

岩手県におけるキュウリホモプシス根腐病の発生生態と防除に関する研究

岩館 康哉^{*1}

目 次

第1章 緒 論	69
第1節 研究の背景	69
第2節 関連する既往の研究	69
第3節 研究の目的	70
第4節 本論文の構成	71
第2章 病徴および発生実態	71
第1節 病徴の調査	71
第2節 発生実態	74
第3節 類似病害の発生実態	76
第4節 キュウリ黒点根腐病	77
第3章 病原菌の諸性質および発生生態	82
第1節 培地における菌糸生育	82
第2節 本病の発生に及ぼす環境要因の検討	84
第3節 圃場における感染実態と伝染源の検討	88
第4章 抵抗性台木およびクロルピクリンくん蒸剤を用いた防除技術	91
第1節 抵抗性台木の検索と台木適性	91
第2節 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と抵抗性台木の併用	97
第3節 マルチ畦内処理後のキュウリ苗定植位置と防除効果	103
第4節 防根透水シートを活用した防除手法の基礎的検討	105
第5節 根域制限処理とマルチ畦内処理の併用	107
第6節 クロルピクリンくん蒸剤の剤型とマルチ畦内処理の防除効果	113
第7節 クロルピクリンくん蒸剤を用いた深層土壌くん蒸処理	119
第5章 転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による被害軽減技術	123
第1節 ポット試験による発病抑制効果の確認	123
第2節 隔離床試験による発病抑制効果の確認	129
第3節 現地圃場試験による発病抑制効果の確認	134
第4節 収量への影響	138
第5節 発病抑制メカニズムの検討	141

第6章 総合考察	144
摘 要	150
謝 辞	152
引用文献	153
Summary	157

第1章 緒 論

第1節 研究の背景

岩手県は、夏期の冷涼な気候を利用した露地夏秋キュウリの産地であり、栽培面積は 321 ha (2009 年)、都道府県別の収穫量割合は全国第 4 位 (2009 年) となっている。キュウリ栽培において、ホモプシス根腐病 (*Phomopsis black root rot of cucurbit*) は、急性萎凋症状を引き起こす難防除病害である。病原菌は、糸状菌の *Phomopsis sclerotioides* Kesteren であり、キュウリをはじめとするウリ科植物に感染し、萎凋症状を引き起こす。岩手県では、2002 年に北上市、東和町、花泉町の露地および施設キュウリにおいて本病が初確認された²⁴⁾。その後、本病の発生地域は年々拡大し、2012 年現在は 16 市町村 (2002 年当時の旧市町村区分では 29 市町村) となり、今後さらなる発生地域の拡大やキュウリ以外のウリ科野菜での被害発生が懸念されている。露地夏秋キュウリにおける被害は、収穫最盛期となる梅雨明け頃 (7 月下旬頃) に急性萎凋症状を示し、最終的には枯死に至る。このため、本病の発生は、経済的損失が著しいことに加えて、農家の生産意欲の低下につながっており、本県の露地夏秋キュウリ栽培面積が減少している一因となっている²⁰⁾。また、露地夏秋キュウリに適用可能な本病防除法は未確立であったことから、効果的かつ実用的な防除技術の開発が望まれていた。

第2節 関連する既往の研究

van Kesteren は、1964 年にオランダの施設栽培キュウリにおいて地上部の萎凋症状および根部腐敗を呈する既

^{*1} 環境部病理昆虫研究室

本論文は岩手大学大学院連合農学研究科審査学位論文 (平成 25 年 3 月) を基に編集・加筆したものである。

知病害とは異なる新たな病害を発見し、ウリ科作物のホモプシス根腐病 (Black root rot) として報告した⁸³⁾。その後、本病はアジア、ヨーロッパ等多くの国々のキュウリ栽培地域において発生が認められ、多大な被害を及ぼしている⁵⁾。本邦では、1983年に埼玉県でカボチャ台キュウリの萎凋症状の原因として初確認された¹¹⁾。その後、国内の発生地域は拡大し、これまでに関東、東北の複数県のほか島根県などのキュウリ、スイカ、カボチャ、メロン産地で発生が報告されている⁴⁸⁾。キュウリ栽培における本病の発生は、当初は施設栽培に限られていたものの、2001年には福島県、2002年には岩手県の露地夏秋キュウリでも発生が確認された^{13), 24)}。2000年代に入ると、東北地方では急速に被害地域が拡大し、2012年現在、青森県を除く東北5県において本病の発生が確認されている⁴⁶⁾。

病原菌については、van Kesteren⁸³⁾は、不完全菌 *Phomopsis sclerotioides* Kesteren と同定している。我が国では1983年の初発生以来、永らく不詳であったが、近年、Shishido *et al.*⁷²⁾によって国内分離菌についても、既報⁸³⁾の *P. sclerotioides* であることが明らかにされた。本病菌の完全世代は、これまでのところ確認されていないが、分子系統解析の結果から *Diaporthe* 属であることが示唆されている⁶⁷⁾。

本病の発生生態については、不明な点が多いものの、本病菌は根部残渣中に形成された疑似微小菌核や偽子座として土中に残存し、次作の伝染源になるものと考えられている^{11), 66)}。本病菌以外の植物寄生性 *Phomopsis* 属菌はすべて地上部組織に感染するが、本病菌は地下部を特異的に犯すことが知られている⁶⁶⁾。その他、本病菌は分生子殻の形成が極めてまれで、自然界では確認されていないことから⁶⁶⁾、本病菌の分生子は主要な伝染源としての役割を担っていないと推定される。

本病菌を土壌から直接分離可能な選択培地は開発されていないため⁶⁷⁾、土壌中での本菌の生態を明らかにすることはこれまで困難であった。近年、PCR法によって本病菌を特異的に検出・定量可能な技術が相次いで開発されており^{15), 69), 71)}、圃場汚染程度や病原菌密度の推定手法としての活用が期待されている。

宿主についてみると、本病はキュウリ (*Cucumis sativus* L.)、カボチャ (*Cucurbita* L.)、スイカ (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. & Nakai)、メロン (*Cucumis melo* L.)、ユウガオ (*Lagenaria siceraria* (Molina) Standley var. *hispida* (Thunb. Ex Murray) Hara) において自然発生の報告がなされている^{11), 72), 83)}。接種試験において、本病菌

は、ウリ科植物であるシロウリ (*Cucumis melo* var. *conomon* (Thunb. ex Murray) Makino)、マクワウリ (*Cucumis melo* var. *makuwa* Makino)、ヒョウタン (*Lagenaria siceraria* Standley var. *gourda* Hara)、ヘチマ (*Luffa cylindrica* (L.) Roem.)、トウガン (*Benincasa hispida* (Thunb.) Cogn.)、ツルレイシ (*Momordica charantia* L.) に対する病原性が確認されている^{11), 76)}。一方で、本病菌はナス (*Solanum melongena* L.)、トマト (*Solanum lycopersicum* L.)、ハクサイ (*Brassica rapa* L. var. *pekinensis* Rupr.)、キャベツ (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L.)、ダイコン (*Raphanus sativus* L. var. *longipinnatus* L.H.Bailey)、ホウレンソウ (*Spinacia oleracea* L.)、イチゴ (*Fragaria* L.)、ダイズ (*Glycine max* L.)、インゲンマメ (*Phaseolus vulgaris* L.)、コムギ (*Triticum aestivum* L.)、トウモロコシ (*Zea mays* L.) に寄生性は示さないことから、本病はウリ科植物を特異的に犯すものと推定されている¹¹⁾。

本病の防除法については、本病菌の高温耐性が低いことから^{11), 32)}、関東以南の施設栽培キュウリや露地のトンネル栽培メロンでは、夏期の太陽熱消毒や太陽熱消毒と土壌消毒剤の併用が有効とされている^{11), 32)}。生物防除については、拮抗微生物として *Bacillus subtilis* (Ehrenberg 1935) Cohn 1872³⁰⁾ や、*Clonostachys rosea* (Link:Fr.) Schroers (シノニム *Gliocladium roseum* Bainier)⁴⁰⁾ などの発病抑制効果が報告されているものの、防除法としての実用化には至っていない。化学的防除法としては、クロルピクリンくん蒸剤や D-D・メチルイソチオシアネート剤の有効性が報告されている^{11), 70)}。本病菌に対するウリ科植物の抵抗性についてみると、これまでのところ、本病に完全な抵抗性を有する有望な台木は確認されていない⁶⁶⁾。一方で、クロダネカボチャ (*Cucurbita ficifolia* Bouché) やトウガン (*Benincasa hispida* cogn.) は、完全な抵抗性を示すものではないがキュウリ用の一般的なカボチャ台木品種と比較すると一定の発病抑制効果が認められている^{83), 87)}。

第3節 研究の目的

前述のとおり、本病は東北地方の露地夏秋キュウリ産地で被害が拡大し、収量の低下とともに農家の生産意欲の減退要因となっている。本病の被害は、低温期の定植で助長されることから⁶⁶⁾、過去の記録的な冷害年となった2003年には、福島県および岩手県の主要なキュウリ産地で多発し、両県での被害推定額は約10億円にまで達した⁴⁹⁾。さらに、東北地方の露地夏秋キュウリ産

地では、前述のような太陽熱の活用を前提とした夏期の土壌消毒実施は、温度の確保という面で難しく不可能である。このように、東北地方の露地夏秋キュウリ産地では、本病による萎凋症状の発生リスクが高い一方で、有効な対策が明らかになっていなかったことから、実用可能な防除技術の確立が望まれていた。そこで本研究では、おもに岩手県における露地夏秋キュウリ産地を対象とした実用的なホモプシス根腐病防除技術の確立を目的として、本病の発生生態および防除法について検討した。

第4節 本論文の構成

本論文は、著者が実施した2005年から2012年の8年間にわたるキュウリホモプシス根腐病に関する研究成果のうち、本病の発生生態および防除法について取りまとめたものである。まず第2章では、本病の病徴および岩手県内での発生実態について明らかにした。その中で、キュウリに類似の萎凋症状を示す国内未報告のキュウリ黒点根腐病の発生を確認した。第3章では、本病菌の諸性質ならびに発生生態について検討し、本病の伝染環について考察した。この中では、本病の発病適温のほか、土壌汚染程度と発病の関係についても検討した。第4章では、岩手県で主力の露地夏秋キュウリ栽培に活用可能な防除法を検討した。まず、本病抵抗性台木について検索し、次いで本病防除に有効な土壌消毒剤を選抜するとともに効果的な処理手法を詳細に検討した。第5章では、転炉スラグを用いた土壌pH改良による本病被害軽減技術について検討した。具体的には、転炉スラグを用いた土壌pH改良による発病抑制効果を実証するとともに、本技術がキュウリ生育や収量へ与える影響について検討した。また、その発病抑制メカニズムについても知見を得た。第6章では、本研究で得られた結果に基づき、本病の総合的な防除対策について考察した。

なお、本論文は日本植物病理学会報、北日本病害虫研究会報、東北農業研究、植物防疫等に発表した成績に、その後の研究成果を加えて取りまとめたものである。

第2章 病徴および発生実態

岩手県内の露地夏秋キュウリでは、夏季に突然株全体が萎凋する急性萎凋症状が発生し問題となっている。本症状の原因はホモプシス根腐病だけではなく、様々あるため、現場では診断と対策の提示に苦慮していた。そこで、岩手県内の露地夏秋キュウリに発生するホモプシス根腐病の特徴的な病徴および詳細な発生実態を調査した。

第1節では、まず、岩手県の露地夏秋キュウリにおける本病の発生特徴を明らかにした。次に第2節では、2002年から2012年にかけての本病の発生状況を明らかにするとともに、本病による急性萎凋症状の発生と連作年数の関係、および発生圃場における防除の実態を明らかにした。さらに第3節では、県内の露地夏秋キュウリに発生する急性萎凋症状の原因を調査し、取りまとめた。第4節では、本調査中に国内初確認となったキュウリ黒点根腐病について詳述した。

第1節 病徴の調査

2005年から2012年にかけて、岩手県内各地の露地夏秋キュウリ圃場における本病の発生状況を調査するとともに、病徴および標徴を観察した。

材料および方法

調査圃場は、岩手県農業研究センターの露地夏秋キュウリ圃場および、岩手県病害虫防除所の露地夏秋キュウリ巡回調査圃場25地点（第2章第4節表5No.1～25）とした。調査は、定植期となる5月下旬～6月上旬以降に約2週間間隔で圃場を巡回し、本病の発生や病徴、標徴を観察した。

結 果

本病による萎凋症状の発生は、岩手県での標準作型になっている5月下旬～6月上旬定植の露地夏秋キュウリ（カボチャ台木栽培）では、定植30～40日前後の収穫開始時期頃から認められた。具体的には、7月上旬以降の梅雨晴間や梅雨明け直後など、曇雨天後の晴天日に萎凋症状の発生が目立つ傾向にあった。本症状は、発生初期は晴天の日中には萎凋したが、朝夕や曇雨天日には回復し、これを繰り返した。また、発生初期は特に中位葉にあたる本葉約10～15葉の位置の葉身が萎れる場合が多いという特徴が見られた（図1A）。発症株は、日が進むにつれてしだいに全身萎凋症状を呈するようになり（図1B）、日中の萎凋と朝夕（または曇雨天日）の回復を繰り返した後、枯死した（図1C）。さらに、発症株では、側枝の発生が少なく、果実は肥大や果形も不良となり、果色は健全果よりも黒ずむ場合が多かった（図1D）。根部は、萎凋症状の発生初期では、細根の発生基部にわずかな褐変が観察されたものの（図1E）、褐変部位がほとんど確認されず健全株との識別が困難な事例もみられ

た。発生後期になるとしだいに褐変部位が拡大し、枯死株の根を観察すると、細根が脱落して、太根は斑状に褐変した(図 1F)。病勢の進展した根では、根全体が褐変もしくは黒変し、腐敗した(図 2G)。根の表皮細胞には、疑似微小菌核(Pseudomicrosclerotia)が確認され、粉炭を塗布したような微小黒点として密生した(図 2H)。疑似微小菌核は、光学顕微鏡では表皮細胞内にモザイク状に観察された(図 2I)。根の黒変部位には、偽子座(Pseudostromata)が形成され、黒色で帯状の菌糸塊として観察された(図 2J)。

萎凋株の地上部には導管の褐変はほとんど認められなかったが、地際部の胚軸(カボチャ台木部分)が褐変し、

水浸状に腐敗する場合(図 2K)には、導管の一部に褐変を伴う事例も観察された(図 2L)。胚軸の水浸状褐変は、おもにカボチャ台木部分で発生したが、カボチャ台木から接ぎ穂(キュウリ)への病勢進展もまれに観察された。なお、茎葉や果実での発病は確認されなかった。

考 察

岩手県の露地夏秋キュウリにおける本病による萎凋症状発生パターンおよび病徴について観察したところ、多くの場合、定植 30 日以降の収穫開始期前後から萎凋症状の発生がみられ(図 1)、その発生タイミングは曇雨

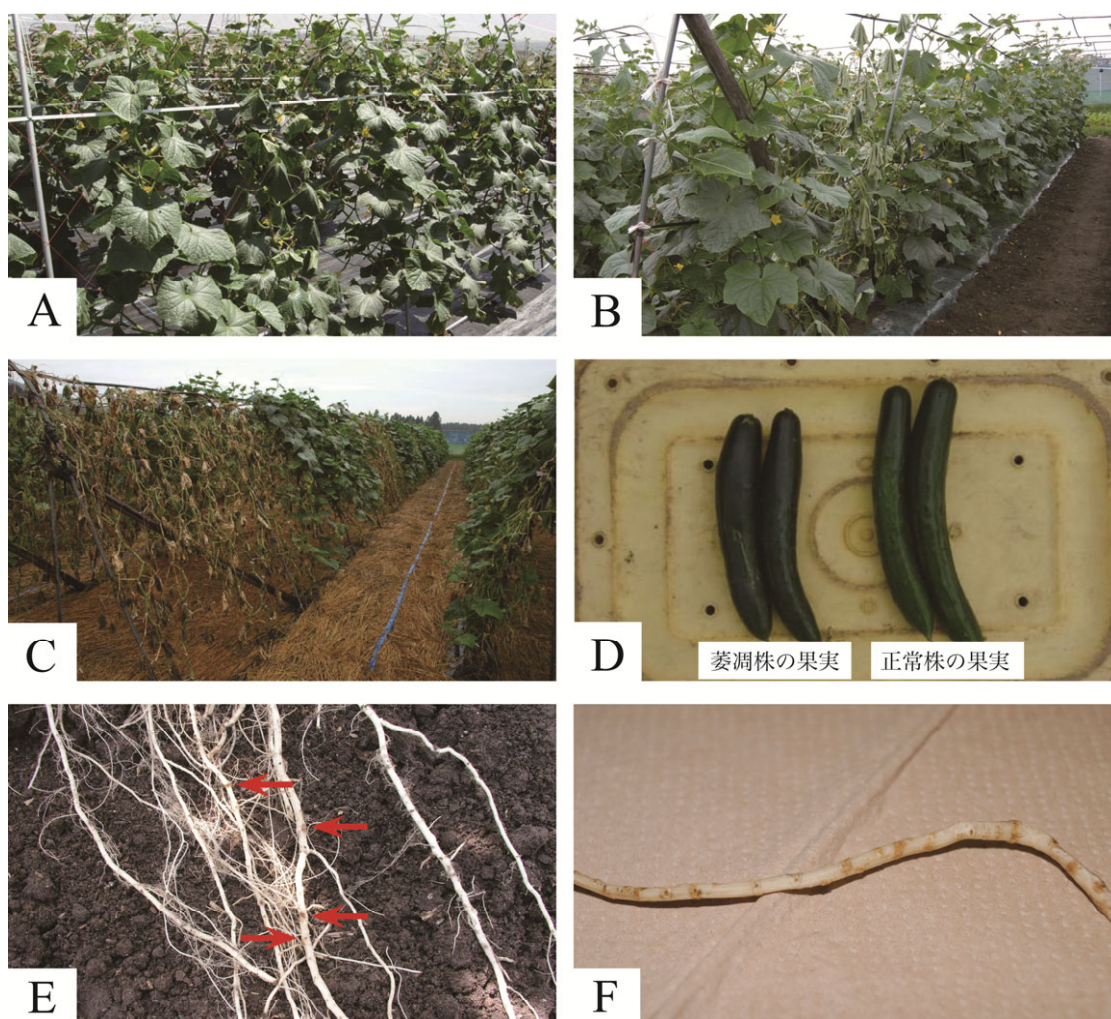


図 1 岩手県の露地夏秋作型キュウリにおいて観察された病徴 (1)

- A: 萎凋症状の発生初期、本葉約 10-15 葉の位置の葉身が萎れる場合が多い。
- B: 全身萎凋症状を呈した株。
- C: 萎凋症状の発生により枯死した株。
- D: 萎凋株の果実(左)と正常株の果実(右)、萎凋株の果実は果実肥大不良、黒色化。
- E: 萎凋症状の発生初期にみられる細根発生基部等のわずかな褐変(矢印部分)。
- F: ホモプシス根腐病菌の感染により細根が脱落し、太根の細根発生基部が褐変した根。

天後の晴天日であった。本病に感染したキュウリ根では、褐変程度と導管液量に負の相関があるとされ⁵¹⁾、スイカでは本病による萎凋症状の発現に着果負荷が影響することが明らかとなっている⁷⁰⁾。これらのことから、曇雨天後の晴天など、宿主の水分ストレスが悪化する条件下において、病原菌感染による導管液量の低下や着果負荷ストレスが加わることによって急性萎凋症状が起こると考えられた。本病菌は、生育適温が 25℃前後であり、30℃以上ではほとんど生育しないなど、高温耐性は低い（第3章第1節）。このことから、露地夏秋キュウリの場合、夏季高温年よりも夏季冷涼年に被害が大きくなるものと考えられた。実際に記録的冷害年となった2003年は、本病による被害額が岩手県および福島県の2

県で約10億円⁴⁹⁾となったなどの大きな被害となった。

2003年は、夏季は低温寡照傾向で推移しており（図3）、このことが被害を助長する要因となったと考えられる。

一方で、記録的な夏季高温年となった2010年は、本病による被害報告は少なかった（図4）。

根の病徴は、診断上の重要な指標とされるが¹¹⁾、萎凋症状の発生初期に根の褐変を確認することは比較的困難であった。一方で、萎凋症状を呈した株が完全に枯死した時期（概ね8月中旬以降）になると、根部に本病に特徴的な疑似微小菌核（*Pseudomicrosclerotia*）や偽子座（*Pseudostromata*）が形成され、その確認が容易となることから、他の病害と区別する際の指標となると考えられた（図1、図2）。

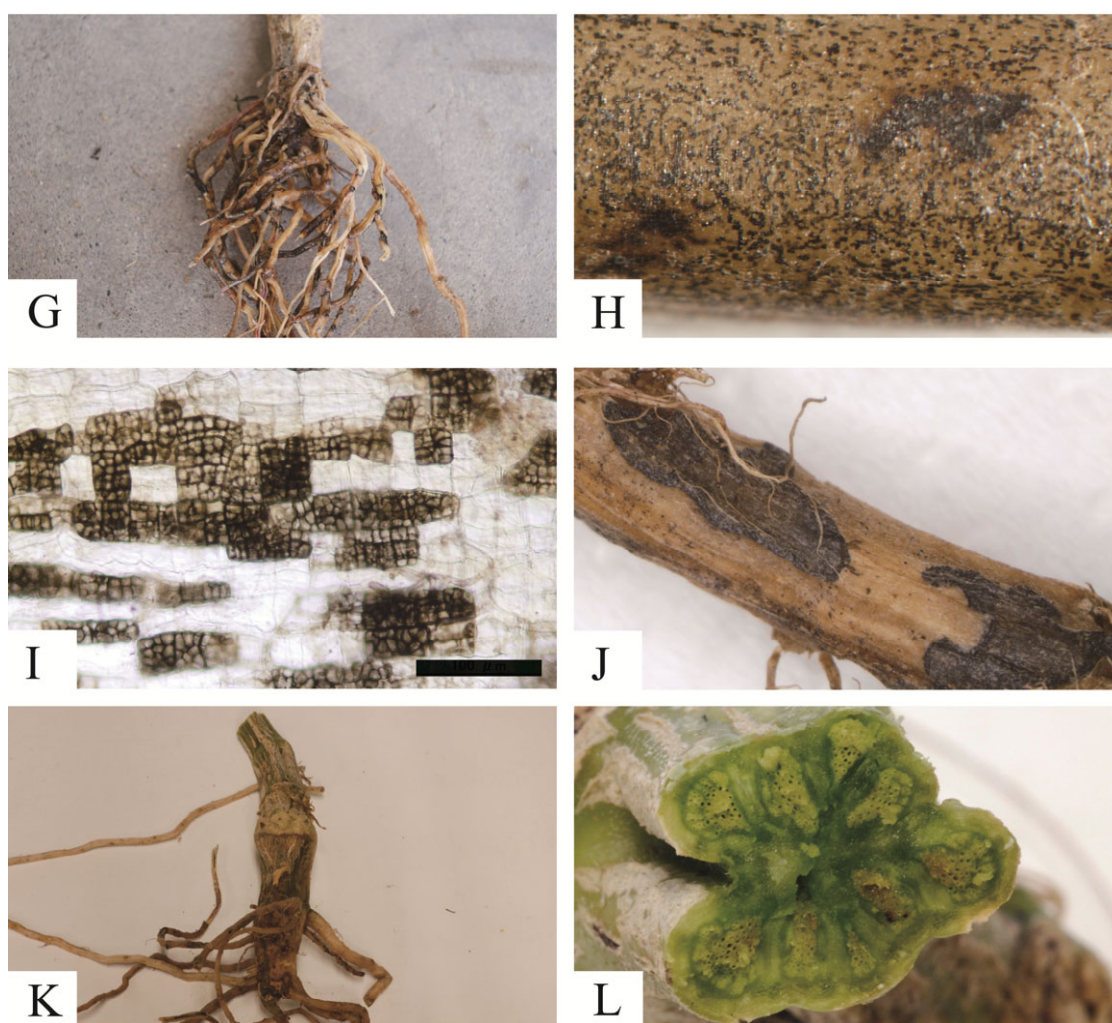


図2 岩手県の露地夏秋作型キュウリにおいて観察された病徴（2）

G：病勢が進展し、根全体が褐変・黒変した根。

H：根の表皮細胞に形成された疑似微小菌核（*Pseudomicrosclerotia*）。

I：光学顕微鏡で観察した疑似微小菌核。スケールバーは100µmを示す。

J：根に形成された黒色の偽子座（*Pseudostromata*）。

K：地際部胚軸の褐変。接木部以下の台木カボチャ部分が水浸状に腐敗する。

L：地際部の胚軸が水浸状に褐変・腐敗した株で観察された導管部褐変。

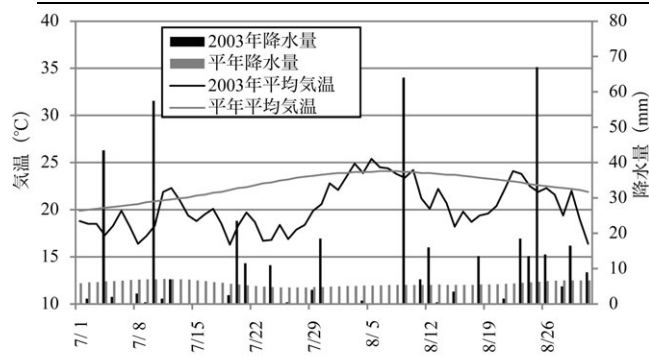


図3 2003年における7-9月の平均気温および降水量(盛岡)

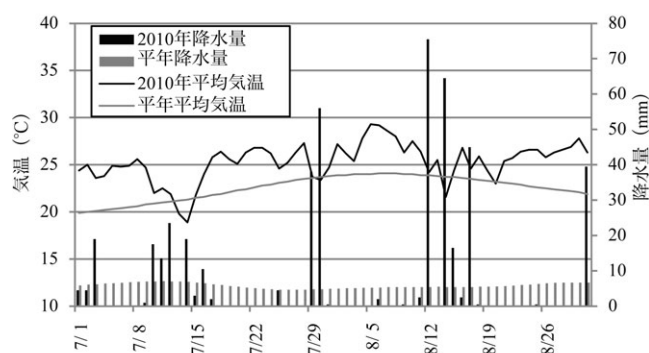


図4 2010年における7-9月の平均気温および降水量(盛岡)

第2節 発生実態

岩手県における本病の初確認は2002年であり、当時の発生確認市町村は、岩手県南部の北上市、東和町および花泉町の3市町であった²⁴⁾。一方で、県内における本病の発生地域は年々拡大する傾向が認められた。そこで、2002年～2012年にかけての、本病の発生分布を継続調査した。また、現地発生圃場の調査から、本病による急性萎凋被害発生と連作年数の関係、および被害発生圃場における防除の実態を明らかにしようとした。

材料および方法

1. 岩手県内における発生分布調査

2002年から2012年にかけて、本病の発生市町村数の推移を調査した。具体的には、本病未確認市町村を中心に、各地の農業改良普及センター、JA、一般農家等から持ち込まれた萎凋株や、病害虫防除所の調査等で確認された萎凋株について、根部観察による偽子座、疑似微小菌核有無の確認、もしくは本病菌の分離により、本病かどうか診断した。調査は、2002年当時の58市町村を単位とした(2012年現在:33市町村)。病原菌の分離は、素寒天培地または、村上らの方法⁴²⁾を参考として駒田培地の基本組成培地に硫酸ストレプトマイシン(300 mg/L)を加えpH 4.0に調製した改変培地を用いた。25℃で7日間培養した後、伸長した菌糸から分離した。

2. 本病による急性萎凋症被害発生圃場における連作年数と土壌消毒の実施割合

2007年から2011年の5年間にかけて、県内各地の農業改良普及センター、JAの協力により、露地夏秋キュウリにおいて本病が発生した事例について、本病の発生と連作年数の関係、および被害発生圃場における防除の実施割合について調査した。

結 果

1. 岩手県内における発生分布調査

本病の診断を随時実施した結果、2012年までの累計では、八幡平市、滝沢村、雫石町、盛岡市、矢巾町、紫波町、花巻市、北上市、金ヶ崎町、奥州市、一関市、遠野市、住田町、大船渡市、陸前高田市、山田町の16市町村(2002年当時の旧市町村区分では29市町村)で本病の発生が確認された(図5)。

2. 本病による急性萎凋症被害発生圃場における連作年数と土壌消毒の実施割合

県内の露地夏秋キュウリにおける本病による急性萎凋被害発生と連作年数の関係、および被害発生圃場における土壌消毒の実施割合について、2007年は47圃場、2008年は49圃場、2009年は37圃場、2010年は7圃場、2011年は61圃場について調査した。なお、2010年は本病による萎凋症状少発生年であったため(第2章第1節)、調査圃場数が少なかった。調査分析の結果、いずれの年次も栽培歴21年以上の圃場での被害発生数が多かった。一方で、栽培歴の浅い圃場での発生も確認され、2007年から2011年の合計では、新規作付で4圃場、作付5年以内では36圃場で被害が確認された。被害圃場における土壌消毒の実施割合は、年次によって大きく異なったが、最低で14.3%(2010年)、最高で59.0%(2011年)、2007年から2011年の平均で40.3%であった(表1)。

考 察

岩手県の2002年における本病の初発生時の発生市町村は、県南部の3市町であったが²⁴⁾、翌年には初発生が認められた市町村の周辺と、沿岸南部の一市に拡大し、2007年にはさらにそれらの発生した市町村の周辺の地域に広がった。2012年までには発生市町村はさらに拡大し、累計では16市町村(2002年当時の旧市町村区分

では29市町村)で、県内の主要なキュウリ産地のほぼ全域が発生地域となっている(図5)。本病の被害回避策としては、他の土壌病害と同様に圃場転換が有効と考えられていた。しかしながら、本病による急性萎凋被害の発生と連作年数の関係について調査した結果、長期連作圃場だけでなく新規作付圃場や作付5年以内の栽培歴の浅い圃場での被害発生事例も多数認められた(表1)。

このことから本病発生拡大の原因としては、圃場間でのトラクタ共有や移動、病原菌に汚染した自家培土を育苗時に使用したことによる新規作付圃場への病原菌の持ち込み等が考えられた。以上から、本病の被害回避策として圃場転換を実施する場合は、既汚染圃場から新規作付予定圃場への汚染土壌の移動や、育苗培土からの病原菌の持ち込みなどに厳重な注意が必要と考えられた。

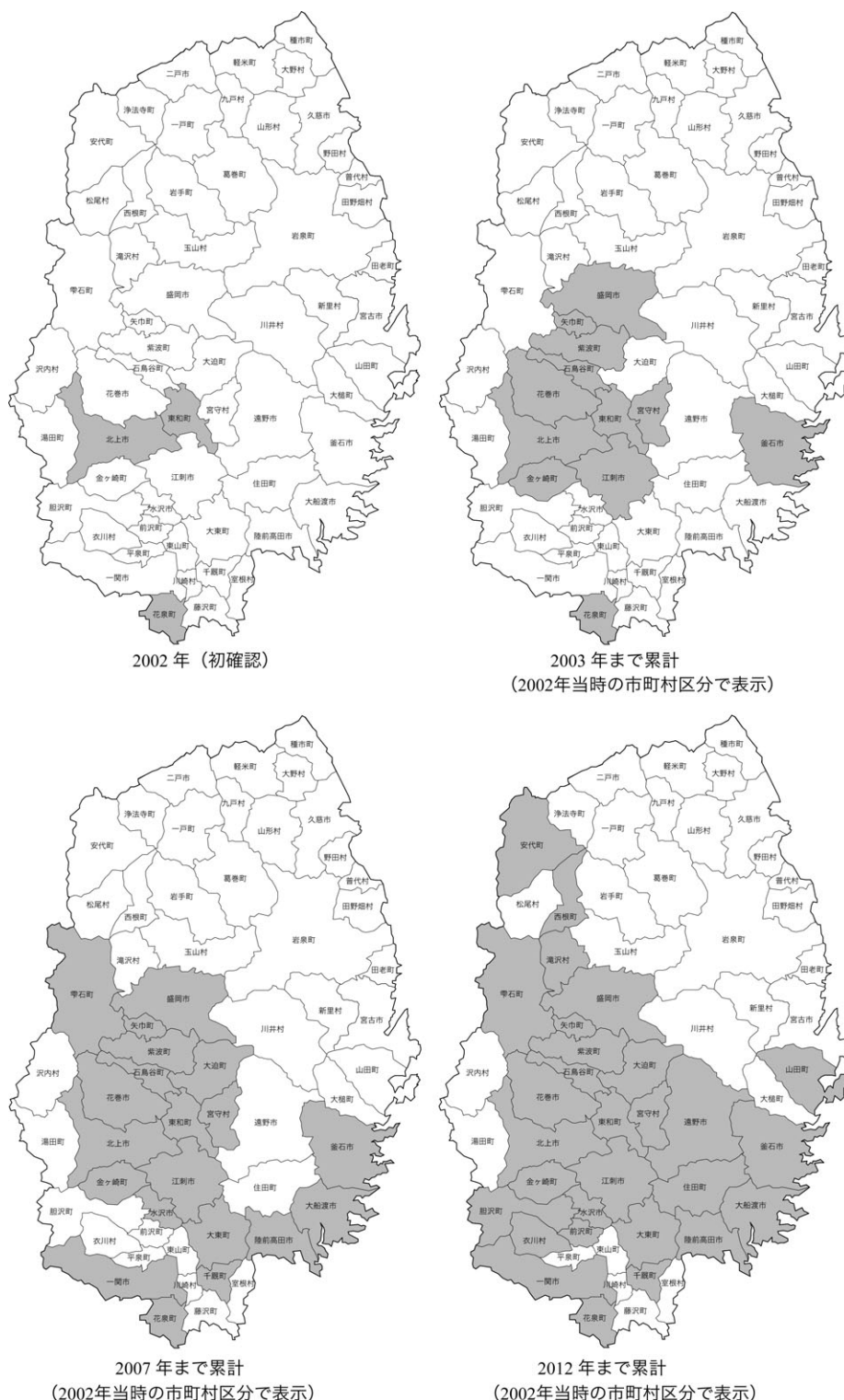


図5 岩手県におけるキュウリホモブシス根腐病の発生確認地域の変遷

表1 キュウリホモブシス根腐病による急性萎凋症被害発生圃場における連作年数と土壌消毒の実施割合

調査年	調査圃場数	ホモブシス根腐病による萎凋症状発生圃場における連作年数						土壌消毒の実施		土壌消毒実施割合 (%)
		新規作付	作付 2-5年	作付 6-10年	作付 11-15年	作付 16-20年	作付 21年以上	有	無	
2007年	47	1	16	8	7	7	8	19	28	40.4
2008年	49	1	10	6	1	8	23	17	32	34.7
2009年	37	2	4	7	6	6	12	8	29	21.6
2010年 ^{z)}	7	0	1	2	2	1	1	1	6	14.3
2011年	61	0	5	6	15	3	32	36	25	59.0
2007-2011年合計	201	4	36	29	31	25	76	81	120	40.3

z) 2010年は本病による萎凋症状少発生年であったため、調査圃場数が少ない。

圃場転換以外の有効な防除法としては、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理（第4章第2節）があげられる。そこで、本病被害発生圃場における土壌消毒の実施割合を調査したところ、年次によって実施割合は異なったものの、2007年から2011年の平均をみても約40%であった。このことから、本病の被害をうけた圃場の約60%では、土壌消毒が実施されないままに栽培が継続されている実態が明らかとなった。この理由としては、くん蒸剤による土壌消毒の経験が無い農家が多いこと、農家の高齢化、土壌消毒の作業適期間が短いことなどが考えられ、すべての被害圃場でクロルピクリンくん蒸剤による土壌消毒を実施することは困難と推察される。実際に、被害農家に土壌消毒を奨励しても、「クロルピクリンを使ってまでキュウリを作りたいとは思わない」という否定的な考えを持つ農家も多い²⁰⁾。以上のことから、本病の防除対策を確立するためには、農家の経営規模に応じた選択ができる幅広い防除メニューを示していくことが必要と考えられた。

第3節 類似病害の発生実態

前節のキュウリホモブシス根腐病の発生実態調査において、本病による急性萎凋症に類似する症状として現地で問題となっていた病害や生理障害が認められたことから、その病害の診断・同定と防除対策を検討した。

材料および方法

2005年以降、生産現場から持ち込まれた病害診断依頼や、病害虫防除所の調査等において急性萎凋症状を呈したキュウリ株のうち、キュウリホモブシス根腐病以外

の原因によるものと推定された株について、症状や病徴を観察した。また、葉がモザイク症状を呈し、ウイルス病と疑われた株については、DAS-ELISA法⁵⁸⁾によって、キュウリモザイクウイルス (*Cucumber mosaic virus*, CMV)、ズッキーニ黄斑モザイクウイルス (*Zucchini yellow mosaic virus*, ZYMV) の検出を試みた。DAS-ELISA法ではいずれも日本植物防疫協会作成の抗体を使用した。さらに、これらの診断・同定結果について、発生要因別に取りまとめた。

結 果

岩手県の露地夏秋キュウリにおいて確認された急性萎凋症の原因のうち、キュウリホモブシス根腐病以外の要因には、(1) 根群の形成不良によるもの、(2) 栽培・肥培管理に起因するもの、(3) 病害虫によるものが認められた（表2）。そのうち、病害虫によるものでは、CMVとZYMVの重複感染、つる枯病、つる割病、疫病、ネコブセンチュウ害が確認された（図6）。CMVとZYMVの重複感染による萎凋は、二戸地域、北上地域や県南部で散発的に発生が認められたが、被害は極めて少ないと推定された。つる枯病は全県的に発生が認められたが、急性萎凋被害は一部にすぎなかった。つる割病は、台木栽培ではほとんど確認されず、沿岸南部などの一部自根キュウリ産地で問題となっていた。疫病による急性萎凋症は、台風や大雨後にキュウリ圃場が冠水した場合に発生する事例が確認される程度であり、常発圃場はほとんど見られなかった。ネコブセンチュウ害は、露地夏秋キュウリでの被害は比較的少なかったが、長期連作圃場の一部では被害程度の高い圃場も散見された。

表2 ホモブシス根腐病以外の急性萎凋症の発生要因と対策

発生要因	対策（現地での対応事例）
根群の形成不良による（土壌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
●定植時の土壌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
栽培・肥培管理に起因するもの	
●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
●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
病害虫によるもの	
●ウイルスの重複感染（図6A）	→ アブラムシ類の体系防除，忌避資材の活用
●つる枯病(図6B)，つる割病(図6C)，疫病(図6D)	→ 対象薬剤の茎葉散布，土壌消毒，資材消毒 接ぎ木栽培（つる割病対策）
●ネコブセンチュウ害（図6E）	→ 対象薬剤による土壌消毒
●黒点根腐病（図6F，第2章第4節参照）	→ 圃場転換，接ぎ木栽培

考 察

ホモブシス根腐病に感染すると萎凋症状が引き起こされるものの，同様の症状は本病以外の要因によっても発生している場合が確認され，現地では，本病同様に問題となる事例が見られた．そこで，本病以外の急性萎凋症の発生要因について整理して取りまとめた結果，(1) 根群の形成不良によるもの，(2) 栽培・肥培管理に起因するもの，(3) 病害虫によるものが確認された（表 2，図 6）．しかし，これらの症状は発生頻度が極めて低く，地域経済に大きな損失を伴うほどの重大な発生ではないと判断した．このうち，病害虫によるものについては，CMV と ZYMV の重複感染^{21), 23)}，つる枯病，つる割病，疫病，ネコブセンチュウ害によるものであり，いずれもその病徴からホモブシス根腐病との識別は可能と考えられた．なお，本調査において国内未報告のキュウリ黒点根腐病の発生を確認した¹⁷⁾．この病害については特に次節で詳述する．

第 4 節 キュウリ黒点根腐病

前節で示したホモブシス根腐病類似病害調査中の 2006 年 8 月，岩手県一関市で栽培されていた露地夏秋キュウリ（自根）において，地上部が萎凋し，根部が褐

変腐敗する症状が確認された（図 7A）．発生当初，本症状は県内で広く発生が認められていたキュウリホモブシス根腐病によるものと疑われ，常法により病原菌の分離を試みたが，根の褐変部位からホモブシス根腐病菌は分離されなかった．被害発生圃場において同年 9 月に被害株を掘り上げ，根部を詳細に調査したところ，根上に多数の子のう殻が形成されているのが認められた（図 7B）．これらの病徴と分離された病原菌の形態等から，本症状は，*Monosporascus cannonballus* Pollack and Uecker⁶²⁾によるキュウリ黒点根腐病と推定された．国内では，*M. cannonballus* による露地栽培キュウリにおける黒点根腐病の自然発生報告はないことから，分離菌の形態的特徴を調査するとともに PCR 法より同定した．さらに，本病病原菌の数種カボチャ台木に対する病原性を検討したほか，県内キュウリ産地での本病発生実態を調査した．

材料および方法

1. 供試菌株

2006 年 8 月に岩手県一関市大東町洪民地区および大原地区の 2 農家圃場において，萎凋症状を呈したキュウリ株より根部を採集した．その根部の褐変部位より植松の方法⁷⁹⁾に従い素寒天培地上に分離し，35℃で 4 日間培養後に同一性状の分離菌を得た．分離菌を PDA（ジ

ヤガイモ 200 g の煮汁 : 1 L, ブドウ糖 : 20 g, 寒天 : 20 g) 平板培地にて 25℃, 30 日間以上培養し, 培地上に黒色の子のう殻の形成が確認された菌株のうち, 大東町渋民地区より採取した Iw06-M16 (自根栽培の品種‘夏

ばやし’より分離), および大東町大原地区より採取した Iw06-M24 (自根栽培の品種‘パイロット’より分離) を代表菌株として以下の試験に供試した.



A

○CMV と ZYMV の重複感染

CMV (キュウリモザイクウイルス) および ZYMV (ズッキーニ黄斑モザイクウイルス) の重複感染によって萎凋症状が発生する. ZYMV 単独感染でも萎凋症状が発生することがある. 葉のモザイク症状や, 果実の奇形症状を伴うことが多く, 他の原因と区別できる.

左写真: 葉のモザイク症状 (CMV と ZYMV の重複感染)



B

○つる枯病 (病原菌: *Didymella bryoniae*)

主として茎に発病するが, 葉や果実に発病することもある. 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, 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. 病斑は古くなると表面に黒色の小粒点ができる. 病斑より上部は萎凋する.

左写真: 主茎に生じた病斑



C

○つる割病 (病原: *Fusarium oxysporum* f. sp. *cucumerinum*)

地際部付近の主茎が赤褐色に変色し, 褐変部からはヤニを生じる. 病斑部には, 白色〜淡橙色のかびが生じる. この病斑部は茎に沿って縦長に形成され, のちに亀裂が生じて割れ目ができる. 病斑より上部は萎凋する. 被害株の根および茎の導管部は褐変する.

左写真: 主茎に生じた赤褐色の病斑



D

○疫病 (病原菌: *Phytophthora melonis*)

○灰色疫病 (病原菌: *Phytophthora capsici*)

葉, 茎, 果実などに発病するが, 地際部の主茎での発生が多い. 地際部主茎に暗緑色, 水浸状の病斑を生じ, 病斑から上部は萎凋する. 県内では, キュウリ圃場が冠水した場合に発生がみられる. 果実にも暗緑色, 水浸状の病斑を形成して白色の菌糸を生じる.

左写真: 果実での発病



E

○ネコブセンチュウ害

サツマイモネコブセンチュウ (*Meloidogyne incognita*), またはキタネコブセンチュウ (*Meloidogyne hapla*) の加害が多いと推定される. 他の要因と同様に地上部は萎凋するが, 葉の黄化や地上部の生育不良を伴い, 根に特徴的なコブが多数形成される.

左写真: ネコブセンチュウ害 (根のコブ形成)



F

○黒点根腐病 (病原菌: *Monosporascus cannonballus*)

発病初期は, ホモプシ根腐病同様に地上部の萎凋症状および根部の褐変のみであるが, 根の病勢が進展すると, 根上に子のう殻が多数形成される. 本病の発生確認は自根栽培のキュウリのみである (第 2 章第 4 節).

