

キュウリホモプシス根腐病 防除マニュアル

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
東北農業研究センター



本誌から転載・複製する場合は、
当センターの許可を受けて下さい。

はじめに

ホモブシス根腐病は、スイカ、メロン、カボチャ、キュウリなどのウリ科作物に発生する土壌病害です。東北地域では現在のところキュウリに被害が集中しており、特に 2002 年に福島県と岩手県の露地栽培で大きな被害が発生しました。その後も毎年発生が確認され、2005 年には宮城県、2006 年には山形県にまで被害が拡大しました。

キュウリに発生する土壌病害は主に抵抗性台木を利用することで回避してきましたが、残念なことにホモブシス根腐病に対する抵抗性台木はまだ見つかっていません。そのため、太陽熱を利用した土壌消毒を実施することによりかろうじて防除している状況です。しかし、夏秋期に収穫時期を迎える東北地域の露地栽培では、この防除方法の実施時期が気温と日射量の低下する秋期以降となり十分な効果は期待できないと考えられます。そのため、このような栽培体系に対応した防除対策を早急に確立する必要があります。

そこで、東北農業研究センターではホモブシス根腐病に対する防除対策検討会議や現地検討会などを開催し、関係者間の情報交換と研究推進方向などについて検討しました。その議論の中で、抵抗性台木を利用できないことや本病に対する登録農薬もないことなどから、防除対策の策定には根域を汚染土壌から隔離するなど、栽培法を含めた抜本的な技術開発が必要であり、また、汚染地域の拡大を阻止するためには病原菌の伝染環や発病機構など基礎的な研究も同時に実施する必要があると判断しました。これらを踏まえて実施すべき研究課題を整理し、共同研究機関として福島県農業総合センター、岩手県農業研究センター、秋田県立大学、有限会社品川通信計装サービスに参画をお願いしました。なお、本研究は 2005 年度から 3 年間、農林水産省の競争的研究資金「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」を活用し、「ホモブシス根腐病解決による露地夏秋キュウリ安定生産技術の確立」プロジェクト研究として実施しました。その結果、防除対策の策定に際して基礎となる新たな成果が得られ、その成果を応用した防除実証試験も数多く行いました。

これらの成果の内容を関係者の皆様に迅速かつ正確にお伝えするために「防除マニュアル」として取りまとめましたので、各生産者の実情にあった防除対策を策定する上で参考にして頂ければ幸いです。なお、本マニュアルに記載した防除対策は薬剤による土壌消毒が骨格となっており、抵抗性台木の開発や病原菌密度を低減させる手法の開発など、残された問題がいくつかあります。また、本病の発生生態や伝染経路など不明な点は数多く残っており、病原菌の拡散を防止するにはさらなる研究が必要です。これらの残された問題については今後も継続して研究を実施する予定です。

最後になりましたが、本研究の実施にご協力頂いた研究機関、行政機関、J A 等の関係団体、実証試験にご協力頂いた生産農家等の皆様に厚くお礼申し上げます。

平成 20 年 2 月

(プロジェクト研究総括者)
東北農業研究センター 寒冷地野菜花き研究チーム
上席研究員 門田育生

キュウリホモプシス根腐病防除マニュアル

目次	頁
1. キュウリホモプシス根腐病とは	1
1) 発生状況	
2) 病原菌	
2. キュウリホモプシス根腐病の病徴	3
1) 初期症状	
2) 末期症状	
3) 類似病害や生理障害との識別法	
3. 病害診断と病原菌の検出法	7
1) 簡易診断法	
2) 病原菌の分離法	
3) 植物体からの検出法	
4) 土壌からの検出法	
4. 東北地域における発生の状況	10
1) 福島県における栽培体系と発病との関係	
2) 岩手県における栽培体系と発病との関係	
5. 病原菌の伝染環と発生生態	12
1) 病原菌の伝染環と伝搬	
2) 土壌の病原菌密度と発病	
3) 病原菌の組織内増殖	
6. 防除対策	14
1) 薬剤の選抜	
2) 登録農薬	
3) 処理方法	
4) コスト	
5) その他の注意事項	
6) 防除方法選択のフローチャートと薬剤毎の処理方法	

7. 土壌消毒の作用機作	19
1) 株元から汚染部位までの距離と発病との関係	
2) 根部の発病程度がキュウリの導管液量や萎凋症状の発現に与える影響	
3) まとめ	
8. 土壌消毒と根域制御を併用した防除体系	24
a. 隔離ベッド栽培方式	
1) 栽培方法	
2) 防除効果	
b. マルチ裾埋め込み栽培方式	
1) 栽培方法と防除効果	
2) 効果的な作畦方法	
3) 土壌水分管理	
4) 肥培管理	
9. 根域制御栽培に利用できる自動かん水施肥システム	32
1) 無電源自立型エンジンポンプ	
2) かん水施肥コントローラ	
3) 無電源自立型エンジンポンプを組み込んだシステム	
10. その他の防除対策	34
1) 熱水土壌消毒・蒸気消毒	
2) 抵抗性台木の利用	
11. 病原菌を拡散させない方法	36
1) 未発生地域・圃場への病原菌侵入経路	
2) 病原菌を持ち込まないために	
12. 圃場試験による防除効果の事例	37
1) 場内・現地圃場試験結果	
2) 防除効果が期待できない事例	

本研究の主な成果は、農林水産省が実施している「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」を活用して得られたものである。

研究課題名「ホモプシス根腐病解決による露地夏秋キュウリ安定生産技術の確立」のもとに、(独)農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センターが中核機関となり、福島県農業総合センター、岩手県農業研究センター、秋田県立大学、有限会社品川通信計装サービスを共同研究機関として平成17年度から3年間実施した。

執筆者一覧

(あいうえお順)

岩舘康哉 (岩手県農業研究センター 病害虫部病理昆虫研究室)

太田弘志 (福島県農業総合センター 作物園芸部野菜グループ)

小沼国光 (有限会社 品川通信計装サービス技術部開発課)

永坂 厚 (東北農業研究センター 寒冷地野菜花き研究チーム)

藤 晋一 (秋田県立大学 生物資源科学部生物生産科学科)

古屋廣光 (秋田県立大学 生物資源科学部生物生産科学科)

堀越紀夫 (福島県農業総合センター 生産環境部作物保護グループ)

松崎辰夫 (有限会社 品川通信計装サービス代表)

山口貴之 (岩手県農業研究センター 園芸畑作部野菜畑作研究室)

山田 修 (岩手県農林水産部 農産園芸課)

*各ページ右下に執筆者の名前を記載しました。

編集

門田育生 (東北農業研究センター 寒冷地野菜花き研究チーム)

1. キュウリホモプシス根腐病とは

病原性糸状菌による土壌伝染性病害であり、根腐れ症状が引き起こされます。また、被害根の表面には病原菌の耐久器官と考えられる Pseudostromata (偽子座) や Pseudomicrosclerotia (疑似微小菌核) といった黒色の構造物が形成されます。根腐れが進行すると地上部に激しい萎凋症状 (萎れ) が現れます。我が国では 1983 年に最初の発生が確認されました。

同じ病原菌による根腐病が他のウリ科作物にも発生します。我が国ではこれまでにキュウリ以外にカボチャ、スイカ、メロンで発生が報告されています¹⁾。

1) 発生状況

国内でのキュウリにおける発生は、神奈川県、群馬、埼玉、福島、岩手、宮城、山形の 7 県で報告されています。キュウリ以外のウリ科作物での発生は神奈川県、茨城、島根、千葉の 4 県で報告されています(表 1、2、図 1)。

表 1. 国内でのキュウリホモプシス根腐病の発生の報告

県名	出典	発生年	備考
埼玉	植物防疫39(12): 570-574	1983	
福島	特殊報	1994	
福島	北日本病虫研報 54: 67-69	2001	露地栽培で初めての発生
岩手	特殊報	2002	
神奈川県	特殊報	2002	
宮城	特殊報	2005	
山形	特殊報	2006	
群馬	今月の農業51(12):13-18	-	

表 2. 国内でのキュウリ以外のウリ科作物でのホモプシス根腐病の発生の報告

県名	植物名	出典元	発生年	備考
神奈川県	ユウガオ台スイカ、メロン、カボチャ	日植病報 58: 555	1989	
茨城	メロン	関東東山病虫研報 42: 65-67	1995	
島根	メロン	特殊報	1997	
千葉	スイカ	植物防疫59(2): 65-68	-	スイカ急性萎凋症の一因として記載



図 1. 本病の発生が報告された地域 (都道府県別)

■はキュウリ、■はキュウリ以外のウリ科作物、■はキュウリを含む複数のウリ科作物での発生が報告された地域。

海外でウリ科作物のホモプシス根腐病の発生が報告されている国は、マレーシア、インド、デンマーク、オランダ、フランス、ドイツ、ノルウェー、スウェーデン、ポーランド、スイス、イギリス、イタリア、カナダです^{2,3,4)}。

- 1) 日本植物病名目録
- 2) Bruton B.D. (1996), Compendium of cucurbit diseases, APS PRESS, Saint Paul, p.19
- 3) Cappelli C. et al. (2004), Plant Disease, 88:425.
- 4) CMI Distribution Maps of Plant Diseases (1989), Map No. 509 Edition 2.

(永坂 厚)

2) 病原菌

この病気の原因は *Phomopsis sclerotioides* (ホモプシス・スクレロチオイデス) という名前の糸状菌(カビ)です(図2)。

これが宿主であるウリ科作物の根に感染して根腐れ症状を引き起こします。根腐れ症状を起こした植物は地上部に激しい萎凋症状を示します。

人工的に植物に接種すると、この病原菌はウリ科作物全般に感染します(表3)。ウリ科以外の作物ではこの糸状菌による病害は発生していません。



図2. PDA培地上で生育させた本病の病原菌 (*P. sclerotioides*)



図3. 顕微鏡で観察した病原菌の菌糸

表3. 病原菌の宿主範囲

接種試験で感受性を示したウリ科作物 ^{1,2)注1}
キュウリ、メロン、スイカ、カボチャ、シロウリ、マクワウリ、台木用カボチャ、ヘチマ、トウガン、ヒョウタン、ツルレイシ

注1: 接種試験の結果である。

1) 橋本 光司・吉野 正義 (1985)、植物防疫 39(12):570-574.

2) 堀越 紀夫ら (2003)、北日本病害虫研究会報 54: 67-69.

(永坂 厚)

2. キュウリホモプシス根腐病の病徴

病原菌に感染したキュウリ（カボチャ台）の根は褐変・腐敗して根腐れ症状が引き起こされます。また、根腐れが進行すると地上部に激しい萎凋症状（萎れ）が現れます。

1) 初期症状

収穫初期に萎凋症状が認められます。最初に本葉約15葉の位置で萎れが見られます。その後全身が萎凋します（図4-A）。

根の初期症状は比較的軽く、細根の脱落と細根の発生基部の褐変が認められます（図4-B, C）。

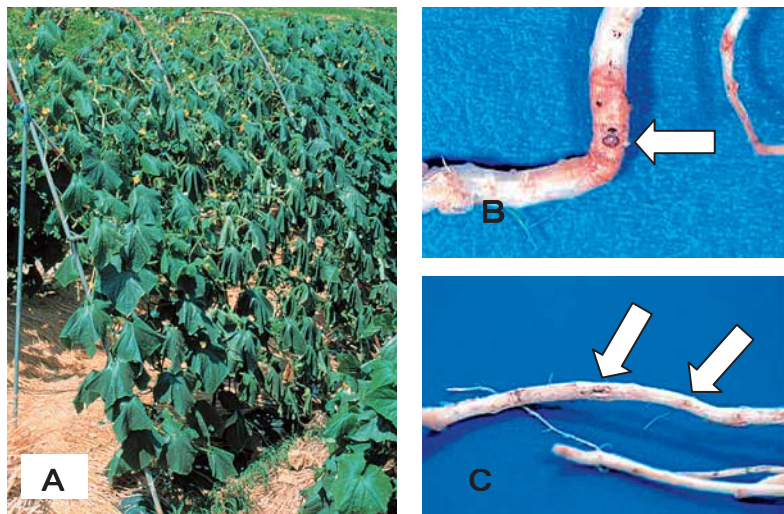


図4. キュウリホモプシス根腐病の初期症状（矢印は褐変部位）

2) 末期症状

萎凋症状を呈した株は、やがて枯死します（図5-A）。

枯死株の根には、本病に特徴的な Pseudostromata（偽子座）が形成されます（図5-B, C）。

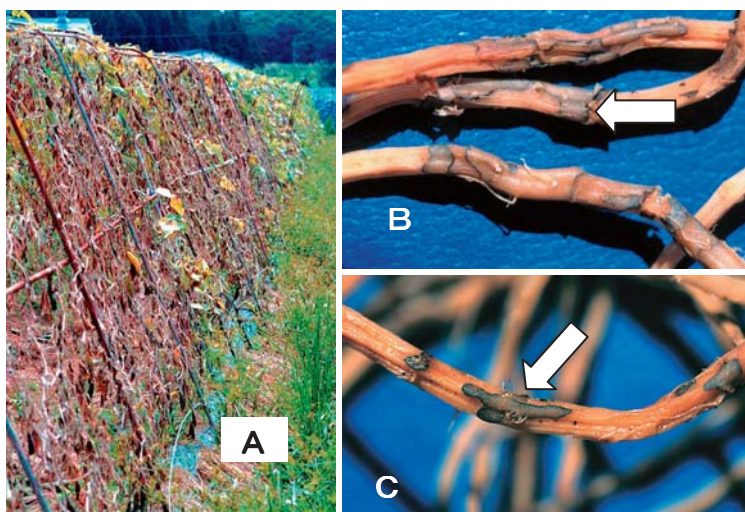


図5. キュウリホモプシス根腐病の末期症状（矢印は偽子座）

(堀越紀夫)

3) 類似病害や生理障害との識別法

ホモプシス根腐病に感染すると茎葉部に萎凋症状が引き起こされます。しかし、同様の症状はこれ以外の要因によっても見られることがあります。ここでは本病以外に急性萎凋症状を引き起こす要因とその対策および識別法についてまとめました（表4）。

表4. 急性萎凋症状の発生要因と対策

《発生要因》	《対策》
病害虫によるもの	
●ホモプシス根腐病（3ページの図4, 5参照）	→圃場転換、土壤消毒
●ウイルスの重複感染（図6、7）	→アブラムシ類の体系防除、忌避資材の活用
●つる割病、つる枯病、疫病（図8～13）	→対象薬剤の茎葉散布、土壤消毒、資材消毒 接ぎ木栽培（つる割病対策）
●ネコブセンチュウ（図14）	→対象薬剤による土壤消毒
●黒点根腐病（図15）	→圃場転換、土壤消毒
根群の形成不良による土壤水分吸収不足によるもの	
●老化苗、徒長苗等不良苗の定植	→適期定植、育苗技術の改善
●定植時の土壤水分不足による活着不良	→適期のマルチング、株元かん水等
●耕盤形成による排水不良および根群形成不良	→エアインジェクター、プラソイラ等による 耕盤破碎
その他の要因によるもの	
●多肥による生育バランスの崩れ	→土づくり、塩基バランスの改善、減肥
●着果負担の増大、強摘芯による草勢低下	→生育に応じた適正管理による草勢維持
●接ぎ木不良	→接ぎ木技術の改善

