

熱水処理量がホウレンソウの生育及び収量に及ぼす影響

北 宜裕・小堀 恵¹⁾・河田隆弘・北浦健生・窪田一豊²⁾

Differential Effects of Hot Water Treatment for Soil Disinfestation on the Growth and Yield of Spinach

Nobuhiro KITA, Megumi KOZAKAI¹⁾, Takahiro KAWATA, Takeo KITAURA,
and Kazutoyo KUBOTA²⁾

摘 要

夏作ホウレンソウ栽培において、ホウレンソウの生育及び収量を最適化できる土壌消毒のための熱水処理量について、0～200 L・m²の範囲で検討した。その結果、深さ15 cmの土壌の最高温度は、100 L・m²以上の処理区では熱水処理後3時間で87℃以上に達し、その後、*Fusarium*属菌の致死温度である55℃以上の地温の持続時間も6時間以上確保された。熱水処理後の土壌中の*Fusarium*属菌数は、上層及び下層ともに50L処理区では低密度で残存していたが、それ以外の処理区では全く検出されなかった。発病度は100～150L処理区が最も低い値を示した。収量性は発病度を反映し、発病度が最も低かった100L処理区で最も収量が多くなった。以上の結果から、ホウレンソウ栽培では、実用レベルでの土壌病害防除効果があり、高い収量性が確保できる最適熱水処理量は100 L・m²であることが明らかになった。

キーワード：熱水土壌消毒，熱水処理量，ホウレンソウ，萎凋病

Summary

We determined the optimum amount of hot water for soil sterilization in summer spinach production to suppress soil-borne diseases in terms of the growth and yield. Over 100 L・m² application rapidly increased the soil temperature of 15 cm depth up to 87℃ within 3hrs and the soil temperature over 55℃, which is the lethal for *Fusarium*, had been maintained at least 6hrs. No *Fusarium* sp. could be detected from the soil of all the plots except 50 L・m² application plots. Though *Fusarium* wilt in these plots primarily depended on the amount of hot water applied, the occurrence and severity were the lowest in 100 L・m² plots, which in turn resulted in the highest yield among the treatments. These results demonstrate that application of 100 L・m² of hot water effectively disinfests the soil, leading to the optimum growth and the highest yield in summer spinach production.

Key words: hot water soil disinfestation, amount of hot water application, spinach, *Fusarium* wilt

緒 言

神奈川県のような都市農業地域においては、農薬をできるだけ使わずに品質の高い新鮮な野菜を周年生産するための技術開発、とりわけ安全性を確保できる生

産技術体系の開発が急務となっている。中でも県内に763 ha, 11,400 tの栽培があり、全国でも常に10位以内の生産量を誇るホウレンソウ(神奈川県農林水産統計情報 2007)を安定して周年栽培するためには、タイミングよく、低コストで効果的に土壌消毒を実施する必

¹⁾東京中央農改, ²⁾神奈川県肥料(株)

要がある。これまでは使用方法が簡便で処理効果が高い臭化メチルが利用されてきたが、2005年に使用が原則禁止となったことを受けて、全国の農業系試験研究機関で代替技術の開発が積極的に進められてきた。

その結果、ホウレンソウ栽培では、クロルピクリンが最も効果の高い代替薬剤とされ、全国的に利用されている(西 2006)。しかし、農地と住宅地が極めて近接している神奈川県においては、強い刺激臭を有するクロルピクリンは実質的に使用することはできない。

連作障害対策としての土壌消毒手法には、クロルピクリン等の農薬を用いる化学的手法、拮抗微生物や対抗作物等を利用する生物的手法及び太陽熱や、蒸気、熱水等を利用する物理的手法の3種類がある(北 2006)。これらのうち物理的手法は環境にやさしい技術として注目され、中でも神奈川県が1983年に独自開発したけん引方式の熱水土壌消毒は、技術的に最も完成度の高い物理的土壌消毒技術として、県内の施設トマトやバラ生産農家において実用利用されている(林 1979, Kita et al. 2003, 北・植草 2007)。しかし、ホウレンソウ栽培では処理する熱水量が多すぎるため、発芽あるいはその後の生育に障害が発生するなどの問題点があり、実用レベルでの普及が進んでいない(柳瀬 2003)。

