

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

皆川 望*1・相場 聡*2・片山勝之*3・三浦憲蔵*4

I はじめに

施設栽培の野菜病害や線虫を対象とした太陽熱処理（「太陽熱消毒」と呼ばれることもある）は、1970年代に多くの試験が行われ⁽³⁾、開発された技術は「ハウス密閉」、「蒸し込み」等と呼ばれ普及・定着している⁽⁵⁾。しかし、露地における太陽熱処理の試験例は少なく、また、技術の普及程度も小さい。

地域先導技術総合研究「関東平野における高品質野菜の環境保全型生産技術の開発」の現地実証試験の実施等に協力をいただいた茨城県筑波郡谷和原村の谷和原村野菜出荷組合では、秋冬作ニンジンの生産にあたって、露地の太陽熱処理を微生物資材の施

用と組み合わせてすでに十数年前から導入していた。その後、微生物資材の施用は取りやめた農家が多くなったものの、太陽熱処理はニンジンの生産技術体系の中で引き続き使われてきた。

本研究は、太陽熱処理の持つ有害線虫防除技術としての有用性を検証するとともに、この技術の限界を明らかにすることを目的として行った。結論を先に言えば、太陽熱処理は、秋冬作ニンジン生産の有害線虫や雑草の防除⁽⁴⁾に有用な技術であり、別報の施肥技術⁽⁷⁾も含め本研究の結果を参考に他の作物生産への利用拡大を期待したい。

II 材料および方法

(1) 圃場試験 1

a. 圃場：農業研究センター谷和原畑圃場（茨城県筑波郡谷和原村）

b. 処理：堆肥および緩効性肥料を施用した後、ロータリ耕を行い、幅110cm、高さ約10cmの平うねの表面を、厚さ0.03mmのポリエチレン製透明マルチフィルムを用いて1997年の6月26日から8月1日まで36日間被覆し、太陽熱処理を行った。対照区として、処理区と同様に施肥、耕耘、平うねづくりを行うが、フィルムによる被覆を行わない区を設けた。それぞれの調査区は、面積68m²（8.5×8.0m、うね6本）とし、3反復を設けた。

c. 調査項目および時期：土壌中の線虫密度を、太陽熱処理前の6月24日および処理後の8月1日に調査した。また、処理を完了した8月1日、フィルムを除去した直後に、ニンジン（品種「向陽2号」）

を株間8cm、条間15cmに3粒ずつ播種した。ニンジン生育中、約1月ごとに線虫密度を調査した。

d. 土壌サンプリング：太陽熱処理前はロータリ耕の後、地表面から10cmまでの土壌を移植こてを用いて処理区ごとに約1kgを採取した。処理後およびニンジン生育中は、地表面から5cmまでと5～10cmまでの土壌を処理前と同様の方法で採取した。採取は、処理前、処理後およびニンジン生育中ともに、各試験区にある幅110cmの6本のうねのうち、外側の2本を除いた4本から、各うねの中程2カ所から行った。

e. 線虫分離：ベルマン法（土壌20g、紙フィルタ（キムワイプTM1枚）、72時間、室温、3反復）を用いて土壌から線虫を分離した。

f. 線虫計数：分離された線虫を40～100倍の顕微鏡下で計数した。

平成14年9月27日受付 平成15年11月10日受理

*1 現 九州沖縄農業研究センター地域基盤研究部

*2 虫害防除部

*3 現 企画調整部

*4 現 東北農業研究センター地域基盤研究部

(2) 圃場試験 2

a. 圃場：農業研究センター谷和原畑圃場

b. 処理：1998年の4月下旬から9月に、4週間ずつ上記の圃場試験1と同様の方法で太陽熱処理を行った。処理期間は、4月30日から5月27日、5月28日から6月25日、6月30日から7月28日、7月29日から8月26日、8月27日から9月24日とした。各処理区は、幅1.5m、長さ2mとし、2反復とした。また、それぞれの処理期間ごとに、対照区として、太陽熱処理を行わない区を設けた。

c. 調査項目および時期：太陽熱処理の前と後に土壤中の線虫数を調査した。

d. 土壌サンプリング：太陽熱処理の前のロータリ耕を行いマルチをする直前に、また、太陽熱処理を終えてマルチを取り去った直後に、幅110cmのうねの中程の3カ所から、地表面から深さ30cmまでの土壌を土壌採取器を用いてコア状に採取した。土壌は、上部20cmは深さ5cmごとの層別に、また、20~30cmは10cmの層として採取した。