(1) ウイルスの重複感染による急性萎凋症

ZYMV（ズッキーニ黄斑モザイクウイルス）とCMV（キュウリモザイクウイルス）が重複感染すると萎凋症状が現れます。この場合、葉のモザイク症状や、果実の奇形を伴うことが特徴です（図6、7）。また、ウイルスの重複感染では根に褐変や黒変症状は現れません。



図6. ZYMVによるモザイク症状



図7. ZYMVによる果実の奇形

(岩館康哉・堀越紀夫)

(2) つる割病

茎の地際部が赤褐色に変色し、病斑部からヤニを出し、白色～ピンク色のカビが生じます。この病斑部は茎に沿って縦長に形成され、割れ目ができ著しいときは茎が繊維状になることもあります。被害株の根はアメ色に腐り、茎の導管部が褐変するのが特徴です。自根栽培で発生が見られます (図8)。



図8. 茎に生じたピンク色のカビ (つる割病菌)

(3) つる枯病

主として茎に発生しますが、葉や果実に発生することもあります。茎では地際部や中途の節に発生することが多く、はじめ油浸状の黄褐色の小粒点を生じるが、しだいに拡大して灰白色となり、亀裂を生じてヤニを出すようになります。病斑は古くなると表面に黒色の小粒点ができるのが特徴です。葉では黄褐色の扇形の病斑となるのが特徴です (図9～11)。



図9. 地際部の症状 (ヤニを生じる)



図10. 黒色の小粒点



図11. 葉の症状

(岩館康哉・堀越紀夫)

(4) 疫病

葉、茎、果実などに発生しますが、茎の地際部での発生が多い病害です。茎では地際部に暗緑色、水浸状の病斑を生じて、細くくびれて病斑から上の茎葉は萎凋して枯死します。多湿条件下では病斑上に白色の菌糸が見られます。果実でも暗緑色、水浸状の病斑を形成し、のちに白色の菌糸を生じます (図12、13)。



図12. 地際部の症状



図13. 果実での症状

(5) ネコブセンチュウ

他の要因と同じように地上部は萎凋しますが、根に「コブ」が多数形成されることから、容易に区別できます (図14)。



図14. ネコブセンチュウによる被害
(根のコブ形成)

(6) 黒点根腐病

根上に形成される小黑点(子のう殻)が特徴的で、他の原因と区別するポイントになります (図15)。この小黑点は、根端部に多く観察されます。



図15. 根に形成された小黑点 (子のう殻)
(肉眼で確認できる)

(岩館康哉・堀越紀夫)

3. 病害診断と病原菌の検出法

キュウリには、ホモプシス根腐病に類似する病害や生理障害があり、原因の違いによって対策は異なります。そのため、本病であるかどうかを正確に診断することが重要です。ここでは、簡易に診断する方法と、病原菌を分離・検出する方法を紹介します。

1) 簡易診断法

ホモプシス根腐病による萎凋症状は、根部の黒変が特徴的な症状であり、他の急性萎凋症状と区別できます(図16)。ところが、地上部に萎凋症状が現れる初期には、根部に明瞭な根腐れ症状が見られない場合があります(図17)。この場合は、下記の手順で本病であるかどうか簡易に診断できます。

- ① 根を丁寧に抜き取って水道水でよく洗い、ビニール袋に入れるか、水分を含んだ状態で新聞紙等にくるんで室温で一週間程度放置します(図18)。
- ② 3～7日程度放置した後肉眼で観察すると、細根に *Pseudostromata* (偽子座) が確認できます(図19)。
- ③ 明確な *Pseudostromata* (偽子座) が形成されなくても、顕微鏡(100～200倍)で *Pseudomicrosclerotia* (疑似微小菌核) が観察できます(図20)。



図16. ホモプシス根腐病に特徴的な根部の黒変
※黒変は *Pseudostromata* (偽子座)



図17. 萎凋症状の発生初期の根
(黒変が見られない場合が多い)



図18. 簡易診断法(洗浄した根をビニール袋に入れて室温で放置する)

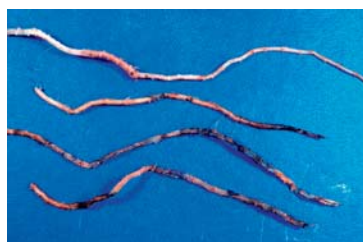


図19. *Pseudostromata* (偽子座)
黒変部位が偽子座



図20. *Pseudomicrosclerotia* (疑似微小菌核)
チェッカーフラッグのように見える(200倍)
(岩館康哉・堀越紀夫)

2) 病原菌の分離法

罹病組織からの分離にあたっては、供試する罹病組織を適切に選び、適度な表面殺菌を行い、選択性のある培地を用いることをお勧めします。すなわち、供試罹病組織としてはあまり褐変・腐敗が進んでいない組織（淡いアメ色で、脱落した側根の痕跡が黒褐色の小点として残っているような組織、3ページ図4参照）が適当です。偽子座や疑似微小菌核が形成されている根（3ページ図5参照）からの分離は一般に困難です。表面殺菌は一般的な土壌伝染性病原菌の分離で用いられる方法によりますが、供試組織の腐敗程度によって殺菌の強さを変える必要があります。

培地は酸性素寒天平板培地、PCNB 加用酸性PDA 培地（図2 1）あるいはトルクロホスメチル・ボスカリド加用合成培地のいずれかを用います。抗菌性物質を含む下記の2つの培地を用いると、雑菌のコンタミネーションをより効果的に防ぎ、分離の成否を早く判断することができます。

PCNB 加用酸性PDA 培地

通常の処方箋によって作製したPDAに、高圧蒸気滅菌後にPCNB 300mg、ストレプトマイシン硫酸塩 300mgを加え、乳酸（20%溶液）によってpH4.0前後にします（PCNBは選択培地用として市販されているものを用います）。

トルクロホスメチル・ボスカリド加用合成培地

K_2HPO_4 1g、KCl 500 mg、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 500 mg、Fe-EDTA 10 mg、L-アスパラギン 2 g、D-ガラクトース 20 g、トルクロホスメチル 1 mg、ボスカリド 100 mg、ストレプトマイシン硫酸塩 300 mg、寒天 15 g、水道水 1L。



図2 1. PCNB 加用酸性PDA 平板培地によるホモプシス根腐病菌の分離
(3つのコロニーはいずれも本病原菌のものです。)

(古屋廣光)

3) 植物体からの検出法

- ・生物工学的手法を用いて罹病植物体から病原菌を検出する方法として図2.2に示すものがあります。
- ・検体は根部組織を使用します。
- ・多検体の同時診断や迅速診断、診断の確度を上げる場合に有用な方法です。
- ・検体の状態によって適用できる手法が異なります。また、それぞれの手法は必要な機材や一検体当たりのコストなどが異なります。詳細についてはお問い合わせ下さい。

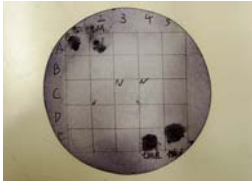


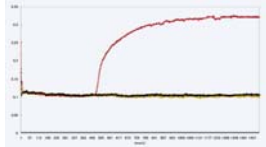
免疫学的手法 (検体内に含まれる病原菌タンパク質を抗体によって検出)	遺伝子学的手法 (検体内に含まれる病原菌DNAの一部を増幅することで検出)
<p>TPI(Tissue Printing Immunoassay)</p> <p>・検体の組織片を濾紙に押しつけたものから検出を行う。</p>  <p>検出の例(濃く着色した部位のあるマスが陽性反応)</p>	<p>PCR(Polymerase Chain Reaction)</p> <p>・検体からDNAを抽出して検出を行う。</p>  <p>検出の例(矢印は増幅されたDNA断片)。</p>
<p>ELISA (Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay)</p> <p>・検体を抽出液とともに磨砕したものをマイクロプレート等に吸着させて検出を行う。</p>  <p>検出の例(黄色に着色した部位が陽性反応)</p>	<p>LAMP(Loop-Mediated Isothermal Amplification)</p> <p>・検体を少量の水とともに潰したのから検出を行う。</p>  <p>検出の例</p>

図2.2. 生物工学的手法を用いた植物体からの検出法

4) 土壌からの検出法

土壌から直接抽出した土壌生物の DNA の中から、本病原菌の DNA を特異的に検出する技術 (NTRF-PCR*法) を開発しました。この技術を使って人為的に汚染土壌を作製して調べたところ、砂質土壌では 1-10 cfu/g、沖積土壌や火山灰土壌でも 100cfu/g まで検出が可能でした。この技術で植物体から本病原菌を検出することもできます。

*Nested Time-Release Fluorescent PCR 法の略称

(永坂厚・岩舘康哉・古屋廣光・藤晋一)

4. 東北地域における発生の状況

東北地方では、福島県（1994年：施設キュウリ、2001年：露地キュウリ）、岩手県（2002年：露地キュウリ）、宮城県（2005年：施設キュウリ）、山形県（2006年：施設キュウリ）の4県で発生が確認されています。

1) 福島県における栽培体系と発病との関係

福島県の主な露地栽培は、4月下旬にトンネル被覆して定植を行う作型と5月下旬～6月上旬に定植する作型があります（図23）。どちらの作型も6月下旬～7月中旬にかけてホモプシス根腐病による萎凋症状が目立つようになります。早期に萎凋がみられた株は8月上旬には枯死してしまいます。夏場以降は本病による萎凋の発生は少なくなります。

福島県では、つる枯病や疫病も同時期に発生します。本病による萎れかどうか判断するには、根を掘り上げて感染の有無を確認する必要があります。

作型	主要品種	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	は種量 (10a)	栽培様式 (10a)	目標収量 (10a)	摘要
		上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下	上中下				
露地トンネル	フロンティア/ ひかりパワーG				○△	●	□	□	□	□	□	□	□	1,100～ 1,200粒	800～ 1,000本	8,000kg	定植時にトンネル被覆する。
露地普通	パイロット/ パワーZ2				○△	●	□	□	□	□	□	□	□	1,100～ 1,200粒	800～ 1,000本	11,000kg	定植時期は5月中旬～6月上旬が多い

○ 播種 △ 接木移植 ● 定植 □ 収穫

図23. 福島県の露地夏秋キュウリ栽培体系

福島県では、1994年頃から施設栽培キュウリで本病の発生を確認し、2001年には露地で発生を確認しています。現在は県内のほとんどのキュウリ栽培地域で発生が見られます（図24）。

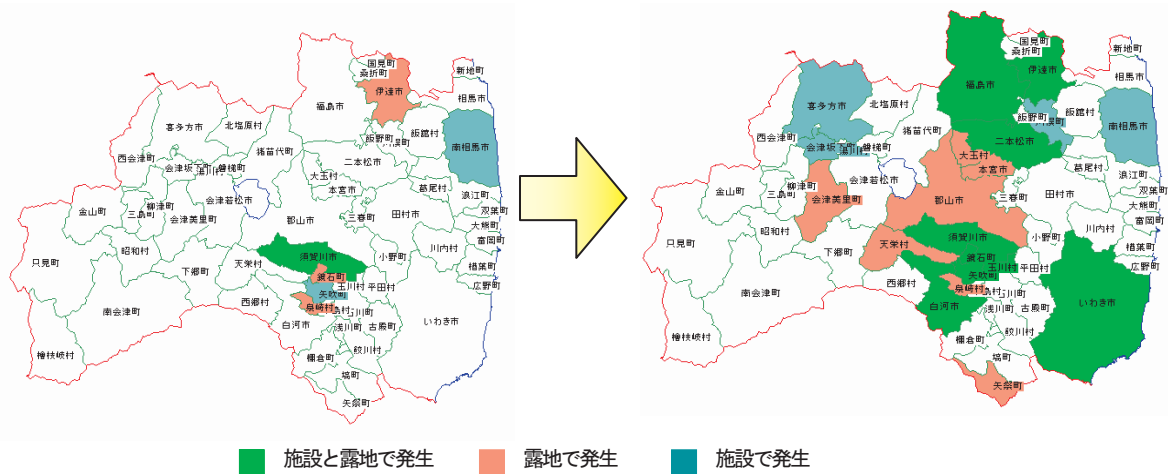


図24. 福島県における発生地域の拡大（左 2001年まで累計、右 2007年まで累計）

（堀越紀夫）

2) 岩手県における栽培体系と発病との関係

岩手県での栽培体系は、5月下旬～6月上旬に定植し、7月～10月まで収穫する夏秋キュウリ作型です(図25)。ホモプシス根腐病が発生すると、収穫がピークに向かう頃(7月下旬頃)に本葉が萎れ、当初は朝晩に回復しますが、やがて全身的な萎凋に発展します。曇雨天後の晴天日に急激に萎凋し、枯死することが多くなります。発病の時期としては、梅雨時期は萎凋が目立ちにくいですが、梅雨明けや梅雨の合間の晴天時に萎凋が目立つようになります。お盆の時期を過ぎると萎凋株は完全に枯死してしまう場合が多くなります。

作型	品種	1月		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		は種量(10a)	栽培様式(10a)	目標収量(10a)	摘要
		上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下				
露地普通	南極1号 夏ばやし 金星T型 Vロード パイロット									○	◎	●													1,100~1,200粒	800~1,000本	10000kg	県北は5月上旬播種6月上旬定植	

○: 播種 △: 移植 ◎: 接ぎ木 ●: 定植 □: マルチ ー: 生育期間 □: 収穫期間

図25. 岩手県での栽培体系

ホモプシス根腐病の発生地域は、初確認の2002年頃から急速に拡大しており、現在では、35市町村中13市町村で発生が認められています(図26)。

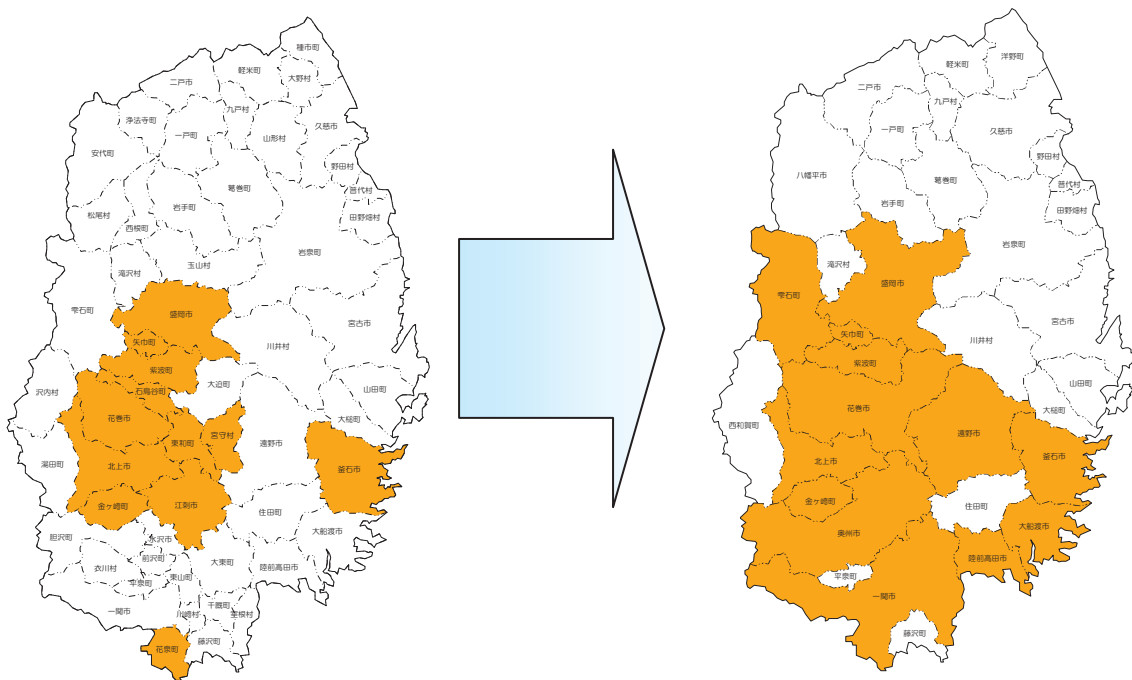


図26. 岩手県における発生地域の拡大(左: 2003年まで累計、右: 2007年まで累計)

