

熱水少量散布と不耕起栽培の組み合わせによる ハウレンソウ萎凋病防除

竹内将史*・本多範行**・大崎隆幾***

Control of Fusarium Wilt of Spinach by a Combination of Soil Sterilization by a Low Volume Hot Water Injection and No-Till Culture

Masashi TAKEUCHI, Noriyuki HONDA and Ryuki OSAKI

本研究では、熱水土壤消毒の低コスト化と効率化を図るため、最小必要量の熱水散布と不耕起栽培の組み合わせでハウレンソウ萎凋病防除を試みた。その結果、ハウレンソウ萎凋病の発生は土壌の比較的浅い部分における菌密度に関与し、萎凋病菌は湿潤条件で50℃60分、55℃5分の短時間で死滅した。散布する熱水は高温の方が良く、90℃の熱水を40～60L/m²散布することで、少なくとも地下15cmまで萎凋病菌の死滅に有効な地温を確保でき、従来の約半量の熱水散布によってクロルピクリン処理と同等の高い防除効果、収量が得られた。さらに消毒後は不耕起栽培とすることで発病を軽減できた。また、熱水散布前の施肥畦立時に被覆肥料を窒素成分で3.5kg/a程度施用すれば、4作の不耕起連続栽培が可能であった。以上の結果から、被覆肥料施用、畦立て、熱水40～60L/m²散布、ハウレンソウ播種、不耕起連続栽培の作業体系により熱水土壤消毒の低コスト化、高温期作型の安定化、栽培管理の省力化が図られると考えられた。

Key Word: ハウレンソウ, 萎凋病, 熱水少量散布, 被覆肥料, 不耕起栽培

I. 緒言

ハウレンソウ栽培では、販売単価が高い夏季作型の導入が経営的に有利である。しかし、この時期の栽培は立枯性病害の発生が多く問題となっている。立枯性病害の主体は、萎凋病 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *spinaciae*)、立枯病 (*Pythium ultimum* var. *ultimum* (ほか))、株腐病 (*Rhizoctonia solani*) 等で、このうち萎凋病に対しては、生育期の防除薬剤がないことから、クロルピクリン等のくん蒸剤を用いた土壤消毒が行われている。しかし、本法は作業者の危険性や環境に対する悪影響が懸念されるとともに、安心・安全な食に対する消費者ニーズの高まり等から、化学農薬の使用削減が望まれている。

化学農薬を使用しない土壌病害防除法として、太陽熱消毒、蒸気消毒等の熱を利用した消毒法が確立している¹⁾⁴⁾。太陽熱消毒は、大面積を同時に処理でき、低コストであるが、処理時期が日照の多い夏季に限定されることや、処理期間が長いことか

ら、施設の利用率が低下する。また、夏季作型のハウレンソウ栽培の導入が困難となる。蒸気消毒は、処理時期が限定されず、かつて多くの労力を要したパイプ埋設等の作業も改善され、簡便になってきているものの、蒸気圧によって熱を地中に伝えるため、地中深くまでの消毒が困難である。また、マンガン過剰障害の発生、高コスト等の問題がある。国安ら⁴⁾によって開発された熱水土壤消毒は、蒸気消毒と同様に消毒時期が限定されず、蒸気消毒に比べ、一般微生物群への影響は比較的少なく⁴⁾⁷⁾、作物の生育障害も認められないとされている¹⁾³⁾。さらにハウレンソウ萎凋病にも高い防除効果を示すことが知られている²⁾⁵⁾。しかし、70～98℃の熱水を100～200L/m²と多量に注入するため、大容量の水源を確保する必要があるほか、熱水注入に長時間を要して機械の利用面積が制限される。従って償却費が高額になるとともに水を加温するための燃料費も多額となり、低コスト化、省力化が課題となっている。これらの報告をもとに、被覆肥料施用・耕起・畦立後に最小必要量の熱水散布で消毒層を確保し、以後の栽培は消毒層を壊さない不耕起栽培を続けた場合の防除効果等を検討し、熱水土壤消毒の低コスト化と栽培管理の省力化を図った。

* 福井県農業試験場 園芸・バイオテク部 野菜・花き研究G

**福井県農業試験場 生産環境部 病理研究G

***福井県丹生農林総合事務所 普及振興課

II. 試験方法

1 滅菌土層深度が萎凋病の発生に及ぼす影響

1/5000a ワグネルポットの下層に病土を、その上に滅菌土を厚さ 0cm, 5cm, 10cm つめた。滅菌土と病土を合わせた土壌深は 15cm とした。土壌は園芸用培土 (岩谷産業, システム102号) と福井農試内水田土壌を容積比で 7:3 に混合したものを使用した。萎凋病菌は農業生物資源研究所ジーンバンクより提供を受けた萎凋病菌 (菌株名: MAFF103060) を、竹原らの方法によって *nit* 変異菌株を作出し、病原性を確認した *Fosn1* 菌株を供試した。2000年12月15日に萎凋病菌のフスマ培養菌を接種し、軽汚染土 (10^2 cfu/g 乾土) 及び重汚染土 (10^4 cfu/g 乾土) の2種を病土として用いた。昼間 (7:00~16:00) の気温を 30°C, 夜間 (16:00~7:00) の気温を 20°C としたファイトトロンにおいて、2000年12月27日にホウレンソウ「アクティブ」をポット当たり 10ヶ所に播種し、2001年2月7日に発病程度を調査した。発病度は根の黒変程度から 0:健全, 1:根の先端が黒変, 2:根の中央まで黒変, 3:胚軸まで黒変, 4:枯死に分け、次式によって算出した。発病度 = $(4a+3b+2c+d) / 4n \times 100$, a, b, c, d は各程度の該当株数, n は調査株数。なお、試験は 1区 2ポットで行った。

2 処理温度と時間が萎凋病菌の死滅に及ぼす影響

前述の萎凋病菌を供試し、 6.5×10^4 cfu/g 乾土の病土 20g を直径 20mm × 120mm の試験管に詰め、土壌水分を含水率 10% と 27% (圃場含水量) に調整し、50~70°C で 5~60 分間 (表 3) 処理後、菌量を調査した。病原菌の定量は、土壌 5g を 45ml の 0.1% 寒天液で希釈し、希釈液 0.5ml を *nit* 変異菌株選択培地 (*Fosn1* 培地) にひろげ、25°C で 9 日間培養後に行った。1 処理につき 5 シャーレを用いた。