e. 線虫分離：圃場試験1と同じ。

f. 線虫計数：圃場試験1と同じ。

(3) 圃場実証試験

a. 圃場：中央農業総合研究センターのカタネグサレセンチュウ発生圃場(茨城県つくば市観音台)(初期密度10.3頭/土壌20g, 2001年4月23日調査)。

b. 処理：肥料を施用した後の圃場をポリエチレンフィルムで被覆する太陽熱処理を行った。施肥は、元肥として高度化成25-15-25を60.0kg/10a, 過リン酸石灰34.3kg, 硫酸カリ32.0kg, LPコート120Sを40kgを施用し、全面混和した。フィルムは厚さ0.02mmのポリエチレン製マルチフィルムを用い、マルチのみ、マルチの上にさらにトンネル被覆、土壌をうね状に盛り上げてマルチの3種類の方法で行った。処理期間は2001年6月27日から7月24日(処理A)、平成13年7月24日から8月27日(処理B)の2通りで行い、処理後にフィルムを取り除いてニンジン播種した。なお、うねマルチ区は処理後にうねを崩して平らにならした後に播種した。ニンジンの品種は「向陽2号」を用い、うね幅20cm、株間10cm、3粒点播で播種した。対照として、被覆を行わない無処理区を設けた。無処理区の施肥は、播種直前に高度化成、過リン酸石灰、硫酸カリを処

理区と同量施用し、その後、追肥として尿素17.4kg/10aを1カ月おきに、処理Aは2回、処理Bは1回ずつ施肥した。処理区は1区2m²(1m×2m)3連制とした。収穫は、処理A、処理Bともに11月19日に行った。

c. 調査項目および時期：太陽熱処理前、太陽熱処理後および収穫時に、カタネグサレセンチュウの密度を調査した。処理Aの太陽熱処理前以外は、自活性線虫の密度も調査した。また、収穫時に、ニンジンの被害程度を調査した。処理期間中は、地下5cmおよび15cmの地温を計測した。

d. 土壌サンプリングおよび線虫分離：移植ごとで地表10cmの土壌を約500g採取した。

d. 線虫分離：圃場試験1と同じ。

e. 線虫計数：圃場試験1と同じ。

f. 被害程度：収穫時に1区10株のニンジンについて、肉眼観察で奇形根およびネグサレ指数について調査した。奇形根は割れ、くびれ、岐根、その他の変形についてそれぞれの本数を調べ、ネグサレ指数は表面部の斑点について0から4までの5段階で判定し、指数換算した。

(4) 土壌の温湯浸漬試験

a. 供試線虫：①サツマイモネコブセンチュウ：千葉県四街道市から導入し、農業研究センター谷和原畑圃場(谷和原村)の甘しょの線虫抵抗性検定圃場において増殖したもの。②カタネグサレセンチュウ：谷和原村の農家圃場から導入し、農業研究センター(つくば市観音台)のコンクリートポット(50×50×50cm)中でインゲンを使って増殖したもの。③自活性線虫：上記圃場およびポットの土壌中に生息していたもの。

b. 供試土壌：黒ぼく土。上記線虫を含む土壌を手で混和した後、1cm目のふるいで2回ふるった。

c. 処理方法：線虫を含む土壌360gを厚さ0.03mmのポリエチレン袋に入れ(処理ごとに5反復)、袋の口をひもでしばった後、袋ごと土壌を恒温水槽の一定温度(25, 35, 40, 45, 50℃)とした水に一定時間(1/4, 1/2, 1, 2, 3, 4, 24, 36, 48, 60, 72, 120, 168時間)浸漬した。試験は3回に分け、高い温度と短い処理時間、低い温度と長い処理時間、その中間の組み合わせで行った。

d. 線虫分離：圃場試験1と同じ。

e. 線虫計数：圃場試験1と同じ。

Ⅲ 結 果

(1) 圃場試験1 (表1)

茨城県等における秋冬作ニンジンの播種時期に合わせて、播種前の1月の太陽熱処理の効果を確認する試験を行った。

供試圃場にはキタネコブセンチュウおよびキタネグサレセンチュウが生息していたが、いずれも極めて低密度であった。このため、以下の太陽熱処理による土壌線虫密度の変化は、自活性線虫についての結果を述べたものである(下記の圃場試験2も同様、考察を参照)。

6月下旬から1月間の太陽熱処理によって、地表から5cmの土壌20gあたりの線虫数は、処理前の387頭から2.6頭に減少した。この間、無処理区においては335頭が1023頭に増加した。また、深さ5cmから10cmの層の線虫数は、処理区が29.6頭であったのに対し、無処理区では982頭であった。つまり、無処理区では1月の間に3.05倍となった。これと同様に処理区の線虫が増殖をしていれば1182頭になるが、これが2.6頭にとどまっていた。このことは、99.8%の線虫が死亡したのと同様の意味を持つ。また、同様の計算を行うと、深さ5cmから10cmの層では97.4%の個体が死亡したことになる(このよう