そこで本研究では、ホウレンソウ栽培に熱水土壌消毒を効果的に適用するために、ホウレンソウの生育及び収量を最適化できる熱水処理量について検討し、熱水 $100 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ 処理において実用レベルでの土壌病害防除効果と高い収量性が確保できることを明らかにしたので、その結果を取りまとめて報告する。なお、本研究は「平成18～20年度先端技術を活用した農林水産研究高度化事業」により実施した。

材料及び方法

1. 熱水及びクロルピクリン処理

間口 5.4 m, 奥行 16 m の同型パイプハウス (86 m^2 , 0.1 mm 厚の農ビで屋根面のみ被覆) 2 棟を用い、ハウス内に 45cm 幅のトタン板で 1 区 3.25 m^2 ($1.3 \times 2.5 \text{ m}$) の枠を設置した。整地後、熱水処理区については処理量を 50, 100, 150 及び $200 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ とする 4 処理区 (以下それぞれ 50, 100, 150, 200L 処理区と記載) を設

定し、2006年7月18日に耐熱性塩化ビニルパイプを用いて重油ボイラーで調製した $95 \text{ }^\circ\text{C}$ の熱水を $25 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ でそれぞれ処理し、7月23日まで4ないし5日間ポリフィルムで被覆した。対照区として無処理区 ($0 \text{ L}\cdot\text{m}^2$) の他、クロルピクリン (CP) 処理区を設定した。CP 処理では 2006年7月18日に CP 錠剤 (南海化学 (株)) を $11.2 \text{ 錠}\cdot\text{m}^2$ 、深さ 15cm の位置に埋設後、7月23日まで 0.05mm 厚のポリフィルムで土壌表面を被覆し、小型耕耘機を用いて同7月23, 24 及び 26 日にガス抜きした。

2. 施肥

第1作は、土壌診断結果に基づいて各種土壌処理後の 2006年7月26日に苦土炭カルを用いて各処理区の土壌を pH6.5 に調整し、翌7月27日に化成肥料 (オール 14, クミアイ化学 (株)) のみを用いて、10 a 当たり $\text{N:P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O}=10:10:10 \text{ kg}$ となるよう施肥量を調節した。第1作と同じ処理区での連続栽培とした第2作は、第1作終了直後の土壌分析結果を受けて各処理区ごとに pH 及び施肥量を第1作と同様に調整した上で 2006年9月6日に施肥した。

3. ホウレンソウ栽培

第1作は 2006年7月28日に、事前に1昼夜、流水により催芽処理した ‘プリウス’ (F_1 品種) 及び ‘ノーベル’ (固定品種) を株間 5 cm, 条間 15 cm で播種 (1 か所 3 粒) し、播種後 $3 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ かん水した。発芽後、本葉展開開始期の 2006年8月10日に1株に間引きし、以後、生育状況を観察しながら必要に応じて適宜かん水した。

第2作は 2006年9月11日に第1作と同様に催芽処理した ‘リビエラ’ (F_1 品種) 及び ‘丸種ミンスターランド’ (固定品種) を、第1作と同じ処理区に同様の方法で播種した。なお、いずれの作においても栽培期間中、農薬は全く使用しなかった。

4. 収穫及び発病調査

第1作については播種後 38 日の 2006年9月4日に一斉収穫して収量調査を行うとともに全株を対象に発病度を調査した。第2作については、播種後 33 日の 10月13日以降 10月24日までの 11 日間に、50% 以上の株が草丈 25cm まで生育した処理区から順次収穫し、同様に収量及び発病調査を行った。発病度はホウレン

ソウについて、0：正常に生育，1：軽度の萎凋が発生し生育がやや劣る，2：株全体が萎凋し生育が極めて劣る，3：株の萎凋・枯死，の4段階で評価し， Σ (程度×該当株数)/(3×総株数)×100により算出した。統計解析には発病度の arcsin 変換値について一元配置分散分析及びLSDを適用した。