3 熱水散布量が地温等に及ぼす影響

2000年11月30日, 2001年5月18日, 7月11日に熱水の温度を 75~90°C, 散布量を 20~120L/m², 被覆資材の種類を変えて試験区を設定し、深さ 15cm 地点の地温を計測した。熱水は、下向きに 30cm 間隔で配置した灌水チューブ (住友化学社製スミサンスイマルチ 60) を使い、約 2.7L/分/m² の速度で散布した。被覆資材は厚さ 0.03mm の透明ポリエチレンフィルムと保温散水シート (ネボン社製) の 2 種を供試し、灌水チューブの上にべたがけした。両資材とも散布翌日に除去した。試験区は 1区 2.2 m², 1 連制とし、地温は試験区の中央部に T 熱電対を設置して計測を行った。また、2001年5月18日処理では熱水散布 4 日後の 5月22日に作土層の深さ、ち密度を調査した。ち密度は山中式硬度計を用い、作土層については深さ約 10cm, 第 2 層については深さ約 30cm の地点で計測した。

4 水温と振とう時間が肥料の溶出に及ぼす影響

肥料はロング 424-140 日タイプとほう素入りジシアン燐硝安加里 S602 各 1g を蒸留水 100ml に入れて 25, 50, 70, 90°C で 1 または 3 時間振とうし、溶液の電気伝導度を計測した。また、ロング 424-140 日タイプの被覆膜が損傷した場合の電気伝導度

変化や完全に溶出した時の電気伝導度の参考値を得るため、刃物で被覆膜を 2~3mm 裂開した区も設定した (表 6)。さらに、ロング 424-140 日タイプについては振とう後、気温 25°C の恒温条件に静置し、7 日毎に溶液 EC を調査した。1 区 3 連制で行った。

5 熱水散布量および耕起の有無がホウレンソウの萎凋病発生、収量に及ぼす影響

圃場は 2001 年 5 月 24 日に前述の萎凋病菌のフスマ培養菌を 100g/m² 土壌混和して接種後、ホウレンソウを 5 月 30 日から 6 月 25 日まで栽培し、発病株率 10~20% を確認した福井農試のミニ温室において行った。

消毒方法は、90°C の熱水 60 L/m² 散布, 熱水 40 L/m² 散布 (以下熱水 40-不耕起区) とし、対照としてクロロピクリンくん蒸 (以下クロロピクリン区) と無処理を設けた。熱水 60 L/m² 散布区については、ホウ素入りジシアン燐硝安加里 S602 を用いて 2, 3 作目前に施肥耕起畦立てを行う区 (以下熱水 60-耕起区) とロング 424-140 日タイプを主体に用いて熱水散布前に施肥畦立てし、熱水散布後は不耕起連作する区 (以下熱水 60-不耕起区) を設けた。また、各区に石灰質肥料としてセルカを 10kg/a 施用した。保温散水シート (ネボン社製) 被覆下で熱水を散布し、被覆資材は翌朝除去した。栽植密度は 7,272 株/a, その他の耕種概要、処理概要については表 1 に示した。表 1 に示した消毒後の 3 作において、萎凋病の発病程度、ホウレンソウの収量を調査し、さらにホウレンソウを連作して消毒 2 年目の 7, 8, 9

表 1 試験区の構成及び処理概要

試験区	消毒日 消毒方法	施肥畦立て日 肥料の種類 N成分施用量	2作目, 3作目 前の施肥等
無処理	-	2001/7/13 ホウ素入りジシアン 燐硝安加里 S602 N: 2.0kg/a	ホウ素入りジシアン 燐硝安加里 S602 N: 1.5kg/a 施用後耕起畦立
クロロピクリン処理	2001/6/26~7/10 クロロピクリン錠剤 9錠/m ²	同上	同上
熱水 60-耕起	2001/7/11 熱水 90°C-60L/m ²	2001/7/9 (消毒前) ホウ素入りジシアン 燐硝安加里 S602 N: 2.0kg/a	同上
熱水 60-不耕起	同上	2001/7/9 (消毒前) ロング 424-140 N: 4.5kg/a ホウ素入りジシアン 燐硝安加里 S602 N: 0.5kg/a	無施用 不耕起
熱水 40-不耕起	2001/7/11 熱水 90°C-40L/m ²	同上	同上

表 2 播種日、収穫調査日、供試品種

	播種日 (年/月/日)	収穫調査日 (年/月/日)	供試品種
1 作目	2001/7/18	2001/8/17	アクティブ
2 作目	2001/8/24	2001/9/26	アクティブ
3 作目	2001/10/3	2001/11/7	リード
4 作目	2001/11/14	2002/2/8	コンバット
5 作目	2002/2/14	2002/4/4	コンバット
6 作目	2002/4/12	2002/5/14	リード
7 作目	2002/5/24	2002/6/21	アクティブ
8 作目	2002/7/5	2002/8/12	アクティブ
9 作目	2002/8/21	2002/9/25	アクティブ
10 作目	2002/10/11	2002/12/9	パロール

作目(表2)において防除効果の持続性について検討した。試験区の配置は消毒方法毎に温室を異にし、1区1.7m²、2連制とした。なお、耕起、畦立て、播種等は手作業で行い、不耕起区についても1cm程度の播種溝を設けて播種した。発芽率は1区当たり50cm、2カ所の播種溝に50粒ずつ播種し、2週間後に発芽本数を調査して求めた。収穫は主根とともに引き抜いて行い、1区当たり10株2箇所について調査した。発病調査は前述の方法で行った。

6 不耕起栽培における被覆肥料の施肥量がハウレンソウの生育・収量に及ぼす影響

熱水散布前の施肥量は窒素成分で3.5kg/aと5.0kg/aの2水準とし、対照としてクロロピクリン錠剤でくん蒸後に毎作施肥耕起畦立てを行う区を設けた。肥料は、施用した窒素成分の10%を燐硝安加里S604、90%をロング424-140日タイプを用い、それぞれ畦立時に基肥として施用した。クロロピクリンくん蒸後の施肥は、ほう素入りジシアン燐硝安加里S602を用い、窒素成分で1作目2.0kg/a、2作目1.5kg/a、3作目1.5kg/a、4作目0.5kg/a、5作目0.5kg/a施用した。1区1.7m²、2連制とした。供試品種、播種日、収穫日については表2のとおりで、その他耕種概要については試験5に準じた。