に計算した値を、以下では「補正殺虫率」と呼ぶ。)、処理前と処理後の線虫密度の変化を単純計算しても、地表から5cmまでの層では99.3%、深さ5cmから10cmの層では92.4%の減少が見られた。なお、処理後(播種時)からニンジン収穫する12月までの間に、太陽熱処理区と無処理区の線虫数の差は徐々に小さくなった。

(2) 圃場試験2 (表2)

秋冬作ニンジンだけでなく、他の作物へ太陽熱処理を適用する可能性を検討することを目的として、5月から9月にかけて4週間ずつ露地で太陽熱処理による土壌線虫への効果を確認する試験を行った。以下では、4月30日に開始した処理を「5月処理」、5月28日処理開始を「6月処理」、6月30日処理開始を「7月処理」、7月29日処理開始を「8月処理」、8月27日処理開始を「9月処理」と呼ぶ。

5月処理では、地表から5cmまでの層の補正殺虫率(「圃場試験1」を参照)は80.1%、深さ5~10cmおよび15~20cmの層はそれぞれ68.1%および66.4%であったが、10~15cmおよび20cm以下の層では線虫が増加した。

表1-1 試験圃場の線虫密度の変化：太陽熱処理 (n=6)
[堆肥+緩効性肥料+太陽熱処理]

線 虫 / 調査日	6.24	8.1	9.1	9.30	10.31	12.1
キタネコブ	0.3	0 (0)	0 (0)	0 (0.4)	0 (0)	0 (0)
キタネグサレ	1.9	0 (0)	0 (0)	0 (0.2)	0.6 (0)	0 (0)
自活性線虫	385.4	2.5(29.6)	121.4(104.3)	499.0(577.0)	931.0(680.0)	863.1(785.1)
合 計	387.6	2.5(29.6)	121.4(104.3)	499.0(577.6)	931.6(680.0)	863.1(785.1)

注1) 太陽熱処理期間：1997年6月26日～8月1日。

注2) かつこ外の数値は地表から5cmまでの層、かつこ内は深さ5~10cmの層の土壌からの分離線虫数。

注3) 線虫分離は、ベルマン法(土壌20g, 3反復, 72時間, 室温, 紙フィルム使用)を用いた。

表1-2 試験圃場の線虫密度の変化：無処理 (n=3) [堆肥+緩効性肥料]

線 虫 / 調査日	6.24	8.1	9.1	9.30	10.31	12.1
キタネコブ	0	0 (0)	2.4 (2.4)	0 (1.1)	0 (0)	0 (0)
キタネグサレ	5.1	0.9 (0.9)	0.2 (0.6)	0.2 (1.9)	3.3 (4.4)	0.2 (1.6)
自活性線虫	329.0	1023.0(981.0)	838.3(1455.0)	954.0(1390.0)	1917.0(2429.0)	1052.0(1567.0)
合 計	334.1	1023.9(981.9)	841.9(1458.0)	954.2(1393.0)	1920.3(2433.4)	1052.2(1568.6)

注1) かつこ外の数値は地表から5cmまでの層、かつこ内は深さ5~10cmの層の土壌からの分離線虫数。

注2) 線虫分離は、ベルマン法(土壌20g, 3反復, 72時間, 室温, 紙フィルム使用)を用いた。

表2 時期を違えて行った圃場の太陽熱処理による土壌の深さ別の線虫密度の変化 (補正殺虫率) (1998年)

深さ	太陽熱処理期間				
	5月処理	6月処理	7月処理	8月処理	9月処理
0-5cm	80.1	99.5	91.6	99.2	59.3
5-10cm	68.1	70.1	68.7	95.2	6.4
10-15cm	▲27.0	67.8	36.5	55.7	42.4
15-20cm	66.4	▲60.0	18.3	19.4	▲6.7
20-30cm	▲14.8	37.2	44.2	▲13.5	▲108.4

対象線虫：主に自活性線虫とする全線虫。

$$\text{補正殺虫率} = \left(1 - \frac{\text{無処理の試験終了日の線虫数}}{\text{無処理の試験開始日の線虫数}} \times \frac{\text{太陽熱処理終了日の線虫数}}{\text{太陽熱処理開始日の線虫数}} \right) \times 100.$$

処理期間 (開始日→終了日)：5月処理 (4.28→5.28), 6月処理 (5.28→6.25), 7月処理 (6.30→7.28), 8月処理 (7.29→8.28), 9月処理 (8.27→9.24).

