

施設キュウリの根域制限ベッド栽培システムにおける太陽熱併用熱水土壤消毒

誌名	群馬県園芸試験場研究報告
ISSN	1342453X
著者名	松沼, 俊文 川島, 正俊 阿部, 晴夫
発行元	群馬県園芸試験場
巻/号	7号
掲載ページ	p. 11-18
発行年月	2002年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



施設キュウリの根域制限ベッド栽培システムにおける太陽熱併用熱水土壌消毒

松沼俊文・川島正俊*・阿部晴夫

要 旨

施設キュウリ栽培における臭化メチルの代替手段として、化学薬剤を使わない環境保全的な土壌消毒を確立するため、根域制限ベッドにおいて、太陽熱と熱水を利用した「太陽熱併用熱水土壌消毒法」を開発した。盛夏期に太陽熱土壌消毒を行い、透水遮根シートで隔離した培地の地温を上げた状態で、灯油給湯器を用いて熱水をかん水チューブで散水することにより、培地内の温度が土壌消毒に必要とされる 55℃に達した。また、かん水チューブを1ベッド2本とし、ポリマルチをトンネル状に被覆すると、少量の熱水で短時間に昇温が可能であった。自根キュウリを栽培した結果、臭化メチルと同等の防除効果があることから、本消毒法の有効性が明らかになった。

結 言

施設キュウリ栽培で問題となっている主な土壌病害虫として、ネコブセンチュウ、ホモプシス根腐病などがある。また、台木に接ぎ木することで、回避が可能なる割れ病がある。これらの土壌病害虫は、いずれも比較的熱に弱く、一定以上の熱に連続して遭遇すると死滅する。

施設キュウリ栽培圃場は、連作によって植物に有害な病原性の糸状菌や細菌、微小動物が発生しやすく、その対策として様々な土壌消毒法がとられている。化学薬剤を用いない方法としては、盛夏期に約30日間施設を密閉し、高温の熱を利用する太陽熱土壌消毒がある。しかし、処理期間中の天候が不順であったり、日照が少ない年には、施設内の温度が十分に上昇しないため、安定した効果が期待できない。また、化学薬剤を用いた方法では、臭化メチル、クロルピクリン、

D-D、ホスチアゼートなどによる土壌消毒がある。特に、臭化メチルは、取り扱いが簡便で安定した効果を発揮し、最も頻繁に使われてきたが、オゾン層破壊物質として指定され、2005年に全廃が決まっている。その代替手段として、蒸気消毒、熱水を利用した土壌消毒^{3) 5~9)}が検討され、一部実用化されている。しかし、圃場全面を消毒するには、専用の高額な大型熱水ポイラーを用いなくてはならず、設備費の面で広く普及するまでに至っていない。

そこで、遮根透水シートで隔離した根域を太陽熱で昇温させ、灯油給湯器を用いた少量の熱水で、消毒に必要とされる 55℃^{5) 10)}までの熱を補う土壌消毒法を検討した。その結果、栽培土壌全体の消毒ができ、簡易、安価な設備で、安定した効果を期待できる「太陽熱併用熱水土壌消毒法」を開発したので報告する。

*群馬県館林地区農業改良普及センター

材料および方法

根域制限ベッド栽培システムの構造

図1に、根域制限ベッド栽培システム^{1) 2)}の概略を示した。装置は、根は通さないが水を透す遮根透水シート（商品名：防根透水シート、東洋紡績製）を用いた隔離ベッド、熱水を給湯する直圧式石油瞬間給湯器（以下灯油給湯器、連続給湯 40,000 kcal/h、長府製）、かん水チューブ（エパーフロー A 型）、マルチ、タイマーなどから成り立っており、資材費は約 70 万円 / 10 a である。このシステムは、冬季の地温低下時に温湯かん水することで、作物の生育を促進することが可能である。試験は、本システムを用いて群馬県園芸試験場内で行った。

試験 1 太陽熱併用熱水土壤消毒法の防除効果

土壤消毒の処理方法と遮根透水シート（以下シート）の有無について、アクリルハウスで試験を行った。試験区は、太陽熱消毒（以下太陽熱）区、太陽熱消毒+熱水消毒（以下太陽熱+熱水）区、臭化メチル区、無処理区を設けた。シートによる隔離ベッドは、幅 50 cm、深さ 25 cm、長さ 9 m とした。太陽熱消毒は、ポリマルチ (0.05 mm) を全面被覆し、1997 年 7 月 26 日から 8 月 13 日まで実施した。熱水消毒は、8 月 17 日にかん水チューブ 1 本でシート内全域が 55℃に達するまで散水した。