7 不耕起栽培における土壌表面追肥がハウレンソウの収量に及ぼす影響

熱水散布後に不耕起栽培でハウレンソウを9作栽培し、播種前の土壌ECが0.33~0.40ds/mと養分が低下した圃場において、土壌表面への施肥がハウレンソウの生育、収量に及ぼす影響を検討した。土壌表層への施肥は、燐硝安加里S602を用い、施肥量は窒素成分で0kg/a、0.5kg/a、1.0kg/aとし、播種13日後の2002年10月24日に条間に施用した。対照としてクロロピクリン処理した耕起栽培区を設けた。耕起栽培区は播種前の土壌ECが0.95ds/mと肥料の残効が十分に見込めたことから、無肥料で栽培した。供試品種は「パロール」を用い、2002年10月11日に播種、10月24日株間5cmに間引きし、12月9日に収穫調査を行った。1区1.7m²、2連制とした。

III. 試験結果

1 滅菌土層深度が萎凋病の発生に及ぼす影響

滅菌土層深度と発病株率および発病度の関係をそれぞれ図1、2に示した。発病株率は、重汚染度の場合、滅菌土層深度0cmで65%、5cmで25%、10cmで20%、軽汚染度の場合、滅菌土層深度0cmで50%、5cmで10%、10cmで5%と菌密度が低く、滅菌土層深度が深くなるほど小さくなった。同様に発病度も重汚染度の場合、滅菌土層深度0cmで56.0、5cmで13.8、10cmで16.3、軽汚染度の場合、滅菌土層深度0cmで40.0、5cmで5.0、10cmで2.5と同様の傾向を示した。しかし、軽汚染土で、滅菌土層深度が10cmでも根部の黒変は認められ、発病を完全に抑えることはできなかった。

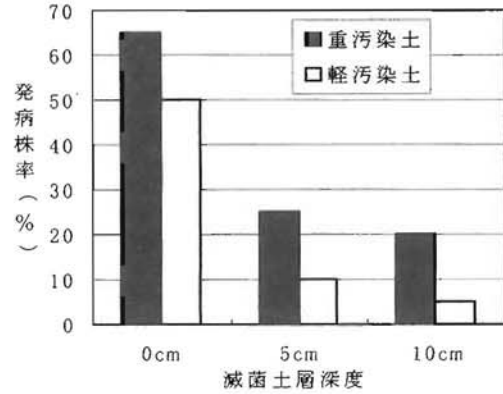


図1 滅菌土層深度と萎凋病の発病株率

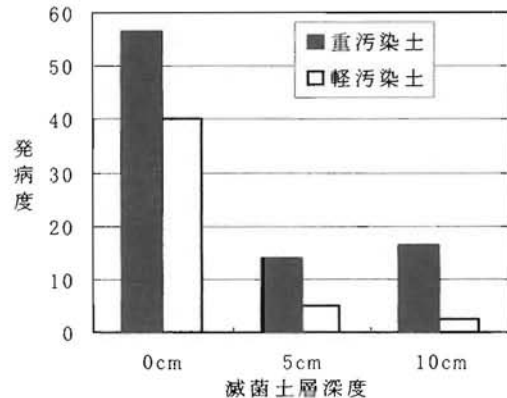


図2 滅菌土層深度と萎凋病の発病度

2 処理温度と時間が萎凋病菌の死滅に及ぼす影響

高温処理の温度、処理時間と萎凋病菌の死滅との関係を表3に示した。土壌含水率が10%と乾燥した土壌では、70℃で60分処理しなければ、萎凋病菌は死滅しなかったが、土壌含水率が27%の圃場容水量の湿潤状態であれば、55~70℃で5分間、50℃でも60分間以内で死滅した。

表3 処理温度と時間がハウレンソウ萎凋病菌の死滅に及ぼす影響

処理温度 (℃)	土壌 含水率 (%)	処理時間			
		5分	10分	30分	60分
70	10	×	△	△	○
	27	○	○	○	○
65	10	×	×	△	△
	27	○	○	○	○
60	10	×	×	×	×
	27	○	○	○	○
55	10	×	×	×	×
	27	○	○	○	○
50	10	-	-	-	×
	27	-	-	-	○
水温	10	×	-	-	-
	27	×	-	-	-

注) ○: 検出限界(5cfu/g乾土)以下
△: 6~250cfu/g乾土
×: 251cfu/g乾土以上
-: 未調査

表4 熱水散布量と深さ15cm地点での温度別継続時間

処理時期 (年/月/日)	熱水 温度 (°C)	熱水 散布量 (L/m ²)	被覆 資材	処理前 の地温 (°C)	継続時間 (hr)		
					50°C以上	55°C以上	60°C以上
2000/11/30	90	120	透明ポリ	14.2	10.3	7.3	4.3
	90	60	透明ポリ	14.7	3.3	0.0	0.0
2001/5/18	90	60	保温散水シート	24.5	5.2	0.0	0.0
	90	40	保温散水シート	24.7	3.2	0.0	0.0
	90	40	透明ポリ	27.6	0.0	0.0	0.0
	90	20	保温散水シート	24.2	0.0	0.0	0.0
	75	72	保温散水シート	27.3	1.2	0.0	0.0
	75	60	保温散水シート	26.6	0.5	0.0	0.0
2001/7/11	90	60	保温散水シート	30.0	11.6	6.7	3.1
	90	40	保温散水シート	29.5	4.8	0.0	0.0

3 熱水散布量が地温等に及ぼす影響

深さ15cm地点での温度別継続時間を表4に示した。7月に90°Cで60L/m²散布した場合には、地温50°C以上を11.6時間、55°C以上を6.7時間、60°C以上を3.1時間継続できた。また、90°C60L/m²散布では11月でも地温50°C以上を3.3時間継続し、90°C40L/m²散布でも5月で3.2時間、7月で4.8時間継続できた。90°C20L/m²散布では、7月でも50°C以上にならなかった。5月散布の90°C60L/m²と75°C72L/m²、90°C40L/m²と75°C48L/m²のように投入する熱量を同一とした場合は、50°C以上の継続時間がそれぞれ5.2時間と1.2時間、3.2時間と0時間となり、熱水温度を高くした方が地温上昇に有効であった。また、5月の90°C40L/m²散布で、被覆資材が透明ポリの場合は50°C以上の継続時間が0時間であったのに対し、保温散水シートでは3.2時間持続でき、保温散水シートの方が地温上昇に有効であった。

