

特集：ポスト臭化メチル時代の土壌病害虫防除

散水蒸気消毒の効果と普及

静岡県農業試験場 外 側 正 之

はじめに

臭化メチルは野菜や花きの土壌消毒剤として、低コストなうえに取り扱いが手軽で広く使用されてきたため、使用の全廃は農家に大きな影響が出ている。

臭化メチル代替技術として、クロルピクリン、D-D、メチルイソチオシアネート、ダゾメット等の薬剤を利用する方法が一般的であるが、太陽熱消毒や蒸気消毒などの物理的方法も注目されている。中でも熱水を地表面から土壌に注入する熱水消毒は、病害虫のみならず雑草も防除する新しい土壌消毒方法として国および県の研究機関や企業が積極的に研究開発を進めている。

熱水消毒は80～90℃の高温の水を土壌に100～300 l/m²程度散布するため、土質によっては熱水消毒後土壌が過湿状態となり、消毒後長期間にわたり圃場内での作業ができない場合もある。そこで、消毒時の土壌の加湿防止や、地床栽培における蒸気管理設力の軽減化を目的として、蒸気消毒時に散水を組み合わせることで、省力かつ効果的に土壌深部の温度を上昇できる「散水蒸気消毒法」を、土壌消毒機メーカーの株式会社丸文製作所と共同で開発してきた(本間, 2000; 鈴木ら, 2003; 佐藤, 2004)。以下に、新たに開発した散水蒸気消毒法の原理と方法、および土壌中の肥料成分や病原菌に対する影響について説明する。

I 散水蒸気消毒の原理

1 散水蒸気消毒法とは

従来の蒸気消毒法は、ホジソンパイプのような蒸気管を土中に埋め、土壌中に蒸気を送り込み地温を上昇させ、土壌中の病原菌や線虫などを防除する方法である(図-1)。

この方法は、温室メロンの土壌消毒方法として静岡県が1965年から研究に取り組み、その有効性を立証したもの(静岡県農業試験場, 1971)であり、現在では県内で隔離栽培されている温室メロン栽培ほぼ全戸で使用されている。隔離栽培では土量が少ないため、蒸気消毒に

より栽培土壌全体の消毒が可能であるが、地床の蒸気消毒では地下深いところまでの温度上昇は難しく、病原菌が残り土壌病害が再発生することもある。また、地床の蒸気消毒では、蒸気の熱を土壌に伝えるために蒸気吐出口を地下部に埋め込む作業も必要となり労力的にも大変な作業となる。そこで、新しく開発した地床向けの蒸気消毒法が、散水蒸気消毒法である。散水蒸気消毒は、図-2のように蒸気ホースを地表面に設置し、その横に平行して散水用のチューブを設置してあることが従来の蒸気消毒との大きな違いとなっている。散水蒸気消毒法では、地表面においた蒸気ホースから蒸気を送出することで、地表面の温度を上昇させる。一定時間、蒸気で地表の温度を上昇させた後、散水チューブから水を散水することで地表面の熱が地下部に移動し、地下深くまでの消毒が可能となる(図-3)。

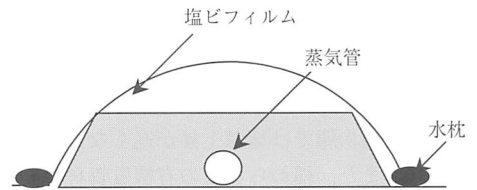


図-1 従来の蒸気消毒方法

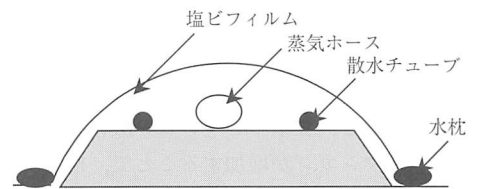


図-2 散水蒸気消毒の設置断面図

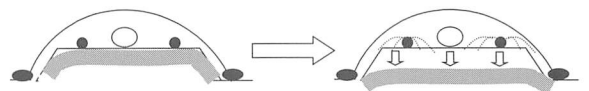


図-3 散水蒸気消毒の散水による熱の移動の模式図
蒸気により暖められた地表の熱が、水により地下深部に移動する。

Spread and Control Effects of Watering After Steam Sterilization.

