとまった産地がある)、さらにそこから内陸に向かって進んだ地域では本病原菌は検出されませんでした。このような全県的な調査において、県南内陸部の陽性圃場が多かった範囲は行政区分や生産者組合との関連性が見られたことから、分布の偏りは人の活動に関係していることが強く窺われ、分布拡大阻止に向けた取り組みに有用な示唆が得られました。一方、立枯病菌と株腐病菌は少なくともどちらか一方はほとんどの調査圃場から検出され、両方が検出された圃場も多く見られました(図8)。秋田県ではアスパラガス疫病の発生が確認⁴⁾されて以来、対策について対策パンフレットを作成(秋田県農業試験場編集、県農林水産園芸部発行、H30年8月)するなど啓発活動を実施しており、その中で本調査結果が活用されました。

e. 留意点

- 1) ARISA では他の病原菌の検出も可能ですが、ここでは他の菌類は省略しました。
- 2) 一部のアスパラガス採取株の地下茎内部組織から分離された *F. oxysporum* および *F. proliferatum* について土壌接種試験を行ったところ、いずれの分離菌株もアスパラガスに対して病原性を示しました。
- 3) *F. oxysporum* と *F. proliferatum* の種特異的プライマーはそれぞれ次の文献を参考にしました。また *Phytophthora* 属特異的プライマーおよび本研究で開発したアスパラガス疫病菌 *Phytophthora* sp. の種特異的プライマーは今後、公表の予定です。
M. T. Amatulli, D. Spadaro, M. L. Gullino and A. Garibaldi (2012) Conventional and real-time PCR for the identification of *Fusarium fuikuroi* and *Fusarium proliferatum* from diseased rice tissues and seeds. *Eur. J. Plant Pathol.* (2012) 134:401-408
P. K. Mishra, R. T. V. Fox and A. Culham (2003) Development of a PCR-based assay for rapid and reliable identification of pathogenic Fusaria. *FEMS Microbiology Letters* 218: 329-332.
- 4) 「農作物病害虫発生予察情報発生予報第8号及び特殊報第2号(アスパラガス疫病)の発表について(通知)」平成26年3月20日
- 5) ARISA 法や PCR 法による病原菌の検出については、片倉コープアグリ筑波総合研究所にて有償で分析します。

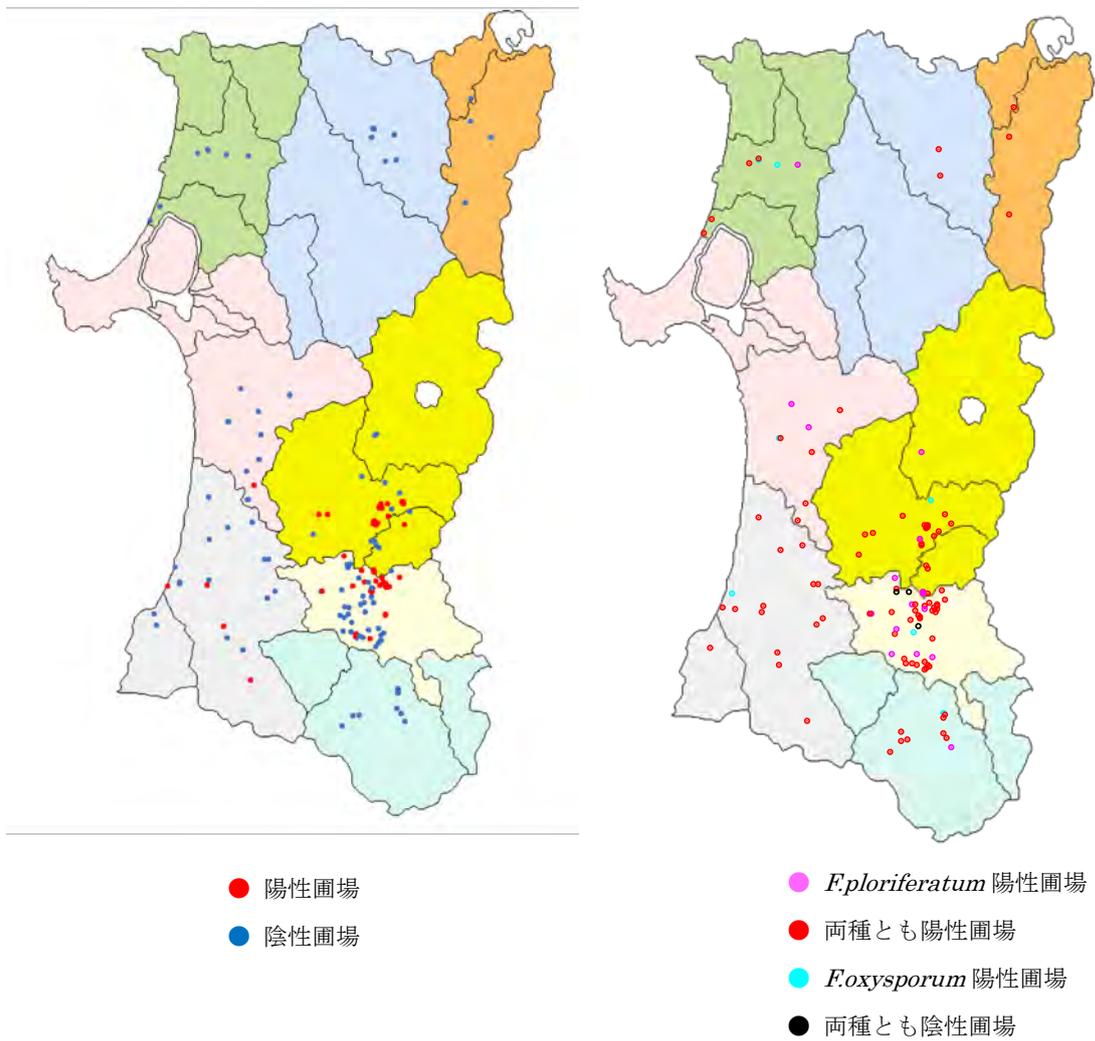


図8 秋田県内アスパラガス土壌病害陽性圃場の分布（平成25年～平成29年調査）
（左図：疫病、右図：立枯病、株腐病） 秋田県立大、秋田農試、地域振興局

③ アスパラガス土壌病原菌の簡易・迅速測定法

a. 技術の概要（対象病害）

アスパラガス連作障害の原因となる土壌病害としては、疫病 (*Phytophthora* sp.) 立枯病 (*Fusarium oxysporum*) 及び株腐病 (*Fusarium proliferatum*) などが問題となっています。これらの菌株を対象とし、土壌から検出する手法を紹介します。

b. 診断の準備

土壌の採取

1. 診断したい圃場の 5 カ所以上から土壌を採取（対角線採土法）します。地表面の土壌を取り除き、そこから深さ 10cm 程度の土壌を採取します。
2. 採取した土壌は 2 mm 目合いの篩を通し、速やかに DNA 抽出用のサンプルを秤量します（速やかにできない場合は冷暗所で数日保管します）。
3. DNA 抽出用の容器に土壌を秤量し、冷凍保存（家庭用の冷蔵庫の冷凍庫で可）します。

c. 必要器材

1. DNA 抽出試薬

今回は、FastDNASpinKit for Soil (Q-BioGene 社) を利用しましたが、土壌から DNA が採取できるものであれば、その他の試薬キットでも利用可能です。ただし、日本に多く存在する黒ボク土は DNA を吸着するために、スキムミルク（組織培養用）またはカゼイン Na を添加する必要があります。装置として、破碎装置 (Q-BioGene 社 FP シリーズ、和研薬 Bead Smash など) や微量高速遠心機が必要です。

2. PCR 装置と PCR 試薬

一般的な PCR 装置が使用可能です。本マニュアルでは試薬として KOD -Plus- (東洋紡社) を使用しましたが、その他の PCR 試薬も利用可能です。

3. リアルタイム PCR 解析システムとリアルタイム PCR 試薬

一般的なリアルタイム PCR 解析システムが使用可能です。今回は CFX96 Touch リアルタイム PCR 解析システム (バイオ・ラッド社) を利用し、試薬として SsoAdvanced Universal SYBR Green Supermix (バイオ・ラッド社) を使用しましたが、その他のリアルタイム PCR システム、試薬も利用可能です。

4. 電気泳動装置

一般的なサブマリン型の電気泳動装置が必要です。今回は Mupid-2puls (ミューピッド社) を使用しました。

5. ゲル撮影装置

一般的なゲル撮影装置が必要です。

d. 手順

1. DNA 抽出

使用する DNA 抽出キットの説明書を参考に土壌から DNA を抽出して下さい。前述のように黒ボク土には DNA が吸着しやすいために、スキムミルクの添加が必須です。

2. *Fusarium oxysporum* の菌密度のリアルタイム PCR による診断

- 1) 使用プライマーの配列については表を参照してください。本マニュアルでは2つのペアのプライマー (FOF1 と FOF2 または CLOX1 と CLOX2) を使用しました。そのうち1つのペア (CLOX1 と CLOX2) の解析法については、「土肥誌」84(4), 299-301, 2013 年を参照して下さい。
- 2) リアルタイム PCR の反応条件は、95°C-3 分、(95°C-10 秒、60°C-10 秒、72°C-30 秒) ×50 サイクルで計測することで増殖曲線分析を行い、95°C-10 秒、65°C から 95°C まで 0.5°C 刻みで計測することにより溶解曲線分析を行っています。
- 3) 反応溶液組成は、サンプル (鋳型 DNA) 2 μL, SsoAdvances SYBR Green Supermix 10 μL, Forward プライマー 0.6 μL, Reverse プライマー 0.6 μL, ミリ Q 水 6.4 μL としています。増殖曲線分析でサイクル数を 50 とかなり多めに設定しましたが、サイクル数が多いことによる非特異増幅は溶解曲線分析により判断することが可能です。
- 4) リアルタイム PCR による解析を実施することで、増殖曲線より Ct 値が得られます。また溶解曲線がシングルピークであることを確認してください。シングルピークで無い場合は非特異の増幅があるため、その Ct 値は信用できません。
- 5) 土壌中の菌密度 (Y : log cfu g⁻¹ soil) は以下の計算式で計算して下さい。なお DNA の抽出キットやリアルタイム PCR システムが異なると計算式は異なります。その場合は、ご自分の環境で Ct 値と土壌中の菌密度との関係性を事前に求めることが必要です。