左写真: 根上に形成された子のう殻 (小黑点として観察される)

図 6 ホモプシ根腐病類似の急性萎凋症状の原因となる病害虫

2. 形態観察

2006年9月に一関市大東町大原地区の自根キュウリ栽培圃場で採取した罹病根上に形成された子のう殻、子のうおよび子のう胞子各100個について大きさを光学顕微鏡下で測定した。また、供試菌株 Iw06-M16 および Iw06-M24 については PDA 培地で 25℃、約 60 日間培養し、培地上に形成された子のう殻、子のうおよび子のう胞子について各 100 個の大きさを光学顕微鏡下で測定した。

3. PCR 法による判別

供試菌株は、Iw06-M16, Iw06-M24, MAFF305550(*M. cannonballus*, ジーンバンクより分譲), MAFF305581(*M. cannonballus*, ジーンバンクより分譲), IPS77(*Phomopsis sclerotioides*, 2009 年に岩手県花巻市より採集)とした。供試菌株をブドウ糖加用ジャガイモ煎汁液体培地で 25℃、4 日間培養して菌糸を回収し、PEX 法⁵²⁾により核酸を抽出した。抽出した核酸を鋳型に *M. cannonballus* を特異的に検出するプライマーを用いて PCR 反応を行った⁶⁸⁾。PCR 産物は、2%アガロースゲル電気泳動後、臭化エチジウムで染色し、紫外線を照射して増幅産物を観察した。

4. カボチャ台木接ぎ木苗への接種試験

試験は 2009 年に岩手県農業研究センター所内ガラス温室で実施した。供試菌株 Iw06-M24 を直径 9 cm シャーレの PDA 平板培地上で 25℃、約 60 日間培養し、子のう殻の形成を確認した菌体含有寒天片を、園芸培土（三研ソイル株式会社、ソイルフレンド）1 L に対して シャーレ約 1 枚の割合で混和し汚染土壌を作成した。汚染土壌は、ガラス温室内に設置した大きさ 1.4 m×1 m×0.25 m、土壌容量約 250 L の隔離床に約 50 L 入れ、園芸培土約 180 L と混合した。キュウリ穂木品種は‘夏ばやし’(*Cucumis sativus* L., タキイ種苗)とし、供試台木品種はキュウリ用カボチャ台木‘黒ダネ南瓜’(*Cucurbita ficifolia* Bouché, サカタのタネ), ‘パワー Z2’(*Cucumis moschata* Duch., ときわ研究場), ‘新土佐’(*Cucurbita maxima* × *C. moschata*, ナント交配)とし、片葉切断断根接ぎ木した苗を供試した。また、比較対照として自根区も設けた。2009 年 4 月 12 日に各台木の接ぎ木苗および自根苗を 6 株ずつ定植し、6 月 15 日まで栽培した。栽培管理は主枝 1 本仕立、側枝 2 節摘芯とし、定植 44 日以降は放任とした。定植 64 日後に地上部の萎凋症状の発生状況を調査するとともに根を掘り起こし、洗浄後に根部の褐変程度について下記の指数別に調査し、平均発病指数を算出した。

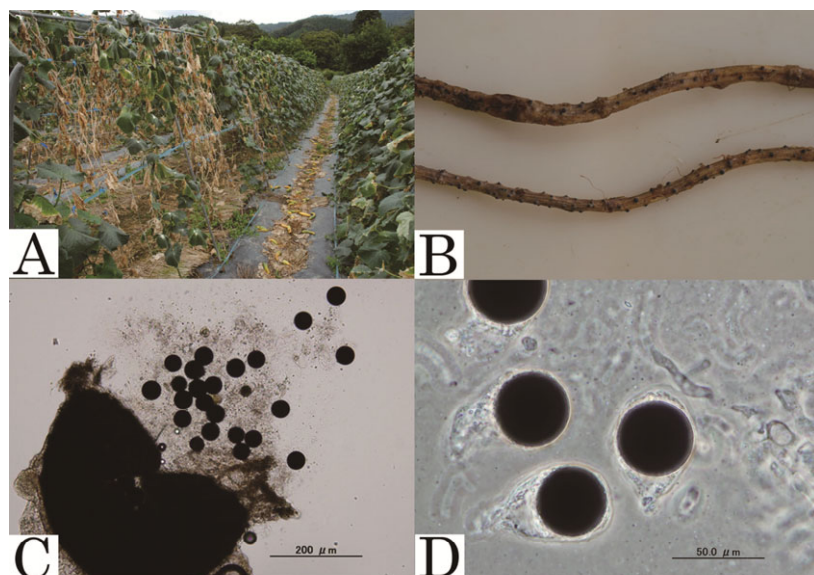


図7 露地夏秋作型の自根キュウリにおいて確認された黒点根腐病

A：キュウリ黒点根腐病による萎凋症状発生圃場

B：根上に形成された子のう殻

C：押しつぶされた子のう殻と、子のう殻から放出された子のう胞子

D：子のうと子のう胞子

表 3 分離菌株と既報の *Monosporascus cannonballus* との形態比較

供試菌株	子のう殻	子のう (μm)		子のう胞子	分離源植物
	(μm)	長さ	幅	(μm)	
根上の罹病組織 (2006, 一関市大東町大原)	250-550	55-130	35-60	30-55	キュウリ
Iw06-M16 (2006, 一関市大東町渋民)	210-550	55-120	40-55	35-50	キュウリ
Iw06-M24 (2006, 一関市大東町大原)	180-540	60-125	35-55	30-50	キュウリ
植松ら(1992)	100-675	56-132	33-65	30-50	ユウガオ台スイカ
Watanabe(1979)	222-568	50-110	35-50	32-47.5	メロン
Pollack and Uecker(1974)	Max. 500	56-90	30-55	30-50	メロン

指 数 0 : 根の褐変が認められない

1 : 根の 10%未満が褐変

2 : 根の 10%以上～50%未満が褐変

3 : 根の 50%以上が褐変

自根株の根については、洗浄後素寒天培地を用いて 35℃で4日間培養し、病原菌を再分離した。

5. 県内キュウリ産地における発生実態調査

県内産地におけるキュウリ黒点根腐病の発生実態を調査した。なお、本病と同様に萎凋症状を引き起こし、地上部の病徴での判別が困難であるホモプシス根腐病についてもあわせて調査した。2006年の露地夏秋キュウリの栽培終了時期(9月下旬～10月中旬)に岩手県病害虫防除所の巡回調査地点25圃場および本病の発生を確認した一関市の2圃場において根を採取し、黒点根腐病菌およびホモプシス根腐病菌を分離した。黒点根腐病菌は、水道水で洗浄した根を5mm程度に切断し、70%エタノールで約10秒、2%次亜塩素酸ナトリウム溶液で約3分表面殺菌、滅菌水で3回洗浄したのち1圃場あたり根の断片30個を素寒天培地に置床し、35℃で4日間培養・分離した。ホモプシス根腐病菌は、第2章第2節の1と同様の方法で分離した。

結 果

1. 形態観察

2006年に一関市大東町大原地区で採取した罹病根上に形成された子のう殻は、黒色から黒褐色の球状あるいは扁平状で大きさは250～550μmであった(図7C)。子のうは無色の球状から楕円状で細い柄状の基部を有し、長さは55～130μm、幅35～60μmであった。子のう胞

子は、子のうの中に1個観察され、その大きさは直径30～55μmであった(図7D, 表3)。

供試菌株 Iw06-M16 および Iw06-M24 を PDA 培地上で培養し、培地上に形成された各器官の大きさは、子のう殻が幅180～550μm、子のうは長さ55～125μm、幅35～55μm、子のう胞子の大きさは直径30～50μmであった(表3)。

以上の各器官の形態および大きさは既報のメロンおよびユウガオ台スイカに発生した *M. cannonballus* とほぼ一致した^{62), 81), 86)}。

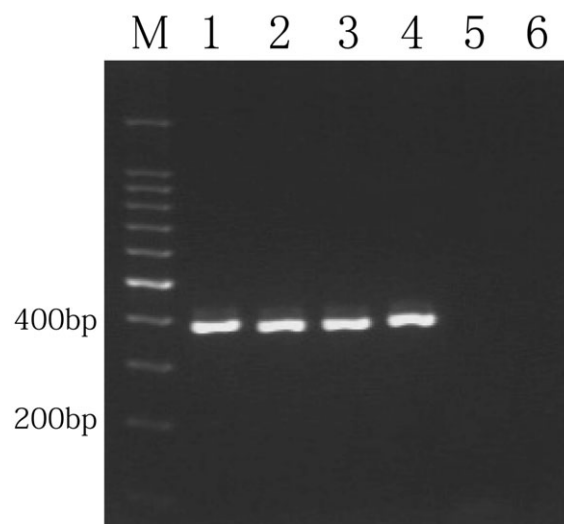


図8 ウリ類黒点根腐病菌特異的プライマーを用いたPCR法による *Monosporascus cannonballus* の検出
M : サイズマーカー (100bp ラダー)

1 : Iw06-M16 (一関市大東町渋民地区分離菌)

2 : Iw06-M24 (一関市大東町大原地区分離菌)

3 : MAFF305550 (*M. cannonballus*)

4 : MAFF305581 (*M. cannonballus*)

5 : ブランク

6 : IPS77 (*Phomopsis sclerotoides*)

2. PCR 法による判別

M. cannonballus を特異的に検出するプライマーを用いた PCR 反応および電気泳動の結果、供試菌株 Iw06-M16 および Iw06-M24 は、MAFF305550(*M. cannonballus*)、および MAFF305581(*M. cannonballus*)と同一の 392 bp 部分に増幅産物が認められた。IPS77 (*P. sclerotoides*)では増幅産物は認められなかった (図 8)。

3. カボチャ台木接ぎ木苗への接種試験

本病菌汚染土に定植して 64 日後における萎凋症状の発生は、自根区において 6 株中 2 株で観察された。しかし、カボチャ台木‘黒ダネ南瓜’、‘パワーZ2’、‘新土佐’区では萎凋症状は認められなかった (表 4)。

根部の発病についてみると、自根区で根部平均発病指数 2.3 と高かったが、‘黒ダネ南瓜’、‘パワーZ2’、‘新土佐’区では 0.5-0.7 と低かった (表 4)。

表 4 数種カボチャ台木品種およびキュウリに対する *Monosporascus cannonballus* の病原性

台木品種	地上部の萎凋 (萎凋株数/供試株数)	根部平均発病指数	台木の種類
黒ダネ南瓜	0/6	0.5	クロダネカボチャ (<i>Cucurbita ficifolia</i>)
パワーZ2	0/6	0.7	ニホンカボチャ (<i>Cucurbita moschata</i>)
新土佐	0/6	0.5	カボチャ雑種 (<i>Cucurbita maxima</i> × <i>C. moschata</i>)
夏ばやし (自根)	2/6	2.3	キュウリ (<i>Cucumis sativus</i>)

表 5 露地夏秋キュウリ栽培終了時における根部からの黒点根腐病菌およびホモプシス根腐病菌の分離結果 (2006)

No.	市町村	地区	黒点根腐病菌 <i>Monosporascus cannonballus</i>	ホモプシス根腐病菌 <i>Phomopsis sclerotoides</i>	備考
1	二戸市	釜沢No.1	×	×	台木栽培
2	"	釜沢No.2	×	×	"
3	"	金田一	×	×	"
4	"	舌崎No.1	×	×	"
5	"	舌崎No.2	×	×	"
6	雫石町	雫石	×	○	"
7	"	御明神	×	×	"
8	"	駒木野	×	×	"
9	盛岡市	湯沢No.1	×	×	"
10	"	湯沢No.2	×	○	"
11	"	太田No.1	×	○	"
12	"	太田No.2	×	○	"
13	紫波町	片寄No.1	×	○	"
14	"	片寄No.2	×	○	"
15	"	彦部No.1	×	○	"
16	"	彦部No.2	×	○	"
17	花巻市	石鳥谷町八重畑	×	○	"
18	"	太田	×	○	"
19	北上市	飯豊	×	○	"
20	金ヶ崎町	六原	×	○	"
21	"	西根	×	×	"
22	"	永栄	×	○	"
23	奥州市	江刺区愛宕	×	×	"
24	"	江刺区藤里	×	×	"
25	"	江刺区広瀬	×	×	"
26	一関市	大東町渋民	○	×	自根栽培
27	"	大東町大原	○	×	"

z) ○は病原菌が分離されたことを、×は分離されなかったことを示す。

自根区では、萎凋症状が認められた2株および萎凋症状が認められなかった4株のいずれも根部の褐変が認められ、根部褐変部位からは接種菌が再分離された（データ省略）。

4. 県内キュウリ産地における発生実態調査

県内 27 の露地夏秋キュウリ圃場において、地上部が萎凋症状を示したキュウリの根より黒点根腐病菌およびホモブシス根腐病菌の分離を試みた。その結果、自根栽培の2圃場から黒点根腐病菌が分離されたものの、カボチャ台木を用いた接ぎ木栽培の25圃場では分離されなかった。一方、ホモブシス根腐病菌は県中南部を中心にカボチャ台木を用いた接ぎ木栽培の25圃場中13圃場で分離された（表5）。

黒点根腐病の発生が確認された自根栽培の2圃場（一関市大東町）では、黒点根腐病菌のみ分離され、ホモブシス根腐病菌は分離されなかった（表5）。

考 察

岩手県一関市で自根栽培の露地夏秋キュウリに発生した、地上部が萎凋し、根部に子のう殻を生じる症状は *M. cannonballus* によるキュウリ黒点根腐病と判断された（図7、表3、図8）。

通常、キュウリはカボチャ台木に接ぎ木して栽培される。そこで、キュウリ栽培で使用する数種カボチャ台木品種に対する *M. cannonballus* の病原性について検討したところ、供試した‘黒ダネ南瓜’、‘パワーZ2’、‘新土佐’のいずれの台木品種も萎凋症状は発生せず、根の発病程度もキュウリ自根区に比較すると明らかに低かった（表4）。本病はカボチャ台木を用いた接ぎ木栽培のキュウリ栽培圃場での発生報告はなく、本研究における発生実態調査でもカボチャ台接ぎ木キュウリ栽培圃場から本菌は検出されなかった（表5）。これらのことから、本病は自根栽培のキュウリにおいては問題となるが、カボチャ台木を用いた接ぎ木栽培の場合はほとんど問題にならないと推定された。

メロン黒点根腐病は、メロンの生育とともに強い病原性を示すとされる⁸²⁾。しかし、*M. cannonballus* の自根キュウリに対する病原性はあまり強くないと考えられ、本試験において接種試験を実施したが、汚染土壌への自根キュウリ苗の定植64日後においても6株中2株が萎凋症状を呈するにとどまった（表4）。その後実施した本病の病徴再現試験においても全く萎凋症状が発生しな

い場合がみられ、特にキュウリ果実の収穫期前に萎凋症状を認めた事例は見られなかった（岩舘、未発表）。また、現地圃場において、本病による萎凋症状が認められたのは収穫最盛期にあたる8月であったこと、メロンにおいても本病による萎凋症状が認められるのは果実が肥大し、ネット形成がほぼ完了した頃⁷⁹⁾であることから、本病による萎凋症状の発現には、宿主側の着果負荷等のストレスも重要な要因になると推定された。

本病菌はメロンやスイカ等の多くのウリ科野菜に感染すること⁸⁰⁾から、本病発生圃場では、ウリ科作物との輪作とまらないような圃場利用計画が必要である。

第3章 病原菌の諸性質および発生生態

キュウリホモブシス根腐病の性質および発生生態を把握することは効率的な防除方法を検討するうえで重要である。そこで本章第1節では、培養条件下での本病菌の菌糸生育に影響する諸条件を調査した。次に第2節において、ポット試験等において本病の発生に及ぼす環境要因を検討した。第3節では、本病の伝染源を明らかにする目的で、圃場における感染実態を調査するとともに罹病株の残渣を用いた伝染性確認試験を実施した。

第1節 培地における菌糸生育

本病菌の菌糸生育に及ぼす培養温度、pHの影響と、本病菌の死滅温度について検討した。

材料および方法

供試菌株は、PS-05株（東北農業研究センター福島研究拠点より分譲）、IPS77株（2009年に岩手県花巻市より採集）およびIPS97株（2010年に岩手県遠野市より採集）を用い、以下の試験を実施した。

1. 温度の影響

PDA平板培地で前培養した本病菌の菌叢から7mm径のコルクボーラーで一部を切り出し、新しいPDA平板培地に移植し、5℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃、40℃に設定した各温度条件で培養した。培養3日後に菌叢長径と短径を計測してその平均を求めた。実験は6反復とした。

2. pHの影響

PDA平板培地で前培養した本病菌の菌叢から7mm

径のコルクボーラーで一部を切り出し、pH 3～10 に調製した PDA 平板培地の中央に移植し、25℃で培養した。pH 調製は、オートクレーブ滅菌後の PDA 平板培地に塩酸または水酸化ナトリウムを滴下し、pH3～10 の 8 段階となるように調製した。培養 3 日後に菌叢の長径と短径を計測してその平均を求めた。1 試験区あたり PDA 平板培地 6 枚を供試した。

3. 死滅温度

PDA 平板培地で本病菌を 14 日間前培養したペトリ皿を、25℃、27.5℃、30℃、32.5℃、35℃、37.5℃、40℃の各条件下で 1～40 日間静置した。所定日数の培養後、本病菌の菌叢を 7 mm 径のコルクボーラーで 1 ペトリ皿あたり含菌寒天 5 個を切り出し、新たな PDA 平板培地に移植し、培養 5～7 日後における菌糸生育の有無を調査した。1 試験区あたり PDA 平板培地 4 枚を供試し、新たな PDA 平板培地に移植した後の菌糸生育の有無から病原菌の生存割合を算出した。

結 果

1. 温度の影響

培養温度が菌叢生育に及ぼす影響を図 9 に示した。PS-05 株、IPS77 株および IPS97 株いずれも 25℃付近で菌叢の生育が良好であった。低温側では 5℃では生育しなかった。一方、高温側では、30℃以上で菌叢の生育は明らかに劣り、35℃以上では全く生育しなかった。

2. pH の影響

PDA 平板培地での培養時の pH が菌叢生育に及ぼす影響を図 10 に示した。PS-05 株、IPS77 株および IPS97 株いずれも pH 3～10 のすべての区で生育した。pH 4～5 において特に菌叢の生育は良好であったが、強酸性の pH3 では明らかに劣った。また、pH6 以上では pH の上昇に伴い菌叢生育はしだいに抑制される傾向であった。

3. 死滅温度

病原菌の死滅温度を検討した結果を表 6、表 7、表 8 に示した。PS-05 株、IPS77 株および IPS97 株いずれも 40℃では 2～4 日間、37.5℃では 4～5 日間、35℃では 5～7 日間の処理で死滅した。32.5℃では処理日数が増加するにつれて生存割合は低下したが、42 日後でも完全に死滅することは無かった。30℃では、処理 42 日後の生存割合は PS-05 株で 50%、IPS77 菌株で 80%と若干低

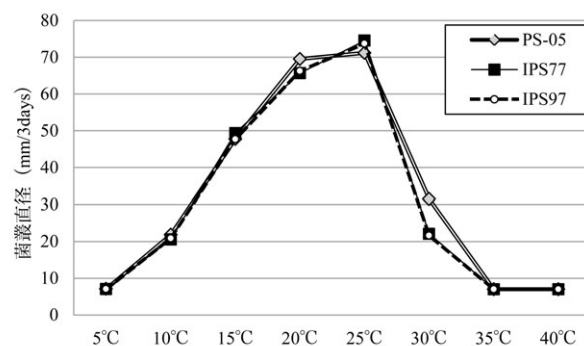


図9 培養温度と菌叢の生育

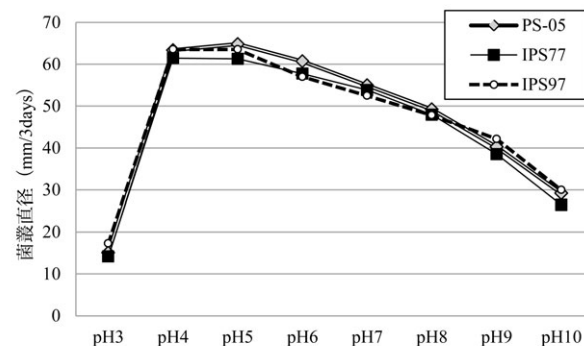


図10 培地pHと菌叢の生育

下したが、IPS97 菌株の生存割合は 100%であった。

考 察

ウリ科ホモプシス根腐病菌の生育適温についてはいくつか報告があり、橋本・吉野¹¹⁾は、施設栽培キュウリのカボチャ台木部より分離した菌株について、生育適温 24～28℃、生育の最低限界温度 8℃、最高限界温度 32℃付近としている。堀越ら¹³⁾は、露地夏秋キュウリおよび施設栽培キュウリのカボチャ台木部より分離した菌株について、生育適温 23℃～28℃、生育の最低限界温度 8℃、最高限界温度 33℃と報告している。矢戸⁶⁶⁾もほぼ同様に、本病菌の生育適温は 25～26℃としている。本研究においても菌株間での生育差はほとんど認められず、生育適温 20～25℃、生育の最低限界温度 10℃、最高限界温度 30℃であり、これまでの報告とほぼ一致した(図 9)。

大島ら⁶¹⁾は、関東地方のスイカ産地において土壌の低 pH 化が本病の発生を助長すると報告している。本研究では培地上での検討ではあるが、本病菌の生育に関しての至適 pH は 4～5 付近と考えられ、pH 6 以上では菌糸生育は抑制された(図 10)。この結果は大島ら⁶¹⁾の報告ともよく一致しており、土壌の低 pH 化は本病菌の生育に適した条件である可能性が高い。本病菌の死滅温度を検討した結果、40℃では 2～4 日間、37.5℃では 4～5

表6 温度別処理日数とホモブシス根腐病菌の生存割合 (PS-05株)

温度	1日	2日	3日	4日	5日	7日	10日	15日	21日	30日	42日
40℃	100 ^{z)}	50	10	0	0	0	0	0	— ^{y)}	—	—
37.5℃	100	100	80	0	0	0	0	0	—	—	—
35℃	100	100	90	80	0	0	0	0	—	—	—
32.5℃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	50
30℃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90	50

z) 表中の数字は生存割合（単位：％）を示す。

y) 試験せず。

表7 温度別処理日数とホモブシス根腐病菌の生存割合 (IPS77株)

温度	1日	2日	3日	4日	5日	7日	10日	15日	21日	30日	42日
40℃	80 ^{z)}	0	0	0	0	0	0	0	— ^{y)}	—	—
37.5℃	100	100	80	20	0	0	0	0	—	—	—
35℃	100	100	90	50	0	0	0	0	—	—	—
32.5℃	100	100	100	100	90	90	90	80	80	50	20
30℃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	80

z) 表中の数字は生存割合（単位：％）を示す。

y) 試験せず。

表8 温度別処理日数とホモブシス根腐病菌の生存割合 (IPS97株)

温度	1日	2日	3日	4日	5日	7日	10日	15日	21日	30日	42日
40℃	100 ^{z)}	0	0	0	0	0	0	0	— ^{y)}	—	—
37.5℃	100	80	40	0	0	0	0	0	—	—	—
35℃	100	100	100	90	60	0	0	0	—	—	—
32.5℃	100	100	100	100	100	90	70	60	60	60	50
30℃	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

z) 表中の数字は生存割合（単位：％）を示す。

y) 試験せず。

日間、35℃では5～7日間で死滅すること、32.5℃では処理日数の経過とともに生存割合は低下したが、42日後でも完全に死滅しなかった（表6、表7、表8）。この結果は小林ら³²⁾の結果とほぼ一致し、本病菌は高温耐性が低いものと考えられた。

これらの結果から、本病は、比較的低温の栽培地で被害が助長される可能性が高いこと、土壌pHの低下は発病が助長される可能性が示された。このことは、地温を低下させることについては対応法がないが、土壌の酸性化を防ぐことは可能と考えられ、これが一つの防除法となる可能性を示している。

第2節 本病の発生に及ぼす環境要因の検討

本病菌の発病助長要因を明らかにするために、本病の発生に対する土壌水分（pF値）、温度、土壌中の病原菌密度の影響を検討した。また、現地発生圃場における土

壌深度別の病原菌の存在状況を検討した。

材料および方法

1. 土壌水分（pF値）の影響

試験は、岩手県農業研究センター内のガラス温室内において、大きさ1.4 m×1 m×0.25 mの隔離床に約200 Lの所内汚染土壌（黒ボク土）を充填して実施した。試験区は、過湿区、標準区、乾燥区の3処理とした。土壌水分は、pFメータ（大起理化学工業株式会社、DIK-8333）により随時観察し、過湿区ではpF1.7以下を、標準区ではpF1.7～1.9を、乾燥区ではpF1.9以上を目標に管理した。過湿区では、1日3回、朝昼夕に隔離床の底から水が染み出すまでの灌水とし、標準区では、朝1回の灌水を基本として、土壌の状態や天候により過湿状態や乾燥状態にならないように灌水を加減した。乾燥区では、生

長点の萎れが観察された場合や、pF メータの表示を参考にしながら適宜土壌表面が濡れる程度に灌水した。隔離床には、播種 12 日目のキュウリ品種‘夏ばやし’自根苗を各区 10 株定植し、その後の発病状況の推移を調査した。地上部の萎凋状況は随時調査した。地下部の発病状況は定植 35 日後に丁寧に抜根し、下記の指数別に調査して発病度を算出した。

指数 0：無病徴

1：根の一部が褐変

2：根の半分程度が褐変

3：根のほとんどが褐変

4：枯死

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

草丈、根長、胚軸径は定植 35 日後に調査した。根長は、根を丁寧に抜根し、胚軸からの距離を測定した。胚軸径は子葉節直下の太さを計測した。なお、標準管理区では、定植時の植え傷みに起因すると推定された活着不良が 1 株見られたため、これを除いた 9 株について調査した。

2. 汚染土壌混和割合と発病の関係

岩手県農業研究センター内のガラス温室内において実施した。現地キュウリ栽培圃場の汚染土壌（黒ボク土）を重量比で 0%, 0.01%, 0.1%, 0.5%, 1%, 10%, 50%, 100% 園芸培土（ソイルフレンド）に混和した土壌を直径 12 cm の丸型ポリポットに充填した。播種 14~15 日目のキュウリ品種‘夏ばやし’自根苗を各区 20 ポット移植して発病推移を調査した。試験は 2 回に分け、1 回目の試験では混和割合 0%（無処理）、1%, 10%, 50%, 100% について、2 回目の試験では混和割合 0%（無処理）、0.01%, 0.1%, 0.5%, 1% について調査した。調査は、1 回目試験では鉢上げ 31 日後、2 回目試験では鉢上げ 45 日後とし、地上部の萎凋状況および根部の発病状況について調査した。根部の発病状況は抜根後に、第 3 章第 3 節の 1 と同様の方法で調査した。なお、2 回目の試験において 0%（無処理）において、移植後の活着不良が 4 株見られたため、これを除いた 16 株について調査した。

3. 現地発生圃場における土壌深度別の病原菌分布

露地夏秋キュウリにおいて本病の発生が確認されている現地生産圃場（北上市飯豊、花巻市糠塚、盛岡市太

田）よりルートオーガーを用いて地表面から 0~10 cm 層、10~20 cm 層、20~30 cm 層、30~40 cm 層の土壌を採集した。各土壌を 7.5 cm ポットに充填し、播種 8 日目のキュウリ品種‘夏ばやし’自根苗を移植した。鉢上げ 30 日後の萎凋状況および根部の発病状況について調査した。根部の発病状況は抜根後に、前述と同様の方法で調査した。各試験区とも 6 反復とした。

4. 温度条件が発病に及ぼす影響

キュウリホモブシ根腐病菌（IPS77 株）をフスマ・土壌培地（フスマおよび土壌を 1:4 の容積比で混合し、121℃、20 分間オートクレーブ滅菌処理）で 25℃、3 週間培養した接種源を、園芸培土（ソイルフレンド）と容積比 1:9 の割合で混合した。作成した汚染土壌を 12 cm ポリポットに充填し、播種 12 日目のキュウリ品種‘夏ばやし’自根苗を各試験区に 10 株移植した。移植後ただちに 20℃、25℃もしくは 30℃に設定した恒温器内に静置し、調査日まで底面給水により管理した。恒温器内の光条件は明期 16 時間、暗期 8 時間とした。萎凋状況および根部の発病状況は移植 30 日後に調査した。発病度は、根を抜根したのち水道水で丁寧に洗浄し、下記の指数別に調査して算出した。試験は 2 度実施した。

指数 0：根の褐変が認められない

1：根の 10%未満が褐変

2：根の 10%以上-50%未満が褐変

3：根の 50%以上が褐変

4：枯死

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

結 果

1. 土壌水分（pF 値）の影響

萎凋症状は、過湿区では定植 7 日後に、標準区では定植 10 日後に確認された。乾燥区は生長点の萎れを目標とした灌水管理であったため、本病による萎凋症状かの判断は難しいが、定植 15 日後には灌水をしても萎凋症状が回復しない状態となった（図 11, 図 12, 図 13）。最終調査となった定植 35 日後は、いずれの区も全株が萎凋し、区間差は認められなかった（表 9）。根部の発病は、いずれの区も全株が発病指数 2（根の半分程度が発病）を示し、区間差は認められなかった。生育については、過湿区で優った。乾燥区では、定植 35 日後の草丈が 26.5 cm と、標準区の 1/4 程度となった。



図11 乾燥区における定植15日目の状況



図12 標準区における定植15日目の状況



図13 多湿区における定植15日目の状況

2. 汚染土壌混和割合と発病の関係

1回目の試験では、汚染土壌の混和割合が1%以上のすべての区で萎凋症状の発生が見られ、根部発病度も高かった。混和割合10%以上の区は全株が萎凋した（表10）。2回目の試験では、いずれの試験区でも萎凋症状の発生は見られなかったが、汚染土壌の混和割合が0.01%以上のすべての区で根の発病が認められた。混和割合0.1%以上の区では、根部発病度は50以上と高かった（表11）。

3. 現地発生圃場における土壌深度別の病原菌分布

ここでは現地の汚染圃場における土壌の深さ別の病原菌分布を確認した。北上市、花巻市、盛岡市のいずれの圃場においても、深さ40 cmまでの全層に病原菌の分布を認めた。萎凋株割合や根部発病度は、土壌深度が深くなるに従って若干低下する傾向はみられたが、すべての試験区で発病が認められた（表12）。以上のことから、病原菌は土壌深度40 cmまでの全層に分布することが明らかになった。

4. 温度条件が発病に及ぼす影響

温度条件が25℃や20℃で萎凋株の発生や根部発病度が高かった。一方、30℃では萎凋株の発生はほとんどみられず、根部発病度も低かった（図14）。

考 察

本病の発生と土壌中の水分の関係については、橋本・吉野¹¹⁾は、乾燥ぎみの土壌条件では早期から重症となる傾向を示すとし、矢戸⁶⁶⁾は土壌水分のばらつき（最高値と最低値の差）が大きいほどメロンホモプシス根腐病の発生が多かったとしている。また、このことから、病原菌の感染による導管液量の低下と宿主の水分ストレスの悪化が萎凋症状を起こす要因と推察されている⁶⁶⁾。

表9 土壌水分（pF値）と発病の関係

	調査株数	定植13日後 萎凋株率(%)	定植35日後 萎凋株率(%)	根部発病度	草丈(cm)	根長(cm)	胚軸径(cm)
過湿区 (<pF1.7)	10	100	100	50	197.0±11.7	24.6±6.4	1.2±0.1
標準区 (pF1.7-1.9)	9	100	100	50	109.4±4.3	12.0±4.3	0.8±0.2
乾燥区 (pF1.9<)	10	100	100	50	26.5±3.9	7.3±2.5	0.5±0.2

表10 汚染土混和割合と発病の関係(試験1)

汚染土混和割合(%)	調査株数	萎凋株率(%)	根部発病度
0	20	0	0
1	20	20	42.5
10	20	100	51.3
50	20	100	58.8
100	20	100	62.5

表11 汚染土混和割合と発病の関係(試験2)

汚染土混和割合(%)	調査株数	萎凋株率(%)	根部発病度
0	16	0	0
0.01	20	0	10
0.1	20	0	52.5
0.5	20	0	62.5
1	20	0	80

本研究では、萎凋株率、根部発病度ともにいずれの試験条件でも同等であったが、乾燥条件区では明らかに生育が劣った(表9, 図11, 図12, 図13)。このことから、地上部の萎凋症状および地下部の発病そのものには、土壤水分による影響はほとんど無いと考えられる一方、乾燥条件(pF値の高い場合)ほどキュウリの生育は抑制されることから、外観上の萎れの発生程度が大きく見えると考えられた。

汚染土混和割合と発病の関係について検討した結果、現地汚染土を0.01%以上(w/w)混和した場合で発病が確認された(表10, 表11)。このことは、本病が極めて低密度でも感染・発病が可能であることを示し、土壤汚染対策の重要性が示された。具体的には汚染圃場でのトラクタ共用や、育苗培土への汚染土混入のほか、圃場見学等での長靴による汚染土の持ち込みについても十分な警戒が必要と考えられた。

本病菌の土壤深度別の分布状況については、調査した

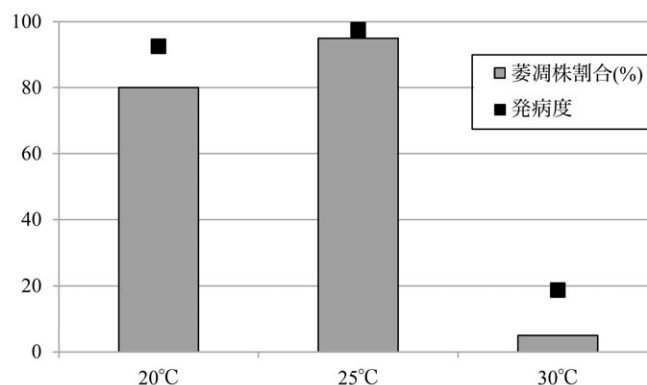


図14 温度条件が発病におよぼす影響

3圃場いずれも深度30~40cmまでのすべての層位において病原菌の存在が示された(表12)。本病菌については、土壌からの分離が可能な選択培地がないこと⁶⁷⁾、孢子形成が極めてまれであることから、土壌中の菌密度を希釈平板法等で推定することは困難である。本研究の結果からは、土壌深度が深まるにつれて萎凋株率および根部発病度が低下したことから、病原菌は表層に近い層位により多く存在するものと推定された。キュウリの根系は概して浅く、細根は土壌深度30cm以内の表土近くに分布し、下層土に入る根はわずかにすぎない²⁾。このことから、本病菌は土壌の深部まで存在しているものの、本病の防除を目的に土壌消毒を実施する場合には、当面は土壌深度30cmまでの層位をいかに確実に消毒できるかが成否のポイントとなると考えられた。

本病の発病に及ぼす温度条件について検討したところ、25°Cや20°Cで発病程度が高く、30°Cでは発病程度が低かった(図14)。人工培地上での本病菌の生育適温は、20°C~25°C、最高限界温度は30°Cであり(図9)、病原菌の生育温度と発病好適温度はほぼ一致した。また、穴戸⁶⁶⁾は本病の被害は病原菌の生育適温よりもやや低い20°C前後の温度域で多くなるとしている。実際に本病多発年であった2003年の気象は、本病の萎凋症状が観察される7-8月の2ヶ月間の平均気温は20.3°C(平均最高気温24.2°C, 平均最低気温17.4°C)であった(第2章

表12 土壌深度別の病原菌分布

土壌採集地	萎凋株割合(%)				根部発病度			
	深度 0-10cm	深度 10-20cm	深度 20-30cm	深度 30-40cm	深度 0-10cm	深度 10-20cm	深度 20-30cm	深度 30-40cm
北上市飯豊	100	83.3	33.3	50	100	92	75	75
花巻市糠塚	83.3	83.3	33.3	33.3	92	92	71	67
盛岡市太田	66.7	50	50	16.7	83	75	75	58

第 1 節). このことから、本病は比較的低温性の病害であり、20~25℃程度の温度域において最も被害が助長されるものと考えられ、東北地方は発生しやすい条件にあり、特に夏季冷涼年に被害が増大する可能性が示された。

第 3 節 圃場における感染実態と伝染源の検討

本病の伝染環を明らかにするために、植物体における本病菌の感染部位と本病の伝染源としての罹病残渣の役割について検討した。

材料および方法

1. 圃場における感染実態

本病の発生した露地夏秋キュウリ植物体中の感染部位を明らかにするため、栽培終了時期のキュウリ植物体を地際部からの距離別 (図 15、表 13) に 5 cm 程度の長さに切断して採集し、本病菌の分離を試み、感染の有無を調査した。試験は 2008 年に実施し、供試したキュウリ植物体は、岩手県農業研究センター所内の露地夏秋キュウリとし、収穫終了時期の 10 月 22 日に採集した。供試キュウリ品種は、‘夏ばやし’とし、台木は‘パワー Z2’と

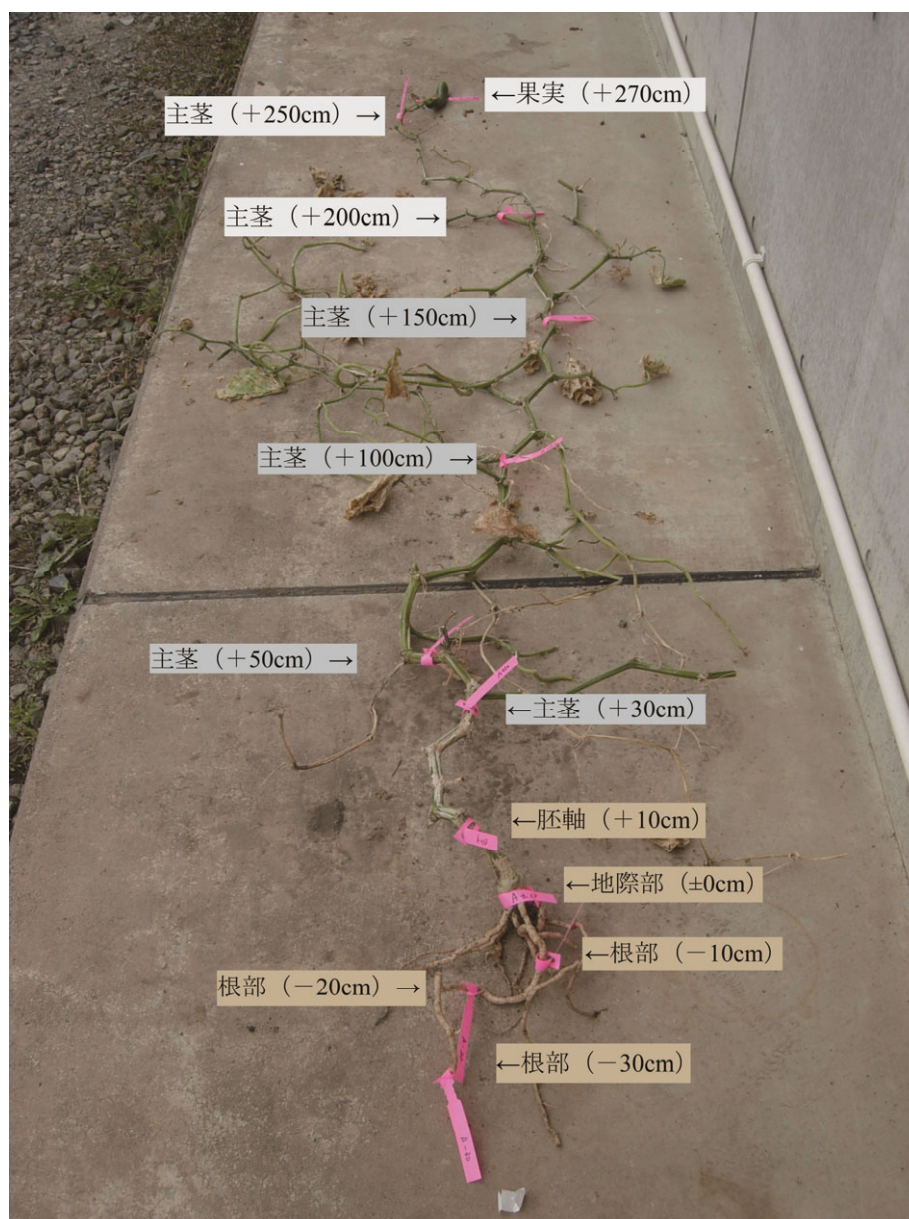


図 15 キュウリホモブシス根腐病汚染圃場における栽培終了時期のキュウリ植物体からの病原菌分離試験における分離部位²⁾

z) 地際部を基準として、「+」の場合は地上部を、「-」の場合は地下部であることを示す。

表13 キュウリホモブシス根腐病汚染圃場における栽培終了時期のキュウリ植物体からの病原菌分離結果

地際部からの距離 (cm) ^{z)}	分離部位	供試サンプル数 (2植物体合計)	ホモブシス根腐病菌 分離割合 (%)
+270	果実	30	0
+250	葉	30	0
+250	主茎	30	0
+200	果実	30	0
+200	葉	30	0
+200	主茎	30	0
+150	葉	30	0
+150	主茎	30	0
+100	主茎	30	0
+50	主茎	30	0
+30	主茎	30	0
+10	胚軸 (キュウリ穂木部分)	30	0
±0	地際部胚軸 (カボチャ台木部分)	30	26.7
-10	根 (カボチャ台木部分)	30	28.3
-20	根 (カボチャ台木部分)	30	31.7
-30	根 (カボチャ台木部分)	30	33.3

z)地際部からの距離が「+」の場合は地上部を, 「-」の場合は地下部であることを示す。

した。採集したキュウリ植物体は、葉および根部はそのまま、果実、胚軸および主茎は表皮を剥ぎ取ったうえで 5 mm 角に切り出し、表面を 70%エタノールで 10 秒間、2%次亜塩素酸ナトリウム水溶液で 2~3 分間表面殺菌し、滅菌水で 3 回洗浄した。洗浄したサンプル（地際部からの距離別に各 15 サンプル）を、第 2 章第 2 節の 1 と同様の方法で分離・培養し、分離可否を判断した。試験にはキュウリ植物体を 2 個体供試した。

2. 伝染源の検討

本病罹病残渣の伝染源としての役割を明らかにする目的で、本病発生圃場において萎凋症状を呈した株を、部位別に園芸培土（ソイルフレンド）に混和したのちにキュウリ苗を移植し、発病有無を調査した。試験は 2008 年に実施し、供試したキュウリ植物体は、岩手県農業研究センター所内の露地夏秋キュウリとし、収穫終了時期の 10 月 22 日に 14 個体を採集した。供試キュウリ品種は、‘夏ばやし’とし、台木は‘パワーZ2’とした。調査部

位は、果実、葉、接ぎ木部より上部の主茎、地際部-接ぎ木部付近の胚軸（以下胚軸とする）、根部とし、採集したサンプルを鉋で細かく刻み、園芸培土 1,900 g あたり生重で 100 g ずつよく混和した。各混和土壌を 12 cm ポリポットに充填し、播種 12 日目のキュウリ品種‘夏ばやし’自根苗を各区 20 株移植した。移植後はガラス温室内で底面給水により管理した。移植 38 日後に萎凋状況を調査するとともに根部の発病を下記の指数別に調査して平均発病指数を算出した。

指数 0：根の褐変が認められない

1：根の 10%未満が褐変

2：根の 10%以上- 50%未満が褐変

3：根の 50%以上が褐変 4：枯死

3. 根部残渣の病原性維持条件

本病の有力な伝染源と考えられた根部残渣の病原性維持条件について検討した。2008 年 10 月 22 日に本病発生圃場で採集した罹病根（台木品種：‘パワーZ2’）を供

試した。防根透水シート（東洋紡株式会社，防根透水シート BKS9812）を約 20 cm×20 cm の大きさに裁断し，その中に生重 200 g の罹病根を入れて包み，ビニル紐で縛った罹病根入りバッグを作成した。罹病根入りバッグを，（1）通風の良い室内に吊す‘室内-乾燥区’，（2）園芸培土（ソイルフレンド）を充填した隔離床の中に埋設する‘隔離床-乾燥区’，（3）園芸培土を充填した隔離床の中に埋設し，土壌表面が乾かないように随時灌水する‘隔離床-灌水区’，（4）排水口を塞いだ隔離床に容積の約半分量の園芸培土を充填し，罹病根バッグを埋設し，常時灌水条件とする‘隔離床-常時灌水区’の 4 処理区を設け，2009 年 3 月までの約 5 ヶ月間維持した。その後罹病根バッグを取り出し，1 罹病根バッグ（200g）あたり，1,800g の園芸培土とよく混和した。各混和土壌を 12cm ポリポットに充填し，播種 10 日目のキュウリ品種‘夏ばやし’自根苗を各試験区 20 株移植した。移植後はガラス温室内で底面給水により管理した。萎凋状況および根部の発病状況については移植 36 日後に調査した。調査方法は，第 3 章第 3 節の 1 と同様とした。

結 果

1. 圃場における感染実態

本病菌は，カボチャ台木部分である根および地際部の胚軸から分離された。しかし，カボチャ台木より上部のキュウリ穂木部分では，果実，葉，主茎，胚軸部ともに本病菌は分離されなかった（表 13）。

2. 伝染源の検討

萎凋株の果実，本葉，主茎を混和した試験区では全く発病は認められず，胚軸および根混和区で萎凋症状および根部の発病が認められた（表 14）。

3. 根部残渣の病原性維持条件

萎凋症状および根部の発病は，乾燥条件となった‘室内-乾燥区’および‘隔離床-乾燥区’では全く認められなかったが，土壌中水分を保った‘隔離床-灌水区’，灌水条件とした‘隔離床-常時灌水区’では認められた（表 15）。

考 察

キュウリホモプシス根腐病の耐久生存器官については，詳細は明らかとなっていないものの，根部に形成される偽子座や疑似微小菌核が次作への伝染源となると考えら

れている⁶⁶⁾。本研究においても，本病の感染は根や地際部の胚軸のみで確認され，地上部組織である主茎，葉，果実から病原菌は分離されなかった（表 13，図 15）。また，これらの残渣を部位別に園芸培土に混和し，キュウリ苗を定植することによって伝染源として機能するか否かを調査したところ，想定通り根や地際部の胚軸を混和した場合のみ発病が認められた（表 14）。このことは，根部残渣が次作の伝染源となるとする橋本・吉野¹¹⁾の報告とよく一致し，本病は地際もしくは地下部組織である胚軸や根の残渣が次作の伝染源の主体となっており，これらの組織上に形成される偽子座や疑似微小菌核が耐久生存器官としての役割を担っているものと推定された。次に，伝染源と推定された偽子座や疑似微小菌核が形成された根部残渣の病原性維持条件について検討した。その結果，根部残渣は約 5 ヶ月間乾燥状態とした場合，病原性を失うことが明らかとなった（表 15）。一方で，土壌中で湿度を保った状態や灌水条件下では病原性を失わなかった（表 15）。これらのことから，根部に形成される偽子座や疑似微小菌核は，乾燥状態に弱いと推定された。なお，本試験では根部残渣の病原性維持条件のみの検討となったことから，偽子座や疑似微小菌核の生存条件について別途検討が必要と考えられた。

表 14 萎凋症状発症株の残渣混和試験による発病状況

供試部位	供試株数	萎凋株率 (%)	根部発病指数 ²⁾
果実	20	0 b ^{y)}	0 b ^{x)}
葉	20	0 b	0 b
主茎	20	0 b	0 b
胚軸	20	60 a	3.2 a
根	20	80 a	3.6 a

z) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y) 同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果，5%水準で有意差がないことを示す。

x) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果，5%水準で有意差がないことを示す。

表 15 根部残渣の病原性維持条件

試験区	供試株数	萎凋株率 (%)	根部発病指数 ²⁾
室内-乾燥区	20	0 b ^{y)}	0 b ^{x)}
隔離床-乾燥区	20	0 b	0 b
隔離床-灌水区	20	25 a	2.5 a
隔離床-常時灌水区	20	35 a	2.7 a

z) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y) 同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果，5%水準で有意差がないことを示す。

x) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果，5%水準で有意差がないことを示す。

第4章 抵抗性台木およびクロルピクリンくん蒸剤を用いた防除技術

キュウリホモプシス根腐病菌は高温耐性が低く^{32;第3章第1節;第3章第2節}、その防除法として太陽熱消毒が効果的であることが明らかになっている^{38), 39), 70)}。しかしながら、東北地方の露地夏秋キュウリの産地では、作型上、太陽熱消毒期間を設けることは難しく、そのほかの有効な防除法も確立されていなかった。そこで本章では、これまでに明らかになった病原菌の諸性質や発生生態に基づき、露地夏秋キュウリ栽培に適用可能な防除技術を確立するための試験を実施した。すなわち、抵抗性台木の活用とクロルピクリンくん蒸剤を用いた土壌消毒手法について検討した。

まず、第1節において、本病抵抗性台木を検索するとともに台木適性についても検討した。次に第2節では、数種土壌消毒剤の中から本病防除に有効な薬剤を選抜するとともに、効果的な処理方法を検討した。第3節では、第2節の検討により有望と判断したクロルピクリンくん蒸剤のマルチ畦内処理後のキュウリ苗定植位置と防除効果について検討した。第4節では、防根透水シートを活用した根域制限手法による本病防除の可能性について検討した。第5節では、上記の第1～4節までの検討を踏まえ、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理の防除効果の向上を図るための作畦方法について検討した。具体的には、防根透水シートによる根域制限や高畦やマルチの裾埋め込み手法とマルチ畦内処理の組み合わせによる防除効果やそれらの処理がキュウリ生育に及ぼす影響についてである。さらに第6節では、クロルピクリンくん蒸剤の剤型（油剤、錠剤、灌水処理剤、テープ剤）とマルチ畦内処理の防除効果について検討した。そのほか第7節では、タバコ立枯病防除に実用化されているクロルピクリンくん蒸剤の深層土壌消毒による本病防除効果を検討した。

第1節 抵抗性台木の検索と台木適性

土壌伝染性病害を簡易に回避する技術としては、まず、抵抗性台木の利用があげられる。キュウリホモプシス根腐病に対しては、クロダネカボチャが一定の抵抗性を有しているとされているものの^{11), 13)}、被害を完全に抑制することはできない。また、一部スイカ用台木カボチャで有望なものもあるが³⁴⁾、いずれも自根での発病による評価であり、病原菌の感染による導管液量の低下と宿主の水分ストレスの悪化により萎凋症状が発現すると考

えられている本病に対しては⁵¹⁾、台木の能力を正しく評価しているとはいえない。さらに、カボチャ属以外のウリ科植物について評価した事例も少ない。そこで、ウリ科植物の中から本病に対する抵抗性台木として利用可能なものがあるか否かについて、キュウリの台木として接ぎ木を行ったうえでの抵抗性を検討するとともに、有望とされたトウガンについては品種間差や台木適性を検討した。

材料および方法

1. キュウリ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

市販されている主要なキュウリ台木用のカボチャ品種19種（図16）について本病に対する抵抗性を検討した。台木用カボチャをキュウリ品種‘夏ばやし’に片葉切断断根接ぎ木し、育苗培土を充填したプラスチック製黒ポット（直径12cm）へ鉢上げした。鉢上げ時にはPDA平板培地上で培養したホモプシス根腐病菌（岩手県農業研究センター保存IPS77株）を置床して、接ぎ木苗の根と病原菌を直接接触させて発病を促した。鉢上げおよび接種40日後に地上部および根部を下記の指数別に調査し、発病度を算出した。試験は、1品種あたり6株を供試した。

地上部発病指数 0：通常 1：生育抑制 2：生育不良
3：萎凋 4：枯死

根部発病指数 0：無病徴 1：根の10%未満が褐変
2：根の10%以上～50%未満が褐変
3：根の50%以上が褐変
4：根全体が褐変し支根が腐敗脱落

発病度＝ Σ （発病指数×当該発病指数の個体数）/（4×供試個体数）×100。

2. ウリ科植物のキュウリホモプシス根腐病に対する抵抗性

ウリ科植物種・亜種19種類（図17）について本病に対する抵抗性を検討した。台木用カボチャをキュウリ品種‘夏ばやし’に片葉切断断根接ぎ木し、前述と同様に本病に対する抵抗性を検定した。なお、根部の発病については褐変程度を観察した。検定に供試した苗は、ガラス温室内において管理した。試験は1区5株とし、鉢上げおよび接種40日後に地上部の発病度、主茎長、根の発病を調査した。根は、60℃、24時間で通風乾燥し、乾物重を測定した。