(岩館康哉)

5. 病原菌の伝染環と発生生態

本病を引き起こす病原菌の伝染経路や発生生態など防除に関わる情報は十分ではありませんが、これまでの研究で下記のこと

1) 病原菌の伝染環と伝搬

病原菌は土壌伝染を行います。土壌中の耐久生存は疑似微小菌核 (図27) と偽子座 (図28) によると推定され、いずれも土壌中で数年は生存できる可能性があります。現在、前者については少なくとも1年間生存することが実験的に確認されています (未発表)。宿主植物 (ウリ類) の根が近寄ってくるとこれらの器官は発芽し、根に侵入すると考えられます。感染した植物根ではやがて疑似微小菌核や偽子座が再び形成され、増殖します。病原菌のこの増殖は、宿主植物に萎凋症状が現れるか否かにはかかわらず行われます。すなわち、地上部に顕著な症状が現れなくても病原菌は根で増殖し、菌密度を高めることがあるということです。なお、この病原菌が土壌中の新鮮植物遺体に腐生的に着生して増殖したとの報告はこれまでみられません。このほか本病原菌は分生子殻 (柄子殻) を形成し、分生子 (柄孢子) を生産しますが、また野外での形成が全く知られていないことから、伝染環や伝搬における役割や重要性について明確なことはわかっていません。

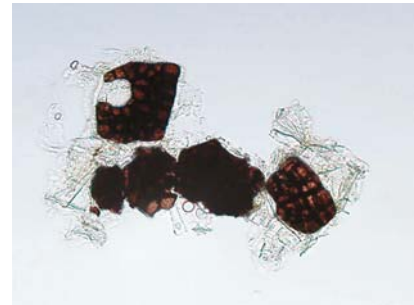


図27. 疑似微小菌核
このひとつひとつが感染能力を持っています。



図28. 台木カボチャの根に形成された偽子座

2) 土壌の病原菌密度と発病

本病原菌は土壌の菌密度がかなり低くても根に感染し、地上部に萎凋症状を引き起こします。人為的に汚染した土壌 (市販の育苗培土) で調べたところ*、キュウリ自根では1 CFU/g**の土壌でも萎凋症状が現れ、カボチャに接木栽培した場合でも100 CFU/gで発病 (萎凋症状) がみられました。キュウリ自根栽培における発病は1~1000 CFU/gの間で菌密度が高いほど激しいという関係がありました (図29、30)。

また、本病の発生畑の土壌1gを10kgの土に混入すると発病したという実験結果があります。

*ピートモス系育苗培土を用い、培養菌体を接種源とした温室実験です。

**CFU: コロニー形成単位 (colony forming unit) の略で、寒天平板培地上でコロニーを形成する菌体断片数を表す単位です。このとき、菌体断片が具体的にどのようなものであるかは基本的に問いません。

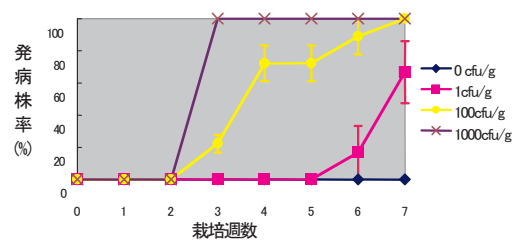


図29 キュウリホモプシス根腐病に対する土壌の病原菌密度の影響 (自根栽培)

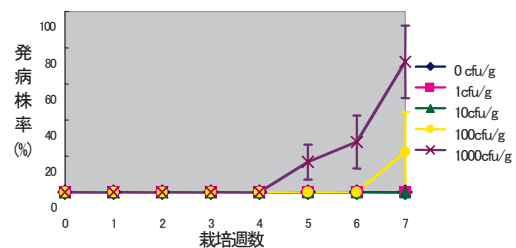


図30. キュウリホモプシス根腐病に対する土壌の病原菌密度の影響 (カボチャ接木栽培)

(古屋廣光・堀越紀夫)

3) 病原菌の組織内増殖

病原菌が感染した根の組織内部には、維管束に沿って伸長する太い菌糸と、皮層細胞に蔓延する細い菌糸が観察されます。このうち、太い菌糸は根内での維管束に沿った伸長と、それに伴う根腐れ症状の進行・拡大に関与している可能性があります(図3 1)。

病原菌が感染した根の導管内には、チロースの形成や菌糸の侵入が見られる場合があります(図3 2)。これらの構造は導管内の水分移動を阻害する可能性があります。

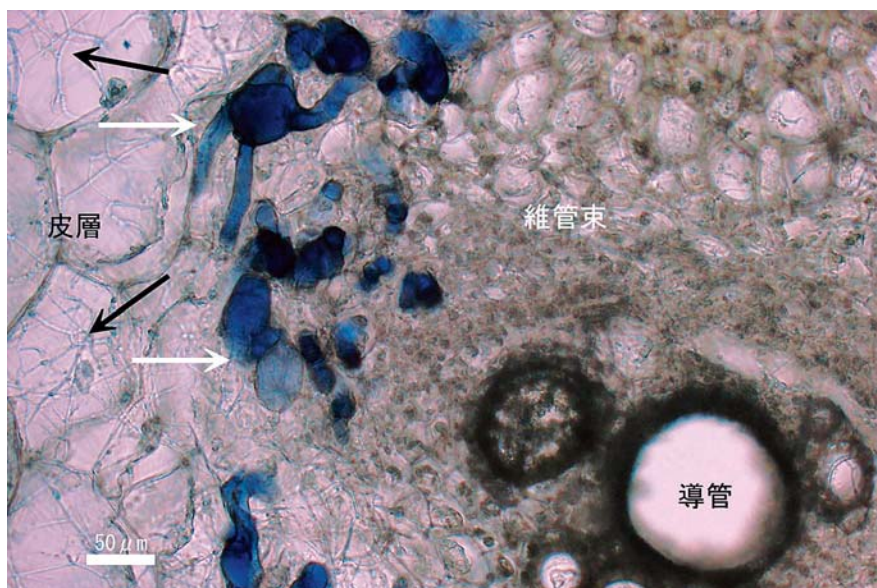


図3 1. キュウリ苗の根部組織内の菌糸
黒い矢印は皮層内の細い菌糸を、白い矢印は維管束周辺の太い菌糸を示す。菌糸はラクトフェノール・コットンブルー染色によって青色に染まっている。

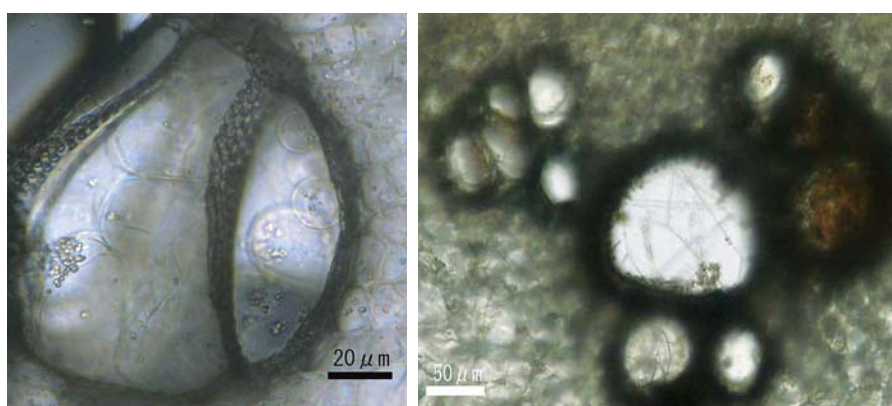


図3 2. 感染を受けたキュウリ苗根部の導管内に形成されたチロース(左)と侵入した菌糸(右)

(永坂 厚)

6. 防除対策

本病に対して最も有効な対策は圃場転換です。しかしながら、代替地を持たない生産者もいることから、薬剤による土壌消毒法を検討しました。土壌消毒を成功させるためにはいくつかの注意点がありますので、具体的な方法について下記に説明します。また、薬剤による土壌消毒法以外にも、抵抗性台木品種の検討や、熱水・蒸気消毒法について検討しました。これらについては「10. その他の防除対策」で述べますので、そちらを参照してください。

1) 薬剤の選抜

各種土壌消毒剤の本病に対する防除効果を表5に示します。ダゾメット微粒剤、カーバムナトリウム塩液剤、クロルピクリン・D-Dくん蒸剤、臭化メチルくん蒸剤、D-D油剤、有機銅粒剤、フルアジナム粉剤については実用的な効果が得られませんでした。一方、メチルイソチオシアネート・D-D油剤、クロルピクリンくん蒸剤（クロールピクリン、クロピクフロー、クロルピクリン錠剤、クロピクテープ）では、比較的高い防除効果が認められました。その中で、多彩な剤型があり、現地での薬剤防除の選択の幅が広がるクロルピクリンくん蒸剤について試験事例を蓄積し、その結果をもとに本剤は農薬登録（キュウリホモプシス根腐病への病害適用拡大）されました。

表5. 各種土壌消毒剤のキュウリホモプシス根腐病に対する効果

農薬の種類	農薬の名称	処理量	効果
クロルピクリンくん蒸剤	クロールピクリン	3cc/穴	○
〃	クロピクフロー	30L/10a	○
〃	クロルピクリン錠剤	10錠/m ²	○
〃	クロピクテープ	110m/100m ²	○
メチルイソチオシアネート・D-D油剤	ディ・トラペックス油剤	30L/10a	○
ダゾメット粉粒剤	バスアミド微粒剤	30kg/10a	△
カーバムナトリウム塩液剤	キルパー	60L/10a	△
臭化メチルくん蒸剤	サンヒューム	500g/16m ²	×～△
クロルピクリン・D-Dくん蒸剤	ソイリーン	30L/10a	×～△
D-D油剤	D-D92	20L/10a	×
有機銅粒剤	キノドー粒剤	20kg/10a	×
フルアジナム粉剤	フロンサイド粉剤	30kg/10a	×

2) 登録農薬

クロルピクリンくん蒸剤において、4タイプの剤型が農薬登録されました。使用する剤型は、圃場条件や作業体系で選びます。

表6. キュウリホモプシス根腐病に適用のある農薬の種類と使用基準

農薬の名称	クロルピクリン含有率(%)	使用回数	使用量
クロールピクリン	99.5	1回	1穴当り3ml
クロピクフロー	80.0		30L/10a
クロルピクリン錠剤	70.0		1m当り10錠
クロピクテープ	55.0		110m/100m ²

(堀越紀夫・岩館康哉)

3) 処理方法

土壌消毒は、マルチ畦内処理で行います。処理方法を検討した結果、マルチ畦内消毒は全面消毒と比べて防除効果が高いことを見出しました。この理由は、マルチ畦内消毒では耕起作業による消毒不十分な深層土壌と表層土壌との混和が起こらないためと考えられます(図33)。

処理方法

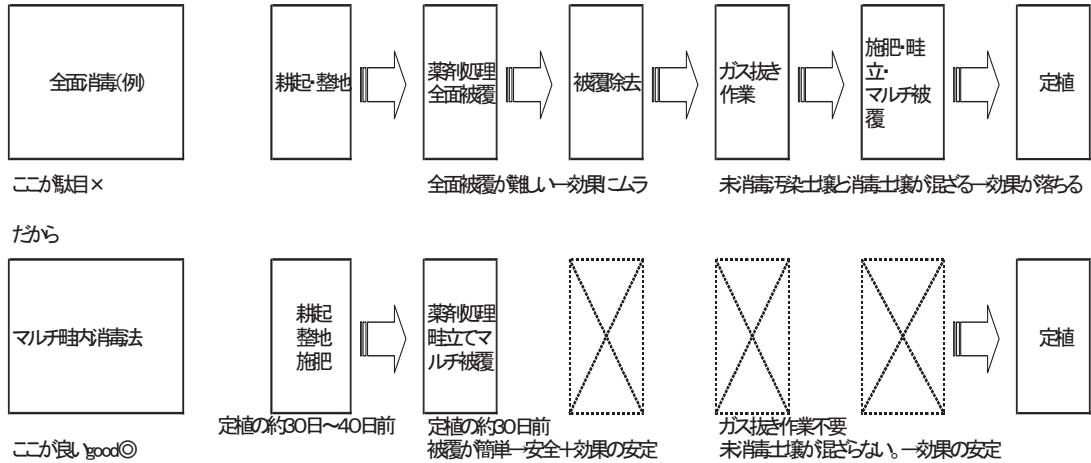


図33. 効果的な処理方法
(全面消毒では効果ムラが出やすい。マルチ畦内消毒は効果が安定。)

4) コスト

畦内処理とした場合の10a当たりの必要量、薬剤費、必要な機材、作業性等を表7に示します(マルチ被覆面積が処理面積となるため、10aあたりの実処理面積は6a~8a分程度となります)。

表7. 各薬剤を用いた防除方法と薬剤費

薬剤名	10a当たりの必要量	薬剤費	処理に必要な機材	作業性	留意点
クロルピクリン液剤 (クロールピクリン)	2缶 (10L入り)	約¥35,000	マルチ畦内土壌消毒機	○	・残液処理に難あり
クロルピクリン錠剤	17~20袋程度 (400錠入り)	¥70,000~ ¥110,000	自動マルチャー	○	
クロピクテープ	16~20袋 (28m入り)	¥70,000~ ¥110,000		△	・手作業でマルチ被覆
クロピクフロー	2缶 (15L入り)	約¥65,000	ポンプ・液肥混入器・ 灌水チューブ	△	・傾斜地には不向き ・用水確保が必要 ・残液処理に難あり

なお、薬剤費は、面積が10a(20m×50m)、畦本数が10本(アーチ5本)、1本の畦の長さ:45m、使用マルチ幅:1,350mmの場合を基準に試算しました。また、薬剤費は地域により多少異なります。

(堀越紀夫・岩館康哉)

5) その他の注意事項

- (1) 使用するマルチは、土壌くん蒸の効果を高めるため、幅 1,350mm 以上で厚さ 0.03mm とし、消毒畦幅を 90cm 程度確保してください。
- (2) 土壌消毒後のガス抜きは、未消毒土壌の混入を防ぐため実施しないでください（ガス抜き耕起によって土壌の再汚染が生じます）。なお、ガス抜き耕起は不要ですが、十分なくん蒸期間を確保した上で定植してください。
- (3) 本防除対策はマルチ畦内消毒です。通路部分は未消毒ですので、キュウリ苗を定植する場合は、畦の中央部へ植えてください（畦の肩部分に定植すると、根が早期に未消毒の通路部分に進展して発病します）。
- (4) 露地夏秋穫り作型など低温期に処理する必要がある場合は、ガス化が不十分となりやすいので、1ヶ月程度のくん蒸期間を確保してください。
- (5) 土壌消毒効果は1作のみです。次作への効果持続は期待できませんので注意してください。

