

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

(独)農研機構 東北農業研究センター ^{なが}永 ^{さか}坂 ^{あつし}厚

はじめに

ホモプシス根腐病はウリ科作物に発生する土壤伝染性病害である。その原因は糸状菌 *Phomopsis sclerotioides* であり、これがウリ科作物の根に感染して根腐症状を引き起こす (van KESTERN, 1967)。発病個体は果実の収穫開始期以降に萎凋症状を発症し、これが著しい減収の要因となる。本病は我が国において 1983 年に最初の発生が確認されたが、その際にキュウリの主要な土壤病害であるつる割病・疫病に対する防除対策であるカボチャ台木への接木栽培が、本病に対して有効でないことが確認された (橋本・吉野, 1985)。また、東北地域では 2001 年以降に露地の夏秋キュウリ栽培に発生が拡大した (堀越ら, 2003) が、この栽培体系は夏場が収穫最盛期のため、施設栽培で有効とされた太陽熱消毒 (橋本・吉野, 1985; 小林ら, 1997) や土壤還元消毒 (三木ら, 2008) のような、太陽熱を利用した防除の適用が困難である。このような防除の困難さに加え、現在も発生地での拡大が続いていることにより、本病は東北地域のキュウリ栽培における重大な問題となっている。

これまでに東北地域の露地キュウリ栽培における本病への対策として、クロルピクリン剤によるマルチ畦内消毒を用いた防除技術が開発され、これが普及段階にある。本法は、畦立て後に畦内に薬剤処理してマルチにより被覆するクロルピクリン剤のマルチ畦内処理に加え、根をできるだけ消毒畦内に止めて防除効果を向上させるという技術である (門田ら, 2008)。一方、本法を実施しても消毒畦内の周囲 (深部や畦間) に消毒不十分な部分が残る、栽培期間中にキュウリ根がこのような領域まで伸長して感染を受けることが考えられる。このような根の進展に伴う感染・発病と、被害の要因となる萎凋症状の発症との関係については、本防除手段の効率の実施や、技術普及にあたっての作用機作の説明において重要であり、その解明が求められる。

筆者は、キュウリ栽培におけるこのような感染の影響

をモデル的に解明するため、病原菌を混和した汚染土壌の上に非汚染土壌を積層する土壌カラム (積層土壌カラム) を用いて、土壌カラムの上面から汚染土壌までの深さが段階的に異なる条件で接種試験を行い、これらが萎凋症状に与える影響、および根の発病や発達との関係について解析した (永坂, 2011)。本稿では、マルチ畦内消毒を実施した場合のホモプシス根腐病菌の分布について考察した後 (I)、これを想定した土壌カラムによる解析 (II, III) について紹介する。

I クロルピクリン剤のマルチ畦内処理による防除とホモプシス根腐病菌の分布

クロルピクリン剤のマルチ畦内処理 (マルチ畦内消毒) は、畦立てと同時に薬剤を畦内土壌に施用し、マルチにより被覆する消毒方法である (松田, 2007)。本法が露地夏秋キュウリのホモプシス根腐病対策として着目されている背景には、この方法では消毒後にガス抜き・畦立てを目的とした耕起作業が行われない点にある。汚染圃場内における本病原菌の垂直分布は、比較的深く、これまでに地下 30 cm 深程度まで確認されている (小林, 1997)。このため、消毒後の耕起作業は深層部に生残した病原菌を浅層部に移動させて再汚染を引き起こすおそれがある。実際、クロルピクリン剤のマルチ畦内処理は、消毒後に耕起作業を伴う通常の処理方法と比較して防除効果が高いことが示されている (堀越, 2007; 岩館ら, 2011)。

一方、マルチ畦内消毒では畦内土壌が重点的に消毒されるものの、その周囲 (畦間や深部土壌) は消毒が不十分となることが懸念される。これまでに、消毒した畦内にできるだけ根をとどめる栽培が検討され、遮根シートにより根の伸長を完全に遮断する方法も検討されたが、作物の生長への影響も大きく、実際には畦幅を広くすることやマルチ裾を埋め込んで根の伸長をできるだけ遅延させるような栽培が有効であることが示された (山田・岩館, 2006)。このような防除を適切に実施することにより、被害の要因となる萎凋症状は顕著に抑制されて収量が確保されることは、これまでに多数の実証試験例から明らかにされ、農業登録にもつながっている (門田ら, 2008)。