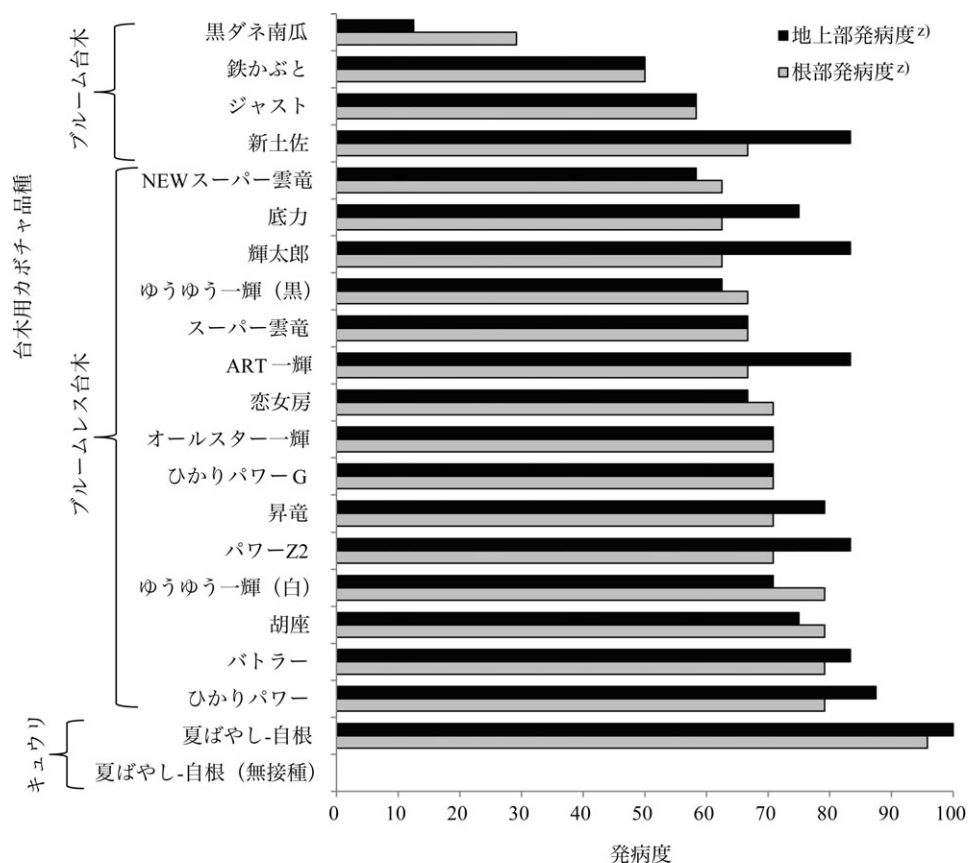


図 16 ホモブシス根腐病に対する台木用力ボチャ品種の発病度の差異

2) 発病度の算出方法は、‘材料と方法’ に示すとおり。

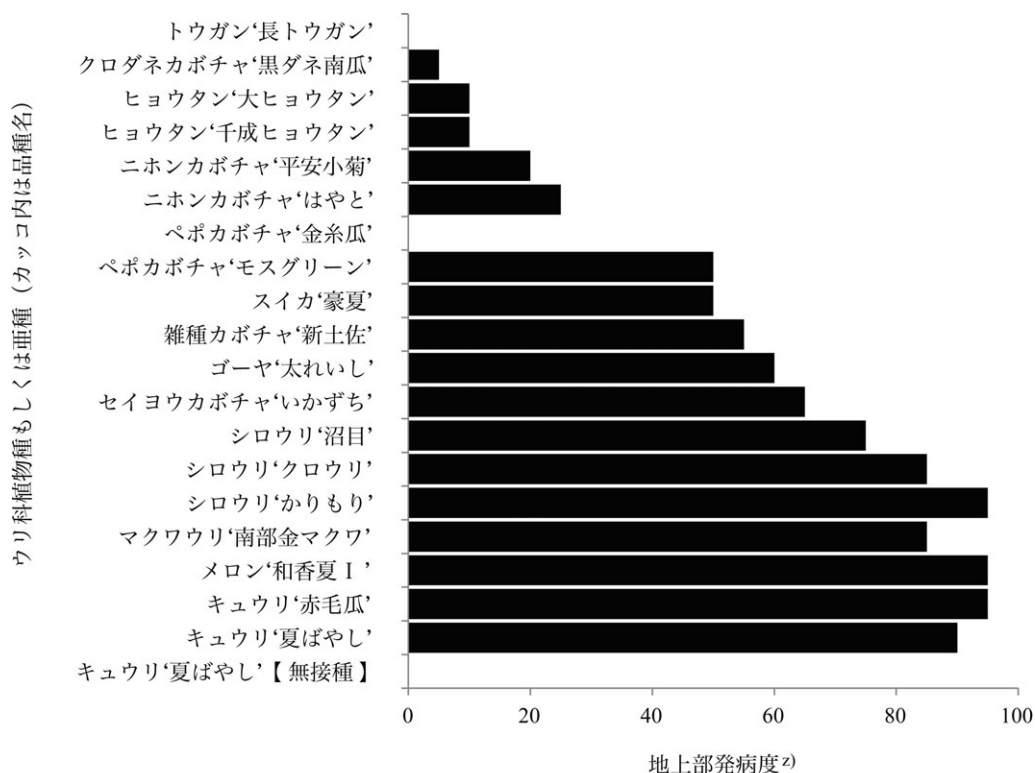


図 17 ホモブシス根腐病に対するウリ科植物種・亜種の地上部発病度の差異

2) 地上部発病度の算出方法は、‘材料と方法’ に示すとおり。

3. トウガン各品種のキュウリホモプシス根腐病に対する抵抗性

トウガン 10 品種 (図 20) について本病に対する抵抗性を検討した。各種トウガン品種を、キュウリ品種‘夏ばやし’に片葉切断断根接ぎ木し、前述と同様に抵抗性を検討した。検定に供試した苗は、ガラス温室において管理し、鉢上げ 21 日後に発病度と主茎長を調査した。根は、60℃、22 時間で通風乾燥し、乾物重を測定した。また、トウガン品種のキュウリに対する接ぎ木親和性を確認する目的で、上記と同様に接ぎ木後、本病菌を接種せずに鉢上げした無接種区を設けた。試験は、1 品種あたり 5 株を供試した。接ぎ木親和性の検定に関しては、病原菌無接種時における生育指数を、0: 正常, 1: 生育抑制, 2: 生育不良, 3: 萎凋, 4: 枯死として評価し、平均生育指数を算出した。

結 果

1. キュウリ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

今回供試したキュウリ台木用カボチャ品種は、すべて自根キュウリよりも発病度が低かった (図 16)。しかし、いずれの品種も根には本病の症状が認められ、被害を完全に回避できる台木は認められなかった。それらの品種の中でも、‘黒ダネ南瓜’は、地上部の萎凋症状の発生が少なく、根の発病度も低かった。ブルームレス台木では、感受性の違いが若干見られたものの、いずれも‘黒ダネ南瓜’に比べると発病度は高かった。‘黒ダネ南瓜’は胚軸が太く、接ぎ木が容易であり、キュウリ穂木との親和性も高かった (データ省略)。

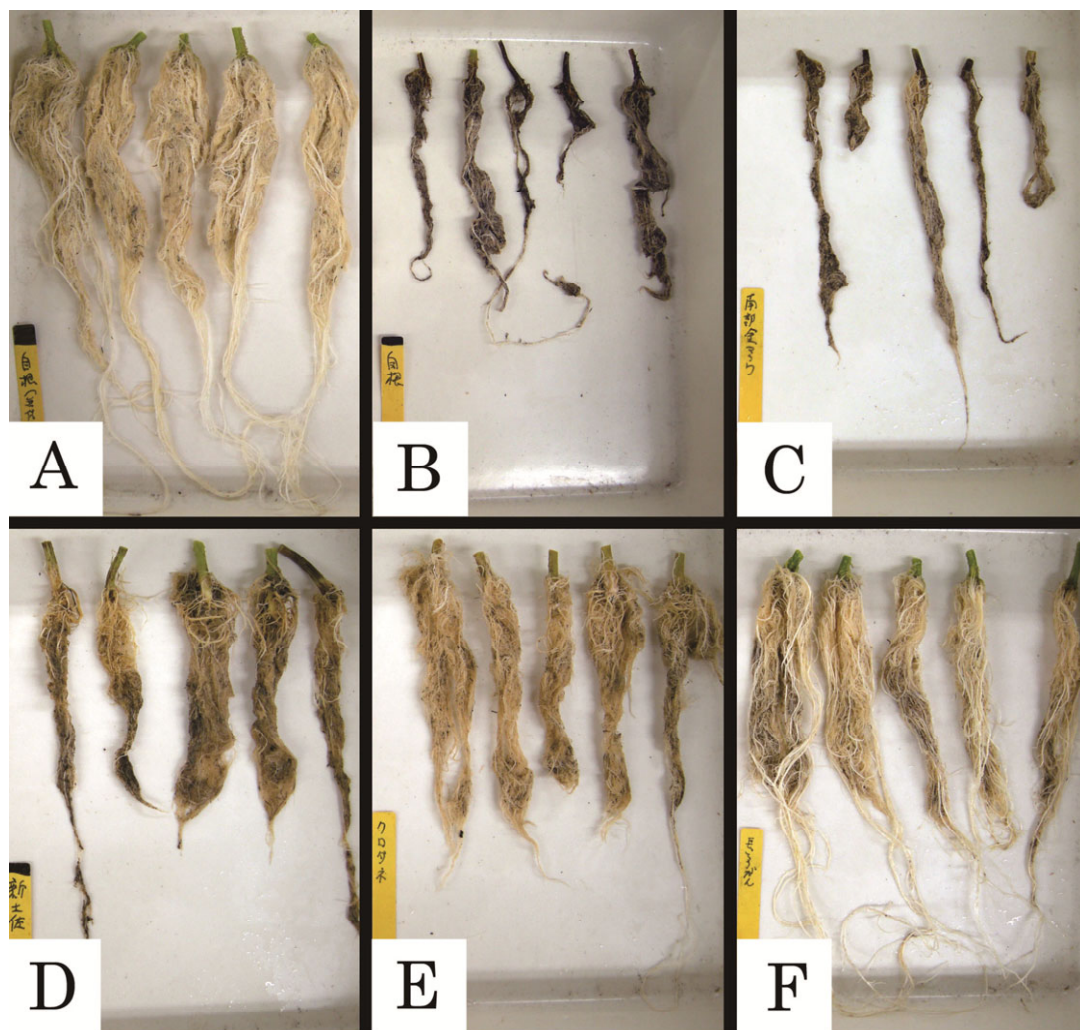


図 18 ホモプシス根腐病抵抗性検定試験における根の褐変程度の一例

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| A: キュウリ ‘夏ばやし’ (無接種) | B: キュウリ ‘夏ばやし’ (接種) |
| C: マクワウリ ‘南部金マクワ’ (接種) | D: 雑種カボチャ ‘新土佐’ (接種) |
| E: クロダネカボチャ ‘黒ダネ南瓜’ (接種) | F: トウガン ‘長トウガン’ (接種) |

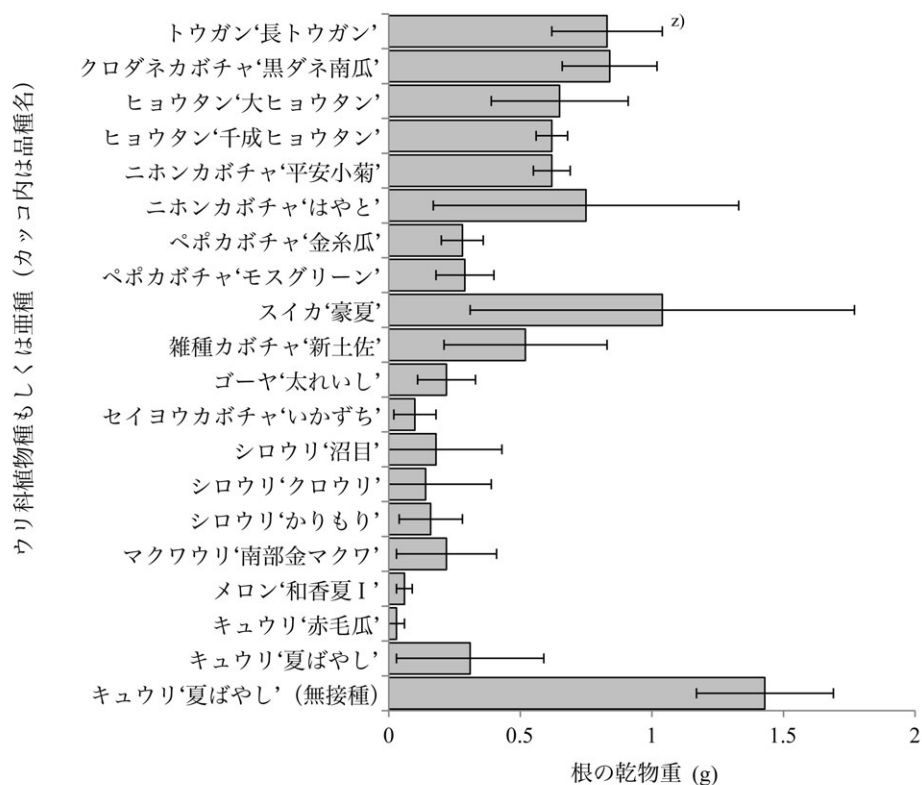


図 19 ホモブシス根腐病抵抗性検定試験におけるウリ科植物種・亜種の根乾物重の差異
 z) エラーバーは標準偏差を示す。

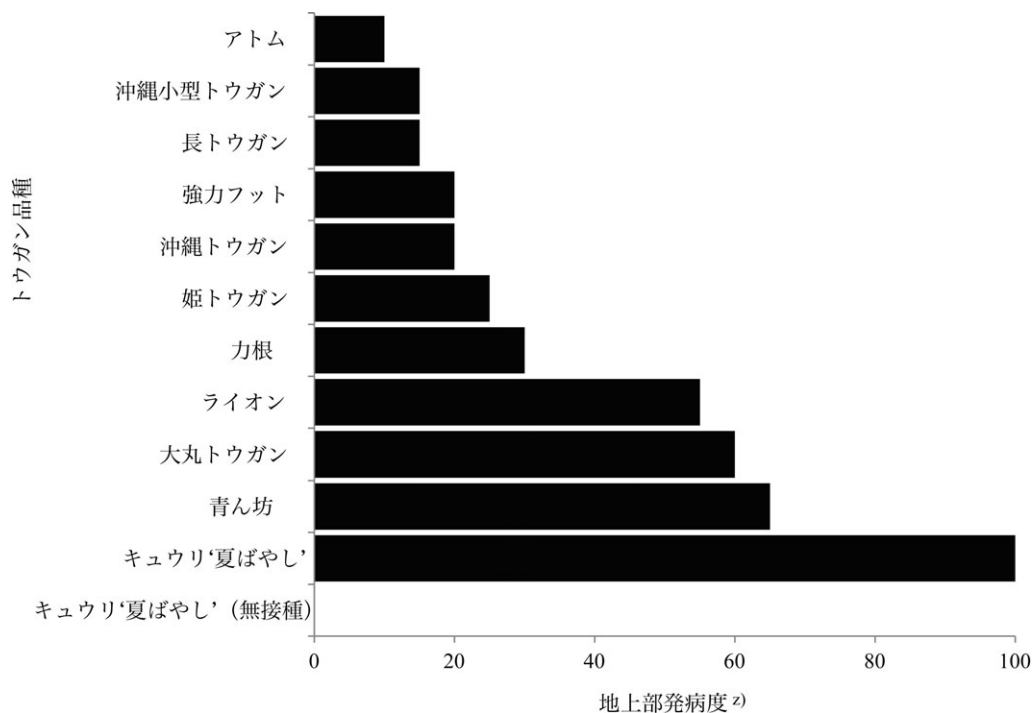


図 20 ホモブシス根腐病に対するトウガン品種の地上部発病度の差異
 z) 地上部発病度の算出方法は、‘材料と方法’に示すとおり。

2. ウリ科植物のキュウリホモブシス根腐病に対する抵抗性の違い

地上部の発病度は、トウガン、ペポカボチャのうち‘金糸瓜’とクロダネカボチャで低く、メロンやシロウリ、キュウリが高かった（図 17）。一方、根部の褐変程度はトウガンとクロダネカボチャが最も低く、キュウリとマクワウリが最も高かった（図 18）。また、根の乾物重は個体間の変動が大きいものの、スイカ、クロダネカボチャ、トウガンが多い結果となった（図 19）。

3. トウガン各品種のキュウリホモブシス根腐病に対する抵抗性の違い

供試した台木各品種の発病度を調査したところ、‘アトム’、‘長トウガン’、‘沖縄小型トウガン’が低かった（図 20）。根の乾物重については、病原菌を接種しない場合は‘長トウガン’、‘沖縄トウガン’、‘力根’が多く、‘姫トウガン’は最も少なかった。しかし、病原菌を接種した場合は、‘沖縄小型トウガン’、‘強力フット’、‘姫トウガン’が多く、特に‘姫トウガン’は病原菌接種による根の減少が少なかった（表 16）。しかし、‘アトム’、‘青ん坊’、‘姫トウガン’など、生育の抑制が見られ、接ぎ木

親和性が低いと判断されたものも存在した（表 17）。

考 察

ホモブシス根腐病は、キュウリ、メロン、スイカ、セイヨウカボチャ、シロウリ、マクワウリで激発するものの、台木用カボチャやヘチマ、トウガンでの発病は比較的軽微であることが橋本・吉野¹¹⁾によって報告されている。また、クロダネカボチャは、本病に対してある程度の抵抗性を持っているとされるなど^{11), 13), 87)}、本病への抵抗性は、ウリ科植物の中でも種間差が見られる。

本研究でもこれらの報告と同様、クロダネカボチャやトウガンの発病度が低く、キュウリやメロン、シロウリ、マクワウリの発病度が高かった（図 16, 図 17, 図 18）。中でもトウガンについては、根量や根の褐変度において、既知のクロダネカボチャよりも被害の程度は低く、有望と考えられた（図 19, 図 20）。一方、同種内においては、カボチャでは品種間で抵抗性が異なるが¹³⁾、キュウリは、品種間差があまり無いとの報告がある¹⁰⁾。トウガンについてはこのような報告が見られないため、トウガン 10 品種を用いて抵抗性の違いを検討したところ、発

表 16 ホモブシス根腐病抵抗性検定試験におけるトウガン品種の根乾物重の差異

品種	調査株数	根の乾物重(g) ^{z)}		無接種時と比較した 接種時の根の残存割合(%)
		接種	無接種	
アトム	5	0.35±0.06 ^{*y)}	0.40±0.20	87.5
沖縄小型トウガン	5	0.39±0.29 ^{**}	0.51±0.21	76.5
長トウガン	5	0.32±0.15	0.63±0.05NS	50.8
強力フット	5	0.39±0.06 [*]	0.50±0.14	78.0
沖縄トウガン	5	0.35±0.07	0.63±0.08NS	55.6
姫トウガン	5	0.39±0.15 ^{**}	0.33±0.13	118.2
力根	5	0.26±0.11 [*]	0.61±0.12NS	42.6
ライオン	5	0.16±0.07	0.53±0.12	30.2
大丸トウガン	5	0.25±0.11	0.36±0.04	69.4
青ん坊	5	0.13±0.03	0.35±0.10	37.1
夏ばやし（キュウリ）	5	0.07±0.03	0.81±0.15	8.6

z)根の乾物重は、平均値±標準偏差で表示した。

y)*, **はDunnett法によってそれぞれ $P \leq 0.05$, 0.01 で有意差があることを示す。

NSは夏ばやしと比較して有意差無しと判定されたものを示す。

表 17 各種トウガン品種をキュウリに接木した場合の生育の差異

品種	調査株数	生育指数別株数 ²⁾					平均生育指数
		0	1	2	3	4	
アトム	5	1	3	1	0	0	1
沖縄小型トウガン	5	4	1	0	0	0	0.2
長トウガン	5	5	0	0	0	0	0
強力フット	5	5	0	0	0	0	0
沖縄トウガン	4	4	0	0	0	0	0
姫トウガン	5	1	2	2	0	0	1.2
力根	5	5	0	0	0	0	0
ライオン	5	4	1	0	0	0	0.2
大丸トウガン	5	2	3	0	0	0	0.6
青ん坊	5	1	3	1	0	0	1
夏ばやし (キュウリ)	5	5	0	0	0	0	0

2) 生育指数 0: 正常, 1: 生育抑制, 2: 生育不良, 3: 萎凋, 4: 枯死

病度や根の乾物重から、抵抗性に品種間差が認められ、‘アトム’や‘沖縄小型トウガン’、‘長トウガン’が有望であると考えられた (図 20)。本試験においては‘姫トウガン’は発病度や根の乾物重からは有望とされなかったが、病原菌接種による根の減少がみられないことから、栽培管理によっては現場で利用できる可能性がある (表 16)。例えば、育苗期間を長くして根量を増加させた後に定植するなどで発病を抑制できると考えられる。このことは、本病に対する台木の抵抗性の評価にあたっては、穂木の地上部症状だけでなく、根量の変化や発根ポテンシャルをも考慮する必要があることを示唆するものである。さらに考慮を要する要因として、接ぎ木親和性があげられる。ウリ科の種間親和性を見た場合、カボチャ台+キュウリ穂木の親和性に比べ、トウガン台+キュウリ穂木の親和性はやや劣るとされている¹⁴⁾ためである。本試験でも‘姫トウガン’や‘青ん坊’、‘アトム’は、病原菌を接種しない場合でも生育抑制が認められたため、接ぎ木親和性においては多少問題があると考えられた。しかし、中森⁵³⁾がカボチャ台木数品種とスイカとの親和性を調査した研究では、活着率が 48%から 86%と品種間で大きな開きがあるように、接ぎ木親和性は同一種でも品種間差がある一方、トウガン台+キュウリ穂木の親和性には問題がないとの報告もある²²⁾。

本研究においても、接ぎ木親和性に問題が見られる品種が存在した一方で、‘長トウガン’や‘力根’、‘沖縄トウ

ガン’のように、接ぎ木親和性に問題がないものがあったことから、トウガンにおいても接ぎ木親和性に品種間差があると考えられた (表 17)。

さらに、本病は、根の吸水機能が低下することにより地上部の萎凋症状が発現すると考えられているが⁵¹⁾、根部が本病菌に侵されても、栽培管理により根量が多く健全根の割合が高い状態であれば、萎凋症状を回避できる場合がある⁸⁹⁾。また、品種固有の発根ポテンシャルや接ぎ木親和性は、穂木の品種により影響をうけることが考えられる。このことから、今後、台木のスクリーニングを行う際には、地上部の萎凋症状といった一面的な評価だけでなく、品種固有の発根ポテンシャル、病原菌感染による根量の変化、接ぎ木親和性を含めた多面的な評価を行うことにより、現場で利用できる台木の選抜が期待される。

松本³⁶⁾が初めて報告した台木の特性により、穂木のキュウリにブルームを発現しない台木カボチャ品種が生まれ、現在の市場においてそのほとんどがブルームレスキュウリとなっている。しかし、本研究において本病被害軽減のための台木として有望と考えられたトウガンや、既知のクロダネカボチャは、穂木のキュウリにブルームを発現させるものであり、現状では広域的な利用ができない。そのため、これらの台木の実用的な利用法については、さらに検討が必要であろう。

第2節 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と抵抗性台木の併用

キュウリホモブシス根腐病は、本病菌汚染土壌にキュウリ苗を定植すると、2～3週間で萎凋症状を発現することから⁸⁾、防除法としては定植前から伝染源密度を低下させることができる土壌消毒が有効と考えられた。そこで、露地夏秋キュウリ産地を対象とした実用的なホモブシス根腐病防除技術の確立を目的に、本病防除に有効な土壌消毒剤を選抜するとともに、効果的な処理手法を検討した。あわせて土壌消毒と抵抗性台木クロダネカボチャの併用による防除効果についても検討した。

材料および方法

1. キュウリホモブシス根腐病に対する有効薬剤の選抜

2005年に一般的に使用されている市販の土壌消毒剤4剤(表18)を供試し、防除効果を比較した。試験はキュウリホモブシス根腐病が自然発病する岩手県北上市の露地夏秋キュウリ連作圃場において実施した。ダズメット粉粒剤(商品名:バスアミド微粒剤)、フルアジナム粉剤(商品名:フロンサイド粉剤)は、試験区に均一に手散布し、ロータリーによって混和处理した。クロルピクリンくん蒸剤(商品名:クロールピクリン)、カーバムナトリウム塩液剤(商品名:キルパー)は、手動式灌注機(共立, HF-4XA)を用いて規定量を注入処理した。いずれの薬剤も、処理後ただちにポリエチレンフィルムで被覆した。各薬剤ともに試験区全面に処理し、定植前には被覆を除去し、ガス抜きを兼ねた畦立て耕起を実施した。なお、処理薬量は各薬剤の使用基準に従い常用処理量とした(表18)。供試キュウリ品種は、‘Vロード’(*Cucumis sativus* L., タキイ種苗)とし、台木は‘ひかりパワー’(*Cucurbita moschata* Duch.; ブルームレス台木, ときわ研究場)とした。試験区は、無処理では1区18株の2反復、各薬剤処理区は1区9株の3反復とした。各薬剤処理区における1区あたりの薬剤処理面積は11.7 m² (1.95 m×6 m)とした。

2. クロルピクリンくん蒸剤のマルチ畦内処理と全面処理の防除効果

2005年および2006年にマルチ畦内処理と全面処理の本病に対する防除効果を比較した。試験はキュウリホモブシス根腐病が自然発病する岩手県北上市の露地夏秋キュウリ連作圃場において実施した。クロルピクリンくん

蒸剤マルチ畦内処理(以下、マルチ畦内処理)では、供試薬剤をマルチ畦内土壌消毒機(佐野アタッチ研究所, P3F1B-MK)により、処理量が3 ml/穴となるように、条間30 cm×ピッチ30 cm, 注入深15 cmとして千鳥状に1畦あたり3条灌注した。マルチ畦内処理では、土壌消毒時に畦立ておよびマルチ被覆を同時に実施し、処理後は定植直前までマルチ被覆により密閉し、ガス抜き耕起は実施しなかった。一方、全面処理では、供試薬剤を手動式灌注機(共立, HF-4XA)により、条間30 cm×ピッチ30 cmとし、注入深15 cmで格子状に灌注した。定植前には被覆を除去し、ガス抜きを兼ねた畦立て耕起を実施した。処理薬量はマルチ畦内処理、全面処理ともに3 ml/穴(30 L/10 a), 試験畦幅は60 cmとした。供試キュウリ品種は、2005年は‘Vロード’, 2006年は‘夏ばやし’とし、台木は2か年ともに‘ひかりパワー’とした。2005年の試験では、全面処理は1区9株の3反復、そのほかは1区18株の2反復とした。全面処理における薬剤処理面積は、1区15 m² (2 m×7.5 m), マルチ畦内処理における薬剤処理面積は、1区9 m² (0.6 m×15 m)とした。2006年の試験では、いずれも1区18株の2反復とした。全面処理における薬剤処理面積は、1区30 m² (2 m×15 m), マルチ畦内処理における薬剤処理面積は1区9 m² (0.6 m×15 m)とした。

3. クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理時の消毒畦幅と防除効果

マルチ畦内処理時の消毒畦幅と防除効果について、2005年および2007年の2か年検討した。2005年の試験は岩手県花巻市、2007年は岩手県北上市において実施した。いずれの試験圃場もキュウリホモブシス根腐病が自然発病する露地夏秋キュウリ連作圃場とした。試験畦幅は、慣行畦幅である60 cm (95 cm幅マルチ相当)と、それよりやや広い90 cm (135 cm幅マルチ相当)とした。また、2007年は、通常栽培では用いられない畦幅30 cmについても検討した。作畦および薬剤処理はマルチ畦内土壌消毒機(佐野アタッチ研究所, P3F1B-MK)を用いた。供試薬剤はクロルピクリンくん蒸剤とし、消毒畦幅90 cmでは30 cm間隔の3条処理、消毒畦幅60 cmでは30 cm間隔の2条処理、消毒畦幅30 cmでは畦中央部の1条処理とした。処理薬量は、いずれの消毒畦幅においても3 ml/穴(30 L/10 a)とした。供試キュウリ品種は、2005年は‘Vロード’, 2007年は‘夏ばやし’で、台木は2か年ともに‘ひかりパワー’とした。2005年の試験では、消毒畦幅90 cmおよび60 cmは1区41～42株の3反復、

表18 各種土壌消毒剤の防除効果

供試薬剤 (有効成分：含有割合)	処理薬量	調査株数	萎凋株率(%) (防除価) ^{y)}	根部発病指数 ^{z)} (防除価)
クロルピクリンくん蒸剤 (クロルピクリン：99.5%)	30L/10a	27	0 b ^{x)} (100)	0.26 b ^{w)} (84)
ダゾメット粉粒剤 (ダゾメット：98.0%)	30kg/10a	27	14.8 ab (41)	1.19 a (28)
カーバムナトリウム塩液剤 (カーバムナトリウム塩：30.0%)	60L/10a	27	11.1 ab (56)	0.89 ab (46)
フルアジナム粉剤 (フルアジナム：0.5%)	30kg/10a	27	29.6 a (0)	1.56 a (5)
無処理	—	36	25.0 a	1.64 a

z) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y) 防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x) 同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

w) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

無処理は 50 株の 2 反復とした。消毒畦幅 90 cm における薬剤処理面積は、1 区 30.6 m² (0.9 m×34 m)、消毒畦幅 60 cm における薬剤処理面積は、1 区 20.4 m² (0.6 m×34 m) となった。2007 年は、いずれも 1 区 18 株の 2 反復とした。消毒畦幅 90 cm における薬剤処理面積は、1 区 13.5 m² (0.9 m×15 m)、消毒畦幅 60 cm における薬剤処理面積は、1 区 9 m² (0.6 m×15 m) となった。

4. クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理 および抵抗性台木の併用による防除効果

マルチ畦内処理と抵抗性台木の併用による本病防除効果について 2005 年から 2007 年の 3 か年検討した。試験はキュウリホモプシス根腐病が自然発病する岩手県北上市の露地夏秋キュウリ連作圃場において実施した。抵抗性台木としてクロダネカボチャ台木‘黒ダネ南瓜’を、抵抗性が弱い慣行台木として‘ひかりパワー’を供試した。供試薬剤は、マルチ畦内土壌消毒機（佐野アタッチ研究所、P3F1B-MK）により処理薬量が 3 ml/穴（30 L/10 a）となるように、条間 30 cm×ピッチ 30 cm、注入深 15 cm として千鳥状に 1 畦あたり 3 条灌注処理した。試験畦幅は、2005 年および 2006 年は 60 cm、2007 年は 90 cm となった。供試キュウリ品種は、2005 年は‘V ロード’、2006 年および 2007 年は‘夏ばやし’である。2005 年の試験では、‘マルチ畦内処理・黒ダネ南瓜’は 1 区 9 株の 3 反復、そのほかは 1 区 18 株の 2 反復とした。‘マルチ畦内処理・黒ダネ南瓜’における薬剤処理面積は 1 区 4.5 m² (0.6 m×7.5 m) とし、‘マルチ畦内処理・ひかりパワー’における薬剤処理面積は 1 区 9 m² (0.6 m×15 m) と

なった。2006 年の試験では、1 区 18 株の 2 反復とした。‘マルチ畦内処理・黒ダネ南瓜’、‘マルチ畦内処理・ひかりパワー’における薬剤処理面積は 1 区 9 m² (0.6 m×15 m) である。2007 年の試験では、1 区 18 株の 2 反復とした。‘マルチ畦内処理・黒ダネ南瓜’、‘マルチ畦内処理・ひかりパワー’における薬剤処理面積は 1 区 13.5 m² (0.9 m×15 m) となった。

5. 調査方法

夏秋キュウリの収穫盛期にあたる 8 月上旬～下旬に各試験区における萎凋株の発生状況を調査し、萎凋株率を求めた。具体的には、全身に萎凋症状を呈する株、および萎凋症状の発生により枯死した株を萎凋株と判定した。また、9 月上旬～下旬に各試験区から抜根し、洗浄後、根部発病状況について下記の指数別に調査し、平均発病指数を算出した。

指 数 0：根の褐変が認められない

1：根の 10%未満が褐変

2：根の 10%以上～50%未満が褐変

3：根の 50%以上が褐変

4：枯死

本病に対する防除効果を評価するため、調査で得られた萎凋株率、根部発病指数について次式により防除価を算出した。

萎凋株率の防除価＝（無処理区の萎凋株率－処理区の萎凋株率）／無処理区の萎凋株率×100。

根部発病指数の防除価＝（無処理区の平均発病指数－処理区の平均発病指数）／無処理区の平均発病指数×100。

表19 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と全面処理の防除効果

土壌消毒法	2005年(2005-1)			2006年(2006-1)		
	調査 株数	萎凋株率(%) (防除価) ^{y)}	根部発病指数 ^{z)} (防除価)	調査 株数	萎凋株率(%) (防除価)	根部発病指数 (防除価)
全面処理	27	0 b ^{x)} (100)	0.26 b ^{w)} (84)	36	16.7 ab (54)	1.78 b (33)
マルチ畦内処理	36	0 b (100)	0.14 b (92)	36	8.3 b (77)	0.81 c (70)
無処理	36	25.0 a	1.64 a	36	36.1 a	2.67 a

z) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y) 防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x) 同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果，5%水準で有意差がないことを示す。

w) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果，5%水準で有意差がないことを示す。

6. 統計処理

萎凋株率の多重比較検定については，Ryan 法を用いた⁷⁸⁾。根部発病指数の多重比較検定については，Kruskal-Wallis 検定の後に Steel-Dwass 法を用いた。マルチ畦内処理の有効性の評価では，使用台木‘ひかりパワー’を用いたマルチ畦内処理の消毒畦幅 60 cm および 90 cm とした試験成績の萎凋株率について，メタアナリシス⁷⁹⁾により，無処理に対する防除効果を評価した。すなわち，マルチ畦内処理の消毒畦幅 60 cm とした表 19，表 20 に示す 2005-1，2006-1，2005-2，2007-1 の 4 試験事例および，消毒畦幅 90 cm とした表 20，表 21 に示す 2005-2，2007-1，2007-2 の 3 試験事例を解析に用いた。メタアナリシスは，DerSimonian-Laird method により，統計ソフトウェア StatsDirect Version 2.7.8 (StatsDirect Ltd, 2010) を用い，マルチ畦内処理と無処理の萎凋株率の割合（リスク比）を求めて各消毒畦幅について防除効果を評価した。

結 果

1. キュウリホモブシ根腐病に対する有効薬剤の選抜

各種土壌消毒剤のキュウリホモブシ根腐病に対する防除効果を表 18 に示した。無処理の萎凋株率が 25.0% と多発生条件下での検討となった。供試した 4 薬剤の中でクロルピクリンくん蒸剤は，萎凋株の発生がみられず防除価は 100 となり，根部発病指数も 0.26 で，防除価 84 と極めて高かった。ダゾメット粉粒剤，カーバムナトリウム塩液剤，フルアジナム粉剤は萎凋株および根部の発病抑制効果ともにクロルピクリンくん蒸剤よりも劣った。このことから，クロルピクリンくん蒸剤は本病防除薬剤として有望と判断し，以下の試験では本剤を用いた。

表20 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理の消毒畦幅と防除効果

土壌消毒法	畦幅	2005年(2005-2)			2007年(2007-1)		
		調査 株数	萎凋株率(%) (防除価) ^{y)}	根部発病指数 ^{z)} (防除価)	調査 株数	萎凋株率(%) (防除価)	根部発病指数 (防除価)
マルチ畦内処理	90 cm	123	0 c ^{x)} (100)	1.09 c ^{w)} (59)	36	2.8 b (95)	0.97 b (68)
〃	60 cm	125	11.2 b (70)	2.26 b (14)	36	11.1 b (82)	1.36 b (56)
〃	30 cm	- ^{v)}	-	-	36	47.2 a (23)	2.81 a (9)
無処理	60 cm	100	37.0 a	2.63 a	36	61.1 a	3.08 a

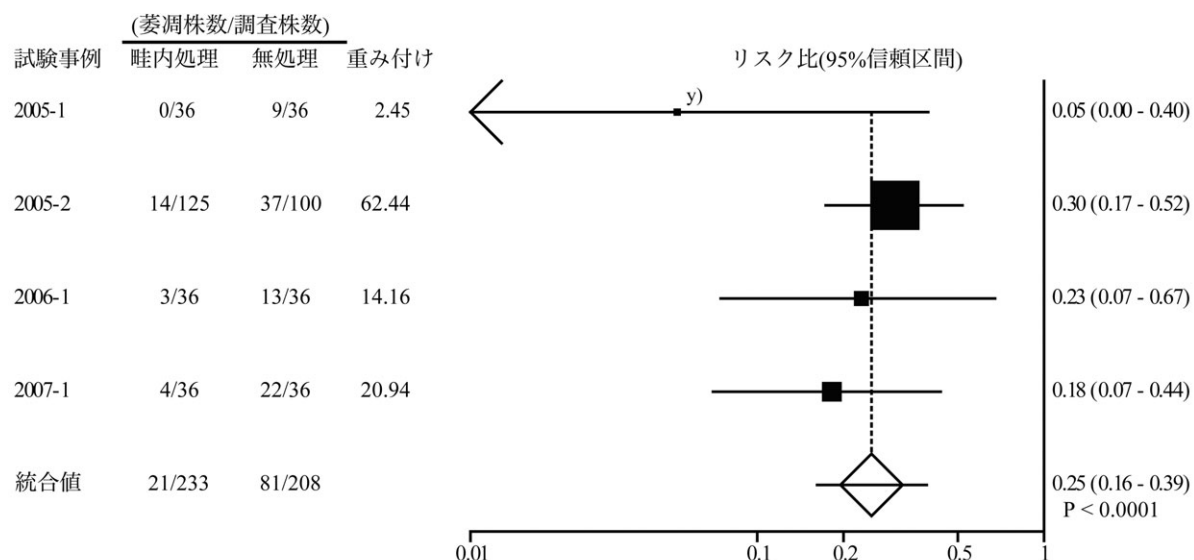
z) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y) 防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

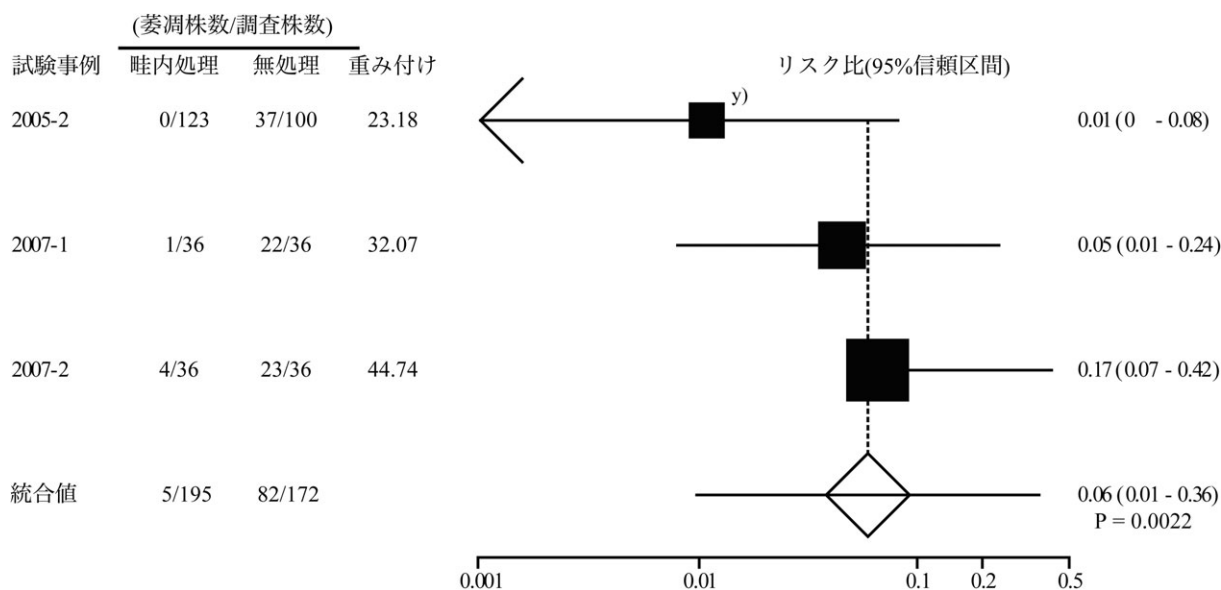
x) 同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果，5%水準で有意差がないことを示す。

w) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果，5%水準で有意差がないことを示す。

v) 試験せず。

図21 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理（消毒畦幅60 cm）の萎凋株発生抑制効果²⁾

z) 表19, 表20に示す試験成績のうち, 供試台木: ‘ひかりパワー’, 試験畦幅: 60 cmとした4試験を解析に用いた.
y) ■はマルチ畦内処理と無処理の萎凋株率の割合(リスク比)を, ■の大きさは重み付けの値を, 各マーカーの両側の線は95%信頼区間を示す。リスク比の値が1.0未満であればその値の分の比率だけ無処理に比べて萎凋株の発生率が低いことを示す。一番下の◇は4試験の統合リスク比を示す。

図22 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理（消毒畦幅90 cm）の萎凋株発生抑制効果²⁾

z) 表20, 表21に示す試験成績のうち, 供試台木: ‘ひかりパワー’, 試験畦幅: 90 cmとした3試験を解析に用いた.

y) リスク比の見方は図21を参照のこと。

2. クロルピクリンくん蒸剤のマルチ畦内処理と全面処理の防除効果

マルチ畦内処理と全面処理の防除効果を表 19 に示した。無処理の萎凋株率が 2005 年では 25.0%, 2006 年では 36.1%といずれの年次も多発生条件下での検討となった。マルチ畦内処理と全面処理を比較すると, 2005 年は, 萎凋株の発生および根部の発病ともに有意差は認め

られなかった。2006 年は, 萎凋株の発生では統計的な有意差は認められなかったものの, 根部の発病はマルチ畦内処理で有意に少なかった。萎凋株率の防除価でみると, 2005 年はマルチ畦内処理, 全面処理いずれも防除価 100 であったが, 2006 年はマルチ畦内処理が優った。根部発病指数の防除価でみると, 2 か年ともマルチ畦内処理が全面処理に優った。

v) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

考 察

露地夏秋キュウリに適用可能な防除法について検討した。ここでは、土壌消毒と抵抗性台木の活用による防除法について検討した。

まず、土壌伝染性の糸状菌病害に有効と推定されたクロルピクリンくん蒸剤、ダゾメット粉粒剤、フルアジナム粉剤、カーバマナトリウム塩液剤の土壌消毒剤4剤を供試し、本病に対する防除効果を検討した。その結果、クロルピクリンくん蒸剤は萎凋株の発生抑制効果および根部の発病抑制効果がともに高く、本病防除薬剤として最も有望と判断した(表18)。

次に、クロルピクリンくん蒸剤の処理手法について、全面処理とマルチ畦内処理を比較した。その結果、マルチ畦内処理は全面処理よりも防除効果の安定性が高く、高い萎凋株発生抑制効果が得られたことから(表19)、本剤はマルチ畦内処理が有効であると考えられる。マルチ畦内処理で防除効果が高かった要因は、作業特性上、ガス抜き耕起を実施しなくても済むことから、消毒不十分な深層土壌と表層土壌との混和による再汚染が生じないためと推察された。本法は、栽培時に利用されるマルチを土壌消毒時の被覆資材として活用できる⁷⁾うえ、畦内部のみの部分消毒となるため、単位面積あたりの必要薬剤量の低減や土壌消毒作業の労力削減も可能で、経済的でもある。また、マルチ畦内処理は、サツマイモ立枯

病²⁷⁾、カボチャ立枯病⁸⁵⁾、ウド萎ちょう病⁷³⁾、イチゴ萎黄病³⁵⁾、バレイショそうか病⁵⁴⁾など栽培時にマルチ被覆を必要とする作物の土壌病害対策としての有効性が多く報告されている。よって、本法は本病に対しても実用的な効果が期待でき、普及性が高い防除手段と考えられた。一方で、マルチ畦内処理は畦の内部のみを消毒する手法であることから、畦の外側にあたる通路部分は未消毒とならざるを得なくなる。キュウリの根系は大きく、栽培期間中に通路部分まで進展するため、畦幅が狭く消毒面積が狭い場合には未消毒部分からの感染が起こり十分な防除効果が発揮されないと推察された。そこで、マルチ畦内処理の消毒畦幅と防除効果について検討した。その結果、消毒畦幅は慣行の60 cmよりもやや広い90 cmとした場合において防除効果が高かった(表20)。さらに、マルチ畦内処理の消毒畦幅60 cmとした4試験事例、および消毒畦幅90 cmとした3試験事例についてメタアナリシスにより萎凋株の発生抑制効果を評価した。その結果、マルチ畦内処理の消毒畦幅60 cmでは萎凋株の発生を無処理の約25%に、消毒畦幅90 cmでは約6%に抑制することが可能と判断された(図21、図22)。このことから、マルチ畦内処理の消毒畦幅90 cmでは、消毒畦幅60 cmに比べて防除効果の安定性が高まると考えられた。マルチ畦内処理の防除効果を向上させる手法として、遮根シート埋め込みによるキュウリ根の汚染土壌からの隔離¹²⁾や、高畦やマルチ裾埋め込みによる簡



図23 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と抵抗性台木の併用による防除効果(2007)
アーチ左側の畦: クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理・使用台木‘黒ダネ南瓜’、
アーチ右側の畦: 無処理・使用台木‘ひかりパワー’

易的な根域制御⁸⁸⁾の有効性も報告されている。しかしながら、これらの手法は作畦手法や栽培体系に大幅な変更を要することから、広域的な早期普及は困難と考えられた。一方で、本研究で検討したマルチ畦内処理の消毒畦幅を広くとる手法は、現地での対応が容易であることから普及性は十分高いと推定される。マルチ畦内処理の処理薬量は、圃場での作畦間隔によるものの畦幅 60 cm (95 cm 幅マルチ相当) の場合では全面処理の 30-50%、畦幅 90 cm (135 cm 幅マルチ相当) の場合では全面処理の 50-70%程度となり、全面処理に比べると土壌消毒費用の削減も可能となり、経済的である。作畦幅の変更による圃場作業性や土壌消毒費用も考慮する必要はあるが、防除効果の安定性からみると、本病を対象としたマルチ畦内処理においては、消毒畦幅を慣行よりもやや広い 90 cm 程度に設定することが実用的と判断した。しかしながら、本法の防除効果は完全ではなく、汚染程度が高い圃場などではある程度の萎凋株が発生する恐れが残る。このため、汚染程度が高い圃場では、マルチ畦内処理のみに頼るのではなく抵抗性台木の併用など、他の防除技術を組み合わせた総合的防除対策が発病抑制を図るうえで重要と考えられた。

クロダネカボチャは、本病発病抑制のための抵抗性台木として有望であるものの、本台木のみでの防除効果は不安定である^{11), 13)}。そこで、クロルピクリンくん蒸剤のマルチ畦内処理と抵抗性台木クロダネカボチャの併用による防除効果について検討した。その結果、マルチ畦内処理とクロダネカボチャ台木の併用では、消毒畦幅 60 cm および 90 cm のいずれの試験においても萎凋株の発生がみられず、根部の発病も極めて少ないなど顕著な防除効果が得られた(表 21, 図 23)。以上から、キュウリホモプシス根腐病の防除対策としてのクロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理は、単独で用いるよりも、クロダネカボチャ台木と併用することでより安定性の高い防除技術となることが明らかとなった。しかし、クロダネカボチャ台木の広域的な利用には果実にブルームが発生するなど流通・販売面での課題が残るため、マルチ畦内処理の防除効果を向上させることが可能な、他の防除対策との組み合わせについても検討が必要と考えられた。

第 3 節 マルチ畦内処理後のキュウリ苗定植位置と防除効果

キュウリホモプシス根腐病の防除法として、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理(以下、マルチ畦内処理)が有効であることを第 4 章第 2 節で示した。しかし、

現地圃場では、本法を適用しても十分な防除効果が得られない事例が散見された。それらの圃場を観察すると、マルチ畦内処理後のキュウリ苗の定植位置がマルチの中央部ではなくマルチの肩付近で無消毒土壌の通路部分に近い位置であることが多かった(図 24)。そこで、マルチ畦内処理における防除効果の安定化手法を確立する目的で、マルチ畦内処理後の苗の定植位置と発病の関係について検討した。

材料および方法

試験は、2006 年に岩手県北上市の岩手県農業研究センター所内圃場のキュウリホモプシス根腐病が自然発病する露地夏秋キュウリ連作圃場で行った。試験畦幅は、慣行畦幅である 60 cm (95 cm 幅マルチ相当) とした。作畦および薬剤処理はマルチ畦内土壌消毒機(P3F1B-MK)を用いた。供試薬剤はクロルピクリンくん蒸剤(商品名:クロールピクリン)で、30 cm 間隔の 2 条処理、処理薬量は、3 ml/穴(30 L/10 a)とした。薬剤処理後は定植直前までマルチ被覆により密閉し、ガス抜き耕起は実施しなかった。供試キュウリ品種は、‘夏ばやし’とし、台木は‘ひかりパワー’とした。試験区は、マルチ畦内処理の有無と苗の定植位置(畦中央もしくは畦肩部)の組み合わせによる 3 処理とし、詳細は表 22 に示した。いずれの試験区も 1 区 18 株の 2 反復とした。

