

特集：総合的病害虫管理技術の取り組み

緑肥作物の利用および土壌還元消毒による 土壌病害の防除とその課題

群馬県農業技術センター 池田 健太郎・三木 静恵・加部 武*
いけだ けんたろう みき しずえ かべ たけし
くわばら かつや うるしげら としひこ
 桑原 克也・漆原 寿彦**
くわばら かつや うるしげら としひこ
 東洋大学生命科学部 坂野 真平・藤村 真
ばんの しんぺい ふじむら まこと

はじめに

土壌病害の発生は、すべての農作物にとって重大な問題である。土壌病害の被害を最小限に食い止めるには、クロルピクリンなどの土壌くん蒸剤の使用が効果的である。しかし、土壌くん蒸剤は、その高い効果にもかかわらず、ガスが大気中へ拡散する（和田ら、1982）ため、環境に与える影響や作業員への健康被害などが懸念されている。これまで、群馬県では総合的病害虫・雑草管理（IPM）技術による土壌病害の防除に力を入れてきた。本稿ではその中から、エンバク野生種を用いたキャベツパーティシリウム萎凋病の発病抑制効果と、ハウレンソウ萎凋病に対する土壌還元消毒の周縁部固定による効果安定化技術を紹介したい。

I エンバク野生種すき込みによるキャベツパーティシリウム萎凋病発病抑制

群馬県嬭恋村は夏秋キャベツの全国的に有力なブランド産地であり、全国1位の出荷量を誇る。しかし、1993年以降、重要な土壌病原菌である *Verticillium* 属菌によって引き起こされるキャベツパーティシリウム萎凋病による被害が年々拡大していた。群馬県で発生したキャベツパーティシリウム萎凋病は *V. dahliae* および *V. longisporum* の2種類の病原菌によって引き起こされることが確認された（酒井ら、2001）。

キャベツパーティシリウム萎凋病の防除にはクロルピクリンなどの土壌くん蒸剤の有効性が確認されている（剣持ら、1997）。しかし、栽培面積が広大なため、経済的、労力的にすべての発病圃場で土壌くん蒸処理を実施するのは困難である。一方、本病はネグサレセンチュウ

によって助長され（酒井ら、2002）、そのネグサレセンチュウを防除することで、本病の被害が軽減することが認められている（酒井ら、2004）。またネグサレセンチュウ防除にはエンバク野生種の栽培・すき込みが有効であることが報告されている（山田、1998）。

ここでは、エンバク野生種を用いたキャベツパーティシリウム萎凋病の防除効果を確認するとともに、より効果的かつ安定する処理方法、処理条件を明らかにするために、その発病抑制機構の解明を試みた。

試験は群馬県農業技術センター高冷地野菜研究センター内（群馬県嬭恋村）にあるコンクリート枠（3m × 5m = 15m²）で実施した。試験前年にキャベツパーティシリウム萎凋病の微小菌核をコンクリート枠にそれぞれ100, 50, 25, 12.5 および 6.25 個/g 乾土になるように接種（それぞれ試験区1～5とした）し、キャベツを栽培した。発病確認後、罹病残渣をすき込んで、汚染土壌とした。施肥、殺虫剤などの散布は現地の慣行に従って実施した。

2007年9月14日にエンバク野生種（*Avena strigosa*；商品名はニューオーツ）を汚染土壌のコンクリート枠の半分（3m × 2.5m = 7.5m²）に播種した（1kg/1ha）。エンバク野生種は、同年12月10日に汚染土壌に地上部ごとくわですき込んで（栽培期間87日）、エンバク野生種すき込み区とした。エンバク野生種を播種しなかった残りの半分を無処理区とした。

本葉が4～5枚展開したキャベツ苗（‘YR新風’、秋早生）を2008年6月4日に、無処理区、エンバク野生種すき込み区それぞれ40株（各品種20株）を定植した。畝間は50cm、株間は30cmとした。

発病はキャベツ維管束の褐変の有無によって確認した。2008年9月1日に全株の維管束の褐変を調査し、維管束褐変指数として以下のようにランク分けした。0：褐変なし、1：褐変が根部のみ、2：褐変が地際部から外葉下まで、3：褐変が外葉から結球部の下まで、4：褐変が結球部まで及ぶ。これらの維管束褐変指数に基づいて、以下の式に従って発病度を算出した。

Control of Soil Borne Disease by Green Manure Utilization and Soil Reduction Disinfection, and its Prospect. By Kentaro IKEDA, Shizue MIKI, Takeshi KABE, Katsuya KUWABARA, Toshihiko URUSHIBARA, Shinpei BANNO and Makoto FUJIMURA