キュウリは、品種‘オナー’（自根）を供試して、8 月 4 日にセルトレイ 72 穴へ播種し、8 月 20 日に条間 200 cm、株間 25 cm (2,000 株 / 10 a) で定植した。施肥量は、10 a 当たり窒素 15 kg、リン酸 32 kg、加里 19 kg とした。栽培終了後、収量および土壤病害虫の被害調査を行った。

試験 2 かん水チューブ数が地温に及ぼす影響

熱水消毒時のかん水チューブ数について、アクリルハウスで試験を行った。試験区は、太陽熱、太陽熱+熱水（かん水チューブ 1 本）、太陽

熱+熱水（かん水チューブ 2 本）の 3 区を設けた。隔離ベッドは、幅 50 cm、深さ 25 cm、長さ 9 m とした。太陽熱消毒は、試験 1 に準じて、1998 年 7 月 23 日から 8 月 16 日まで実施した。熱水消毒は、8 月 11 日に熱水を散水して、遮根透水シートで隔離された根域全体が 55℃になるまでの時間、散水量を調査した。

試験 3 根域の隔離条件が地温に及ぼす影響

熱水消毒時の根域隔離条件について、アクリルハウスで試験を行った。根域制限ベッドは、幅 50 cm、深さ 25 cm、長さ 9 m と、幅 83 cm、深さ 15 cm、長さ 9 m の 2 区とし、根域の土壤容積を 31.1 ℓ / 株に揃えた（図 2）。太陽熱消毒は、試験 1 に準じて、1999 年 7 月 29 日から 8 月 17 日まで実施した。熱水消毒は、8 月 12 日に 2 本のかん水チューブで熱水を散水して、根域全体が 55℃に達するまでの時間と散水量を調査した。

また、キュウリの品種‘湧泉’（自根）を供試して、8 月 4 日にセルトレイ 72 穴へ播種し、8 月 18 日に条間 200 cm、株間 25 cm (2,000 株 / 10 a) で定植した。施肥量は、10 a 当たり窒素 20 kg、リン酸 21 kg、加里 19 kg とした。栽培終了後、収量および土壤病害虫の被害調査を行った。

試験 4 散水時の被覆方法が地温に及ぼす影響

熱水散水時のポリマルチ被覆方法について、PO 系フィルムハウスで試験を行った。太陽熱消毒は、試験 1 に準じて、2001 年 7 月 17 日から 8 月 23 日まで実施した。根域制限ベッドは、幅 83 cm、深さ 15 cm、長さ 25 m とした。熱水消毒の散水方法は、太陽熱消毒に用いたポリマルチでベッド上に作ったトンネル内に散水するトンネル被覆区、その全面被覆したままのポリマルチ内に散水するマルチ被覆区、被覆なしで散水する無被覆区の 3 区を設定した（図 3）。8 月 24 日に、72～73℃の熱水散水を 6 時間実施して、根域全体が 55℃に達するまでの時間と散水量を調査した。