▲：処理期間中に線虫が増加。

6月処理では、地表から5cmまでの層で99.5%と高く、5~10cmおよび10~15cmの層は68~70%であったが、15~20cmの層では増加し、20cm以下では37.2%と効果は低かった。

7月処理では、地表から5cmまでの層で91.6%と高く、5~10cmの層は68.7%であったが、それ以下の層では効果は低かった。

8月処理では、地表から5cmおよび5~10cmの層でそれぞれ99.2%、95.2%と高く、10~15cmの層で55.7%であったが、それ以下の層では効果は低く、20cm以下では増加した。

9月処理では、地表から5cmの層でも59.3%に

とどまり、それ以下の層の効果は低く、15cm以下の層では線虫は増加した。

(3) 圃場実証試験 (表3, 4, 5)

試験を行った2001年は、6月および7月が高温で多日照、8月以降が低温で少日照で推移し、処理A (6月27日~7月24日)では処理B (7月24日~8月27日)よりも高温が得られた。各区における最高、最低、平均地温を表3に示した。処理Aでは全ての区で深さ15cmの地温最高値が40℃以上となり、平均地温は30℃を越えていた。また、トンネル被覆区、うねマルチ区は、無処理区およびマルチ区より有意

表3 太陽熱処理が地温に及ぼす影響

		最高地温		最低地温		平均地温	
		5cm	15cm	5cm	15cm	5cm	15cm
処理A	マルチ	46.9	40.5	24.1	25.1	34.9a	33.8a
	トンネル	53.5	47.1	26.1	25.3	39.6b	38.4b
	畝マルチ	59.8	45.2	25.5	25.3	40.2b	39.4b
	マルチ無	49.8	41.0	27.4	28.1	35.4a	33.8a
処理B	マルチ	43.6	36.9	23.7	25.3	30.7a	29.9a
	トンネル	39.3	35.1	20.5	23.7	27.3a	27.1a
	畝マルチ	49.2	39.5	22.5	25.3	31.5a	30.6a
	マルチ無	40.4	32.9	22.5	23.3	30.2a	28.3a

*処理A：6月27日~7月24日処理，処理B：7月24日~8月27日処理。

*平均地温で同じ記号を持つものは有意差なし (Tukey法 P<0.05)。

表4 太陽熱処理による線虫密度の違い

	処 理 A			処 理 B		
	処 理 前	処 理 後	収 穫 時	処 理 前	処 理 後	収 穫 時
	6/27	7/24	11/19	7/24	8/27	11/19
マ ル チ	1.1(—)	0.0(2.3a)	0.0(15.4)	0.7(62.7)	0.0(119.3)	0.0(33.8)
畝マルチ	2.9(—)	0.0(17.7b)	0.2(38.0)	0.3(53.3)	0.0(118.2)	0.0(35.2)
トンネル	2.0(—)	0.0(0.1a)	0.0(18.7)	0.0(81.0)	0.0(204.0)	0.0(35.2)
マルチ無	0.6(—)	0.2(59.0c)	0.0(33.3)	0.1(75.3)	0.0(171.8)	0.0(42.8)

*処理A：2001年6月27日～7月24日処理，処理B：2001年7月24日～8月27日処理。
 *生土20gあたりのキタネグサレセンチュウ数，括弧内は自活性線虫数。
 処理A：7/24の自活線虫は同じ記号を持つものは有意差無し（Tukey法 P<0.05）。

表5 太陽熱処理区におけるキタネグサレセンチュウの被害程度

	処 理 A					処 理 B				
	割 れ	くびれ	岐 根	変 形	ネグサレ 指 数	割 れ	くびれ	岐 根	変 形	ネグサレ 指 数
マ ル チ	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0
畝マルチ	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0
トンネル	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	0.0
マルチ無	0.0	0.0	0.3	1.0	0.8	0.0	0.0	0.6	0.6	0.0

*処理A：2001年6月27日～7月24日処理，処理B：2001年7月24日～8月27日処理。調査はいずれも2001年11月19日に行
 った。
 *割れ、くびれ、岐根、変形は10株あたりの奇形根数，ネグサレ指数は表面の斑点の発生程度を0から4の5段階で判定し，
 得られた数値を（Σ（寄生度×当該株数））/（調査株数×4）×100の数式に当てはめて求めた。いずれも3反復平均と
 した。

に地温が高かった。処理Bでは深さ15cmの地温最
 高値が40℃に達した区はなく，いずれの区でも無処
 理区より平均値が有意に高くなった区はなかった。

各区における線虫密度の消長を表4にまとめた。
 処理Aのキタネグサレセンチュウは太陽熱処理後の
 7月24日にすべての処理区で検出されなくなり，対
 照の無処理区でも極めて低密度であった。また，収
 穫時の密度もうねマルチ区でわずかに検出されたの
 みであった。太陽熱処理後の自活性線虫密度はいず
 れの処理区でも無処理区より有意に低かったが，う
 ねマルチ区では他の処理区より密度が高い傾向があ
 った。処理Bのキタネグサレセンチュウは処理後の
 8月27日および収穫時の11月19日には処理区，無処
 理区とも検出されなかった。自活性線虫の密度上昇
 程度は無処理区よりもマルチ区とうねマルチ区での
 密度の上昇程度が低い傾向があったが，トンネル被