夏秋キュウリの収穫盛期にあたる 8 月 14 日に各試験区の萎凋株の発生状況を調査し、萎凋株率を求め、全身に萎凋症状を呈する株、および萎凋症状の発生により枯死した株を萎凋株と判定した。また、8 月 19 日に各試験区から抜根し、洗浄後、根部発病状況について第 4 章第 2 節と同様の方法で調査し、平均発病指数、防除価を算出した。萎凋株率の統計処理は、Ryan 法を用いた⁷⁸⁾。根部発病指数の統計処理は、Kruskal-Wallis 検定の後に Steel-Dwass 法を用いた。

結 果

マルチ畦内処理後の苗の定植位置と発病の関係について検討した。その結果、マルチ畦内処理後の苗の定植位置を畦の中央部とした場合の萎凋株率は 8.3%、根部発病指数 0.8 であった(表 22)。これに対して、マルチ畦内処理後の苗の定植位置を畦肩部とした場合の萎凋株率は 22.2%、根部発病指数 1.8 であり、萎凋株率、根部発病度ともに有意差は認められないものの畦の中央部定植と比較して発病程度が高まる傾向が認められた(表 22)。



図24 マルチ畦内処理後に畦肩部に定植していた現地圃場の事例
キュウリの定植位置が畦中央部ではなく、畦肩部（上図では右側）に偏っている。

表22 マルチ畦内処理後の苗定植位置と防除効果（2006）

土壌消毒法	定植位置	調査株数	萎凋株率(%) (防除価) ^{y)}	根部発病指数 ^{z)} (防除価)
マルチ畦内処理	畦中央	36	8.3 b ^{x)} (76.9)	0.8 bc ^{w)} (69.8)
マルチ畦内処理	畦肩	36	22.2 ab (38.5)	1.8 ab (34.4)
無消毒	畦中央	36	36.1 a	2.7 a

z) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y) 防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x) 同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

w) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

考 察

現地圃場では、キュウリホモプシス根腐病の防除対策としてマルチ畦内処理を実施した場合でも十分な防除効果が得られない事例がみられたため、現地圃場を観察した結果（図 24）、マルチ畦内処理後のキュウリ苗の定植位置が処理区域の中心でなく偏っていることが防除効果に影響している可能性が考えられた。そこで、マルチ畦内処理後の苗の定植位置と本病発病の関係について検討

した。その結果、マルチ畦内処理を実施した場合でも、畦の肩付近に苗を定植すると防除効果が劣る可能性が高いことが明らかとなった（表 22）。このことから、マルチ畦内処理の防除効果を安定させるためには、キュウリ苗は出来るだけ畦中央部に近づけて定植することが重要と考えられた。なお、マルチ畦内処理後に畦肩部へ定植した場合に効果が不安定となるのは、キュウリ根が早期に未消毒の通路部分に進展して感染・発病するためと考えられた。

第4節 防根透水シートを活用した防除手法の基礎的検討

キュウリホモブシ根腐病の防除法として、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理（以下、マルチ畦内処理）が有効であることは、第4章第2節で示した。一方で、本法はマルチ畦内の土壌のみの消毒となることに加え、消毒範囲は土壌表面から約30cm深までの層位に限られる。このため、キュウリの生育が進むと、通路部分や消毒効果の及ばない土壌深部へ根が伸長し、病原菌の感染が生じる懸念がある。これらのことから、防根透水シートをあらかじめ土壌に埋設し、キュウリの根系を消毒の及ぶ範囲内に制限することにより、マルチ畦内土壌消毒の防除効果の向上や安定化が可能と考えられた。ここでは、基礎的試験として汚染土壌と無病の園芸培土の間に防根透水シートを挟み込み、シート内に定植したキュウリが発病するかどうかモデル試験を実施した。

材料および方法

試験は、2005年に岩手県農業研究センター所内ガラス温室内で隔離床試験とポット試験を実施した。隔離床試験では、大きさ1.4m×1m×0.25m、容量約250Lの隔離床に図25のように現地汚染土壌180Lを充填し、汚染土壌区とした。次に防根透水シート（東洋紡株式会社、防根透水シートBKS9812）を用いて汚染土壌と園芸培土が直接接触しないように隔離して園芸培土（ソイルフレンド）を45L充填し、防根透水シート区とした（図25）。各試験区とも播種15日目のキュウリ‘夏ばやし’の

自根苗を各区5株ずつ定植した。ポット試験における防根透水シート区では12cmの丸型育苗ポットに350ml（容積の約半分）汚染土壌を充填し、防根透水シートを挟み込み、上部には園芸培土を350ml充填した。比較対照区として12cmの丸型育苗ポットに700ml（容積の全容量）汚染土壌を充填した汚染土壌区を設けた。各試験区とも播種15日目のキュウリ‘夏ばやし’の自根苗を各区10株ずつ鉢上げした。鉢上げ後の水管理は底面吸水とした。

隔離床試験、ポット試験のいずれも定植35日後に各試験区の萎凋株の発生状況を調査し、萎凋株率を求め、全身に萎凋症状を呈する株、および萎凋症状の発生により枯死した株を萎凋株と判定した。また、各試験区から丁寧に抜根し、洗浄後、根部発病状況について下記の指数別に調査し、平均発病指数を算出した。

指数0：根の褐変が認められない

1：根の一部が発病

2：根の半分程度が発病

3：根のほとんどが発病

隔離床試験では、胚軸から根端までの距離（根長）、胚軸の子葉節直下の胚軸径、地際部から生長点までの草丈を調査した。また、根部の発病が確認された根からは病原菌の再分離を行った。

根部発病指数の統計処理は、マン・ホイットニーのU検定を用いた。草丈、根長、胚軸径の統計処理はt検定を用いた。

結 果

隔離床試験では、防根透水シート区は、萎凋株の発生はなく、汚染土壌区よりも有意に生育が優れた（表23、図26）。一方で、汚染土壌区は全株が萎凋した。根部についてみると、汚染土壌区は平均発病指数2.0であるのに対し、防根透水シート区では同1.0であり、発病程度は低いものの病原菌の感染が確認された（表23）。また、汚染土壌区、防根透水シート区の全株の根部から病原菌が再分離された（データ省略）。

ポット試験では、防根透水シート区は、萎凋株の発生および根部の発病は確認されなかった。一方で、汚染土壌区は全株が萎凋し、根部の発病も全株で確認され、平均発病指数2.0であった（表24）。

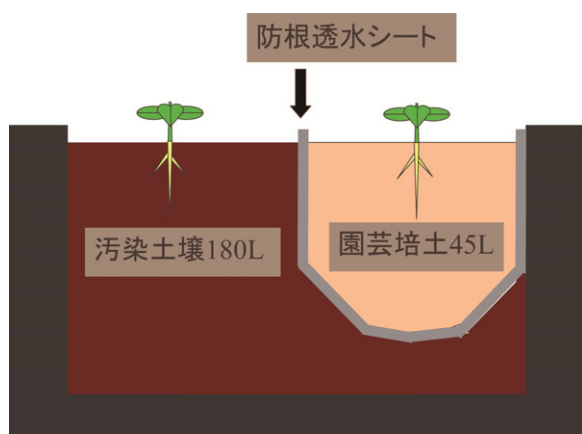


図25 防根透水シートによる汚染土壌と園芸培土の隔離試験模式図（断面図）

考 察

防根透水シートを土壤中に埋設し、作物の根域を制限して栽培する手法は、根域内の土壤消毒効果が高いこと^{3), 37)}から、土壤病害や連作障害の被害回避手法として活用されている。このことから、キュウリホモブシス根腐病の防除においても上記手法を活用し、防根透水シートによる根域制限手法とマルチ畦内処理を併用することで、土壤消毒効果の向上や安定化が可能と考えられた。ここでは基礎的試験として、防根透水シートで汚染土壌と非汚染土壌を隔離してキュウリを栽培した場合に、非汚染土壌側で発病する可能性があるかどうかを検討した。その結果、地上部の萎凋症状については、隔離床試験、ポット試験いずれも防根透水シート区での発生は見られず、萎凋症状の抑制効果は高いと考えられた（表 23、表 24）。一方で、根の発病については、ポット試験では防根透水シート区での発病は確認されなかったものの、隔離床試験では防根透水シート区においても根の発病が確認され、病原菌も再分離された（表 23、表 24）。このことから、根の一部、もしくは本菌が防根透水シートを通過する可能性が示唆された。なお、水媒伝染の可能性を検討したが、発病は認められず、土壤水分の移動による本菌の防根透水シート通過の可能性は低いと考えられた（データ省略）。今回、防根透水シート区で非汚染土壌と汚染土壌を隔離しても非汚染土壌側で本菌の感染が確認された



図 26 防根透水シートによる汚染土壌との隔離による発病抑制効果（定植 34 日目）

が、その発病程度は低いことから、本手法は十分効果があるものと考えられた。なお、圃場における防根透水シートによる根域制限とマルチ畦内処理併用の防除効果については第 4 章第 5 節で検討する。

表 23 隔離床試験における防根透水シートによる汚染土壌との隔離による発病抑制効果

試験区	萎凋株数 / 全株数	根部発病指数 ^{z)}	草丈(cm)	根長(cm)	胚軸径(mm)
防根透水シート区	0 / 5	1.0 * ^{y)}	208.5 ± 11.7 * ^{x)}	40.6 ± 10.9 * ^{x)}	78.0 ± 14.7 * ^{c)}
汚染土壌区	5 / 5	2.0	105.8 ± 18.6	19.4 ± 3.6	58.0 ± 14.7

z) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y) *はマン・ホイットニーのU検定の結果、5%水準で有意差があることを示す。

x) *はt検定の結果、5%水準で有意差があることを示す。

表 24 ポット試験における防根透水シートによる汚染土壌との隔離による発病抑制効果

試験区	萎凋株数 / 全株数	根部発病指数 ^{z)}
防根透水シート区	0 / 10	0 * ^{y)}
汚染土壌区	10 / 10	2.0

z) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y) *はマン・ホイットニーのU検定の結果、5%水準で有意差があることを示す。

第5節 根域制限処理とマルチ畦内処理の併用

露地夏秋キュウリにおけるホモブシ根腐病の防除法としては、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理（以下、マルチ畦内処理）が有効である（第4章第2節）。しかし、定植後のキュウリは、収穫ピークとなる7月下旬にはマルチ畦内処理でも未消毒となる通路部分にまで根が進展することから、生育中にそこで感染し、萎凋症状が発生する可能性がある。一方、防根透水シートを土壌中に埋設し、作物の根域を制限して栽培する手法は、根域内の土壌消毒効果が高いこと^{3), 37)}から、土壌病害や連作障害の被害回避手法として活用されている。そこで、防根透水シートをあらかじめ圃場に敷設する根域制限処理（第4章第4節）や、作畦方法を高畦やマルチ裾埋め込みとするなどの簡易的な根域制限処理の組み合わせにより、汚染土壌への根の進展を防ぐ方法、もしくは進展時期を遅延させる方法によってマルチ畦内処理の防除効果を向上させることが可能かどうかを検討した。また、これらの手法の導入がキュウリ生育に及ぼす影響についてもあわせて調査した。

材料および方法

1. 2005年の試験

試験はキュウリホモブシ根腐病が自然発病する岩手県北上市の露地夏秋キュウリ連作圃場において実施した。2005年の試験は、畦の高さとマルチ裾の埋め込み深の組み合わせ、防根透水シート敷設の有無、マルチ畦内処理の有無の組み合わせにより8処理区を設けた（表25）。試験畦幅は、慣行畦幅の60 cmとした。処理区 cp 5-10, cp 15-15 では、マルチ畦内処理として、5月9日にマルチ畦内土壌消毒機（P3F1B-MK）を用いて30 cm 間隔の格子状に深さ約15 cm、3 ml/穴（30 L/10 a）のクロルピクリンくん蒸剤を注入し、定植直前までマルチ被覆により密閉した。また、試験区 cp 0-5, cp 25-5, cps 10-5 では、マルチ畦内処理として畦立て耕起後の5月11日に、手動式灌注機（HF-4XA）を用いて30 cm 間隔の格子状に深さ約15 cm、3 ml/穴（30 L/10 a）を注入し、ポリエチレンフィルムマルチにより被覆・密閉した。いずれの処理区もガス抜き耕起は実施しなかった。1区20-24株の2連制とし、前年度までの本病発生実態調査から、本病汚染程度の低い土壌（反復Ⅰ）と、汚染程度の高い土壌（反復Ⅱ）に反復を配置した。供試穂木品種は‘夏ばやし’とし、台木カボチャ品種は‘ひかりパワー’

とした。両品種とも5月2日に播種、接ぎ木育苗後6月8日に定植した。栽植密度は畦幅175 cm、株間75 cmとした。10aあたり施肥量は、窒素25 kg、リン酸22 kg、カリ17 kgとし、140日タイプロング肥料（クミアイ肥料株式会社、ロング野菜4号）でマルチ畦内に施用した。定植44日後（7月16日）に各区10株の草丈、節数を調査し、その平均値を求めた。さらに、定植64日後（8月4日）に側枝数、根の分布状況、土壌硬度を調査した。側枝数は、各区10株を調査し、その平均値を求めた。根の分布状況は、耕盤（通路面からの土壌深度約20 cm）までの深さの根を各区1株ずつ丁寧に洗い出し、各区土壌内での根の分布を観察した。土壌硬度は、山中式土壌硬度計により測定した。土壌水分は、各区の中央付近の畦内約10 cm下を1カ所ずつ、随時pFメータにより計測するとともに適宜灌水した。また、栽培期間を通じて各区10株のキュウリ果実収量を調査した。地上部の萎凋状況は9月12日に調査した。地下部の発病状況は10月13～14日に各区ともに残存株全株を抜根し、洗浄後、根部発病状況について第4章第2節と同様の方法で調査し、平均発病指数、防除価を算出した。

地際部からの最短発病距離は、根部の発病が認められた株での地際部胚軸から偽子座が確認された部位までの最短発病距離（cm）の平均とした。

萎凋株率の統計処理は、Ryan法を用いた⁷⁸⁾。根部発病指数の統計処理は、Kruskal-Wallis検定の後にSteel-Dwass法を用いた。

表25 試験区の構成（2005）

試験区	畦高さ (cm)	マルチ裾埋め 込み深さ(cm)	防根透水シート 敷設の有無	マルチ畦内 処理の有無
cp 0-5	0	5	×	○ ^{z)}
cp 5-10	5	10	×	○
cp 15-15	15	15	×	○
cp 25-5	25	5	×	○
cps 10-5	10	5	○	○
n 5-10	5	10	×	×
n 15-15	15	15	×	×
ns 10-5	10	5	○	×

z)クロルピクリンくん蒸剤（クロールピクリン）を使用した。

表26 試験区の構成（2006）

試験区名	畦高さ (cm)	マルチ裾埋め 込み深さ(cm)	ベッド幅 (cm)	マルチ畦内 処理の有無
cpf 0-5	0	5	60	○ ^{z)}
cpf 15-15	15	15	60	○
cpf 25-5	25	5	60	○
cpf 180	0	5	180	○
n 5-10	5	10	60	×

z)クロルピクリンくん蒸剤灌水処理剤（クロピクフロー）を使用した。

2. 2006 年の試験

試験はキュウリホモプシス根腐病が自然発病する岩手県北上市の露地夏秋キュウリ連作圃場において実施した。2006 年の試験は、畦の高さとマルチ裾の埋め込み深の組み合わせ、幅広マルチの使用有無、マルチ畦内処理の有無の組み合わせにより 5 処理区を設けた (表 26)。試験区 cpf 0-5, cpf 5-10, cpf 15-15, cpf180 では、5 月 1 日にマルチ畦内処理として、畦立て・マルチ被覆後にマルチ内に敷設した灌水チューブにより、クロルピクリンくん蒸剤灌水処理剤 (商品名: クロピクフロー) を液肥混入器 (住化農業資材株式会社, スミチャー J N40) を用いて 30 L/10 a となるように処理した。ガス抜き耕起は実施しなかった。供試穂木品種は「夏ばやし」とし台木カボチャ品種は「ひかりパワー」とした。両品種とも 5 月 1 日に播種し、接ぎ木育苗後 6 月 2 日に定植した。栽植密度は畦幅 175 cm, 株間 75 cm とした。試験は 1 区 24 株の 2 連制とし、前年度までの本病発生実態から、本病汚染程度の低い土壌 (反復 I) と、汚染程度の高い土壌 (反復 II) に反復を配置した。本試験では、栽培期間中の灌水はしなかった。定植 46 日後 (7 月 24 日) に各区 10 株の側枝数を調査し、その平均値を求めた。定植 43 日後 (7 月 21 日), 定植 64 日後 (8 月 11 日), 定植 92 日後 (9 月 8 日), 定植 106 日後 (9 月 22 日) の計 4 回、耕盤 (通路面からの土壌深度約 20 cm) までの深さの根を各区 1 株ずつ丁寧に洗い出しながらマルチ畦内もしくは通路部進展部位ごとに掘り取った。掘り取った根は洗浄後、通風乾燥して乾物重を測定し、全根重に占める畦内割合を算出した。土壌水分は、各区の中央付近の畦内約 10cm 下を 1 カ所ずつ、7 月 12 日から 8 月 7 日まで随時 pF メータにより計測した。また、栽培期間を通じて各区 10 株のキュウリ果実収量を調査した。地上部の萎凋状況は 9 月 12 日に調査した。地下部の発病状況は 10 月 13 日に各区ともに残存株全株を抜根し、根部を発病程度別に調査して平均発病指数を算出した。根部調査方法については、2005 年の試験と同様とした。

結 果

1. 2005 年の試験

(1) 簡易根域制限処理と地上部の生育および収量への影響

定植 59 日後 (8 月 5 日) の側枝数は、マルチ畦内処理の有無に関わらず、防根透水シートを敷設した cps 10-5 区および ns 10-5 区がそれぞれ 1 次側枝と 2 次側枝

の合計が 24.4 本および 21.0 本と防根透水シート無敷設区と比較して少なかった。一方, cps 10-5 区を除くマルチ畦内処理区では, cp 0-5 が 36.0 本でやや少なかったが, 他の区は 40.0~40.1 本とほぼ同等であった。マルチ畦内処理区では, いずれの区も処理区に比べて側枝数が少なく, 特に 2 次側枝の発生が抑制された (図 27)。

商品果収量は, 側枝数が多かった cp 5-10, cp 15-15, cp 25-5 で多く, ほぼ同等の収量が得られたが, ns 10-5 は最も収量が少なかった。畦の形成方法が同じ区の場合では, マルチ畦内処理区で収量が少なかった (図 28)。

(2) 土壌水分と萎凋症状の発生推移

マルチ畦内の土壌水分は, 畦の高さやマルチの埋め込み深に関係なく変動が激しく, pF 値は 1.7 から 2.7 程度に 3 日程度で上昇し, 降雨によって容易に低下した。また, pF 値の変動に及ぼす畦の高さやマルチ埋め込み深の影響は少なかった (図 29)。

地上部の萎凋症状は 7 月 19 日に確認されたが, 7 月下旬以降はマルチ畦内処理区での萎凋症状はほとんど発生しなかった。また, 8 月中旬からは萎凋症状を呈する株はほとんど増加しなかった (図 30)。

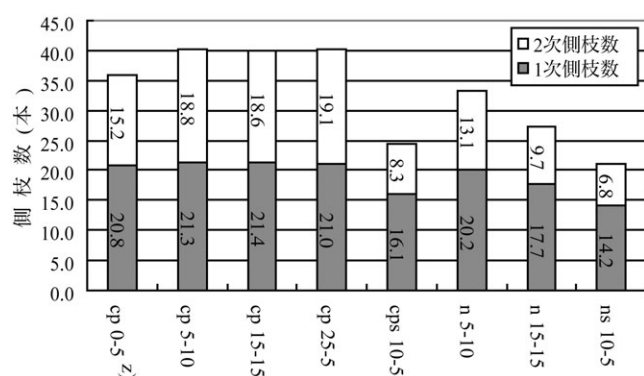


図27 定植59日後 (8月5日) 側枝数調査結果 (2005)
z)試験区の構成は「表25」のとおり。

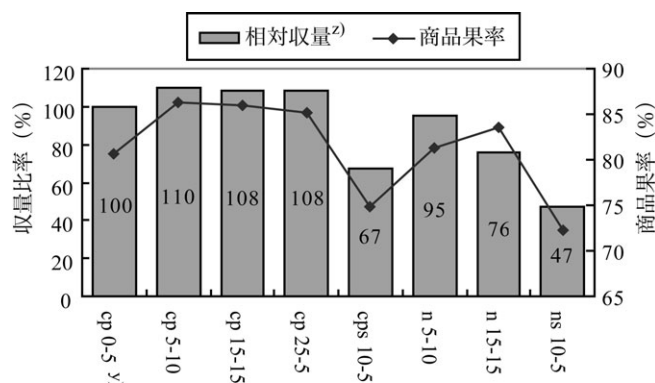


図28 収量および商品化率調査結果 (2005)
z)相対収量はcp 0-5を100として算出した。
y)試験区の構成は「表25」のとおり。

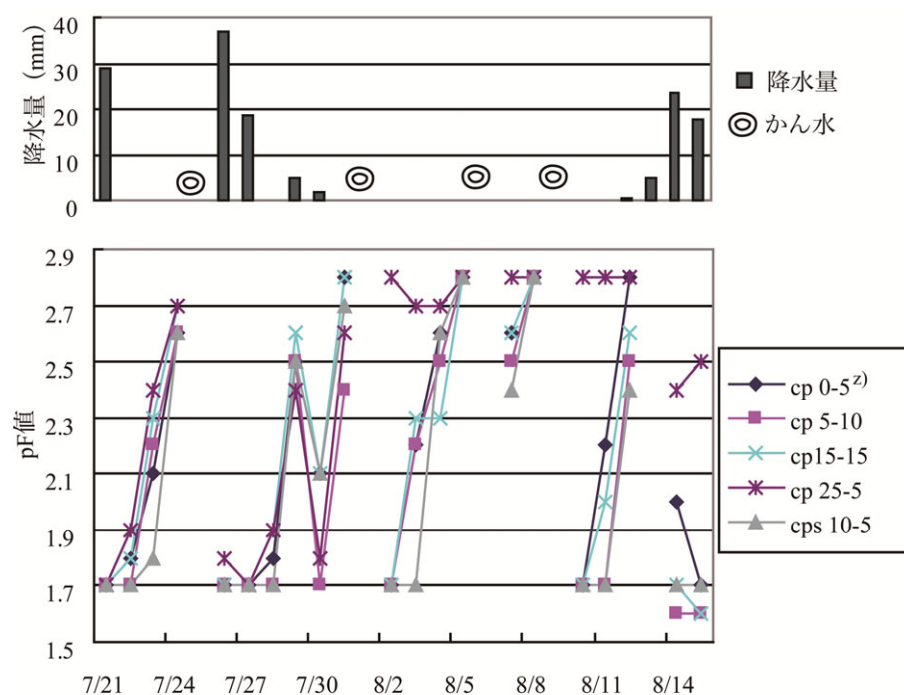


図29 試験区における土壌水分(pF値)の推移 (2005)
z)試験区の構成は‘表25’のとおり.

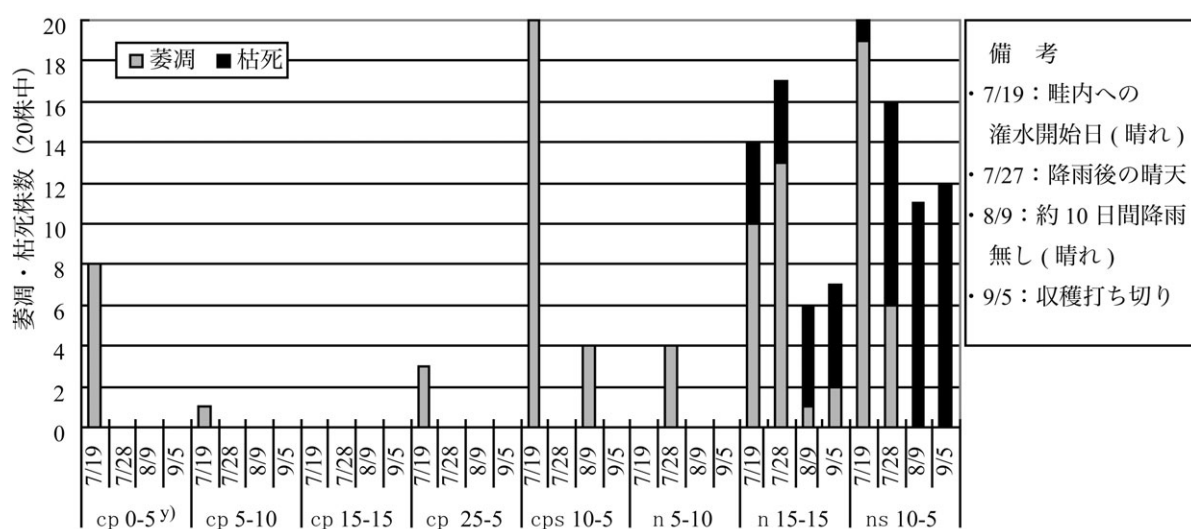


図30 試験区における萎凋・枯死株の発生推移 (2005)^{z)}
z)汚染程度の高い反復Ⅱでの結果,
y)試験区の構成は‘表25’のとおり.

(3) 根の伸展と土壌硬度

土壌中の根の伸展程度を7月14日、7月20日、8月5日に観察した(図31)。その結果、7月14日の観察では、いずれの区でも根はマルチ畦内に存在することが観察された。7月20日の観察では、cp 0-5 および cp 5-10 区で、根はマルチ畦内から通路へ伸展が始まっていた。一方で cp 15-15 および cp 25-5 区では根はマルチ畦内にとどまっていた。8月4日の観察では、防根透水シートを敷設した区(cps 10-5, ns 10-5)以外のすべての区で

通路への根の伸展が確認され、畦中央から通路側へ 60～100 cm 程度伸展していた。

畦面から耕盤(土壌硬度 1.0Mpa 程度)までの深さは、cp 0-5 が 15 cm, cp 5-10 が 20cm, cp 15-15 が 40 cm 以上、cp 25-5 は 20 cm であった(図32)。

(4) 根部発病調査結果

マルチ畦内処理区では根部発病指数が明らかに低く、これに対して無処理区(n 5-10, n 15-15, ns 10-5)では

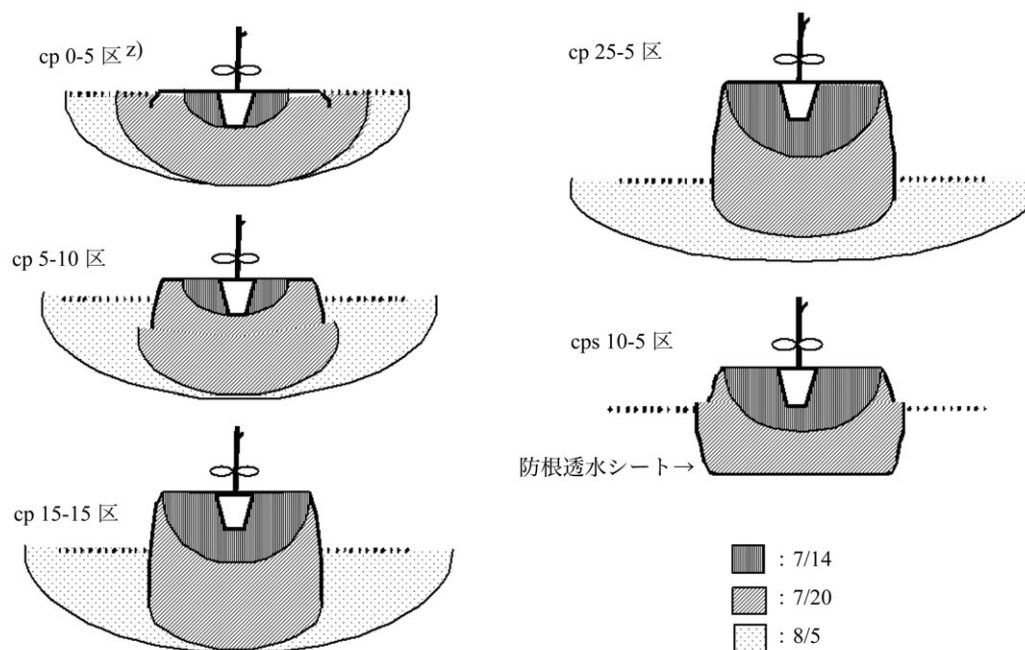


図31 各試験区における根の進展推移の観察結果模式図 (2005)

z)試験区の構成は‘表25’のとおり。

表27 萎凋株の発生状況及び根部の発病調査結果 (2005)

試験区	調査株数	萎凋株率(%) (防除価 ^{x)})	根部発病指数 ^{z)} (防除価)	最短発病距離 ^{y)} (cm)
cp 0-5	37	0 b ^{w)} (100)	0.97 c ^{v)} (42.7)	17.8
cp 5-10	36	0 b (100)	0.67 cd (60.7)	14.3
cp 15-15	32	0 b (100)	0.44 cd (74.2)	25.4
cp 25-5	37	0 b (100)	0.38 de (77.7)	39.8
cps 10-5	35	0 b (100)	0.34 de (79.8)	19.6
n 5-10	39	2.6 b -	1.70 b -	6.1
n 15-15	38	18.4 ab (0)	2.03 ab (0)	2.3
ns 10-5	39	30.8 a (0)	2.50 a (0)	6.2

z)根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

y)根部の発病が認められた株における地際部胚軸から偽子座が確認された部位までの最短発病距離 (cm) の平均値。

x)防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

w)同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

v)同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

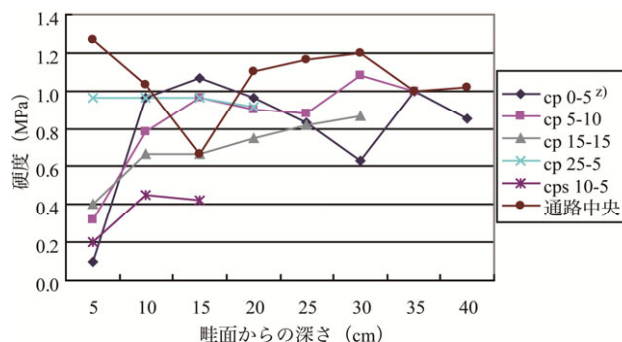


図32 各試験区における土壌硬度 (2005)

z)試験区の構成は‘表25’のとおり。

および cp 25-5 区では 74.2 および 77.7 と高く、マルチ裾埋め込みや高畦による発病抑制効果が確認された。なお、最も根の発病程度が低かったのは防根透水シートを敷設した cps 10-5 区であり、その防除価は 79.8 であった。

2. 2006 年の試験

(1) 簡易根域制限処理と地上部の生育および収量への影響

定植 46 日後 (7 月 24 日) の側枝数は cpf 0-5, cpf 15-15, cpf 25-5, cpf 180 区ともほぼ同等であった (図 33)。商品果収量は、cpf 0-5 および cpf 180 区で多く、cpf 15-15, cpf 25-5 区でやや少なかった。n 5-10 区は、試験反復 II において萎凋症状が多発したため、収量は少なかった (図 34)。

根部発病指数が高かった (表 27)。マルチ畦内処理区内でも発病程度に差異が認められ、cps 10-5, cp 25-5 区では、cp 0-5 区よりも有意に発病指数が低かった (表 27)。

根の最短発病距離は、畦が高く、マルチ裾埋め込みが深いほど長くなり、cp 25-5 区では 39.8cm であった。

n 5-10 区を対照区として防除価を求めると、cp 15-15 区

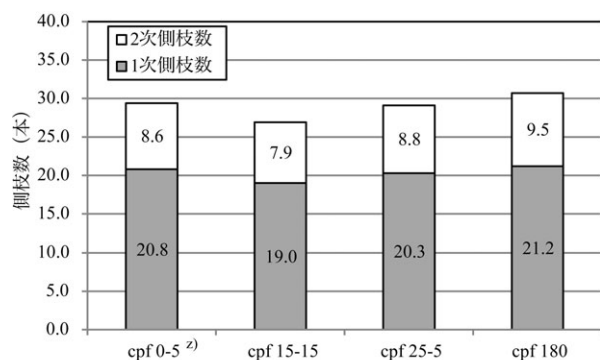


図33 定植46日後（7月24日）の側枝数（2006）
z)試験区の構成は‘表26’のとおり。

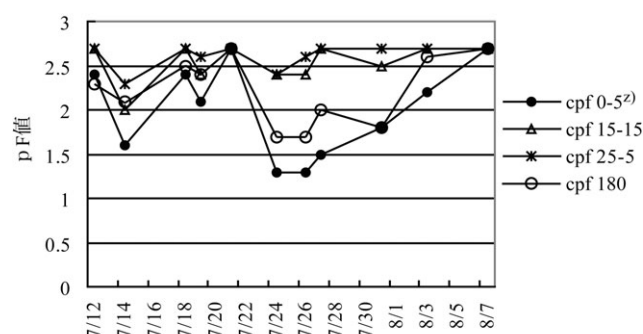


図35 マルチ畦内土壌のpF値の推移（2006）
z)試験区の構成は‘表26’のとおり。

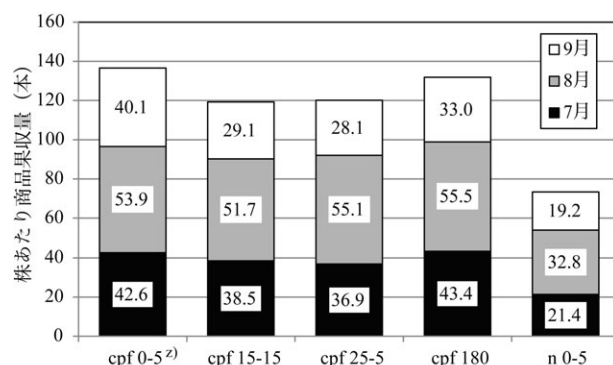


図34 試験区における商品化収量の比較（2006）
z)試験区の構成は‘表26’のとおり。

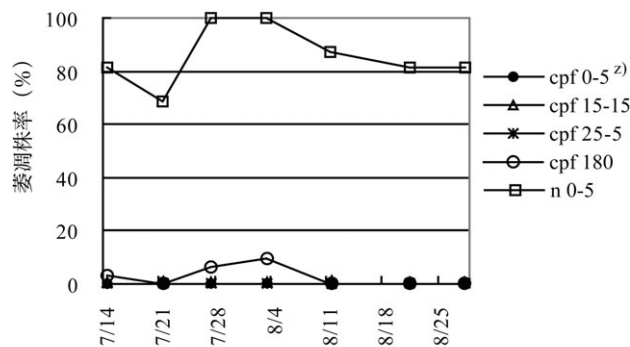


図36 萎凋株の発生推移（2006，試験反復Ⅱ）
z)試験区の構成は‘表26’のとおり。

（2）土壌水分と萎凋症状の発生推移

マルチ畦内の土壌水分は、7月14日の数値では高畦とした cpf 25-5 区で pF 2.3、高畦・裾埋め込みとした cpf 15-15 区で pF 2.0、幅広マルチとした cpf 180 区で pF 2.1 であり、慣行の畦幅・畦高さである cpf 0-5 区に比べて低かった。7月24日の調査では、7月21日、22日の降雨により cpf 0-5、cpf 180 区では pF 値が低下したが、cpf 25-5、cpf 15-15 区では高いまま維持され、調査期間を通じて変化は少なかった（図 35）。

地上部の萎凋症状の初発は、汚染程度の高い試験反復Ⅱにおいて7月14日に確認された。マルチ畦内処理区である cpf 5-10、cpf 15-15、cpf 180 区では一部で萎凋症状の発生を認めたが、全身萎凋症状による枯死までは至らず、8月下旬以降は回復した。一方、n 0-5 区では試験反復Ⅱにおいて本病が多発し、7月24日、8月4日の調査では萎凋株率 100%に達し（図 36）、その後回復した株も見られたが、最終的に 87.5%が萎凋した。試験反復Ⅰでは、最終調査における n 0-5 区の萎凋株率は 12.5%であり、他の試験区では萎凋株は認められなかった（表 28、図 38）。

（3）根の伸展

台木の根は、7月下旬にはいずれの区においてもマルチよりも外側に伸展していることが確認された。マルチ

内の根の乾物重割合は、cpf 15-15 および cpf 25-5 区はそれぞれ 92.0%および 89.4%であり、慣行作畦である cpf 0-5 区の 72.9%よりも高かった（図 37）。

（4）根部発病調査結果

根部発病指数はマルチ畦内処理区である cpf 5-10、cpf 15-15、cpf 25-5、cpf 180 区が、n 0-5 区に比較して有意に低かった。マルチ畦内処理区についてみると、cpf 15-15、cpf 180 区が、cps 25-5 区よりも有意に低かった（表 28）。

考 察

防根透水シートを活用した根域制限処理（第4章第4節）や、高畦・マルチ裾埋め込みによる簡易根域制限処理によって、マルチ畦内処理の防除効果を向上させることが可能か否かを検討した。あわせて、これらの手法がキュウリ生育に及ぼす影響についても検討した。まず、防根透水シートを用いた根域制限処理とマルチ畦内処理の併用についてみると、本処理は、いずれも萎凋株の発生および根部の発病抑制効果が高かった（表 27）。しかしながら、本処理は、根域を完全に制御した栽培体系となることから、地上部の生育や収量に与える影響が大きくなり、生育は劣り、収量も低くなった（図 28）。堀越¹²⁾は、キュウリホモブシ根腐病の防除対策として、防根透水

表28 萎凋株の発生状況及び根部の発病調査結果 (2006)

試験区	調査株数	萎凋株率(%) (防除価 ^{y)})	根部発病指数 ^{z)} (防除価)
cpf 0-5	32	0 b ^{x)} (100)	1.19 bc ^{w)} (61.2)
cpf 15-15	32	0 b (100)	0.72 c (76.2)
cpf 25-5	32	0 b (100)	1.38 b (55.1)
cpf 180	32	0 b (100)	0.66 c (78.6)
n 0-5	32	50 a	3.06 a

z)根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり、

y)防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり、

x)同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す、

w)同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す、

u)試験区の構成は‘表26’のとおり、

シートを圃場に埋設する根域制御処理を実用化するためには、シートの簡易な設置方法の検討や、シート使用時の栽培技術の確立が必要であると指摘している。本研究においてもほぼ同様の結果が得られており、シートの埋め込み深（根域の容積）や、水分ストレス回避のための適切な灌水方法などについて、さらなる検討が必要と考えられた。

次に、高畦やマルチ裾埋め込み手法とマルチ畦内処理の併用についてみると、畦高 15 cm・マルチ裾埋め込み 15 cm や畦高 25 cm・マルチ裾埋め込み 5 cm 区では、根の通路方向への伸展遅滞効果が確認され、萎凋株および根部の発病抑制効果がともに高かった（図 31, 表 27,

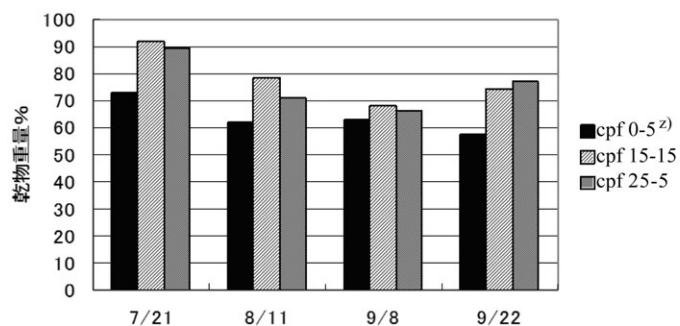


図37 台木根の畦内割合 (2006)

z)試験区の構成は‘表26’のとおり、

図 36, 表 28). そこで、地上部の生育や収量に与える影響についてみると、適宜灌水を実施した 2005 年試験においては地上部の生育や収量量に与える負の影響は認められなかった（図 27, 図 28). さらに、土壤中 pF 値の変動に及ぼす畦の高さやマルチ埋め込み深の影響もほとんど確認されなかった（図 29). 一方で、灌水を実施しなかった 2006 年試験では、慣行作畦区（cpf 0-5）と比較して収量が低くなった。無灌水栽培とした 2006 年は、高畦・マルチ裾埋め込み栽培区（cpf 15-15 および cpf 25-5）では、7 月中旬以降に土壤 pF 値が高い状態で維持され、降雨後もマルチ畦内の土壤水分含量は低く推移したことが、収量低下に結びついたと考えられた（図 34, 図 35). これらのことから、高畦やマルチ裾埋め込みといった簡易的な根域制限手法は、マルチ畦内処理における防除効果安定化手法の一つとして活用可能とも考えられるが、十分なキュウリ生育および収量を確保する



図38 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と高畦15 cm・マルチ裾埋め込み15 cm併用時の防除効果 (2006)

左：クロピクフローによるマルチ畦内処理＋

高畦15cm・マルチ裾埋め込み15 cm (cpf 15-15)

右：無処理＋畦高0 cm・裾埋め込み5 cm (n 0-5, 慣行)

ためには適切な灌水が必要と考えられた。本試験における高畦 25 cm 区の設置は、作畦を管理機で行った後に、手作業で 25 cm に畦高を調節したため 2 工程の労力が必要であった。このような作業の重複は作業性の問題とともに比較的浅い深度の土壌硬度を高める原因になるとも考えられた (図 32)。また、マルチの裾を埋め込む手法についても手作業で実施しており、これらの作業を効率的に実施する手法の検討も必要である。

そのほか、2006 年試験で設置した cpf 180 区のようにマルチ畦内処理時の土壌消毒畦幅を広げる手法は、高い防除効果をもたらし、生育に対する負の影響も見られなかった (図 33, 図 34, 表 28)。本病菌の感染が株元から離れた部位に起こった場合は、根の未感染部位の機能は維持され、萎凋症状の発現は抑制される⁵⁰⁾。マルチ畦内処理において消毒畦幅を広くとった場合や、高畦・マルチ裾埋め込みとすることで防除効果が高まる要因は、キュウリの株元から未消毒の通路部分までの距離が確保されたことによる感染時期の遅延により、萎凋症状の発現が抑制されたためと推察された。

第 6 節 クロルピクリンくん蒸剤の剤型とマルチ畦内処理の防除効果

キュウリホモブシ根腐病の防除法として、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理 (以下、マルチ畦内処理) が有効であることを第 4 章第 2 節で示した。しかし、クロルピクリンくん蒸剤には 99.5%液剤 (商品名: クロールピクリン) のほかにも 80%フロー剤 (商品名: クロピクフロー)、70%錠剤 (商品名: クロルピクリン錠剤)、55%テープ剤 (商品名: クロピクテープ) の合計 4 剤型が存在する。これらの剤型の処理方法は、農家の所有する農業機械や作業労力にも深く関係するため、マルチ畦内処理法を本病防除技術として普及するためには、99.5%液剤以外の 3 剤型についても十分な防除効果が得られることを確認しておく必要がある。そこで、クロルピクリンくん蒸剤の剤型がマルチ畦内処理による防除効果に及ぼす影響について検討した。

材料および方法

1. 試験区の設定

試験は 2006 年および 2007 年にキュウリホモブシ根腐病が自然発病するキュウリ連作圃場において実施した。試験圃場は、岩手県北上市の露地夏秋キュウリ 2 圃場、花巻市の露地夏秋キュウリ 2 圃場および花巻市の施設半

促成キュウリ 1 圃場とした。試験畦幅は、約 90 cm (135 cm 幅マルチ相当) とした。試験概要の詳細は表 29 に示した。

クロールピクリンはマルチ畦内土壌消毒機 (P1F1B-MK) により、処理量が 3 ml/穴となるように、条間 30 cm×ピッチ 30 cm、注入深 15 cm として千鳥状に 1 畦あたり 2 条灌注処理した (図 39)。クロピクフローは畦立て・マルチ被覆後にマルチ内に敷設した灌水チューブにより液肥混入器 (スミチャージ N40) を用いて 30 L/10a となるように処理した (図 40)。クロルピクリン錠剤は、規定量を畦立て前に 10,000 個/10a となるようにすじ状にばらまき、畦立てマルチャーを用いて混和しながら畦立て・マルチ被覆を行った (図 41)。クロピクテープは 11,000 m/10 a となるように畦 1 m あたり 1 本、深さ約 15 cm に埋設した (図 42)。クロピクフロー処理では、作畦方法を高畦 15cm、マルチ裾埋め込み 15cm とした簡易根域制限処理 (第 4 章第 5 節) との併用区も設置した。

2. 調査方法

キュウリの収穫盛期にあたる 7 月下旬～8 月下旬に各試験区の萎凋株の発生状況を調査し、萎凋株率を求めた。全身に萎凋症状を呈する株、および萎凋症状の発生により枯死した株を萎凋株と判定した。また、9 月もしくは 10 月に各試験区から抜根し、洗浄後、根部発病状況について第 4 章第 2 節と同様に調査し、平均発病指数を算出した。また、本病に対する防除効果を評価するため、萎凋株率、根部発病指数についても前述の方法で防除価を算出した。

3. 統計処理

各試験の発病調査結果から、萎凋株率について処理区ごとの効果差の有無を Ryan の多重比較検定によって判定した⁷⁸⁾。根部発病指数の多重比較検定については、Kruskal-Wallis 検定の後に Steel-Dwass 法を用いた。また、表 29 で示したクロールピクリンとの比較試験 5 事例すべてで供試したクロルピクリン錠剤について、メタアナリシス⁷⁹⁾により、クロールピクリンマルチ畦内処理と防除効果を比較した。メタアナリシスは、DerSimonian-Laird method により、統計ソフトウェア StatsDirect Version 2.7.8 (StatsDirect Ltd, 2010)を用い、クロルピクリン錠剤マルチ畦内処理とクロールピクリンマルチ畦内処理の萎凋株率の割合 (リスク比) を求めて防除効果を評価した。

表29 マルチ畦内処理におけるクロルピクリンくん蒸剤の剤型比較試験の概要

試験事例	試験場所	供試薬剤	供試品種 (供試台木品種)	定植日	区制	萎凋株調査	根部発病調査
2006-1	花巻市糠塚	クロールピクリン			1区56,58株, 2反復		
		クロピクフロー (高畦・マルチ裾埋込) ²⁾			1区57株, 反復なし		
		クロルピクリン錠剤	トップグリーン (バトラー)	2006/4/25	1区59株, 2反復	2006/8/2	2006/9/19
		クロピクテープ			1区56株, 反復なし		
		無処理			1区57株, 反復なし		
2006-2	花巻市糠塚	クロールピクリン			1区58-60株, 4反復		
		クロピクフロー (高畦・マルチ裾埋込)			1区58株, 反復なし		
		クロピクフロー	フロンティア ・風神 (バトラー)	2006/6/1	1区58-60株, 3反復	2006/8/30	2006/10/5
		クロルピクリン錠剤			1区56-57株, 4反復		
		無処理			1区57-58株, 4反復		
2006-3	花巻市糠塚	クロールピクリン			1区39株, 2反復		
		クロルピクリン錠剤	南極1号 (バトラー)	2006/6/9	1区39-40株, 2反復	2006/8/30	2006/10/10
		無処理			1区312株, 244株, 2反復		
2006-4	北上市成田	クロールピクリン			1区18株, 2反復		
		クロルピクリン錠剤	夏ばやし (ひかりパワー)	2006/5/29	1区18株, 2反復	2006/8/14	2006/9/19
		無処理			1区18株, 2反復		
2007-1	北上市和賀	クロールピクリン			1区23-28株, 7反復		
		クロルピクリン錠剤	大望 (パワーZ2)	2007/5/25	1区24-25株, 2反復	2007/7/30	調査せず
		無処理			1区23株, 反復なし		

²⁾作畦方法を高畦15cm, マルチ裾埋込込み15cmとした簡易根域制限処理との併用。
作畦方法の詳細は「第4章第6節」を参照のこと。

結 果

1. マルチ畦内処理におけるクロルピクリンくん蒸剤の剤型と防除効果

マルチ畦内処理におけるクロルピクリンくん蒸剤の剤型について、3 剤型以上を同時に比較した試験区 2006-1, 2006-2 の事例についてみると、クロールピクリン, クロピクフロー (高畦・マルチ裾埋込込み含む), クロルピクリン錠剤, クロピクテープのいずれの剤型も無処理に比較して萎凋株の発生および根部の発病を有意に抑制

