

土壌還元消毒によるネグサレセンチュウ類の防除効果 及び施設イチゴへの適用

片瀬 雅彦・渡辺 一*・市東 豊弘**・久保田 祥子***・上遠野 富士夫

キーワード：イチゴ、ネグサレセンチュウ、土壌還元消毒、減農薬、フスマ

I 緒 言

千葉県において、ネコブセンチュウ類、ネグサレセンチュウ類、シストセンチュウ類などの植物寄生性線虫による農作物の被害が広範囲に発生している(萩谷、1992)。線虫防除には、作業性、経済性及び防除効果の安定性の点から土壌消毒剤による化学的防除法が主に用いられてきた。近年、環境保全に対する関心が高まる中、2005年の臭化メチル廃止を契機として、線虫の物理的、耕種的及び生物的防除法に対する期待が高まっている(水久保、2000)。

物理的防除法の一つである土壌還元消毒は、北海道において施設ネギの根腐萎凋病の防除法として開発された(新村ら、1999)。その後、施設トマトの土壌病害及びサツマイモネコブセンチュウに対する防除効果が明らかにされた(久保ら、2004)。また、土壌還元消毒による土壌化学性の変化が分かり、処理後の施肥方法の指針が示された(牛尾ら、2004)。今後は、土壌還元消毒の適用作物と適用病害虫の拡大及び防除効果のさらなる安定化が課題である。

本報では、ネグサレセンチュウ類に対する土壌還元消毒の防除効果を室内試験で明らかにし、施設イチゴのネグサレセンチュウ類に対する防除効果を現地試験で実証した。

本研究の実施にあたり、独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構中央農業総合研究センター水久保隆之博士にネグサレセンチュウ類を同定して頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

なお、本研究は、プロジェクト研究「農林業未利用資

源の再資源化とその活用による農林地の維持管理技術並びに農林業の持続的生産システムの確立」の一環として実施したものである。

II 材料及び方法

1. 室内における土壌還元消毒の再現試験

(1) 材料の線虫汚染土壌

3種類の線虫をそれぞれ含む土壌を供試した。すなわち、1) トマト及びホウセンカを栽培してサツマイモネコブセンチュウ *Meloidogyne incognita* を維持してきた当センターのビニルハウスから、土壌を採取した。平均密度は20g当たり302頭であった。2) キクを栽培してキタネグサレセンチュウ *Pratylenchus penetrans* を維持してきた当センターのビニルハウスから、土壌を採取した。平均密度は20g当たり51頭であった。3) 現地実証試験を行った横芝町のイチゴ栽培施設からクルミネグサレセンチュウ *Pratylenchus valnus* を含む土壌を採取した。平均密度は20g当たり76頭であった。土壌の種類は、前二者が黒ボク土、後者は褐色低地土(砂質)であった。これらの土壌を2mmメッシュの篩に通して供試した。

(2) 室内試験1

キタネグサレセンチュウとサツマイモネコブセンチュウに対する土壌還元消毒の効果を明らかにするため、キタネグサレセンチュウを含む土壌10gとサツマイモネコブセンチュウを含む土壌2g、計12gを混合して30 μ mのナイロンメッシュで包み、これを次の3条件でインキュベートした。A区：ナイロンメッシュに包んだまま試験管に入れた状態、B区：ナイロンメッシュに包んだ土壌を試験管の中で蒸留水に浸漬させた状態、C区：土壌12gにフスマ0.12gを添加してナイロンメッシュで包み、これを試験管の中で蒸留水に浸漬させた状態。C区は土壌還元消毒を想定し、A区とB区は対照として太陽熱土壌消毒を想定したものである。温度を30、35及び40 $^{\circ}$ Cに設定した3台の恒温器に各区の土壌を入れ、6~36時間インキュベートした。インキュベート終了後、土壌が