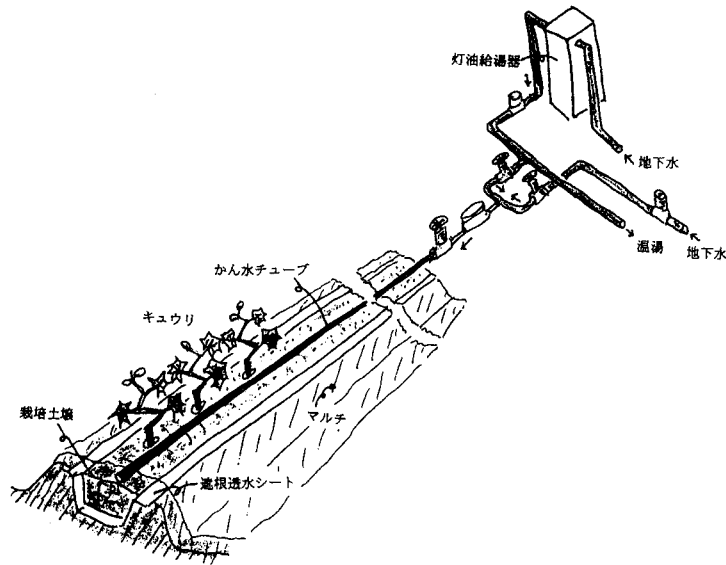


図1 根域制限ベッド栽培システム

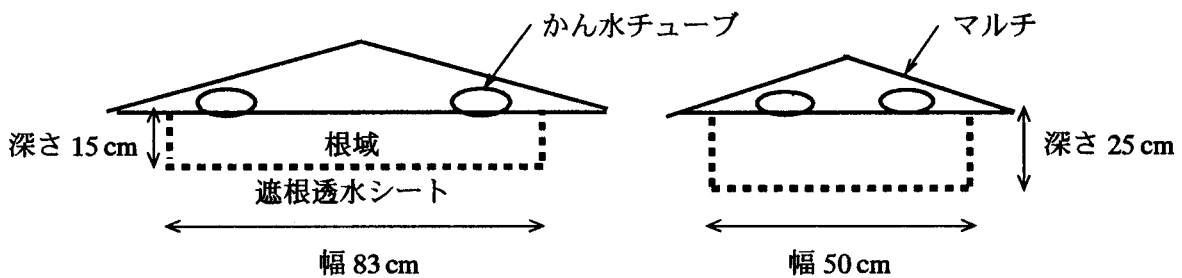


図2 根域の隔離条件

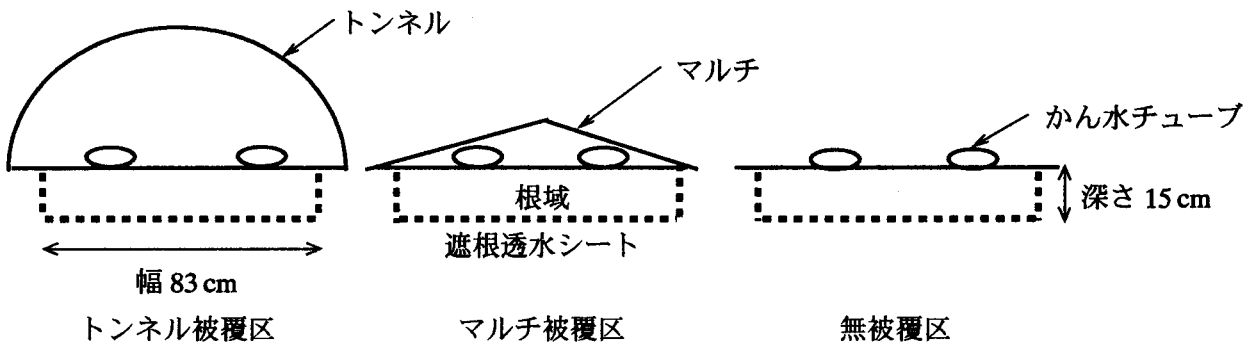


図3 熱水の散水方法

結 果

試験1 太陽熱併用熱水土壤消毒法の防除効果

表1に、土壤病害虫の被害およびキュウリの収量調査結果を示した。ネコブセンチュウは、無処理区の発生が多く、ネコブ指数がシート有で82.1、シート無では27.1となった。太陽熱区の

シート有はネコブ指数1.3、シート無は0.0であった。太陽熱+熱水区と臭化メチル区は、シートの有無にかかわらずネコブ指数0.0と高い防除効果を示した。つる割病は、太陽熱+熱水区が高い防除効果を示し、シートの有無にかかわらず、発病株率、発病度とも0.0であった。その他の区の発病度は、太陽熱区のシート有2.1、シート

無 27.1、臭化メチル区のシート有 6.9、シート無 11.3、無処理区のシート有 69.6、シート無 57.5 であった。

キュウリの収量は、無処理区が低く、他の区は 10 a 当たり 6 t 以上であった。消毒方法、シートの有無による差はみられなかった

試験 2 かん水チューブ数が地温に及ぼす影響

表 2 に、熱水消毒時のかん水チューブ数と地温の遭遇状況を示した。1998 年は冷夏のため、太陽熱区では深さ 5 cm でも地温が 50 °C に達しなかった。太陽熱+熱水区は、かん水チューブ 1 本、2 本とも深さ 25 cm で 55 °C に達した。