（キーワード：緑肥作物，土壌還元消毒，土壌病害）

* 現所属：高冷地野菜研究センター

** 現所属：群馬県吾妻農業事務所

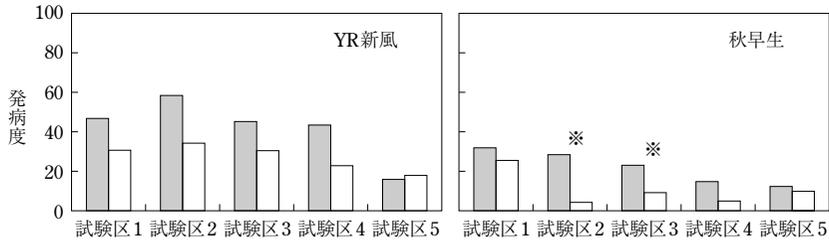


図-1 エンバク野生種のすき込みによるキャベツパーティシリウム萎凋病発病抑制効果
 ■：無処理区，□：エンバク野生種すき込み区。発病度は以下の式に従って算出した。発病度＝ Σ (維管束褐変指数×褐変程度別株数)/(調査株数×4)×100。維管束褐変指数は、0：褐変なし、1：褐変が根部のみ、2：褐変が地際部から外葉下まで、3：褐変が外葉から結球部の下まで、4：褐変が結球部まで及ぶ。試験区1～5にはそれぞれ試験実施の前年に100、50、25、12.5および6.25個/g乾土の微小菌核を混和した。図中の※はマン・ホイットニーのU検定 ($P < 0.05$) で有意差があることを示す。

$$\text{発病度} = \frac{\Sigma(\text{維管束褐変指数} \times \text{褐変程度別株数})}{(\text{調査株数} \times 4)} \times 100$$

エンバク野生種を栽培・すき込みすることで、統計的に有意ではないが、‘YR 新風’の発病度は試験区5を除いて、すべての試験区で無処理区と比較して低くなった。秋早生の発病度は、試験区2および3で有意に低下した(図-1)。エンバク野生種すき込み区では、試験区3を除いて、キャベツ収穫時におけるネグサレセンチュウ密度は減少した(図-2)。これらの結果は、酒井ら(2004)のネグサレセンチュウ密度の低減によって発病が抑制されるとする報告とほぼ一致する。このことから、エンバク野生種の栽培・すき込みによるネグサレセンチュウの密度低減がキャベツパーティシリウム萎凋病の発病抑制につながる事が改めて確認された。

しかし、本試験では、試験区3において、ネグサレセンチュウ密度が減らないにもかかわらず、発病が減少する状況も観察された。このことは、エンバク野生種のすき込みによる発病抑制効果がネグサレセンチュウの防除のみでないことも示している。小長井ら(2005)はエンバク野生種のすき込みによって生じる微生物相の変化が、いくつかの土壌病害の発病軽減に関与することを示唆している。しかし、本試験では無処理区とエンバク野生種すき込み区の間で、一般細菌数、糸状菌数、微生物活性および病原菌密度と相関があるリアルタイムPCRのcrossing pointに差は見られず、微生物的な要因による発病抑制を示唆するデータは得られなかった(データ省略)。また、小長井ら(2005)はエンバク野生種の抽出液が*V. dahliae*の菌糸伸長を阻害することも報告している。これらの事例から、エンバク野生種のキャベツパーティシリウム萎凋病発病抑制には、ネグサレセンチュウ

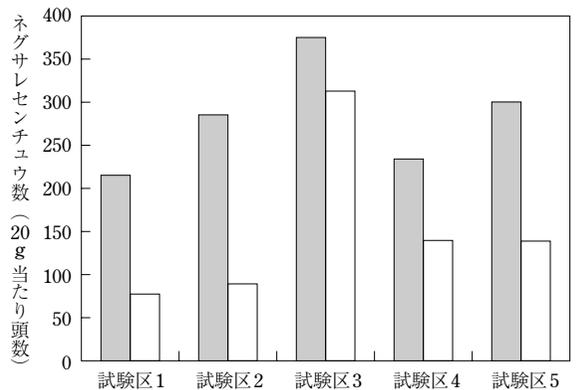


図-2 エンバク野生種のすき込みが土壤中のネグサレセンチュウ密度に与える影響
 ■：無処理区，□：エンバク野生種すき込み区。土壤中のネグサレセンチュウはベルマン法によって回収し、顕微鏡下で計測した。