2004年9月30日受理

* 全国農業協同組合連合会千葉県本部

** 山武農業改良普及センター(現山武農林振興センター)

*** 海匝農業改良普及センター(現千葉農林振興センター)

本報の一部は、第51回関東東山病害虫研究会(2004年1月22日)において発表した。

らベルマン法 (25℃、72時間) で線虫を分離し計数した。この線虫頭数を生存数とし、土壌の初期頭数から生存率を計算した。試験は各処理を3反復行った。

(3) 室内試験 2

クルミネグサレセンチュウとサツマイモネコブセンチュウに対する土壌還元消毒の効果を明らかにするため、クルミネグサレセンチュウを含む土壌10gとサツマイモネコブセンチュウを含む土壌2g、計12gを混合して30μmのナイロンメッシュで包み実験に供した。室内試験1と同様にB区とC区を設け、30℃で24時間インキュベートした後、ベルマン法 (25℃、72時間) で線虫を分離した。試験は各処理を4反復行った。

2. 施設イチゴを対象とした現地実証試験

(1) 山武郡横芝町における現地実証試験

現地農家の2連棟のビニルハウス (410㎡、褐色低地土 (砂質)) で、千葉県農林技術会議 (2002) に準じて土壌還元消毒を実施した。本圃場ではネグサレセンチュウ類によるイチゴの根の褐変及び地上部の萎凋が発生し、収量は2002年2月以降から減少した。収穫終了時の5月27日に株元から土壌を採取したところ、20g当たり353頭のネグサレセンチュウ類が分離され、クルミネグサレセンチュウと同定された。

6月17日にフスマを1t/10a散布し、ロータリーで耕耘した。灌水チューブを敷設後、ポリフィルムで土壌表面を被覆して灌水し、7月31日までビニルハウスを密閉した。9月10日にイチゴ苗 (品種:とちおとめ) を定植し、翌年5月まで収穫した。本試験では対照区を設けなかった。

ビニルハウスを密閉している期間、ビニルハウス中央部の1地点で、深さ20及び40cmの地温をサーモレコーダ (RT-11、タバイエスベック株式会社) で測定した。

土壌還元消毒の前後に、ビニルハウス内の5地点を無作為に選び、深さ0~20、20~40及び40~60cmの土壌を採取した。栽培期間中、イチゴの株元から20cm離れた個所で、バットの上部から0~20、20~40及び40~60cmの深さの土壌を採取した。これらの土壌20gからベルマン法 (25℃、72時間) で線虫を分離した。土壌還元消毒直後の土壌は湿潤状態であったため、数日間風乾して線虫を分離した。

(2) 八日市場市における現地実証試験

現地農家の2連棟のビニルハウス (388㎡、褐色低地土 (砂質)) で、千葉県農林技術会議 (2002) に準じて土壌還元消毒を実施した。本圃場ではネグサレセンチュウ類による根の褐変及び地上部の萎凋が発生し、収量は2002年3月から減少した。

7月23日に、フスマを2t/10a散布して深耕ロータリーで耕耘し、鎮圧ローラで整地した。頭上灌水を3時間行った後、地表面をポリフィルムで被覆し、8月12日まで施設を密閉した。9月25日にイチゴ苗 (品種:とちおとめ) を定植し、翌年5月まで収穫した。横芝町での実証試験と同様に対照区を設けなかった。

ビニルハウスを密閉している期間、ビニルハウス中央部の1地点で、深さ15及び30cmの地温をサーモレコーダで測定した。

土壌還元消毒の前後及び栽培期間中、上記の実証試験と同様に、土壌を採取し線虫を分離した。

III 結 果

1. 室内における土壌還元消毒の再現試験

(1) 室内試験 1

土壌を40℃でインキュベートした場合のキタネグサレセンチュウ頭数の経時変化を第1図に示した。線虫頭数は各区とも経時的に減少したが、A区では18時間、B区では12~18時間、C区では6時間で分離されなくなった。

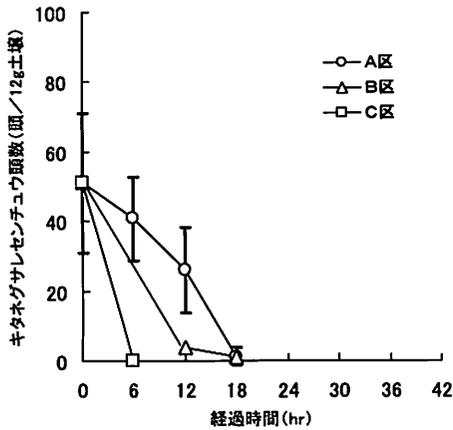
土壌を35℃でインキュベートした場合のキタネグサレセンチュウ頭数の経時変化を第2図に示した。A区では36時間まで線虫頭数の顕著な減少は認められなかった。B区では経時的に線虫頭数が減少し、24~36時間で分離されなくなった。C区における線虫頭数の減少程度はB区よりも大きく、6~12時間で分離されなくなった。