深さ 25 cm において、地温 55 °C に達するまでの時間と 1 m² 当たりの散水量は、かん水チューブ 1 本で 244 分、120 ℓ、2 本で 261 分、85 ℓ となった。また、55 °C 以上の連続遭遇時間は、かん水チューブ 1 本が 14 時間、2 本が 6 時間であった。散水量は、かん水チューブ 2 本の場合 1 本の 71 % であった。

試験 3 根域の隔離条件が地温に及ぼす影響

表 3 に、熱水消毒時の根域隔離条件と地温の遭遇状況を示した。太陽熱消毒だけでは、ベッド幅 50 cm、深さ 25 cm 区と幅 83 cm、深さ 15 cm 区

は、いずれも深さ 15 cm で地温 55 °C に達しなかった。しかし、太陽熱+熱水消毒では、両区とも根域全体が 55 °C に達した。

熱水消毒開始後に、根域全体が 55 °C に達するまでの時間と 1 m² 当たりの散水量 (表 4) は、ベッド幅 50 cm、深さ 25 cm 区で 160 分、174 ℓ、幅 83 cm、深さ 15 cm 区では 113 分、128 ℓ となった。この結果、散水時間、散水量ともに後者が前者の約 70 % と、根域を浅くすることで削減できた。表 5 に、根域隔離条件と土壌病害虫の被害およびキュウリの収量を示した。キュウリの収量は、10 a 当たりベッド幅 83 cm、深さ 15 cm 区が 6.9 t で、幅 50 cm、深さ 25 cm 区の 6.1 t と同等以上であった。土壌病害虫の被害は、両区とも認められなかった

試験 4 散水時の被覆方法が地温に及ぼす影響

トンネル被覆区およびマルチ被覆区について、熱水散水後の地温上昇状況を図 4 に、根域全体が地温 55 °C に達するまでの時間と散水量を表 6 に示した。マルチ被覆区のほぼ根域全体が 360 分、81.8 ℓ で 55 °C へ達したのに対し、トンネル被覆区は 210 分、47.4 ℓ と、時間、散水量ともマルチ被覆区の 58 % で完全に 55 °C へ達した。なお、

表 1 土壌消毒法と土壌病害虫の被害およびキュウリの収量 (1998)

試験区	シート の有無	ネコブセンチュウ		つる 割 病		1 株当たり 収 量 (kg)	10 a 当たり 収 量 (t)
		被害株率 (%)	ネコブ指数	発病株率 (%)	発病度		
太陽熱	有	5.0	1.3	42.8	12.1	3.2	6.4
	無	0.0	0.0	60.0	27.5	2.9	5.8
太陽熱 +熱水	有	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	6.4
	無	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	6.6
臭化 メチル	有	0.0	0.0	22.2	6.9	3.1	6.2
	無	0.0	0.0	45.0	11.3	3.2	6.4
無処理	有	100.0	82.1	92.9	69.6	1.7	3.4
	無	90.0	27.5	100.0	57.5	2.6	5.2

注) ネコブ指数 = \sum (被害程度 × 程度別株数) × 100 / (4 × 調査株数)

被害程度 0: 根系全体にネコブを全く認めない、1: わずかに形成、2: 中程度形成

3: 多数形成、4: 多数形成して大きい

つる割病発病度 = \sum (発病程度 × 程度別株数) × 100 / (4 × 調査株数)

発病程度 0: 維管束に変色なし、1: 変色が 1/3 未満、2: 変色が 1/3 ~ 2/3、3: 変色が 2/3 以上、4: 株が枯死

表2 熱水消毒時のかん水チューブ数と地温遭遇状況 (1998)

試験区	シート の内外	深さ	40℃以上 遭遇時間		45℃以上 遭遇時間		50℃以上 遭遇時間		55℃以上 遭遇時間		60℃以上 遭遇時間		最高 地温 (℃)
			積算	最長 連続	積算	最長 連続	積算	最長 連続	積算	最長 連続	積算	最長 連続	
			(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	
太陽熱 +熱水 チューブ 2本	内	5 cm	188	34	79	16	22	11	8	8	5	5	75
	内	15 cm	53	38	26	26	15	15	11	11	7	7	73
	内	25 cm	41	41	24	24	13	13	6	6	0	0	70
	外	35 cm	35	35	8	8	0	0	0	0	0	0	49
太陽熱 +熱水 チューブ 1本	内	5 cm	210	36	115	27	43	12	14	9	7	7	68
	内	15 cm	115	42	32	32	19	19	14	14	10	10	67
	内	25 cm	68	68	34	34	21	21	14	14	9	9	56
	外	35 cm	49	49	21	21	0	0	0	0	0	0	45
太陽熱	内	5 cm	125	10	46	8	0	0	0	0	0	0	49
	内	15 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
	内	25 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
	外	35 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34