By Masayuki TOGAWA

(キーワード：散水, 蒸気消毒, 土壌消毒, 熱水)

2 散水による地温の上昇効果

静岡県農業試験場場内ガラス温室内で、耕運した平床の地表に蒸気管を設置し、幅3m・奥行き16mの面積をビニルフィルムで覆い蒸気消毒を行いながら同時にビニルフィルム内へ散水チューブで散水した。対照として慣行のホジソンパイプを15cmの深さに埋設し、散水は行わない蒸気消毒区を設けて地温の変化を測定した。

その結果、地下10cmの温度は蒸気消毒終了時の16時に最高温度となり93℃程度まで上昇し、その後ゆっくりと下降した(図-4)。地下20cmの温度は蒸気消毒開始から緩やかに上昇し、蒸気消毒開始6時間後の17時に60℃以上となった。地下30cmおよび40cmでは地温はやや上昇したもののその後も50℃を超えることはなかった。

蒸気消毒を行い地温がある程度上昇してから、蒸気消毒と同時に散水をした場合には、散水をした直後に地温が急激に上昇した。その傾向は地下深部で大きく、特に地下20cmでは散水開始後3時間後には80℃以上の温度になり、散水による地温上昇効果が大きく現れた(図-5)。

また、別に行った同様な試験でのデータを表-1に示す。表中の蒸気消毒終了時地温は、ホジソンパイプから1m離れた場所の地温を示すが、地下20cmでは蒸気消毒のみでは50℃以上の地温を全く確保できなかったのに対して、散水蒸気消毒では20cmのみならず30cmの深さにおいても、長時間にわたって50℃以上を確保することができた。

3 うね立てによる効率的温度上昇

静岡県農業試験場場内の温室で、耕運後、幅1.2m、高さ30cmのうねを立てた後に散水蒸気消毒した場合と、うねを立てずに散水消毒した場合の地温上昇変化を調査した。蒸気消毒は、各処理区同時に3時間行い

(350 kg/hr 相当蒸発量)、蒸気消毒終了後に1m²当たり50l散水を行った。うねを立てて蒸気消毒した場合と、平床で蒸気消毒した場合の、蒸気消毒直後の温度分布を調査し、平均を求めた値を比較すると、平床よりもうね立て後に蒸気消毒したほうが地下10~30cmまでは地温は高くなり、うね立て後の蒸気消毒が地温上昇に効率的であった(図-6)。

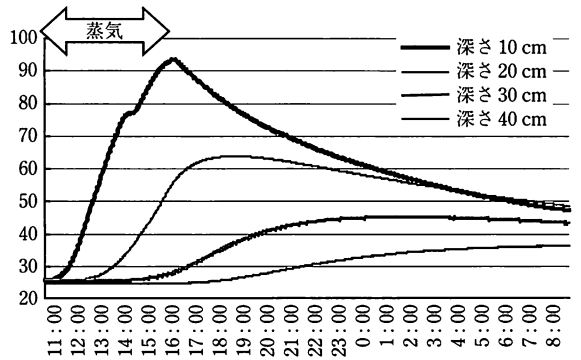


図-4 蒸気消毒による地温の推移

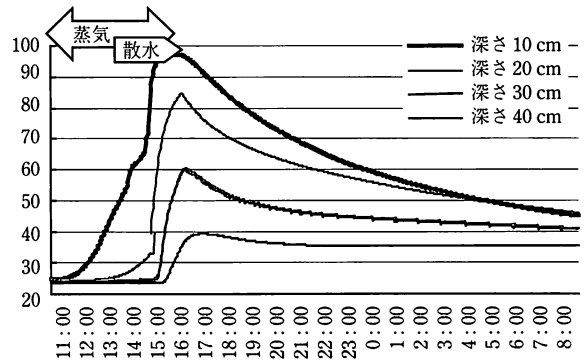


図-5 散水蒸気消毒による地温の推移

表-1 蒸気管の埋設散水の有無が地温上昇に及ぼす影響

散水の有無	蒸気消毒時間	深さ (cm)	蒸気消毒終了時地温 (°C)	60℃以上	50℃以上
				持続時間	持続時間
ホジソンパイプ 地表設置	有	10	90.0	12.5	18.8
		20	67.5	10.1	17時間以上
		30	40.0	0	12時間以上
		40	31.0	0	0
ホジソンパイプ 地下15cmに埋設	なし	10	58.5	1.1	7.7
		20	26.3	0	0
		30	18.7	0	0
		40	16.4	0	0

うねを立てた後に蒸気消毒し、その後1 m²当たり50 l散水した直後では、地下10 cmでは蒸気消毒のみの場合よりも地温は低くなるが、地下20 cm以下の地点では蒸気消毒のみの場合よりも散水を行ったほうが地温上昇し、地下深部での地温上昇効果が見られた(図-7)。