した (表 30, 図 43, 表 31)。

クロルピクリンくん蒸剤の剤型別にみると、2006-1 の事例では、萎凋株の発生および根部の発病抑制効果は、クロピクフロー (高畦・マルチ裾埋込込み) ≧クロールピクリン ≧クロルピクリン錠剤 > クロピクテープの順であった。2006-2 の事例では、萎凋株の発生抑制効果に剤型間差は認められなかったが、根部の発病抑制効果は、クロピクフロー (高畦・マルチ裾埋込込み) > クロピクフロー = クロールピクリン > クロルピクリン錠剤の順となった (表 30, 図 43, 表 31)。



図 39 クロールピクリン マルチ畦内処理



図 40 クロピクフロー マルチ畦内処理



図 41 クロールピクリン錠剤 マルチ畦内処理



図 42 クロピクテープ マルチ畦内処理

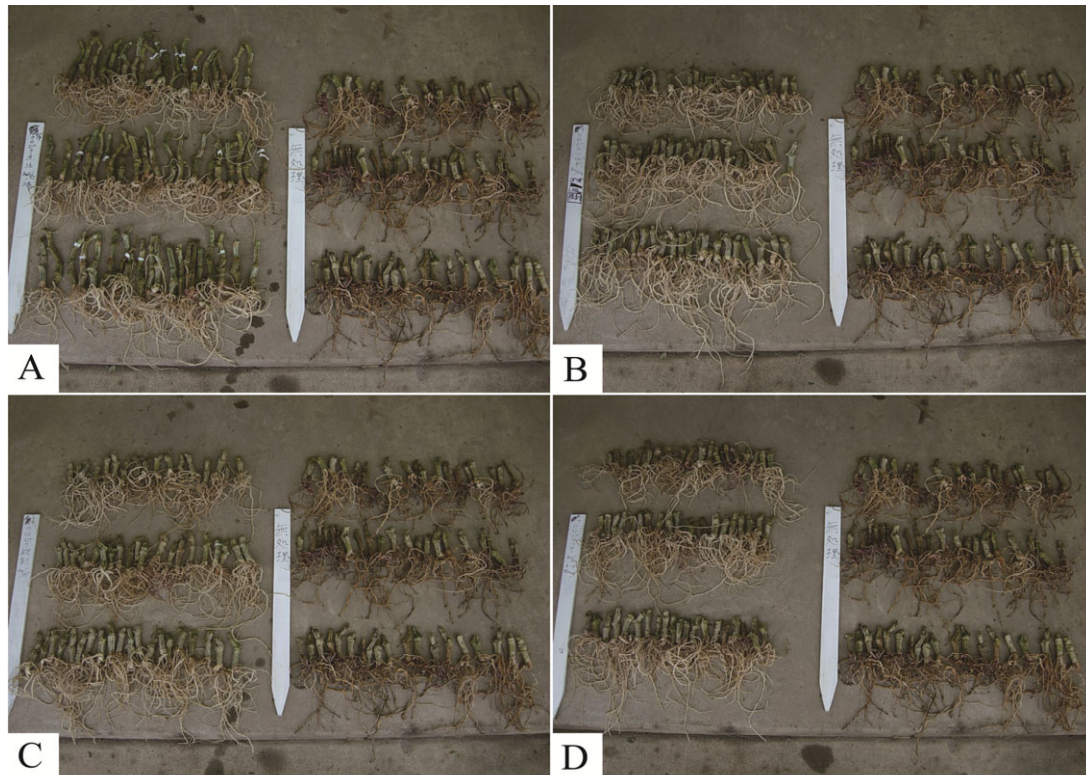


図43 試験事例2006-2²⁾における根部の発病状況 (2006)
2)試験事例の詳細は‘表29’に示すとおり。

- A 左：クロールピクリンマルチ畦内処理 右：無処理
- B 左：クロピクフロー（高畦・マルチ裾埋込）マルチ畦内処理 右：無処理
- C 左：クロピクフローマルチ畦内処理 右：無処理
- D 左：クロールピクリン錠剤マルチ畦内処理 右：無処理

2. クロルピクリン錠剤マルチ畦内処理と クロールピクリンマルチ畦内処理の防除 効果の比較

クロルピクリン錠剤マルチ畦内処理の防除効果をクロールピクリンマルチ畦内処理と比較すると、萎凋株率は5試験事例すべてにおいてほぼ同等と判断され、無処理と比較して有意に萎凋株の発生を抑制した(表30~34)。根部の発病は、試験区2006-1、2006-2の事例ではクロールピクリンマルチ畦内処理よりも有意に多かったものの、2006-3、2007-1の事例ではほぼ同等と判断された(表30~34)。

次に、5試験成績をメタアナリシスによって統合し、リスク比を求めてクロルピクリン錠剤マルチ畦内処理のクロールピクリンマルチ畦内処理に対する萎凋症状の抑制効果を検討した。その結果、統合リスク比は1.56で1.0よりも大きく、その95%信頼区間は0.96 - 2.53と1.0以上の部分が含まれた(図44)。このことからクロルピクリン錠剤マルチ畦内処理は有意差があるとはいえないものの、クロルピクリン錠剤マルチ畦内処理はクロールピクリンマルチ畦内処理よりも防除効果がやや劣り、1.6倍程度萎凋株の発生が多くなる可能性があることが示された。

表30 試験事例2006-1^{z)}における萎凋株の発生状況及び根部の発病調査結果(2006)

供試薬剤	処理量	調査株数	萎凋株率(%) (防除価 ^{x)})	根部発病指数 ^{y)} (防除価)
クロールピクリン	30l/10a	114	8.7 cd ^{w)} (89.4)	2.5 cd ^{v)} (49.4)
クロピクフロー	30l/10a (高畦・マルチ裾埋込)	57	3.5 d (95.7)	2.3 d (49.5)
クロルピクリン錠剤	10,000錠/10a	118	17.8 c (78.4)	2.7 c (59.6)
クロピクテープ	11,000m/10a	56	41.1 b (50.2)	3.3 b (42.2)
無処理	-	57	82.5 a	3.8 a

z)試験事例の詳細は‘表29’に示すとおり。

y)根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x)防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

w)同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

v)同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

表31 試験事例2006-2^{z)}における萎凋株の発生状況及び根部の発病調査結果(2006)

供試薬剤	処理量	調査株数	萎凋株率(%) (防除価 ^{x)})	根部発病指数 ^{y)} (防除価)
クロールピクリン	30l/10a	235	0 a ^{w)} (100)	1.3 c ^{v)} (49.4)
クロピクフロー	30l/10a	177	0 a (100)	1.3 c (49.5)
クロピクフロー	30l/10a (高畦・マルチ裾埋込)	58	0 a (100)	1.0 d (59.6)
クロルピクリン錠剤	10,000錠/10a	227	0.4 a (74.3)	1.5 b (42.2)
無処理	-	231	1.7 a	2.6 a

z)試験事例の詳細は‘表29’に示すとおり。

y)根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x)防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

w)同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

v)同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

表32 試験事例2006-3^{z)}における萎凋株の発生状況及び根部の発病調査結果 (2006)

供試薬剤	処理量	調査株数	萎凋株率(%) (防除価 ^{x)})	根部発病指数 ^{y)} (防除価)
クロールピクリン	30l/10a	78	0 b ^{w)} (100)	1.9 b ^{v)} (35.4)
クロルピクリン錠剤	10,000錠/10a	79	0 b (100)	1.8 b (39.2)
無処理	-	556	18.5 a	2.9 a

z)試験事例の詳細は‘表29’に示すとおり。

y)根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x)防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

w)同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

v)同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

表33 試験事例2006-4^{z)}における萎凋株の発生状況及び根部の発病調査結果 (2006)

供試薬剤	処理量	調査株数	萎凋株率(%) (防除価 ^{x)})	根部発病指数 ^{y)} (防除価)
クロールピクリン	30l/10a	36	8.3 b ^{w)} (76.9)	0.8 b ^{v)} (49.4)
クロルピクリン錠剤	10,000錠/10a	36	13.9 b (61.5)	1.2 b (42.2)
無処理	-	36	36.1 a	2.7 a

z)試験事例の詳細は‘表29’に示すとおり。

y)根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x)防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

w)同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

v)同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

表34 試験事例2007-1^{z)}における萎凋株の発生状況及び根部の発病調査結果 (2007)

供試薬剤	処理量	調査株数	萎凋株率(%) (防除価 ^{x)})	根部発病指数 ^{y)} (防除価)
クロールピクリン	30l/10a	178	13.5 b ^{w)} (100)	- ^{v)}
クロルピクリン錠剤	10,000錠/10a	49	14.3 b (100)	-
無処理	-	23	56.5 a	-

z)試験事例の詳細は‘表29’に示すとおり。

y)根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x)防除価の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

w)同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

v)調査せず。

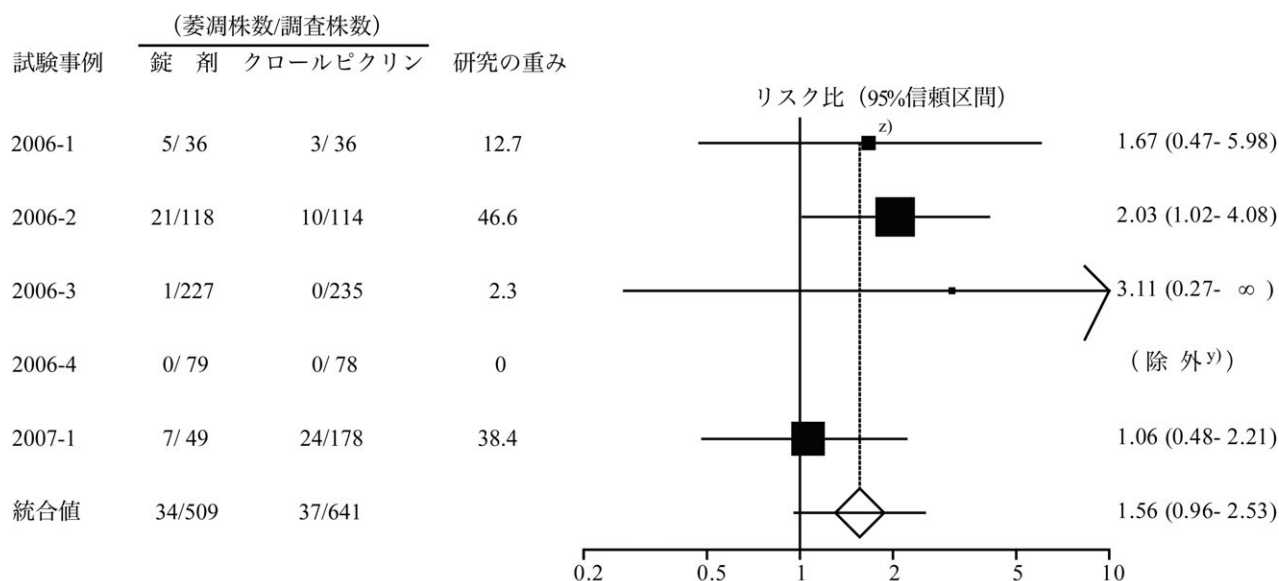


図44 クロールピクリン錠剤によるキュウリモブシス根腐病の萎凋株発生抑制効果

- z) ■はクロールピクリン錠剤マルチ畦内処理とクロールピクリンマルチ畦内処理の萎凋株率の割合(リスク比)を、■の大きさは研究の重みを、各マーカーの両側の線は95%信頼区間を示す。リスク比の値が1.0未満であればその値の分の比率だけ無処理に比べて萎凋株率が低いことを示す。一番下の◇は4試験の統合リスク比を示す。
- y) 錠剤、クロールピクリンいずれの処理区も萎凋株の発生がなかったため、統合リスク比の算出から除外。

考 察

クロールピクリンくん蒸剤 99.5%液剤(商品名:クロールピクリン)を用いたマルチ畦内処理は、専用のマルチ畦内土壌消毒機を購入する必要があるため、キュウリモブシス根腐病被害農家すべてで導入することは困難である。一方で、クロールピクリンくん蒸剤には99.5%液剤であるクロールピクリンのほかに、80%フロア剤(商品名:クロピクフロー)、70%錠剤(商品名:クロールピクリン錠剤)、55%テープ剤(商品名:クロピクテープ)も流通している。これらの剤型を用いたマルチ畦内処理において、本病に対して高い防除効果が得られることが確認できれば、農家の所有機材や栽培体系等を考慮して使用剤型を選択することが可能になると考えられた。そこで、クロールピクリンくん蒸剤の剤型がマルチ畦内処理の防除効果に及ぼす影響について検討した。その結果、クロールピクリン、クロピクフロー、クロールピクリン錠剤、クロピクテープのいずれの剤型も無処理に比較して高い防除効果が確認され、実用性が高いと考えられた(表30、表31)。一方で、薬剤間の効果差も明らかとなり、防除効果は概ねクロピクフロー=クロールピクリン≧クロールピクリン錠剤>クロピクテープの順と考えられた。なお、クロピクテープの評価試験は、2006-1の1

試験のみであったことから、クロピクテープの防除効果をより正確に判断するためにはさらなる試験事例の積み重ねが必要と考えられた。そのほか、クロピクフロー処理では、クロールピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理時の防除効果向上に有効と考えられた高畦15cm、マルチ裾埋め込み15cmとした簡易根域制限処理(第4章第5節)との併用区の防除効果も検討した。その結果、2006-1、2006-2のいずれの試験においても防除効果は極めて高く、山田・岩館⁸⁸⁾の報告とよく一致した。また、クロールピクリンとの防除効果比較試験を6事例実施した、クロールピクリン錠剤マルチ畦内処理は、無処理に対しては十分な防除効果が認められたものの、クロールピクリンマルチ畦内処理と比較すると防除効果はやや劣ると判断された(表30~34、図43、図44)。

以上の結果から、クロールピクリンくん蒸剤の4剤型について、マルチ畦内処理とした場合の本病防除効果について剤型間での効果差は認められるものの、いずれも無処理に対して実用的な防除効果が得られることが明らかとなった(表30~34)。このため、クロールピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理を実施する場合は、農家の所有する機材や栽培体系、労力を考慮したクロールピクリンくん蒸剤の剤型選択が可能になると考えられた。

第7節 クロルピクリンくん蒸剤を用いた 深層土壌くん蒸処理

キュウリホモブシ根腐病の防除対策としては、定植前の春期に行われるクロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理（以下、マルチ畦内処理）が有効である（第4章第2節）。しかし、定植時期が5月下旬から6月上旬となる露地夏秋キュウリでは、マルチ畦内処理の実施時期が低地温期の4月下旬から5月上旬頃に制限され、作業適期幅が狭くなる。この時期は水稻栽培での圃場耕起や代かき作業と重なるうえ、多雪地帯などの雪解けが遅い地域では、圃場排水が十分に進まない等、作業が困難な場合が多い。これらのことから、防除作業時期の分散化に利用できる新たな本病防除対策が求められている。

クロルピクリンくん蒸剤による深層土壌くん蒸処理（以下、深層土壌くん蒸処理）は、大型トラクタでサブソイラーを装着した土壌消毒機をけん引し、地中30 cmの深さに薬液を注入する消毒法である²⁸⁾。通常、クロルピクリンくん蒸剤を処理する場合、ポリエチレンフィルム等による被覆が必要とされる。一方で、深層土壌くん蒸処理では、薬液が地中30 cmと深く注入されることに加え、処理後は専用ローラーによって地表面を鎮圧することから（図45）、シートによる被覆を省略しても、地表面からの急激なガス揮散がなく、周辺環境への影響が少ないとされる⁷⁵⁾。本法は、キュウリホモブシ根腐病菌が分布している土壌深部まで防除効果が及ぶと考えられることから、本病防除法として有望と考えられた。さらに本法は、定植前の春期に作業時期が限定されるマルチ畦内処理と異なり、栽培終了後の秋期に処理することも可能であることから、防除作業時期の分散化やシー

ト被覆省略による作業の省力化に有望と思われた。そこで、キュウリホモブシ根腐病に対する秋期の深層土壌くん蒸処理による防除効果を検討した。

材料および方法

1. 処理方法

クロルピクリンくん蒸剤を用いた深層土壌くん蒸処理は2006年秋期に3圃場、2007年秋期に1圃場、2008年秋期に2圃場で実施した（図45）。試験概要の詳細は表35に示した。供試薬剤はクロルピクリンくん蒸剤（商品名：クロールピクリン）とし、サブソイラー消毒機（松山株式会社、SSD-421）により、処理量が30 L/10aとなるように、横30 cm×ピッチ30 cm、注入深30 cmとして格子状に1カ所あたり3 mlを灌注処理した。処理後の被覆は行わなかった。クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理は、2007年に2圃場、2008年に1圃場、2009年に2圃場で実施した。試験概要の詳細は表35に示した。マルチ畦内処理では、クロルピクリンくん蒸剤99.5%液剤（商品名：クロールピクリン）をマルチ畦内土壌消毒機（PIF1B-MK）により、処理量が3 ml/穴となるように、条間30 cm×ピッチ30 cm、注入深15 cmとして千鳥状に1畦あたり3条灌注処理した。2007-2の試験のみ、クロルピクリンくん蒸剤70%錠剤（商品名：クロルピクリン錠剤）を畦立て前に10錠/m²となるようにすじ状にばらまき、畦立てマルチャーを用いて混和しながら畦立て・マルチ被覆を行った。いずれの場合も定植直前までマルチ被覆により密閉し、ガス抜き耕起は実施しなかった。



図45 クロルピクリンくん蒸剤を用いた深層土壌くん蒸処理の作業風景(2006.11.6)

表35 クロルピクリンくん蒸剤を用いた深層土壌くん蒸処理試験の実施概要

試験事例	試験場所	土壌消毒法	処理月日	供試品種 (供試台本品種)	定植日	区制	萎凋株調査	根部発病調査
2007-1	北上市成田	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	2006/11/6			1区90株, 反復なし		
		マルチ畦内処理 ^{y)}	2007/4/29	夏ばやし (パワーZ2)	2007/6/1	1区18株, 3反復	2007/8/28	2007/10/3
		無処理				1区18株, 3反復		
2007-2	花巻市糠塚	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	2006/11/6			1区326株, 反復なし		
		マルチ畦内処理 ^{y)}	2007/5/9	南極1号 (バトラー)	2007/6/8	1区363株, 反復なし	2007/8/28	2007/10/3
		無処理				1区304株, 反復なし		
2007-3	金ヶ崎町六原	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	2006/11/14			1区225株, 反復なし		
		無処理		南極1号 (バトラー)	2007/6/1	1区45株, 反復なし	2007/8/28	2007/10/3
2008-1	北上市成田	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	2007/11/22			1区9株, 3反復		
		マルチ畦内処理 ^{z)}	2008/5/1	南極1号 (ひかりパワー)	2008/6/4	1区9株, 3反復	2008/8/21	2008/9/10
		無処理				1区9株, 3反復		
2009-1	北上市成田	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	2008/11/13			1区72株, 反復なし		
		マルチ畦内処理 ^{z)}	2009/4/27	フリーダム露地1号 (ひかりパワーG)	2009/5/28	1区36株, 2反復	2009/8/26	2009/9/18
		無処理				1区36株, 3反復		
2009-2	花巻市糠塚	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	2008/11/13			1区167株, 反復なし		
		マルチ畦内処理 ^{z)}	2009/4/27	南極1号 (バトラー)	2009/6/4	1区170株, 反復なし	2009/8/26	2009/10/19
		無処理				1区310株, 反復なし		

z)供試薬剤はクロルピクリン99.5%液剤とした。

y)供試薬剤はクロルピクリン70%錠剤とした。

2. 調査方法

露地夏秋キュウリの収穫盛期にあたる8月下旬に各試験区の萎凋株の発生状況を調査し、萎凋株率を求めた。具体的には、全身に萎凋症状を呈する株、および萎凋症状の発生により枯死した株を萎凋株と判定した。また、各圃場ともに栽培終了後の9月中旬または10月上旬に各試験区から10株もしくは20株を抜根し、洗浄後、根部発病状況について第4章第2節と同様の方法で調査し、平均発病指数、防除価を算出した。

3. 統計処理

萎凋株率の多重比較検定については、Ryan法を用いた⁷⁸⁾。根部発病指数の多重比較検定については、Kruskal-Wallis検定の後にSteel-Dwass法を用いた。また、表36で示した6試験事例について、メタアナリシス⁷⁹⁾により、深層土壌くん蒸処理と無処理の萎凋株率の割合(リスク比)を求めて防除効果を評価した。あわせて表36で示した5試験事例について、深層土壌くん蒸処理とマルチ畦内処理の萎凋株率の割合(リスク比)を求めた。メタアナリシスは、DerSimonian-Laird methodにより、統計ソフトウェアStatsDirect Version 2.7.8 (StatsDirect Ltd, 2010)を用いて実施した。

結 果

1. クロルピクリンくん蒸剤による深層土壌くん蒸処理の防除効果

深層土壌くん蒸処理は、6事例全てにおいて萎凋株の発生抑制効果があると判断された(表36)。根部の発病指数は、調査した5事例のうち、2007-2、2009-2の2事例では無処理よりも根部の発病が少ないと判断されたものの、2007-1、2008-1、2009-1の3事例では無処理とほぼ同等と判断された(表36)。

次に、6試験成績をメタアナリシスによって統合し、リスク比を求めて深層土壌くん蒸処理の無処理に対する萎凋症状の抑制効果を検討した。今回の試験では、無処理の萎凋株率が13.8~33.3%という中~多発生条件下での検討となった(表36)。その結果、深層土壌くん蒸処理の無処理に対する統合リスク比は0.27(95%信頼区間: 0.17 - 0.45)で誤差の範囲を含めて1.0未満であった(図46)。このことから、深層土壌くん蒸処理は萎凋株の発生が無処理に比べて有意に低下し、無処理で発生するであろう萎凋株率の28%程度に抑制されることが示された。

表36 キュウリホモブシ根腐病に対するクロルピクリンくん蒸剤を用いた
深層土壌くん蒸処理の防除効果

試験事例	土壌消毒法	調査株数	萎凋株率(%) ^{x)} (防除価)	根部発病指数 ^{w)} (防除価)
2007-1	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	90	5.6 b (83)	2.6 a (13)
	マルチ畦内処理 ^{z)}	54	3.7 b (89)	1.3 b (57)
	無処理	54	33.3 a	3.0 a
2007-2	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	326	1.2 b (91)	1.9 b (37)
	マルチ畦内処理 ^{y)}	363	1.1 b (92)	0.7 c (77)
	無処理	304	13.8 a	3.0 a
2007-3	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	225	10.2 b (65)	- ^{v)}
	無処理	45	28.9 a	-
2008-1	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	27	7.4 b (78)	2.9 a (0)
	マルチ畦内処理 ^{z)}	27	7.4 b (78)	1.3 b (55)
	無処理	27	33.3 a	2.9 a
2009-1	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	72	8.3 b (55)	2.4 a (18)
	マルチ畦内処理 ^{z)}	72	5.6 b (70)	1.3 b (54)
	無処理	108	18.5 a	2.9 a
2009-2	深層土壌くん蒸処理 ^{z)}	167	7.8 c (54)	2.1 b (30)
	マルチ畦内処理 ^{z)}	170	1.2 b (93)	1.4 c (55)
	無処理	310	17.1 a	3.0 a

z) 供試薬剤はクロルピクリン 99.5% 液剤とした。

y) 供試薬剤はクロルピクリン 70% 錠剤とした。

x) 同一英文字を付した数値間には Ryan の多重比較検定の結果、5% 水準で有意差がないことを示す。

w) 2007-1,2007-2,2008-1 の試験では 10 株,2009-1,2009-2 の試験では 20 株調査とした。また、同一英文字を付した数値間には Steel-Dwass の多重比較検定の結果、5% 水準で有意差がないことを示す。

v) 調査せず。

2. 深層土壌くん蒸処理とマルチ畦内処理の 防除効果の比較

深層土壌くん蒸処理の防除効果をマルチ畦内処理と比較すると、萎凋株率は 2007-1, 2007-2, 2008-1, 2009-1 の事例ではほぼ同等と判断されたが、2009-2 の事例ではマルチ畦内処理よりも劣ると判断された (表 36)。根部の発病は、調査した 5 事例いずれもマルチ畦内処理よりも有意に多いと判断された (表 36)。

次に、5 試験成績をメタアナリシスによって統合し、

リスク比を求めて深層土壌くん蒸処理のマルチ畦内処理に対する萎凋症状の抑制効果を検討した。その結果、統合リスク比は 1.79 で 1.0 よりも大きく、その 95%信頼区間は 0.92 - 3.49 と 1.0 以上の部分が含まれた (図 47)。このことから、深層土壌くん蒸処理は有意差があるとはいえないものの、マルチ畦内処理よりも防除効果がやや劣り、1.8 倍程度萎凋株の発生が多くなる可能性があることが示された。

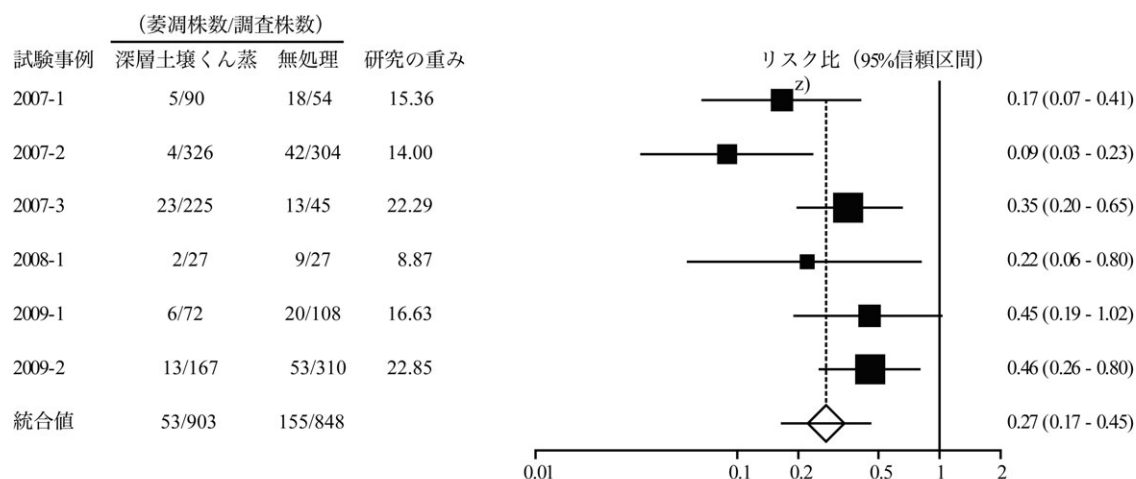


図46 深層土壌くん蒸によるキュウリホモブシス根腐病の萎凋株発生抑制効果

z) ■はマルチ畦内処理と無処理の萎凋株率の割合（リスク比）を、■の大きさは研究の重みを、各マーカーの両側の線は95%信頼区間を示す。リスク比の値が1.0未満であればその値の分の比率だけ無処理に比べて萎凋株率が低いことを示す。一番下の◇は6試験の統合リスク比を示す。

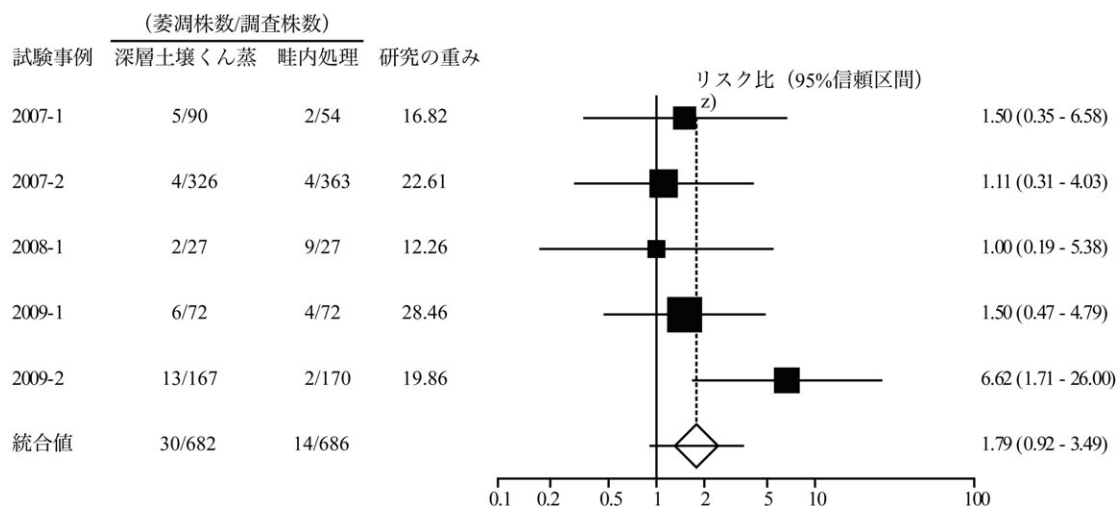


図47 クロルピクリンくん蒸剤を用いた深層土壌くん蒸処理とマルチ畦内処理の萎凋株発生抑制効果の比較

z) 図の見方は図46を参照のこと。

考 察

露地夏秋キュウリにおけるホモブシス根腐病の防除法は春期のマルチ畦内処理が有効である¹¹⁾。しかし、定植前の春期は作業労力や圃場環境面での制約が多く、防除作業時期の分散化を目的とした代替防除技術が求められている。深層土壌くん蒸処理は、タバコ立枯病の防除に実用化されている技術で、土壌深さ 30 cm に専用の消毒機を用いてクロルピクリンくん蒸剤を注入するとともに土壌表面を鎮圧する土壌消毒法である²⁸⁾。本法は、土壌深部に薬液を注入できるうえ、秋期の実施が可能であることから、本病への防除効果を明らかにすることで、防除作業時期の分散化に貢献できると思われる。そこで本研究では、秋期の深層土壌くん蒸処理のキュウリホモ

ブシス根腐病に対する防除効果を検討した。2006 年から 2009 年に実施した 6 試験では、いずれも露地夏秋キュウリ栽培終了後の秋期に深層土壌くん蒸処理を実施することが可能であった（表 35, 表 36）。また、いずれの試験においても薬害等の生育障害は認められなかった（データ省略）。6 試験事例について、萎凋株の発生抑制効果を評価したところ、深層土壌くん蒸処理は、萎凋株の発生を無処理の約 28%に抑制可能であることが明らかになった（表 36, 図 46）。以上から、秋期の深層土壌くん蒸処理は、次作の露地夏秋キュウリにおける防除効果を発揮することが明らかとなった。

一方で、深層土壌くん蒸処理の防除効果はマルチ畦内処理よりもやや劣ると判断された（表 36, 図 47）。深層土壌くん蒸処理では、根部の発病がマルチ畦内処理より

も多くなる傾向がみられ（表 36）、このことが萎凋症状の発生率に影響したと考えられた。深層土壌くん蒸処理では、畦立て等による耕起作業によって、消毒ムラ等により残存した伝染源が土壌中で拡散する機会が生じたと推察される。このため、マルチ畦内処理と比較すると畦内土壌への伝染源混入が起こりやすく、防除効果がやや劣ったと考えられる。

以上から、本法はマルチ畦内処理と比較して若干防除効果が劣る可能性があるものの、秋期に実施した場合でも次作での防除効果が得られることから、防除作業時期の分散化に活用可能な技術と考えられた。なお、深層土壌くん蒸処理は、タバコ立枯病⁷⁵⁾以外での実用化事例はなく、ジャガイモそうか病および青枯病対策としての有効性が報告されているのみである⁵⁷⁾。本研究では、露地夏秋キュウリでのキュウリホモブシス根腐病防除対策として深層土壌くん蒸処理の有効性を明らかにしたが、本法は通常のクロルピクリンくん蒸剤の処理法と異なるため、生産圃場で利用するためには、新たに農薬登録（適用拡大）を取得する必要がある¹⁶⁾。

第5章 転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による被害軽減技術

露地夏秋キュウリにおけるホモブシス根腐病対策として、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理（以下、マルチ畦内処理）が有効であることを第4章で結論した。しかしながら、生産者の中には土壌消毒の経験が無い例が見受けられること、農家の高齢化、土壌消毒の作業適期間が短いことなどから、すべての被害圃場でクロルピクリン剤による土壌消毒を実施することは難しいと考えられた。また、国内ではブルームレス台木を用いて生産されたキュウリが流通の主流であり市場ニーズが高いことから、本病に一定の抵抗性を有するものの果実にブルームを生じるクロダネカボチャ台木を広域的に利用することは難しい（第4章第2節）。これらのことから市場ニーズに合致し、農家の負担が軽減可能な新たな防除法の開発が求められていた。

本病の発生と土壌環境に関する知見は少ないが、土壌 pH や養分過剰、不安定な土壌水分による宿主への理化学的なストレスは、本病の被害を助長する可能性が高く、このことは穴戸⁶⁶⁾も報告している。千葉県のスイカ産地での事例では、土壌酸性化がホモブシス根腐病等に起因する急性萎凋症の発生を助長しているとされる⁶⁰⁾。ところで、著者は、土壌酸性改良資材の一つである転炉

スラグ（ミネックス株式会社、商品名：てんろ石灰）を用いた土壌 pH 改良により本病の被害軽減が可能であることを見出した¹⁹⁾。転炉スラグは、既存の石灰資材に比べて土壌酸性改良効果が持続すること、微量要素を豊富に含む等の性質から、土壌 pH が 7 以上となってもホウ素やマンガンなどの微量要素欠乏症が発生しにくい資材とされる⁹⁾。これらのことから、転炉スラグを本病防除に活用できれば、本病の発病抑制と土壌の高 pH 化に起因する微量要素欠乏症発生の抑制の両立が可能と考えられた。また、転炉スラグを用いた土壌 pH の改良による病害抑制技術は、アブラナ科根こぶ病対策としてすでに普及しており、化学合成農薬に依存しない耕種的対策の一つとして現地普及性が高いと考えられた。そこで、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による発病軽減技術の確立を目的として試験を実施した。

まず第1節および第2節では、ポット試験および隔離床試験において土壌 pH と本病の発病抑制効果の関係について基礎的な検討を行った。次に第3節では現地圃場において、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良の発病抑制効果の実用性を検討した。第4節では、キュウリ生産圃場において本技術を導入した場合のキュウリ生育や収量に与える影響を検討した。第5節では、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による本病の発病抑制メカニズムについて検討した。

第1節 ポット試験による発病抑制効果の確認

本節では、転炉スラグの多量施用による土壌 pH 改良がキュウリホモブシス根腐病の防除に有効か否かを検討した。まず、予備試験としてポット試験において転炉スラグの施用による土壌 pH 改良の程度と本病の発生に及ぼす影響を調査した。次に、育苗培土の pH を改良した場合のキュウリ苗の生育に与える影響についてもあわせて調査した。

材料および方法

1. 現地汚染土壌への転炉スラグ混和試験

試験は、岩手県農業研究センターのガラス温室内で実施した。現地汚染土壌は、本病が自然発病する所内キュウリ圃場（腐植質普通非アロフェン質黒ボク土）より採取し、5 mm 目合いの篩を通した。この供試土壌 100 g あたり転炉スラグ（ミネックス株式会社、てんろ石灰）の処理量を 0 g（無処理：pH 5.8）、1 g（pH 6.5）、2 g

(pH 7.0), 4 g (pH 7.7), 8 g (pH 8.7), 16 g (pH 9.8), 32 g (pH 11.0) の 7 段階に設定し, 添加してよく混和した. 転炉スラグ 32 g 処理区の対照として, 園芸培土 (三研ソイル株式会社, ソイルフレンド) を 32 g 混和する区を設けた. 処理 14 日後に各試験区の土壌 100 g を採取し, 250ml の脱イオン水と混合して, 140 rpm で 10 分振盪したのちに pH メータ (東亜ディーケーケー株式会社, pH メータ HM-30R) により土壌 pH を測定した. 一方, 発病試験のため供試土壌を 12cm ポリポットに充填し, 播種 7 日目のキュウリ幼苗, 品種‘夏ばやし’自根苗を 1 試験区あたり 6 株移植した. 移植日以降は随時各試験区の萎凋株の発生状況を調査し, 本葉 1 枚以上が萎凋した株を萎凋株と判定した. 移植 35 日後に各区全株の草丈および本葉枚数を測定した. 各試験区の根部は丁寧に抜根し, 洗浄後, 根部発病状況について第 4 章第 2 節と同様の方法で調査し, 平均発病指数を算出した. 地際部より上部の茎葉および根部は, 50℃で 72 時間通風乾燥後, 地上部乾物重および根部乾物重を測定した.

統計処理は, 草丈, 本葉枚数, 地上部および根部乾物重について Tukey-Kramer の HSD 検定を用い, 根部発病指数の多重比較検定については, Kruskal-Wallis 検定の後に Steel-Dwass 法を用いた.

2. 人工汚染土壌への転炉スラグ混和試験

試験は, 岩手県農業研究センターのガラス温室内で実施した. 人工汚染土壌は, キュウリホモプシス根腐病菌 (岩手県農業研究センター保存 IPS77 株) をフスマ・土壌培地 (フスマ: 土壌を 1:4 の容積比で混合し, 121℃, 20 分間オートクレーブ滅菌処理) で 25℃, 3 週間培養した接種源を園芸培土 (ソイルフレンド) と 1:10 の容積比で混合して作成した. 人工汚染土壌への転炉スラグ処理は, 土壌緩衝能曲線⁴⁴⁾を作成したうえで, 改良目標 pH7.5 とした場合に必要な人工汚染土壌 100 g あたり 3 g をよく混和した. 対照として転炉スラグ無処理区 (pH6.2) を設けた. 転炉スラグ処理 14 日後に前述の試験と同様に土壌 pH を測定した. 混和した土壌を 12cm ポリポットに充填し, 播種 17 日後, 片葉断根接ぎ木 9 日後のキュウリ苗を移植した. 供試キュウリ品種は‘夏ばやし’とし, 台木は‘パワー Z2’, ‘黒ダネ南瓜’または自根とした. ‘夏ばやし’自根区では, 試験開始時の根部の発根条件を他の試験区と揃えるため, 接ぎ木時に地際部胚軸を切断し, 園芸培土に挿し穂をして発根させた断根 9 日後のキュウリ苗を供試した. 1 区 12 株として試験を実施した. 移植日以降随時各試験区の萎凋

株の発生状況を調査し, 本葉 1 枚以上が萎凋した株を萎凋株と判定した. 移植 32 日後に各区全株の草丈および本葉枚数を測定した. 地際部より上部の茎葉および根部は, 50℃で 72 時間通風乾燥後, 地上部および根部の乾物重を測定した. 草丈, 本葉枚数, 地上部および根部乾物重の統計処理は Tukey-Kramer の HSD 検定を用いた.

3. 転炉スラグにより育苗培土 pH を 7.5 に改良した場合のキュウリ苗の生育

試験は, 2010 年に岩手県農業研究センターのガラス温室内で実施した. キュウリ苗の生育を正當に評価するため, 試験実施時期を慣行育苗期間にあたる 4 月 21 日～5 月 26 日とした. 事前に土壌緩衝能曲線⁴⁴⁾を作成したうえで, 2 種類の園芸培土に転炉スラグを混和し, 土壌 pH7.5 の培土を作成した. すなわち, ソイルフレンド (三研ソイル株式会社) には 100 g あたり転炉スラグを 3 g (pH7.5-ソイル区), 与作果菜類専用 (ジェイカムアグリ) では 100 g あたり転炉スラグ 4.5 g (pH7.5-与作区) を混和した. 対照として転炉スラグ無処理の pH6.2 であるソイルフレンド区 (ソイル区), pH6.2 の与作区を設けた. ‘pH7.5-ソイル’区, ‘pH7.5-与作’区は, 播種床, 接ぎ木床, 鉢上げポットの育苗培土のいずれも転炉スラグ無処理培土を用いた. ソイル区, 与作区は, 播種床, 接ぎ木床, 鉢上げポットの育苗培土のいずれも転炉スラグ無処理培土を用いた. 供試キュウリ品種は‘夏ばやし’とし, 台木は‘パワー Z2’とした. ‘夏ばやし’は 4 月 21 日に, ‘パワー Z2’は 4 月 23 日に播種し, キュウリの播種 9 日後の 4 月 30 日に片葉切断接ぎ法により接ぎ木した. 5 月 10 日に 12 cm ポットに鉢上げし, その後は温室内で通常管理した. 1 区 20 株として試験を実施した. 播種 35 日後の 5 月 26 日に各区全株の草丈, 本葉枚数, 最大葉身長, 最大葉身幅を測定した. 地際部より上部の茎葉および根部は, 50℃で 72 時間通風乾燥後, 地上部乾物重および根部乾物重を測定した. 生理障害は随時観察した. 草丈, 本葉枚数, 最大葉身長, 最大葉身幅, 地上部および根部乾物重の統計処理は Tukey-Kramer の HSD 検定を用いた.

結 果

1. 現地汚染土壌への転炉スラグ混和試験

現地汚染土壌に転炉スラグを段階的に混和した結果, 各試験区の土壌 pH は表 37 に示したように 5.8～11.0 の 7 水準となった.

表37 汚染土壌への転炉スラグ処理量とキュウリホモブシス根腐病発病抑制効果(移植35日後)

処理区	処理量	土壌pH ^{z)}	萎凋株数/供試株数	根部発病指数 ^{y)}
無処理		5.8	6/6	3.7 a ^{x)}
転炉スラグ	1g (汚染土壌100gあたり)	6.5	6/6	3.3 a
”	2g ”	7.0	6/6	3.0 a
”	4g ”	7.7	6/6	2.5 a
”	8g ”	8.7	6/6	3.0 a
”	16g ”	9.8	3/6	2.3 a
”	32g ”	11.0	0/6	1.0 b
園芸培土	32g ”	5.9	6/6	3.7 a

z) 土壌pHは転炉スラグまたは園芸培土混和の14日後に測定した。

y) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

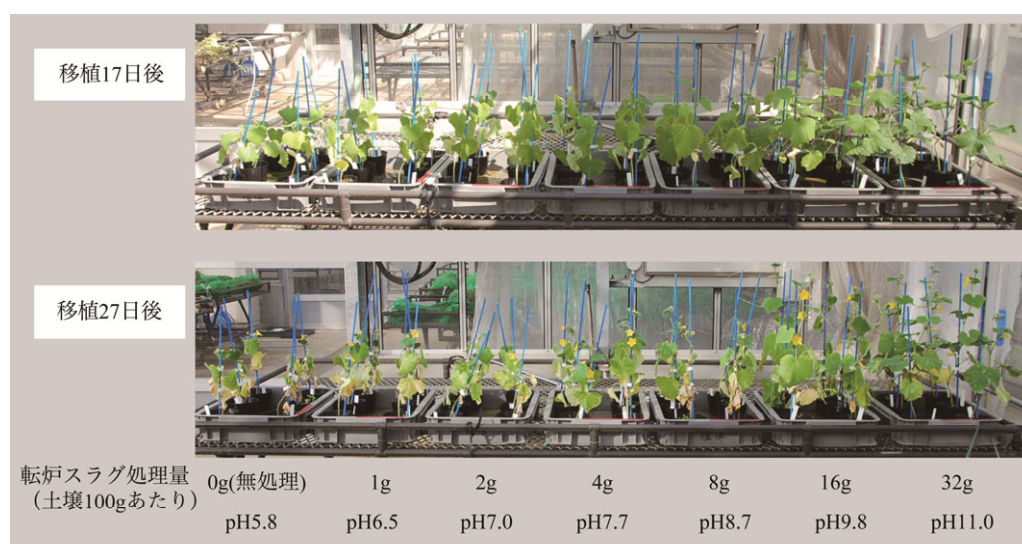


図48 汚染土壌への転炉スラグ処理量とキュウリホモブシス根腐病発病抑制効果(移植17日後, 27日後)



図49 汚染土壌への転炉スラグ処理量と根部の発病状況 (移植35日後)

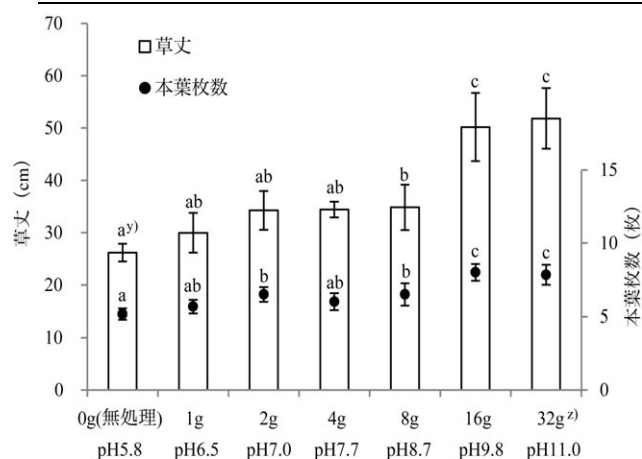


図 50 汚染土壌への転炉スラグ処理量と地上部の生育 (移植 35 日後)

z) 汚染土壌100gあたりの転炉スラグ処理量

y) 同一英文字を付した記号間には, Tukey-KramerのHSD検定の結果, 5%水準で有意差がないことを示す。

移植 35 日後の発病調査の結果, 転炉スラグ 32 g 混和区 (pH11.0) では萎凋株の発生は全くなかった, 同 16 g 混和区 (pH9.8) は 6 株中 3 株が萎凋した (表 37, 図 48). その他の試験区は全株が萎凋した。

根部の発病を見ると, 転炉スラグ 32 g 混和区 (pH11.0) では有意に他の試験区よりも発病が少なかった (表 37, 図 49).

地上部の生育に関しては, 草丈, 本葉枚数, 地上部乾物重, 根部乾物重ともに転炉スラグ混和量が多い区ほど優れた (図 50, 図 51).

2. 人工汚染土壌への転炉スラグ混和試験

育苗培土に転炉スラグを混和した転炉混和区では, 試験開始から試験終了時まで土壌 pH は安定し, pH7.3~7.6 で推移した (データ省略).

‘夏ばやし’自根区の萎凋症状の発生推移をみると, ‘無処理-夏’および‘転炉混和-夏’の両試験区ともに最終的に全株が萎凋したものの, 萎凋症状は‘無処理-夏’に比較して‘転炉混和-夏’で 4 日, 全株萎凋は 8 日遅れた (図 52). 地上部乾物重, 根部乾物重は, ‘無処理-夏’に比べて, いずれも‘転炉混和-夏’で有意に優れた (図 53).

‘パワーZ2’台木区での萎凋症状の発生推移をみると, ‘無処理-Z2’で最終的に 12 株中 4 株が萎凋したものの, ‘転炉混和-Z2’では発生しなかった (図 52). 地上部乾物重は, ‘転炉混和-Z2’が‘無処理-Z2’に比較すると優れた傾向であり, 根部乾物重も‘無処理-Z2’が有意に優れた (図 53).

‘黒ダネ南瓜’台木区の萎凋症状の発生推移をみると, ‘無処理-黒ダネ’, ‘転炉混和-黒ダネ’ともに最終調査に至るまで萎凋症状の発生は見られなかった (図 52). 地上

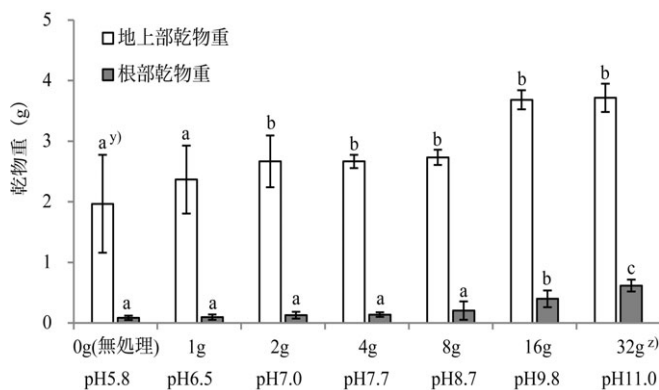


図 51 汚染土壌への転炉スラグ処理量と乾物重 (移植 35 日後)

z) 汚染土壌100gあたりの転炉スラグ混和量

y) 同一英文字を付した記号間には, Tukey-KramerのHSD検定の結果, 5%水準で有意差がないことを示す。

部乾物重は‘転炉混和-黒ダネ’は‘無処理-黒ダネ’に比較して優れた傾向であった。根部乾物重は両区ともほぼ同等であった (図 53).

3. 転炉スラグにより育苗培土 pH を 7.5 に改良した場合のキュウリ苗の生育

育苗培土に転炉スラグを混和した転炉混和区 (pH7.5 ソイル, pH7.5 与作) では, 土壌 pH は試験開始から試験終了時まで安定し, pH7.2-7.6 で推移した (データ省略).