また，全処理区について上層(深さ0～15 cmまで)及び下層(深さ15～30 cm)の土壤を処理前後に採取し，駒田培地を用いて *Fusarium* 属菌数を調査した(駒田ら1975)。

結果

熱水処理に要する時間は，1処理区(3.25 m²)当たり，50L処理区では10分，100L処理区では20分程度であったが，150L及び200L処理区では処理した熱水が処理区枠内で満水に達してしまつたため，途中から熱水処理量を10 L・min⁻¹まで絞り込むとともに，状況によって間断処理した。その結果，150L処理区では25分，200L処理区では35分の熱水処理時間を要した。

各熱水処理区における土壤深度別の温度変化を図1に，また，40及び55℃以上の閾値温度別・土壤深度別持続時間を表1に示した。50L処理区では，深さ15 cmでも地温が40℃まで達しなかった。一方，100L処理区では深さ15cmで最高温度87℃，55℃以上の持続時間が6時間45分得られたが，深さ30cmでは最高温度は40℃まで達しなかった。一方，200L処理区では，深さ15cmで最高温度90.1℃，55℃以上の持続時間が15時間45分，深さ30cmでも最高温度は57.3℃，

表1 熱水処理量と土壤深度別の最高温度及び閾値温度別・土壤深度別持続時間

処理区	最高温度 (°C)		閾値温度別・土壤深度別持続時間			
	15cm ²	30cm ²	55℃<		40℃<	
			15cm ²	30cm ²	15cm ²	30cm ²
無処理	25.4	24.5	0	0	0	0
50 L	39.0	28.5	0	0	0	0
100 L	87.0	37.0	6時間45分	0	18時間15分	0
150 L	89.1	44.3	10時間45分	0	27時間30分	25時間15分
200 L	90.1	57.3	15時間45分	13時間45分	50時間	58時間15分

2006年7月18日に重油ボイラーで調製した95℃の熱水を25 L・min⁻¹でそれぞれ所定量を処理した。²土壤深度

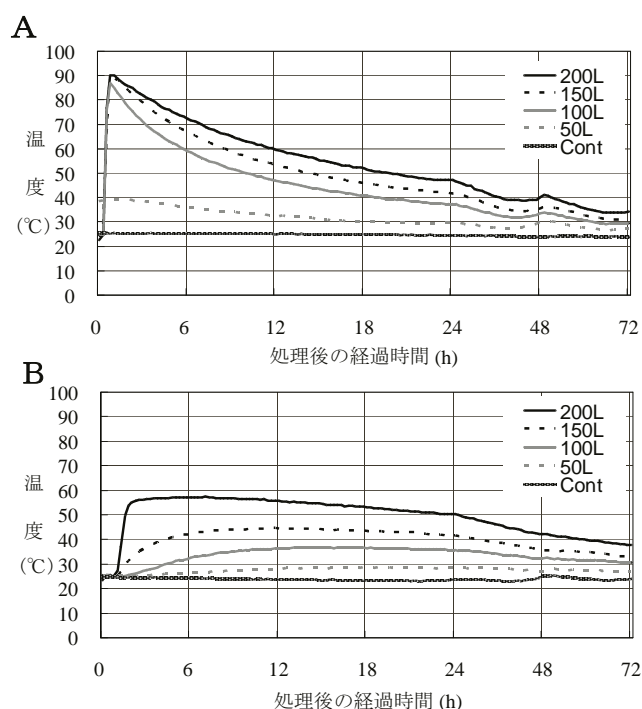


図1 各熱水処理区における土壤深度別の地温変化
処理は，2006年7月18日に重油ボイラーで調製した95℃の熱水を25 L・min⁻¹それぞれ所定量を処理した。A：土壤深度15 cm，B：同30 cm。各区の数値は1 m²当たりの熱水処理量を，Contは無処理区(0 L・m⁻²)を示す