$$\text{FOF1\&FOR1 : } Y = -0.262Ct + 11.185$$

$$\text{CLOX1\&CLOX2 : } Y = -0.2791Ct + 13.497$$

3. *Fusarium proliferatum* の菌密度のリアルタイム PCR による診断

- 1) 使用プライマーの配列は以下の表を参照してください。本マニュアルでは CLPR01 と CLPR02 のプライマーペアを使用しました。リアルタイム PCR の解析条件は *Fusarium oxysporum* のリアルタイム PCR による検出と同じ条件を利用しています。
- 2) リアルタイム PCR による解析を実施することで、増殖曲線より Ct 値が得られます。また溶解曲線がシングルピークであることを確認してください。
- 3) 土壌中の菌密度 (Y : log cfu g⁻¹ soil) は以下の計算式で計算して下さい。なお DNA の抽出試薬や機器が異なると計算式は異なります。その場合は、ご自分の環境で Ct 値と土壌中の菌密度との関係性を事前に求めることが必要です。

$$\text{CLPR01\&CLPR02 : } Y = -0.242Ct + 11.968$$

4. *Phytophthora* sp. の nested-PCR による土壌中からの検出

土壌からは罹病組織からの検出と同じ手法では検出できないため、nested-PCR を用いて検出を行います。

- 1) 1st PCR では Forward primer として 18Ph2F、Reverse primer として 5.8S-1R を用います。2nd PCR では Forward primer として ITS6、Reverse primer として 5.8S-1R を用います。
- 2) 1st PCR の PCR 条件は、95°C-2 分、(95°C-20 秒、59°C-25 秒、72°C-30 秒) × 40 サイクル、72°C-1 分です。2nd PCR の PCR 条件は、95°C-2 分、(95°C-20 秒、59°C-25 秒、72°C-30 秒) × 35 サイクル、72°C-1 分です。
- 3) 泳動後に 2% のアガロースゲルによる電気泳動を実施し、臭化エチジウムによる染色後にゲル撮影装置でバンドの有無を確認します。バンドが検出された圃場を陽性と判定します。

使用プライマーの配列

プライマー	配列
FOF1	5'-ACATACCACTTGTTGCCTCG-3'
FOR1	5'-CGCCAATCAATTTGAGGAACG-3'
CLOX1	5'-CAGCAAAGCATCAGACCACTATAACTC-3'
CLOX2	5'-CTTGTCAGTAACTGGACGTTGGTACT-3'
CLPRO1	5'-TGCATCAGACCACTCAAATCCT-3'
CLPRO2	5'-TGTCAGTAACTCGACGTTGTTGTT-3'
18Ph2F	5'-GGATAGACTGTTGCAATTTTCAGT-3'
ITS6	5'-GAAGGTGAAGTCGTAACAAGG-3'
5.8S-1R	5'-GCARRGACTTTCGTCCCYRC-3'

e. 留意点

1. 各菌株の菌密度が低い場合でも、他の病害（茎枯病や斑点病など）や生理障害が発生する恐れがあります。
2. *Fusarium* の菌密度がいくら以上で病害が発生するのか基礎的なデータが無く断言できる状態ではありません。
3. 排水不良による湿害など土壌病害に起因しない障害発生については本手法を用いては診断できません。
4. 疫病菌が nested-PCR により検出されなかった圃場において、疫病発生の可能性は 0 とは言えません。
5. 解析には基本的な DNA 実験を実施する機器が必要です。診断実施前に中央農研土壌肥料研究領域土壌生物グループに相談をしていただくことをお勧めします。
6. 土壌消毒後の生物診断を行うにあたって、処理後どの時期に土壌サンプルを採取するのが適切か検討中です。

2) 圃場排水性診断 (簡易下層透水性診断手法)

1. 用意するもの

- 1) スクリュー式オーガー
(らせん式穴掘り器 (2.5寸7.5 cm 穴用))
- 2) ものさし (1 m程度のもの)
- 3) ストップウォッチ
- 4) 水 (1カ所5 L程度)
- 5) 棒 (グラスポールなど) とダブルクリップ (ものさし固定用)



用意するもの

2. 手順

- 1) 調査地点を決めます。ほ場の平均的な位置で2カ所程度、通路部又は畦肩部とします。
- 2) 調査地点の表層の雑草や有機物等を取り払います。
- 3) スクリュー式オーガーで穴を表層から40 cmまで掘ります。
その際1回の掘削は10cm程度とし、それを4~5回繰り返します。掘削はハンドルを半周戻して引き抜き、らせん部に入った土は手でかき出します。掘削中、石に当たって掘れない場合は場所をずらし、下層が極端に硬い場合または礫層がある場合には、その深さまでとします。毎回の掘削時には、掘り取った土壌について土性¹⁾、グライ層²⁾の位置、土壌のしまり具合などを観察しておきます。
- 4) 掘った穴にものさしを入れ、穴の深さを確認します。クリップと棒でものさしを穴上部に固定します。
- 5) 掘った穴に静かに注水します(約5 L)。表層に近い部分は有機物施用等により膨軟な場合が多いため、注水の深さは表層から5 cm程度下まで(40 cmの穴の場合は底から35 cmまで)とします。
- 6) 注水完了と同時にストップウォッチによる計測をスタートさせ、注水後の水位を記録します。
- 7) (1分後、5分後、)10分後、30分後の水位を測定します。基本的に途中の給水はせず、30分経過前に穴内の水がなくなる場合は、その時間を測定します。



ハンドルを回しながら掘る



らせん部の土を取る



掘った穴に注水し、水位を記録する



掘った穴の状態

3. 排水性の評価

10 分後の水位と 30 分後の水位の差（減水深）にて排水性を評価し、4 cm 以下で排水不良とします。

4. 留意点

- 1) 土壌が湿潤な状態で測定して下さい（乾燥時は測定値のばらつきが大きくなると予測されます）。
- 2) 石や礫が多いほ場では、事前にはほ場の下層土の状況を把握する必要があります。
- 3) ほ場の条件によっては、上記以外にハンドオーガーを用いた下層土の土性¹⁾評価、検土杖等によるグライ層²⁾有無の確認、貫入式硬度計による 2 Mpa 以上となる深度評価、シリンドラーインテークレート法による浸入能評価等も加えて、総合的判断が必要となる場合もあります。

注釈 1) 土性…土の粒子組成によって砂土～埴土に区分できる。一般的に左図の土性判定表が用いられる
 注釈 2) グライ層…湿田などの土壌断面に見られる青灰～緑灰色の土層。常に地下水に満たされて酸素不足になり鉄等が還元されて生じた層

粘土と砂との割合の感じ方	ザラザラとほとんど砂だけの感じ	大部分(70~80%)が砂の感じて、わずかに粘土を感じる	砂と粘土が半々の感じ	大部分は粘土で、一部(20~30%)砂を感じる	ほとんど砂を感じないで、ヌルヌルした粘土の感じが強い
分析による粘土	12.5%以下	12.5~25.0%	25.0~37.5%	37.5~50.0%	50%以上
記号	S	SL	L	CL	C
区分	砂土	砂壤土	壤土	埴壤土	埴土
簡易的な判定法	棒にもハシにもならない 	棒にはできない 	鉛筆くらいの太さにてできる 	マッチ棒くらいの太さにてできる 	コヨリのように細長くなる 

図9 土性の判定方法（日本農学会法）

土の物理性診断と改良（全農）より引用

（その他の排水診断手法の紹介）

- (1) 下層土の診断器具「ハンドオーガーセット」（全農式）

【診断のポイント】土壌断面の観察や下層土（約 60 cm 程度まで）の土壌採取が簡易に出来るため、深さ別の土性評価が可能です。

- (2) 耕盤の位置が把握できる「貫入式硬度計」

【診断のポイント】土壌に垂直にゆっくり押し込みます。

硬度の目盛を読み取り、およそ 2 Mpa 以上となる深さで耕盤の位置を確認できます。



ハンドオーガー
セット

3) 化学性診断

1) 都道府県の施肥基準等

農林水産省の「都道府県施肥基準等」のホームページに各都道府県の施肥基準等がまとめられています。アスパラガスの主要生産道県の情報を見ると、いずれの主要生産道県においてもアスパラガスに対して何らかの施肥基準等が制定されています。在住の都道府県の施肥基準を参考にして、施肥及び栽培管理を実施してください。

土壌分析については、専門の委託業者で分析を実施しますが、簡易な項目なら普及センター等でも分析も可能です。土壌診断結果に基づき施肥基準を参考に施肥を実施するようにしてください。

【参考】農林水産省の都道府県施肥基準等のホームページアドレス

http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/

2) 福島県の施肥基準

定植初年に土壌 pH を 6.0～6.5 に矯正するとともに土壌診断結果に基づき適正量の施肥を実施します。肥効調節型肥料または有機質肥料を施用します。永年性作物のため植え付け時に下層まで十分な土壌改良を実施します。春どり終了後はただちに有機質などの緩効性肥料を中心とした夏肥を施用し、株元へ土寄せを行います。追肥は夏芽萌芽始期より、速効性の肥料を 2 週間間隔で窒素成分 2～3kg/10a を目安に局所施肥（液肥灌注等）を行います。

3) 長野県の施肥基準

3 年株以上の場合、10a 当たり、窒素は 20～50kg 程度、りん酸は 15～20kg 程度、加里は 20～40kg 程度を適正施肥量とします。施肥量は株の年生によって調整します。1 年生は成株の 50%、2 年生は 70～80%、3 年生以降は標準量とします。

路地長期どり栽培の 1 年間の施肥配分例として、萌芽前の「春肥」：10～20%、春どり打ち切り立茎時の「基肥」：30～40%、茎葉展開後 8 月下旬までの「追肥」：50%などがあります。追肥は、かん水・施肥が多回数行える条件では、1 回の窒素施肥量は 2～3kg/10a 程度とし、約 10 日間隔で行います。

4) データベース作成から見えてきた生産圃場の現状

平成 28 年～29 年の間に北海道 50 点 40 圃場、福島県 43 点 36 圃場、長野県 51 点 29 圃場、長崎県 10 点 8 圃場、佐賀県 12 点 7 圃場の計 176 点 120 圃場について土壌分析を行い、データベースを作成しました。圃場を疫病菌の有無で分けた後、土壌分析値を基にクラスター解析を行い圃場を類型化しました。類型化された各グループの特徴と生育良否との関連について調査した結果、生育に影響する因子が分かってきました。