熱水散布4日後の作土層の深さは、表5のように無処理区が20cmであったのに対し、熱水散布によって浅くなった。また、作土層のち密度は60L/m²散布で8.8mm、40L/m²散布で7.2、20L/m²散布で6.5mmと無処理区に対して大きく、散布量が多いほど大きくなる傾向であった。一方、2層目では一定の傾向は認められなかった。

散布量 (L/m ²)	作土層 (第1層)		第2層
	深さ (cm)	ち密度 (mm)	ち密度 (mm)
60	18.0	8.8	16.5
40	18.0	7.2	17.5
20	16.0	6.5	16.0
無処理	20.0	4.2	16.0

注) 熱水散布日: 2001/5/18
熱水温度90°C
調査日: 2001/5/22

4 水温と振とう時間が肥料の溶出に及ぼす影響

表6のように、ロング424-140日タイプ1時間振とう後の溶液ECは、水温が高くなっても無処理の水と差は無かった。また、被覆膜を人為的に損傷させた場合に比べると極めて低かった。水温50°Cの1時間振とうと3時間振とうは、ともに0.004ds/mで振とう時間を長くしても溶液ECの差は認められなかった。

図3にロング424-140日タイプの振とう後7日毎の溶液EC変化を示した。溶液ECは、時間の経過とともに上昇していったが、

表6 肥料の種類と水温、振とう時間が溶液ECに及ぼす影響

肥料の種類	損傷の有無	水温 (°C)	振とう時間 (hr)	溶液EC (ds/m)
ロング424-140	無	25	1	0.003
		50	1	0.004
		50	3	0.004
	有	70	1	0.005
		90	1	0.008
		50	1	3.025
ほう素入りジソ ン 磷 硝 安 加 里 S602	無	25	1	8.550
		50	1	8.430
		70	1	8.400
		90	1	8.460
無 (蒸留水)	-	25	-	0.003

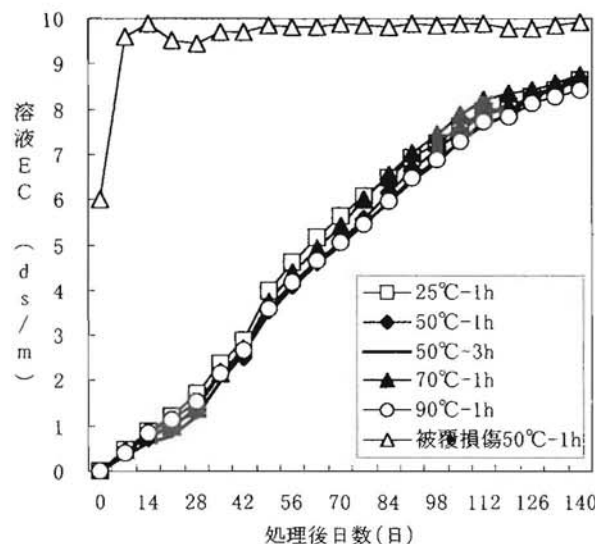


図3 水温および振とう時間と溶液ECの経時変化
注) 肥料: ロング424-140日タイプ

水温や振とう時間による差は認められなかった。一方、被覆膜を人為的に損傷させた場合の溶液ECは、振とう後7日以降に10ds/m近くにまで達し、以降は横ばいとなった。この状態を100%溶出とすると、25°C~90°Cで処理した140日後の溶液ECは85%前後となり、規定の溶出パターンと概ね同様な変化を示した。

5 熱水散布量および耕起の有無がハウレンソウの萎凋病発生、収量に及ぼす影響

播種14日後の出芽率及び萎凋病による枯死株率を表7に示した。1, 2, 3作の発芽率は、無処理区で59%, 70%, 76%であったのに対し、熱水60-耕起区では66%, 85%, 84%とクロルピクリン処理の69%, 78%, 84%と同等の発芽率向上効果が認められた。また、2, 3作目を不耕起栽培としても発芽率の低下は認められなかった。枯死株率は、無処理区の1作目で22%であったが、熱水40及び60L/m²散布では枯死株の発生が無く、クロルピクリン処理と同等の高い防除効果が認められた。2, 3作目では、枯死株率が無処理区でも低下したが、熱水60-不耕起区、熱水40-不耕起区ともに0%であった。一方、熱水60-耕起区ではそれぞれ1%の枯死株発生が認められた。

熱水60-不耕起区及び無処理区の1作目収穫時の生育状況を図4、5に、収穫時の発病度及び収量を図6に示した。無処理区では、収穫時の欠株や根部の黒変が多く、1作目収穫時の発病度は57.5であった。一方、熱水60-不耕起区では2.5、熱水40-不耕起では8.3と熱水の散布量が少ない方がやや高くなったが、クロルピクリン処理と同等の高い防除効果が得られた。

収量は、無処理区で9.3kg/a、熱水60-耕起区で123.7kg/a、熱水60-不耕起区で111.9kg/aと無処理区に対し顕著に増収し、クロルピクリン処理の113.8kg/aと同等であった。

2作目の発病度は、無処理区が44.9に対し、熱水60-不耕起区で2.5、熱水40-不耕起区で0とクロルピクリン処理と同等の防除効果が維持され、収量もそれぞれ136.0kg/a、133.7kg/aとクロルピクリン処理区の139.7kg/aと同等であった。しかし、2作目播種前に耕起した熱水60-耕起区では、発病度が7.5と不耕起区の発病度2.5より高く、収量も約10%減少した。

3作目では、気温が低下したことから萎凋病の発生が少なくなり、病害抑制効果の判定は困難であったが、熱水60及び40-不耕起区の収量はクロルピクリン処理区と同等であった。

消毒2年目の5月下旬～8月下旬に播種した7～9作目の発病度を図7に示した。最も発病程度が高かった2002年7月5日播種の8作目では、熱水40-不耕起区で21.9と防除効果は高くなかった。また、クロルピクリン処理区では0.0、17.0、10.4と最も低かった。さらに、熱水60L/m²の耕起区と不耕起を比べると不耕起の方が低くなる傾向であった。