Influence of Inoculum Depth on Root Infection and Wilt of Cucumber by *Phomopsis sclerotioides*, Incitant of Black Root Rot. By Atsushi NAGASAKA

(キーワード: キュウリ, ホモプシス根腐病, 発生病態, 防除)

ただし、本法の防除効果について、根の発病抑制という観点から見たときに必ずしも顕著でない場合がある。これまでに本手法を実施した圃場において、栽培終了後に実施した根部の発病調査では、根の発病抑制効果あまり高くないことが指摘されている(堀越, 2007; 堀越ら, 2007)。この要因の一つとして、キュウリの根が消毒不十分な領域まで伸長して感染を受けていることが示唆される。したがって、このような根の伸長に伴う感染が被害の要因となる萎凋症状に与える影響について解明することが、本技術の効率的・安定的な実施に必要と考えられる。

II 積層土壌カラムにおける汚染土壌までの深さとキュウリの萎凋症状との関係

筆者はマルチ畦内土壌消毒後に生残すると想定される、定植位置から離れた部位のホモプシス根腐病菌によるキュウリ根への感染と、萎凋症状との関係を解明するため、積層土壌カラムによる接種試験を制御環境下で行った。積層土壌カラムは、長さ5 cm、直径約11 cmの土壌カラム(塩ビパイプに土壌を充てんしたもの)を六つ積層して作成するものであり、汚染土壌カラム(ホモプシス根腐病菌の培養物を混和した園芸培土を充てんしたもの)、および非汚染土壌カラム(園芸培土のみを充てんしたもの)を図-1に示すように積層することで、上面から汚染土壌までの深さ(Depth of Infested Soil: 以下DIS)が5~25 cmまで6段階的に異なるものを作成した。なお、対照として、すべての層が非汚染土壌の積層土壌カラム(健全)を作成した。この上面に自根のキュウリ苗を移植し、人工気象室内の制御環境下(14時間日長、明期23℃・暗期18℃、湿度80%)で管

理して、萎凋症状の発症時期を調査した。その結果、DISがいずれの場合でも移植97日後までに萎凋症状の発症が見られた。ただし、萎凋症状はDISが増すと遅延する傾向が見られ、特に10~15 cm間での差が顕著であった(図-2)。

このような萎凋症状の発症遅延と、根が汚染土壌まで伸長する時期の差との関係を明らかにするため、キュウリ苗を健全土壌カラムに移植し、各層への到達時期を調査した。その結果、根はおおよそ移植24~30日後には最下端の層まで到達することが明らかとなった。また、汚染土壌に根の先端が達してから萎凋症状の発症に至る

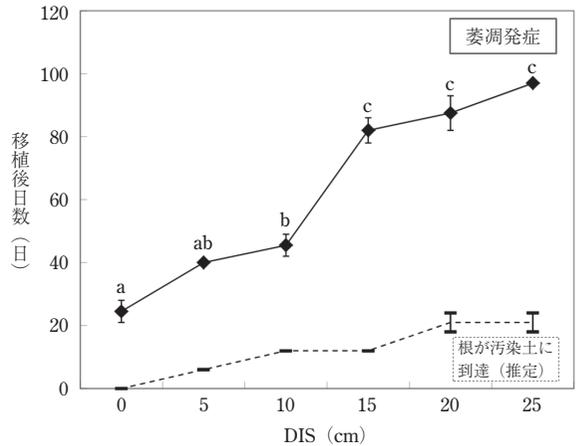


図-2 汚染土壌までの深さが萎凋症状の発症時期に与える影響

(永坂, 2011)の図を改変。

実線(◆)は萎凋症状が発生した日。バーは標準誤差(n=2)。同じ英小文字間にはTukey HSD検定により有意差なし(p<0.05)。点線は根が汚染土壌に到達したと推測される日(バーは予想範囲)。