6) 防除方法選択のフローチャートと薬剤毎の処理方法

ホモブシ根腐病による被害発生時の対応を検討するフローチャート（図3.4）と、使用する薬剤の処理方法について写真で示します。使用可能な機材に応じて防除方法を選択してください。

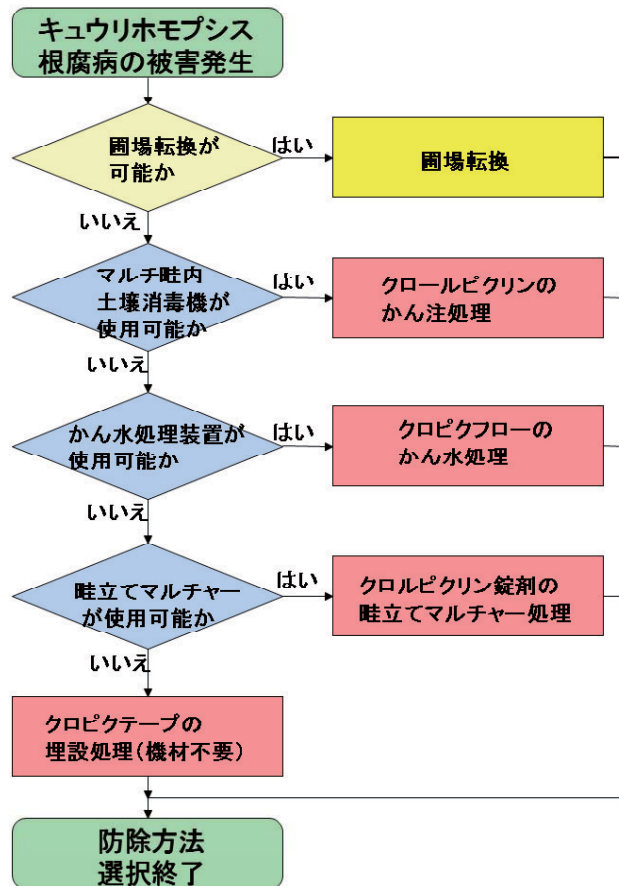


図3.4. 防除方法選択のフローチャート

(岩館康哉・堀越紀夫)

①クロールピクリンのマルチ畦内土壤消毒機による処理



・マルチ畦内土壤消毒機を用いることにより、畦立て・土壤消毒・マルチ被覆の一貫作業が可能になります。薬剤費はクロールピクリンくん蒸剤の中で一番安いのですが、マルチ畦内土壤消毒機の導入に80万円程度の費用が必要になります。

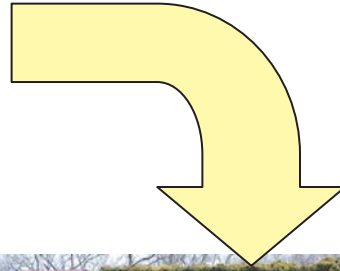
②クロピクフローのかん水処理



・マルチ内にかん水チューブを敷設し、液肥混入機とエンジンポンプを用いてクロピクフローをかん水処理します。薬剤コストは他の剤型に比較すると安い部類に入りますが、露地栽培では一般的ではない、かん水チューブの敷設が必要になります。一方、かん水チューブの利用が一般的なハウス栽培では利用しやすい処理方法です。

(岩館康哉・堀越紀夫)

③クロルピクリン錠剤の畦立てマルチャー処理



○マルチ内施肥と同じ要領で、錠剤を1㎡あたり10錠となるよう散布します。

○畦の長さでマルチ幅から一畦あたりの散布量を決定します。

(例：畦の長さ20m、マルチ幅1.35mであれば、一畦あたり散布量は270錠です。)

○錠剤を混和しながら、畦立てとマルチ被覆を同時に行います。

・耕起、整地後に所定量を地表面に均一にクロルピクリン錠剤を散布します。その後畦立てマルチャーを用いて畦立て・錠剤の混和・マルチ被覆を一連の作業で行うことができるため、作業が簡便な処理方法です。欠点は、薬剤コストが高めであることです。

④クロピクテープ処理



・畦の中央部に10～15cmの浅溝を作り、テープ剤を1本置きます(畦幅は90cm程度)。その後、直ちに覆土、被覆します。薬剤処理に特別な機材を必要としないので、取り組みやすい処理方法です。作業に当たっては、テープの埋設深が浅すぎたり、逆に深すぎた場合に効果にふれがでることがありますので注意してください。欠点は、薬剤コストが高めであることです。

(岩館康哉・堀越紀夫)

7. 土壌消毒の作用機作

「6. 防除対策」において、本病に対してはクロロピクリンくん蒸剤による土壌消毒が最も効果的な防除対策であるとともに、その処理方法として全面消毒よりもマルチ畦内消毒の方が防除効果が高いことを示しました。

一方、マルチ畦内消毒を行った場合、薬剤の消毒効果は畦外の土壌までは及びません。キュウリの根は栽培期間中に畦の外（通路）まで伸長するため、畦外に伸びた部位は感染を受けてしまいます（図35）。このように根の感染は避けられないにもかかわらず、なぜマルチ畦内消毒法は高い防除効果を示すのでしょうか。

マルチ畦内消毒を行った後の土壌内における汚染部位（病原菌の生息部位）を考えてみると、苗を定植する部位から汚染部位までに距離が発生することになります（図35）。そのため、この距離が発病にどのように影響するのかを確かめる必要があります。また、畦外まで伸長した根が感染を受けても萎凋症状の発症が抑制されるメカニズムを明らかにするためには、根の発病が植物内の水分移動にどのような影響をもたらして萎凋症状を引き起こすのかを確かめる必要があります。

本章ではマルチ畦内消毒の作用機作を明らかにするために

- ・株元から汚染部位までの距離と発病との関係
- ・キュウリの根の発病程度が導管液量や萎凋症状の発現に与える影響について調査した結果を示します。

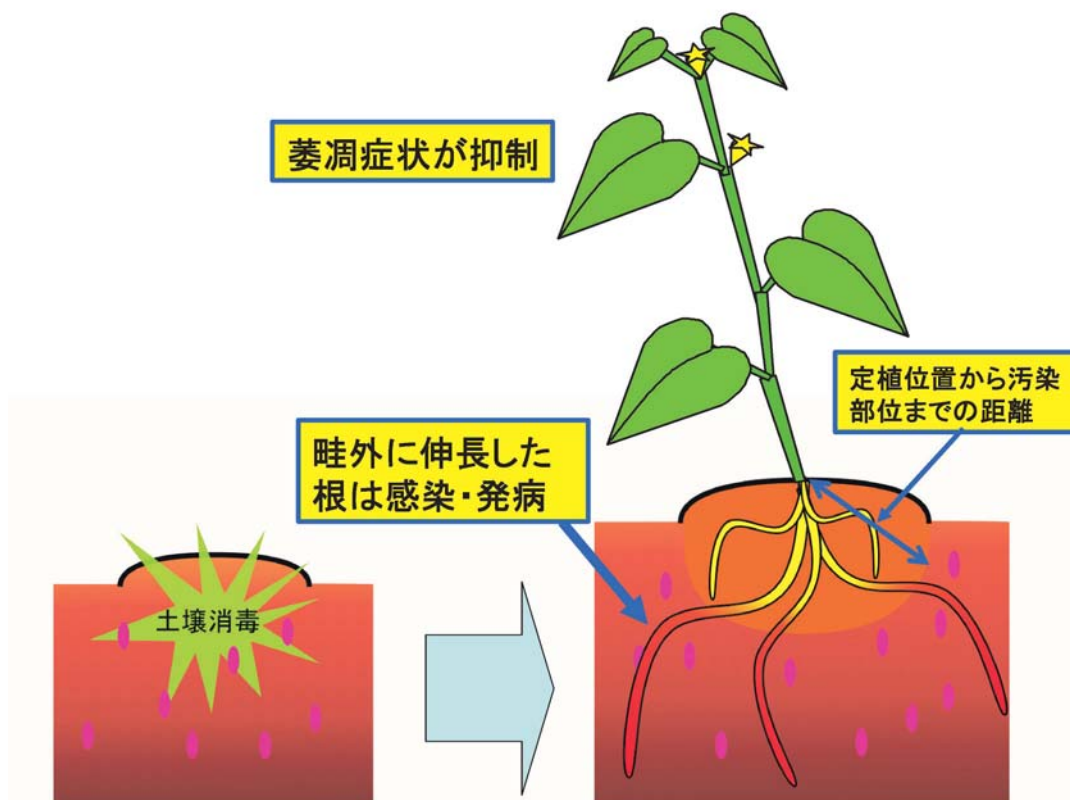


図35. マルチ畦内消毒の模式図

(永坂 厚)

1) 株元から汚染部位までの距離と発病との関係

- ・積層土壌カラムを用いて株元から汚染部位までの距離(DIS)を 5cm 単位で 0~25cm まで段階的に変化させるモデル試験を行いました(図36、37-A)。その結果、株元から汚染部位までの距離が離れるにつれて萎凋症状の発症時期が遅れることが確認されました(図38)。
- ・また、根が汚染部位まで伸長すると推定される時間よりも長期間にわたり萎凋症状の遅延がおこることが分かりました。健全土壌カラムの上面に移植されたキュウリの根は移植後約 25 日以内にカラム下端まで伸長します(図37-B)。これに対し、DISが25cmの場合はDISが0cmの場合と比較して萎凋症状の発症が約73日遅延します。(図37-B、図38)。

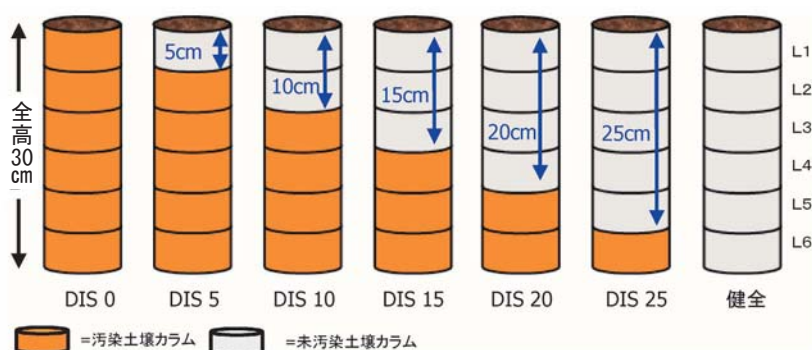


図36. 株元から汚染部位までの距離が異なる7種類の土壌カラム

未汚染土壌カラムと汚染土壌カラムとの組み合わせによって7種類の積層土壌カラムを作成した。カラムは高さ5cm、直径11.5cmの塩化ビニル製パイプ。未汚染土壌カラムに園芸用培土を、汚染土壌カラムにはホモフシス根腐病菌 PS0401FK株の生菌体を 1.3×10^3 g/g 乾土となるように園芸培土に混和したものを詰めた。DISは積層土壌カラムの上面から汚染部位までの距離を表す。また積層土壌カラムの各層を上からL1,L2,L3,L4,L5,L6とする。

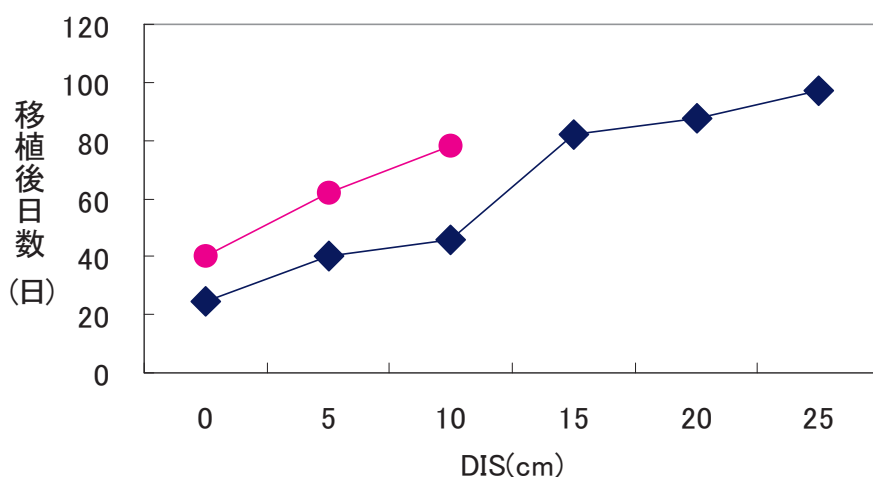


図38. 株元から汚染部位までの距離がキュウリの萎凋症状に与える影響

DISが異なる6種類の土壌カラムをそれぞれ3個供試して上面にキュウリ苗を移植し、萎凋症状の発症経過を観察した。◆は試験区のいずれかの個体が初めて萎凋症状を示した日、●は全ての個体が全身に萎凋症状を示して回復不能となった日を示す。株元から汚染部位まで25cm離れた場合は萎凋症状の発症が73日ほど遅延する。

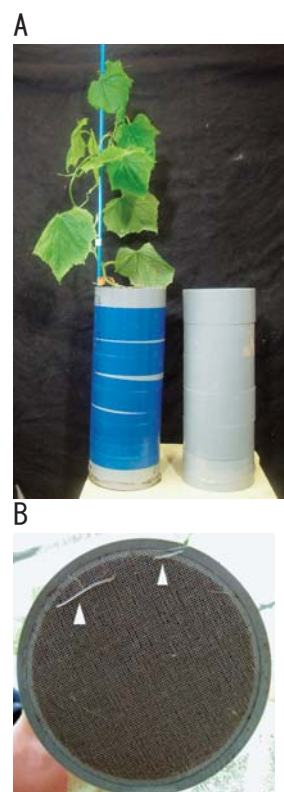


図37. 健全の積層土壌カラムで栽培したキュウリ
A:左:外観 右:カラムのみ

B:カラム底面まで伸長した根(矢印)。全高30cmの土壌カラム上端に植え付けたキュウリの根は約25日で下端に達する。

(永坂 厚)

- ・ 土壌カラムを用いた試験では未汚染層内の根にも発病の拡大が見られました。しかし汚染層から離れた部位ほど発病が低下し、それに伴って萎凋症状も抑制されました。このことから、根が感染を受けても株元側の部位が感染を免れた場合は、萎凋症状が抑制されると考えられます(図39)。
- ・ 株元から汚染部位までの距離が離れていると汚染部位では健全植物体と比較して根量が減少しますが、株元の未汚染部位では逆に増加する傾向が見られます。(図39)。