55℃以上の持続時間は13時間45分に達した。

土壤処理前の *Fusarium* 属菌数は表層より下層からより多く検出されたものの処理区間差は認められず，全体としては均一な密度であった。一方，熱水処理後は，50L処理区では *Fusarium* 属菌が低密度で残存していたが，それ以外の処理区及びCP処理区では土壤

深度にかかわらず *Fusarium* 属菌は全く検出されなかった(表2)。

熱水処理量と発病度との関係を図2Aに示した。Fi品種の発病度は処理区間で有意差が認められ，第1作の‘プリウス’及び第2作の‘リビエラ’とも

表 2 熱水処理前後の *Fusarium* 属菌数の変化

処理区	0 ~ 15cm ^z		15 ~ 30cm	
	処理前 ^y	処理後 ^x	処理前	処理後
	cfu/g	cfu/g	cfu/g	cfu/g
無処理	33	47	400	140
50 L	23	3	430	19
100 L	35	0	350	0
150 L	35	0	400	0
200 L	39	0	350	0
コロピ ^o クリン	20	0	260	0

^z 土壌深度, ^y 2006年7月18日及び7月25日サンプリング. 熱水処理は7月18日

に 100L 処理区でそれぞれ 15.4 及び 18.1 と CP 処理区の 18.3 及び 11.3 と同等の低い値を示した. 固定品種の発病度についても, 第 1 作の 'ノーベル' では 150L 処理区で最も低い値 (27.1) を示したが, 処理区間での有意差は認められなかった. 第 2 作の '丸粒ミンスターランド' では処理区間に有意差が認められ, F₁ 品種と同様に 100L 処理区で 15.4 と最も低くなった. なお, いずれの固定品種とも CP 処理区と有意な発病度の差は認められなかった. これに対し, 第 1 作で無処理区に次ぐ高い発病度を示した 50L 処理区の第 2 作では, F₁ 品種及び固定品種ともに発病度が 60 を越えるなど激しく発病した. 枯死株の導管部は褐変化し, 褐変組織からは定法によりホウレンソウに病原性を示す *F.oxysporum* が高率で分離された (データ省略).

熱水処理量と収量との関係を図 2B に示した. 収穫率はいずれの処理区とも発病度を反映し, F₁ 品種では 2 作とも, 固定品種では第 2 作で有意な処理区間差が生じた. これらの品種及び作のうち, 発病度が最も低くなった 100L 処理区の収穫株率は 70 ~ 80 % と高く, その結果, 収量は 'ノーベル' 以外の品種の 100L 処理区で 1000g・m² を越え, CP 処理区と同等の収量性を示した. なお, いずれの処理区及び作においても, 熱水処理量が 150 L・m² を越えると土壌水分過多によると思われる生育阻害が生じ, 熱水処理量が多いほど収量が少なくなる傾向が認められた. また, 全体として F₁ 品種の方が固定品種に比べより高い収量性を示した.

考 察

ホウレンソウやコマツナなどの軟弱野菜類の専作経営では, 年間 4 ~ 5 回の作付けが基本となる (香川 1997). 安定した生産性を維持するためには適切な輪作体系を組むことが最も有効な手法ではあるが, 農地面積が限られている都市農業県神奈川においてはそれも難しく, また, 周辺住民とのトラブルを避けるためにもクロロピクリン等の刺激臭のある化学薬剤は事実上使用できない. その点, 熱水土壤消毒は重油等を用いて 95 °C の熱水を 1 m² 当たり 150 ~ 300 L 処理することによって土壌を殺菌する物理的な消毒手法であることから, 環境に負荷の少ない技術として一定の評価