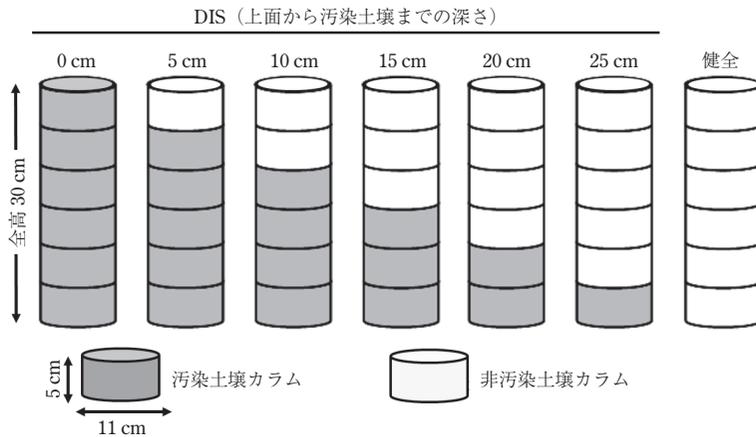


図-1 試験に用いた積層土壌カラムの構造

と推測される期間については、DISが15 cmより大きくなった場合に顕著に長くなることが示された(図-2)。

これまでに、マルチ畦内消毒の際にその畦幅を広くすることで防除効果が向上することや、消毒後の畦における定植位置を肩でなく中央部分にすることで防除効果が向上することが示されている(岩館ら, 2008; 岩館ら, 2011)。積層土壌カラムの試験により、DISが15 cmよりも大きくなると萎凋症状が大幅に遅延する現象は、上記のような定植位置と消毒不十分な領域との距離をできるだけ離すことの重要性を裏付けるものと考えられた。また、DISが15 cm以上の場合に根が汚染土に到達してから萎凋症状を発症すると推察される期間が著しく長くなったことは、マルチ畦内消毒後の栽培において、畦周辺の汚染土壌への根の伸長を完全に遮断しなくても防除効果が得られること(山田・岩館, 2006)と関係していると考えられた。

III 積層土壌カラムにおける汚染土壌までの深さが根の発達や発病に与える影響

上面から汚染土壌までの深さ(DIS)が大きくなった場合に萎凋症状が発症するまでの期間が顕著に長くなるメカニズムを解明するため、まず積層土壌カラムで接種したキュウリ根の発達について調査した。各DISの積層土壌カラムに移植してから106日後(すべてのDISで萎凋症状が発症)に、キュウリの根を層別に採取し、その量を健全の積層土壌カラムに移植したものと比較し

た。その結果、汚染土壌の層では健全と比較して根量が低下するが、非汚染土壌の層では同程度か逆に増加することが示された。また、このことは積層土壌カラム内における全根量に影響し、DISが10 cm以下では根量が健全より有意に少なかったが、DISが15 cm以上では健全と同程度となった(図-3)。

以上の結果は、DISが15 cm以上となった場合に顕著な萎凋の遅延が認められることと深くかかわっているものと推察され、根が発達して汚染土壌の層まで達した場合、その先端部は感染をうけて発達が抑制されるが、根系の基部側にある非汚染土壌の層で根量が増加することで吸水・吸肥能力が補償される可能性が考えられた。これまでにマルチ畦内消毒とマルチ裾埋め込みによる簡易根域制御栽培を併用すると、慣行作畦の場合よりも根の分布が畦内に多くなることが報告され(岩館ら, 2008)、消毒土壌内での根の発達が発病抑制効果の向上と関連している可能性が示されているが、本研究の結果もこれを支持するものと考えられた。

一方、このような非汚染土壌に発達する根にも、時間の経過とともに感染が拡大することが明らかとなった。DISが10 cmと15 cmの土壌カラムに移植したキュウリの根を、萎凋症状が生じていない時期を中心に経時的にサンプリングし、非汚染土壌内の根における病原菌の感染をPCRにより調査したところ、萎凋症状が発症していない時期でも感染が汚染土壌に近い層から徐々に根系基部に向かって進展している様子が示された(図-4)。