土壌を30℃でインキュベートした場合のキタネグサレセンチュウ頭数の経時変化を第3図に示した。A区では、35℃の場合と同様に、36時間まで線虫頭数の顕著な減少は認められなかった。B区では36時間で線虫頭数が顕著に減少した。C区の線虫頭数の減少程度はB区よりも大きく、18~24時間で分離されなくなった。

以上の試験では、キタネグサレセンチュウの計数と同時に、サツマイモネコブセンチュウも計数した。両者の経時的な減少パターンを比較するために、30℃における生存率の経時変化を第4図に示した。変動はかなり大きかったが、両者の生存率の減少パターンはほぼ一致し、C区では18時間で生存率がほぼ10%、24時間で0%、B区では36時間で生存率がほぼ20%になった。

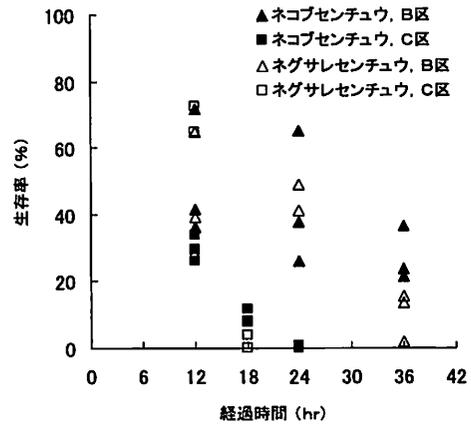
(2) 室内試験 2

クルミネグサレセンチュウとサツマイモネコブセンチュウを含む土壌を30℃で24時間インキュベートした時の分離頭数と生存率を第1表に示した。C区では、いずれの線虫も24時間で生存率は約10%になった。一方、B区では、両者の分離頭数の変動がきわめて大きく、生



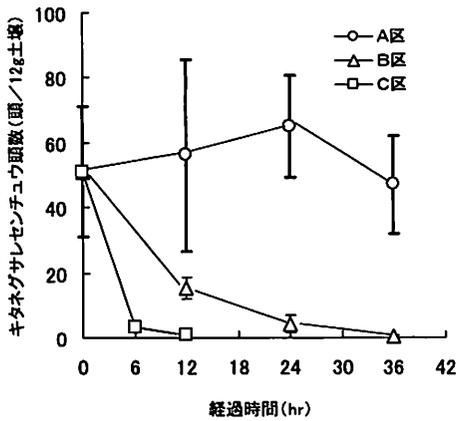
第1図 40°Cにおけるキタネグサレセンチュウ頭数の経時変化

注1) A区：蒸留水に浸漬しない、B区：蒸留水に浸漬、C区：フスマを添加して蒸留水に浸漬。
2) 垂線は標準偏差 (n=3) を示す。



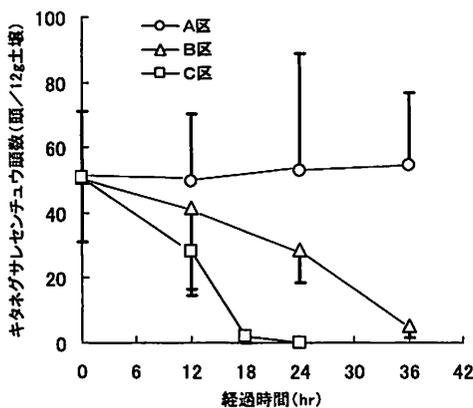
第4図 30°Cにおけるキタネグサレセンチュウとサツマイモノコブセンチュウの生存率の経時変化