表7 消毒方法、不耕起栽培と播種2週間後の発芽率及び枯死株率

区	発芽率 ^{※1}			枯死株率 ^{※2}		
	1作目 ^{※3} (%)	2作目 ^{※4} (%)	3作目 ^{※5} (%)	1作目 ^{※3} (%)	2作目 ^{※4} (%)	3作目 ^{※5} (%)
クロルピクリン	69	78	84	0	0	0
熱水60-耕起	66	85	84	0	1	1
熱水60-不耕起	71	81	88	0	0	0
熱水40-不耕起	68	77	89	0	0	0
無処理	59	70	76	22	5	2

※1 発芽率=発芽本数/播種粒数×100

※2 枯死株率=根の黒変による萎凋株率/発芽株数×100

※3 調査日:2001/8/1

※4 調査日:2001/9/7

※5 調査日:2001/10/17



熱水 60 L/m²散布



無処理

図4 1作目収穫期の生育状況 (2001/8/15)



図5 消毒方法と1作目の生育 (2002/8/17)

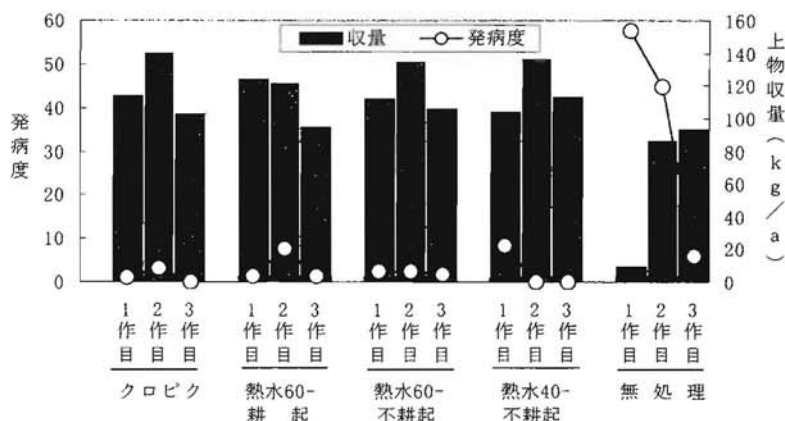


図6 消毒法および耕起の有無とホウレンソウ萎凋病の発病度、上物収量

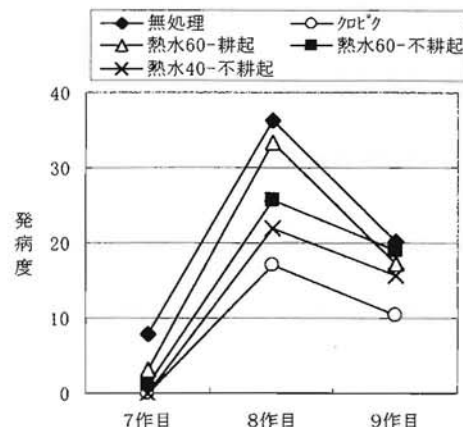


図7 消毒2年目の発病度

6 不耕起栽培における被覆肥料の施肥量がホウレンソウの生育・収量に及ぼす影響

熱水散布処理後の1~5作目における窒素施肥量と土壌ECの推移を図8に、クロルピクリン処理区の上物収量を100とした場合の窒素施肥量と上物収量の対比を図9に示した。ホウ素入りジシアン燐硝安加里S602で施肥したクロルピクリン処理区では、3作目以降に高く推移した。ロング424-140日タイプ3.5kg/a施用区の土壌ECは、2作目後期から3作目初期に0.58 ds/mと最も高くなった。その後、徐々に低下して5作目収穫時には0.23 ds/mと施肥前の値近くまで低下した。5.0kg/a施用区の土壌ECは3.5kg/a施用に比べ高く推移し、3作目生育中期に最大0.82

ds/mとなった。5作目終了時には0.5 ds/mであった。収量は3.5kg/a施用区の1作目でクロルピクリン区の92%と若干低くなったが、2~4作目は、窒素施用量にかかわらず96~106%とクロルピクリン処理区と同等であった。5作目の収量は3.5kg/a施用区で81%、5.0kg/a施用区で90%とクロルピクリン処理区に比べ少なく、3.5kg/a施用区は5.0kg/a施用区より少なかった。不耕起で5作連続した後の深さ20cmにおける土壌硬度は、図10に示したように毎作耕起したクロルピクリン処理区の13.1mmに対し、18.3mm、19.1mmと高く、計測場所によっては土壌診断の目安とされている20mmを超える部分も見られた。