表3 熱水消毒時の根域隔離条件と地温遭遇状況 (1999)

試験区	消毒 方法	深さ	40℃以上 遭遇時間		45℃以上 遭遇時間		50℃以上 遭遇時間		55℃以上 遭遇時間		60℃以上 遭遇時間		最高 地温 (℃)
			積算	最長 連続	積算	最長 連続	積算	最長 連続	積算	最長 連続	積算	最長 連続	
			(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	
ベッド 幅 83 cm 深さ 15 cm	太陽熱 +熱水	5 cm	261	63	143	15	89	11	40	6	6	3	67
		15 cm	211	60	63	37	18	12	7	7	0	0	60
	太陽熱	5 cm	220	14	129	11	79	7	36	5	2	2	61
		15 cm	181	17	34	7	0	0	0	0	0	0	46
ベッド 幅 50 cm 深さ 25 cm	太陽熱 +熱水	5 cm	234	41	139	16	73	11	26	6	7	4	71
		15 cm	180	61	51	37	25	15	11	11	5	3	66
		25 cm	68	68	42	42	30	30	11	11	3	3	61
	太陽熱	5 cm	199	15	107	9	51	6	3	1	0	0	56
深さ 25 cm	太陽熱	15 cm	121	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
		25 cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-

表4 熱水消毒時の根域隔離条件と地温55℃到達までの散水時間および散水量 (1999)

試験区	根域全体が55℃に到達するまでの			
	散水時間 (分)	同左指数	散水量 (ℓ/m ²)	同左指数
ベッド幅 83 cm・深さ 15 cm	113	71	128	74
ベッド幅 50 cm・深さ 25 cm	160	100	174	100

表5 根域隔離条件と土壤病害虫の被害およびキュウリの収量 (1999)

試 験 区	ネコブセンチュウ		つる割病		10 a 当たり 収 量 (t)
	被 害 株 率 (%)	ネコブ指数	発 病 株 率 (%)	発 病 度	
ベッド幅 83 cm・深さ 15 cm	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9
ベッド幅 50 cm・深さ 25 cm	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1

注) ネコブ指数 = \sum (被害程度 × 程度別株数) × 100 / (4 × 調査株数)
 被害程度 0: 根系全体にネコブを全く認めない、1: わずかに形成、2: 中程度形成
 3: 多数形成、4: 多数形成して大きい
 つる割病発病度 = \sum (発病程度 × 程度別株数) × 100 / (4 × 調査株数)
 発病程度 0: 維管束に変色なし、1: 変色が 1/3 未満、2: 変色が 1/3 ~ 2/3、3: 変色が 2/3 以上、4: 株が枯死