①交換性塩基と可給態りん酸の過剰蓄積の実態

調査した圃場の土壌理化学性の階級別頻度分布と平均値を図 10 に示しました。アスパラガスの適正 pH は 6.0～6.5 とされていますが、調査圃場の平均は pH5.9 とやや低く、60%の圃場で pH6.0 未満となっていました。アスパラガスは耐塩性の高い作物であり、

1.5mS/cm 以上でも生育が可能といわれていますが、1.0mS/cm 以上では収量が落ちるとい
う報告がされています。今回の調査では、18%の圃場が1.0mS/cm 以上でした。

CECは93%の圃場で適正範囲でしたが、69%の圃場で塩基飽和度が過剰となっていました。
交換性加里は99%、交換性石灰は72%、交換性苦土は69%の圃場で過剰となっており、ほと
んどの圃場が塩類過剰状態であることが分かりました。塩基バランスを見ると、苦土/加
里比が83%の圃場で基準値より低い値となり、塩基の中でも特に加里が過剰であることが
分かりました。可給態りん酸についても72%の圃場が過剰域にありました。一方、微量要
素については、可給態鉄が77%、交換性マンガンが33%、可給態銅が40%の圃場で欠乏域に
ありました。過剰の可給態りん酸は微量元素と結合して不可給態塩を作ることが知られて
います。

アスパラガス圃場では土づくりのために堆肥施用が推奨されており、今回調査した圃場
の多くでも何らかの堆肥を投入しています。そのため、交換性塩基の過剰蓄積は堆肥投入
によるものと考えられ、特に加里の含量が多い家畜ふん堆肥の投入が大きな原因であると
考えられます。加えて化成肥料の過剰施用が可給態りん酸の過剰蓄積の主な原因であると
考えられます。

②アスパラガス疫病と交換性塩基・排水性の関係

調査した圃場は図1-1に示す各7グループに分類されました。各グループの生育良否と
土壌分析結果の平均値を表2に示しました。疫病菌の有無に関わらず排水性の悪い圃場で
は生育不良となる傾向が示されました。疫病菌がPCRで検出された土壌では肥料成分（EC・
無機態窒素・可給態りん酸・交換性塩基）が高いと生育が悪く、これらの項目が疫病を助
長する可能性が考えられました。一方、疫病菌が検出されなかった土壌では、反対に肥料
成分が高いと生育が良好でした。

交換性塩基が高い場合、作物の根を痛め養水分の吸収を低下させることが知られていま
す。アスパラガスは比較的耐塩性の高い作物であるため、病原菌がいない土壌では塩基過
剰状態でも地上部に大きな影響がみられませんが、疫病菌存在下では塩類過剰によって傷
つけられた根から菌が侵入してしまい、疫病を助長してしまう可能性があります。加えて、
EC、交換性塩基、可給態りん酸が高い圃場では収量が低い傾向であったという報告もされ
ています。

③土壌診断と適正施肥

今回の結果から、①アスパラガス土壌の多くは堆肥や化成肥料由来の可給態りん酸・交
換性塩基が過剰に蓄積し、塩基バランスがくずれている、②排水性の悪い圃場では疫病菌
の有無に関わらず生育不良となる傾向、③疫病存在下では、肥料成分（EC・無機態窒素・
可給態りん酸・交換性塩基）が過剰な土壌で生育不良となる事が分かってきました。

これらのことから、排水性の改善や土壌診断結果に基づいた適正施肥を行う事がアスパ
ラガスの健全な生育には必要です。また、土づくりに用いる堆肥については、家畜ふん堆
肥と比較して塩基（特に加里）含量が少ない植物由来の堆肥の使用も効果的です。

参考文献：

国の地力増進基本方針による改善目標、

農文協「農業技術体系土壌施肥編4」p. 144-162

坂本一憲・大羽裕：各種有機物資材の施用が土壌中の糸状菌と細菌のバイオマス比に及ぼす影響，日本土壌肥科学雑誌 第66巻 第4号，p418-421（1995）

横田仁子・大森誉紀：愛媛県内におけるアスパラガスハウス土壌特性の類型化による低収量要因の検討，愛媛県農林水産研究所研究報告 第1号，p. 21-26（2009）

井上勝広：アスパラガスの単収向上のための土壌診断指標，長崎県農林技術開発センター成果報告（2014）

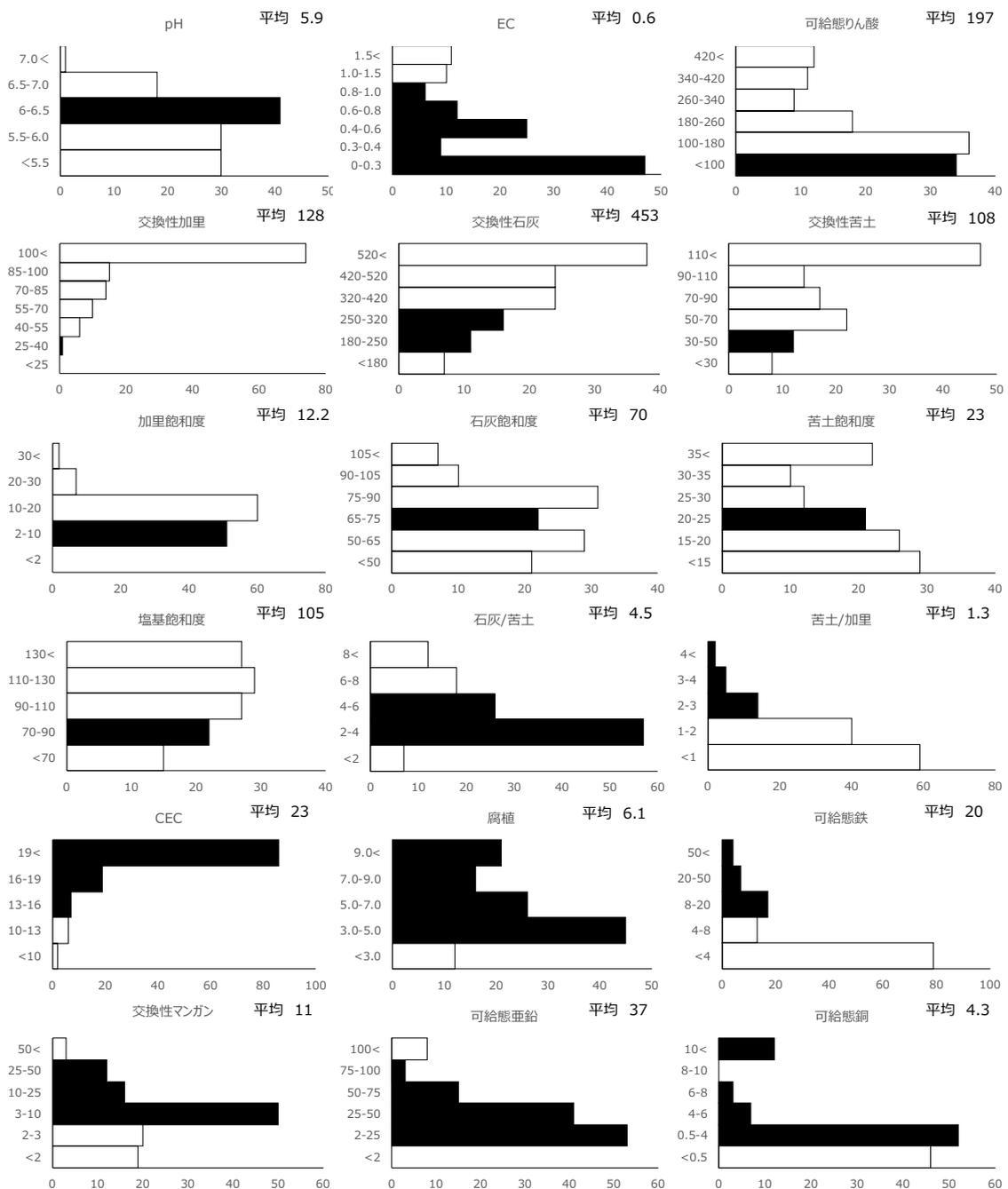


図10 土壤化学性の階級別頻度分布 (n=120)

- 注1) 横軸は調査圃場数を表す。
 注2) 棒グラフの黒塗り部分は適正範囲を表す。
 注3) 各分析項目の単位は、pH (H₂O 1 : 5)、EC : mS/cm、
 可給態りん酸、交換性加里、交換性石灰、交換性苦土 : mg/100g、
 加里飽和度、石灰飽和度、苦土飽和度、塩基飽和度、腐植 : %、
 可給態鉄、交換性マンガン、可給態亜鉛、可給態銅 : mg/kg
 CEC : meq/100g、石灰/苦土、苦土/加里は無名数。

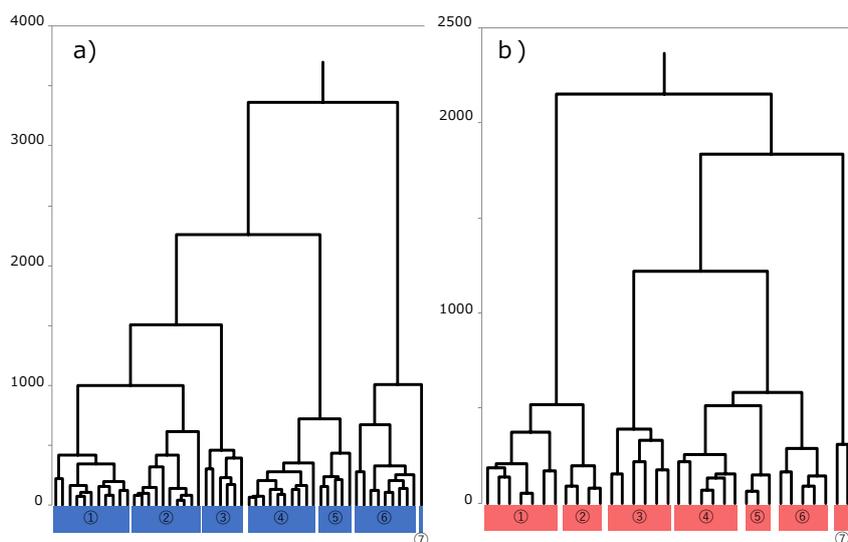


図 1 1 土壤のデンドログラム

a) 疫病菌陰性土壌 (n=52)、b) 疫病菌陽性土壌 (n=33)