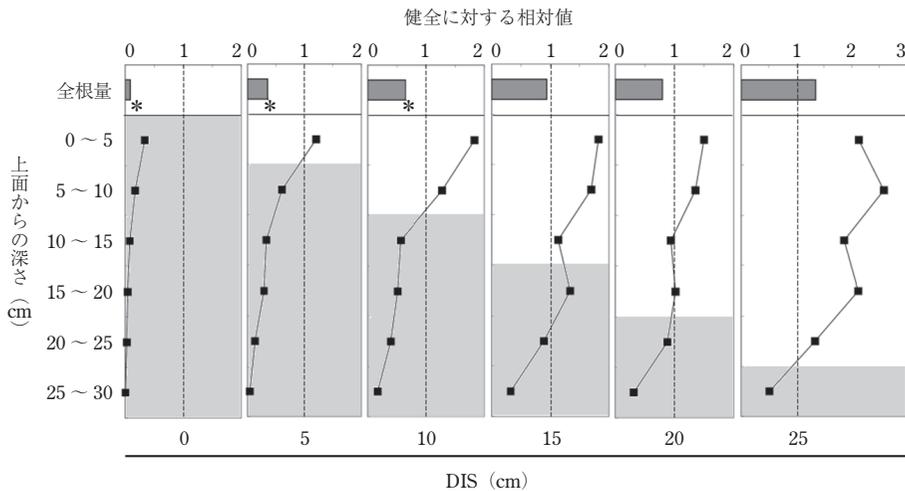


図-3 汚染土壌までの深さがキュウリ根の発達に与える影響(移植106日後)(永坂, 2011)の図を改変。

棒グラフに*がついていない区は、Dunnettの多重検定により健全と有意差なし($n = 6; p < 0.05$)。グラフ内の灰色は汚染土壌の層を示す。

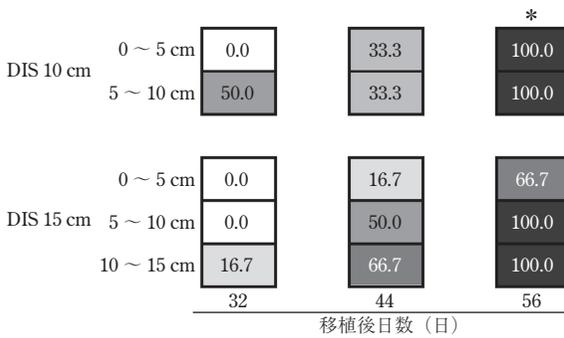


図-4 非汚染土壌層内の根からの病原菌の検出程度の推移 (永坂, 2011) の図を改変。

PCRによる検出の結果を下記の基準で評価し、試験区内の全個体 ($n = 3$) の評点を元に検出程度を算出した (最大値 100)。

評点: ホモブシス根腐菌菌特異プライマーによる1段階のPCRで検出 = 2, より感度の高い nested PCRで検出 = 1, 検出されない = 0。

数字の背景の濃度は検出程度に対応。*は萎凋症状が見られた試験区。

このことは、マルチ畦内消毒後の栽培でも根が汚染土壌に伸長した後は根系基部方向への感染進展が起こる可能性を示しており、圃場試験において栽培終了時に根の調査を行った場合に消毒効果が判然としないこと (堀越, 2007; 堀越ら, 2007) の要因の一つと考えられた。

おわりに

マルチ畦内消毒を用いたキュウリホモブシス根腐病の防除技術は、苗を定植する畦内を重点的に消毒することにより、特に生育初期の感染を効率的に回避することにより防除効果が得られていると推察される。一方、消毒後は土壌深部や畦間に消毒不十分な領域が残るため、根が伸長することによる感染は完全には避けられないものと考えられる。このような根の感染を積層土壌カラムにより解析した結果、特に消毒した畦内における根の発達が防除効果の発現に重要であり、この部位の根における感染をできるだけ遅らせることの重要性が明らかになった。