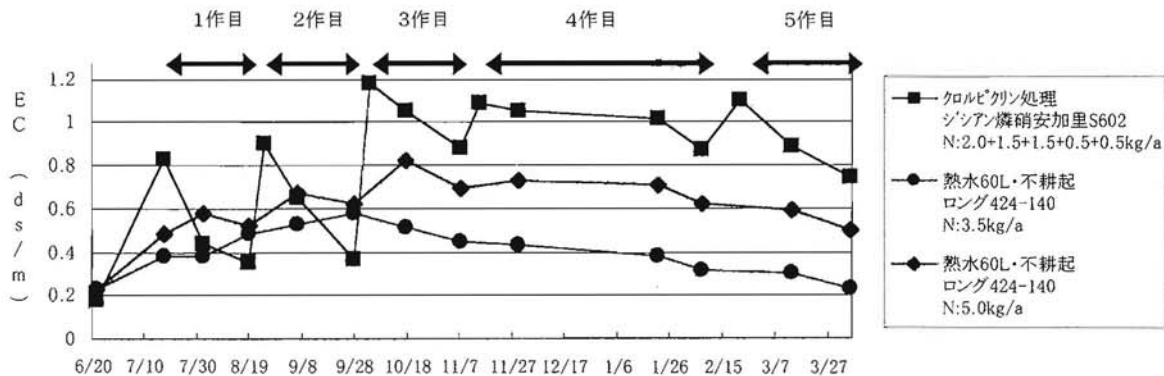


図8 窒素施肥量と土壌ECの変化

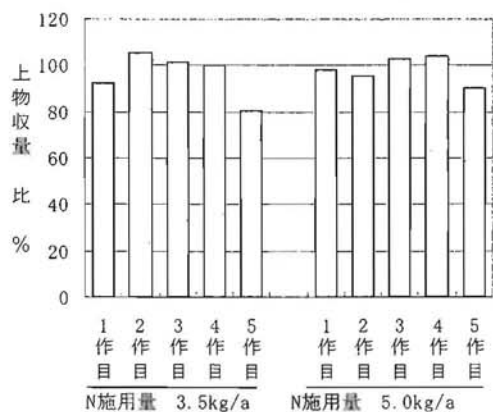


図9 不耕起栽培における窒素施肥量とクロルピクリン処理区との収量比

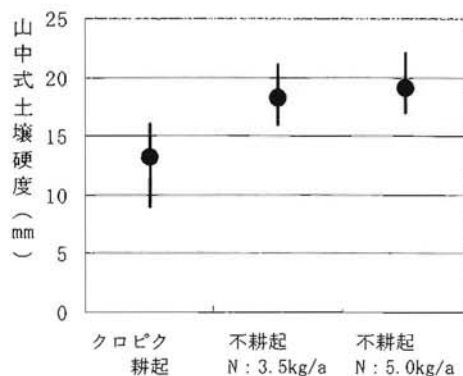


図10 5作連続後の深さ20cm地点における土壌硬度

注) ●は平均値、|は最大値と最低値を示す

7 不耕起栽培における土壌表面追肥がハウレンソウの収量に及ぼす影響

各区の土壌 EC の推移を図 11 に示した。土壌表面追肥 7 日後 (10 月 31 日) の土壌 EC は、処理前 (10 月 24 日) に比べ 1.0kg/a 追肥で 0.21ds/m, 0.5kg 追肥で 0.14ds/m 高くなった。無施用区、耕起栽培区では若干低下した。追肥 21 日後 (11 月 14 日) までは、1.0kg/a 追肥の方が 0.5kg/a 追肥に比べ土壌 EC が高く推移したが、追肥 35 日後 (11 月 28 日) にはその差が小さくなり、収穫時 (12 月 9 日) には同等であった。

図 12 に上物収量および収穫時の葉色を示した。上物収量は無施用区の 98.5kg/a に対し、0.5kg/a 追肥区で 108.5kg/a, 1.0kg/a 追肥区で 134.8kg/a と表面追肥による増収効果が認められた。しかし、耕起栽培区には及ばなかった。葉色は 0.5kg/a 追肥区で 44.5, 1.0kg/a 追肥区で 44.7 と差は認められず、両区とも無施用区比べ濃く、耕起栽培区に比べ淡くなった。

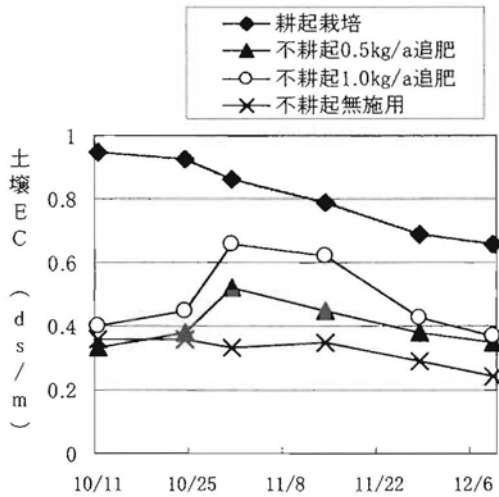


図11 表層施肥量と土壌ECの推移

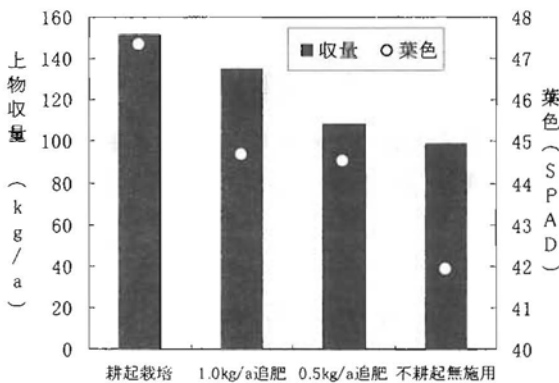


図12 土壌表面施肥量と上物収量および葉色

IV. 考察

ハウレンソウ萎凋病は、菌密度が低いほど、病土までの深さが大きくなるほど発病程度は小さくなり、土壌表面から 5~10cm と比較的浅い部分を消毒すれば発病を軽減できた。同様に中山

ら⁸⁾は土壌表面から 20cm, 佐藤ら¹⁶⁾は立枯病や株腐病を含めても 15cm 以上の深さに存在する病原菌は、発病に関与しないとしている。このようにハウレンソウ萎凋病等の発生には、土壌の比較的浅い部分に存在する病原菌の関与が大きく、生産現場では、立枯病、株腐病、萎凋病の混発も考えられることから、確保する消毒層の深さは 15cm 程度を目安にすることが実用的であると思われる。

一方、ハウレンソウ立枯性病害の病原菌のなかで、立枯病菌、株腐病菌は萎凋病菌より低い温度で死滅するとされており¹⁾、耐熱性が高い萎凋病菌でも土壌が湿潤状態であれば、55℃以上で 5 分、50℃でも 60 分と短時間処理で死滅した。熱水注入による熱前線の地中への降下は、土壌の透水性や耕盤層の有無等に左右される⁹⁾ことから、地温の上昇は熱水の浸透によるもので、熱水消毒では必然的に湿熱処理になるといえる。従って、地下 15cm で 50~55℃の温度 60 分程度の短時間継続できる熱水を散布すれば、ハウレンソウの主要な立枯性病害を防除することができると思われる。