注) ward 法によるクラスター解析結果

表 2 クラスター解析によって類型化された各グループの平均値

	疫病菌陰性土壌 (PCR法)							疫病菌陽性土壌 (PCR法)						
	1	3	5	2	6	4	7	2	1	4	6	3	7	5
クラスター番号 ¹⁾	11	6	5	10	9	10	1	4	7	6	5	6	2	3
生育良否 ²⁾	5.0	4.3	3.7	3.6	2.9	2.8	2.0	3.8	3.2	2.7	2.6	2.3	2.0	1.3
pH	5.9	6.1	6.2	5.5	5.8	5.7	5.8	5.4	6.4	6.1	5.4	6.3	6.2	6.2
EC(mS/cm)	1.1	0.9	0.4	0.7	0.4	0.3	0.1	0.2	0.2	0.6	0.3	0.8	0.3	0.2
無機態窒素(mg/g)	22.9	41.4	10.8	28.1	11.8	9.8	2.4	5.9	7.6	31.7	14.4	34.1	11.6	4.4
可給態りん酸(mg/100g)	201	374	153	124	84	107	19	50	144	226	63	204	49	89
交換性加里(mg/100g)	129	171	126	129	104	75	35	56	91	106	77	122	91	100
交換性石灰(mg/100g)	426	722	238	436	411	264	316	198	306	485	321	663	504	563
交換性苦土(mg/100g)	108	184	62	93	74	57	49	45	70	108	78	197	112	67
りん酸吸収係数	995	1456	600	1292	1807	856	2544	906	743	1041	1132	1449	2171	1236
CEC(meq/100g)	22	29	12	23	25	17	30	16	15	21	22	28	31	24
腐植(%)	5.4	7.5	2.9	5.8	7.3	4.0	11.3	5.3	3.6	5.6	5.7	6.2	9.2	5.2
塩基飽和度(%)	110	137	125	101	85	83	49	66	115	118	79	128	83	107
石灰/苦土(当量比)	4.7	4.7	5.7	5.9	6.2	5.3	6.5	4.9	4.5	5.1	4.2	3.7	4.6	8.9
苦土/加里(当量比)	1.0	1.1	0.6	0.7	0.7	0.8	1.4	0.8	0.8	1.1	1.3	1.7	1.2	0.7
糸状菌数($\times 10^3$ cfu/g)	426	167	191	187	91	165	220	305	194	261	171	1205	165	94
放線菌数($\times 10^3$ cfu/g)	989	1210	536	775	619	547	420	768	1293	865	624	2605	935	770
細菌数($\times 10^6$ cfu/g)	3901	3568	2580	2710	2518	1855	1030	1198	3114	4758	1860	4667	5100	4533
物理性														
粘土+シルト含量 ³⁾ (%)	36	30	19	48	45	34	52	38	29	47	49	39	51	57
累積中位径 ⁴⁾	46	83	122	29	29	54	19	38	63	27	23	38	19	18

注1) 図 1 1 と対応、左から生育良否の高い順に記載。

注2) 7段階評価 (1: 極めて悪い 2: 悪い 3: やや悪い 4: 普通 5: やや良い 6: 良い 7: 極めて良い)。

注3) 粒径が 0.02mm 以下のものの割合、国際法基準。

注4) 粒子径分布の全体積を 100%として累積カーブを求めたとき、その累積カーブが 50%となる点の粒子径 (50%径もしくはメジアン径)。

注5) 化学性の分析値は値が特に高い値を赤色、低い値を青色で示した。また、物理性については、排水性が良好であると思われる値を赤色、不良であると思われる値を青色で示した。

IV 発生圃場での対策技術

1) 亜リン酸肥料施用による被害軽減技術

a. 技術の概要

近年、アスパラガス新植時や改植時に、アスパラガス疫病の発生による生育不良や株全体の枯死などの被害が問題となっていますが、有効な対策は明らかとなっていないため、防除が困難な状況です。亜リン酸肥料は、育苗時の生育向上や本圃での収量増加を目的として施用されている肥料で、疫病菌やピシウム属菌など卵菌類によって引き起こされる病害に対し、多数の品目において発生が抑制されることが報告されています。しかし、アスパラガス疫病に関する報告はなかったため、改植時から亜リン酸粒状肥料を施用し、土壌環境を整えることによってアスパラガス疫病に対する被害軽減効果が認められるのか調査したところ、亜リン酸肥料を施用しない場合と比較して、枯死株が減少し、被害が軽減されることが確認されました。ただし、亜リン酸肥料の施用のみでアスパラガス疫病の発生を十分に抑えることは困難と考えられますので、ほ場排水の改善や品種の選択、土壌還元消毒など他の技術と組み合わせる必要があります。

b. 必要機材

- a) 亜リン酸粒状肥料 1号、2号
- b) スポット散粒機「すぼっとくん」
- c) 秤
- d) かん水用の機材（動力噴霧器、ジョウロなど）



必要な機材

c. 準備

スポット散粒機のレバーを回して、1回の散布量が5～10gになるよう秤を用いて調整します。

d. 手順

- a) アスパラガスのポット苗に対し、定植2週間前頃に、亜リン酸粒状肥料2号（OATアグリオ社製）を、スポット散粒機を用いて1株5gで株元に散布します。亜リン酸粒状肥料が溶けるように、株元には定期的にかん水を行います。
- b) アスパラガス定植時の植え穴に、亜リン酸粒状肥料1号（OATアグリオ社製）を、スポット散粒機を用いて1株10gで散布し、土壌と混和したのち、植え穴にかん水し、アスパラガス苗を定植します。
- c) アスパラガス収穫期間中は6週間間隔で、亜リン酸粒状肥料1号を、スポット散粒機を用いて1株10gで散布します。亜リン酸粒状肥料が溶けるように亜リン酸粒状肥料散布後には、動力噴霧器などを用いて、株元に2～3回、かん水を行います。
- d) アスパラガス株養成期間は8週間間隔で、亜リン酸粒状肥料1号を、スポット散粒機を用いて1株10gで散布します。かん水方法はc)と同様に行います。

e. 留意点

アスパラガスに対して亜リン酸粒状肥料1号および2号を、1株5～10gで施用した場合に、生育への負の影響はありませんでしたが、亜リン酸肥料は過剰施用により、生育抑制が起こる可能性があります。そのため、亜リン酸肥料の施用量には、十分に注意してください。



- A 育苗時のポット苗への亜リン酸粒状肥料 2 号施用の様子
- B 定植時の植え穴への亜リン酸粒状肥料 1 号施用の様子
- C 本圃での株元への亜リン酸粒状肥料 1 号施用の様子

f. 実証事例（福島県）

福島県喜多方市の 2 圃場（A、B ほ場）で、改植時から継続して亜リン酸粒状肥料を施用し、アスパラガス疫病の発生に与える影響を調査しました。A ほ場（施設栽培）では、亜リン酸肥料 5g 処理区は、無処理区（亜リン酸肥料を施用しない区）に比較して、枯死株の割合は低く抑えられ、改植 1 年目は被害軽減効果が認められました。しかし、改植 3 年目の 7 月 5 日には枯死株割合が 68.8% となり、亜リン酸粒状肥料の施用のみでアスパラガス疫病による被害を軽減することは困難と考えられました（図 1 2）。一方、B ほ場（露地栽培）では改植 3 年目まで亜リン酸肥料を施用している区は無処理区と比較して、枯死株の割合が低く抑えられ、亜リン酸肥料施用による被害軽減効果が認められています（図 1 3）。

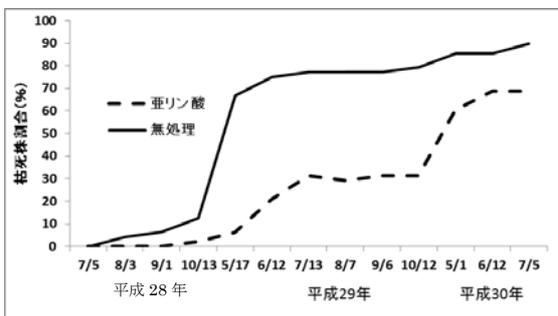


図 1 2 A ほ場における枯死株割合の推移

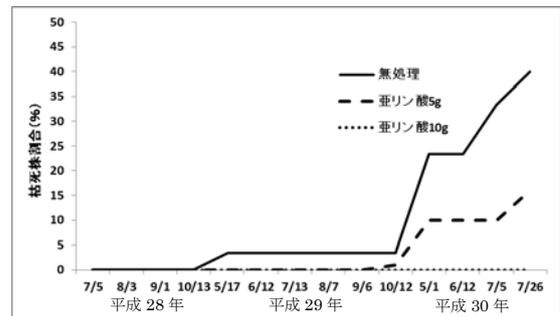


図 1 3 B ほ場における枯死株割合の推移



平成 29 年 8 月 7 日の各区におけるアスパラガス生育状況

- (A) A ほ場の無処理区
- (B) B ほ場の無処理区
- (C) A ほ場の亜リン酸 5g 処理区
- (D) B ほ場の亜リン酸 5g 処理区

g. 実証事例（長野県）

2017年に長野県内の現地疫病発生圃場2カ所（A圃場、B圃場）で定植2年目までの亜リン酸肥料施用による被害軽減効果を実証しました。A圃場についてはうね高さ（高うね（高さ20cm）、平うね（高さ5cm））の比較も行いました。亜リン酸肥料施用方法は、定植2週間前に亜リン酸粒状肥料2号（OATアグリオ社製）を株あたり5gポット株元に処理するとともに、定植時に亜リン酸粒状肥料1号を株あたり5g植穴土壌混和しました。さらに定植1か月後から1か月半おきに1年目は11月まで、2年目は3月から亜リン酸粒状肥料1号（OATアグリオ社製）を株あたり5g株元処理しました。その結果、A圃場とB圃場の2カ所とも、枯死株率は亜リン酸肥料の施用により低くなり、アスパラガスの草丈はいずれも亜リン酸肥料施用により高くなりました。うね高さについて比較したA圃場では、枯死株率は平うね区に比べ高うね区で低い傾向がみられ、アスパラガスの生育は亜リン酸無処理区では平うねに比べ高うねで草丈、茎数および最大茎径が、大きくなる傾向がみられました（図14、図15）。定植2年目の春どり収量は、亜リン酸処理区では70~142kg/10aの収量が得られたのに対し、無処理区は欠株が多く収量はほぼ皆無でした。A圃場では高うね区で収量が高い傾向でした（図16）。