ウ防除以外の作用機作も否定できず、今後もさらに検討を要する。

II ホウレンソウ萎凋病に対する土壌還元消毒法の防除効果安定化

新村ら(1999)によって開発された土壌還元消毒は、ホウレンソウ萎凋病に対しても有効であることが報告されている(上田ら, 2002; 本多ら, 2003)。土壌還元消毒法は、群馬県内の雨よけホウレンソウ産地においても薬剤に頼らない防除法として導入が開始された。県内のホウレンソウ圃場では、本消毒法を行う際に既存の灌水設備をそのまま活用する方法が多い。この方法では、作業上、灌水後にポリフィルムを被覆することになるた

め、被覆フィルム周縁部を固定することが難しい。そのため防除効果が十分得られない事例があり、本消毒法を普及する上で問題となっている。筆者らはこの問題を解決するため、防除効果が十分得られない原因の解明と防除効果安定化のための技術を検討した（三木ら，2008）ので紹介する。

（1）土壤還元消毒処理中に被覆フィルム周縁部を固定しないことが防除効果に及ぼす影響

試験は、2006年に伊勢崎市内ホウレンソウ萎凋病発生圃場（間口4.5 m × 長さ49 m パイプハウス）で実施した。処理は新村（2000）の方法により、7月26日～8月11日まで行った。なお、現地慣行と同様に被覆フィルム周縁部は固定しなかった。

処理中の深さ10 cmの地温は、被覆中央部で平均41.1℃で、被覆周縁部では平均39.0℃とともに、平均地温30℃以上を確保していた。酸化還元電位は、被覆中央部で処理翌日から-60 mVまで低下し、その後も-250～-70 mVを推移し、処理期間中、還元状態を維持した。一方、被覆周縁部では、処理3日後に-110 mVまで低下したものの、その後電位が上昇し、処理5日後からは、40～180 mVを推移し、還元状態を維持できなかった。

また、深さ20 cmまでの土壤中 *Fusarium oxysporum* 菌の菌密度を西村（2001；NISHIMURA, 2007）の組成による選択培地を用い測定した。土壤還元消毒前の土壤からは、*F. oxysporum* 菌が $2.5 \times 10^2 \sim 3 \times 10^3$ cfu/g 乾土と高菌密に検出された。一方還元消毒後、被覆中央部では本病原菌は全く検出されず、被覆周縁部でも2～30 cfu/g 乾土と消毒前の100分の1程度まで菌密度が低下していた。

処理後、ホウレンソウ（品種：‘ミストラル’）を8月

17日に播種し、草丈が25 cm程度となった9月22日に発病調査を行った。調査は、ハウス両端の出入り口からそれぞれ4 m付近と、ハウス中央部（出入り口から24.5 m付近）の3箇所で行い、調査株ごとに、健全株、萎凋株、枯死株を判別した。被覆中央部では、ほとんど発病株が確認されず、防除効果が高かった。これに対し、ハウスサイドや出入り口付近など被覆フィルムの周縁部では、枯死や萎凋などの症状を呈する発病株が多数確認された（図-3）。

新村（2000）は、土壤還元消毒法で *Fusarium* 菌を短時間で死滅させるためには土壤の強い還元化と30℃以上の地温が必要であると述べている。処理期間中、被覆中央部および周縁部とも、地温30℃以上を確保していた。しかし、被覆中央部では還元状態を維持したが、周縁部では維持できなかった。これは、処理期間中に被覆フィルムの端から蒸発によって土壤水分が減少し、還元状態を維持できなくなったためと考えられる。その結果、消毒効果が不十分となり、処理後でも被覆周縁部では本病菌が微量ながら検出され、被覆周縁部で多く発病したと推測される。

（2）被覆フィルム周縁部固定による防除効果安定化

被覆周縁部の防除効果を安定させるためには、被覆周縁部を固定することが必須条件となると考えられた。しかし、被覆周縁部を土で押さえる方法では、未消毒の箇所ができてしまい、未消毒部分からの本病菌の再汚染が懸念される（酒井，2006）。そこで、土以外で被覆周縁を押さえる以下の固定資材を検討した。

被覆フィルム周縁部を固定する資材として、折幅20 cmのポリダクト（材質：ポリエチレン、厚さ：0.10 mm）に水を封入したもの（以下、「水封ダクト」、重量：約12 kg/m）、折幅5 cmのポリチューブ（材