また、うね立て後スミサンスイR(灌水資材の一種)で50 l/m²を散水した範囲内では、うねが崩れることはなく、その後の定植作業にも支障はなかった。

II 散水蒸気消毒の土壌病害に対する効果

それでは、実際にこの消毒方法でどの程度の殺菌が期待できるのか? これを確かめるために、以下の試験を行った。すなわち、滅菌した大豆の枝にトルコギキョウの主要な土壌伝染病菌(茎腐病菌、白絹病菌、菌核病菌)を純粋培養した。この場合、白絹病菌と菌核病菌については菌糸のみではなく、実際の土壌中で伝染源となる菌核も十分に形成させた。この枝をガーゼでくみ金属の網かごに入れて、土壌の10, 20, 30 cmの深さに埋め込み処理を行った。各種の土壌消毒を行った後に土中から枝を取り出し、茎腐病菌については、選択培地(外側, 1994)上に並べ培養した菌が生育してくるか否かを調べ

た。白絹病菌と菌核病菌については菌核表面を十分に洗浄・殺菌した後ナイフで2分割し、PDA培地上に置いた。結果を表-2に示す。

10 cm, 20 cmの深さでは、いずれの消毒方法でも菌が検出されなかったことから、殺菌効果に差がなかったと言える。これに対し、30 cmの深さでは、蒸気消毒において茎腐病菌、白絹病菌、菌核病菌いずれも菌が検出され、殺菌効果が認められなかったのに対し、散水蒸気消毒は臭化メチルと同様に殺菌効果が認められ、30 cmの深さにおいても十分な温度が確保されたことが裏付けられた。菌核は菌糸に比して各種の外的要因に強い耐性を示すが、その菌核を殺菌できたということは、細菌やウイルスの一部を除く植物病原菌全般に対して十分な殺菌効果を持つ可能性が高いことを示唆しており、散水蒸気消毒が多くの土壌伝染性病原菌に対して効果を示すこ

表-2 土壌消毒の方法の違いによる土壌病原菌防除効果

処理区	深さ (cm)	トルコギキョウ 茎腐病菌	菌核病菌	白絹病菌
散水蒸気消毒	10	- -	- -	- -
	20	- -	- -	- -
	30	- -	- -	- -
蒸気消毒	10	- -	- -	- -
	20	- -	- -	- -
	30	- ++	+ +	+++ +
臭化メチル	10	- -	- -	- -
	20	- -	- -	- -
	30	- -	- -	- -
無処理区	10	+++	+	+++
	30	+++	+++	+++

注1) 各菌をオートクレーブ滅菌したダイズ枝に培養し、菌糸や菌核を十分に形成させた。

この枝をガーゼ(目合い1 mm)で軽く包み金属製の網に入れて土中に埋め込んだ。

処理5日後に掘り出し、菌糸および菌核を培養することで生存状況を確認した。

注2) 散水蒸気消毒、蒸気消毒、臭化メチル処理区は各々2箇所に対象菌を埋没・採取。

注3) +++: 旺盛に生育, ++: 生育, +: わずかに生育確認, -: 菌未検出。

表-3 現地トルコギキョウ栽培圃場における各種病害防除効果

	茎腐病	白絹病	菌核病	青枯病	その他の立枯症状
発病株率 (%)	0.0	0.0	0.0	6.4	0.0

定植: 9/25 ~ 9/27, 調査: 1/24.