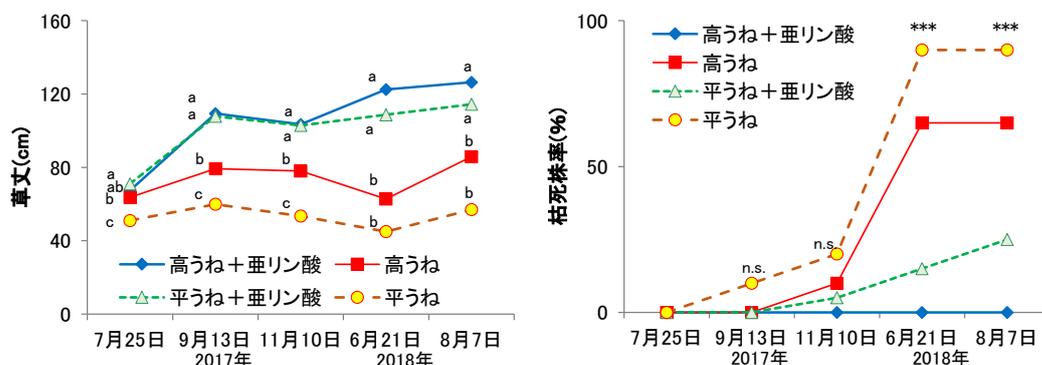


図14 亜リン酸粒状肥料施用及び高うね処理がアスパラガスの草丈及び枯死株率に及ぼす影響（A圃場、2017~2018年）

注）草丈のグラフ内の異なる英文字を付した値の間には Tukey 検定により 5%水準で有意差があることを示す。枯死株率のグラフ内の***は枯死株率は Fisher の正確確率検定により 0.1%水準で有意差があることを示し、n.s.は 5%で有意差がないことを示す。

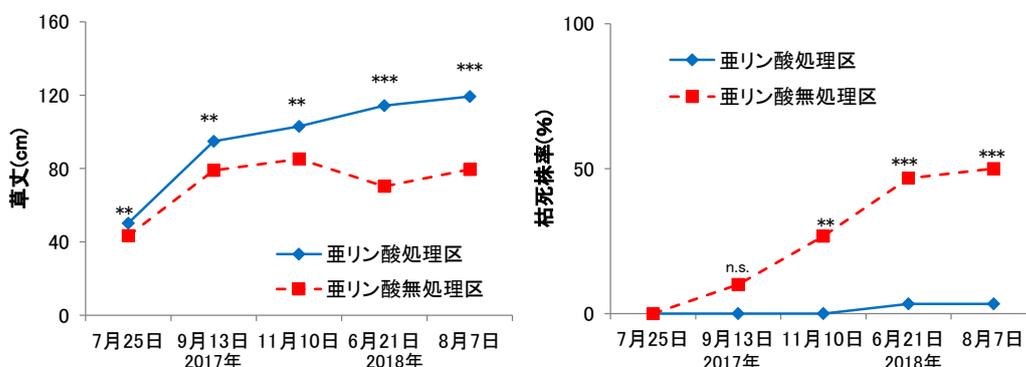
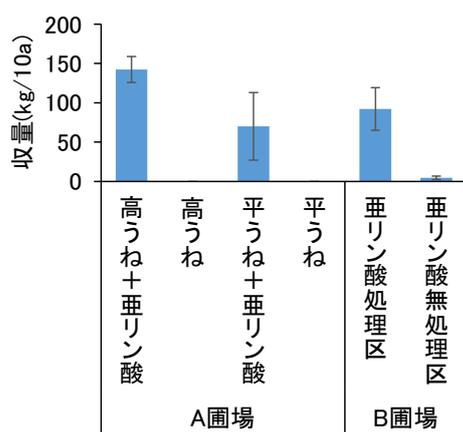


図15 亜リン酸粒状肥料施用がアスパラガスの生育および枯死株率に及ぼす影響（B圃場、2017~2018年）

注）グラフ内の***は 0.1%水準、**は 1%水準で有意差があることを示し、n.s.は 5%水準で有意差がないことを示す（草丈は t 検定、枯死株率は Fisher の正確確率検定による）。



B圃場の定植1年目の生育状況
 a: 亜リン酸処理区、b: 亜リン酸無処理区
 撮影日: 2017年11月10日

図16 亜リン酸粒状肥料施用及び高うね処理が定植2年目の春どり収量に及ぼす影響 (2018年)

注) 春どり収量は収穫残茎の茎径を測定し、収量優劣推定プログラムにより収量を推定した。調査日: 2018年5月8日

h. 実証事例 (北海道)

疫病が発生しているアスパラガスの生産圃場において、欠株となった畝に以下の処理を行って苗を補植した結果、当年の欠株率に有意な差は認められませんでした。翌年には欠株率が低くなりました (図17)。このことから、亜リン酸肥料の施用は、疫病の発生に対して軽減効果があると考えられました。

【実施した亜リン酸肥料の処理方法】

- ①定植2週間前にポット苗に亜リン酸粒状肥料2号 (OATアグリオ社製) を5g/株施用
- ②定植時の植え穴に亜リン酸粒状肥料1号 (OATアグリオ社製) を5g/株施用
- ③定植2ヵ月後に株元に亜リン酸粒状肥料1号を5g/株施用

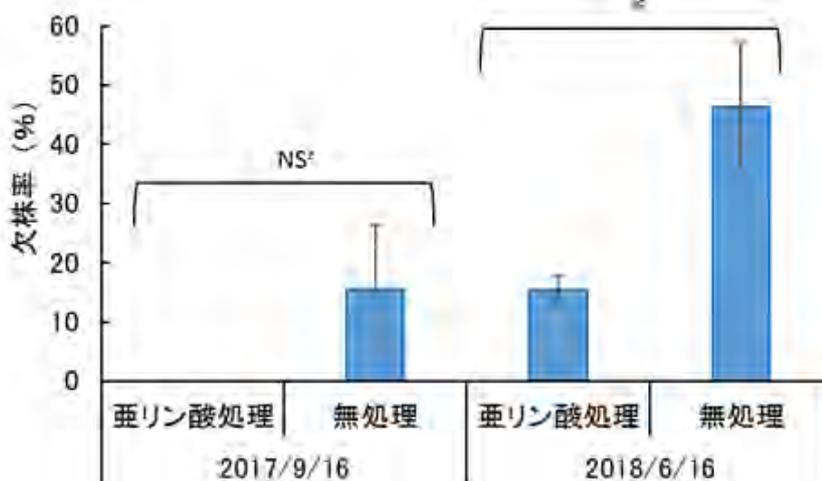


図17 疫病が発生している生産圃場において補植苗に対する亜リン酸肥料の施用が欠株に及ぼす影響

図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)

NS²はt検定 (5%水準) で有意差なし、*有意差有り

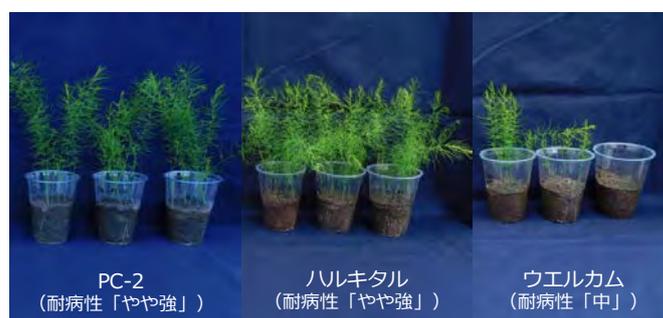
2) 耐病性品種、栽培管理

ア 耐病性品種の利用

疫病のような土壌病害の被害を軽減させるためには、耐病性品種の利用は有効な方法です。試験では、品種の耐病性検定をカップ接種法（図18）、ポット接種法（図19）および病害検定圃場試験（図20）の3段階で行いました。

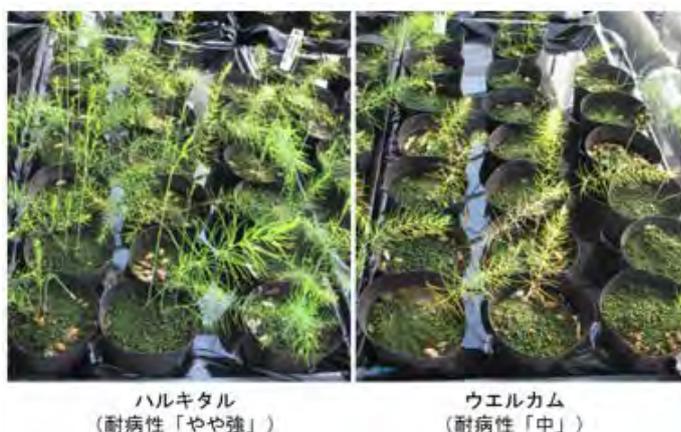
その結果、疫病に対して品種間に耐病性の差はありましたが、強度の抵抗性を有する品種はありませんでした。耐病性「やや強」と判断された品種には、「ウエルカム AT」、「PC-2」、「ハルキタル」などがありました（図21）。

耐病性品種の利用だけでは、疫病に対する対策に適しませんので、登録農薬の散布や罹病茎の抜き取りなどの対策と組み合わせて実施してください。



カップ接種は、*P. sp.* 保存菌株を V8 寒天培地に置床し 25°C で 10 日間培養したのちに、5 mm 角の切片を V11 液体培地に移植して 25°C で 10 日間培養した菌叢 1.9g を無菌培土（水稲用育苗培土：天然乾燥珪砂=3：2）100g に混合し、容量 275mL のプラスチックカップに充填し、25°C 一定のインキュベータ内で 7 日間催芽処理を行った種子 16 粒を播種して、無菌培土 40g を覆土することで行います。播種したカップは、蒸留水 30mL 灌水した後、アルミ箔で密閉し 25°C ± 3°C の自然日長下の温室内に静置します。耐病性の評価は、接種 3 週間後に発病の程度により行います。

図18 アスパラガス疫病に対する耐病性検定（カップ接種法）



ポット接種は、*P. sp.* 保存菌株を V8 寒天培地に置床し 25°C で 10 日間培養したのちに、5 mm 角の含菌寒天片をエンバク培地（エンバク種子 100g、水 100mL）に置床し、暗所 25°C で約 2 週間培養したものを接種源とします。接種は、接種源の濃度が 5% として混和した園芸培土を用いて播種 1 ヶ月の幼苗を 7.5cm ポリポットへ鉢上げします。耐病性の評価は、接種 3 週間後に発病の程度により行います。