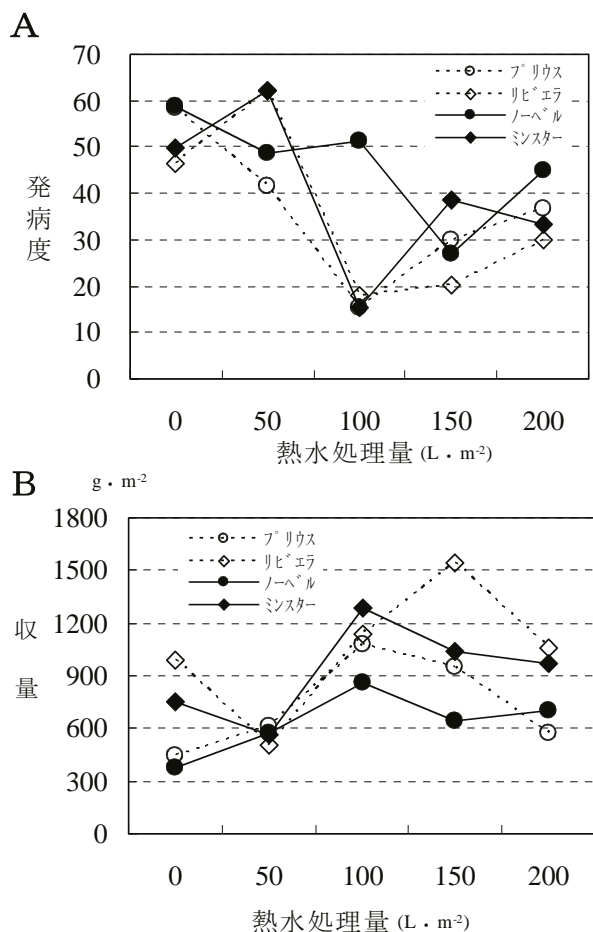


図 2 熱水処理量と萎凋病発病度 (A) 及び収量 (B) の関係

発病度はホウレンソウについて, 0: 正常に生育, 1: 軽度の萎凋が発生し生育がやや劣る, 2: 株全体が萎凋し生育が極めて劣る, 3: 株の萎凋・枯死, の 4 段階で評価し, $\Sigma(\text{程度} \times \text{該当株数}) / (3 \times \text{総株数}) \times 100$ により算出

を得ている(西 2002, 北 2006). そこで本研究において, 晩夏~初秋どり作型のハウレンソウ栽培を安定化することができる最適な熱水処理量について検討した結果, 1 m^2 当たり 100 L が最少かつ最適であることを明らかにすることができた. ハウレンソウ萎凋病防除を目的とした熱水土壌消毒では, 浜崎ら(2005)は $150 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ の, 竹川ら(2004)及び岩本ら(2000)は $140 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ の熱水をそれぞれ処理し, いずれも良好な結果を得ている.

一方, 柳瀬ら(2003)は, 岐阜県高山市でのハウレンソウ栽培において熱水の $200 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ 処理を行い, 土壌病害に対しては高い防除効果を確認しているが, 土壌の透水性の悪いほ場では, 播種後に発芽障害が発生したり, 生育が遅れたりするなど, 熱水処理に伴うマイナスの効果を認めている. 実際, ハウレンソウは発芽時の酸素要求量が多く, 空気中の酸素濃度が 2% ではほとんど発芽せず, 10% でも発芽が著しく抑制される(杉山 1944, 堀・杉山 1953). 本研究でも, 熱水処理量が $150 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ を越えると土壌温度はより高まるにもかかわらず萎凋病防除効果が低下する傾向があり, それに伴って収量も低下した. これは土壌温度上昇による *Fusarium* 属菌の密度低下の結果とは一致しないが, 生育状況の観察によると, 発芽後の生育不良が原因となり, 萎凋病の発病が助長された結果であると考えられた. したがって, 栽培土壌の透水性にもよるが, ハウレンソウ栽培においては $100 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ 程度が土壌病害防除と生育促進の両立に適した熱水処理量であると判断された.