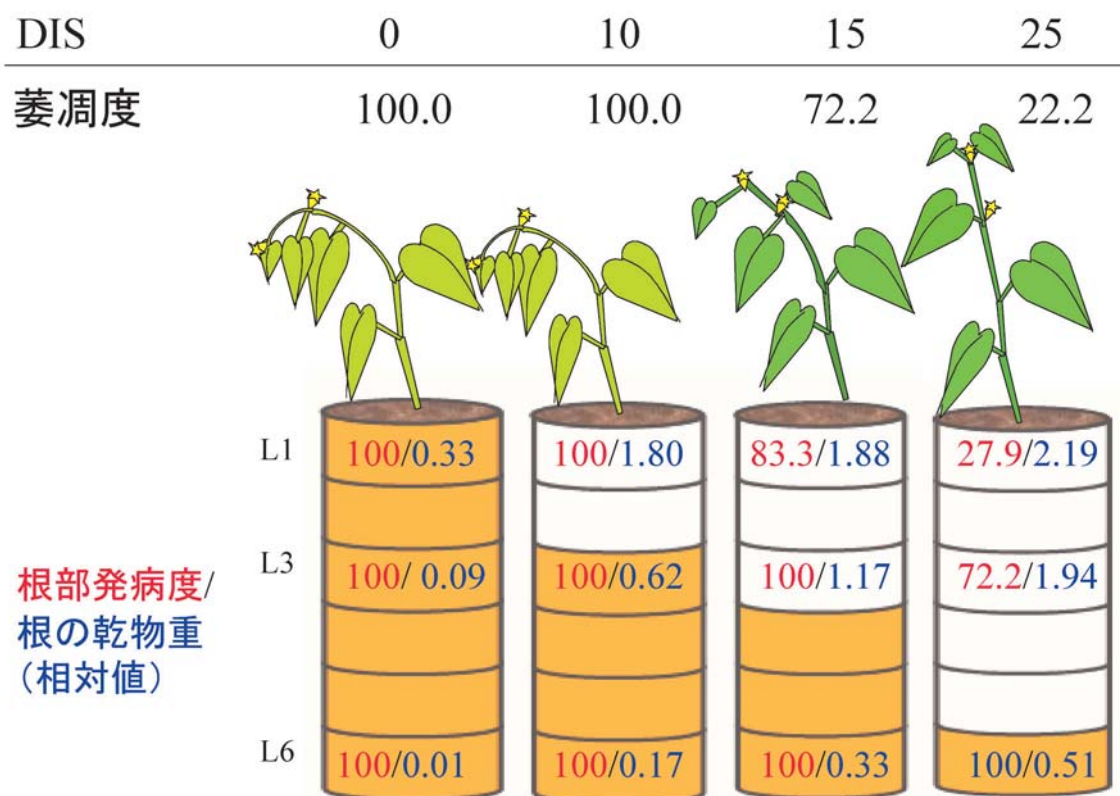


図39. 株元から汚染土壌までの距離がキュウリの萎凋症状および根の発病や生育に与える影響
 キュウリ苗を移植した積層土壌カラムを移植104日後に萎凋症状の発症程度を調べ、106日後に層別に分割して層別に根の発病程度と乾物重を調べた。ここではL1,L3,L6の結果のみを示す。乾物重は無接種健全個体に対する相対値。

(永坂 厚)

2) 根部の発病程度がキュウリの導管液量や萎凋症状の発現に与える影響

- 人工的にキュウリ苗にホモプシス根腐病菌を接種した試験から、根が発病したキュウリ苗では萎凋症状を示さないものでも根部の発病程度に応じて導管液^{注1}の量が減少していることが分かっています (図40)。

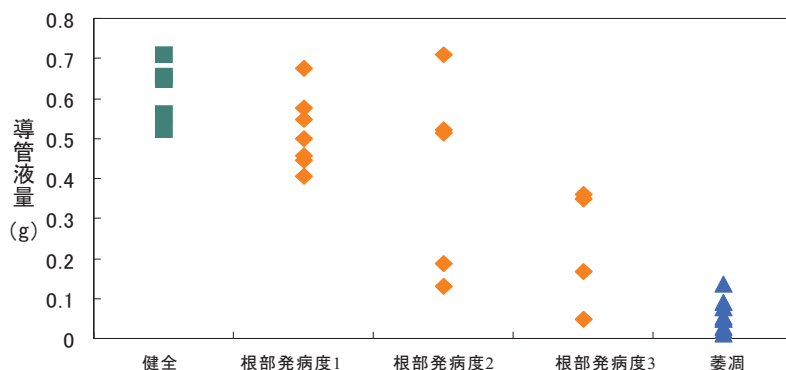


図40. ホモプシス根腐病菌の感染がキュウリ苗の導管液量に与える影響

ポットで栽培したキュウリ苗に病原菌を接種して、その24日後に根部および地上部の発病調査を行うとともに、子葉直下の主茎を切断して切断後1時間に溢泌する導管液量を測定した。■は無接種の健全個体(5個体)、◆は接種後地上部が無発症の個体(24個体)、▲は接種後萎凋症状を示した個体(8個体)。地上部が無発症の個体は測定後に根部発病程度を1-3の3段階として評価し、それぞれの発病程度毎に比較した。ただし、根部発病程度1=側根基部のみ褐変、根部発病程度2=株元表面に僅かな褐変、根部発病程度3=株元表面に広範囲の褐変。

- また、根腐症状を発症した植物体でも接ぎ木によって追加した健全根から導管液が供給されると萎凋症状を示しません (図41)。

A



B



図41. 根腐症状の程度が地上部の萎凋症状に与える影響

2個体のキュウリ苗を逆Y字型に接ぎ木して2本の根を持つキュウリ苗を作成し、その片方の根(A)あるいは両方(B)にホモプシス根腐病菌を接種した。写真は接種36日後の外観(A、Bともに写真左)と株元の発病の様子(A、Bともに写真右)。両側の根に接種した場合は根の発病が株元まで拡大し萎凋症状を示すが、片方の根に接種した場合は萎凋症状を示さない。矢印は株元の発病を示す。

- このことから、根腐症状を起こした根部が導管液を十分に送り出せなくなることが本病の萎凋症状の主因と考えられます。

注1: 根が吸収した水分や養分を含む、植物の導管内を根から地上部に向かって流れる液。

(永坂 厚)

3) まとめ

- ・以上の結果から、株元から汚染部位までの距離が離れると以下の理由によって萎凋症状の発症抑制が起こると考えられました（図4 2）。
 - ① 根が伸長して汚染部位に到達するまでの期間、感染時期の遅延がおこる。
 - ② 根が汚染部位まで伸長して感染を受けても、感染を免れた株元側の部位が導管液を供給する能力を維持する。
 - ③ 感染を免れた株元側の部位における根の発達が促進される。
- ・また、株元から汚染部位までの距離が離れるにつれて萎凋症状の発症がより遅延・抑制するという関係が見られました。これは未汚染部位に伸長する根の量が多いほど発病部位の拡大による導管液の供給能力の低下が起こりにくいためと考えられます（図4 2）。
- ・このことからマルチ畦内消毒後の栽培では畦内に伸長する根量を多く確保することや、その健全性を保つことが重要と考えられます。
- ・畦外まで伸長して感染を受けた根は導管液を送り出す能力が低下していることが予想されます。このため、マルチ畦内消毒後は水分ストレスをかけないような栽培管理も重要と考えられます。

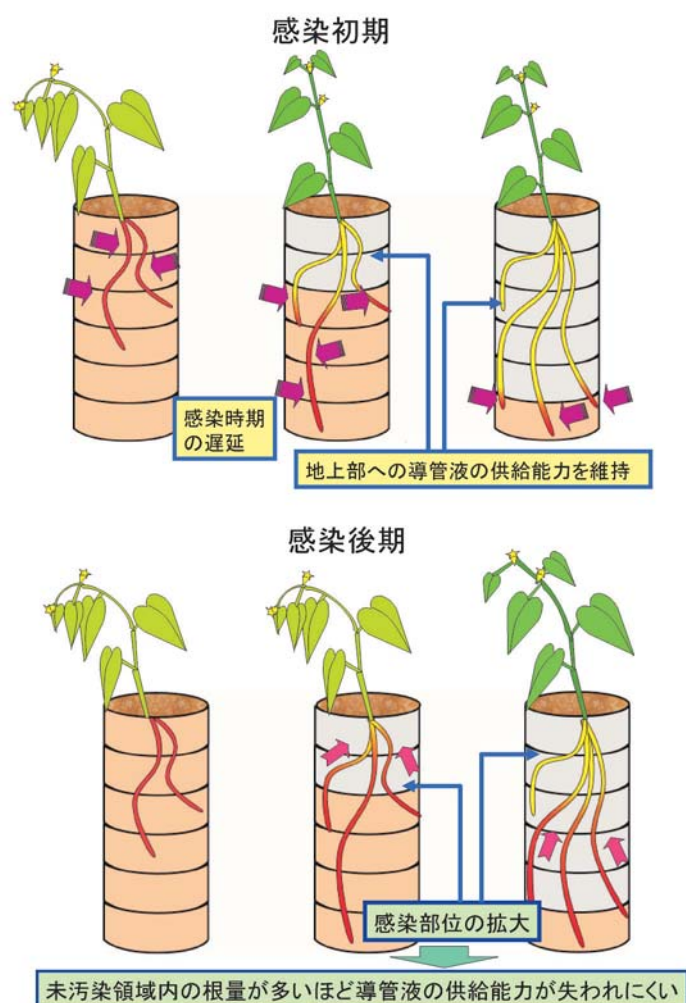


図4 2. 株元から汚染部位までの距離が発病抑制に与える影響の模式図

(永坂 厚)

8. 土壌消毒と根域制御を併用した防除体系

ホモプシス根腐病に対して最も効果のある防除対策は、クロルピクリンくん蒸剤を用いたマルチ畦内消毒です。しかし、この手法は、ホモプシス根腐病に汚染された圃場から病原菌を完全に除去する訳ではなく、未消毒の通路部分は病原菌に汚染された状態になっています。そのため、従来の栽培方式では未消毒部分からの感染リスクが高いことが予想されました。そこで、土壌消毒の効果をより高め、かつ栽培期間を通じて効果を持続させるための栽培方式を検討しました。

本研究では、感染リスクを低減するための手法として2つの方式を考案し、それぞれについて栽培上の注意点や防除効果等を検討していますのでご紹介します。

a. 隔離ベッド栽培方式

隔離ベッド栽培方式とは、畦内にシート等を埋め込むことによって根と汚染土壌を物理的に隔離し、作物の根を消毒された土壌内だけに制限する方式です。これにより、消毒された畦内の土壌と未消毒の畦外の土壌が混和することがなくなるとともに、根が未消毒部位へ出ていくことがなくなるため、防除効果が極めて高くなることが考えられます。しかし、根が一定の範囲に制限されることにより土壌の緩衝能が低下するため、例えば養液土耕栽培のような、綿密なかん水と施肥管理が必要となります。

ここでは、露地夏秋キュウリ栽培に対応した隔離ベッド栽培方式について、土壌消毒とかん水・施肥システムを組み合わせた手法について紹介します。

1) 栽培方法

ベッドを隔離する方法としては、作業性などが異なる2つの手法を検討しました。①防根透水シートを畦下に埋め込みその上に土を入れて畦を作りマルチを張る方法（防根透水シートとマルチで筒状の畦になります）と、②波板を箱状に組み上げ防根透水シートを敷き、その中に土を入れる方法です（図4 3）。いずれの方式にも、かん水と液肥のコントロールが可能なシステムを組合せ、栽培を行いました（図4 4）。液肥は毎朝1回施用し、その後は水分センサーを元にかん水を自動的に行いました。

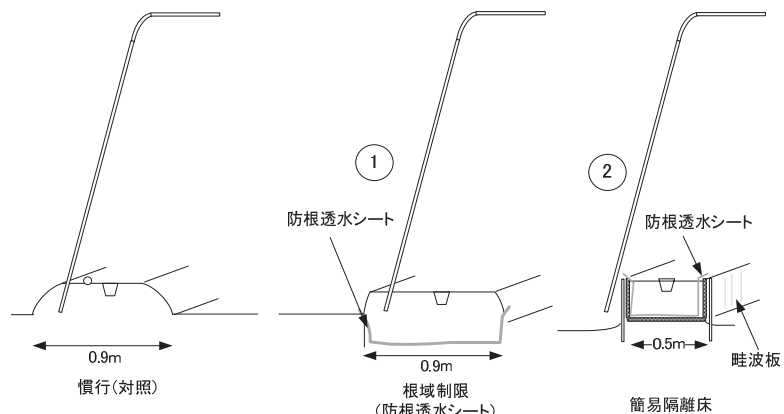


図4 3. 隔離ベッド栽培方法

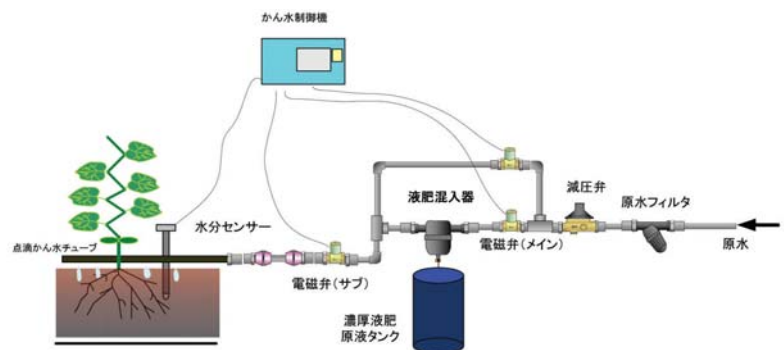


図4 4. かん水・施肥システム概略図

(太田弘志)

これらの方式による
隔離ベッド栽培では、
収量は以下のように推
移しました。

①梅雨時頃までは頻
繁にかん水ができな
いため、出荷始めか
ら中盤の収穫量はや
や少なめに推移。②
収穫期の後半にかけ
ては、安定した水分
と肥料の供給が行わ
れることから、後半
は収量が増加。

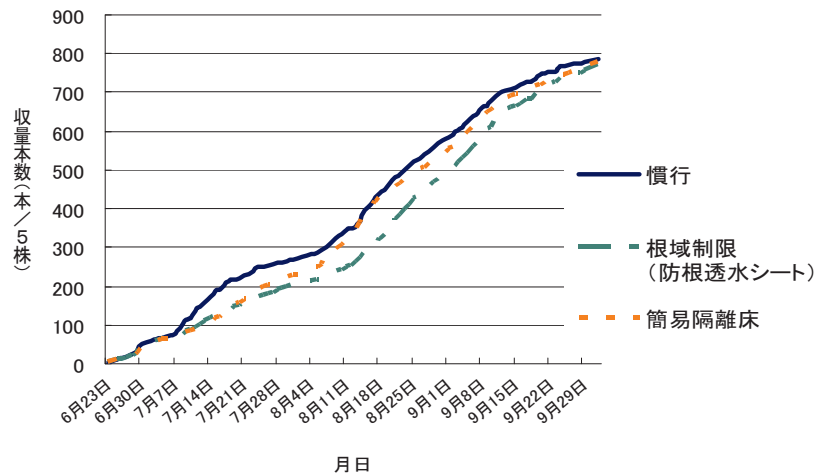


図4 5. 根域制御栽培によるキュウリ果実収穫量の推移

最終的には慣行栽培と同程度の収量を得ることができ、隔離栽培で懸念された草勢の低下や減収を抑えることができました。特に、土壌水分に応じて自動的にかん水制御を行うことができるため、夏期が高温傾向にある昨今においては、有効な技術であると考えられました (図4 5)。

2) 防除効果

クロルピクリン錠剤の畦内土壌消毒と隔離ベッド栽培 (防根透水シートを埋め込む方式) との併用により、隔離ベッドを作らずにクロピク処理のみを行う場合よりも、根の発病度が低く抑えられたことから、隔離ベッドの利用は防除効果を高めることがわかりました。(図4 6)。