図19 アスパラガス疫病に対する耐病性検定（ポット接種法）



病害検定圃場における接種は、ポット接種で用いた接種源が濃度1%となるように土壌表層5cmに混和し、播種1ヵ月後の幼苗を定植します。耐病性の評価は、定植3週間後に発病の程度により行います。

図20 アスパラガス疫病に対する耐病性検定（病害検定圃場試験）

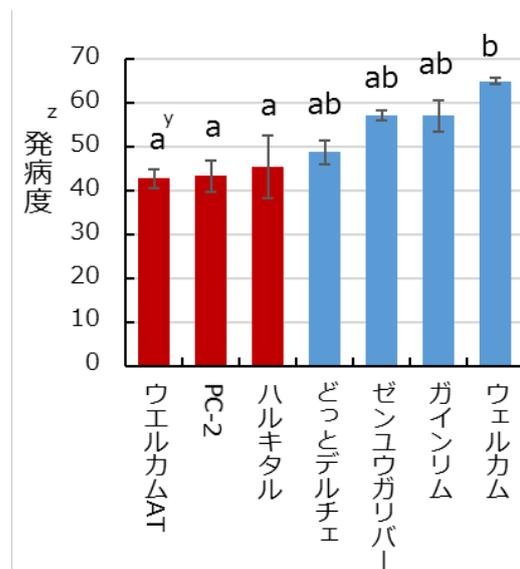


図21 アスパラガス疫病 (*Phytophthora* sp.) に対する耐病性の品種間差異（ポット試験）

縦棒は標準誤差を示す (n=3)

^z 0~4の5段階評価 (0=無病徴, 1=根の褐変・腐敗, 2=鱗芽の褐変・腐敗, 3=根の褐変・腐敗・黄化, 4=枯死) を発病指数とし発病度を Σ (各指数×株数) / (4×調査株数) × 100

^y 異なるには記号間は Tukey の多重比較により 5%水準で有意差あり

イ. 対策の組み合わせが疫病の発生に及ぼす影響

(1) 農薬散布と罹病茎抜き取りの効果（現地事例）

登録農薬の散布と罹病茎の抜き取りを実施した圃場と実施しなかった圃場における疫病の発生病消長を比較した結果、実施圃場では疫病の発生が低く推移しました(図2 2)。このことから、農薬の散布と罹病茎の抜き取りは、疫病の発生を抑制すると考えられました。

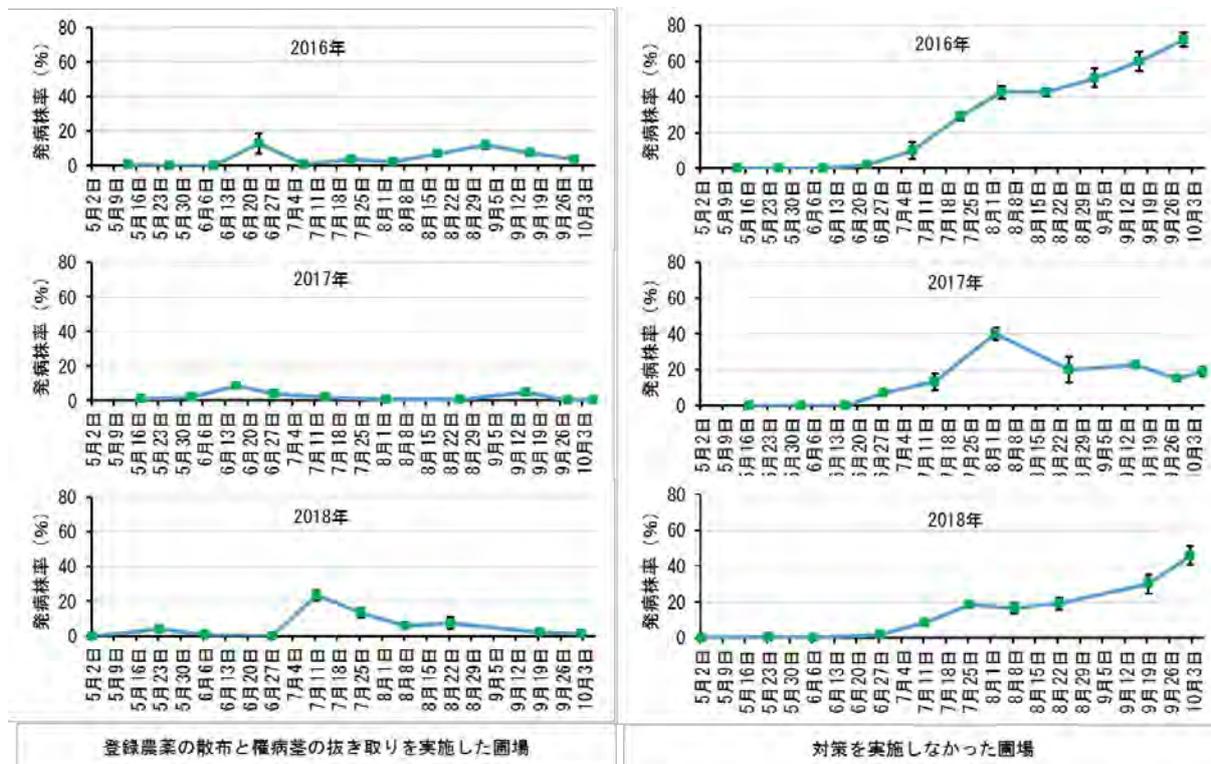


図2 2 登録農薬の散布と罹病茎の抜き取りを実施した圃場と実施しなかった圃場におけるアスパラガス疫病の発生病消長

疫病の発生は地上部への病斑形成を示す 縦棒は標準誤差を示す(n=3)

(2) 耐病性「やや強」の品種の利用、亜リン酸肥料の施用、農薬散布および罹病茎の抜き取りが疫病の発生に及ぼす影響（病害検定圃場における2018年度試験）

疫病を接種した病害検定圃場において、耐病性「やや強」の品種の利用、亜リン酸肥料の施用、農薬散布および罹病茎の抜き取りが疫病の発生に及ぼす影響を検討した結果、品種の効果は判然としませんでした。亜リン酸肥料の施用、農薬散布および罹病茎の抜き取りを実施した圃場では、疫病の発生が低く推移しました(図2 3、2 4)。

このことから、亜リン酸肥料の施用、農薬散布および罹病茎の抜き取りは、疫病の対策として有効であると考えられました。

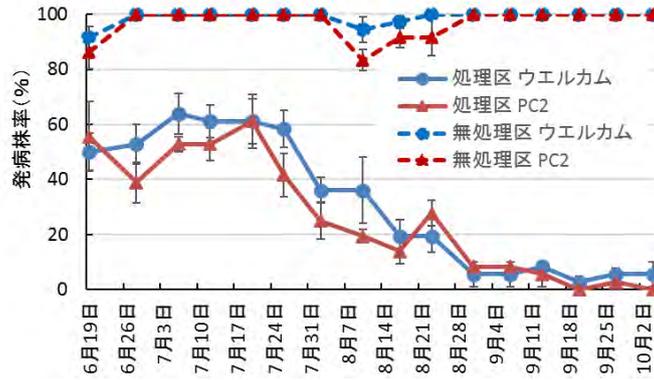


図 2 3 耐病性「やや強」の品種の利用、亜リン酸肥料の施用、農薬散布および罹病茎の抜き取りが疫病の発生に及ぼす影響（病害検定圃場試験） 縦棒は標準誤差を示す (n=3)

それぞれの防除対策の効果の程度については、引き続き検証する必要があると考えています。

なお、亜リン酸肥料の施用、農薬散布および罹病茎の抜き取りは、以下のとおり実施しました。

ア 亜リン酸肥料の施用

- ①定植 2 週間前にポット苗に亜リン酸粒状肥料 2 号（OAT アグリオ社製）を 5g/株施用
- ②定植時の植え穴に亜リン酸粒状肥料 1 号（OAT アグリオ社製）を 5g/株施用
- ③定植 2 ヶ月後に株元に亜リン酸粒状肥料 1 号を 5g/株施用

イ 農薬散布および罹病茎の抜き取り

1 日の合計の降水量が 50mm となった日を目安として、その降雨の前後に疫病に登録のある農薬を 4 回散布しました。また、斑点病の防除として、登録農薬を 4 回散布しました。散布量は、定植 1 年目のため、100L/10a としました。また、罹病茎の抜き取りは、約 1 週間間隔で実施しました。なお、詳細は以下の表 3 の通りです

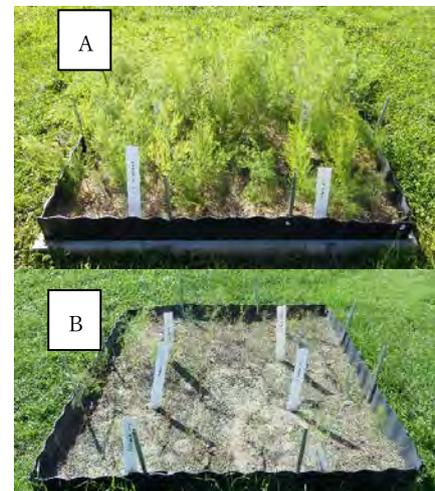


図 2 4 病害検定圃場におけるアスパラガス疫病の発生状況

A：亜リン酸肥料の施用、農薬散布および罹病茎の抜き取りを実施した圃場

B：対策を実施しなかった圃場

表3 病害検定圃場における管理作業および内容

管理作業日	管理作業	管理内容
6月 7日	定植	ポリポット苗(直径9cm)
	亜リン酸肥料の植え穴施肥	亜リン酸肥料粒状2号(OATアグリオ)を5g/株
6月14日	農薬散布(対象病害:疫病)	ベンチアバリカルブイソプロピル・TPN
6月19日	罹病茎の抜き取り	
6月25日	農薬散布(対象病害:斑点病)	フルアジナム水和剤
6月28日	農薬散布(対象病害:疫病)	メタラキシLM・TPN水和剤
	罹病茎の抜き取り	
7月 6日	農薬散布(対象病害:斑点病)	フルアジナム水和剤
	罹病茎の抜き取り	
7月12日	罹病茎の抜き取り	
7月20日	農薬散布(対象病害:疫病)	ベンチアバリカルブイソプロピル・TPN
	罹病茎の抜き取り	
7月27日	罹病茎の抜き取り	
8月 2日	罹病茎の抜き取り	
8月 9日	罹病茎の抜き取り	
8月12日	亜リン酸肥料の株元施肥	亜リン酸肥料粒状1号(OATアグリオ)を5g/株
8月17日	罹病茎の抜き取り	
8月23日	農薬散布(対象病害:疫病)	メタラキシLM・TPN水和剤
	罹病茎の抜き取り	
8月31日	罹病茎の抜き取り	
9月 7日	罹病茎の抜き取り	
9月13日	農薬散布(対象病害:斑点病)	水酸化第二銅水和剤
	罹病茎の抜き取り	
9月13日	農薬散布(対象病害:斑点病)	水酸化第二銅水和剤
	罹病茎の抜き取り	