注) B区：蒸留水に浸漬、C区：フスマを添加して蒸留水に浸漬。



第2図 35°Cにおけるキタネグサレセンチュウ頭数の経時変化

注1) A区：蒸留水に浸漬しない、B区：蒸留水に浸漬、C区：フスマを添加して蒸留水に浸漬。
2) 垂線は標準偏差 (n=3) を示す。



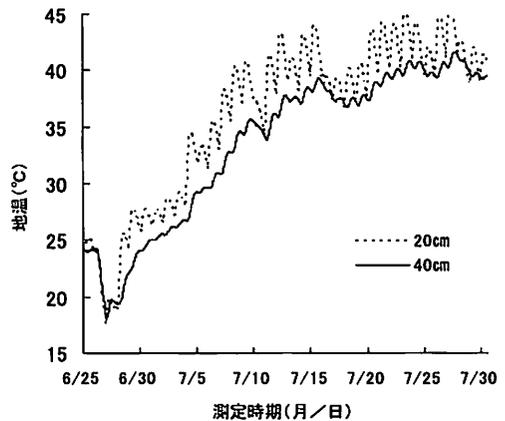
第3図 30°Cにおけるキタネグサレセンチュウ頭数の経時変化

注1) A区：蒸留水に浸漬しない、B区：蒸留水に浸漬、C区：フスマを添加して蒸留水に浸漬。
2) 垂線は標準偏差 (n=3) を示す。

第1表 蒸留水に浸漬して30°Cでインキュベートした場合の24hr後の線虫頭数と生存率

線虫の種類	試験区1)	線虫頭数2)	生存率 (%)
		(頭/12g土壌)	
クルミネグサレセンチュウ	B区	33 ± 11	86
	C区	3 ± 2	9
サツマイモノコブセンチュウ	B区	45 ± 30	149
	C区	3 ± 3	11

注1) B区：蒸留水に浸漬、C区：フスマを添加して蒸留水に浸漬。
2) 平均±標準偏差 (n=4)



第5図 土壌還元消毒期間における深さ20cm及び40cmの地温の経時変化 (横芝町)

存率の顕著な減少は認められなかった。

2. 施設イチゴを対象とした現地実証試験

(1) 山武郡横芝町における実証試験

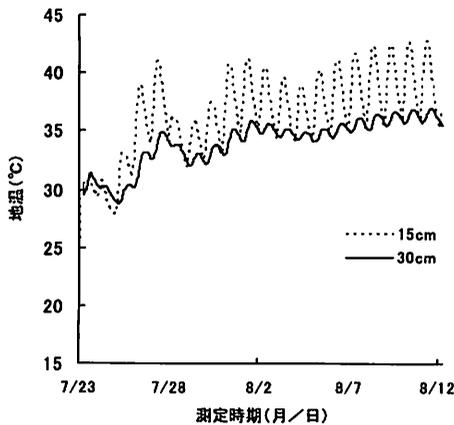
圃場の透水性が高く、さらに水の供給量が少なかったため、灌水を6月17日から2日間行った。また、灌水を止めてから5日間は曇天であった。このため、処理前半の地温は低かった(第5図)。しかし、7月20日に梅雨が

明けて好天になったため、処理後半は高い地温が維持された。

ネグサレセンチュウ類頭数の経時変化を第2表に示した。土壌還元消毒前の6月17日に深さ60cmまでネグサレセンチュウ類が分離されたが、処理直後の7月31日及び翌年3月11日から収穫終了時の5月22日まで分離さ

第2表 土壌還元消毒前後及び収穫期間におけるネグサレセンチュウ類頭数(頭/20g土壌)の経時変化(横芝町)

施設	深さ (cm)	消毒前 6/17	消毒後 7/31	収穫期間		
				3/11	4/15	5/22
ハウス1	0-20	29	0	0	0	0
	20-40	4	0	0	0	0
	40-60	7	0	0	0	0
ハウス2	0-20	26	0	0	0	0
	20-40	20	0	0	0	0
	40-60	5	0	0	0	0



第6図 土壌還元消毒期間における深さ15cm及び30cmの地温の経時変化(八日市場市)

第3表 被覆が剥がれなかった箇所(ハウス2a)と剥がれた箇所(ハウス2b)における土壌還元消毒の効果の比較(八日市場市)