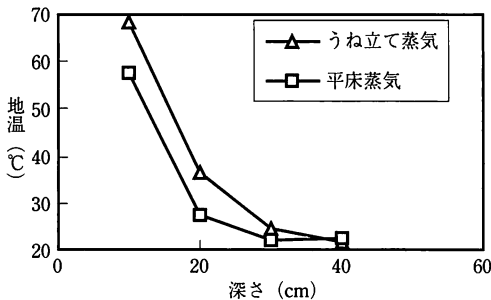


図-6 うねの形状の違いによる蒸気消毒終了直後の温度

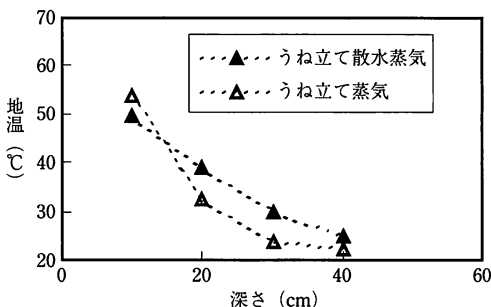


図-7 うね立て後蒸気消毒と散水蒸気消毒の地温

とが期待された。

現地で問題になる土壌伝染性の病害の一つに細菌による「青枯病」がある。これは、上記の方法では試験できないことと、試験場内でも土中が隔離されていない場所で青枯病の試験を行うことは問題があるので、実際に青枯病や他の土壌伝染病が前作で発生している現地圃場で試験を行った。定植は9月下旬、12月頃から立ち枯れ症状が見られた。表-3は、収穫期の1月下旬に行った調査結果である。その結果、試験場内で行った場合と同様に、茎腐病・白絹病・菌核病をはじめとする糸状菌による病害は皆無で防除効果が見られたが、青枯病には効果が見られなかった。青枯病菌は糸状菌と異なり、40 cm以上の深さでも生き残り次作の伝染源になることが知られている(中曽根, 2004)。さらに、同じく細菌性土壌病害であるメロン毛根病の試験で明らかになったことであるが、細菌は糸状菌と異なり、土中では加温しても簡単に死滅しない(外側ら, 2001)。しばしば蒸気消毒装置のパンプレットなどで病原菌の死滅温度が書いてあるが、それらはあくまで水中に病原菌がいる場合のデータなので、実際の土壌では殺菌が不十分になることがある。青枯病については、熱水消毒でも今回の散水蒸気消毒同様、臭化メチルほどには効果が上がらない事例が報告されている。前作で青枯病が見られた圃場では、

クロピクなどの化学剤の使用を検討する必要がある。

III 散水蒸気消毒が土壌養分に及ぼす影響

散水蒸気消毒における散水が、土壌の養分にどのような影響を及ぼすかを調査した。

浜松市内のキク生産者ハウス内で散水蒸気消毒開始前日と、処理後12日目に土壌を地表から10 cm刻みで地下80 cmまで採取し、散水蒸気の開始前後による肥料成分を測定した。散水蒸気消毒条件は1回の消毒面積が56 m²、散水量は50 l/m²、蒸気消毒時間は4時間で散水時間は約2時間で行った。

土壌の硝酸態窒素、リン酸、カルシウム、マグネシウム、カリウムは日立自動化学分析装置で、マンガンは原子吸光で測定した。

それぞれの肥料成分の動態を図に示すが、散水蒸気消毒により、土壌のpH、リン酸はいずれの深さでもほとんど変化しなかった(図-8, 9)。土壌のEC・硝酸態窒素・カルシウム・マグネシウム・カリウムについてはいずれも深さ40 cmまで散水蒸気消毒によって低下し、作土層の塩類除去効果が見られた(図-10~14)。