本防除技術の実施にあたっては、生育初期の感染をできるだけ回避するために、畦幅をできるだけ広くするとともに定植位置を消毒畦内の肩でなく中央部分にすることや、定植時に消毒不十分な畦間の土壌を定植穴周辺に持ち込まないようにすること等が留意点としてあげられている (門田ら, 2008)。積層土壌カラムによる試験の結果も、消毒畦内の根の発達が萎凋症状と大きくかわる可能性を示したことで、上述のような留意点の重要性

を強く支持したものと考えられる。筆者としては、このようなモデル試験における知見が、本防除技術の普及にあたって、その特性や留意点も含めた適切な情報伝達の一助となることを願っている。

上面から汚染土壌までの距離が長い土壌カラムでは、キュウリは根の先端部に感染を受けたのち、根系基部の方向に進展するが、根系の発病が一定程度に至るまでは萎凋しないと考えられる。このような状況はマルチ畦内消毒後の栽培でも同様に生じていると考えられることから、品種間の耐病性や根の発達の差が萎凋症状の発症に影響する可能性がある。キュウリ栽培では果実へのブルーム着生を抑制するブルームレス台木の利用が主流であり、これらの耐病性はクロダネカボチャ (高耐病性) よりも全般に低いが、品種間では若干の差があることが知られている (堀越ら, 2003, 山口・岩館, 2009)。一方、マルチ畦内消毒後にクロダネカボチャへの接ぎ木栽培を併用した効果はこれまでに検討されている (岩館, 2011) が、ブルームレス台木品種間での根の耐病性や発達の違いと防除効果の関係についても今後検討する余地があると考えられる。併せて、根の一部に感染を受けた状態では、地上部の外観が健全であっても吸水・吸肥特性が変化している可能性が考えられ、これらを考慮した施肥方法なども検討の余地があると考えられる。このような検討では、通常、ポット試験で候補を選び、圃場試験で効果を検証する過程を経るが、土壌病害の圃場試験では複数の候補を同一の汚染状態で試験することが困難な場合も多い。積層土壌カラムの試験系は、ポット試験よりもマルチ畦内消毒後の環境に近い条件で有用候補を絞り込むような場合に適用できる可能性がある。

また、本病原菌が感染した根では皮層組織や維管束組織の周辺に菌糸が確認され (永坂・門田, 2006), *Fusarium oxysporum* や *Verticillium dahliae* のように宿主の導管に積極的に侵入するものとは様子が異なっている。このような病原菌間の生態や感染様式の違いが、感染の進展による根の吸水・吸肥能力の低下に与える影響についても、本実験手法による解析に一定の有用性が見込まれると考えている。

本研究は農林水産省の「先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」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」の一環として実施したものである。

引用文献

- 1) 橋本光司・吉野正義 (1985): 植物防疫 39: 570 ~ 574.
- 2) 堀越紀夫 (2007): 今月の農業 51 (11): 19 ~ 24.
- 3) ————ら (2003): 北日本病害虫研報 54: 67 ~ 69.
- 4) ————ら (2007): 同上 58: 190 (講要).
- 5) 岩館康哉ら (2008): 日植病報 74: 190 (講要).
- 6) ————ら (2011): 同上 77: 278 ~ 286.

- 7) 門田育生ら (2008): キュウリホモブシス根腐病防除マニュアル, 東北農業研究センター, 福島, 39 pp.
 8) 小林正伸ら (1997): 関東病虫研報 44: 79 ~ 81.
 9) 松田 明 (2007) クロルピクリンガイド, クロルピクリン工業会, 東京, p.22 ~ 25.
 10) 三木静恵ら (2008): 関東病虫研報 55: 19 ~ 20.
 11) 永坂 厚 (2011): 北日本病虫研報 62: 70 ~ 74.
 12) ————・門田育生 (2006): 平成 17 年度 東北農業研究成果情報: 193 ~ 194.
 13) van KESTERN, H. A. (1967): Neth. J. of Pl. Path 73: 112 ~ 116.
 14) 山田 修・岩館康哉 (2006): 東北農業研究 59: 187 ~ 188.
 15) 山口貴之・——— (2009): 北日本病虫研報 60: 96 ~ 101.