転炉スラグにより育苗培土 pH を 7.5 に改良して育苗した結果, pH7.5 ソイル区, pH7.5 与作区ともに, 転炉スラグ無処理としたソイル区, 与作区と比較しても本葉枚数, 葉身長, 地上部および根部乾物重に負の影響は認められなかった (図 54, 図 55, 図 56). なお, ソイル区で草丈が高い傾向であった (図 54).

生理障害についてみると, pH7.5 与作区では, 葉全体の黄化および葉脈間の退緑症状が観察された (図 57, 図 58) が, pH7.5 ソイル区では同様の症状は観察されなかった. また, pH7.5 与作区および pH7.5 ソイル区では, 根の褐色化が観察され (図 59), pH7.5 ソイル区でより目立った.

考 察

転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による本病発病抑制技術を確立するため, ポット試験で, 転炉スラグ処理量 (土壌 pH) と発病の関係および育苗培土への転炉スラグ処理がキュウリ苗の生育に与える影響について検討した. その結果, 現地汚染土壌を用いた転炉スラグ混和試

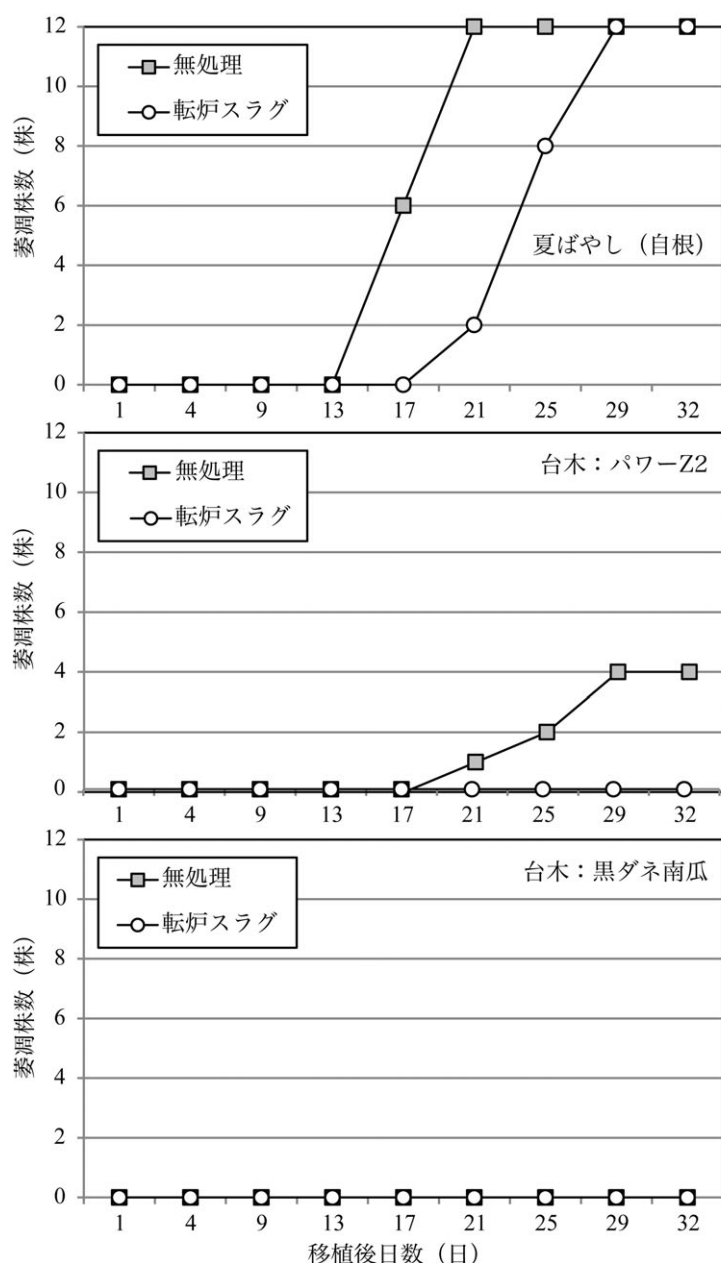


図52 育苗培土への転炉スラグ処理有無および台木種類と萎凋症状の発生推移 (移植32日後)

験では、転炉スラグ処理量が多いほど土壌 pH は上昇し、ホモブシス根腐病の発病も抑制できることが明らかとなった (表 37, 図 48). この結果は、苦土石灰により土壌 pH を高めた場合に本病の発病が軽減されたとした大島の報告⁵⁹⁾や、第3章第1節で検討した病原菌生育の至適 pH の結果とよく一致した。また、キュウリ苗の生育も転炉スラグ処理量が多くなるにつれて良好になった (図 49, 図 50, 図 51)。なお、転炉スラグ 32 g 混和区 (pH11.0) の対照として設けた園芸培土 32 g 混和区では全株が萎凋した (表 37)。このことから、転炉スラグ処理量の増加に伴って発病抑制効果が高まる要因は、汚染土壌へ多量の転炉スラグを投入したことによって土壌中の病原菌密度が低下した結果ではなく、病原菌の活性

が土壌 pH の上昇に伴い低下または根への感染が抑制された可能性が示唆されたが、これについては別途検討が必要と考えられた。

人工汚染土壌への転炉スラグ混和試験では、育苗培土の pH を 7.5 に調製し、‘夏ばやし’自根、‘パワーZ2’台木、‘黒ダネ南瓜’台木を用いて比較試験を実施した。その結果、転炉混和-夏ばやし自根区では、無処理-夏ばやし自根区と比較すると発病時期の遅延効果が認められたが、最終的には全株が萎凋した (図 52)。このことから、キュウリ自根苗の場合、土壌への転炉スラグ処理 (土壌 pH7.5) は、ある程度の発病抑制効果はあると推定されたが、実用的水準にはないと考えられた。‘パワーZ2’台木、‘黒ダネ南瓜’台木では、転炉スラグ混和区において

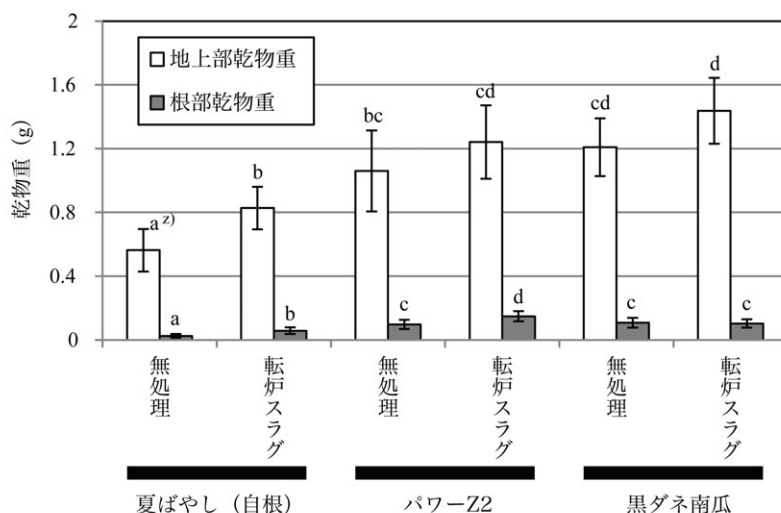


図53 育苗培土への転炉スラグ混和有無および台木種類と乾物重の関係 (移植32日後)

z) 同一英文字を付した記号間には, Tukey-KramerのHSD検定の結果, 5%水準で有意差がないことを示す。

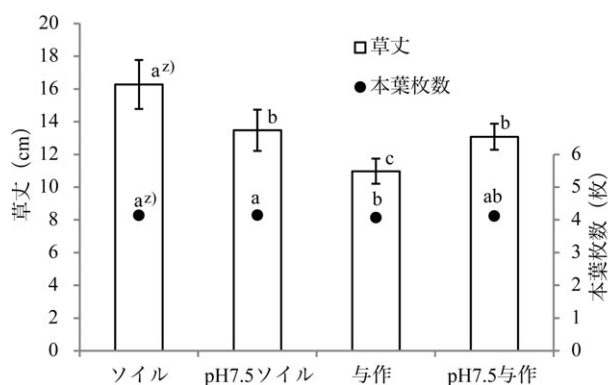


図54 各種育苗培土で栽培したキュウリ苗の草丈および本葉枚数 (キュウリ播種35日後)

z) 同一英文字を付した記号間には, Tukey-KramerのHSD検定の結果, 5%水準で有意差がないことを示す。

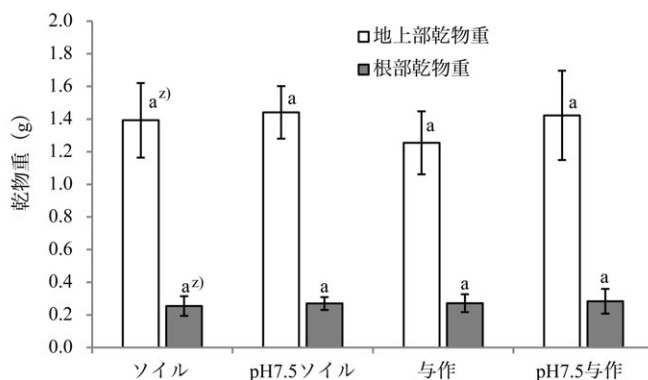


図55 各種育苗培土で栽培したキュウリ苗の地上部および根部乾物重 (キュウリ播種35日後)

z) 同一英文字を付した記号間には, Tukey-KramerのHSD検定の結果, 5%水準で有意差がないことを示す。

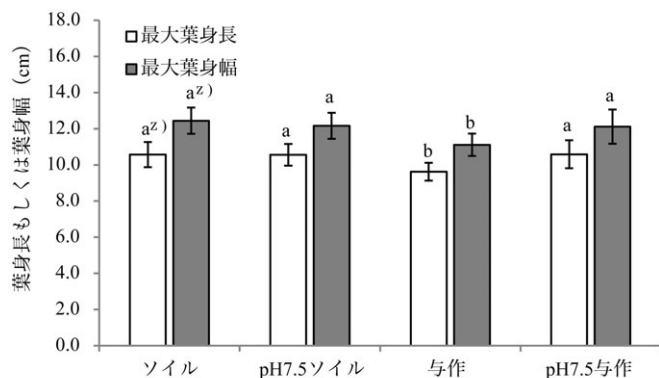


図56 各種育苗培土で栽培したキュウリ苗の最大葉身長および最大葉身幅 (キュウリ播種35日後)

z) 同一英文字を付した記号間には, Tukey-KramerのHSD検定の結果, 5%水準で有意差がないことを示す。

萎凋症状の発生は見られず, 転炉スラグ無処理区と比較して地上部や根部生育に対する負の影響も認められなかった (図 52, 図 53). 以上から, 土壌 pH を 7.5 とすることで本病の発病抑制効果が得られることが明らかとな

り, 特にカボチャ台木栽培の場合は, 実用的被害抑制技術として活用できると考えられた. また, 現地農家では, キュウリ苗の育苗培土として自家培土を利用する場合も多く, この場合, 意図せずとも本病汚染土壌が育苗培土に混入する恐れもある. このことから, 育苗期間中の本病発病抑制手法としても, 転炉スラグを用いた育苗培土の土壌 pH 改良技術は有望と考えられた.

次に, 転炉スラグにより育苗培土 pH を 7.5 に改良した場合のキュウリ苗の生育を検討した. その結果, 2 種類の培土 (ソイルフレンド, 与作) とともに転炉スラグを処理し pH7.5 に改良しても転炉スラグを混和しない場合と同等の生育が得られることが明らかとなった (図 54, 図 55, 図 56). 以上から, 転炉スラグを用いて育苗培土の pH を 7.5 としてキュウリ苗を育苗しても, キュウリ苗の生育に対する影響は小さいと考えられた. しかし, pH7.5 与作区では, 葉全体の黄化および葉脈間の退緑症



図 57 育苗培土への転炉スラグ混和とキュウリ苗の生育（キュウリ播種 35 日後）



図 58 pH7.5 与作区で確認された葉脈間の退緑症状（キュウリ播種 35 日後）



図 59 転炉スラグ混和区（pH7.5 ソイル、pH7.5 与作）で確認された根の褐色化（キュウリ播種 35 日後）

状が観察され、(図 57, 図 58) 症状からみると、高 pH およびカルシウム含量が高い土壌条件下で発生が助長されるマグネシウム欠乏症と考えられた。また、pH7.5 与作区および pH7.5 ソイル区では、根の褐色化が観察されたが、この原因は明らかにできなかった (図 59)。以上から、転炉スラグを処理する育苗培土の種類によっては、マグネシウム欠乏と推定される微量元素欠乏症状や根が褐色になる症状が発生する可能性があると考えられた。このため、転炉スラグを育苗培土に処理し、土壌 pH を改良する手法を普及に移すためには、実際の圃場に定植したうえで、生育や収量について問題があるか否か検討する必要があると考えられた。これについては、第 5 章第 4 節で検討する。

第 2 節 隔離床試験による発病抑制効果の確認

転炉スラグを用いた土壌 pH 改良によるキュウリホモプシス根腐病に対する発病抑制効果の確認試験を実施した。ここでは、ポット試験よりも長期間の観察が可能な、ガラス温室内における隔離床試験により、本病発病抑制効果およびキュウリ生育に与える影響を検討することとした。

材料および方法

試験は、岩手県農業研究センターのガラス温室で実施した。大きさ 1.4 m×1 m×0.25 m、容量約 250 L の隔離床 4 つにそれぞれキュウリホモプシス根腐病汚染土壌を

表38 転炉スラグ処理のホモプシス根腐病発病抑制効果およびキュウリ生育に対する影響

転炉スラグ 処理量	土壌pH ^{z)}	台木	主茎長 ^{y)} (cm)	地上部乾物重 ^{y)} (g)	最大葉身長 ^{w)} (cm)	最大葉身幅 ^{w)} (cm)	萎凋株数 /供試株数 ^{y)}	根部平均 発病指数
28kg/220 L	8.1	パワーZ2	339.5 ± 25.7 c ^{v)}	60.2 ± 4.6 c ^{v)}	17.1 ± 0.6 ab ^{v)}	21.8 ± 1.0 ab ^{v)}	0 / 4	3.3 a ^{u)}
14kg/220 L	7.7	パワーZ2	269.5 ± 29.7 b	41.7 ± 8.2 b	19.8 ± 0.4 c	25.6 ± 1.5 c	4 / 4	3.3 a
7kg/220 L	7.2	パワーZ2	237.0 ± 20.3 a	32.3 ± 5.9 b	18.2 ± 0.7 bc	22.5 ± 0.4 bc	4 / 4	3.5 a
無処理	5.8	パワーZ2	188.3 ± 27.7 a	19.6 ± 4.4 a	15.4 ± 1.7 a	19.1 ± 2.4 a	4 / 4	2.5 a
28kg/220 L	8.1	黒ダネ南瓜	366.3 ± 17.9 c	84.4 ± 7.2 d	19.1 ± 1.3 b	24.5 ± 1.4 b	0 / 4	3.3 a
14kg/220 L	7.7	黒ダネ南瓜	305.3 ± 34.7 b	52.2 ± 4.3 c	18.4 ± 0.4 b	23.5 ± 1.2 b	0 / 4	3.0 a
7kg/220 L	7.2	黒ダネ南瓜	289.5 ± 36.3 b	41.6 ± 3.8 b	17.4 ± 0.5 ab	22.6 ± 0.9 b	3 / 4	2.8 a
無処理	5.8	黒ダネ南瓜	191.8 ± 16.2 a	22.2 ± 2.3 a	16.4 ± 1.2 a	19.1 ± 2.4 a	3 / 4	2.3 a

z) 地表下0-10cm深の土壌pHを示す。

y) 移植52日後に計測した。

x) 乾物重は、移植52日後に地上部を細断し、60℃で72時間通風乾燥したのちに測定した。

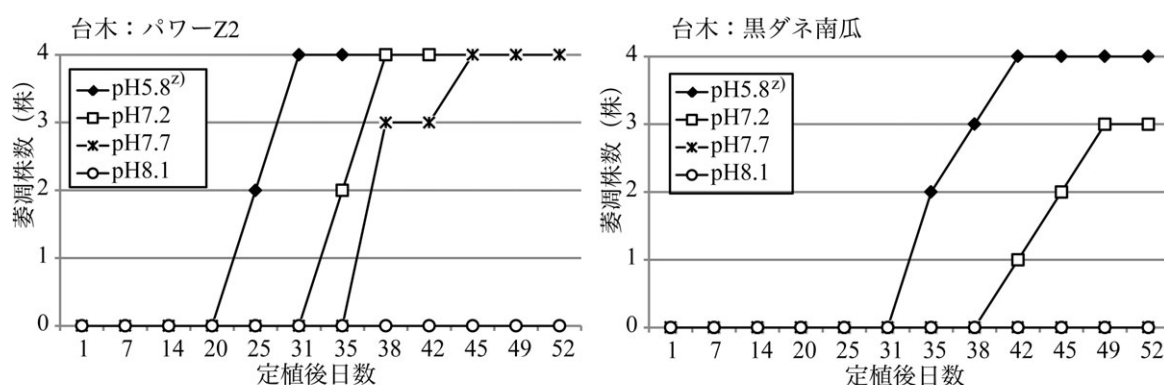
w) 移植31日後に計測した。

v) 同一英文字を付した記号間には、Tukey-KramerのHSD検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

u) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

220 L 充填した。汚染土壌は、本病が自然発病する岩手県農業研究センター内キュウリ圃場より採取したものをを用いた。供試土壌の土壌分類は、腐植質普通非アロフェン質黒ボク土である。転炉スラグは処理量を隔離床 220 L あたり、それぞれ 7 kg, 14 kg, 28 kg と無処理の 4 段階に設定し、よく混和した。転炉スラグ処理の 14 日後に 3.5 葉期まで育苗した接ぎ木キュウリ苗を移植した。供試キュウリ品種は‘夏ばやし’とし、台木は慣行の‘パワーZ2’または本病抵抗性の強い（第 4 章第 1 節）‘黒ダネ南瓜’とした。試験は 4 段階の転炉スラグ処理量、2 種類の供試台木の組み合わせにより 1 区 4 株反復無しとして 8 処理区を設けた（表 38）。

土壌 pH の測定は、転炉スラグ処理 14 日後に各隔離床の対角線上 5 カ所から地表面下 0～10 cm 層位で各約 30 g ずつ採取して実施した。採種土壌をよく混和した後、5 mm 目合いの篩にかけ、100 g を秤量してから、250 ml の脱イオン水と混合し、140 rpm で 10 分振盪したのちに pH メータで測定した。土壌中の MgO 含量、CaO 含量は常法により分析した²⁶⁾。また、移植 1 日後から 52 日後まで随時各試験区の萎凋株の発生状況を調査し、本葉 4 枚以上が萎凋した株を萎凋株と判定した。移植 31 日後に各区全株について最大葉身長、最大葉身幅を測定し、平均値を算出した。移植 54 日後には各区全株の主茎長を測定し、平均値を算出した。地際部より上部の茎

図60 隔離床試験における萎凋株発生推移（移植1日後～52日後）
左：‘パワーZ2’区 右：‘黒ダネ南瓜’区

z) 凡例

pH5.8：転炉スラグ無処理，土壌pH5.8

pH7.2：転炉スラグ 7kg / 220 L 処理，土壌pH7.2

pH7.7：転炉スラグ 14kg / 220 L 処理，土壌pH7.7

pH8.1：転炉スラグ 28kg / 220 L 処理，土壌pH8.1

葉は、60℃で 72 時間通風乾燥後、地上部乾物重を測定し、平均値を算出した。各試験区の根部は丁寧に抜根し、洗浄後、根部発病状況について第 4 章第 2 節と同様に平均発病指数を算出した。

最大葉身長、最大葉身幅、主茎長、地上部乾物重については Tukey-Kramer の HSD 検定を、根部発病指数の多重比較検定については、Kruskal-Wallis 検定の後に Steel-Dwass 法を用い統計処理を行った。

結 果

隔離床に転炉スラグを土壌 220 L あたり、7 kg、14 kg、28 kg 処理し、14 日後の各区の土壌 pH は、転炉スラグ 7 kg 処理区では pH7.2、同 14 kg 区では pH7.7、同 28 kg では pH8.1 であり、無処理区は pH5.8 であった (表 38)。

本試験で供試した土壌中の MgO 含量は無処理区 (pH5.3) で 36 mg/100 g、pH7.2 区で 38 mg/100 g、pH7.7 区で 41 mg/100 g、pH8.1 区で 35 mg/100 g とほぼ同等であった。一方で、CaO 含量は無処理区 (pH5.3) で 329 mg/100 g、pH7.2 区で 860 mg/100 g、pH7.7 区で 1,116 mg/100 g、pH8.1 区で 1,475 mg/100 g と転炉スラグ処理量が多い区ほど高かった。

隔離床試験におけるホモブシ根腐病の発生推移を図 60、表 38 に示した。‘パワーZ2’台木区および‘黒ダネ南瓜’台木区のいずれも転炉スラグの処理量が多く土壌 pH が高い区ほど萎凋症状の発生が少なかった。また、転炉スラグの処理量が少なく土壌 pH が低い区ほど萎凋症状の発生確認時期が早かった (図 60)。
‘パワーZ2’台木区では、土壌 pH8.1 の場合に最終調査の移植 52 日後まで萎凋株の発生が見られなかった。また、‘黒ダネ南瓜’台木区では、土壌 pH7.7 および pH8.1 の両区において萎凋株の発生が見られなかった (図 60、図 61、表 38)。

しかし、移植 31 日後に土壌 pH8.1-‘パワーZ2’台木区において生理障害の発生が確認され、症状は、葉全体の小型化 (表 38)、葉脈間の退緑 (図 63) であった。

移植 52 日後に根部を調査したところ、根部の発病はいずれの試験区も同等であったが、根量は土壌 pH が高い区ほど多かった (表 38、図 62)。地上部生育についても同様に土壌 pH が高い区ほど、主茎長、地上部乾物重ともに大きかった (表 38)。この傾向は‘パワーZ2’台木区および、‘黒ダネ南瓜’台木区いずれも同様で特に差はなかった (表 38)。

考 察

キュウリホモブシ根腐病に完全抵抗性を示す台木品種はこれまで報告されていないが⁶⁶⁾、クロダネカボチャは一定の抵抗性を示すとされる^{11;13)} (第 4 章第 1 節)。そこで、本病抵抗性の強い台木‘黒ダネ南瓜’と慣行台木‘パワーZ2’を接ぎ木したキュウリを用い、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による本病発病抑制効果について隔離床試験により検討した。その結果、両品種とも転炉スラグの処理量が多く土壌 pH が高くなると萎凋症状の発生が抑制された (図 60、図 61、表 38)。また、本病抵抗性の差異も認められ、本病抵抗性の強い‘黒ダネ南瓜’台木では、土壌 pH7.7 以上で萎凋株の発生が認められなかった一方で、‘パワーZ2’台木では、土壌 pH7.7 でも最終的に全株が萎凋し、土壌 pH8.1 とした場合のみ萎凋症状の発生が見られなかった。なお、根部発病調査では、いずれの試験区もほぼ同等であったが、転炉スラグ処理量が多く土壌 pH が高い区ほど根量が多くなる傾向がみられた (表 38、図 62)。これらのことから、転炉スラグ処理により、pH を上昇させることで本病の発病を抑制できるが、その発病抑制効果は、本病抵抗性の強い‘黒ダネ南瓜’台木との併用とすることでより高まることが明らかになった。

キュウリ生育についてみると、両品種ともに土壌 pH が高い区ほど生育量が大きかった (表 38)。しかしながら、土壌 pH8.1-‘パワーZ2’台木区では、移植 31 日後の時点で葉全体の小型化および葉脈間の退緑症状が観察された (図 63)。アブラナ科根こぶ病対策として転炉スラグを多量施用した場合、マグネシウム欠乏症が発生しやすいとされ、マグネシウム欠乏症を回避する目的で、転炉スラグ処理と同時に苦土肥料も施用することが推奨されている⁹⁾。本試験で供試した土壌中の MgO 含量はいずれの試験区も約 40 mg/100 g と同等であったのに対し、CaO 含量は転炉スラグ処理量が多い区ほど高く、pH8.1 区では 1,475 mg/100 g に達した。また、マグネシウム欠乏症はカリウムあるいはカルシウム含量の著しく高い土壌で発生しやすいとされる⁶⁵⁾。これらのことから、‘パワーZ2’台木-土壌 pH8.1 区で確認された葉脈間の退緑症状は、高土壌 pH 条件下での石灰分との拮抗作用によるマグネシウム欠乏症と推定された。転炉スラグは微量元素を豊富に含むとされるが、その中ではマグネシウム含量が比較的低いことから⁹⁾、キュウリホモブシ根腐病対策として転炉スラグを圃場に処理する場合は、転炉スラグ処理と同時に苦土肥料の補給も必要と考えられた。

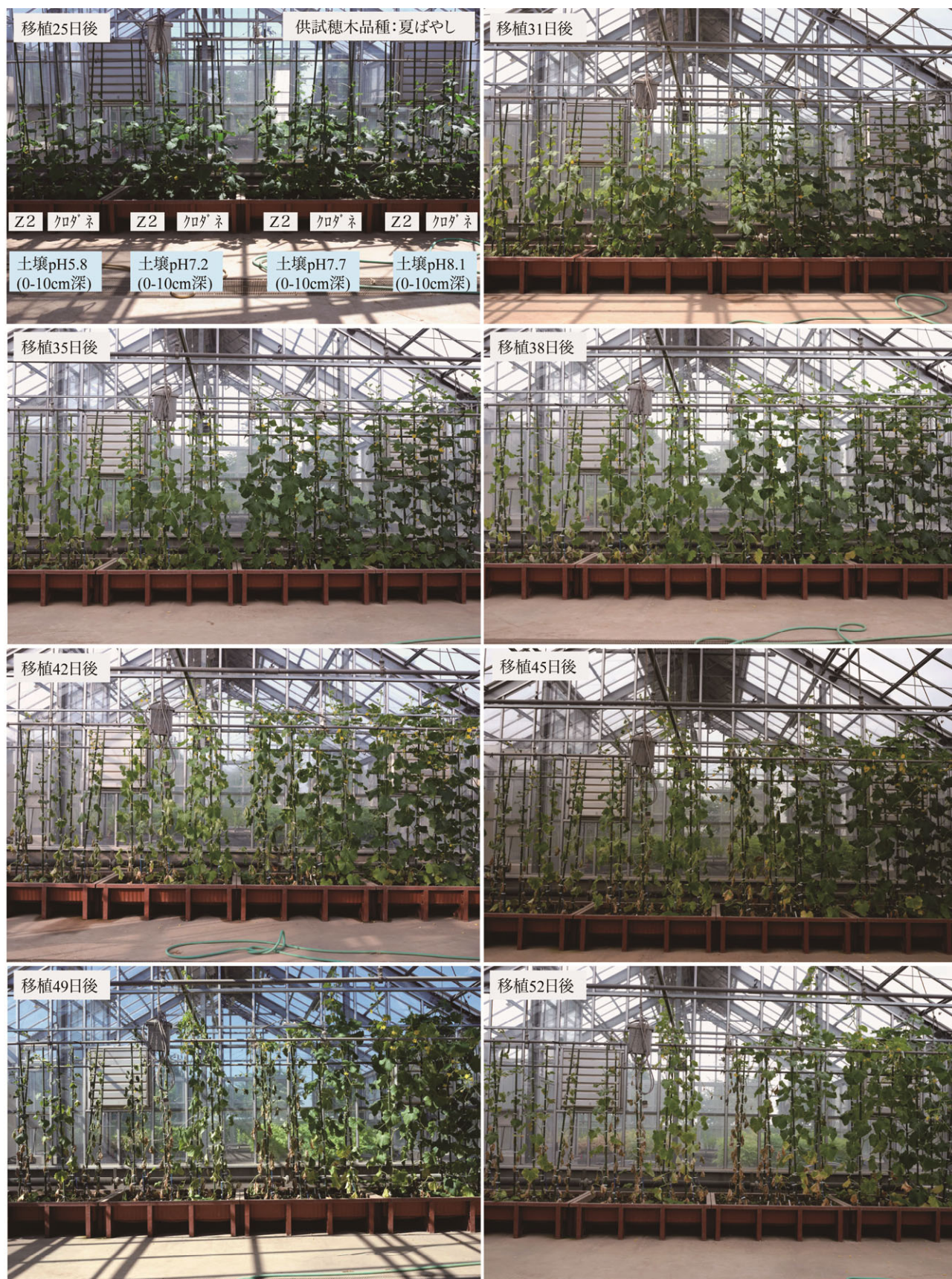


図61 隔離床試験における萎凋株発生推移（移植25日後～52日後）



図62 隔離床試験における根部の発病状況（移植52日後）



図63 pH8.1区(転炉スラグ28kg/220 L処理)での生理障害（移植45日後）

左：葉の小型化，葉脈間の退緑症状が見られた‘パワーZ2’区
右：健全な生育を示す‘黒ダネ南瓜’区

本試験での結果や、岩手県における野菜・花き畑土壌の維持管理基準²⁵⁾を考慮した場合、MgO 含量が 40 mg/100g 以下の圃場では、水酸化マグネシウム（目安 100 kg/10 a⁹⁾）を施用する必要があると考えられた。

以上から、転炉スラグの投入量を多くして土壌 pH を高めるほど本病抑制効果が高まると考えられたが、高土壌 pH 条件下では、今回確認されたようにマグネシウム欠乏症等の発生リスクが高まるので、目標改良土壌 pH は 7.5 程度が適当と考えられた。アブラナ科根こぶ病対策としての転炉スラグ投入量についても改良目標 pH は 7.5 とされていることから⁹⁾、当面の目標改良土壌 pH を 7.5 程度とすることは、妥当な水準と考えられた。

第3節 現地圃場試験による発病抑制効果の確認

前節までの検討により、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良は、キュウリホモプシス根腐病の発病抑制対策として有望と考えられたため、現地圃場でその処理による効果を検討した。具体的には、2009 年から 2011 年まで現地圃場において転炉スラグ処理後の長期間にわたる本病抑制効果を把握するため、現地の同一圃場で 3 か年追跡

調査を実施した。また、2011 年には、さらに 3 圃場において単年度試験を実施した。ここでは、マグネシウム欠乏症等の発生リスクを抑えるため（第5章第1節、第5章第2節）、改良目標土壌 pH は 7.5、改良深は 10 cm として転炉スラグを処理し、本病の発生抑制効果を検討した。

材料および方法

1. 処理方法

試験は、キュウリホモプシス根腐病が自然発病する現地農家圃場で実施した。転炉スラグ処理は 2009 年春期に 1 圃場、2010 年春期に 1 圃場、2011 年春期に 3 圃場で実施した。花巻市の圃場では、転炉スラグ処理後の土壌 pH の経年変化および発病抑制効果を検討するため、3 か年ともに同一圃場で試験を実施した。試験概要の詳細は表 39 に示した。転炉スラグ処理は、土壌緩衝能曲線⁴⁴⁾を作成したうえで、改良深 10 cm、改良目標 pH7.5 とした場合に必要な処理量（表 39）とし、手散布したのち、ただちにロータリーで混和した。

表39 転炉スラグを用いた土壌pH改良現地試験の実施概要

試験事例	試験場所	処理区	転炉スラグ処理量 (kg/10a)	土壌pH ²⁾ (0-10cm深)	供試品種 (供試台木品種)	定植日	試験区面積	萎凋株調査	根部発病調査
2009-1	花巻市糠塚 ^{y)}	転炉スラグ処理	2,500	7.2	フロンティア, 大望 (パワーZ2)	2009/6/6	516m ² (43m×12m)	2009/8/26	2009/10/19
		無処理	0	6.4			516m ² (43m×12m)		
2010-1	花巻市糠塚 ^{y)}	転炉スラグ処理 (2009年春処理 ^{x)})	0	7.3	フロンティア, 大望 (パワーZ2)	2010/6/5	516m ² (43m×12m)	2010/8/26	2010/10/3
		転炉スラグ処理	3,800	7.8			258m ² (43m×6m)		
		無処理	0	6.3			258m ² (43m×6m)		
2011-1	花巻市糠塚 ^{y)}	転炉スラグ処理 (2009年春処理 ^{x)})	0	7.2	フロンティア, 大望 (パワーZ2)	2011/6/8	516m ² (43m×12m)	2011/9/1	2011/9/30
		転炉スラグ処理 (2010年春処理 ^{x)})	0	7.6			258m ² (43m×6m)		
		無処理	0	6.2			258m ² (43m×6m)		
2011-2	遠野市宮守町1	転炉スラグ処理	2,210	7.4	大望 (パワーZ2)	2011/5/29 ～ 5/30	361m ² (19m×19m)	2011/8/30	2011/9/29
		無処理	0	6.4			247m ² (19m×13m)		
2011-3	遠野市宮守町2	転炉スラグ処理	2,000	7.4	大望 (パワーZ2)	2011/5/29 ～ 5/30	380m ² (19m×21m)	2011/8/30	2011/9/29
		無処理	0	6.5			180.5m ² (19m×9.5m)		
2011-4	遠野市宮守町3	転炉スラグ処理	1,960	7.5	光望, 大望 (パワーZ2)	2011/7/7 ～ 7/8	540m ² (27m×20m)	2011/8/30	2011/9/29
		無処理	0	6.5			135m ² (27m×5m)		

2) 転炉スラグ処理2週間以降定植時期までに調査した。

y) 花巻市糠塚圃場は、2009年から2011年まで同一圃場で試験を実施した。

x) 試験当年に転炉スラグは処理していない。

2. 調査方法

転炉スラグ処理 2 週間後から定植時期に土壌 pH を第 5 章第 1 節と同様の方法で測定した。露地夏秋キュウリの収穫盛期から終期にあたる 8 月下旬から 9 月上旬に各試験区の萎凋株の発生状況を調査し、萎凋株率を算出した。全身に萎凋症状を呈する株、および萎凋症状の発生により枯死した株を萎凋株と判定した。栽培期間終了後に各試験区からキュウリ根を抜根し、洗浄後、根部発病状況について第 4 章第 2 節と同様の方法で調査し、平均発病指数、防除価を算出した。生理障害は随時観察した。

3. 統計処理

萎凋株率の統計処理は、3 処理区の比較となった試験事例 2010-1 および 2011-1 は Ryan 法を用いた⁷⁸⁾。2 処

理区の比較となった 2009-1, 2011-2, 2011-3, 2011-4 はフィッシャーの正確確率検定を用いた。根部発病指数の統計処理は、3 処理区の比較となった試験事例 2010-1 および 2011-1 は Kruskal-Wallis 検定の後に Steel-Dwass 法を用いた。2 処理区の比較となった 2009-1, 2011-2, 2011-3, 2011-4 はマン・ホイットニーの U 検定を用いた。また、表 40 で示した 6 試験事例について、メタアナリシス⁷⁹⁾により、転炉スラグ処理と無処理の萎凋株率の割合（リスク比）を求めて防除効果を評価した。なお、花巻市糠塚圃場の転炉スラグ 2009 年春処理と 2010 年春処理の成績は合算して評価した。メタアナリシスは、DerSimonian-Laird method により、統計ソフトウェア StatsDirect Version 2.7.8 (StatsDirect Ltd, 2010) を用いた。

表 40 転炉スラグを用いた土壌 pH 改良によるキュウリホモブシ根腐病の発病抑制効果

試験事例	試験場所	処理区	萎凋株調査 調査株数	萎凋株率(%) (防除価) ^{z)}	根部発病調査 調査株数	根部発病指数 ^{y)} (防除価)
2009-1	花巻市糠塚 ^{x)}	転炉スラグ処理	300	0 ^{*v)} (100)	2009/10/19	1.7 ^{*0)} (43)
		無処理	311	3.5		3
2010-1	花巻市糠塚 ^{x)}	転炉スラグ処理 (2009年春処理) ^{w)}	306	1.3 ^{a u)} (72)	2010/10/20	2.6 ^{a s)} (4)
		転炉スラグ処理	150	2.0 ^a (57)		2.5 ^a (7)
		無処理	150	4.7 ^a		2.7 ^a
2011-1	花巻市糠塚 ^{x)}	転炉スラグ処理 (2009年春処理) ^{w)}	303	3.6 ^c (96)	2011/9/30	1.7 ^b (45)
		転炉スラグ処理 (2010年春処理) ^{w)}	153	40.5 ^b (51)		2.1 ^b (30)
		無処理	150	83.3 ^a		3.0 ^a
2011-2	遠野市宮守町1	転炉スラグ処理	406	2.7 [*] (90)	2011/9/29	3.0 [*] (17)
		無処理	373	28.2		3.6
2011-3	遠野市宮守町2	転炉スラグ処理	406	1.7 [*] (95)	2011/9/29	2.3 (16)
		無処理	285	36.8		2.7
2011-4	遠野市宮守町3	転炉スラグ処理	620	4.0 [*] (81)	2011/9/29	1.3 [*] (41)
		無処理	267	21.7		2.3

z) 防除価の算出法は、‘材料および方法’に示すとおり。

y) 根部発病指数の算出法は‘材料および方法’に示すとおり。

x) 花巻市糠塚圃場は、2009年から2011年まで同一圃場で試験を実施した。

w) 試験当年に転炉スラグは処理していない。

v) *はフィッシャーの正確確率検定の結果、5%水準で有意差があることを示す。

u) 同一英文字を付した数値間にはRyanの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

t) *はマン・ホイットニーのU検定の結果、5%水準で有意差があることを示す。

s) 同一英文字を付した数値間にはSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。



図64 転炉スラグを用いた土壌pH改良によるキュウリホモプシス根腐病の発病抑制効果
(遠野市宮守町3圃場, 2011年9月15日)

結 果

改良目標土壌 pH7.5, 土壌改良深 10cm として転炉スラグを処理したいずれの試験圃場においても, 処理区の処理当年における土壌 pH は 7.2~7.8 と改良目標土壌 pH に近い数値であった (表 39). 3 か年継続して試験を実施した花巻市糠塚圃場の 2009 年春処理区の土壌 pH は, 処理当年の 2009 年は 7.2, 2 年目の 2010 年は 7.3, 3 年目の 2011 年は 7.2 と 3 か年ほとんど変動しなかった. 同圃場の 2010 年春処理区の土壌 pH は, 処理当年の 2010 年は 7.8, 2011 は 7.6 と 2 か年ほとんど変動しなかった (表 39).

転炉スラグ処理区の萎凋株の発生は, いずれの試験事例においても無処理区に比較して少なく, 発病抑制効果が認められた (表 40, 図 64). 3 か年継続して試験を実施した花巻市糠塚圃場の 2009 年春処理区における萎凋株率の防除価を見ると, 処理当年の 2009 年は 100, 2010 年は 72, 2011 年は 96 と高い値で推移した. しかし, 同圃場の 2010 年春処理区における萎凋株率および防除価を見ると, 処理当年は萎凋株率 2.0%, 防除価 57

であり, 翌年 2011 年は無処理の萎凋株率が 83.3%と激発条件となったためか, 処理区でも萎凋株率 40.5%, 防除価 51 とやや低かった (表 40). 次に, 6 試験成績をメタアナリシスによって統合し, リスク比を求めて転炉スラグ処理の無処理に対する萎凋症状の抑制効果を検討した. 転炉スラグ処理からみた無処理に対する統合リスク比は 0.13 (95%信頼区間: 0.08 - 0.23)で誤差の範囲を含めて 1.0 未満であった (図 65). このことから, 転炉スラグ処理の萎凋株の発生は, 無処理に比べて有意に少なく, 無処理の萎凋株発生率の約 13%に抑制されることが示された.

転炉スラグ処理区の根の発病についてみると, 2009-1 や 2011-1, 2011-4 では, 根部発病指数が無処理よりも有意に低く, 防除価もそれぞれ 43, 45, 30, 41 と一定の効果が示された (表 40, 図 66). 一方で, 2010-1, 2011-3 の事例のように, 根部発病指数が無処理と同等で実用的な防除価が得られない場合も認められた (表 40, 図 67).

いずれの試験においても, 生理障害の発生や果実品質の低下は観察されなかった (データ省略).

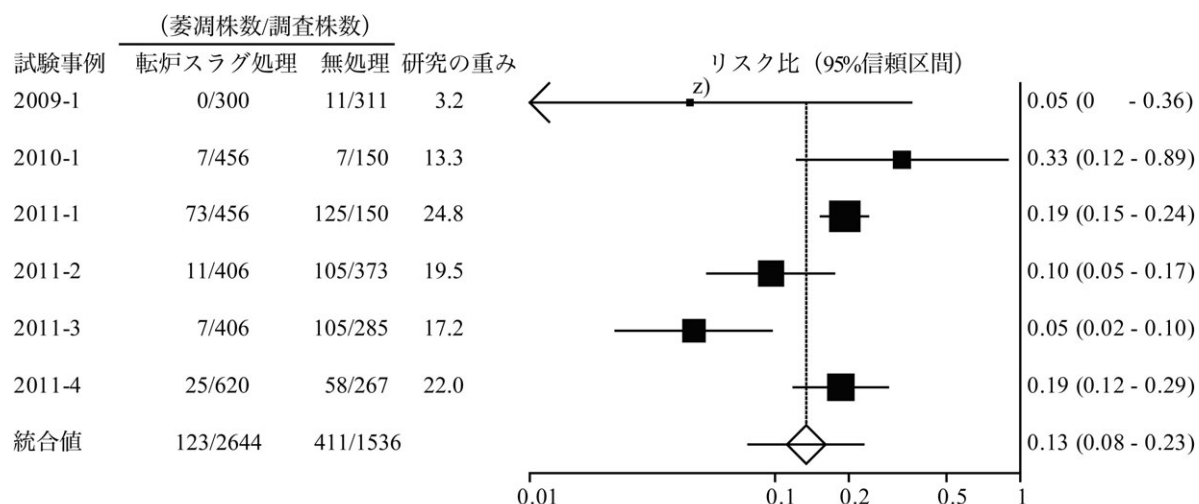


図65 転炉スラグ処理を用いた土壌pH改良によるキュウリホモブシス根腐病の萎凋株発生抑制効果

z) ■は転炉スラグ処理と無処理の萎凋株率の割合（リスク比）を、■の大きさは研究の重みを、各マーカーの両側の線は95%信頼区間を示す。
リスク比の値が1.0未満であればその値の分の比率だけ無処理に比べて萎凋株率が低いことを示す。一番下の◇は4試験の統合リスク比を示す。

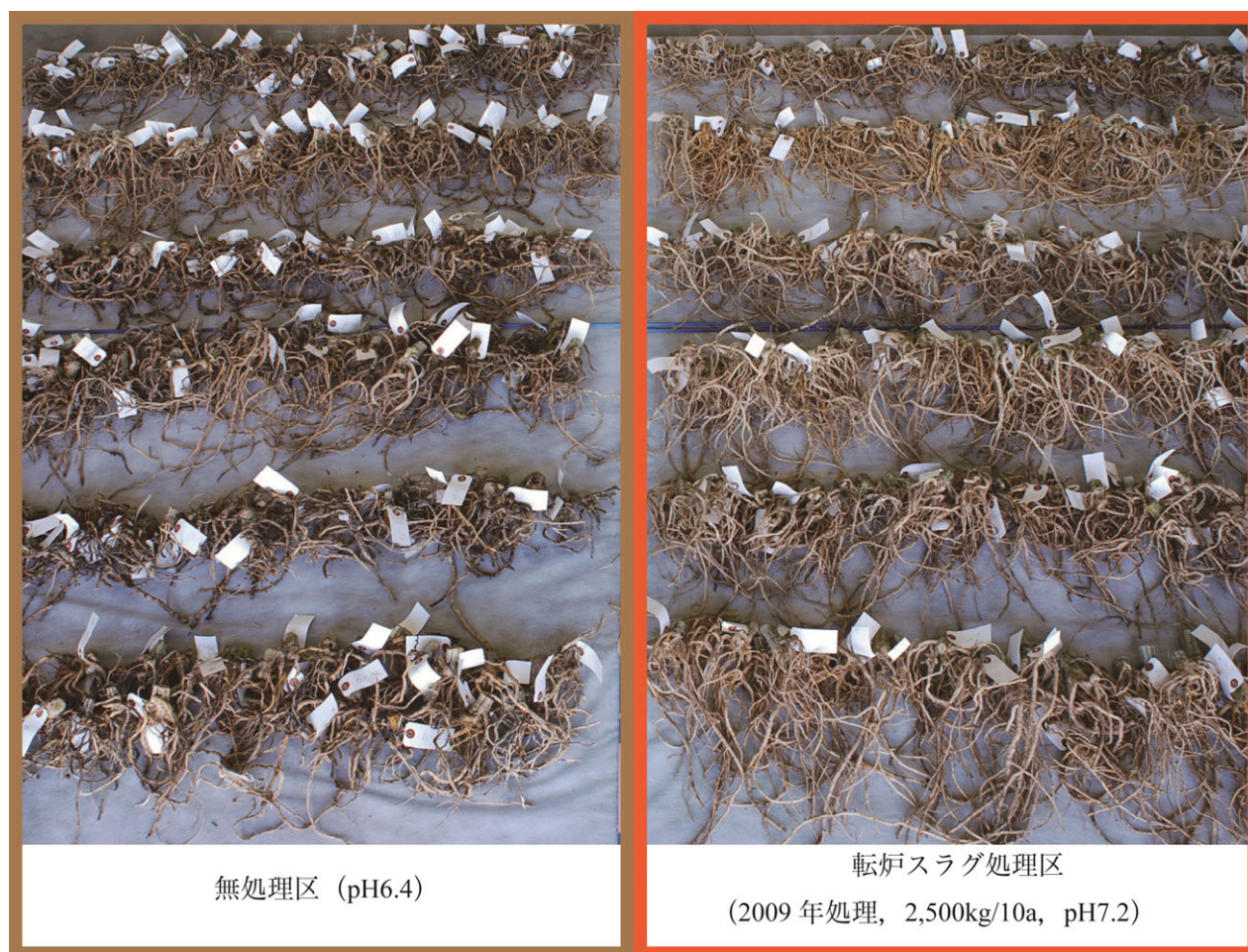


図66 転炉スラグ処理区において比較的高い根部の発病抑制効果が認められた事例 (花巻市糠塚圃場, 2009年10月19日)

考 察

転炉スラグを用いた土壌 pH 改良によるキュウリホモプシス根腐病の発病抑制効果を現地圃場で検討した。ここでは、目標土壌 pH7.5、土壌改良深 10 cm として転炉スラグを処理した。その結果、いずれの圃場においても本病の発病抑制効果が認められ、特に萎凋株の発生抑制効果は高かった（表 40、図 64、図 65）。しかし、無処理の萎凋株率が 83.3%にも達した 2011-1 の試験事例では、転炉スラグ処理区（2010 年春処理）でも、萎凋株率 40.5%と実用上不十分な防除効果のレベルであった。また、根部の発病抑制効果が低い試験事例が複数認められており、これらのことからすると、本技術による被害軽減効果は完全ではないと考えられた（表 40、図 67）。本技術は、萎凋株の発生抑制効果および根部の発病抑制効果も高いクロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理¹⁸⁾と比較すると効果の程度は低いと考えられるので、本技術の適用場面についてさらなる検討が必要である。また、今回は、目標土壌 pH7.5、土壌改良深 10 cm として転炉スラグを処理したが、本病被害回避に合理的な転炉スラ

グ処理量や改良深を明らかにするためには、本技術の発病抑制メカニズムの解明が必要と考えられた。これについては、第 5 章第 5 節で検討する。

その他、今回実施した 3 年間にわたる延べ 6 試験では、転炉スラグ処理区において生理障害の発生や果実品質の低下は観察されず、本技術の実用性は高いと考えられた。なお、本技術を適用した圃場におけるキュウリ生育や収量への検討は別途必要と考えられた。これについては、第 5 章第 4 節で検討する。

第 4 節 収量への影響

現地圃場における転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による本病の発病抑制効果は前節で示した。本技術は、キュウリ生育に最適な土壌 pH である pH5.5~7.2²⁾の上限をやや上回る土壌 pH7.5 を目標とした技術であることから、本技術を普及するためには、キュウリ生育、特に収量に与える影響を明らかにしておく必要がある。そこで、転炉スラグを用いた土壌改良（改良目標 pH7.5、改良深 10 cm）がキュウリ収量へ与える影響を検討した。