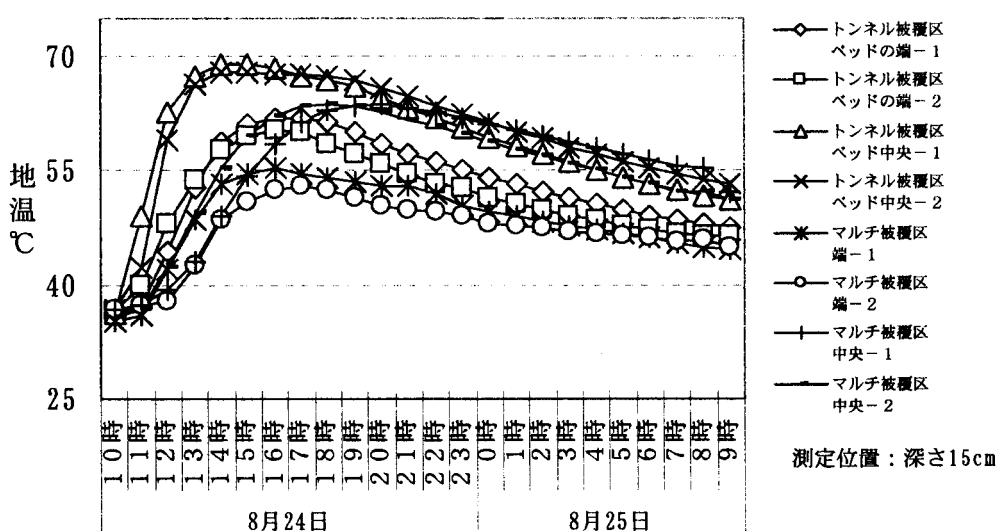


図4 被覆方法と熱水散水後の地温上昇状況 (2001)

表6 被覆方法と地温 55°C 到達までの散水時間および散水量 (2001)

試 験 区	根域全体が 55°C に到達するまでの			
	散水時間 (分)	同左指数	散水量 (l/m^2)	同左指数
トンネル被覆	210	58	47.4	58
マルチ被覆	360	100	81.8	100

無被覆区では 55°C に到達しなかった。

考 察

太陽熱土壤消毒は、石灰窒素と有機物を土壤に施用後、十分散水してポリフィルムなどで全面被覆し、夏期の7月中下旬から8月中下旬まで約30日間施設を密閉する方法である。この消毒

法による防除効果が顕著なものとして、キュウリつる割病、ナス半身萎凋病、キュウリとトマトのネコブセンチュウなどがある。また、熱水土壤消毒は、熱水を土壤表面から注入することによって、病原菌や害虫を死滅させる方法である。これまでに、トマト萎凋病^{6) 9)}、ハウレンソウ萎凋病⁵⁾、スイカ黒点根腐病^{6) 7)}、キタネグサレセンチュウ⁸⁾、サツマイモネコブセンチュウ^{6) 8) 9)}、

ダイズシストセンチュウ⁸⁾に対して防除効果があると報告されている。

今回開発した太陽熱併用熱水土壤消毒法で、キュウリを自根栽培した結果、臭化メチル消毒と同程度の収量が得られた。また、根部につる割病、ネコブセンチュウの被害が認められないことから、これらの防除が可能であると考えられた。

国内でキュウリに最も被害を及ぼすネコブセンチュウは、サツマイモネコブセンチュウであり、土壤中に深さ 80 cm まで分布しているとの報告がある⁹⁾。一方、キュウリは浅根性であり、深さ 20 cm 位のところに根が多く分布しているが、直根や一部の根は、1 m 近くの深さまで達するものもある。したがって、土壤くん蒸剤で消毒しても、処理効果が及ぶ層より深いところでは、薬剤の影響を受けずにセンチュウが残存しており、根は被害を受けることがある。また、熱水消毒を行っても、深さ 40 cm 以下では昇温しないため効果が少なく、センチュウの一部残存が問題であると指摘されている⁸⁾。本試験では、遮根透水シートにより根域を深さ 25 cm、あるいは 15 cm とすることで、太陽熱と熱水で消毒された隔離培地内のみ根を伸長させ、土壤深部の未消毒層との接触を防ぐ栽培が可能であった。

熱水土壤消毒は、農水省農業研究センターで、95℃の熱水が散水可能なボイラー (250,000 kcal/h) を用いて行った⁶⁾が、本試験では、家庭用の灯油給湯器 (40,000 kcal/h) を用いての土壤消毒が可能であった。さらに、熱水の散水方法、ベッド形状を改良することで、より少ない散水量と短い時間で消毒が可能となった。散水方法としては、かん水チューブを 2 本使用した場合、熱水 85 ℓ/m² の散水で、隔離ベッド最深部 (深さ 25 cm) の地温が 55℃に達し、1 本の場合の 120 ℓ/m² よりも少なかった。そして、根域を深さ 15 cm に隔離すると、地温 55℃に達するまでの散水量と散水時間が、深さ 25 cm の約 70%に削減された。また、太陽熱消毒で一般的に行われている

べたがけ状のマルチ被覆は、かん水チューブ付近に熱水が集中し、チューブから離れたところで散水むらが生じて、隔離ベッドの端部分では地温上昇が遅くなることがあった。しかし、被覆方法をトンネル状にして空間を作り、ベッド内の散水むらをなくすことで、さらに散水量、散水時間とも 58%に削減が可能であった。