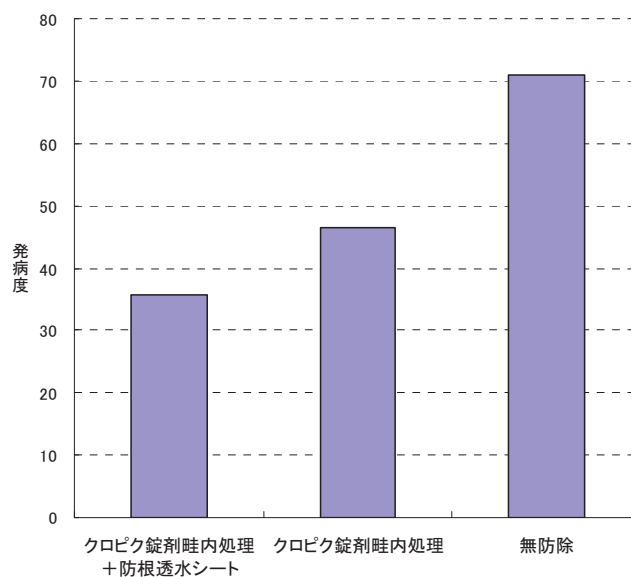


図4 6. 隔離ベッド栽培とクロピク錠剤併用時の防除効果

(太田弘志)

クロピクフロー畦内土壌消毒と隔離ベッド栽培（防根透水シートを埋め込む方式①）との併用についても試験を行いました。その際、土壌消毒時に使用した簡易液肥混入機を再度活用し、かん水・施肥を半自動化するシステム（図47～49）と組み合わせました。

その結果、クロピクフローと隔離ベッド栽培との併用でも、防除効果が向上しました（図50）。したがって、クロルピクリンの剤型によらず、隔離ベッドとの併用は防除効果が高まることがわかりました。



図47. クロピクフロー処理



図48. かん水・施肥機器の設置状況

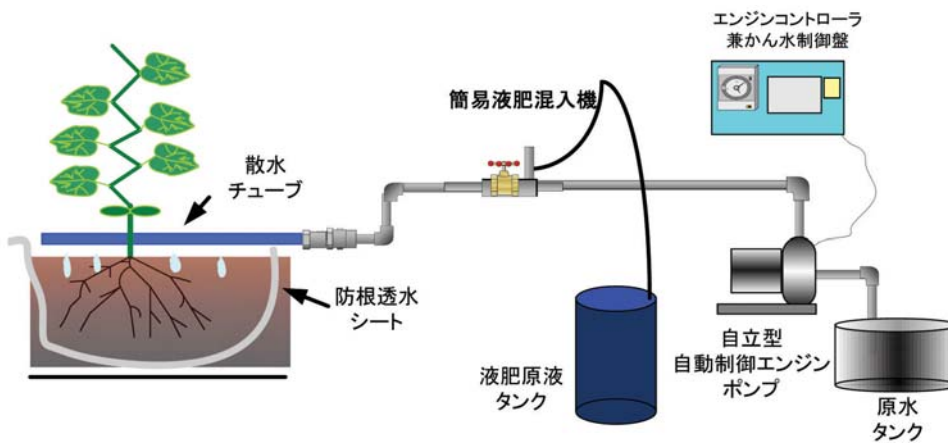


図49. 設置概略図

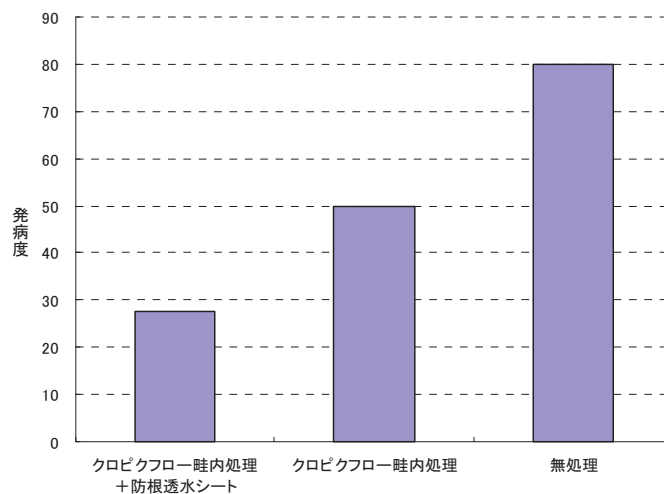


図50. 隔離ベッド栽培とクロピクフロー併用時の防除効果

(太田弘志)

b. マルチ裾埋め込み栽培方式

マルチ裾埋め込み栽培法は、畦幅を慣行のままとして、高畦やマルチ裾を深く埋め込むことでキュウリ根域を畦内に長期間とどめておくことを目的とした方法です（図5 1）。

この栽培方法にクロルピクリンくん蒸剤のマルチ畦内消毒を組み合わせることによって、消毒済み土壌内に根域を長期間とどめておくことが可能になり、土壌消毒効果が向上します。

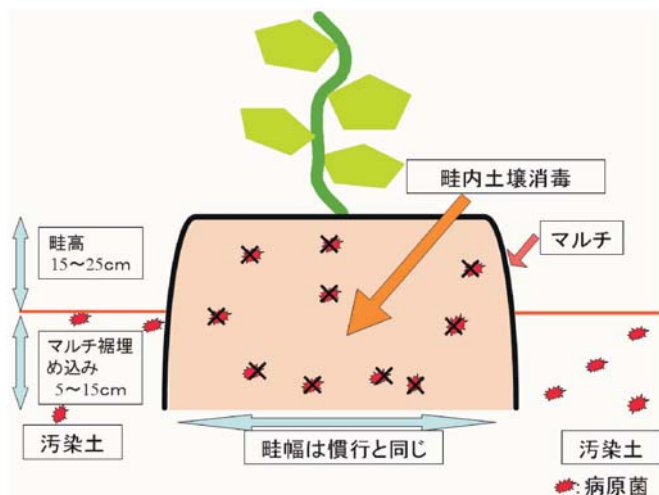


図5 1. マルチ裾埋め込み栽培方式模式図

1) 栽培方法と防除効果

(1)キュウリホモプシス根腐病を対象としたクロルピクリンくん蒸剤によるマルチ畦内土壌消毒を行う場合、畦幅を90cm程度（1,350mm幅マルチ相当）とすると、慣行の60cm程度（950mm幅マルチ相当）に比較して防除効果が高まります（図5 2）。

(2)慣行畦幅とする場合でも、畦の高さを15cm、マルチの裾を15cm程度埋め込むことによりマルチ畦内土壌消毒の効果は高まります（図5 3）。

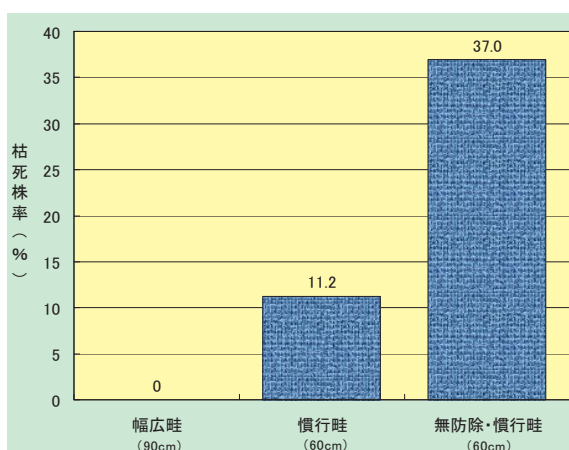


図5 2. 土壌消毒畦幅と防除効果

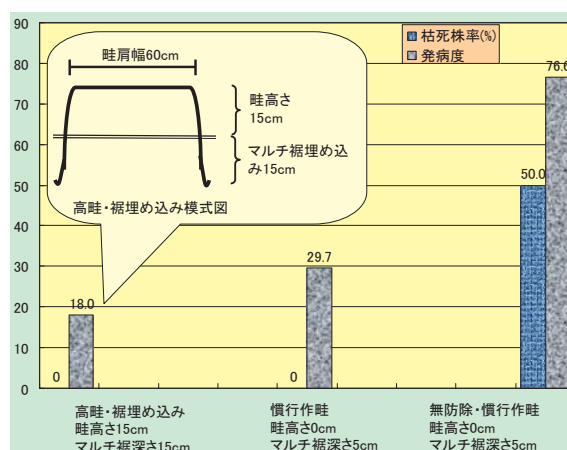


図5 3. 畦形状と防除効果

(岩館康哉・山口貴之・山田 修)

(3)マルチ畦内土壤消毒後は、畦の肩付近に苗を定植すると防除効果が劣るので注意が必要です(図54)。

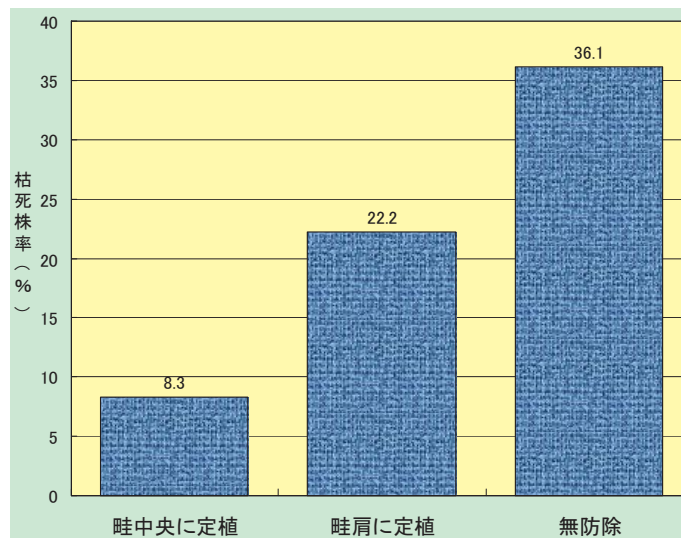


図54. 消毒後の苗定植位置と防除効果

【留意事項】

- a. 土壤消毒畦幅を広くする場合は、使用薬量もマルチの幅に応じて増量する必要があります。
- b. 土壤消毒効果は1作のみで、次作への効果持続は期待できません。

(4)土壤消毒と根域制御を併用した防除の事例を図55に示します。



図55. 土壤消毒と根域制御を併用した防除の事例

左：マルチ裾埋め込み栽培方式（高畦15cm、裾埋め込み15cm）＋クロピクフローによる土壤消毒区
右：無処理区

(岩館康哉・山口貴之・山田 修)

2) 効果的な作畦方法

マルチの裾埋め込みや高畦栽培により、できるだけ遅くまでキュウリの根をマルチ外に出さないような管理をすることにより、より防除効果を高めることができ、収量も増加することが分かりました。そこで、効率的にマルチの裾埋め込みや高畦作成を行う手法について検討しました。

作畦については、慣行の平畦栽培も含め6つの方法を検討したところ、タバコ畦立マルチャーを利用した高畦が最も効率的でした。

作畦は、生産者が比較的利用しやすい機械を中心に選定し、それらについて作業効率を検討しました。方法の違いによる畦の高さやマルチの埋め込みの深さは表8の通りです。

(1) 裾埋め込み区(畦高 15cm+マルチ埋め込み 15cm)

本手法は、マルチャーで畦を作り、マルチングとマルチの裾埋め込みは人力で行うものです。15mの畦では、作畦に1人で3分。マルチングとマルチの裾埋め込みには4人で7分かかりました。

表8. 作畦方法の違い

試験区No.	使用機械	マルチング方法	マルチ埋め込み方法	畦の高さ (cm)	マルチ深 (cm)	15m畦1本当たり作業時間(人分)
1 裾埋め込み	管理機(6ps)	人力	人力	15	15	1人×3分+4人×7分
2 管理機・マルチャー	管理機(9ps)	機械	マルチャー	15	5	1人×3分
3 ネギ培土	ネギ培土機	人力	人力	15	15	2人×5分+4人×7分
4 高畦	トラクタ	機械	タバコ畦立マルチャー	25	5	1人×2分
5 幅広	なし	人力	人力	0	5	4人×15分
6 平畦	なし	人力	人力	0	5	4人×15分

(2) 管理機・マルチャー区

(畦高 15cm+マルチ埋め込み 5cm)

本手法は、マルチャーを装着した管理機で、畦立からマルチ張りまで行うものです。15mの畦では、1人で3分かかりました(図5 6)。

(3) ネギ培土区 (畦高 15cm+マルチ埋め込み 5cm)

本手法は、ネギ培土機を利用し、15cmの畦立てを行うものです。マルチングとマルチ裾埋め込みは人力で行います。15mの畦では、作畦に5分かかりましたが、土壌の飛散を防ぐためのサポートが必要になります。また、マルチングとマルチの裾埋め込みは、(1)と同じです。

(4) 高畦区 (畦高 25cm+マルチ埋め込み 5cm)

本手法は、タバコ栽培で利用される(岩手県はタバコ栽培が盛んです)畦立て機を利用するものです。トラクタに装着して利用しますが、15mの畦で2分で作畦ができます。また、マルチングも同時に行うことができます(図5 7)。

(5) 幅広区 (畦高 0cm+マルチ埋め込み 5cm)

本手法は、畦の幅を広く取ることで、土壌消毒の効果を高めるものです。マルチングは人力で行い、4人がかりで15分かかりました。

(山口貴之・山田 修)

(6) 平畦区 (畦高 0cm+マルチ埋め込み 5cm)

本手法は、岩手県でのきゅうり栽培で慣行的に行われる手法です。マルチングは人力で行い、4人がかりで15分かかりました。

これらの手法を総合的に判断したところ、(4)高畦区が最も効率的であることが分かりました。



図5.6. 管理機・マルチヤー区



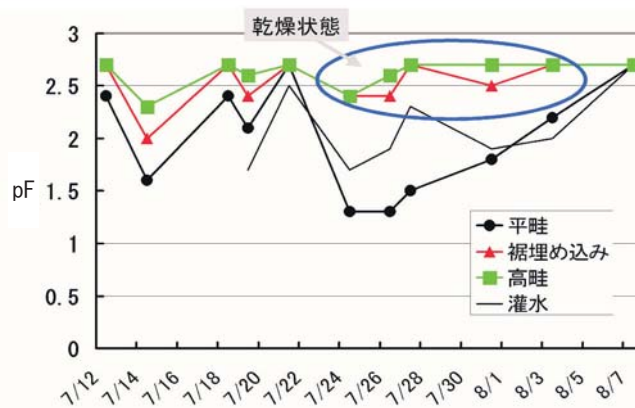
図5.7. 高畦区

3) 土壌水分管理

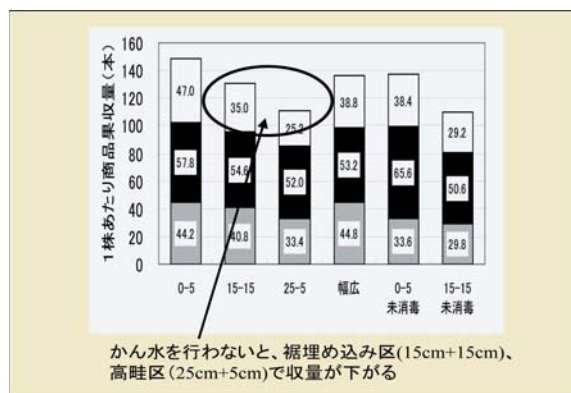
マルチ裾埋め込み区も高畦区も、慣行栽培に比べて畦が高くなるため、土壌が乾燥しやすくなり収量低下を招くのではないかと懸念されます。