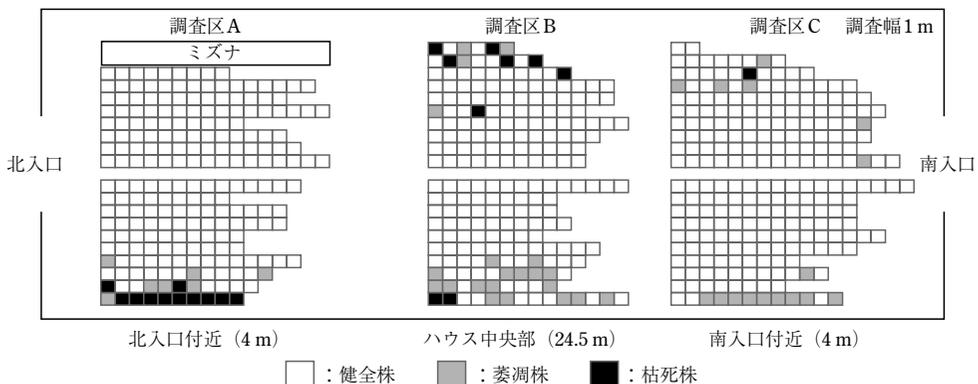


図-3 被覆フィルム周縁を固定しなかった場合の土壤還元消毒処理後のホウレンソウ萎凋病の発病（2006年伊勢崎圃場；三木ら，2008）

質：ポリエチレン、厚さ：0.12 mm) に水を封入したものの(以下「水封チューブ」、重量：約 0.8 kg/m) および、工事現場などで使用されている単管パイプ(材質：炭素鋼、直径：48.6 mm、厚さ：2.4 mm、重量：2.7 kg/m) の3種類の資材について検討した。

試験は、2007年に伊勢崎市内ハウレンソウ萎凋病発生圃場(2006年試験と同圃場、以下、伊勢崎圃場)および、佐波郡玉村町内ハウレンソウ萎凋病発生圃場(間口×長さ28 mパイプハウス、以下、玉村圃場)と群馬県農業技術センター内圃場(間口4.5 m×長さ20 mパイプハウス、以下、センター内圃場)で新村の方法(2000)により土壌還元消毒を行った。各処理日は、伊勢崎圃場7月30日～8月16日、玉村圃場7月10日～8月6日、センター内圃場7月26日～8月16日であった。

伊勢崎圃場で酸化還元電位は、処理中被覆フィルム周縁を押さえない無設置区では100～300 mVの値に推移し還元状態に至らなかった。これに対し、処理中に水封ダクトを設置した被覆周縁部では、処理3日後から14日後の調査までの期間-30～-60 mVを維持し、被

覆中央部と同様に還元状態が保たれていた(図-4)。

発病調査の結果、被覆周縁部では水封ダクトの設置により、発病株率が伊勢崎圃場0.4%、玉村圃場0%、センター内圃場1.9%といずれも発病が抑えられ、無設置区に比べ防除効果が高まった(表-1)。一方、水封チューブ設置では、還元状態を維持できず、無設置区と同様に発病し、防除効果が高まらなかった(表-1)。

また、センター内圃場試験の結果、単管パイプ設置区は発病株率2.9%で、無設置区の発病株率24.9%に対し、発病が抑えられ、防除効果が高まった(表-1)。

以上の結果、被覆周縁部の防除効果を高めるためには、水封ダクトおよび、単管パイプでの被覆周縁部固定が有効であることが確認された。これは、上記資材で被覆周縁部を固定したことで、還元状態を維持するのに必要な土壌水分が保持されたため、防除効果が高まったと考えられる。一方、水封チューブの設置では還元状態を維持するのに必要な土壌水分が保持されず、防除効果が高まらなかったと考えられる。したがって、被覆周縁部で安定した防除効果を得るためには固定資材として、単管パイプと同程度以上の重量が必要である。また、本技術は土壌くん蒸剤による土壌消毒を行う場合でも、被覆周縁部の防除効果を安定させるのに有効であると考えられる。今後、土壌消毒を行う場合にこの技術が広く活用されることを期待する。

おわりに

群馬県では、エンバク野生種の栽培・すき込みによるキャベツのバーティシリウム萎凋病の発病抑制効果を確認した。エンバク野生種の栽培・すき込みには、今回確認したキャベツバーティシリウム萎凋病の発病抑制効果だけではなく、緑肥作物として、有機物質の投入、土壌

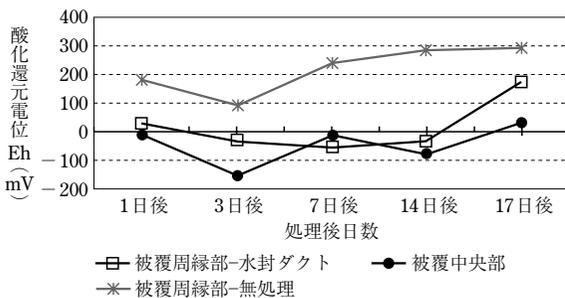


図-4 深さ10 cmの酸化還元電位の推移(2007年伊勢崎;三木ら,2008)