採取時期	施設	深さ (cm)	線虫頭数(頭/20g土壌)	
			全線虫	ネグサレセンチュウ類
消毒前	ハウス2	0-20	1320	0
		20-40	660	17
		40-60	72	7
消毒後	ハウス2a	0-20	0	0
		20-40	1	0
		40-60	5	0
	ハウス2b	0-20	327	0
		20-40	15	2
		40-60	4	2

第4表 土壌還元消毒前後及び収穫期間におけるネグサレセンチュウ類頭数(頭/20g土壌)の経時変化(八日市場市)

施設	深さ (cm)	消毒前 7/23	消毒後 8/12	収穫期間				
				12/16	1/30	3/4	4/10	5/8
ハウス1	0-20	0	0	0	0	0	0	1
	20-40	0	0	0	0	0	0	17
	40-60	8	0	0	0	0	0	40

れなかった。

収穫期間中、外見的に線虫害は認められなかった。また、収穫終了時、イチゴの根に根腐症状は確認されなかった。

(2) 八日市場市における実証試験

土壌還元消毒の開始日から好天が続き、開始から3日目で深さ30cmの地温は30℃に達した(第6図)。施設内が高温になり、頭上灌水装置への影響が懸念されたため、側窓を開けて施設内の気温を下げた。このため、処理期間中、深さ30cmの地温は35℃前後で推移した。

土壌還元消毒の終了時、2連棟のビニルハウスの片側(ハウス2)の被覆フィルムの一部が剥がれ、その土壌表面が乾燥していた。処理期間中に側窓から吹き込んだ風が原因である。そこで、被覆が剥がれなかった箇所(ハウス2a)と剥がれた箇所(ハウス2b)から土壌を採取して線虫を分離した(第3表)。ハウス2aからネグサレセンチュウ類は分離されなかったが、ハウス2bの深さ20-40及び40-60cmで平均2頭ずつ分離された。このため、ハウス2bの部分ホスチアゼート粒剤で土壌消毒した。なお、ネグサレセンチュウ類を含む全線虫数は、ハウス2bがハウス2aより高かった。

2連棟のビニルハウスで、被覆が剥がれなかった片側(ハウス1)におけるネグサレセンチュウ類頭数の経時変化を第4表に示した。土壌還元消毒前にネグサレセンチュウ類が分離されたが、消毒直後には分離されなかった。翌年4月10日までネグサレセンチュウ類は分離されなかったが、収穫終了時の5月8日に分離された。しかし、収穫終了時までイチゴに外見的な線虫害は認められなかった。

IV 考 察

室内試験で太陽熱土壌消毒(A区及びB区)と土壌還元消毒(C区)を再現し、キタネグサレセンチュウに対する殺線虫効果を比較した。インキュベートの温度が40、35及び30℃のいずれの場合も、線虫頭数の減少はC区がA区及びB区よりも著しかったことから、キタネグサレセンチュウに対する土壌還元消毒の殺線虫効果は太陽熱土壌消毒よりも高いことが示された(第1図、第2図及

び第3図)。特に30℃の場合、殺線虫効果はA区及びB区で低かったが、C区では高かった。これは、地温30℃の場合、殺線虫効果は太陽熱土壤消毒では低いが、土壤還元消毒では十分高いことを示している。したがって、施設トマトで示されたように(久保ら、2004)、現地圃場における土壤還元消毒の実施期間は、太陽熱土壤消毒よりも拡大できると考える。

一方、30及び35℃の場合、殺線虫効果は36時間までA区で現れなかったが、B区では認められた。キタネグサレセンチュウが土壤から分離されなくなる処理温度と処理時間の組み合わせは、50℃で1時間、45℃で72時間、40℃で72時間以上(皆川ら、2004)、クルマネグサレセンチュウの場合は40℃で6時間(高橋、1986)と報告されている。今回の室内試験では、キタネグサレセンチュウに対する殺線虫効果がない30～35℃であっても、蒸留水への浸漬はキタネグサレセンチュウに対し顕著な殺線虫効果を示した。ネコブセンチュウ類の場合、30℃の湛水条件下で防除が可能とする報告がある(小林、1974；田中ら、1975)。したがって、太陽熱土壤消毒の線虫防除効果は、処理前の灌水によって高くなる。