覆区では対照区よりも増殖する傾向があった。

なお，収穫時のニンジン主根のキタネグサレセン
 チュウによる被害は，無処理区を含めすべての区に
 おいて認められなかった。

（4）土壌の温湯浸漬試験（表6）

圃場における太陽熱処理の試験では年によって気
 象条件が異なり結果にふれが大きいこと，また，試
 験圃場の有害線虫密度が低く有害線虫に対する効果
 の解析が困難であることから，室内実験として，処
 理温度と処理時間を組み合わせた土壌の温湯浸漬試
 験を行った。なお，現地の圃場に発生するネコブセ
 ンチュウはキタネコブセンチュウであるが，ラッカ
 セイを栽培した野外のコンクリートポット（50×
 50×50cm）では，試験開始までに本種は十分増殖
 しなかったことから，試験には同属のサツマイモネ

表6 土壌の加温処理による線虫の変化 (処理前を100とした処理後の線虫数)

[サツマイモネコブセンチュウ]													
温度/時間	1/4	1/2	1	2	3	4	24	36	48	60	72	120	168
50℃	96.2	66.7	0	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—
45℃	33.3	136.4	52.7	27.9	2.9	0	0	—	—	—	0	—	—
40℃	87.9	93.2	64.9	—	—	57.7	64.4	66.4	50.0	12.3	0	0	0
35℃	—	—	67.6	—	—	100.0	59.9	—	—	—	63.6	71.2	28.0
25℃	—	—	100	—	—	70.3	54.5	—	—	—	110.6	92.4	74.2

[キタネグサレセンチュウ]													
温度/時間	1/4	1/2	1	2	3	4	24	36	48	60	72	120	168
50℃	92.2	82.7	0	—	—	0	0	—	—	—	—	—	—
45℃	98.7	98.5	76.8	33.3	4.8	0.1	0.5	—	—	—	0	—	—
40℃	95.5	98.9	97.0	—	—	88.3	78.9	28.8	32.8	3.6	0	0.09	0
35℃	—	—	101.0	—	—	119.0	94.8	—	—	—	103.1	87.8	68.3
25℃	—	—	100	—	—	120.3	91.8	—	—	—	82.4	73.8	75.3

[自活性線虫]													
温度/時間	1/4	1/2	1	2	3	4	24	36	48	60	72	120	168
50℃	97.3	96.8	0.1	—	—	0.02	0.02	—	—	—	—	—	—
45℃	95.0	98.8	97.9	56.8	29.5	0.7	18.2	—	—	—	0.08	—	—
40℃	89.3	111.2	109.5	—	—	75.2	77.6	71.2	62.9	4.5	16.9	6.7	5.4
35℃	—	—	119.5	—	—	85.4	71.6	—	—	—	110.9	94.8	83.9
25℃	—	—	100	—	—	75.1	66.4	—	—	—	109.2	109.9	102.7

コブセンチュウを用いた。

サツマイモネコブセンチュウが検出されなくなる温度と処理時間の組み合わせは、50℃では1時間、45℃では4時間、40℃では72時間であった。35℃以下では168時間（7日間）処理後も本種が検出された。

キタネグサレセンチュウが検出されなくなる温度と処理時間の組み合わせは、50℃では1時間、45℃

では72時間であった。40℃では72時間処理後には検出されなくなったものの、120時間処理後にごくわずかであるが検出された。35℃以下では168時間（7日間）処理後も本種が検出された。

自活性線虫は、50℃の24時間処理後および45℃の72時間処理後にもごくわずか検出された。また、40℃以下では168時間（7日間）処理後も検出された。

IV 考 察

ニンジンには、生育初期にネコブセンチュウまたはネグサレセンチュウによる加害を受けると、主根の生長が数cmで止まる、あるいは、生長するにつれて主根が分岐や裂開し商品価値を失う。ただし、生長したニンジンでは、ネコブセンチュウが細根にゴールを形成し、ネグサレセンチュウが主根の表面に茶色の小さなしみを発症させるものの、線虫密度がきわめて高い場合を除いて、いずれも商品価値が損なわれるほどの被害程度には至らない。このため、ニンジンでは、播種前に有害線虫の密度を低下させ