試験によって単位面積当たりの散水量が異なる結果となったが、これは熱水消毒時における圃場の水分量、地温、気象条件が影響していると考えられる。また、ベッドの長さによって単位時間当たりの流入量に違いが生じたことが考えられる。現地で実施する場合、これらの圃場条件、気象条件、給湯能力とベッドの長さを考慮した熱水の散水が必要である。

今回試験で用いた装置のコストは、灯油給油器が 1 台約 15 万円、遮根透水シート (幅 190 cm、長さ 100 m で 3.6 万円) が 10 a 当たり約 450 m で 15.7 万円、その他を含めると約 70 万円である。また、給湯量にもよるが、ボイラー 1 台で消毒可能な面積が、1 日当たり 2 a 前後と限られるため、10 a 当たりの消毒時間は約 5～7 日間必要である。遮根透水シートの耐用年数は、現地で行われている根域制限トマト栽培の例から 3～5 年である。

本試験では、土壤を熱水消毒したキュウリにネコブセンチュウの被害はなかったが、遮根透水シートそのものは、センチュウ類を通す可能性がある。そのため、隔離培地内のみを熱水消毒しても、シートを通過してきたセンチュウが根に感染する可能性があり、熱水による消毒域をより一層大きく取ること、栽培時における水の動態を上から下へと導くことで、センチュウの通過を最小限にする必要があると思われる。

今回試験したような隔離培地でキュウリを栽培する場合、経済性、作型、隔離条件など克服すべき課題が多く残っている。今後、現地への導入が予定されており、早急に問題の解決を図る必要が

ある。

引用文献

- 1 阿部晴夫・間庭慶典・栗原則雄・太田 一 . 1990. ハウス用温風暖房機の煙突廃熱利用温水器の開発とその利用. 群馬農業研究. D5:43-44
- 2 阿部晴夫. 2000. キュウリの省力・快適生産. 49-57p. 平成12年度課題別研究会 キュウリ生産の現状と技術開発の方向
- 3 北 宜裕. 1999. 熱水土壌消毒. 216-7-2p. 農業技術大系土壌施肥編 5-①. 農文協
- 4 小林義明. 1989. 野菜・花の施設栽培における線虫問題と防除対策. 44-53p. 平成元年度課題別研究会 土壌線虫を巡る諸問題
- 5 国安克人・西 和文・百田洋二・竹下貞男. 1991. 熱水注入による土壌消毒. 植物防疫. 45:247-251
- 6 中山尊登. 1999. 熱水土壌消毒法の現状と今後の展望. 植物防疫. 53:475-478
- 7 酒井 宏・白石俊昌・萩原 廣・竹原利明・中山尊登・斉藤初雄・漆原寿彦・蓼沼 優 . 1998. スイカ黒点根腐病の熱水処理及び薬剤による防除. 関東病虫研報. 45:77-79
- 8 清水 啓・奈良部孝・伊藤賢治. 1997. 数種植物寄生線虫に対する熱水土壌消毒の効果. 関東病虫研報. 44:303-305
- 9 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ネコブセンチュウの防除. 千葉農試研報. 34:85-90

(Key words : Cucumber, Limited rhizosphere bed, Solar heat, Hot water, Soil sterilization)

Soil Sterilization by Hot Water Sprinkling together with Solar Heat for Limited Rhizosphere Bed System of Cucumber Culture in Greenhouse

Toshifumi MATSUNUMA, Masatoshi KAWASHIMA and Haruo ABE
(Gunma Horticultural Experiment Station)

Summary

To establish the substitute way for methyl bromide fumigation and the environmental protection way to disuse chemicals, we developed a method of soil sterilization by hot water sprinkling together with solar heat for the limited rhizosphere bed system of cucumber culture in greenhouse. The soil isolated in root-impenetrable and water-permeable sheet was sterilized by the solar heat in midsummer. And as the soil temperature was kept rather high, a small quantity of hot water was sprinkled on the soil by using the fuel hot water feeder and irrigation tube. As a result, the soil temperature reached to 55 °C which was necessary to disinfect, and it was possible to reduce the amount of hot water and time to 55 °C by improving the sprinkling means. This method evidently proved available when ungrafted cucumbers were planted in this limited rhizosphere bed since the effect of pest control was equal to the methyl bromide fumigation.