3) 排水性改善対策

1. カットドレーン・カットドレーン mini

a. 技術の概要

カットドレーンおよびカットドレーン mini はトラクタに装着し、トラクタの牽引力で土中に資材を使わずに連続した通水空洞（暗渠）を成形する穿孔暗渠機です。カットドレーンは 60PS 超のフルクローラートラクタや 70PS 超のホイールトラクタに装着可能で、表層から 40～70cm の任意の深さに 10cm 角程度の四角い穴を敷設できます。この穴が暗渠の役割を果たし、排水を促す働きをします。カットドレーンの仕組みは以下の通りです（図 25）。

- ①土を四角形のブロックに切断します。
 - ②土の四角ブロックを持ち上げ、下に四角形の隙間を作ります。
 - ③その隙間の横の土を別の四角形ブロックを切り出し隙間の中に寄せることで溝下横側に、空洞上面に攪乱のない崩落しにくい四角形の通水空洞を成形します。
- このような仕組みにより籾殻のような暗渠資材を入れなくても潰れたり詰まったりしにくい持続性の高い通水空洞を形成できます。

カットドレーン mini は 30～60PS の比較的馬力の小さなトラクタに対応し、表層から 30～50cm の任意の深さに通水空洞を形成できます。カットドレーンが前刃と後刃の 2 枚の刃で土を切断していくのに対し、カットドレーン mini は 1 枚刃の構造となっています。

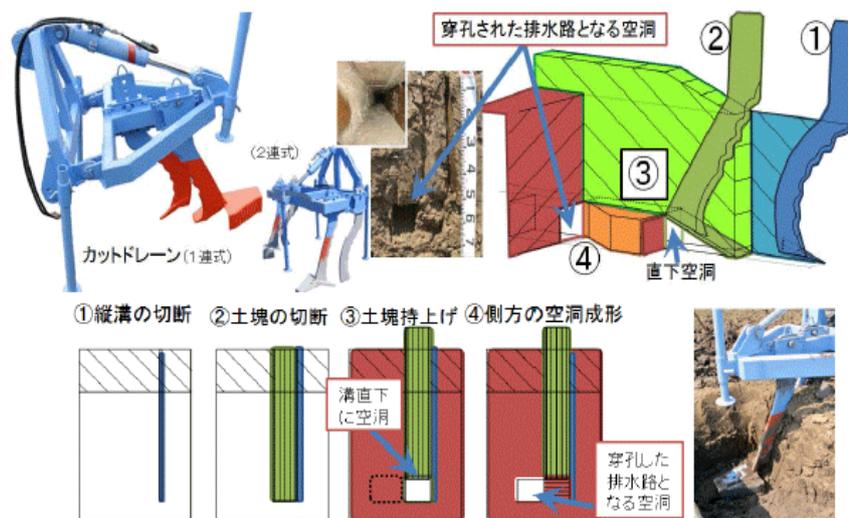


図 25 カットドレーンの施工方法

農研機構成果「情報農家が使える無資材・迅速な穿孔暗渠機「カットドレーン」」より引用
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2013/13_001.html

b. 必要機材

- ・カットドレーン施工には 60～120PS のフルクローラートラクタまたは 70～120PS のホイールトラクタ
- ・カットドレーン mini 施工には 30～60PS のトラクタ（3 点リンク接続できる規格がカテゴリーI 以上）
- ・カットドレーン mini 施工で土への刃の刺さり足りない場合にはウエイトが必要（トラクタのフロントと施工機後方のウエイトホルダーに装着）



カットドレーンおよびカットドレーン mini の施工時の様子
a)、b)、c) : カットドレーン d)、e) : カットドレーン mini
f) : カットドレーン mini 施工後の土壌断面

c. 手順

- ①トラクタにカットドレーンまたはカットドレーン mini を装着します。
- ②ほ場の一辺以上に土手（排水路）があれば、法面の施工したい深さにカットドレーンを入れ、2～4 km/h の速度で牽引し作業を実施します。
- ③施工間隔について、カットドレーンは 2.5～5m を標準とします。カットドレーン mini は 2m 程度から施工可能です。
- ④ほ場の周囲に土手がない場合には、あらかじめほ場の一角に深い穴を掘って排水側出口とし、そこから放射状にカットドレーンを施工する方法もあります。
- ⑤穴の出口部（落水部）は、強度の乾燥にさらされやすくなり、空洞の崩落が起きやすいので、合成樹脂管等を挿入して落水部を保護することが望ましいです。
- ⑥施工後はロータリーで表層を耕うんした後、うね立て、定植作業を実施します。

d. 留意点

- ・重粘土や泥炭土などでの適用性が高く、数年間の耐用が期待できます。黒ボク土では適用性が低くなります。
- ・土性(農学会法の区分)が壤土(L)では耐用期間が短くなります。また、砂土(S)と砂壤土(SL)には使用できません。
- ・砂礫に富むほ場や 5cm を超える石礫に富むほ場、直径 5cm を超える埋木があるほ場には施工できません。

e. 実証事例

○カットドレーン

2016 年に長野県中野市のアスパラガスほ場にて実証試験を実施しました。このほ場は細粒グライ土で、グライ層(灰青色の還元層)が地表下 30~80cm 以内から現れ、土性が粘質~強粘質の排水不良な地域にあります。ほ場の南側には排水路があり、2016 年 4 月中旬にその法面から 40cm の深さに 2.5m 間隔でカットドレーンを施工しました。施工には 77 馬力のクローラータイプのトラクタを用い、施工の所要時間は 10 a あたり約 22 分程度でした。施工直後には施工部の地表面に盛り上がりが見られましたが、施工後に施肥、ロータリー耕、整地うね立てを行い、4 月下旬にアスパラガスの 1 年養成苗を定植しました。

ほ場内に深さ 1 m の小さな穴を掘り、そこに穴を数カ所空けた塩ビ管を埋めて地下水位を随時調査した結果、地下水位はカットドレーン処理により低下する傾向がみられました(図 2 6)。2017 年 7 月上旬に記録的な大雨があり、暗渠施工した部分の一部で土壌の陥没がみられ、施工による地下水位の低下程度は小さくなる傾向もみられましたが、9 月および 10 月の台風による大雨の後には再び地下水位に顕著な差がみられ、2018 年も引き続きカットドレーン処理区で地下水位が低い状態が続いていることから、施工した通水空洞の 2 年以上の持続性が確認されました。なお、このほ場では無処理区においても排水不良に起因する顕著なアスパラガスの生育不良はみられておらず、定植後 2 年間のアスパラガスの生育には明確な差は確認できませんでした。

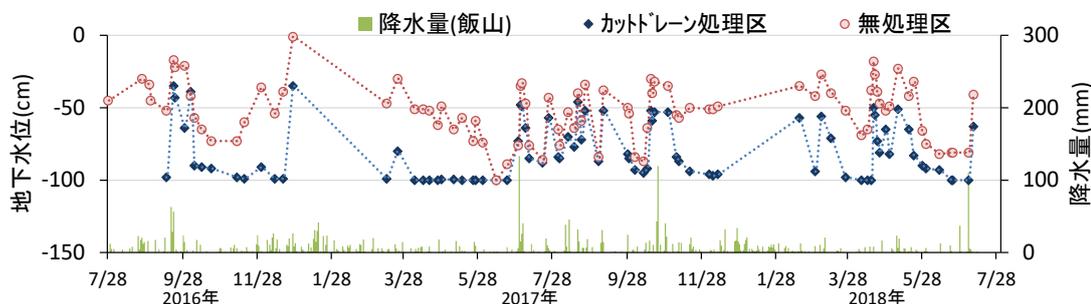


図 2 6 カットドレーン処理後の地下水位の推移

○カットドレーン mini

2017年に長野県中野市のアスパラガスほ場で実証試験を行いました。ほ場の一边に排水路があり、2017年5月中旬にその法面から2m間隔でカットドレーン mini を施工しました。施工には54馬力のクローラータイプのトラクタを用い、カットドレーンと同程度の所要時間での作業が可能でしたが、カットドレーン mini は自重が軽いこともあり、粘土質の多い土壌ではやや浮き上がり気味となることからウエイトを装着する必要がある場合があります。施工後に施肥、ロータリー耕、整地うね立てを行い、6月中旬にアスパラガスのポット苗を定植しました。

施工から約6カ月後の土壌三相分布を比較したところ、カットドレーン mini 施工により気相率が高まるとともに液相率は低下する傾向がみられ、排水性が向上したことが推察されました(図27)。カットドレーン mini 処理により定植2年目の春どり収量は高まり、欠株率は低下しました(図28)。

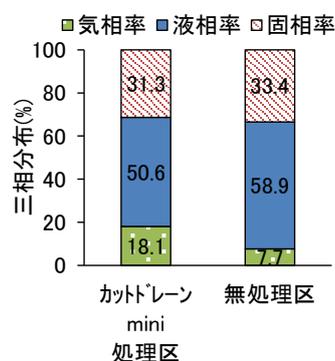


図27 カットドレーン mini 処理が土壌三相分布に及ぼす影響

注) 調査日: 2017年11月1日

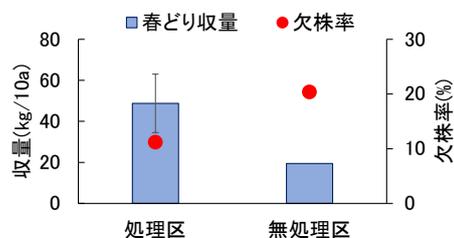


図28 カットドレーン mini 処理が定植2年目の春どり収量及び欠株率に及ぼす影響

注) 春どり収量は収穫残茎の茎径を測定し、収量優劣推定プログラムにより収量を推定した。調査日: 2018年5月8日
欠株率 調査日: 2018年8月7日

2. パラソイラー

a. 技術の概要

パラソイラーは耕盤破碎を目的とする機械で、トラクタに装着し牽引します。「くの字型ナイフ」により土を反転させずに上下に動かすことによって土を膨軟にし、透水性の向上が期待できます。

b. 必要機材

牽引のためのトラクタ (EPS シリーズは 30~56PS、LPS シリーズは 50~95PS、NPS シリーズは 100~150PS)

c. 手順

- ①トラクタにパラソイラーを装着する。
- ②ほ場全体を2~5 km/h の速度で牽引し作業する。ほ場の硬さにより作業速度を調節し、トラクタの車輪がスリップする場合は作業速度を遅くする。
- ③施工後はロータリーで表層を耕うんした後、うね立て、定植作業を行う。

d. 留意点

パラソイラーによる作業深さは EPS シリーズおよび LPS シリーズでは 40cm、NPS シリーズは 45cm であり、この深さよりも浅い部位に耕盤が存在する場合に効果を期待できません。