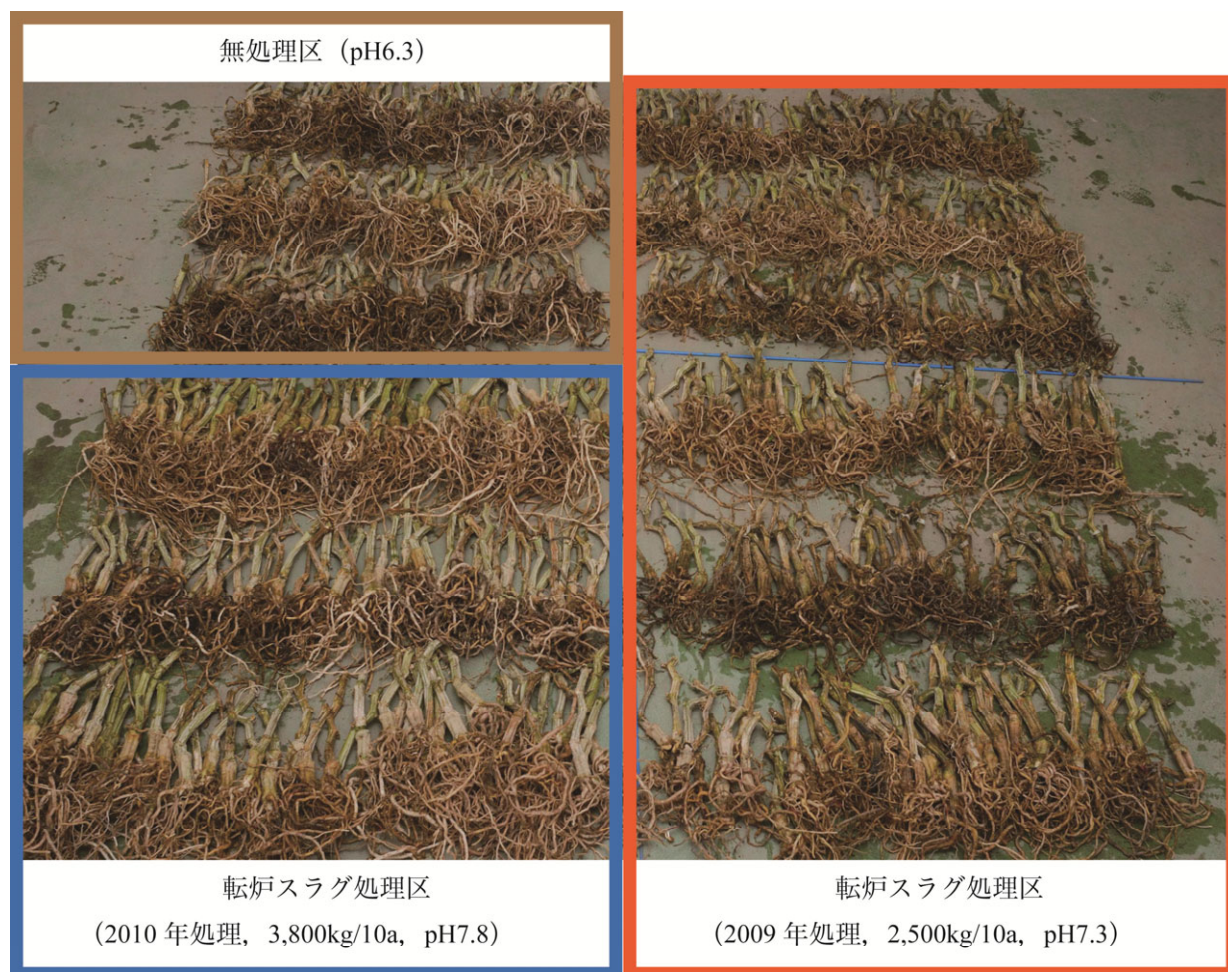


図67 転炉スラグ処理区において根部の発病抑制効果が得られなかった事例
(花巻市糠塚圃場, 2010年10月3日)

表41 試験区の概要

試験区	圃場への 転炉スラグ処理 ^{z)}	育苗培土への 転炉スラグ処理 ^{y)}	播種日	定植日	収穫開始	収穫終了
2010年						
無処理-転炉培土	×	○				
無処理-慣行培土	×	×				
転炉処理-転炉培土	○	○	4/21	5/27	6/28	9/12
転炉処理-慣行培土	○	×				
2011年						
無処理-転炉培土	×	○				
無処理-慣行培土	×	×				
転炉処理-転炉培土	○	○	5/6	6/6	7/4	9/22
転炉処理-慣行培土	○	×				

z) 転炉スラグ処理区の土壌pHは、2010年は7.2、2011年は7.6であり、無処理区の土壌pHは2010年は5.3、2011年は5.5であった。

y) 転炉スラグ処理区の育苗培土pHは7.5、無処理区は6.2であった。

材料および方法

試験は2010年および2011年にキュウリホモブシ根腐病が自然発病する岩手県農業研究センター所内（岩手県北上市）の露地夏秋キュウリ連作圃場において実施した。試験圃場および試験区は2か年とも同一とした。試験圃場の土壌分類は、典型普通多湿黒ボク土である。試験区は、圃場への転炉スラグ処理の有無、育苗培土（ソイルフレンド）への転炉スラグ処理の有無の組み合わせによる4試験区とした（表41）。圃場への転炉スラグ処理は、土壌緩衝能曲線⁴⁴⁾を作成したうえで、改良深10 cm、改良目標 pH7.5 とした場合に必要となる処理量（2010年：8,500 kg/10 a、2011年：2,000 kg/10 a）を手散布により散布し、ただちにロータリーで混和した。育苗培土への転炉スラグ処理についても、土壌緩衝能曲線を作成したうえで、改良目標 pH7.5 とした場合に必要となる育苗培土100 gあたり3 gとし、よく混和して試験に供試した。育苗培土への転炉スラグ処理区（転炉培土区）では、播種床、接ぎ木床、鉢上げポットの育苗培土はいずれも転炉スラグ処理培土を用いた。慣行培土区は、播種床、接ぎ木床、鉢上げポットの育苗培土はいずれもソイルフレンドを用いた。圃場および育苗培土ともに転炉スラグ処理2週間後に土壌pHを第5章第1節と同様の方法で測定した。2か年ともに1区9株の3連制とし、供試穂木品種は‘夏ばやし’、台木カボチャ品種は‘パワーZ2’とした。栽植密度は畦幅175 cm、株間60 cmとし、

10 aあたり施肥量は、窒素25 kg、リン酸22 kg、カリウム17 kgとし、140日タイプロング肥料（ロング野菜4号）を施用した。その他の試験区の概要は表41に示した。

栽培期間を通じて各区全株のキュウリ果実収量（出荷規格のA品およびB品）を調査した。生理障害の発生は随時観察した。

結 果

圃場への転炉スラグ処理の結果、2010年の転炉処理区の土壌pHは7.2、2011年は7.6であった。無処理区の土壌pHは2010年は5.3、2011年は5.5であった（表41）。育苗培土であるソイルフレンドへの転炉スラグ処理の結果、転炉培土区の育苗培土pHは7.5、無処理区は6.2であった。

商品化収量についてみると、2か年ともに圃場への転炉スラグ処理区である‘転炉処理-転炉培土’および‘転炉処理-慣行培土’は、現地慣行である‘無処理-慣行培土’に比較して収量が多い傾向であった（図68）。一方、育苗培土への転炉スラグ処理区についてみると、最終的な商品化収量への影響は判然としなかった（図68）。しかし、いずれの試験区も栽培期間中を通して生理障害の発生は確認されなかった。いずれの試験区も萎凋株の発生は認められなかった。

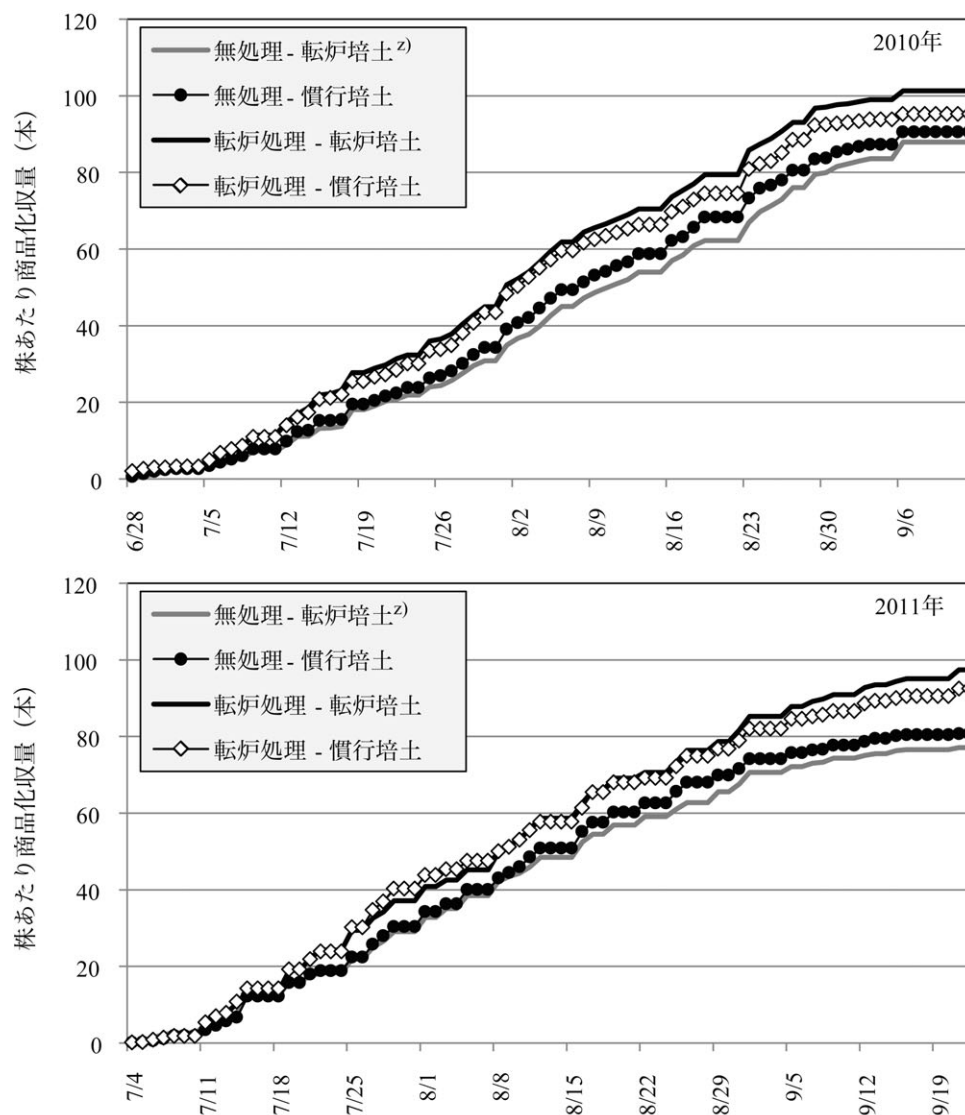


図68 各試験区における商品化収量の推移(上：2010年，下：2011年)

z) 試験区の概要は表41を参照のこと。

考 察

転炉スラグを用いた土壌 pH 改良によるキュウリホモプシス根腐病の発病抑制手法（第5章第3節）を実用技術として普及する場合、本技術がキュウリ生育や収量に影響を及ぼさないことを確認しておく必要があった。そこで、本技術がキュウリ収量に与える影響について検討した結果、圃場への転炉スラグ処理区である‘転炉処理-転炉培土’および‘転炉処理-慣行培土’は、栽培期間を通して商品化収量が多く、慣行である‘無処理-慣行培土’と比較しても収量や品質面での負の影響がないことが示された（図 68）。また、育苗培土への転炉スラグ処理も、慣行培土で育苗した苗とほぼ同等の商品化収量であり、

実用上問題は無いと考えられた（図 68）。キュウリは、生育の好適 pH が 5.5～7.2 程度とされており²⁾、石灰を豊富に含む土壌 pH 改良効果を持つ転炉スラグの処理により生育は促進されと考えられる。このことから、本技術のように好適 pH の上限をやや上回る pH7.5 を目標とした場合においても、マグネシウム欠乏症等の生理障害の発生（第5章第1節、第5章第2節）を制御できれば、キュウリ生育や収量への負の影響はほとんど無いと考えられた。なお、本試験での転炉培土区では、第5章第1節の検討で確認された根の褐色化症状を呈する苗を使用した。すでに示した結果からも明らかであるが、育苗培土への転炉スラグ混和によって生じる根の褐色化は圃場での生育や収量への影響はほとんど無かった。

第5節 発病抑制メカニズムの検討

前節において、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良のキュウリホモブシ根腐病の発病抑制効果を現地圃場で確認し、本技術は実用性の高い防除対策と考えられた。しかしながら、転炉スラグ処理により、本病の被害回避が可能となるメカニズムは明らかでない。アブラナ科野菜根こぶ病の事例では、土壌 pH の上昇によって発病を抑制するとされる^{43), 45)}。一方、杉本⁷⁴⁾は、ダイズ茎疫病に対するカルシウムの発病低減効果を見出し、その効果は、植物体中のカルシウム含有量の上昇による細胞壁の強化など、ダイズ自体の抵抗性が増強された結果と考察している。その他にもカルシウムが植物病害の抑制に効果があるとする知見は数多く知られている⁶³⁾。転炉スラグは、製鉄所の製鋼過程で副成される鉱滓で、ケイ酸カルシウムを主成分として、その他の微量元素も含有している⁹⁾。これらのことから、本病対策として圃場への転炉スラグ投入量や改良深を合理的に決定するためには、本技術の発病抑制メカニズムの解明が必要と考えられた。ここでは、転炉スラグ中に多量に含まれるカルシウム成分および土壌 pH の変化と本病発生の関係について検討した。

材料および方法

試験は、人工気象室内で実施した。供試キュウリ品種は、‘夏ばやし’とした。人工汚染土壌は、キュウリホモブシ根腐病菌（岩手県農業研究センター保存 IPS77 株）をフスマ・土壌培地（フスマ：土壌を 1:4 の容積比で混合し、121℃、20 分間オートクレーブ滅菌処理）で 25℃、3 週間培養した接種源を園芸培土（ソイルフレンド）と 1:4 の容積比で混合して作成した。供試資材は、炭酸カルシウム（和光純薬工業株式会社、試薬特級 CaCO_3 99.5%）、硫酸カルシウム（W.A. HAMMOND DRIERITE CO. LTD., DRIERITE; CaSO_4 100%）、転炉スラグ（てんろ石灰； CaO として 41.4%）とした。硫酸カルシウムは、乳鉢ですり潰して粉状にしたものを用いた。人工汚染土壌 1 kg あたりに各供試資材を Ca 含量として 7.5g もしくは 15 g 処理し、よく混和したのち 12 cm ポリポットに充填した。ポリポットに灌水後、播種 17 日目（試験 1）もしくは播種 22 日目（試験 2）のキュウリ自根苗を移植し、人工気象室（小糸製作所、KG50HLA）内に静置した。人工気象室内の環境条件は、温度 25℃、明期 16 時間、暗期 8 時間、湿度 70%とした。試験は 1 区 6 株とし 2 度実施した。

移植 35 日後（試験 1）もしくは移植 33 日後（試験 2）に、草丈および下記の指数別に地上部の発病指数を調査し、平均発病指数を算出した。

地上部発病指数 0:生育に影響無し 1:生育抑制
2:1-2 葉が萎凋 3:全身萎凋
4:全身萎凋・地際が水浸状

土壌 pH は、移植 36 日後（試験 1）もしくは移植 22 日後（試験 2）に第 5 章第 1 節と同様の方法で測定した。地上部発病指数の統計処理は、Kruskal-Wallis 検定の後に Steel-Dwass 法を用いた。草丈については Tukey-Kramer の HSD 検定を用いた。

結 果

各試験区の土壌 pH は、炭酸カルシウム区、転炉スラグ区では無処理（pH6.38）に比べて高く、硫酸カルシウム区では処理量に関わらずほぼ同様であった（表 42、表 43）。

地上部発病指数についてみると、試験 1 および試験 2 ともに炭酸カルシウム処理区、転炉スラグ処理区は、無処理区に比較して地上部発病指数が低かったが、硫酸カルシウム処理区では無処理と同等に高かった（表 42、表 43、図 69、図 70）。

草丈についても、試験 1 および試験 2 ともに炭酸カルシウム処理区、転炉スラグ処理区は、無処理区に比較して高く、硫酸カルシウム処理区では無処理とほぼ同等であった。なお、試験 2 の転炉スラグ 15 g 処理区では、早期萎凋株が 1 株みられたため、同 7.5g 処理区に比べて平均草丈がやや低かった（表 43）。

考 察

カルシウム施用による植物病害の発病低減事例は数多く報告されており、その作用としては 1)病原菌への直接的な作用、2)土壌の高 pH 化による発病抑制、3)植物体中の Ca 含量増加に起因、4) カルシウム処理による病害抵抗性の活性化などが知られている⁷⁴⁾。

本試験の結果を見ると、炭酸カルシウム処理および転炉スラグ処理では育苗培土中の pH が上昇し、草丈および地上部発病指数が硫酸カルシウム処理区、無処理区よりも優れる傾向であった（表 42、表 43、図 69、図 70）。炭酸カルシウム区や転炉スラグ区と同等の Ca 投下成分量とした硫酸カルシウム処理区では、全く発病抑制効果が認められなかった。これらのことから、転炉スラグ処

理による発病抑制メカニズムは、土壌 pH の上昇に起因するものと推定された。ただし、転炉スラグ中にはカルシウムのほかにもホウ素、マンガン、リン酸、マグネシウム等の要素も含まれているため、これらについても今後検討する必要がある。なお、本試験では、土壌 pH を上昇させる炭酸カルシウムや転炉スラグ区で発病が少ないなど、一定の傾向は認められたものの有意な結果がほとんど得られなかった。これは、人工気象室内での試験

のため、試験株数の制約があったことや、試験 2 の転炉スラグ 15g/kg 処理区のように早期萎凋株の発生など、発病のばらつきがあったためと考えられる。

本研究に用いた資材の溶解度をみると、炭酸カルシウム (CaCO_3) では $1.4 \text{ mg } 100 \text{ ml}^{-1}$ ($25^\circ\text{C} \cdot \text{水}$)、硫酸カルシウム (CaSO_4) では $208 \text{ mg } 100 \text{ ml}^{-1}$ ($25^\circ\text{C} \cdot \text{水}$) と、硫酸カルシウムの方が明らかに水溶液に溶けやすい性質であった^{33), 64)}。よって、硫酸カルシウム処理区では、

表42 各種カルシウム資材の施用による発病抑制効果 (試験1)

供試資材	Ca成分	Caとしての処理量 (kgあたり)	pH ^{z)}	調査株数	草丈 (cm)		地上部発病指数 ^{y)}
炭酸カルシウム	CaCO_3	7.5g	7.76	6	26.7 ± 5.3	b ^{x)}	0.8 a ^{w)}
〃		15g	7.97	6	29.2 ± 2.1	b	1 a
硫酸カルシウム	CaSO_4	7.5g	6.47	6	18.0 ± 4.8	a	2.7 a
〃		15g	6.26	6	18.5 ± 4.5	a	2.5 a
転炉スラグ	CaO	7.5g	7.06	6	28.3 ± 4.2	b	0.3 a
〃		15g	7.78	6	29.7 ± 2.9	b	0.3 a
無処理		-	6.38	6	14.2 ± 3.3	a	2.5 a

z) 移植 36日後に測定した。

y) 地上部発病指数 0:生育に影響なし 1:生育抑制 2:1-2葉が萎凋 3:全身萎凋 4:全身萎凋・地際が水浸状

x) 同一英文字を付した記号間には、Tukey-KramerのHSD検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

w) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

表43 各種カルシウム資材の施用による発病抑制効果 (試験2)

供試資材	Ca成分	Caとしての処理量 (kgあたり)	pH ^{z)}	調査株数	草丈 (cm)		地上部発病指数 ^{y)}
炭酸カルシウム	CaCO_3	7.5g	7.03	6	28.7 ± 3.6	bc ^{x)}	0.7 a ^{w)}
〃		15g	7.38	6	31.3 ± 5.3	c	0 b
硫酸カルシウム	CaSO_4	7.5g	6.42	6	20.0 ± 6.1	ab	2.5 a
〃		15g	6.51	6	19.7 ± 5.2	ab	3.5 a
転炉スラグ	CaO	7.5g	7.43	6	28.5 ± 2.8	bc	0.5 a
〃		15g	8.19	6	23.7 ± 4.9	abc	0.7 a
無処理		-	6.38	6	17.0 ± 3.9	a	3.7 a

z) 移植 22日後に測定した。

y) 地上部発病指数の調査方法は、「材料と方法」に示す通り。

x) 同一英文字を付した記号間には、Tukey-KramerのHSD検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

w) 同一英文字を付した数値間にはKruskal-Wallis検定およびSteel-Dwassの多重比較検定の結果、5%水準で有意差がないことを示す。

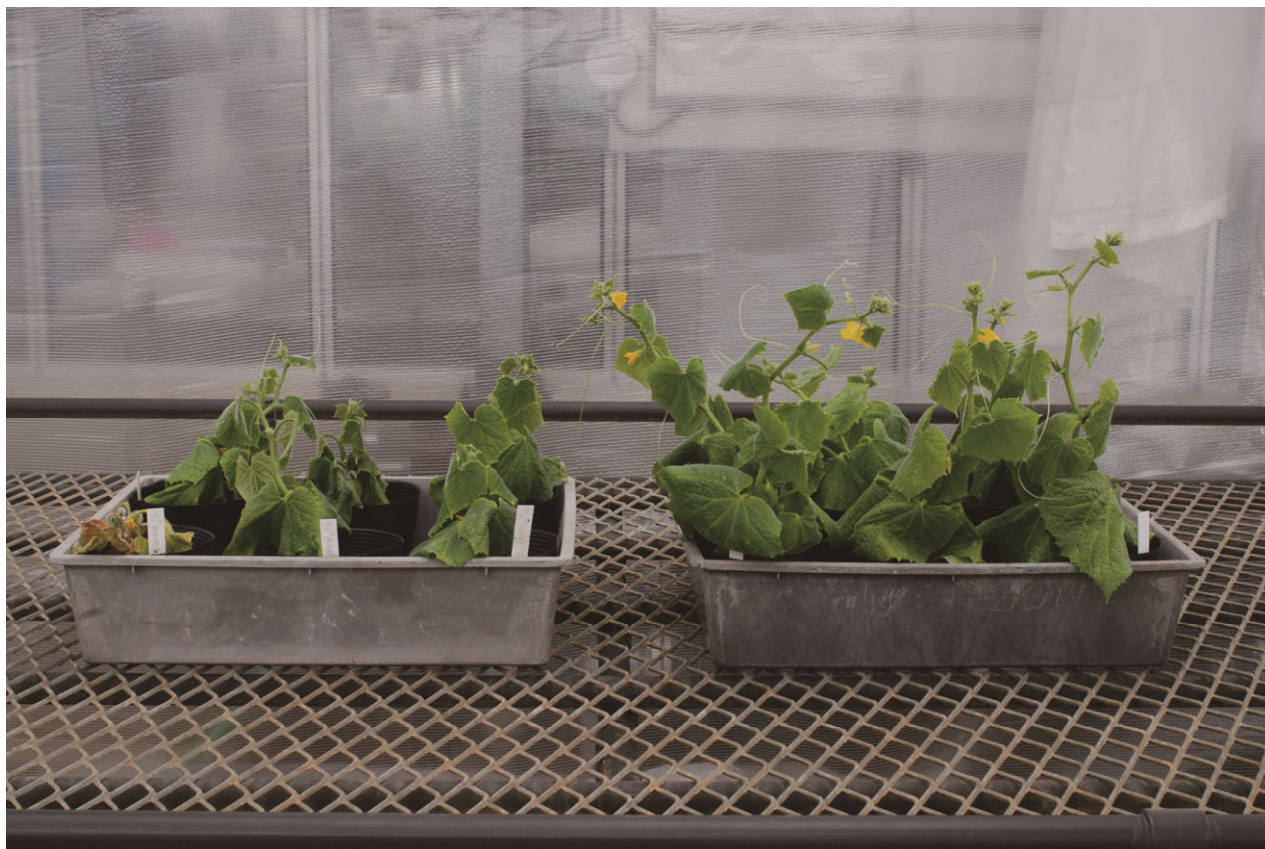


図69 転炉スラグ処理による発病抑制効果
左：無処理 右：転炉スラグ処理：Caとして7.5g/1kg（試験1）

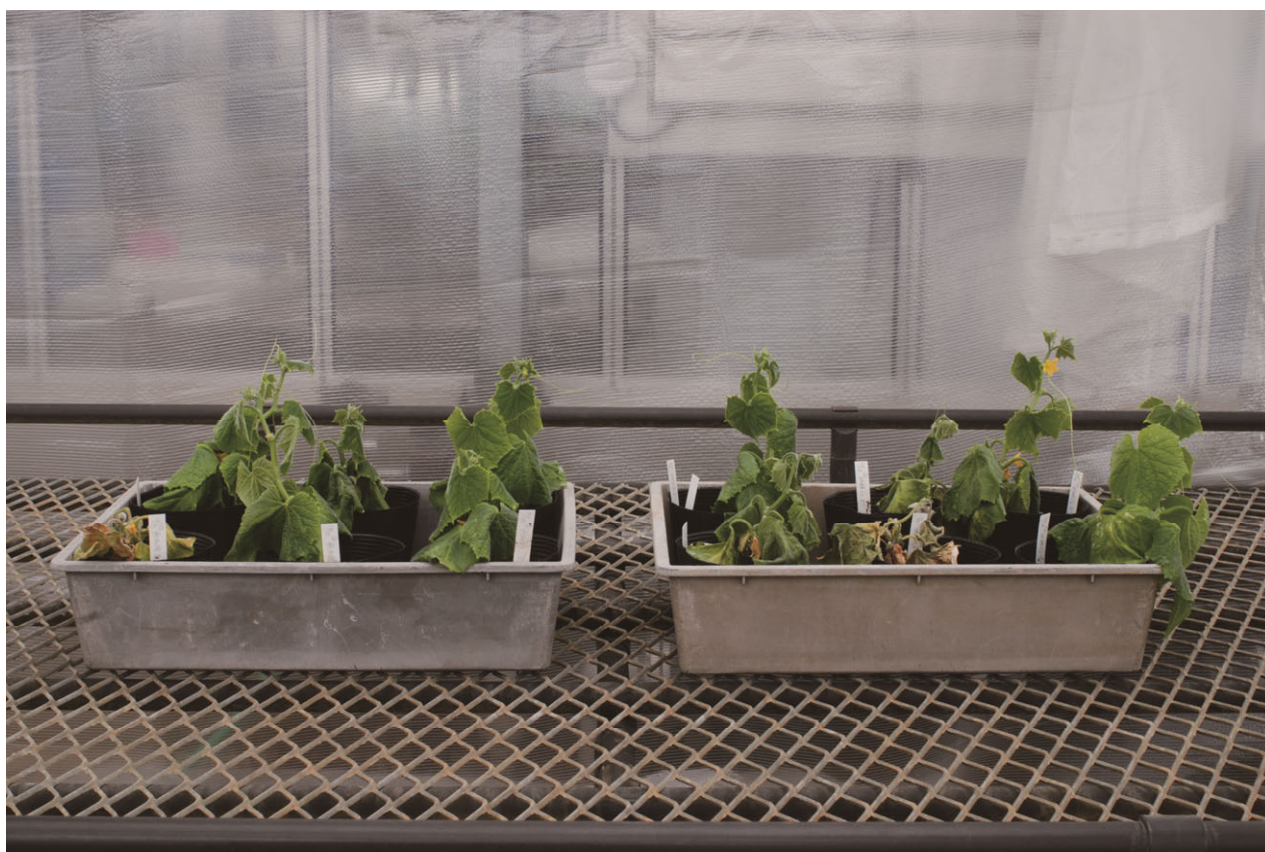


図70 発病抑制効果の認められなかった硫酸カルシウム処理
左：無処理 右：硫酸カルシウム処理：Caとして7.5g/1kg（試験1）

炭酸カルシウム処理区に比較して主成分の溶出が比較的早かったと推定されるにも関わらず発病抑制効果が得られなかった。本研究では作物体中のカルシウム含量を調査していないが、これらのことからすると、pH 上昇効果を伴わないカルシウム資材の施用では、本病の発生を抑制できないと推察された。

第6章 総合考察

キュウリホモブシス根腐病は、ウリ科作物に急性萎凋症状を引き起こす土壌伝染病であり、岩手県では2002年に露地夏秋キュウリで初めて発生が確認された²⁴⁾。国内では、1983年に埼玉県においての本病が初確認されたが¹¹⁾、その後キュウリ、メロン、スイカ、カボチャ産地での被害報告が相次ぎ^{1), 46)}、2012年現在は16県で発生が確認されている。特に、2000年代には東北地方での発生報告が相次ぎ、現在は青森県を除く東北5県で本病が問題となっている⁴⁶⁾。県内において本病がどのようにして発生したのかは不明であるが、汚染した土壌の持ち込みによると考えるのが妥当と考えられる。その後、県南部を中心に県北部を除いて、全域に拡大している。本県の本病による急性萎凋被害は、長期連作圃場だけでなく、新規作付圃場や作付5年以内の栽培歴の浅い圃場でも確認された。現地農家における実際の圃場作業を観察した結果から、汚染土壌のトラクタへの付着や育苗培土中への混入など、人為的要因が本病の伝搬に関与し、急速な県内での拡大をもたらしたものと考えられた。これらのことから本病の発生地域のさらなる拡大を防止するためにも、汚染土壌の持ち出しや移入について注意喚起が必要である。県内のJAや農業改良普及センター職員にもこの意識は浸透しつつあり、これまではほとんど実施されていなかった、圃場巡回や先進地研修の際に靴カバーを装着するなど、末端の対策が定着しつつある。汚染土壌を持ち出さない、持ち込まないための啓発活動は今後も重要な課題と考えられる。

キュウリにおける本病の特徴は、収穫開始期前後に発生する急性萎凋症状であるが、キュウリでは類似の急性萎凋症状を引き起こす様々な要因が知られていることから^{29), 56)}、現地での診断は当初は困難であった。そこで、本県の露地夏秋キュウリにおける本病の詳細な発生実態を明らかにするため、発生が見られたすべての急性萎凋症状のうち、本病と本病以外によるものについても解析して取りまとめた。本病による急性萎凋症状は、露地夏秋キュウリの場合、定植30日以降の収穫開始期前後か

ら発生し、根部に形成される疑似微小菌核

(*Pseudomicrosclerotia*) および偽子座 (*Pseudostromata*) が最も特徴的な病徴である。なお、萎凋症状の発生は、曇雨天後の晴天など、宿主の水分ストレスが急に高くなる条件下で確認される事例が多かった。疑似微小菌核や偽子座は、萎凋症状の発生初期には確認困難な場合が多いが、病勢の進展に伴い必ず観察可能となる。圃場での診断の際は、5月下旬～6月上旬定植の露地夏秋キュウリの場合、8月中旬以降の時期であれば、丁寧に拔根・洗浄して観察することによって本病であるか否か確認できる。

県内の露地夏秋キュウリで確認されたホモブシス根腐病以外の急性萎凋症状の要因は、(1) キュウリ株の根群形成不良に起因するもの、(2) 栽培・肥培管理に起因するもの、(3) 病害虫によるものに分類された。このうち、病害虫によるものについては、キュウリモザイクウイルスとズッキーニ黄斑モザイクウイルスの重複感染^{21), 23)}、つる枯病、つる割病、疫病、ネコブセンチュウ害、黒点根腐病があるが、ホモブシス根腐病では根部に特徴的な疑似微小菌核や偽子座の形成が確認されることから、識別は可能と考えられた。特に、キュウリ黒点根腐病は、本研究において国内初確認された病害である¹⁷⁾。黒点根腐病は、地上部の萎凋と根部に子のう殻を形成する症状が特徴であり、病原菌は *Monosporascus cannonballus* であることを確認した。これまでのところ、キュウリでは黒点根腐病の発生は自根栽培のみであるため、カボチャ台木の使用が一般的であるキュウリ栽培では⁵⁵⁾、現地で問題となることはないと考えられる。

キュウリホモブシス根腐病の圃場転換以外の有効な防除法としては、本研究において有効性を確認したクロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内消毒があげられる。しかし、本病被害発生圃場における土壌消毒の実施割合は約40% (2007年から2011年の平均) であり、本病の被害をうけた圃場の約60%では、何ら防除対策がとられないままキュウリ栽培が継続されている実態が明らかとなった。このことから、農家に対する土壌消毒の啓発や、安全技術の普及も重要な課題と考えられた。加えて、圃場転換やクロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理¹⁸⁾以外にも防除対策の選択肢が必要とされていると考えられた。

本研究によると、キュウリホモブシス根腐病菌の生育適温は20℃～25℃ (最低限界温度10℃, 最高限界温度30℃) であり、これまでの報告とほぼ一致した。本病菌の死滅温度も40℃で2～4日間、37.5℃で4～5日間、

35℃で5～7日間であり、これまでの報告とほぼ一致した。本病菌は耐熱性が弱く、比較的低温の栽培地で被害が助長される可能性が高いと考えられる。これらのことから、東北地方の露地夏秋キュウリは本病の発生に好適な条件となるため、2000年代以降に東北各地で被害が問題となり⁴⁶⁾、記録的冷害年となった2003年は、岩手県および福島県の2県で被害額が約10億円⁴⁶⁾となった。一方で、記録的な夏季高温年となった2010年は、岩手県内における本病の被害報告は少なかったなどの理由が裏づけられた。東北地方の露地夏秋キュウリの場合、今後も夏季高温年よりも夏季低温年に被害が大きくなるものと予想され、警戒を要すると考えられた。

次に、本病菌の培養時の菌糸生育に及ぼすpH条件について検討したところ、至適pHは4～5付近と考えられ、pH6以上では菌糸生育は抑制された。大島ら⁶¹⁾は、土壌の硝酸態窒素過剰に伴う低pH化とリン酸過剰が本病の発病を促進すると考察している。今回の結果も大島ら⁶¹⁾の報告とよく一致し、土壌pHの低下によって発病が助長される可能性が示された。このことは、本病対策の一つとして、キュウリ圃場の土壌pHの改良があることを示している。

本病の発生と土壌水分について、矢野⁶⁶⁾は、土壌水分のばらつき（最高値と最低値の差）が大きい処理区ほどメロンホモブシス根腐病の発生が多いとし、橋本・吉野¹¹⁾は、乾燥ぎみの土壌条件では早期から重症となる傾向となったと報告している。本研究では、土壌水分と萎凋株率、根部発病ともに差は見られなかったが、乾燥条件では明らかにキュウリの生育が劣った。このことから、地上部の萎凋症状および根部の発病そのものには、土壌水分による影響はほとんど無いと考えられるが、土壌が乾燥した条件では、キュウリの生育が抑制されて、外観上は萎れの発生程度が大きくと考えられた。

本病の発生と病原菌密度の関係については、汚染土壌混入割合0.01%(w/w)と、極めて低密度の汚染土壌の混入でも感染・発病が起こり、本病発生の閾値は低いことが示された。この結果は、1 cfu/gと極めて低い伝染源密度で発病し得ること、および1 cfu/gから10³ cfu/gの菌密度においては菌密度依存的に発病が増加するとされる村上らの報告とも一致した⁴¹⁾。さらにこのことは、本県において作付歴が5年未満と浅い圃場においても本病の発生が確認される現象とよく一致しており、発病の閾値が低い本病の発生を未然に防ぐためには、病原菌を拡散させないための対策も重要と考えられた。この対策としては、まずは当該圃場が本病菌に汚染されているか

否かを知ることが重要となる。岩手県では、農業改良普及センターが主体となり、収穫終了後のキュウリ根部を診断する残渣検診が実施されており、発生地域の拡大が監視できる体制が整っている。秋田県では、土壌中から本病菌を検出可能なPCR法¹⁵⁾によって県内各地のウリ科産地における圃場診断が試行的に行われている。本病による被害拡大を防止するうえでは、上記のように広域的・組織的な警戒態勢を整え、侵入阻止の努力を続けていくことが重要と考えられる。

本研究では、土壌深度30～40cmまでのすべての層位において病原菌が存在することが示された。同様の報告は小林によってもなされている³²⁾。一方、永坂⁴⁷⁾は、土壌の殺菌深度と本病の発病についてモデル試験により検討し、根端部に本病の感染が生じ、吸水・吸肥能力が損失しても、殺菌土壌層での根量増加によって補償される可能性を指摘している。このことに加え、キュウリの根系は概して浅いとされることから²⁾、本病の防除目的で土壌消毒を行う場合には、当面は土壌表面から深度30cm程度までの比較的浅い層位をいかに確実に消毒できるかが重要と推定された。

本病は、根部に形成される偽子座や疑似微小菌核が次作への伝染源となると考えられている⁶⁶⁾。そこで、本研究では伝染源と考えられた根部罹病残渣の病原性維持条件を検討した結果、約5ヶ月間乾燥状態を維持した場合に病原性を失ったが、湿度を維持した条件では病原性を失わないことが確認された。このことから、根部に形成される偽子座や疑似微小菌核は、乾燥状態に弱いという弱点があることが推定された。耕種的防除手段として作付終了後、根を掘り上げて破棄するかあるいは、乾燥させることなどにより伝染源密度を下げることも重要と考えられた。なお、土壌伝染病対策としての残根処理は、本病に限らずこれまでも指導されてきた。しかしながら、収穫終了後に抜根し、適切に処分した場合に次作の伝染源量をどれだけ減少させられるのか、抜根した場合としない場合で次作の発病に差はあるのか、といった根本的な問いかけに回答できるような研究事例は少ない。本病に関しては、残根の圃場外への廃棄あるいは乾燥状態におくことは、病原菌の生態からみても有効と考えられるが、このことを実際に試験成績として示すことも現場指導場面では重要である。近年、本病菌の土壌中の菌密度を定量可能な遺伝子解析手法^{15)、69)、71)}が相次いで開発されていることから、これらの手法を活用して、残根処理の有効性を評価することも必要であろう。

ウリ科野菜のホモブシス根腐病の防除については、関

東以南の施設栽培では、促成作型と抑制作型の合間である夏期の太陽熱消毒と土壤消毒剤の併用が有効とされている³²⁾。しかし、東北地方のキュウリ産地では、関東以南の産地からの出荷量が減少する夏期に出荷ピークを迎える露地夏秋キュウリが主力となっているため、太陽熱消毒を主体とした防除法は適用できない。そこで、上記に替わる防除手法として、抵抗性台木と土壤消毒剤による本病防除法について検討した。

本病抵抗性台木に関する過去の知見では、クロダネカボチャが一定の抵抗性を有し^{11), 13)}、一部スイカ用台木カボチャで有望なものも報告されているが³⁴⁾、いずれも自根での発病による評価であった。キュウリでは接ぎ木栽培が基本となっているため、供試品種とキュウリと実際に接ぎ木したうえで評価する必要がある。本研究において、キュウリ品種と接ぎ木して抵抗性を評価した結果、クロダネカボチャやトウガンは本病抵抗性が強く本病の被害軽減に有望であることが明らかとなった⁹⁰⁾。しかし、これらの台木の本病抵抗性は完全ではないことから、他の防除手法との併用が必要と考えられた。

そこで、土壤消毒剤による本病防除法を検討した結果、得られた研究成果のうち本病防除技術を構築するうえで特に重要な知見は次のとおりである。

- (1) クロルピクリンくん蒸剤の防除効果が高いこと。
- (2) クロルピクリンくん蒸剤の処理方法はマルチ畦内処理が有効であること。
- (3) マルチ畦内処理では、消毒畦幅を広げるか、高畦・裾埋め込み等の簡易根域制限手法との組み合わせが効果的であること。
- (4) マルチ畦内処理において防除効果を安定させるためには、キュウリ苗の定植位置は出来るだけ畦中央部とすること。
- (5) クロルピクリンくん蒸剤の剤型とマルチ畦内処理の防除効果は、概ねクロピクフロー＝クロールピクリン≧クロルピクリン錠剤＞クロピクテープの順であること。一方で、いずれの剤型も実用上十分な防除効果が確認されること。
- (6) マルチ畦内処理と抵抗性台木クロダネカボチャの併用はより高い防除効果が期待できること。

今回得られた上記知見から、農家個々の使用可能な機材に応じてクロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理（以下、マルチ畦内処理）を実施する場合、図 71 のとおり防除法を選択できる。さらに、上記 (3)、(4) で示したとおり、本技術により安定的な防除効果を得るためには作畦方法やキュウリ苗の定植位置に注意を払うことが必

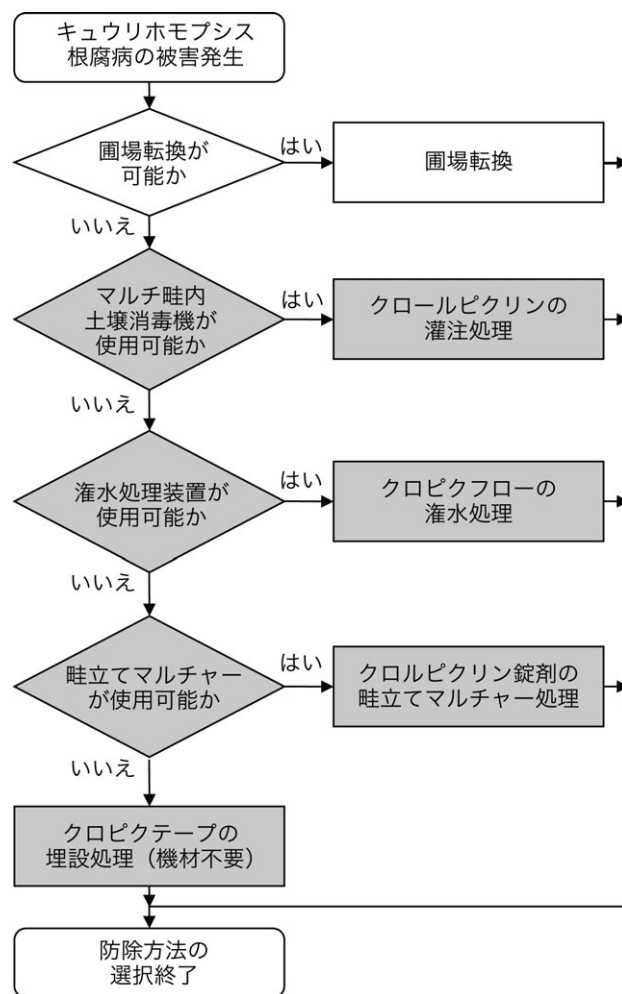


図71 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理における剤型選択のフローチャート

要である（図 72）。そのほか、(1) 定植時の間土に通路の土壌を使用した場合、(2) 定植後すぐにマルチの裾に培土をした場合、(3) 薬剤の処理量を守っていない場合（減量施用）、(4) クロピクテープ処理時に、テープの埋設深が 15 cm よりも浅すぎる、もしくは深すぎる場合は、マルチ畦内処理において十分な防除効果が発揮されないので注意する（データ省略）。また、現在のキュウリ栽培では、ブルームレス果実の生産が前提となっていることから、果実表面にブルームを生じるクロダネカボチャ台木とマルチ畦内処理の併用を広域的に活用するには、流通・販売面での課題が残されている。

本研究の一部試験成績をもとに、クロルピクリンくん蒸剤 99.5%液剤（商品名：クロールピクリン）、同 80%フロー剤（商品名：クロピクフロー）、同 70%錠剤（商品名：クロルピクリン錠剤）、同 55%テープ剤（商品名：クロピクテープ）はキュウリホモブシス根腐病の防除薬剤として新たに農薬登録（適用拡大）され、現在、上記クロルピクリンくん蒸剤の 4 剤型は本病防除に利用できる状況となっている。

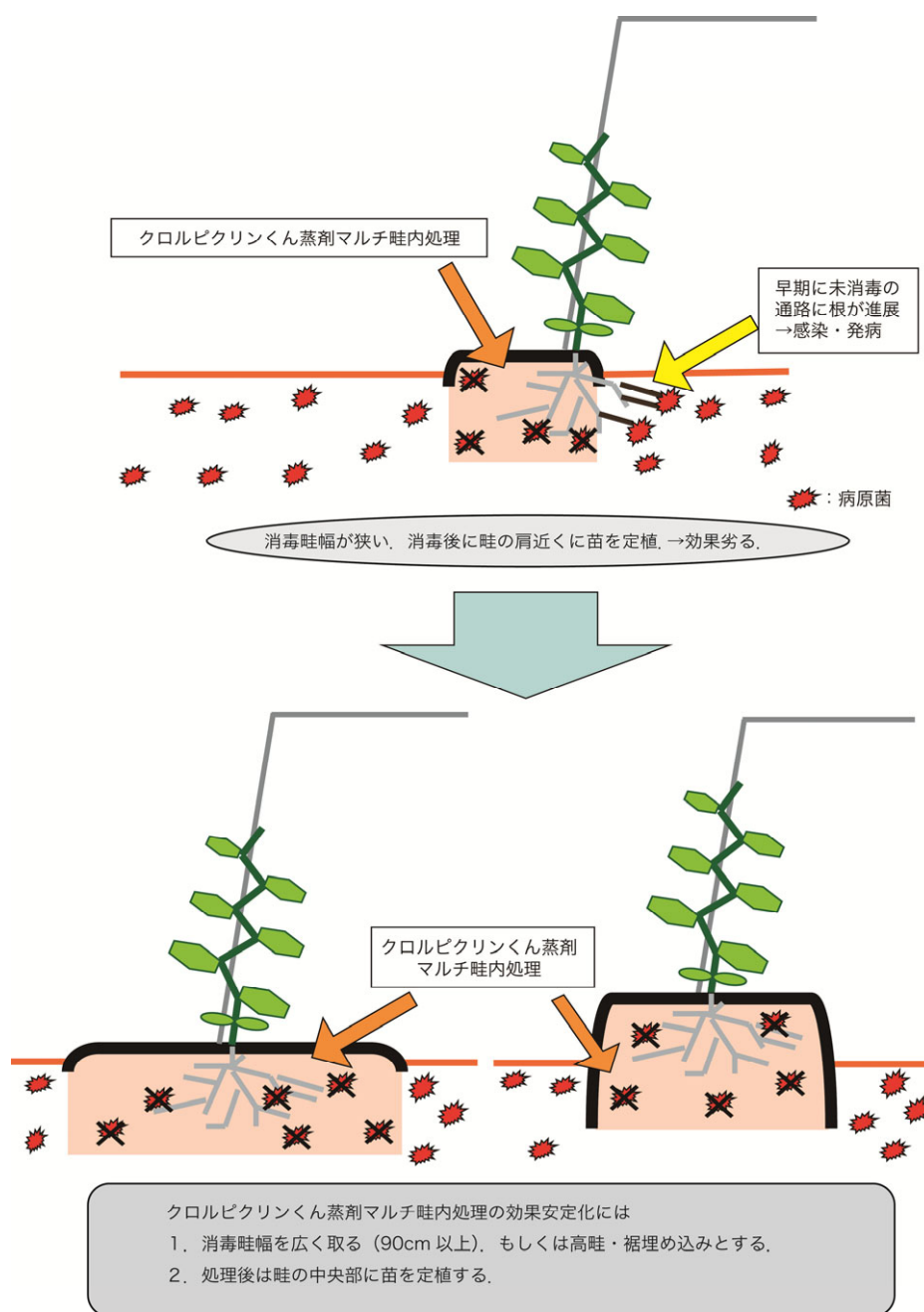


図 72 クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理の防除効果が期待できない事例（上）と改善例（下）の模式図

クロルピクリンくん蒸剤による深層土壌くん蒸処理は、マルチ畦内処理と比較して若干防除効果が劣る可能性があるものの、秋期に実施した場合でも次作での防除効果が得られることから、防除作業時期の分散化に活用可能な技術と考えられた。また、本法は薬剤処理後に土壌表面をポリエチレンフィルム等によって被覆する必要がないことから、労力軽減にも有効と思われた。しかしながら、本法を生産圃場で利用するためには、新たに農薬登録（適用拡大）を取得する必要がある。

キュウリホモブシス根腐病菌は、本研究での検討により培養時の至適 pH は 4～5 付近と考えられ、pH6 以上では菌糸生育は抑制されることが示された。大島⁵⁹⁾は、苦土石灰を用いて土壌 pH を調製して本病の発病を調査した結果、pH6.5～7.0 では発病度が低く、pH5.5 以下では著しく発病したと報告している。これらのことから土壌 pH の低下は本病の発病を助長する要因であり、逆にキュウリ圃場の土壌 pH を改良することは本病対策の一つとなる可能性が示された。そこで、微量要素を豊富に



図73 転炉スラグ (商品名: てんろ石灰)



図74 手散布による転炉スラグ処理



図75 ブロードキャスターによる転炉スラグ処理



図76 フロントローダによる転炉スラグ処理



図77 ライムソーワによる転炉スラグ処理

図78 転炉スラグ処理後の耕起
(改良深10cmの場合は浅耕とする)

含み、圃場に多量施用した場合でも微量要素欠乏が生じにくいとされる土壌酸性改良資材である転炉スラグ (商品名: てんろ石灰, 図73) を用いて土壌 pH を改良することで, 本病の被害軽減が可能かを検討した. 本技術の実用化を目指した一連の検討で得られた研究成果のうち, 本病の被害軽減技術を構築するうえで特に重要な知見は次のとおりである.