表-1 被覆周縁部の固定によるハウレンソウ萎凋病の防除効果(三木ら,2008)

区名	伊勢崎圃場			玉村圃場			センター内圃場		
	調査株数	発病株率 (%) ^{a)}	発病度 ^{b)}	調査株数	発病株率 (%)	発病度 ^{b)}	調査株数	発病株率 (%)	発病度 ^{c)}
水封ダクト設置	243	0.4 b	0.2	206	0 b	0	912	1.9 c	0.5
水封チューブ設置	— ^{d)}	—	—	193	6.7 a	5.4	—	—	—
単管パイプ設置	—	—	—	—	—	—	840	2.9 c	1.4
中央部	139	0 b	0	228	0 b	0	672	5.4 b	1.7
無設置	235	6.4 a	4.3	208	7.2 a	5.0	800	24.3 a	9.4

^{a)} 各試験圃場の表中の異なるアルファベット文字間には Tukey's HSD-test により5%水準で有意差あり。^{b)} 発病度(伊勢崎・玉村圃場) = $\frac{|\sum(\text{発病株} \times \text{発病指数})|}{(\text{調査株数} \times 3)} \times 100$ 。発病指数: 0 無病徴, 1 下葉の黄化・萎凋, 2 全身の黄化・萎凋, 3 枯死。^{c)} 発病度(センター内圃場) = $\frac{|\sum(\text{発病株} \times \text{発病指数})|}{(\text{調査株数} \times 4)} \times 100$ 。発病指数: 0 無病徴, 1 根の維管束に褐変, 2 下葉の黄化・萎凋, 3 全身の黄化・萎凋, 4 枯死。^{d)} 調査なし。

物理性の改善，土壌流亡防止などの効果があるとされている。このような副次的な効果もあり，現在キャベツの主産地である福徳地域では約 600 ha でエンバク野生種の栽培が導入されている（群馬県吾妻農業事務所調べ）。

一方，土壌還元消毒法については 130 件の農家が導入している。実施農家からは，「土壌還元消毒後，根張りが良くなり，土作り効果も期待できる」という反応もある。本県の多くの農家が本法を導入しているのは，このような効果によるものも大きい。

今後は，総合的病害虫管理技術の現地普及のため，緑肥作物や土壌還元消毒の導入について関係機関と協力して推進していきたい。

引用文献

- 1) 本多範行ら (2003): 福井農試研報 40: 35 ~ 41.
- 2) 剣持伊佐男ら (1997): 関東東山病虫研報 44: 83 ~ 85.
- 3) 小長井健ら (2005): 日植病報 71: 101 ~ 110.
- 4) 三木静恵ら (2008): 関東病虫研報 55: 15 ~ 18.
- 5) 新村昭憲 (2000): 農業技術体系土壌施肥編 5-1 (農文協編), 農文協, 東京, 212 pp.
- 6) ———ら (1999): 日植病報 65: 352 ~ 353.
- 7) NISHIMURA, N. (2007): J. Gen. Plant Pathol. 73: 342 ~ 348.
- 8) 西村範夫 (2001): 日植病報 67: 198 ~ 199.
- 9) 酒井 宏ら (2001): 同上 67: 160 ~ 161. (講要)
- 10) ———ら (2002): 同上 68: 199. (講要)
- 11) ———ら (2004): 同上 70: 246 ~ 247. (講要)
- 12) ——— (2006): 土壌伝染病談話会レポート 20: 105 ~ 113.
- 13) 上田賢悦ら (2002): 北日本病虫研報 53: 52 ~ 54.
- 14) 和田健夫ら (1982): 関東東山病虫研報 29: 181 ~ 182.
- 15) 山田英一 (1998): 牧草と園芸 46: 8 ~ 14.

好評発売中

農薬取締法令・関連通達集

(社)日本植物防疫協会編 B5判 261 ページ
 価格: 1,050 円(税込) 送料 340 円



<掲載内容>

農林水産省・環境省・厚生労働省関連の農薬に関する政令、省令、告示、関連通知、その他省令を網羅

- ・ 農薬取締法と関連の政・省令を見やすく 2 列に表示
- ・ 農薬関連の告示を取締法に関連付けてレイアウト
- ・ 関連する通知文およびその他関連法令 (抄) も掲載

農業関係者必携の 1 冊です。