パラソイラー (EPS400-K (松山株式会社)) による作業の様子

e. 実証事例

2016 年に長野県中野市のアスパラガスほ場にてパラソイラー (EPS400-K) の実証試験を実施しました。2016 年 4 月中旬に 54 馬力のクローラータイプのトラクタを用いて施工を行い、施工の所要時間は 10 a あたり約 22 分程度でした。施工後に施肥、ロータリー耕、整地うね立てを行い、4 月下旬にアスパラガスの 1 年養成苗を定植しました。施工から 6 カ月後の土壌貫入抵抗を調査したところ、パラソイラー処理を行った区は無処理区に比べ深さ 35cm くらいまでの土壌が膨軟化していたことが確認されました (図 2 9)。

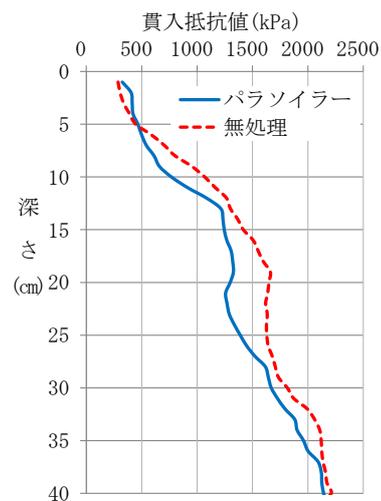


図 2 9 パラソイラー処理が土壌硬度 (貫入抵抗値) に及ぼす影響

注) 調査日: 2016 年 10 月 7 日
使用機種: パラソイラー EPS400-K

【参考】

農研機構成果情報

- ・農家が使える無資材・迅速な穿孔暗渠機「カットドレーン」
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nkk/2013/13_001.html
 - ・排水性を簡便に改良する小型トラクター用穿孔暗渠機カットドレーン mini
http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/nire/2016/16_003.html
- 株式会社 北海コーキ 製品ホームページ (カットドレーン・カットドレーン mini)
<http://hokkai-koki.sakura.ne.jp/products/late/kcdm/>
松山株式会社 製品ホームページ (パラソイラー)
<http://www.niplo.co.jp/products/cat-1/index.php?c=b060>

4) 土壌消毒

アスパラガス圃場の土壌中の疫病菌や *Fusarium* 属菌の菌密度が高い場合は、これまで紹介してきた対策では病害発生を回避できない可能性があります。菌密度を確実に下げる対策としては、土壌消毒が有効になります。クロルピクリン等を用いた土壌消毒法もありますが、環境への負荷（または影響）の低い土壌消毒方法として、佐賀県で開発された湛水太陽熱消毒や、農環研で開発された低濃度エタノールを利用した土壌還元消毒などが有効と考えられます。各々の土壌消毒法の実際の操作に関しては、それぞれのマニュアルを参考にしてください。また、低濃度エタノールを利用した土壌還元消毒のアスパラガス疫病に対する有効性は、大森・横田（2018）の報告を参照して下さい。

【参考】

- ・湛水太陽熱消毒（アスパラガス連作障害回避のための改植マニュアル）
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/vt_asparagus_kaishoku_manual_20140501.pdf
- ・低濃度エタノールを利用した土壌還元作用による土壌消毒
<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/ethanol/#manual>
- ・低濃度エタノール土壌還元消毒がファイトフトラ属菌 (*Phytophthora* sp.) 汚染土壌におけるアスパラガス連作障害の回避に及ぼす影響、大森誉紀、横田仁子、土肥誌 89 巻、P552-556 (2018)

北日本の産地は夏場に十分な地温の上昇が見込めないために、西日本の生産県である佐賀県の湛水太陽熱消毒方式では地温の確保ができず、十分な消毒効果が見込めない可能性が高いと想定されます。土壌還元消毒時に施用する有機物としてエタノール以外にフスマや糖蜜などを利用した土壌還元消毒もあります。しかしながら、エタノールは粘性が低い液体であるため畑の土壌深く浸透し、畑の深い位置まで消毒されるようになります。

一般的に土壌消毒の効果で肥料の吸収効率が上昇することが認められます。そのため、土壌消毒を実施後は2割程度の減肥を検討してください。

土壌還元消毒の実施例（低濃度エタノールを利用した方法）



土壌還元消毒準備の様子



土壌還元消毒中の様子

長野県の事例

長野県内のアスパラガス圃場（16年株、施設栽培）において、改植にあたり土壌還元消毒を実施しました。このほ場は数年前から欠株が生じ、改植前には30～40%が欠株となっており、生産性が落ちていました。改植は2017年に行いましたが、その前年の春どりをを行った後、前作の株を抜根して圃場から持ち出し、8月上旬から米ぬかによる土壌還元消毒を実施しました。手順は以下のとおりです。

- ①あらかじめ十分かん水し土壌水分を均一にする。（米ぬか散布後耕起するので逆に過湿に注意）
- ②ハウス1棟（135㎡）に150kg（1.1t/10a相当）の米ぬかを均一に散布
- ③トラクターでなるべく深く均一に耕起（ハウス側面は管理機で際まで耕起した）
- ④圃場内にかん水パイプを設置しかん水（水路からポンプで汲み上げ）
- ⑤水がついて一時的に湛水状態になった事を確認（2時間30分で150ℓ/㎡相当かん水）
- ⑥かん水後、土壌表面全体を透明フィルム（古ビニル）で被覆
- ⑦地温を確保するためハウス全面を閉め切る（処理翌日には地表下15cmの地温が30℃以上となり、その後8月下旬までの被覆期間を通じて35℃以上が確保されました。）
- ⑧27日間被覆を行った後、透明フィルムを除去し、ハウスを開放。ロータリーで耕耘し、土壌を下層まで酸化状態に戻す。



手順② 米ぬか散布の様子



手順⑤ かん水終了頃の状況
(全面に水がつき湛水状態となっていることがポイント)



手順⑥ 土壌表面全体をフィルムで被覆



改植後の順調な生育状況（定植後3カ月）

土壌還元消毒の実施前後の土壌分析を行ったところ、化学性では、土壌還元消毒によりEC及び硝酸態窒素の減少、アンモニア態窒素の増加などが認められました。一方、生物性では、病原性を示す *Fusarium oxysporum* (立枯病菌) や *Fusarium proliferatum* (株腐病菌) は検出されなくなり、防除効果が確認できました (表4)。

土壌還元消毒を実施した翌年春にアスパラガス苗を定植し、栽培を行ったところ、生育は極めて良好で、定植2年後の時点においては土壌病害の発病や欠株の発生はみられておりません。

表4 土壌還元消毒実施前後の土壌分析結果

分析項目	単位	土壌還元消毒前	土壌還元消毒後
pH		5.9	6.6
EC	mS/cm	0.6	0.3
アンモニア態窒素	mg/100g	0.7	13.2
硝酸態窒素	mg/100g	19.7	2.2
無機態窒素	mg/100g	20.4	15.3
<i>Fusarium oxysporum</i> 推定菌密度	log cfu/g	4.47	ND
<i>Fusarium oxysporum</i> (立枯病菌) 推定菌密度	log cfu/g	3.86	ND
<i>Fusarium proliferatum</i> (株腐病菌) 推定菌密度	log cfu/g	2.69	ND

V 未発生圃場での疫病対策技術

a. 排水改善対策

圃場排水性診断を実施し、排水不良と判断された新植、改植圃場では圃場にアスパラガス株がないことから、カットドレーンやパラソイラーなどを活用したり、暗きょを施工したりするなど抜本的な排水改善対策を実施することが可能です。また、既に作付けされている圃場などでは、ネギスコッパー等を活用し排水溝を作成したり、縦孔暗きょ施工技術を活用したり等の排水改善対策を実施することも重要です。

また、ビニルハウスの場合は明きょを施工したり、ハウスサイドに裾張り用シートを設置（下部を土に20cm程度埋める）したり等、ハウスサイドからの水の浸入を防止することが必須です。

さらに、排水改善に加えて、高うね栽培の実施を併用することも重要です。

b. 拡大防止対策

現時点では、疫病菌は産地において局在化していることが想定されます（北海道や秋田県の調査結果を参照）。疫病菌はごく少量の土壌であっても、他圃場から持ち込まれた場合には圃場に定着する可能性があります。靴底や農機具等に付着した土壌は疫病菌蔓延の経路要因となります。そのために未発生圃場では、疫病菌を持ち込まないことが重要な対策となります。

視察や調査などでアスパラガス圃場に入る際には、靴カバーの着用を励行し、疫病菌を持ち込まない、持ち込ませないなど、疫病の拡大防止対策を講じる必要があります。加えて農機具は圃場を移動する際には洗浄を徹底するなどの対策も必要です。

【編集・発行】

アスパラガス安定生産コンソーシアム

執筆者一覧

農研機構中央農業研究センター：浦嶋泰文

酪農学園大学：園田高広

秋田県立大学：古屋廣光、戸田武

福島県農業総合センター：畑有季、菅野英二、金丸雄太郎、五十嵐秀樹

長野県野菜花き試験場：酒井浩晃、鮎澤純子、古田岳

片倉コープアグリ：石川美友紀、山田茂、紀岡雄三、野口勝憲

【問い合わせ先】

農研機構中央農業研究センター

〒305-8666 茨城県つくば市観音台 2-1-18

電話 029-838-8481 (代)

koho-narc@naro.affrc.go.jp

掲載した写真の一部は福島県会津農林事務所喜多方農業普及所の藤田祐子氏より提供いただいた