そこで、pFメーターを用いて土壌水分を調査したところ、7月から8月にかけての夏の暑い盛りではやはり乾燥状態となりました。また、このように、夏期に乾燥状態になった場合、収量も低下しました(図5.8)。

しかし、定期的にかん水を行いながら乾燥を防いだ場合は、逆に高畦系の区の方が収量が高いことが分かりました(図5.9)。



7月以降、高畦・裾埋め込みは乾燥状態になった(H17)



かん水を行わないと、裾埋め込み区(15cm+15cm)、高畦区(25cm+5cm)で収量が下がる

図5.8. 無かん水条件下におけるpF値と収量

(山口貴之・山田 修)

以上のことから、タバコ畦立て機等を利用して簡便に高畦の作畦を行い、かん水チューブを入れてからクロロピクリンでマルチ畦内処理を行う。そして、栽培期間中にはpFメーター等を用いて、定期的にマルチ内にかん水を行って、極度の乾燥状態を作らないような水分管理を行うことにより、ホモプシス根腐病を回避するだけでなく、慣行よりも高い収量が得られることがわかりました。

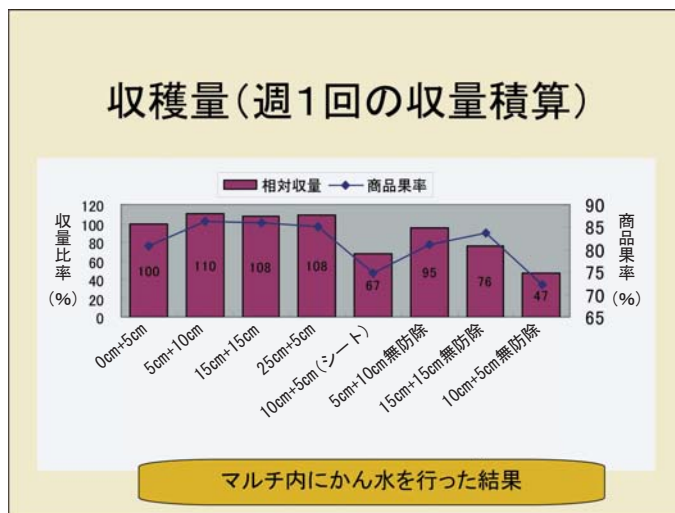


図59. かん水による収量の増加

4) 肥培管理

平成19年度の試験では、肥効調節肥料(140日タイプ)を従来の7割程度とした場合でも、慣行と遜色ない収量が得られました。

本手法は、できるだけ根をマルチ内に抑える栽培手法ですので、慣行栽培よりも肥料を吸収できる根の分布が限られています。そのため、マルチ内に重点的に施肥を行い、圃場全体としては肥料の量を減らせるのではないかと考えました。

また同時に、土壤消毒による地力窒素の発現も考慮に入れ、これによる減肥も併せて検討しました。施肥方法の違いは表9のとおりです。

本試験は平成19年度に実施したものであり、まだ1年間の結果ではありますが、肥効調節型肥料(140日タイプ)を慣行の7割の量とした区(施肥はマルチ内。追肥なし)でも、慣行と遜色ない収量が得られています(図60)。

今後は、本手法により適した肥培管理を検討し、減肥による資材費の低減や環境負荷の低減にも寄与できるものと考えています。

表9. 施肥条件の違い

試験区No.	基肥施用位置	基肥肥料形態	追肥施用方法	土壤消毒
1 (対照区)	全面	化成	粒状通路散布	○
2	マルチ内	化成	粒状通路散布	○
3	〃	化成	かん水施肥	○
4	〃	化成30%減	かん水施肥	○
5	〃	ロング30%減	なし	○
6	〃	ロング30%減	なし	×

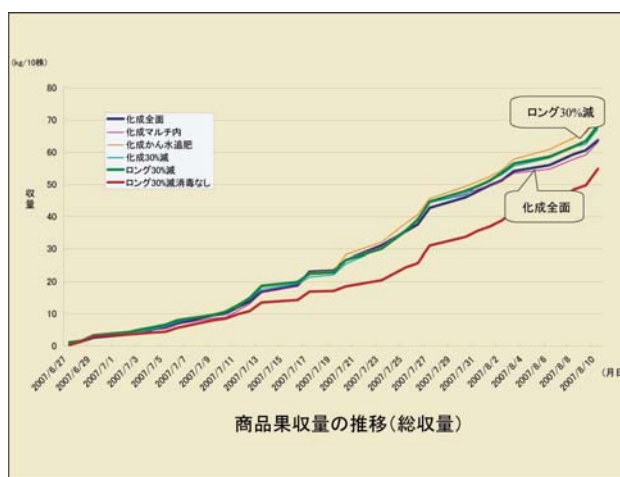


図60. 施肥の違いが収量に与える影響

(山口貴之・山田 修)

9. 根域制御栽培に利用できる自動かん水施肥システム

根域制御栽培では、高畦化による土壌の乾燥や、株あたりの土量が制限されることから、水分や肥料を適切に管理することが重要とされます。

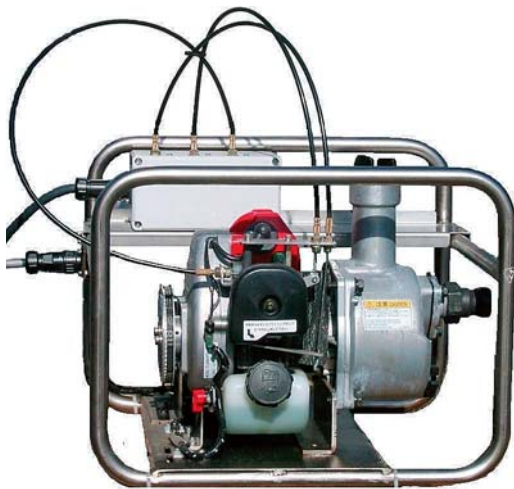
そのためには、かん水施肥を自動化し安定したかん水施肥を行うことが望まれますが、露地圃場では電源のないところが多いため、バッテリーで駆動・制御できるかん水施肥システムが必要です。

無電源自立型エンジンポンプを使用した自動かん水施肥システムは、電源供給のない所でも自動でかん水施肥が可能となり、計画的な管理栽培が可能となります。

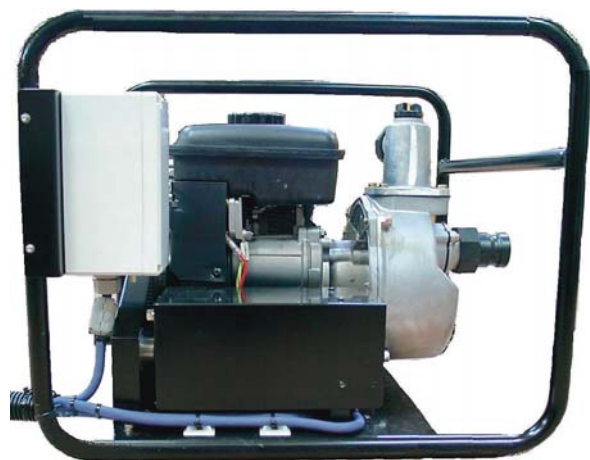
1) 無電源自立型エンジンポンプ

無電源自立型エンジンポンプの電源には二次電池（バッテリー）を使用しており、待機中に消費した電力を運転中に自己充電します。このため、充電器による補充電を行うことなく、長期間の運用が可能です。

無電源自立型エンジンポンプには、小型（1インチポンプ）と中型（1.5インチポンプ）の2種類があり、圃場の規模に合わせた選択が可能です（図6-1）。また、アクセル設定を低・中・高の三段階としており、使用するチューブの種類や長さに応じた運用が行えます。



小型エンジンポンプ
(1インチ)



中型エンジンポンプ
(1.5インチ)

図6-1. 無電源自立型エンジンポンプ

この無電源自立型エンジンポンプを使用することで、常に安定した水圧が得られ、点滴チューブや散水チューブによる定圧かん水が行えます。

(松崎辰夫・小沼国光)

2) かん水施肥コントローラ

かん水施肥コントローラは、自立型エンジンポンプ制御の他に、ラッチ式電磁弁制御、センサー入力等を備えており、かん水施肥開始時刻、運転時間、運転間隔の設定、実施したい内容（かん水／施肥等）を設定することで、タイマーやセンサー等の組み合わせによるかん水・施肥の自動運転が可能です（図6 2）。

自動運転のスケジュールは最大で8件まで登録することができ、栽培形態に合わせたこまめなかん水・施肥を行うことができます。

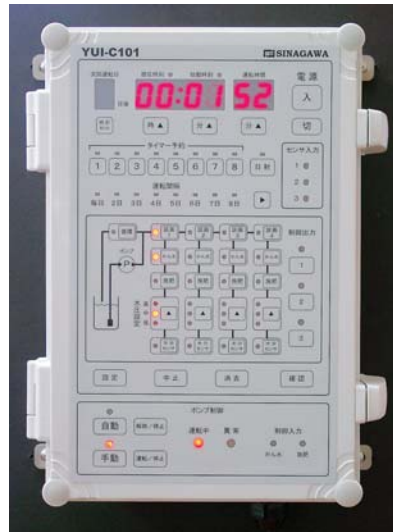


図6 2. かん水施肥コントローラとラッチ式電磁弁

3) 無電源自立型エンジンポンプを組み込んだシステム

自立型エンジンポンプとかん水施肥コントローラおよび電磁弁等を組み合わせた自動かん水施肥システムのモデル接続例を図6 3に示します。

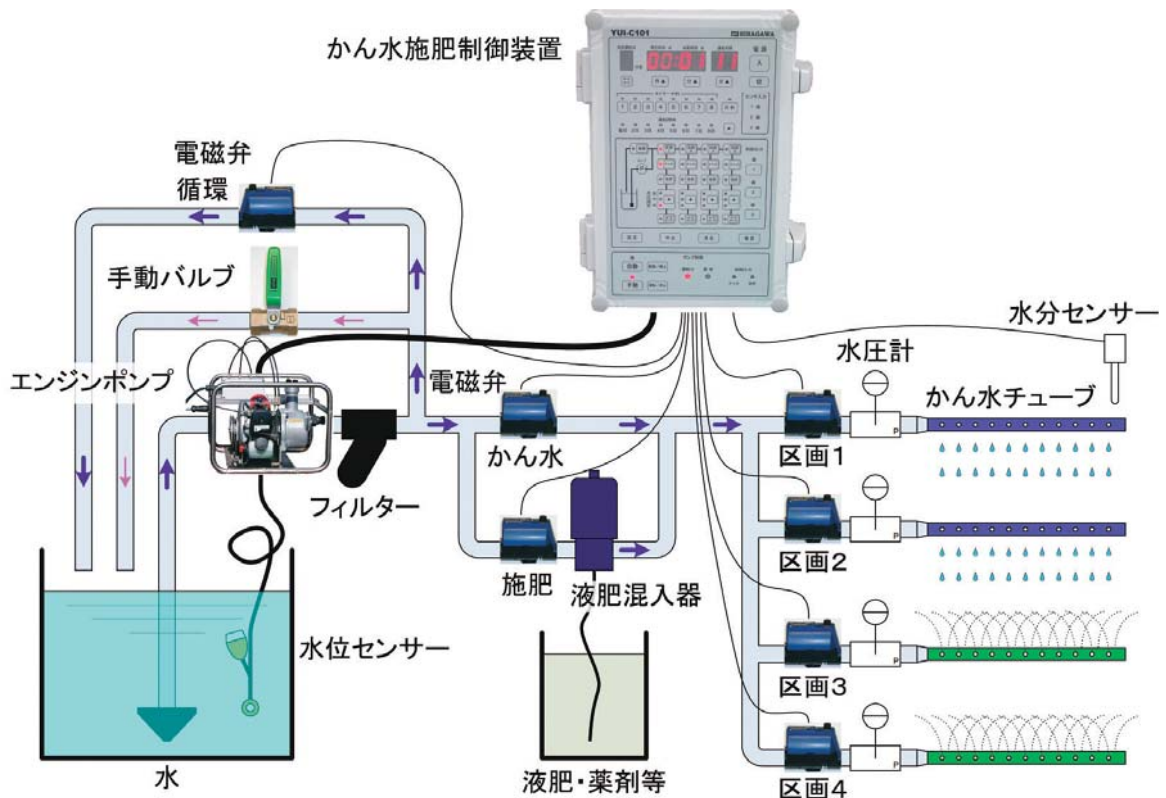


図6 3. 自立型エンジンポンプとかん水施肥コントローラを使用した自動かん水施肥システム・モデル接続例

(松崎辰夫・小沼国光)

10. その他の防除対策

本防除マニュアルでは、主にクロルピクリンくん蒸剤による土壌消毒を主体とした内容について説明してきましたが、その他に検討を行った防除対策について長所や短所を含めて紹介します。

1) 熱水土壌消毒・蒸気消毒

ホモプシス根腐病菌は熱に弱く、40℃程度の温度が確保できれば2日程度で死滅することが知られています。そこで熱水土壌消毒と蒸気消毒について試験を実施し、効果を確認しました。

1. 熱水土壌消毒：全面処理（神奈川肥料製 {牽引式, チューブ式} を使用）

平成16年に試験を実施しましたが、発病抑制効果は認められましたが、根の発病（黒変）が多く、満足する防除効果は得られませんでした（表10）。

2. 蒸気消毒：マルチ畦内処理（丸文製作所, SB-500 を使用）

平成16年に試験を実施し、高い防除効果が得られました（表10）。蒸気消毒法も、熱による殺菌という点で、熱水土壌消毒と基本的な原理は同じです。今回の蒸気消毒の試験では、処理手法を全面消毒ではなく、マルチ畦内消毒としたことにより、処理後の耕起を実施しなかったことが高い防除効果が得られた要因と考えられました。

表10. 熱水土壌消毒・蒸気消毒の防除効果

熱水消毒

試験年次	試験場所	消毒方法	処理方法	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病指数	同左防除価
H16	花巻現地	熱水土壌消毒	全面処理	0	100	1.5	37.5
		無処理		1		2.4	
H16	盛岡現地	熱水土壌消毒	全面処理	3	67	1.4	44.0
		無処理		9		2.5	

蒸気消毒

試験年次	試験場所	消毒方法	処理方法	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病指数	同左防除価
H16	岩手農研	蒸気消毒	畦内処理	5	93	0.2	90
		クロピクテープ	畦内処理	4.5	93	0.1	95
		無処理		68.4		2.0	

※発病指数は調査区の全株を下記指数により調査した平均値

3:根のほとんどが発病、同2:根の半分程度が発病、同1:根の一部が発病、同0:発病無し

3. 熱水土壌消毒、蒸気消毒を実施する場合の留意点

熱水土壌消毒や蒸気消毒を実施する場合には、消毒後の耕起を必要としない処理方法（マルチ畦内処理が理想）を取る必要があります。これは、処理後に耕起を行うと消毒された土壌表層と消毒が不十分な深層土壌の混和が起こるためです。

その他、露地夏秋キュウリ作型の場合では、水温の低い春先に処理する必要があることから防除効果が不安定になる恐れがあります。また、昨今の原油価格の高騰から、処理費用がクロルピクリンくん蒸剤によるマルチ畦内消毒とした場合よりも高額となる点が欠点です。