- (1) キュウリホモプシス根腐病発生圃場に転炉スラグを処理し, 土壌 pH を改良することで本病の被害を軽減できること.
- (2) 土壌 pH が 8 を越えると生理障害が発生しやすくなるので, 当面の目標土壌 pH は 7.5, 土壌改良深は 10 cm とすること.

- (3) 転炉スラグの投入量を決定する際は、圃場ごとに土壤緩衝能曲線⁴⁴⁾を作成する必要があること。
- (4) 事前に土壤分析を実施し、MgO 含量が 40 mg/100 g 以下の場合、マグネシウム欠乏症状の発生を抑制するために水酸化マグネシウム（目安 100 kg/10 a⁹⁾）も施用すること。
- (5) 本技術により実用的な防除効果が得られるのは、台木栽培のキュウリのみであり、自根栽培のキュウリでは十分な効果は期待できないこと。
- (6) 本技術による生育・収量や果実品質に対する負の影響は認められないこと。
- (7) 育苗培土への転炉スラグ処理では、育苗培土の種類によっては生理障害の発生するリスクがあるので、事前に育苗試験等で確認しておく必要があること。
- (8) 本技術は、病原菌を直接死滅させるものではなく、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理に比較すると発病抑制効果は劣るので、本病少発生圃場（前年の萎凋症状の発生が 10%未満が目安）での適用とすること。

また、これまでに実施してきた現地試験での経験等を踏まえ、実際の圃場で本技術を適用する場合の注意事項を述べると次のとおりである。土壤改良深は 15 cm や 20 cm としても問題ないが（岩館、未発表）、15 cm 改良では処理量が 1.5 倍、20 cm 改良では 2 倍になるので費用および散布労力の負担も大きくなる。転炉スラグは、手散布（図 74）、ブロードキャスター（図 75）、フロントローダ（図 76）、ライムソー（図 77）等により処理する。小規模圃場や転炉スラグ処理量が少量の場合は、手散布の効率が良い。大規模圃場ではライムソーが最も効率的に散布できる（概ね 5000 kg/10 a を 1 時間以内）。ブロードキャスターやフロントローダでの散布は、風により飛散しやすいので、風の影響の少ない早朝に作業速度を落として処理するなどの工夫が必要である。転炉スラグ散布後は一般的なロータリーにより耕起するが、処理深 10 cm とした場合、出来るだけ浅耕とする（図 78）。処理 2～3 週間後に土壤 pH を測定し、深度 0～10 cm の表層土壤が目標土壤 pH となっていることを確認する。目標土壤 pH に到達していない場合は、転炉スラグを追加処理する。土壤 pH が著しく低い場合や、土壤の緩衝能が大きく 1 回の転炉スラグ処理で土壤 pH の改良が困難な場合（土壤 pH 7.5 とするための転炉スラグ投入量が 8000 kg/10 a 以上必要な場合など）は、転炉スラグのほか、安価で即効性の土壤 pH 改良資材（炭酸カ

ルシウム、消石灰等）の処理との組み合わせによって 2 年程度かけて目標土壤 pH まで改良する。その際は、まずは土壤 pH 6.5 程度を改良目標として、クロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理を組み合わせることで本病の被害を回避する。以上の内容を取りまとめると、現地において本技術を導入する際の目安は図 79 に示すとおりである。

ここまでの検討において、本技術の暫定的な目標土壤 pH として 7.5、土壤改良深として 10 cm を提示した。しかし、本病の被害軽減に最適な目標土壤 pH（または転炉スラグ処理量）、土壤改良深を決定するためには、転炉スラグ処理による本病の発病抑制メカニズムを明らかにする必要がある。特に本病の発病抑制作用の主体が転炉スラグ中に多量に含まれるカルシウム分によるものなのか土壤の高 pH 化に起因するものかは、重要な課題であった。杉本⁷⁴⁾は、ダイズ茎疫病に対してカルシウム処理が有効であり、その効果は、植物体中のカルシウム含有量の上昇による細胞壁の強化と考察している。そのほかにもカルシウムが植物病害の抑制に効果があるとする知見は数多く知られている⁶³⁾。本研究において、

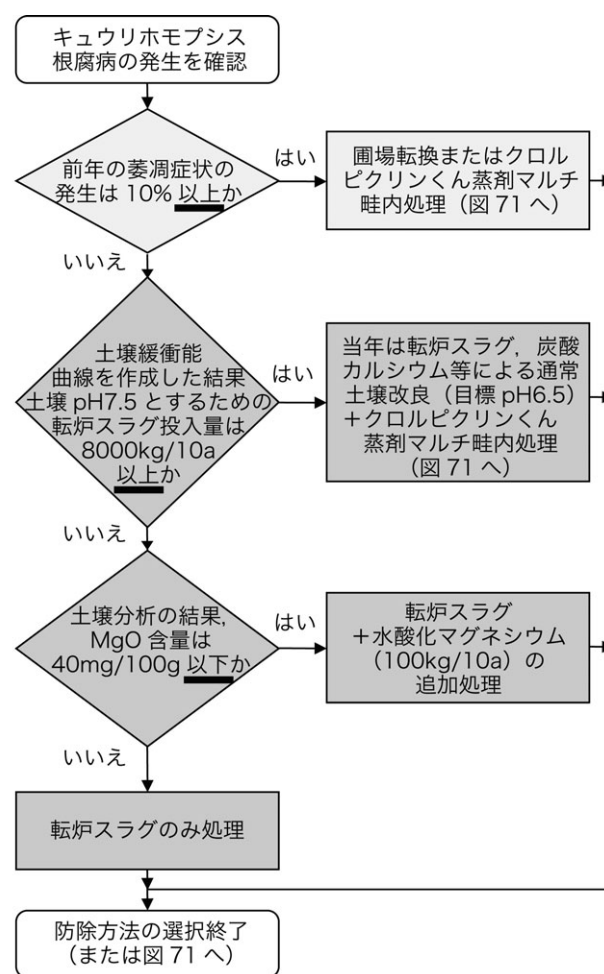


図 79 転炉スラグを用いた土壤 pH 改良による被害軽減技術選択のフローチャート

カルシウムの投下成分量を揃え、土壌 pH の上昇を伴わない硫酸カルシウムを施用した場合、その区でのみ発病軽減効果が得られず、一方で炭酸カルシウム施用区、転炉スラグ施用区では土壌 pH が上昇し、本病の発生を抑制した。以上のことから、本技術による発病抑制メカニズムは、カルシウムによる直接的な病原菌への作用⁸⁴⁾や、植物体中のカルシウム含量増加^{4), 6)}、カルシウム処理による病害抵抗性の活性化³¹⁾等が主体ではなく、土壌 pH の上昇^{43), 45)}に起因するものと推定された。これらのことからすると、本病の発病軽減のためには土壌 pH を上昇させることが重要と推定された。この場合、転炉スラグに限らず、既存の消石灰、炭酸カルシウム、苦土石灰等の資材が活用可能かは当然問いかけがあるところであろう。しかし、現地圃場試験において本病の発病抑制効果を確認している土壌 pH は 7.5 である。微量元素を含まない石灰資材の施用によって土壌 pH を 6.5 以上に改良した場合は、鉄欠乏やマンガン欠乏、ホウ素欠乏等の微量元素欠乏が発生しやすくなるため⁹⁾、転炉スラグ以外の資材を本技術の主体として活用することは難しいと考えられる。なお、転炉スラグ中にはカルシウムのほかにもホウ素、マンガン、リン酸、マグネシウム等の要素も含まれている。そのため、今回検討したカルシウム成分と土壌 pH 以外の転炉スラグ中に含まれる他の成分についても、本病の発病抑制に関与しているか否かを検討する必要がある。

以上、本研究で実施したキュウリホモプシス根腐病の防除試験の中でも、抵抗性台木およびクローロピクリンくん蒸剤を用いた防除技術、転炉スラグを用いた土壌 pH 改良技術については、露地夏秋キュウリの本病防除法として、農業生産現場の課題解決に貢献できる成果と考える。なお、いずれの技術も無処理に対しての防除効果は認められるものの、完全な効果が得られるわけではないことから、利用できる防除技術の中でいくつかの有効な方法を組み合わせ、より良い防除体系を構築していくことが必要であろう。

摘 要

2005 年から 2012 年までの 8 年間にわたり、キュウリホモプシス根腐病の発生生態および防除法に関する一連の研究を行った。成果は次のとおりである。

1. 病徴および発生実態

(1) 岩手県で本病は、2002 年に県内 58 市町村のうち県

南部の 3 市町で初発生が確認された。2012 年には県内 33 市町村のうち県北沿岸部を除くほぼ全域にまたがる 16 市町村（2002 年当時の市町村区分では 29 市町村）まで急激に発生地域が拡大した。本病の発生と連作年数の関係をみると、長期連作圃場だけでなく、新規作付圃場や作付 5 年以内の栽培歴の浅い圃場で発生する事例も多数認められた。本病による被害発生圃場における土壌消毒の実施割合は、2007 年から 2011 年の平均で約 40%であり、被害圃場の約 60%では、土壌消毒を実施しないまま栽培が継続されていた。

(2) 岩手県における主力の露地夏秋キュウリ圃場における本病の特徴的な病徴は、定植 30 日以降の収穫開始期前後から認められる萎凋症状と、根部での疑似微小菌核（*Pseudomicrosclerotia*）および偽子座（*Pseudostromata*）の形成であった。萎凋症状は、曇雨天後の晴天など宿主の水分ストレスが急に高くなる条件で発生が多かった。また、露地夏秋キュウリの場合、本病の被害は夏季高温年よりも夏季冷涼年に被害が大きくなるものと考えられた。

(3) 圃場には本病類似の急性萎凋症状も同時に確認され、その原因は、1) キュウリ株の根群形成不良に起因するもの、2) 栽培・肥培管理に起因するもの、3) 病害虫によるものが認められた。病害虫によるものでは、キュウリモザイクウイルスとズッキーニ黄斑モザイクウイルスの重複感染、つる枯病、つる割病、疫病、ネコブセンチュウ害、黒点根腐病などであった。

(4) 本研究中にキュウリ黒点根腐病が国内初確認された。本病の特徴は、地上部の萎凋と根部での子のう殻の形成であり、形態および PCR による同定の結果、病原菌は *Monosporascus cannonballus* であることが明らかとなった。本病は自根キュウリでのみの発生確認であり、カボチャ台木を用いた接ぎ木栽培の場合は発生が認められなかった。

2. 病原菌の諸性質および発生生態

(1) 本病菌の生育適温は 20℃～25℃、生育の最低限界温度 10℃、最高限界温度 30℃であった。本病菌生育の至適 pH は 4～5 付近であり、pH6 以上では菌糸生育は抑制された。本菌死滅温度は 40℃では 2～4 日間、37.5℃では 4～5 日間、35℃では 5～7 日間であった。32.5℃では 42 日後でも完全に死滅しなかった。

(2) 本病は、乾燥条件、過湿条件いずれでも発病するが、乾燥条件ではキュウリの生育が劣り、外観上の発生程度は大きくなった。本病は、0.01% (w/w) と極

めて低密度の汚染土壌の混入でも感染・発病した。また、圃場において本病菌は土壌深度 30~40cm までのすべての層位に存在した。本病の発病適温は、20℃~25℃であり、30℃では発病が抑制された。

- (3) 本病は、キュウリ地際もしくは地下部組織の胚軸や根の残渣組織上に形成される偽子座や疑似微小菌核が耐久生存器官としての役割を担っていると推定された。根部残渣に形成される偽子座や疑似微小菌核は、乾燥状態では短期間で病原性を失うが、湿度が保たれた条件では長期間生存可能であった。

3. 抵抗性台木およびクロルピクリンくん蒸剤を用いた防除技術

- (1) 本病の抵抗性が強い台木を検索した結果、ウリ科植物のうち、クロダネカボチャやトウガンが優れていた。接ぎ木親和性を含めて評価すると、キュウリの接ぎ木用台木としてはクロダネカボチャが本病の被害軽減に有望であった。
- (2) 本病防除に有効な土壌消毒剤はクロルピクリンくん蒸剤であり、処理方法としてはマルチ畦内処理が有効であった。マルチ畦内処理とクロダネカボチャ台木の併用は、これらの対策を単独で用いるよりも顕著な防除効果が得られた。
- (3) マルチ畦内処理で防除効果を安定させるためには、キュウリ苗の定植位置を出来るだけ畦中央部とすることが重要であった。
- (4) 防根透水シートを用いた根域制限処理とマルチ畦内処理の併用は、極めて高い防除効果が得られる反面、地上部の生育や収量に負の影響を与えることから、現時点での実用性は低いと判断された。高畦やマルチ裾埋め込み手法とマルチ畦内処理の併用は、畦高 15 cm・マルチ裾埋め込み 15 cm や畦高 25 cm・マルチ裾埋め込み 5 cm は根の通路方向への伸展遅滞効果が確認され、萎凋株および根部の発病抑制効果がともに高かった。一方、高畦栽培では無灌水の場合は生育や収量に負の影響を及ぼすため、十分なキュウリ生育および収量を確保するためには適切な灌水が必要と考えられた。
- (5) クロルピクリンくん蒸剤の剤型とマルチ畦内処理は、クロールピクリン（液剤）、クロピクフロー（フロー剤）、クロルピクリン錠剤（錠剤）、クロピクテープ（テープ剤）のいずれの剤型も防除効果が認められ、実用性が高いと考えられた。一方で、薬剤間の効果差をみると、クロピクフロー＝クロールピクリン≧クロ

ルピクリン錠剤>クロピクテープの順であった。

- (6) クロルピクリンくん蒸剤による深層土壌くん蒸処理はマルチ畦内処理より若干防除効果は劣ったが、十分な防除効果が得られた。本法は通常のクロルピクリンくん蒸剤の処理法と異なることから、生産圃場で利用するためには、新たに農薬登録（適用拡大）を取得する必要がある。

4. 転炉スラグを用いた土壌 pH 改良による被害軽減技術

- (1) ホモブシ根腐病は転炉スラグ処理により防除できる可能性が示唆され、処理量が多く土壌 pH が高まるほど、ホモブシ根腐病の発生を抑制できた。特に、‘パワーZ2’台木、‘黒ダネ南瓜’台木では、改良目標 pH7.5 とした転炉スラグ処理により実用的な発病抑制効果が得られたが、キュウリ自根苗では土壌 pH を 7.5 に改良しても必ずしも十分な防除効果は得られなかった。転炉スラグにより育苗培土 pH を 7.5 に改良した場合のキュウリ苗の生育は、転炉スラグ無処理区と同等であった。しかし、育苗培土の種類によっては、生育量に問題はなくとも、マグネシウム欠乏症や根が褐色化する現象が認められた。
- (2) 本病抵抗性の強い台木‘黒ダネ南瓜’と慣行台木‘パワーZ2’の接ぎ木苗ではいずれも、転炉スラグの処理量が多く土壌 pH が高い区ほど萎凋症状が抑制された。しかし、その反面、マグネシウム欠乏症等の生理障害の発生病リスクも高まり、目標改良土壌 pH は 7.5 程度が適当と判断された。
- (3) 現地圃場において、目標土壌 pH7.5、土壌改良深 10 cm とした転炉スラグ処理は、萎凋株の発生抑制効果が高かった。一方で、根部の発病抑制効果が低い試験事例もあり、本技術の被害軽減効果は完全ではなかった。
- (4) 圃場への転炉スラグ処理は、キュウリの初期生育に優れ、栽培期間を通して商品化収量が多いなど、慣行区と比較しても収量や品質面での負の影響はなかった。育苗培土への転炉スラグ処理を併用した場合でも、慣行培土で育苗した苗とほぼ同等の商品化収量であり、実用上問題はなかった。
- (5) 転炉スラグ処理によるキュウリホモブシ根腐病の発病抑制メカニズムは、カルシウムによる直接的な病原菌への作用や、植物体中のカルシウム含量増加、カルシウム処理による病害抵抗性の活性化等が主体ではなく、土壌 pH の上昇に起因するものと推定された。

謝 辞

本研究の遂行および本論文の取りまとめにあたり、多くの方々にご支援いただいた。ここに記して御礼申し上げます。

恩師生井恒雄博士（元山形大学農学部教授、故人、2013年7月27日逝去）には岩手大学大学院連合農学研究科における主指導教官としてご校閲の労を賜るとともに、学生時代以来、多くのご指導と励ましを賜った。山形大学農学部准教授の長谷 修博士および公益財団法人岩手県生物工学研究センター主任研究員の坂本裕一博士（岩手大学大学院連合農学研究科客員准教授）には、同副指導教官として懇切丁寧なご指導とご校閲を賜った。弘前大学農学生命科学部教授の佐野輝男博士、岩手大学農学部教授の吉川信幸博士には、懇切なご指導とご校閲を賜った。また、岩手大学大学院連合農学研究科への入学に際しては、公益財団法人岩手県生物工学研究センター主任研究員の小林括平博士（現愛媛大学准教授）よりご助言とご指導を賜った。

農林水産省の委託事業である「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（課題番号 1754）」および「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（課題番号 22082）」において共同研究を実施した、東北農業研究センターの門田育生博士、永坂 厚博士、秋田県立大学教授の古屋廣光博士、福島県農業総合センターの平子喜一氏、堀越紀夫氏（現福島県庁）、宍戸邦明氏、宮城県農業・園芸総合研究所の近藤 誠氏（現宮城県庁）をはじめとする諸氏には、本病害研究に関する幅広い議論とアドバイスを賜った。また、永坂 厚博士からは試験用の菌株も分譲いただいた。

クロルピクリンくん蒸剤（商品名：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）のキュウリホモプシス根腐病への農薬登録（適用拡大）取得に際しては、三井化学アグロ株式会社、南海化学株式会社、日本化薬株式会社にご協力いただいた。

クロルピクリンくん蒸剤の深層土壌くん蒸処理については、元クロルピクリン工業会の狭間顕一郎氏、中央労働災害防止協会の郡 義夫氏より有益なご助言とご指導をいただいた。

転炉スラグを用いた土壌 pH 改良技術の検討にあたっては、ミネックス株式会社より資材をご提供いただくとともに、同社の葛西信綱 盛岡支店長、藤井 隆 営業部長、千葉満男 技術参与から多くのご助言をいただいた。また、東京農業大学応用生物科学部教授の後藤逸男

博士、同大学助教の大島宏行博士、青森県産業技術センター農林総合研究所の岩間俊太氏からは、転炉スラグによる土壌病害防除に関して有益なご助言をいただいた。

本研究の前任者でもある岩手県農業研究センターの勝部和則博士（現岩手県庁）からは多くのご助言とご校閲を賜った。同センターの猫塚修一博士（現岩手県南広域振興局花巻農林振興センター）、山田 修氏、山口貴之氏、岩手県中央農業改良普及センターの三田重雄氏、藤沢哲也氏（現岩手県南広域振興局農政部）、菊池真奈美氏には共同研究者としてご助言とご協力を賜った。猫塚修一博士、菊池真奈美氏にはご校閲も賜った。また、岩手県農業研究センターの佐藤 喬氏には、土壌肥料的な見地からのご助言とご校閲を賜った。

大学院への入学にあたっては、岩手県農業研究センターの木内 豊 所長、高橋伸夫 前所長（現 JA 全農いわて営農対策部技術主幹）、宮下慶一郎 元所長（現公益財団法人岩手生物工学研究センター理事長）、千葉泰弘 元環境部長（現岩手県立農業大学校長）、一守貴志 病理昆虫研究室長、鈴木繁実 元岩手県病害虫防除所長（現岩手県植物防疫協会）をはじめとする上司・同僚からは多大のご配慮と激励をいただいた。同センター非常勤職員の小野寺政子氏、臨時職員の八重樫奈津江氏、佐藤泰子氏、高橋美雪氏をはじめとする多くの方々には、実験作業や調査補助のほか、圃場での重労働を手伝っていただいた。同センターの佐藤広昭氏、猪澤哲哉氏には、クロルピクリンくん蒸剤を用いた土壌消毒作業、転炉スラグの散布作業をはじめとする数多くの圃場作業にご尽力いただくとともに、効率的な試験が実施できるようにと多くのご助言をいただいた。岩手県病害虫防除所および県内各地の農業改良普及センター諸氏にはキュウリ根の採取や調査にご協力いただいた。

最後に、大学院入学を許してくれた妻の岩館奈穂子に感謝したい。土日や祝日も実験や圃場作業のために出かけてしまい、家庭のことをあまり顧みることができなかった私のことを理解してくれるとともに、いつも励ましてくれた。さらに休日のキュウリ収穫や管理作業、時には薬剤散布も快く手伝ってくれた。

本研究の一部は、農林水産省の「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業（課題番号 1754）」、「平成 18 年度総合食料対策事業推進費補助金（土壌病害虫防除技術開発事業）」、平成 19～20 年度 IPM 技術評価基準策定・情報提供委託事業（土壌病害虫防除技術基準策定事業）」、および「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業（課題番号 22082）」により実施した。

引用文献

- 1) 愛知県 (2010). キュウリホモプシス根腐病 (*Phomopsis sclerotoides* Kesteren). 平成 22 年度病害虫発生予察特殊報第 4 号. (2010.10.19).
- 2) 青葉 高 (2004). 野菜園芸大百科 第 2 版 1 キュウリ, (農文協編). pp. 10–17, 農山漁村文化協会, 東京.
- 3) 新田益男・玖波井邦昭・澁谷和子・丹治光彦・松本俊吾・嶋崎博嗣・山崎泰幸・武井 久・小松秀雄 (2008). ハウスメロン根域制限栽培のための防根透水シート埋設機の開発. 高知農技セ研報 17:33–41.
- 4) Biggs, A. R. (1999). Effects of calcium salts on apple bitter rot caused by two *Colletotrichum* spp. Plant Dis. 83:1001–1005.
- 5) Bruton, B. D. (1996). Compendium of cucurbit diseases, (Zitter, T. A., et al. eds.). p.19, APS PRESS, Saint Paul.
- 6) Corden, M. E. (1965). Influence of calcium nutrition on Fusarium wilt of tomato and polygalacturonase activity. Phytopathology 55:222–224
- 7) 福西 務 (1977). 土壌くん蒸剤のマルチ畦内消毒による土壌病害防除 I クロルピクリンくん蒸による土壌消毒の効果と薬害に関する基礎的調査. 徳島農試研報 15:33–42.
- 8) 古屋廣光・村上洋之・藤 晋一・内藤秀樹 (2006). キュウリホモプシス根腐病における土壌伝染源密度と発病株率の関係 (予報). 北日本病虫研報 57:219. (講要)
- 9) 後藤逸男・村上圭一 (2006). おもしろ生態とかしこい防ぎ方. pp. 77–96, 農山漁村文化協会, 東京.
- 10) Hartleb, H. and Brenner, E. (1983). Untersuchungen zur Resistenzprüfung und -bewertung von Gurken gegen den Erreger der Schwarzen Wurzelfäule, *Phomopsis sclerotoides* v. Kest. Arch. Phytopathol. u. Pflanzenschutz 19(5):285–297.
- 11) 橋本光司・吉野正義 (1985). カボチャ台キュウリの新病害, ホモプシス根腐病. 植物防疫 39:570–574.
- 12) 堀越紀夫 (2008). 土壌消毒と遮根シートを併用したキュウリホモプシス根腐病の防除. 今月の農業 52(11):32–37.
- 13) 堀越紀夫・藤田祐子・平子喜一 (2003). 露地夏秋キュウリにおけるホモプシス根腐病の発生. 北日本病虫研報 54:67–69.
- 14) 今津 正 (1949). ウリ科相互の接木による共生親和力に就て. 園学雑 18 (1, 2):36–42.
- 15) Ito, T., Fuji, S., Sato, E., Iwadate, Y., Toda, T. and Furuya, H. (2012). Detection of *Phomopsis sclerotoides* in Commercial Cucurbit Field Soil by Nested Time-Release PCR. Plant Dis. 96:515–521.
- 16) 岩館康哉(2011). キュウリホモプシス根腐病に対するクロルピクリンくん蒸剤を用いた深層土壌くん蒸処理の防除効果. 北日本病虫研報 62:65–69.
- 17) 岩館康哉(2012). 露地夏秋作型の自根キュウリにおいて確認された黒点根腐病について. 北日本病虫研報 63:60–64.
- 18) 岩館康哉・勝部和則・長谷 修・生井恒雄(2011). キュウリホモプシス根腐病に対するクロルピクリンくん蒸剤マルチ畦内処理と抵抗性台木クロダネカボチャの併用による防除効果. 日植病報 77:278–286.
- 19) 岩館康哉・猫塚修一 (2010). 転炉スラグ資材施用によるキュウリホモプシス根腐病の発病抑制効果. 日植病報 76:153. (講要)
- 20) 岩館康哉・山口貴之・藤沢哲也 (2010). キュウリホモプシス根腐病抵抗性台木の検索と台木適性. 植物防疫 64:468–473.
- 21) Iwasaki, M. and Inaba, T. (1988). Viral Wilt of Cucumber Plants Grafted on Squash Rootstocks. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn 54:584–592.
- 22) Iwasaki, M. and Inaba, T. (1990). Effect of Different Cucurbit Rootstocks on Incidence of Viral Wilt in Grafted Cucumber Plants. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 56:674–676.
- 23) 岩崎真人・山本 孝・稲葉忠興 (1996). ウイルスによるカボチャ台接ぎ木キュウリの萎凋症に関する研究. 四国農試報 60:1–88.
- 24) 岩手県病害虫防除所 (2002). キュウリホモプシス根腐病(*Phomopsis sclerotoides* Kesteren)の発生について. 平成 14 年度病害虫発生予察情報 特殊報第 1 号 (2002.10.31).
- 25) 岩手県農林水産部 (2004). 地力・有機物施用を考慮した岩手県土づくり・施肥管理の手引き. pp. 12–13, 岩手県農林水産部いわて純情産地を守り・育てる運動推進協議会.
- 26) 亀和田國彦 (2001). 土壌機能モニタリング調査のための土壌, 水質及び植物体分析法. pp. 56–59, 日本土壌協会, 東京.

- 27) 金磯泰雄・村井恒治 (2007). 砂質土壌の異なる土壌水分下でマルチ畦内処理したクロロピクリン剤のサツマイモ立枯病防除効果と畦内における拡散. 徳島農研報 4:23-30.
- 28) 吉良 秀・西村希志子・小田浩三 (1998). 深層土壌消毒による立枯病防除(第2報). 葉たばこ研究 136:35-52.
- 29) 木曾 皓・野村良邦 (1982). カボチャ台キュウリ急性萎ちょう発生の一考察. 九病虫研会報 28:50-53.
- 30) Kita, N., Ohya, T., Uekusa, H., Nomura, K., Manago, M. and Shoda, M. (2005). Biological control of damping-off of tomato seedlings and cucumber *Phomopsis* root rot by *Bacillus subtilis* RB14-C. JARQ 39:109-114.
- 31) Knight, M. R., Campbell, A. K., Smith, S. M. & Trewavas, A. J. (1991). Transgenic plant aequorin reports the effects of touch and cold-shock and elicitors on cytoplasmic calcium. Nature 352:524-526.
- 32) 小林正伸・植草秀敏・折原紀子・宇田川 晃 (1997). メロンホモプシス根腐病の太陽熱消毒と薬剤の併用による防除. 関東病虫研報 44:79-81.
- 33) 国立天文台 (2012). 理科年表. p.511, 丸善出版, 東京.
- 34) 町田剛史・牛尾進吾・川城英夫(2010). 幼苗検定法を用いたホモプシス根腐病抵抗性を有するスイカ用台木の探索. 千葉農林総研研報 2:83-87.
- 35) 牧野孝宏・手塚信夫・鈴井孝仁・中村秀雄 (1986). クロロピクリンの土壌中における拡散とうね内処理によるイチゴ萎黄病の防除. 静岡農試研報 31:23-30.
- 36) 松本美枝子 (1980). キュウリ果実におけるブルーム発生機構の解明とその防止法. 富山農試研報 11:29-35.
- 37) 松沼俊文・川島正俊・阿部晴夫 (2002). 施設キュウリの根域制限ベッド栽培システムにおける太陽熱併用熱水士壌消毒. 群馬園試研報 7:11-18.
- 38) 三上哲壮 (2003). 簡易太陽熱処理および太陽熱処理とダゾメット粉粒剤の併用処理によるメロンホモプシス根腐病防除の1事例. 近中四農研報 2: 17-20.
- 39) 三木静恵・漆原寿彦・酒井 宏 (2008). キュウリホモプシス根腐病に対する土壌還元消毒法の防除効果. 関東病虫研報 55:19-20.
- 40) Moody, A. R. and Gindrat, D. (1977). Biological Control of Cucumber Black Root Rot by *Gliocladium roseum*. Phytopathology 67:1159-1162.
- 41) 村上洋之・藤 晋一・内藤秀樹・古屋廣光 (2006). キュウリホモプシス根腐病における土壌伝染源密度と発病の関係. 日植病報 72:213. (講要)
- 42) 村上洋之・佐藤恵美子・藤 晋一・内藤秀樹・古屋廣光 (2007). キュウリホモプシス根腐病菌疑似小菌核の根からの分別採取法と生存能力. 北日本病虫研報 58:189. (講要)
- 43) 村上圭一・後藤逸男 (2004). スグキナ根こぶ病に対する転炉スラグの防除効果. 日土肥誌 75:233-235.
- 44) 村上圭一・後藤逸男 (2008). アブラナ科野菜根こぶ病防除のための転炉スラグ施用量簡易決定法. 関西病虫研報 50:97-98.
- 45) 村上圭一・篠田英史・丸田里江・後藤逸男 (2004). 転炉スラグによるブロッコリー根こぶ病の防除対策. 日土肥誌 75:53-58.
- 46) 永坂 厚 (2010). ホモプシス根腐病とはどんな病気か. 現代農業 2010年10月号:234-239.
- 47) 永坂 厚 (2011). ホモプシス根腐病菌の分布深度がキュウリにおける根部感染および萎凋症状に与える影響. 北日本病虫研報 62:70-74.
- 48) 永坂 厚・門田育生 (2008). 東北地域におけるキュウリホモプシス根腐病の発生と防除. 植物防疫 62:355-358.
- 49) 永坂 厚・門田育生 (2010). マルチ畝内消毒法を用いたキュウリホモプシス根腐病の萎凋症状の回避対策. 農耕と園芸 65(5):52-56.
- 50) 永坂 厚・中嶋美幸・門田育生 (2007). 株元からホモプシス根腐病菌汚染土壌までの距離がキュウリの萎凋症状と根系の発達に与える影響の解析. 根の研究 16:190. (講要)
- 51) 永坂 厚・篠原弘亮・門田育生 (2006). ホモプシス根腐病菌の感染による根部の発病程度がキュウリの萎凋症状の発現に与える影響. 日植病報 72:213-214. (講要)
- 52) Nakahara, K., Hataya, T., and Uyeda, I. (1999). A simple, rapid method of nucleic acid extraction without tissue homogenization for detecting viroids by hybridization and RT-PCR. J. Virol. Meth. 77:47-58.
- 53) 中森英太郎 (1968). 果菜類接ぎ木の生理生態学的研究. p. 288, 丸井工文社, 東京.
- 54) 中村秀雄・加藤公彦・竹内常雄 (1985). クロロピクリンのマルチ畦内消毒によるバレイショそうか病の防除. 関東病虫研報 32:68-69.

- 55) 野村良邦・木曾 皓 (1996). ウリ科作物急性萎ちょうの発生生態に関する研究 -特にユウガオつる割病菌のカボチャに対する寄生性と萎ちょうの発現との関係-. 野菜茶試研報 A (野菜・花き) 11:1-59.
- 56) 小川 奎・浜屋悦治・竹内昭士郎 (1974). カボチャ台接木キュウリの萎凋症における導管内のクロロシス. 日植病報 40:149. (講要)
- 57) 小川哲治・佐山 充・迎田幸博・松尾和敏・内川 敬介 (2005). クロルピクリン剤深層土壌消毒によるジャガイモ土壌病害の省力防除. 日植病報 71:27. (講要)
- 58) 大木 理 (1997). 植物ウイルス同定のテクニックとデザイン. pp. 55-57, 日本植物防疫協会, 東京.
- 59) 大島宏行 (2012). 土壌養分蓄積の実態と土壌病害発病との因果関係—ウリ科ホモプシス根腐病を事例として—. 土づくりとエコ農業 44(5):32-39.
- 60) 大島宏行・後藤逸男 (2008). 急性萎凋症が多発する千葉県内のスイカ畑における土壌酸性化. 日土肥誌 79:307-311.
- 61) 大島宏行・佐々木優香・横田健治・後藤逸男 (2004). ウリ科ホモプシス根腐病防除への土壌肥料的アプローチ (その 2): ホモプシス根腐病発病に及ぼす土壌化学性の影響. 日本土壌肥科学会講演要旨集 50:52.
- 62) Pollack, F.G. and Uecker, F.A. (1974). *Monosporascus cannonballus*, as unusual Ascomycete in cantaloupe roots. Mycologia 66:346-349.
- 63) Rahman, M. and Punja, Z. K. (2007). Mineral Nutrition and Plant Disease, (Datnoff, L. E., et al. eds.). pp. 79-93, APS PRESS, Saint Paul.
- 64) 佐藤 喬・高橋正樹・新毛晴夫・小野剛志(2004). 岩手県中南部におけるリンドウ圃場の土壌環境実態と石灰質資材施用効果. 日土肥誌 75:37-44.
- 65) 清水 武 (1990). 原色要素障害診断事典. pp. 192-193, 農山漁村文化協会, 東京.
- 66) 穴戸雅宏 (2006). ウリ科野菜のホモプシス根腐病. 植物防疫 60:583-586.
- 67) 穴戸雅宏 (2012). PCR によるウリ科ホモプシス根腐病菌の検出法とその利用. 植物防疫 66:505-509.
- 68) 穴戸雅宏・小宅美和・宇佐見俊行・雨宮良幹 (2005). ウリ類黒点根腐病菌 (モノスポルラスカス・キャノンパルス) の検出・同定用 PCR プライマー, 特開 2005-269966 (2005.10.6).
- 69) Shishido, M., Kubota, I., Ohashi, T. and Usami, T. (2013). Comparison of PCR assays for detection and quantification of *Phomopsis sclerotoides* in plant and soil. J. Gen. Plant Pathol. 79:18-27.
- 70) 穴戸雅宏・竹内妙子 (2005). スイカ急性萎凋症に対するアンケート分析と防除対策. 植物防疫 59:65-68.
- 71) Shishido, M., Sato, K., Yoshida, N., Tsukui, R. and Usami, T. (2010). PCR-based assays to detect and quantify *Phomopsis sclerotoides* in plants and soil. J. Gen. Plant Pathol. 76:21-30.
- 72) Shishido, M., Yoshida, N., Usami, T., Shinozaki, T., Kobayashi, M. and Takeuchi, T. (2006). Black root rot of cucurbits caused by *Phomopsis sclerotoides* in Japan and phylogenetic grouping of the pathogen. J. Gen. Plant Pathol. 72:220-227.
- 73) 白石俊昌・須永文雄・賛田裕行 (1994). クロルピクリン剤のマルチ畦内消毒によるウド萎ちょう病の防除. 群馬農業研究 D 園芸 8:35-44.
- 74) 杉本琢真 (2009). カルシウム施用によるダイズ茎疫病の発病低減効果. 植物防疫 63:6-11.
- 75) 高橋達治 (2003). タバコ立枯病に対するクロルピクリンの深層土壌くん蒸の農薬登録について. 今月の農業 47(4):58-65.
- 76) 平子喜一・今泉光代 (1997). 福島県におけるキュウリホモプシス根腐病の発生. 北日本病虫研報 48:216. (講要)
- 77) 丹後俊郎 (2002). メタ・アナリシス入門. pp. 61-91, 朝倉書店, 東京.
- 78) 田代暢哉 (2007). 新しい病害虫管理の概念: -EBC(Evidence-based Control) による防除体系の構築と防除の実際(44). 今月の農業 51(5):70-74.
- 79) 植松清次 (1991). メロン黒点根腐病. 植物防疫 45:407-410.
- 80) 植松清次・赤山喜一郎(1987). メロン黒点根腐病菌のメロン類およびその他ウリ科作物への寄生性. 日植病報 53:382. (講要)
- 81) 植松清次・廣田耕作・白石俊昌・大泉利勝・赤山喜一郎・石倉比呂志・枝川良美 (1992). *Monosporascus cannonballus* によるユウガオ台スイカに発生した黒点根腐病 (新称). 日植病報 58:354-359.

- 82) 植松清次・小野木静夫・渡辺恒雄 (1985).
Monosporascus cannonballus Pollack and Uecker のメ
ロンに対する病原性とメロン黒点根腐病. 日植病報
51:272-276.
- 83) van Kesteren, H. A. (1966). "Black root rot" in
cucurbitaceae caused by *Phomopsis sclerotoides* nov.
spec. Neth. J. Plant Pathol. 73:112-116.
- 84) von Broembsen, S. L., and Deacon, J. W. (1997).
Calcium Interference with Zoospore Biology and
Infectivity of *Phytophthora parasitica* in Nutrient
Irrigation Solutions. Phytopathology 87:522-528.
- 85) 渡辺 健・大砂輝雄 (1998). マルチ畦内土壌消毒に
よるカボチャ立枯病の防除. 関東病虫研報 45:73-
75.
- 86) Watanabe, T. (1979). *Monosporascus cannonballus*, an
Ascomycete from wilted melon roots undescribed in
Japan. Trans. Mycol. Soc. Japan 20:312-316.
- 87) Wiggell, P. and Simpson, C. J. (1969). Observations on
the control of *Phomopsis* root rot of cucumber. Plant
Pathol. 18:71-77.
- 88) 山田 修・岩舘康哉 (2006). 露地キュウリにおける
畦の形状および土壌消毒が生育と萎ちょう症状に
及ぼす影響. 東北農業研究 59:187-188.
- 89) 山口貴之 (2009). キュウリホモブシス根腐病による
被害を抑える整枝法の開発. 園学研 8 別 1:160. (講
要)
- 90) 山口貴之・岩舘康哉 (2009). ウリ科植物のキュウリ
ホモブシス根腐病に対する台木適性. 北日本病虫研
報 60:96-101.

Studies on the Epidemiology and Control of Cucumber Black Root Rot Caused by *Phomopsis sclerotioides* in Iwate Prefecture^{*1}

Yasuya IWADATE^{*2}

Summary

Black root rot of cucumber (*Cucumis sativus*) caused by *Phomopsis sclerotioides* is a serious greenhouse disease in many countries. *P. sclerotioides* is soil-borne and infects cucurbit vegetables. Since 2002, the disease has been observed in outdoor-cultivated cucumber grafted on pumpkin rootstock in Iwate Prefecture, Japan, causing severe economic losses. However, epidemiological information on this pathogen is limited, and an effective control method for outdoor-cultivated cucumber is warranted. The four main objectives of this study were as follows: (1) to describe the occurrence of cucumber black root rot and the extent of damage caused by *P. sclerotioides* in Iwate Prefecture; (2) to investigate the characteristics of the pathogen and its epidemiology; (3) to develop control methods for cucumber black root rot by using a resistant rootstock and/or chloropicrin fumigants; and (4) to evaluate the control method against cucumber black root rot through the application of soil pH amendments by using a converter slag. The results obtained from this study are briefly described below.

1. The occurrence of cucumber black root rot and the extent of damage caused by *P. sclerotioides* in Iwate Prefecture

Black root rot on outdoor-cultivated cucumber grafted on pumpkin rootstock was found in three out of the 58 municipalities of Iwate Prefecture in 2002. Since then, the incidence of black root rot in cucumber crops has increased, affecting 16 out of the 33 amalgamated municipalities in 2012 that contain 29 ex-municipalities. The disease causes sudden wilting of plants, usually immediately before the harvest period, thus resulting in severe losses in the marketable yield. At first, infected plants show slight wilting during periods of high evapotranspiration during the day, although these show recovery at night. Once wilting is observed, most of the infected plants die within few days. In fully wilted plants, the roots become brown to black coloration and finally rot. In addition, most of the rootlets and root hairs fall off. At the last stage of the disease, pseudomicrosclerotia and pseudostromata form on the radicular surface of the plants. Weather conditions largely influence the development and progression of the disease. Wilt symptoms tend to be more severe during below-average summer temperatures such as that during 2003 compared to extraordinarily hot summers such as that in 2010. It has been suggested that high temperatures generally weaken the pathogen and below-average summer temperatures induce plant stress.

The disease is frequently found in continuously cropped cucumber fields, as well as in new fields. The results of this study suggest that the pathogen has further spread across Iwate Prefecture, possibly through the transport of contaminated soil by footwear, plant materials, or machinery. Therefore, it is important to prevent the transfer of infested soil and contaminated equipment to uninfested fields. The results of the survey questionnaire collected from 2007 to 2011 revealed that only approximately 40% of cucumber farmers have engaged in fumigation of the infested fields by using chloropicrin, whereas farmers of approximately 60% of infested fields have continued cucumber cultivation without any disinfestation treatment.

*1 This is a doctoral dissertation submitted to the United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University in March 2013.

*2 Iwate Agricultural Research Center, 20-1 Narita, Kitakami, Iwate 024-0003, Japan

Sudden wilting was caused not only by cucumber black root rot but also by other plant diseases and pests. Sudden wilting caused by other plant diseases and pests were attributed to the following factors: (1) superinfection with *Cucumber mosaic virus* (CMV) and *Zucchini yellow mosaic virus* (ZYMV); (2) Gummy stem blight; (3) Fusarium wilt; (4) Phytophthora rot; (5) root knot; and (6) *Monosporascus* root rot. To the author's knowledge, for the first time in Japan, *Monosporascus* root rot of cucumber has been confirmed. This disease was observed in the summer to autumn cucumber harvest period of 2006 in the open fields of Iwate Prefecture. The causal fungus was identified as *Monosporascus cannonballus*, based on its morphological features and confirmed using polymerase chain reaction (PCR) with a *M. cannonballus*-specific primer pair. Furthermore, the unique root symptom included the presence of perithecia in the brown lesions; thus, it is easy to distinguish *Monosporascus* root rot from *Phomopsis* black root rot. *Monosporascus* root rot exclusively occurred in cucumber roots and was not found in those grafted on pumpkin rootstocks.

2. Characteristics and epidemiology of *P. sclerotioides*

Cultural characteristics of *P. sclerotioides* were as follows: (1) the fungus grew on potato dextrose agar (PDA) at a temperature range of 10–30°C, but did not thrive above 32.5°C (optimal range: 20–25°C); (2) *in vitro* mycelial growth of the pathogen was optimal at a pH range of 4.0–5.0 and decreased at higher or lower pH levels; and (3) the fungus was killed after incubation at 35°C for 5–7 days, at 37.5°C for 4–5 days, and at 40°C for 2–4 days.

Disease development of cucumber black root rot was as follows: (1) temperatures between 20 and 25°C were conducive to disease development, whereas at 30°C, it was suppressed; (2) symptoms of wilting were enhanced by drought; (3) the disease could occur by inoculation at an extremely low density, even at 0.01% (w/w) of the naturally infested soil; and (4) in most cases, the pathogen could thrive up to a soil depth of at least 40 cm in naturally infested fields.

Long-term survival of pseudostromata and pseudomicrosclerotia on the hypocotyl or radicular residual tissues does not occur in dry soil conditions, whereas humid conditions facilitate its long-term survival in soil. It has been previously shown that pseudostromata and pseudomicrosclerotia may play important roles as survival structures in the soil.

3. Control method by using resistant rootstock and/or chloropicrin fumigants against cucumber black root rot

To prevent cucumber black root rot, several Cucurbitaceae plants were examined as resistant rootstocks for grafting cucumber plants, and *Cucurbita ficifolia* and *Benincasa hispida* were found to be effective. *C. ficifolia* is highly compatible to cucumber and is easy to graft because of its thick hypocotyl. On the other hand, some cultivars of *B. hispida* showed inadequate adaptability for grafting cucumber plants. Thus, *C. ficifolia* can be used as the resistant rootstock for grafting cucumber. However, *C. ficifolia*, a bloom type rootstock, cannot be extensively used as the resistant rootstock for cucumber grafting in commercial fields because the Japanese market preference is for bloomless fruits.

Soil fumigants such as chloropicrin (298.5 L a.i./ha), dazomet (294 kg a.i./ha), metham sodium (180 L a.i./ha), and fluazinam (15 kg a.i./ha) were evaluated for efficacy in naturally infested fields. On the basis of the significant reduction of sudden wilting, chloropicrin was selected for subsequent experiments and used to develop an effective control scheme. A high level of efficacy against cucumber black root rot was observed in all chloropicrin dosage forms: chloropicrin solution (product name: Chloropicrin), chloropicrin emulsion (Chlopic-flow), chloropicrin tablet (Chloropicrin jouzai), and chloropicrin tape (Chlopic-tape). Partial fumigation (injection into polyethylene-mulched beds) resulted in its adequate control, which was better than that by overall fumigation in the fields. After partial fumigation, it was essential to position the cucumber seedlings in the center of the beds because the

fumigation process only disinfected the bed interior. For chloropicrin injection into polyethylene-mulched beds, 90-cm-wide beds were found to be more effective than the commonly used 60-cm-wide beds. Since the 90-cm-wide beds represented wider disinfested area than that by the 60-cm-wide beds, the author concluded that the control efficacy was high, but the treatments did not completely control the occurrence of sudden wilt. Combining the treatments with the use of the resistant rootstock *C. ficifolia* reliably decreased the incidence of sudden wilt, resulting in a 100% reduction in the three experiments compared to the untreated plots. The efficacy of each control measure varied, and thus, integrated methods are considered effective.

The combination of the chloropicrin fumigation, polyethylene-mulched beds, and root restriction treatments was also effective because plant roots could grow in sterilized soil with root restriction treatments. However, the combination resulted in yield losses, because root restriction treatments induced stress in the cucumber plants. Therefore, improvement on the practical use of this combination is necessary.

Soil fumigation by using chloropicrin (298.5 L a.i./ha) in deeper soil layers (approximately 30-cm depth) resulted in the adequate control of cucumber black root rot. In general, chloropicrin is directly introduced to the soil (at a 15-cm depth) and then covered with a plastic film to suppress its volatilization. In contrast, the chloropicrin deep-injection method is a very simple task, involving only soil surface compaction with a roller to seal off the air spaces between soil particles. Thus, this technique could also be regarded as labor-effective. However, this approach requires its registration as a new agricultural chemical (application expansion) because it is different from the currently used chloropicrin applications in Japan.

4. Control of cucumber black root rot through soil pH amendments by using a converter slag

The results of seedling experiments and greenhouse tests showed that the converter slag (product name: Tenro Sekkai, a soil acidity amelioration material, which is a by-product of steelmaking) treatment of infested soil could prevent cucumber black root rot. Furthermore, this approach could significantly reduce the severity of disease while keeping soil pH levels high enough. However, physiological disorders were observed after this treatment in high-pH level soil (pH above 8.0; Haplic Andosols). The results suggest that the application of the converter slag to infested fields and maintenance of the soil pH at around 7.5 was optimal for the control of cucumber black root rot. The cucumbers grafted on pumpkin rootstock showed remarkable black root rot control after converter slag treatment, although sufficient effect was not seen in non-grafted cucumbers.

Commercial field tests using cucumbers grafted on bloomless-type rootstock (*Cucurbita moschata*) showed that the technique could significantly reduce the severity of disease at a soil pH of 7.5 and a 10-cm amended soil depth (19,600 to 38,000 kg/ha, pH 7.5). No physiological disorders were observed in the cucumbers collected from six field tests that were conducted between 2009 and 2011. For this approach, a soil depth of 10 cm is recommended based on the cost of the treatment and its control-effectiveness.

In the next section, the factors responsible for disease suppression, calcium dosage, and soil pH elevation are described. The addition of CaSO_4 (soil pH did not change) to infested soil did not generate the same effect on seedling survival as that seen with CaCO_3 or the converter slag (containing approximately 41.4% CaO) approaches. The results suggest that the elevation of soil pH, and not calcium supplementation of the soil, was responsible for disease suppression.

Key Words: chloropicrin, converter slag, *Cucumis sativus*, grafting, soil fumigation, sudden wilt