地下 15cm の地温が 25~30℃の時期には 90℃の熱水を 40L/m², 15℃の時期には 60 L/m²散布すれば、地下 15cm で 50℃以上の地温が 3.2~4.8 時間継続し、萎凋病菌の死滅に有効な地温を確保でき、従来¹³⁾の約半量の熱水で萎凋病に対する防除効果が期待できる。本法は、太陽熱消毒とは異なり 11 月末という低温期においても地温を上昇させることは可能であるが、消毒時期は萎凋病の発生に好適な気象条件となる前がより効率的であると考えられる。ただし、熱水による地温上昇効果は、土性や耕盤層の有無、土壌水分等によって変わる¹⁰⁾ため、実施に当たっては土壌、気象条件に応じて散布量を加減することが重要である。また、熱水散布時に使用する被覆資材は、保温性の高い方が有効であったことから、太陽熱消毒時のように光透過率を重視する必要はなく、トンネル等による 2 重被覆等で保温性を高めて大気への放熱を少なくする工夫が重要と考えられた。

太陽熱土壌消毒による各種土壌病害防除においては、消毒後の耕起による防除効果の低下が指摘されている^{1, 15, 17)}。熱水少量散布による土壌消毒でも、消毒層を確保した後の栽培は、消毒層を壊さない不耕起栽培を続けることで熱水土壌消毒の効率化を図ることができると考えられる。不耕起で連続栽培を行うには、熱水散布前の畦立時に数作栽培するために必要な緩効性肥料を基肥として施用することが必要である。緩効性肥料の中でスーパーIB (緩効性窒素入り化成肥料) は、スーパーロング 424 (被覆肥料) に比べると太陽熱消毒時の高温の影響で肥料成分の溶出が進むとされている³⁾。太陽熱消毒に比べさらに高温条件に晒される熱水土壌消毒では、熱可塑性の樹脂で被覆されている被覆肥料の溶出パターンにも影響することが懸念されたが、ロング 424-140 日タイプの高温水処理後 140 日間の溶液 EC に大差はなかった。従って、ロング 424-140 日タイプは、熱水による一時的な高温によって生じる肥料成分の溶出パターン変化は少なく、熱水土壌消毒での利用が可能と考えられた。また、熱水散布によって 1 層目のち密度は大きくなる傾向であったが、

ハウレンソウ栽培に支障のない程度で、被覆肥料を施用し畦立後に熱水土壤消毒を行い、そのまま栽培しても大きな問題はないと判断された。

ハウレンソウ萎凋病の発生が認められる施設圃場において、ロング424-140日タイプを施用・畦立後に90℃の熱水を40L/m²または60L/m²散布して不耕起で連続栽培すると、消毒直後の7月下旬から9月上旬にかけて連作した2作では、クロロピクリンと同等の高い防除効果と収量が得られた。また、消毒後2作目の作付けのために施肥、耕起を行うと萎凋病の発生が助長され収量が低下した。40~60L/m²の熱水少量散布では、被覆肥料と不耕起栽培を組み合わせたことが萎凋病の発生回避に有効と考えられる。

しかし、消毒翌年の7~8月播種となった8作目、9作目においては、無処理区よりは程度が低いものの萎凋病の再発生が認められた。クロロピクリン処理区においても同様に再発生が認められたことから、消毒が不十分となる下層からの病原菌の増殖のほか、管理作業時や調査時に無処理区から病原菌を持ち込み、再発生の要因となったということも考えられる。熱水を100L/m²注入した場合、ハウレンソウ萎凋病防除効果が2~3年持続した結果も示されている¹²⁾が、40~60L/m²の熱水少量散布による防除効果は不耕起としても翌年までは持続せず、ハウレンソウの周年生産を行う場合は、消毒を毎年実施する必要があると考えられる。

熱水消毒時に150~300L/m²と多量の熱水を注入した場合、土壌表面から0~30cmの土層ではECの低下、アンモニア態窒素の増加、硝酸態窒素や塩基の減少、40~50cmの土層では硝酸態窒素の増加等の養分変化が起こり、いわゆる除塩効果があるとされている^{9, 11)}。しかし、熱水散布前に普通化成肥料であるハウス入りジアンリン酸安加里S602を施用した場合でも、40~60L/m²程度の少量散布では作土層の土壌ECは低下せず、散布後1作目は対照のクロロピクリン処理と同等の収量が得られた¹⁹⁾。詳細な養分の動態は調査していないが、施肥畦立後の熱水少量散布においては、肥料の流亡または除塩効果は少ないことが考えられる。

また、不耕起栽培時の施肥については、前述したように、熱水散布前に被覆肥料を施用しても溶出パターンに影響しないことから、4作程度の不耕起栽培には、ロング424-100日タイプを窒素成分で4kg/a施用する⁶⁾等、既知の不耕起栽培技術が適用可能と考えられる。本試験でも、窒素成分3.5kg/a施用区及び5.0kg/a施用区ともに4作の不耕起栽培は可能であったが、5作目の収量は耕起栽培に比べ減収する傾向が認められた。減収要因としては、肥料不足、土壌硬度等物理性の悪化のほか、土が締まった状態では水分の浸透性が低下するとされている¹⁸⁾ことから、耕起栽培と不耕起栽培で灌水条件を統一したことが減収に結びついたとも考えられる。不耕起栽培途中の肥料不足については、土壌表面施肥による対応が可能と考えられる。表面施肥については作型に応じた施肥量や施肥の時期等、今後検討すべき点もあるが、不耕起栽培を継続して省力化を図るために

も有効と考えられた。一方、土壌物理性の悪化については、普段から土づくりを十分に行っておくことが重要と考えられる。土壌の物理性改善は、熱水土壤消毒の効果にも影響する要因とされ¹³⁾安定した防除効果を得るためにも重要である。

本試験では播種等の作業を手作業によって行っているため、畦の上を歩行するタイプの播種機等、生産現場で利用されている機械作業を行った場合の土壌物理性への影響、不耕起連作におけるハウレンソウ生育への影響については今後検討が必要であると考えられる。さらに、本試験の不耕起栽培における施肥は、窒素施用量の90%をロング424-140、残り10%を磷硝安加里S604としたが、熱水少量処理後の不耕起栽培における緩効性肥料と速効性肥料の適正な施用割合や使用する肥料の種類についても今後検討を要する。