(岩館康哉)

2) 抵抗性台木の利用

近年のキュウリ栽培は、つる割病などの土壌病害対策のため、カボチャ台木を使用した接ぎ木栽培が主流となっています。しかし、このカボチャ台キュウリでホモプシス根腐病が多発し、大きな問題となっています。そこで、ホモプシス根腐病に対するカボチャ台木の抵抗性検定を行いました。

本病を完全に回避できる台木品種は見つかりませんでしたが、ブルーム台木品種の「黒ダネ」で比較的発病程度が低く、利用の可能性が認められました(図6 4)。しかし、「黒ダネ」は、現在主流のブルームレス台木によるキュウリ栽培に導入するのは困難と思われ、今後、抵抗性台木の育成や接ぎ木方法の改良などが必要です。

なお、キュウリ自根は、カボチャ台木に比べるとホモプシス根腐病に対して罹病しやすい傾向があります。

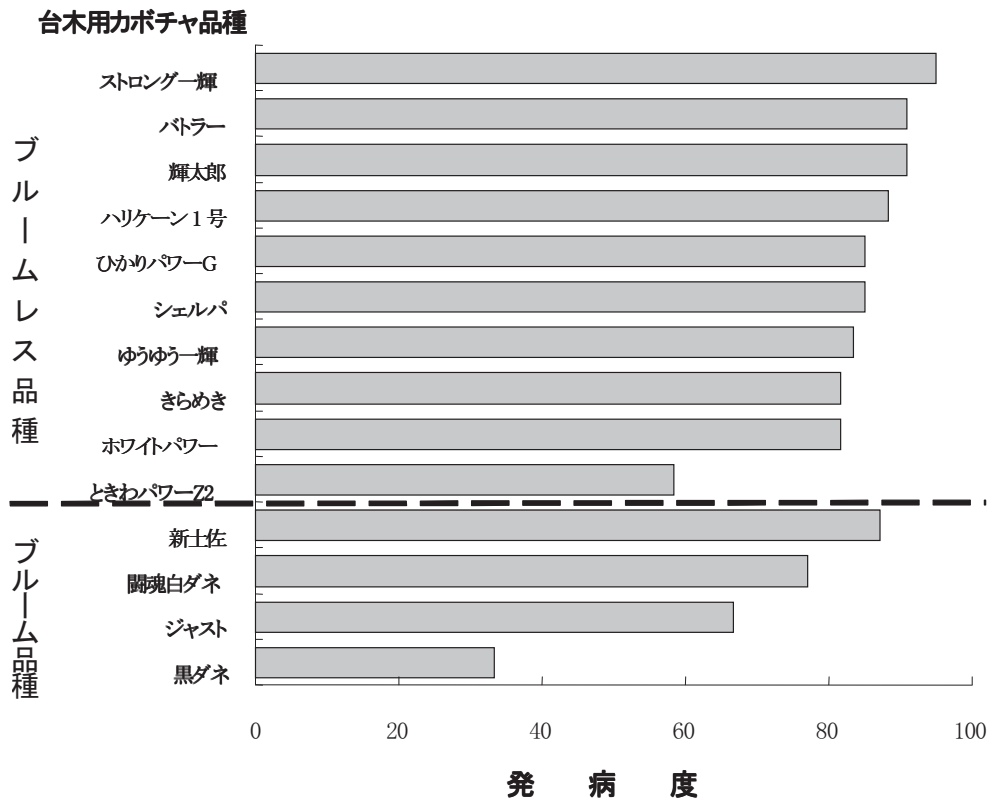


図6 4. 台木用カボチャ品種のホモプシス根腐病に対する抵抗性

(堀越紀夫)

1 1. 病原菌を拡散させない方法

これまでに、土壌消毒やキュウリの根域を汚染土壌から隔離することでホモプシス根腐病を防除することを紹介してきました。しかし、最も重要なことは、病原菌を圃場に持ち込まないことです。現時点で病原菌がどのような経路で圃場に侵入しているのかについて十分には分かっていませんが、これまでに得られた研究成果から、下記のことには注意が必要と考えられます。

1) 未発生地域・圃場への病原菌侵入経路

- ・1983年に我が国で始めて本病が発見されて以来、病気の発生地域は徐々に拡大しています。
- ・侵入方法や経路はいろいろ考えられますが、汚染土壌や病気に罹った根とともに病原菌が持ち込まれると推測されます。
- ・人為的な汚染土壌の持ち込みとしては、農機具のタイヤや作業機に付着した土壌、農作業や見学・研修旅行で使用した靴や長靴の底に付着した土壌などのほか、購入苗等の土壌に混入することも考えられます。
- ・病原菌が侵入した圃場でウリ科作物が栽培されて根が感染すると、病原菌は増殖してさらに長期間その圃場で生存できるようになります。こうして病原菌は圃場に定着していきます。

2) 病原菌を持ち込まないために

- ・病気が発生している圃場での作業は最後に行うようにします。また作業後は使った農機具や履き物をよく洗ったのち、できるだけ長期間乾燥させてください。
- ・見学会や研修会でウリ科作物を栽培している圃場に入るときには、靴の上にさらにビニール袋を履いて使用後は破棄するなど、靴底に泥を付けたまま帰ることがないようにします。
- ・病気が発生している圃場の土は育苗培土として使用しないようにします。
- ・ウリ科以外の野菜等でも購入苗等から汚染土壌が持ち込まれる可能性がありますので、不用意に土を圃場に持ち込まないようにします。
- ・これら以外でも、汚染土壌を持ち込まないように十分、注意することが必要です。病原菌はごくわずかでもウリ科作物の根に侵入する力をもっています。

(古屋廣光・堀越紀夫)

12. 圃場試験による防除効果の事例

これまでに行った場内および現地圃場試験結果を紹介します。また、防除効果が出なかった事例もありますので、実際の防除作業の参考としてください。

1) 場内・現地圃場試験結果

クロピクテープ

試験年次	試験場所	供試薬剤	処理方法	処理量	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病度 ^{注2)}	同左防除価
H17	福島農試	クロピクテープ 無処理	畦内処理	110m/100m ²	-	-	62.5	21.6
H17	二本松現地	クロピクテープ 無処理	畦内処理	110m/100m ²	-	-	52.0	35.0
H18	須賀川現地	クロピクテープ 参考 ^{注1)}	畦内処理	110m/100m ²	0	100	85.8	-
H18	須賀川現地2	クロピクテープ 参考 ^{注1)}	畦内処理	110m/100m ²	5.5	81.1	66.7	-
H18	須賀川現地3	クロピクテープ 参考 ^{注1)}	畦内処理	110m/100m ²	0	100	52.5	-
H18	天栄現地	クロピクテープ 参考 ^{注1)}	畦内処理	110m/100m ²	0	100	64.2	-

クロピクフロー

試験年次	試験場所	供試薬剤	処理方法	処理量	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病度 ^{注2)}	同左防除価
H17	福島農試	クロピクフロー 無処理	畦内処理	30L/10a	-	-	46.9	41.2
H17	福島農試	クロピクフロー 無処理	畦内処理	30L/10a	1.25	98.6	12.5	87.1
H17	二本松現地	クロピクフロー 無処理	畦内処理	30L/10a	-	-	49.6	38.1
H18	二本松現地	クロピクフロー 無処理	畦内処理	30L/10a	-	-	80	-
H18	鏡石現地	クロピクフロー 無処理	畦内処理	30L/10a	1.1	93.3	72.5	-
H18	須賀川現地	クロピクフロー 無処理	畦内処理	30L/10a	0	100	84.4	-
H18	須賀川現地2	クロピクフロー 無処理	畦内処理	30L/10a	2.3	92.1	65.6	-

クロルピクリン錠剤

試験年次	試験場所	供試薬剤	処理方法	処理量	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病度 ^{注2)}	同左防除価
H18	二本松現地	クロルピクリン錠剤 無処理	畦内処理	10個/m ²	0.6	97.7	46.3	47.1
H18	鏡石現地	クロルピクリン錠剤 参考 ^{注1)}	畦内処理	10個/m ²	0.5	97.0	73.1	-
H18	須賀川現地	クロルピクリン錠剤 参考 ^{注1)}	畦内処理	10個/m ²	0	100	82.5	-
H18	須賀川現地2	クロルピクリン錠剤 参考 ^{注1)}	畦内処理	10個/m ²	14.1	51.5	63.3	-
H18	須賀川現地3	クロルピクリン錠剤 参考 ^{注1)}	畦内処理	10個/m ²	2.3	92.1	52.5	-

注1) 試験を実施した地域における薬剤防除を実施しなかった圃場の調査結果を参考として記載した。

注2) 発病度は以下の発病指数をもとに次式より算出した。

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

発病指数 0 : 無発病、同1 : 根が半壊変、同2 : 根にわずか(1~3個)に Pseudostromata (偽子座) を認める、

3 : 根に多数偽子座を認める、同4 : 枯死

(堀越紀夫)

クロールピクリン

試験年次	試験場所	供試薬剤	処理方法	処理量	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病指数 ^{注3)} (発病度 ^{注4)})	同左防除価
H16	岩手農研	クロールピクリン	全面処理	3ml/穴	8.4	88	0.7	65.0
		無処理			68.4		2.0	
H17	岩手農研	クロールピクリン	全面処理	3ml/穴	0	100	0.26	76.6
		無処理	畦内処理	3ml/穴	0	100	0.14	87.4
H18	岩手農研	クロールピクリン	畦内処理	3ml/穴	8.3	77	(20.1)	69.9
		無処理			36.1		(66.7)	
H18	花巻現地1	クロールピクリン	畦内処理	3ml/穴	0	100	(46.8)	35.4
		無処理			20.3		(72.4)	
H18	花巻現地2	クロールピクリン	畦内処理	3ml/穴	0	100	(37)	42.2
		無処理			1.7		(64)	
H18	花巻現地3	クロールピクリン	畦内処理	3ml/穴	8.7	89	-	-
		無処理			82.5		-	

クロピクテープ

試験年次	試験場所	供試薬剤	処理方法	処理量	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病指数 ^{注3)} (発病度 ^{注4)})	同左防除価
H16	岩手農研	クロピクテープ	畦内処理	110m/100m ²	4.5	93	0.1	95
		無処理			68.4		2	
H18	花巻現地3	クロピクテープ	畦内処理	110m/100m ²	41.1	50	-	-
		無処理			82.5		-	

クロピクフロー

試験年次	試験場所	供試薬剤	処理方法	処理量	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病指数 ^{注3)} (発病度 ^{注4)})	同左防除価
H16	岩手農研	クロピクフロー	全面処理	30L/10a	0	100	0	100
		無処理	畦内処理	30L/10a	7.4	93	0.1	96
		無処理			100		2.8	
H17	岩手農研	クロピクフロー	畦内処理	30L/10a	0	100	0.5	72
		無処理			2		1.8	
H18	花巻現地2 ^{注5)}	クロピクフロー	畦内処理	30L/10a	0	100	(32.3)	50
		クロピクフロー	畦内処理	30L/10a	0	100	(25.9)	60
		無処理			1.7		(64)	
H18	花巻現地3 ^{注5)}	クロピクフロー	畦内処理	30L/10a	3.5	96	-	-
		無処理			82.5		-	

クロルピクリン錠剤

試験年次	試験場所	供試薬剤	処理方法	処理量	萎凋株率 (%)	同左防除価	発病度 ^{注4)}	同左防除価
H18	岩手農研	クロルピクリン錠剤	畦内処理	10個/m ²	13.9	61	30.6	54
		無処理			36.1		66.7	
H18	花巻現地1	クロルピクリン錠剤	畦内処理	10個/m ²	0	100	44	39
		無処理			20.3		72.4	
H18	花巻現地2	クロルピクリン錠剤	畦内処理	10個/m ²	0.4	76	37	42
		無処理			1.7		64	
H18	花巻現地3	クロルピクリン錠剤	畦内処理	10個/m ²	17.8	78	-	-
		無処理			82.5		-	

注3) 発病指数は調査区の全株を下記指数により調査した平均値を示す。

発病指数 0 : 発病無し、同1 : 根の一部が発病、同2 : 根の半分程度が発病、3 : 根のほとんどが発病

注4) 発病度は以下の発病指数をもとに次式より算出した。

発病度 = \sum (程度別発病株数 × 指数) × 100 / (調査株数 × 4)

発病指数 0 : 無病徴、同1 : 根の10%未満が褐変、同2 : 根の10%以上~50%未満が褐変、

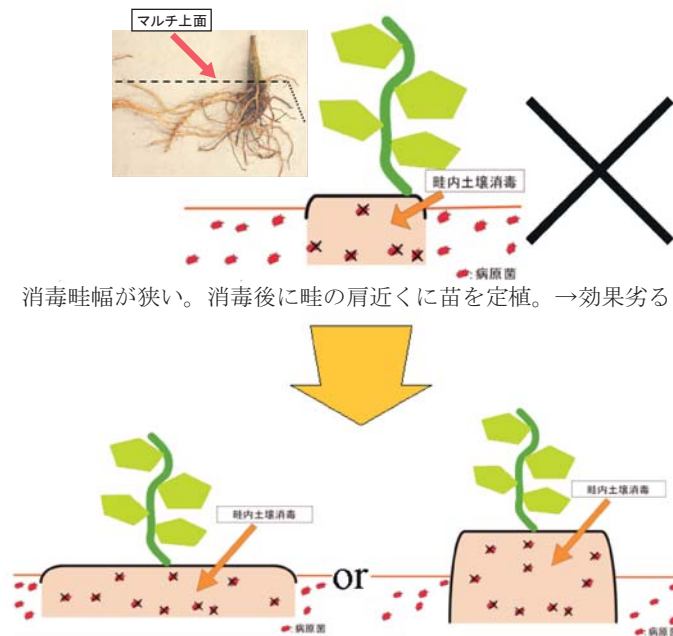
同3 : 根の50%以上が褐変、同4 : 枯死

注5) マルチ裾埋め込み栽培は、畦高15cm、裾埋め込み15cmとした。

(岩館康哉)

2) 防除効果が期待できない事例

- (1) 消毒後に耕起した場合・消毒畦幅が狭い場合
→消毒の効果が不安定になります。
- (2) 消毒後、キュウリ苗の定植位置が悪い場合（畦の肩側に寄りすぎている）
→未消毒の通路部分へ根が進展する時期が早まるので、十分な効果が期待できません（図65）。
- (3) キュウリ苗定植時の間土に通路の土壌を使用した。
→未消毒土壌がマルチ内へ侵入することになります。
- (4) クロピクテープによる消毒の場合、テープの埋設深が浅すぎる、もしくは深すぎる場合
→十分な消毒効果が期待できません。
- (5) 薬剤の処理量を守っていない場合（減量施用）
→十分な消毒効果が期待できません。
- (6) 定植してから、すぐにマルチのすそに培土をした。
→未消毒土壌がマルチ内へ侵入する恐れがあります。



消毒畦幅が狭い。消毒後に畦の肩近くに苗を定植。→効果劣る

マルチ畦内土壌消毒の効果安定化には・・・

1. 消毒畦幅を広くする、もしくは高畦・裾埋め込みをする。
2. 消毒後は畦の中央部に苗を定植する。

図65. 防除効果が期待できない事例（上）と改善例（下）の模式図

(堀越紀夫・岩館康哉)