ることが特に重要である。現地実証試験に協力をいただいた谷和原村蔬菜出荷組合員からの聞き取りでも、現地のニンジン生産上の最も重要な病害虫は、春作および秋冬作では、岐根の原因となる線虫（キタネコブセンチュウおよびキタネグサレセンチュウ）、秋冬作では、線虫に加えて腐敗の原因となる黒葉枯病（病原は糸状菌である *Alternaria dauci*）とされている。

ニンジンにおける有害線虫の要防除密度は、サツマイモネコブセンチュウは土壌20g当たり20~30頭[®]、

キタネコブセンチュウは土壌25g当たり2～3頭⁽⁹⁾、また、キタネグサレセンチュウは、土壌50g当たり9頭とされている⁽⁹⁾。このことから、播種時の土壌20g当たりの要防除水準は、キタネコブセンチュウが2頭前後、キタネグサレセンチュウが3.6頭となる。

なお、以下の考察は、キタネコブセンチュウおよびキタネグサレセンチュウだけでなく、自活性線虫（主にRhabditida目）を含めた全線虫を対象に議論する。自活性線虫は、土壌の加温処理試験（表3）において、上記2種の有害線虫が検出されない高温を長時間処理した条件下でも検出され、また、より低い温度であっても、有害線虫と比較して検出割合が高い傾向にあった。したがって、自活性線虫は、有害線虫と比較して高温に対する耐性がより高いことが示されており、有害線虫の密度が低い状況で行われた圃場試験では、より高い温度条件でも生存可能な自活性線虫の密度を指標として太陽熱処理の効果を議論することが可能と判断した。ただし、自活性線虫には一世代に要する日数が短い種もあることから、無処理区における処理後の線虫数には試験期間中に増殖した自活性線虫を含み、この場合、補正殺虫率が過大評価となっている可能性があることをお断りしたい。

ニンジン播種前4週間の太陽熱処理によって、多くの晴天の日があった1997年には、補正殺虫率が、地表から5cmまでの層では99.8%、その下の5～10cmの層では97.4%となった。これらの値は、太陽熱処理の効果は殺線虫剤と同等であることを示している。また、深さ5～10cmの層の補正殺虫率および上に示したニンジンにおける有害線虫の要防除水準から計算すると、処理前における土壌20g当たりの線虫密度が、サツマイモネコブセンチュウで769～1154頭、キタネコブセンチュウで61～92頭、キタネグサレセンチュウで138頭以下であれば、線虫密度は、太陽熱処理によってニンジンの要防除水準以下に低減できることを示している。

雨天の多かった1998年には、補正殺虫率は、地表から5cmまでの層で91.6%、5～10cmの層で68.7%にとどまった。この場合は、処理前の土壌20g当たりの線虫の密度が、サツマイモネコブセンチュウで64～96頭、キタネコブセンチュウで5～7頭、キタネグサレセンチュウで11頭以上であると、太陽

熱処理後の線虫密度は要防除水準以下に低下させることことができない。

圃場における顕著な地温上昇が見られるのは表層5cm程度までであり、45℃以上の積算時間が、晴天の多い気象条件の2001年には90時間となったが、1999年および2000年はまったくなかった。

これらのことから、ニンジン播種前の太陽熱処理中に晴天日が多く地温が十分に上昇すれば（50℃が1時間以上、45℃が4時間以上、40℃が72時間以上のいずれかの状態に達する場合）、処理前の圃場の線虫密度が高くても、ベルマン法による線虫の検出が無くなるまで線虫密度が低下することが期待できる。しかし、太陽熱処理期間中の晴天日が少なく地温上昇が不十分な場合は、線虫密度が比較的低くても、線虫密度はニンジンにおける要防除水準を上回る恐れが大きい。

また、太陽熱処理による線虫密度の低減効果は、ニンジン播種前の処理となる7月処理においても、また、最も効果の高かった8月処理においても、地表から深さ10cm程度までであり、より深い層の線虫密度は低減するがその程度は小さい。このため、線虫の少ない表層の土壌と線虫の多い10cm以下の層の土壌が混じり合わないようにする必要がある。これは、雑草防除⁽⁴⁾においても同様に重要である。

さらに、太陽熱処理を行うことによってうね面がフィルムで被われるため、土壌水分が適度に保たれ、フィルム除去後、直ちに播種すれば、灌水が不要となる。また、土壌の膨軟構造が処理期間中は保たれる（未発表）。

圃場実証試験の処理A（6月27日～7月24日）および処理B（7月24日～8月27日）とも、対照区を含む全ての区で、キタネグサレセンチュウの寄生に起因すると思われる明確な被害は認められず、本試験では太陽熱処理の効果および処理の違いによる被害程度の差異は確認できなかった。この原因は、6月から7月にかけての高温によって線虫の増殖が抑制され、その後の密度が極めて低く推移したためと考えられる。本線虫の増殖に最も好適な温度は24℃とされ⁽⁶⁾、これまでも夏季に本線虫密度が低下する例が知られている⁽¹¹⁾。本試験では比較的早い時期から無処理区を含む全ての区で地温が高くなったため、増殖できなかったものと思われる。