キタネグサレセンチュウ及びクルマネグサレセンチュウに対する土壤還元消毒の殺線虫効果は、サツマイモネコブセンチュウとほぼ同じであった(第4図及び第1表)。したがって、ネグサレセンチュウ類の防除に、施設トマトのサツマイモネコブセンチュウに対する土壤還元消毒の結果(久保ら、2004)が応用できるものと考えられる。

施設イチゴは、ネグサレセンチュウ類によって大きな被害を受ける作物である。イチゴにはキタネグサレセンチュウ、クルマネグサレセンチュウ並びにノコギリネグサレセンチュウの寄生が確認されているが、特にクルマネグサレセンチュウの重要性が高く(近岡、1970；坂口・西澤、1991)、千葉県でも多く発生している(植松ら、1982；三平、1999)。そこで、線虫害が発生している現地の施設イチゴにおいて実証試験を行った結果、土壤還元消毒の高い実用性が示された(第2表及び第4表)。

一方、イチゴ萎黄病に対する土壤還元消毒の効果が報告されている(小山田ら、2003)。また、イチゴ芽枯病に対する土壤還元消毒の効果も示唆されており(久保ら、2004)、土壤還元消毒には線虫害と土壤病害に対する同時防除効果が期待できる。

一般に、トマトなどの根張りの深い作物では、土壤の深い所にまで植物寄生性線虫が生息するので、薬剤による土壤消毒の効果が十分でない場合がある。土壤還元消毒においても同様の傾向があり、処理後に残ったネコブセンチュウ類が栽培後期になると増殖してくる(久保ら、2004)。これに対して、イチゴは浅根性で、植物寄生性

線虫の生息深度が浅いため、太陽熱土壤消毒でも高い防除効果が得られる(新須ら、1981；脇部、1995)。このことが、施設イチゴで土壤還元消毒の効果が高かった要因と考えられる。また、促成イチゴは高温時に施設を空けることが比較的容易であるため、太陽熱土壤消毒及び土壤還元消毒の導入に適した作物といえる。すなわち、両者は化学薬剤を用いない環境保全型の土壤消毒法として、促成イチゴの施設において実用性が高い。

千葉県における太陽熱土壤消毒の適期は、高温時の7～8月である。一方、土壤還元消毒が実施できる期間は6～9月であり(久保ら、2004)、太陽熱土壤消毒よりも実施できる期間が長い。また、土壤還元消毒の経費は薬剤消毒とほぼ同じであるが(関東東海北陸農業研究成果情報、2002)、太陽熱土壤消毒の経費はそれよりも安く、作業強度は弱い。したがって、施設イチゴの土壤消毒には、実施時期、気象条件、経済性、作業性、施設の利用状況及び土壤病害虫の発生状況に合わせて、土壤還元消毒と太陽熱土壤消毒の使い分けが可能である。

V 摘 要

土壤還元消毒のネグサレセンチュウ類に対する殺線虫効果を室内試験で明らかにし、施設イチゴの線虫防除における実用性を現地農家の施設で実証した。

- 1.フスマを添加した土壤をナイロンメッシュで包み蒸留水に浸漬すると、土壤中のキタネグサレセンチュウ頭数は経時的に減少し、30℃で24時間、35℃で6～12時間、40℃で6時間で検出されなくなった。
- 2.キタネグサレセンチュウ及びクルマネグサレセンチュウに対する土壤還元消毒の殺線虫効果は、これまで知られているサツマイモネコブセンチュウに対する効果と同様に高かった。
- 3.ネグサレセンチュウ類による被害が発生しているイチゴの施設で土壤還元消毒を実施した結果、収穫終了時まで線虫害が発生せず、高い線虫防除効果が実証された。

VI 引用文献

- 千葉県農林技術会議(2002). 土壤還元消毒法によるトマトの土壤病害虫防除. 農林技術会議資料. p.15.
- 関東東海北陸農業研究成果情報(2002). [成果情報名]土壤還元消毒法による施設栽培トマトの土壤病害虫防除(久保周子・片瀬雅彦・牛尾進吾・大塚英一・山本二美・栗原大二・福地信彦・竹内妙子・金子文宜). 平成14年度関東東海北陸農業研究成果情報Ⅲ.