熱水処理量を減らすためには, 熱水が持つ熱をいかに土壌深くまで効率的に伝導できるかが極めて重要となる. 加藤ら(2009)及び落合ら(2009)の詳細な研究により, 熱水が土壌中に浸透していくのに伴って, まず熱水の移流によって土壌温度が上昇し, その後, 熱伝導により周囲の土壌に拡散していくことが明らかにされている. したがって, 土壌中に硬盤が存在したり, 粘土質で透水性の悪い土壌であったりすると初期の熱移流が妨げられ, 当然のことながら結果として表面からの熱損失が増大して土壌温度は上昇しない. 落合ら(2009)は, 実際の熱水処理実験で得られたデータをもとに作成した土壌中の熱伝導シミュレーションモデル

を用いて熱水動態を解析し, 土壌深度 30 cm 程度までの作土を $55 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上まで上昇させるには $100 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ が最少処理量であると予測している.

このようにハウレンソウ栽培において連作障害対策として熱水処理を実施する場合には, 実用レベルでの土壌病害防除効果があり, 安定した収量が確保できる熱水 $100 \text{ L}\cdot\text{m}^2$ 処理が最少最適であることが明らかになった. 千葉県や兵庫県の有機 JAS 認定制度に適合したハウレンソウのオーガニック認定栽培企業等では, 熱水土壌消毒はすでに栽培体系上欠かせない技術として実用的に利用されている(三井 2005). また, コマツナ, コカブ, チンゲンサイ, シュンギク等, 他の多くの軟弱野菜類でも熱水土壌消毒の適用例が数多くあり, いずれも高い防除効果のみならず増収効果も得られている(北・植草 2007). 今後, 神奈川県においても熱水土壌消毒が環境にやさしい土壌消毒手法として, 広範囲の野菜類の栽培で積極的に利用されることが期待される.

謝 辞

本研究の遂行にあたり千葉県農林総合研究センターの植松清次氏には本稿のご校閲をいただいた. ここに記して感謝の意を表する.

引用文献

- 林 勇. 1979. 施設における温湯土壌消毒法の開発(第1報). 温室バラを中心にした温湯土壌消毒法の開発と実用化試験. 神奈川園試研報. 26: 60-72.
- 堀 裕・杉山直儀. 1953. 蔬菜種子の発芽に及ぼす酸素及び炭酸ガス濃度の影響. 園学雑. 22: 72-80.
- 岩本 豊・高木 廣・長田靖之・西村いつき. 2000. 傾斜地ほ場における熱水土壌消毒によるハウレンソウ萎凋病防除. 関西病虫研報. 42: 53-54.
- 香川 彰. 1997. 高品質ハウレンソウの栽培生理. 株式会社いしずえ. 東京.
- 加藤高寛・登尾浩助・北 宜裕. 2009. 熱水土壌消毒時における熱・水・溶質移動の測定. 明治大学農学部研究報告. 58: 75-84.
- 神奈川県農林水産統計情報. 2007.
- Kita, N., K. Nishi, and S. Uematsu. 2003. Hot water

- treatment as a promising alternative to methyl bromide. Proceedings of International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions. p.26-1 - 26-2.
www.mbao.org
- 北 宜裕. 2006. 物理的消毒法の効果と普及. 野茶研集報. 3 : 7-15.
- 北 宜裕・植草秀敏. 2007. 熱水土壤消毒の効果と普及. 植物防疫. 61 : 73-79.
- 三井和子. 2005. 日本ホウレンソウ紀行. ー安全・安心にチャレンジする人々ー. 太陽熱から熱水消毒へ. 安定した真夏の出荷. 農耕と園芸. 60 : 102-107.
- 西 和文. 2002. 熱水土壤消毒ーその理論と実践の記録ー. 日本施設園芸協会. 東京.
- 西 和文. 2006. 臭化メチルを巡る国際動向と代替技術. 野茶研集報. 3 : 35-41.
- 落合博之・登尾浩助・北 宜裕・加藤高寛. 2009. 熱水土壤消毒時及びその後の土壤中における溶質動態. 土壤の物理性. 112 : 9-12.
- 杉山直儀. 1944. 蒺藜草種子発芽不良の原因と対策. 農及園. 19 : 307-308.
- 柳瀬関三. 2003. 夏どりホウレンソウの熱水土壤消毒法. 農耕と園芸. 58 : 71-75.