新しく登録された農薬 (24.5.1 ~ 5.31)

掲載は、**種類名**、登録番号：**商品名**（製造者又は輸入者）登録年月日、有効成分：含有量、**対象作物**：対象病害虫：使用時期等。ただし、除草剤・植物成長調整剤については、**適用作物**、適用雑草等を記載。（登録番号：23079 ~ 23087）種類名に下線付きは新規成分。※は新規登録の内容。

「殺虫剤」

- クロルフルアズロン水和剤** ※新規参入
 23080：**ナイスイーグル SC**（石原バイオサイエンス）12/05/16
 クロルフルアズロン：10.0%
 芝：シバツトガ、コガネムシ類幼虫：発生初期
 ●**アルミゲルア・ウワバルア・ダイアモルア・ビートアーミルア・リトルア剤** ※中央債
 23084：**コンフューザー V**（信越化学工業）12/05/16
 (Z)-9-ヘキサデセナール：1.0%，(Z)-11-ヘキサデセン-1-オール：0.50%，(Z)-7-ドデセニル=アセタート：5.9%，(Z)-7-ドデセン-1-オール：3.8%，(Z)-11-ヘキサデセナール：24.0%，(Z)-11-ヘキサデセニル=アセタート：19.2%，(Z,E)-9,12-テトラデカジエニル=アセタート：8.1%，(Z)-9-テトラデセン-1-オール：4.2%，(Z,E)-9,11-テトラデカジエニル=アセタート：19.5%

野菜類（交尾阻害）：コナガ、オオタバコガ、ハスモンヨトウ、タマナギンウワバ、シロイチモジヨトウ、ヨトウガ、イラクサギンウワバ：対象作物の栽培全期間

いも類（交尾阻害）：コナガ、オオタバコガ、ハスモンヨトウ、タマナギンウワバ、シロイチモジヨトウ、ヨトウガ、イラクサギンウワバ：対象作物の栽培全期間

豆類（種実）（交尾阻害）：コナガ、オオタバコガ、ハスモンヨトウ、タマナギンウワバ、シロイチモジヨトウ、ヨトウガ、イラクサギンウワバ：対象作物の栽培全期間

花き類・観葉植物（交尾阻害）：コナガ、オオタバコガ、ハスモンヨトウ、タマナギンウワバ、シロイチモジヨトウ、ヨトウガ、イラクサギンウワバ：対象作物の栽培全期間

- エチプロール粉粒剤** ※新規剤
 23087：**キラップ微粒剤 F**（クミアイ化学工業）12/05/30
 エチプロール：0.50%

稲：ウンカ類、カメムシ類、イネドロオイムシ、イナゴ類：

収穫 14 日前まで

「殺菌剤」

- メタラキシル M 液剤** ※新製剤
 23079：**エイプロン 31**（シンジェンタ ジャパン）12/05/16
 メタラキシル：31.0%
野菜類：ピシウム菌による病害（苗立枯病等）：は種前（種子処理機による塗沫処理）
 ●**銅・パチルス ズブチリス水和剤** ※新規参入
 23086：**ケミヘル**（アグロ カネショウ）12/05/30
 水酸化第二銅：50.0%，パチルス ズブチリス D747 株の生芽胞： 2.0×10^{10} CFU/g
 トマト：疫病、葉かび病：収穫前日まで
 ミニトマト：疫病、葉かび病：収穫前日まで
野菜類：灰色かび病、うどんこ病：収穫前日まで

「除草剤」

- アシュラム・MDBA カリウム塩液剤** ※新混合剤
 23081：**アシュラスター液剤**（シンジェンタ ジャパン）12/05/16
 23082：**ホドガヤユーピーエルアシュラスター液剤**（保土谷 UPL）12/05/16
 23083：**ユーピーエルアシュラスター液剤**（ユーピーエルジャパン）12/05/16
 アシュラム：30.0%，MDBA カリウム塩：3.3%
 日本芝：一年生雑草
 ●**ニコスルフロン乳剤** ※新規参入
 23085：**ナイン G 乳剤**（石原バイオサイエンス）12/05/30
 ニコスルフロン：4.0%
樹木等（公園、庭園、堤とう、駐車場、道路、運動場、宅地のり面、鉄道等）：多年生雑草