なお、秋冬作ニンジン播種前の処理とは時期的に

異なるが、5月から9月にそれぞれ4週間の太陽熱処理を行った。この結果をみると、太陽熱処理による線虫防除は、6～8月には高い効果があるものの、5月処理では効果はやや低い。9月処理の効果は低く実用的な線虫防除効果は期待できない。ただし、圃場実証試験の処理Bのように、8月処理であっても、気温が低く経過し地温の上昇が小さい気象条件の場合は、効果が低いことがある。また、9月処理の効果が低かったことから、試験を実施していない10月以降の秋期および冬期は、太陽熱処理による線虫防除効果は期待できないと判断される。なお、フィルム被覆の方法については、通常のマルチより、マルチにトンネル被覆を併せて行うことによって線虫密度低減効果がやや高い傾向にあったが、両者の差は明確ではなかった。

また、通常のニンジン栽培とは異なるが、圃場実証試験で行ったうねマルチ処理は、平うねの処理と比較して線虫密度抑制効果が劣った。これは、盛り上げた状態で処理した土壌を処理後に平らにならして播種したため、熱処理が不十分な地中の深い部分の土壌が表面近くに出てきたためと推測される。

土壌の加温試験結果によると、サツマイモネコブセンチュウおよびキタネグサレセンチュウの加温処理による検出数の減少傾向はほぼ同じであり、これら有害線虫を防除するためには、50℃では1時間以上、45℃では4時間以上、40℃では72時間以上の処理時間が必要と判断される。キタネグサレセンチュウの近似種であるキクネグサレセンチュウの加温試験（土壌を試験管に入れて処理）では、45℃で1時間、40℃で12時間で死滅したが、35℃では15日後でも生存していたとされた⁽⁴⁾。また、土壌から分離したサツマイモネコブセンチュウ第2期幼虫を少量の

水とともに試験管に入れて行った加温試験では⁽¹⁰⁾、土壌を加温した場合と比較して、同じ温度であっても線虫はより短時間で死亡することが報告されている。

なお、処理中に処理前を上回る線虫数が計測される場合があったが、この原因としては、加温処理の前または処理中に産卵された卵からの幼虫の孵化があった、実験に使用した土壌中の処理前の線虫数が均一でなかった、あるいは、その両方によって生じた誤差である可能性が推測される。

以上の本研究の中で行った試験の結果から、晴天が多く、地温上昇が顕著な気象条件の年においては、千葉県、埼玉県、茨城県等関東平野における秋冬作ニンジンの播種適期である7月下旬までの4週間、うねの表面を透明のポリエチレンフィルムで被覆して行う太陽熱処理は、ニンジンの収量および品質低下の原因となるキタネコブセンチュウ、サツマイモネコブセンチュウ、キタネグサレセンチュウの地表近くの生息密度を低減させる効果を持つと判断される。

ただし、7月の太陽熱処理であっても、線虫密度低減効果は地表近くに限られ、それ以下の土壌層の線虫密度は高いことが多い。このことから、効果の低かった深層の土壌が表層と混じり合わないようにするため、施肥は太陽熱処理前に行い、処理後は、ロータリ耕を行うことなく、フィルムを取り去った直後にニンジン播種することが重要である。これによって、天候不順で地温の上昇が小さかった場合、あるいは、ニンジンの前作として有害線虫の増殖に好適な作物を栽培して圃場の有害線虫密度が高い場合を除いて、ニンジン栽培で広く行われている殺線虫剤による線虫防除は不要になると考えられる。

V 摘 要

(1) ニンジン播種前の4週間の太陽熱処理によって、深さ10cmまでの土壌中に生息する線虫密度は大きく低下した。ただし、10cmより深い土壌層の線虫に対する効果は少なかった。

(2) 太陽熱処理を行う時期別の効果は、8月処理が最も高く、次いで7月処理および6月処理であった。5月処理の効果はやや低く、9月処理では効果は小さかった。

(3) 土壌の温湯浸漬試験の結果によると、サツマイモネコブセンチュウが検出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4時間、40℃で72時間であった。

(4) 同様の試験によって、キタネグサレセンチュウが検出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ないし120時間以上であった。

(5) 以上のことから、千葉県、埼玉県、茨城県等関東平野における秋冬作ニンジンの播種適期である7月下旬までの4週間、うねの表面を透明のポリエチレンフィルムで被覆して行う太陽熱処理は、ニンジンの収量および品質低下の原因となるキタネコブセンチュウ、サツマイモノコブセンチュウ、キタネグサレセンチュウの密度低減に有効であり、晴天の多い気象条件の年には、殺線虫剤を使用する必要がなくなると判断した。ただし、晴天が少なく地温上