ハウレンソウを含め土壌病害の発生は、その時期の気象条件や生育状況さらには施肥や灌水などの栽培管理によって左右される。作付け前にそれらを予測することは困難で、発病すれば所得が減少し、経営的にも被害が生じることになる。クロロピクリン等の化学農薬で消毒を行っている現在の施設ハウレンソウ生産現場においても、生産及び所得の安定性の観点から毎年消毒が行われることが多い。本試験の被覆肥料施用→畦立て→熱水散布→不耕起連続栽培も生産及び所得の安定性の観点から毎年実施し、立枯れ性病害が多発しやすい高温期の3~4作で被害を回避する栽培体系として位置付けるべきと考えられる。また、40~60L/m²程度の熱水散布は、熱水作成のための燃料費削減や単位面積あたりの熱水散布時間が短く機械の稼働率を高められることで減価償却費削減が期待できる。従って、クロロピクリン処理の約40,000円/10aに対し同等~1.5倍程度のコストで同等の防除効果と収量が得られ、劇物である薬剤によらないことによる作業者の安全性と環境への負荷軽減が図られるものと考えている。

V. 謝辞

本研究の実施及び取りまとめに当たり、野菜茶業研究所の西和文氏には貴重なご助言を賜った。ここに表記して深謝の意を表す。

VI. 引用文献

- 1) 赤司和隆 (1991) ハウレンソウ根腐病の発生機構と生態的防除法に関する土壌肥料的な研究. 北海道立農業試験場報告 74: 1-100
- 2) 岩本 豊・高木 廣 (2001) 軟弱野菜に発生する土壌病害に対する熱水土壤消毒の利用. 今月の農業 45 (4): 58-62
- 3) 小林尚司 (2001) レタスの太陽熱消毒マルチ時の全量基肥施用による連続2作穫り. 今月の農業 45 (1): 74-77
- 4) 国安克人・西和文・百田洋二・竹下定男 (1991) 熱水注入に

- よる土壌消毒. 植物防疫 45 : 247-251
- 5) 国安克人 (1993) 熱水消毒によるハウレンソウ萎凋病防除. 今月の農業 37 (10) : 44-50
 - 6) 豆田和浩・山本平三 (1995) 緩効性肥料を用いた雨よけハウレンソウの不耕起栽培. 九農研 57 : 179
 - 7) 中山尊登 (1999) 熱水土壌消毒法の現状と展望. 今月の農業 43(11) : 34-38
 - 8) 中山尊登・萩原廣・竹原利明・佐藤剛・齊藤初雄 (1998) 熱水土壌消毒法の効率化—フザリウム病防除のための要消毒深度の把握と追加給水による下層土壌の温度上昇効果について. 日植病報 64 : 341
 - 9) 熱水土壌消毒—その原理と実践の記録— (2002). 日本施設園芸協会. 第5章第6節 熱水土壌消毒によるピーマン疫病防除現地実証試験. 53-57. 東京
 - 10) 熱水土壌消毒—その原理と実践の記録— (2002). 日本施設園芸協会. 第7章第2節 土壌条件 (土質・土壌水分) の違いと熱水土壌消毒の効果. 85-93. 東京
 - 11) 熱水土壌消毒—その原理と実践の記録— (2002). 日本施設園芸協会. 第7章第4節 熱水土壌消毒と養分動態. 96-100. 東京
 - 12) 熱水土壌消毒—その原理と実践の記録— (2002). 日本施設園芸協会. 第7章第6節 熱水土壌消毒効果の持続期間. 104-107. 東京
 - 13) 西和文 (2000) 熱水を利用した最新の消毒技術. 土壌伝染病談話会レポート 20 : 190-199
 - 14) 農業技術体系土壌施肥編5-①. 農山漁村文化協会. 畑216の8. 東京
 - 15) 坂本庵・神納浄・相野公孝・吉倉惇一郎・塩飽邦子 (1986) 露地太陽熱利用によるハクサイ土壌病害防除 第1報 フィルムマルチ条件下における殺菌有効地温の解明 兵庫県農業総合センター研究報告 34 : 63-68
 - 16) 佐藤信仁・川久保幸雄 (1996) 太陽熱消毒を前提としたハウレンソウ土壌病害の防除条件の解明. 北陸農業研究成果情報 平成8年度 : 168-169
 - 17) 清水寛二・鈴木良治・高土祥助・川田和 (1987) 太陽熱利用による水田転換畑露地野菜の土壌病害防除に関する研究 (第3報) 野菜の苗立枯病に対する太陽熱消毒の防除効果. 滋賀県農業試験場研究報告 28 : 23-30
 - 18) 袖垣一也 (2002) 熱水消毒後の施肥と土壌物理性. 施設園芸 44 (4) : 54-56
 - 19) 竹内将史・本多範行・大崎隆幾 (2001) 施肥畦立後の熱水少量処理によるハウレンソウ萎凋病防除. 園芸学会北陸支部要旨 平成13年度 : 8

Control of Fusarium Wilt of Spinach by a Combination of Soil Sterilization by a Low Volume Hot Water Injection and No-Till Culture

Masashi TAKEUCHI, Noriyuki HONDA and Ryuki OSAKI

Summary

To establish an effective Fusarium wilt control system employing a more efficient hot water injection soil sterilization method, we examined reducing the quantity of the hot water and no-till culture.

1. The damage to spinach by Fusarium wilt is related to the pathogen density in the shallow layer of soil. For example, damage to the spinach was significantly decreased when sterilization was performed at a depth of 10cm.
2. The pathogen, Fusarium wilt was killed with treatments of heated water at 50 °C for 60 minutes and 55 °C for 5 minutes under wet soil condition.
3. The soil temperature was sufficiently increased by injecting higher temperature water into the soil. The soil temperature at a depth of 15cm was kept at over 50 °C for 11.6 hours (60 liters per m²) and, 4.8 hours (40 liters per m²).
4. In the first cultivation after the small volume hot water treatment, the Fusarium wilt of spinach was controlled effectively with results being equal to a chloropicrin fumigation treatment. Moreover, the yield of spinach was extremely higher than that of the non-treated field. In the second cultivation, damage to spinach was mitigated with no-till cultivation.
5. It is believed that coated fertilizer can be used before injecting hot water, because the nitrogen released from the coated fertilizer was not affected by exposing it to hot water.
6. When a coated fertilizer of 3.5 kg N /a was applied as basal dressing before hot water injection in a no-till culture, the spinach was able to successively grow well four times without tillage.
7. The combination of the low volume hot water injection soil sterilization method with coated fertilizer applied to a no-till culture resulted in a recommendable low cost and laborsaving spinach cultivation technique because of reductions in water usage and the amount of time to reach soil stabilization.