158-159

- 小林義明 (1974). 高温・たん水処理によるネコブセンチュウの防除. 静岡農試研報. 19: 44-51.
- 近岡一郎 (1970). イチゴを加害するクルミネグサレセンチュウ (*Pratylenchus vulnus*) の防除に関する研究. 神奈川農総研報. 109: 61-77.
- 萩谷俊一(1992). 関東の線虫. 線虫研究の歩み (中園和年編). 306-309. 日本線虫研究会. つくば市.
- 久保周子・片瀬雅彦・清水喜一・加藤浩生・竹内妙子 (2004). トマト土壌病害虫に対する土壌還元消毒の効果. 千葉農総研報. 3: 95-104.
- 三平東作 (1999). クルミネグサレセンチュウのイチゴへの寄生と加害. 千葉の植物防疫. 87: 1-3.
- 皆川 望・相場 聡・片山勝之・三浦憲蔵 (2004). 夏季マルチ処理による露地太陽熱処理の線虫密度低減効果. 中央農研研報. 4: 25-34.
- 水久保隆之 (2000). 最近の線虫研究の動向と線虫問題. 植物防疫. 54: 11-22.
- 小山田浩一・鈴木聡・和田悦郎・齋藤芳彦 (2003). 土壌還元消毒法のイチゴ萎黄病に対する防除効果. 関東東山病虫研報. 50: 49-53.
- 坂口荘一・西澤 努 (1991). イチゴの萎ちよう性病害見分け方・発生生態・防除(4). 植物防疫. 45: 403-406.
- 新村昭憲・坂本宣崇・阿部秀夫 (1999). 還元消毒法によるネギ根腐萎ちよう病の防除. 日植病報. 67: 352.
- 新須利則・坂口荘一・小川義雄・坂本敏嗣 (1981). イチゴ根腐萎ちよう症に関する研究. 長崎総農試研報 (農業部門). 9:69-94.
- 高橋兼一 (1986). 太陽熱利用と薬剤処理併用によるクルミネグサレセンチュウの防除. 日線虫誌. 16: 68-70.
- 田中行久・三宅三恵子・赤沢椒紀・山中道勇・賛田博躬 (1975). 土壌病害のたん水による防除. 土と微生物. 17: 17-28.
- 植松清次・松本幹男・杉田恒雄・小野木静夫 (1982). クルミネグサレセンチュウの発生とイチゴの連作年数および土壌消毒との関係. 関東東山病虫研報. 29: 176-177.
- 牛尾進吾・片瀬雅彦・久保周子・山本二美・大塚英一・安西徹郎 (2004). 土壌還元消毒による施設黒ボク土の土壌化学性の変化. 千葉農総研報. 3: 105-112.
- 脇部秀彦 (1995). イチゴのクルミネグサレセンチュウ防除の現状と展望. 日線虫誌. 25: 94-98.

Effects of Sterilization by Soil Reduction on Root-lesion Nematodes and its Application to Nematode Control in Strawberry Fields

Masahiko KATASE, Hajime WATANABE^{*}, Toyohiro SITO^{**}, Shoko KUBOTA^{***}

and Fujio KADONO

Key words : strawberry, root-lesion nematode, soil reduction, pesticide reduction, wheat bran

Summary

A new method of sterilization by soil reduction was a combined treatment of wheat bran amendment, temporary flooding, and soil solarization for control of soil-borne plant diseases and plant-parasitic nematodes. Effects of sterilization by soil reduction on root-lesion nematodes, *Pratylenchus penetrans* and *P. vulnus*, were examined under laboratory conditions and in commercial strawberry fields.

1. Root-lesion nematodes in water-saturated soil supplemented with 0.1% wheat bran were readily killed when incubation temperature was 40 C for 6 hr, 35 C for 6-12 hr, and 30 C for 24 hr.
2. Sterilization by soil reduction in the strawberry greenhouse resulted in low root-lesion nematode populations that caused no damage. This shows that the sterilization by soil reduction is effective for nematode control in commercial strawberry fields.

(*Chiba Prefectural Headquarters National Federation of Agricultural Cooperative Associations, ** Sanbu Agricultural Extension Center, Present Address: Sanbu Agriculture and Forestry Promotion Center, ***Kaiso Agricultural Extension Center, Present Address: Chiba Agriculture and Forestry Promotion Center)