昇が少ない年、また、有害線虫の密度が高い場合には、十分な防除効果が得られないことがあると判断された。

(6) 太陽熱処理による線虫防除効果は、表層の10cm程度に限られることから、効果の及ばないより深い層の土壌と表層の土壌が混じらないようにすることが重要であり、太陽熱処理後はロータリ耕を行わず播種する必要がある。また、これに伴って、施肥は太陽熱処理前に行う。

VI 引用文献

1. 福井俊男・小玉孝司・中西喜徳 (1981) 太陽熱とハウス密閉処理による土壌消毒法についてⅣ. 露地型被覆処理による土壌伝染性病害虫に対する適用拡大. 奈良農試研報, 12, 109-119.
2. 萩谷俊一・篠原茂幸・白崎隆夫 (1982) ニンジン栽培畑におけるキタネグサレセンチュウの発生消長とマリーゴールドの導入効果. 千葉農試研報, 23, 21-29.
3. 堀内誠三 (1990) 野菜・花きにおける太陽熱利用土壌消毒法の実施状況についての調査. 野茶試研究資料, 4, 34pp.
4. 片山勝之・三浦憲蔵・皆川 望 (2003) 透明ポリエチレンフィルムの土壌表面被覆による太陽熱処理の雑草防除効果. 中央農研研究報告, 3, 81-87.
5. 小玉孝司 (1976) 夏期のハウス密閉による土壌消毒. 今月の農業, 20(7), 80-83.
6. Mamiya, Y. (1971) Effect of temperature on the life cycle of *Pratylenchus penetrans* on cryptomera seedling and observation on its reproduction. *Nematologica*, 17, 82-92.
7. 三浦憲蔵・片山勝之・皆川 望 (2003) 乾燥豚ふん連用野菜畑における太陽熱処理導入下「レタスーニンジン」体系の窒素収支に基づく投入管理. 中央農研研究報告, 3, 71-79.
8. 佐野善一 (1988) 夏播きニンジンにおけるサツマイモノコブセンチュウの密度と被害. 九病虫研究会報, 34, 127-130.
9. 高倉重義・湯原 巖 (1992) “キタネコブセンチュウ”. 線虫研究のあゆみ. 日本線虫研究会, 139-141.
10. 竹内妙子・福田 寛 (1993) 熱水土壌消毒によるトマト青枯病, 褐色根腐病およびサツマイモノコブセンチュウの防除. 千葉農試研報, 34, 85-90.
11. 山田英一 (1967) 数種作物におけるキタネグサレセンチュウの消長. 北日本病虫研報, 18, 124.

Effect of Field Solarization on Control of Soil Nematodes

Nozomu Minagawa^{*1}, Satoshi Aiba^{*2}, Katsuyuki Katayama^{*2} and Kenzo Miura^{*3}

Summary

- 1) Nematodes were greatly (upmost 99%) reduced in top 10 cm soil of a field after the solarization for four-weeks by 0.02 mm polyethylene-film mulch in July, but survived in the deeper soil.
- 2) Effect of solarization (four week treatment) to nematodes was highest in August, higher in June and July, but low in May and September.
- 3) Root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*, was not isolated from soil in a polyethylene bag after treatment by a water bath in 50°C for 1 hr., 45°C for 4 hrs. and 40°C for 72 hrs.
- 4) Root-lesion nematode, *Pratylenchus penetrans*, was not isolated from soil in a polyethylene bag after treatment by a water bath in 50°C for 1 hr., 45°C for 72 hrs. and 40°C for more than 120 hrs.
- 5) Free-living nematodes (mainly Rhabditida) were isolated from soil in a polyethylene bag after treatment by a water bath in 50°C for 24 hrs., 45°C for 72 hrs. and 40°C for 168 hrs. This shows that these nematodes are more tolerant to high temperature than plant-parasitic nematodes, and the former can be used as the indicator to check the solarization effects to soil nematodes including plant-parasitic forms.
- 6) According to these results, no nematicidal treatment are needed for plant-parasitic nematode control in carrot production in the Kanto district (central Japan) by the four-week solarization by polyethylene-film mulch before sowing in fine/hot weather condition (year). In this case, it is necessary that the field is fertilized and tilled before the solarization, and sowed the carrot seeds without tillage after this treatment for preventing contamination of the deeper soil of high nematode density to the top soil.

Received : 10 November 2003

*1 National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region

*2 National Agricultural Research Center

*3 National Agricultural Research Center for Tohoku Region