蒸気消毒により増加するといわれているマンガンは、地下30 cmまでは増加したが、最大で1.5倍程度であった(図-15)。

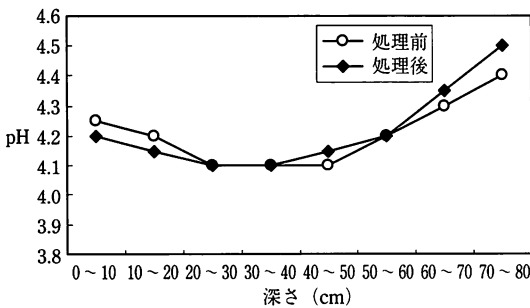


図-8 散水蒸気前後の土壌 pH 値

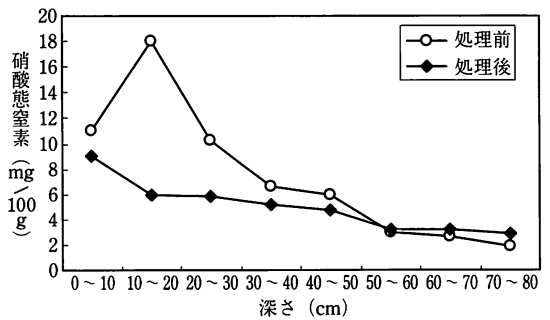


図-10 散水蒸気前後の硝酸態窒素濃度

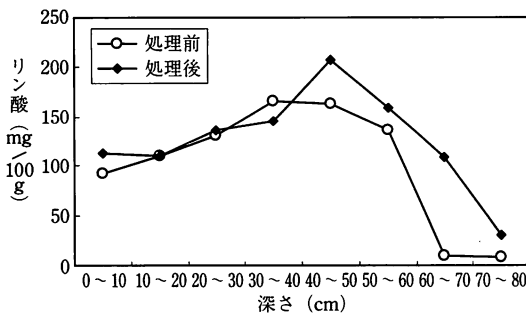


図-9 散水蒸気前後のリン酸濃度

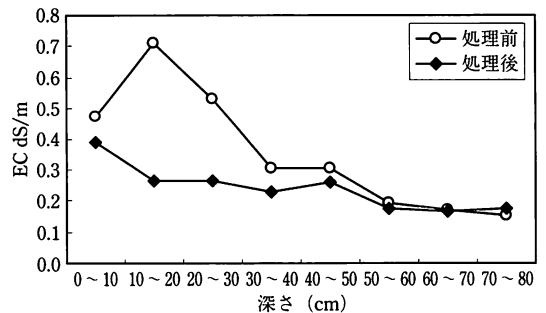


図-11 散水蒸気前後の深さ別土壌 EC 値

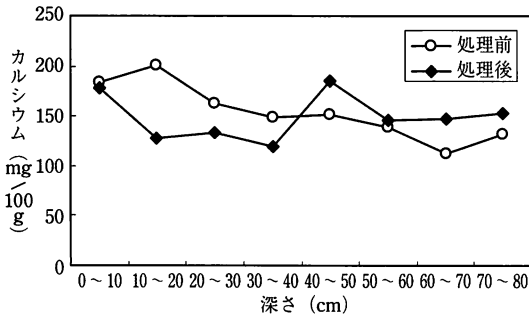


図-12 散水蒸気前後のカルシウム濃度

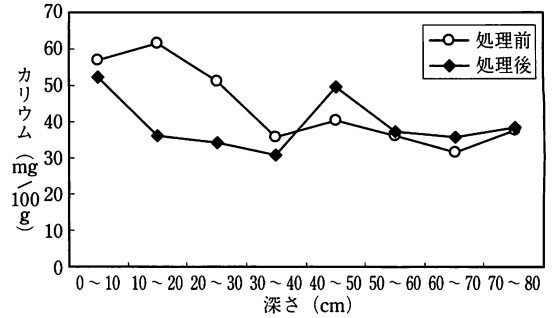


図-14 散水蒸気前後のカリウム濃度

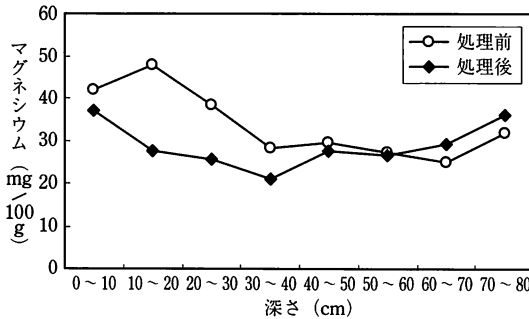


図-13 散水蒸気前後のマグネシウム濃度

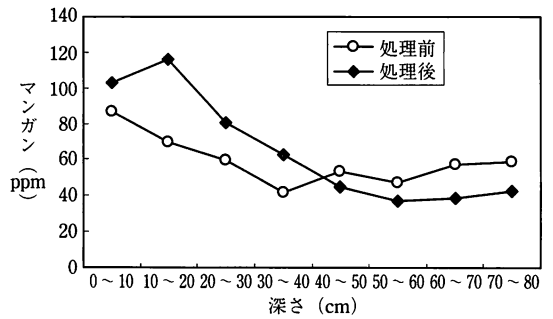


図-15 散水蒸気前後のマンガン濃度

これらのことから、散水蒸気消毒によって、地下40 cm までの塩類集積を効果的に除去できる可能性が示された。また、マンガンは散水蒸気消毒によってやや増加するので、マンガン過剰障害を起こす作物を栽培するときには注意が必要と考えられた。

また、土壌の物理性の調査結果では、散水蒸気消毒処理後12日目で土壌硬度がほとんどの深さで低下し、土壌が柔らかくなる効果も見られた(図-16)。

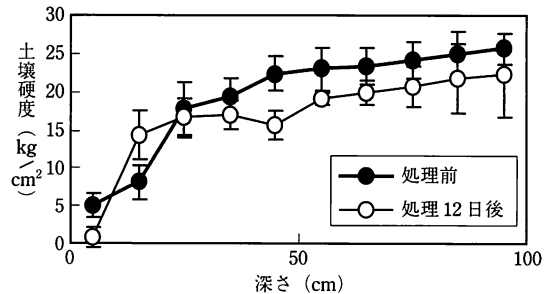


図-16 散水蒸気処理前後の土壌硬度

IV 散水蒸気消毒の実施方法

実際に散水蒸気消毒を行う手順について説明する。

(1) 耕運と蒸気ホースの設置

圃場全体を耕運し、土壌中の空間を増やし蒸気が浸透しやすくする(うねを立てると熱が効率的に土壌に伝わる)。また、土壌水分はやや乾燥しているほうが蒸気が土中に浸透しやすい。

うね立て後に散水蒸気を行う場合は元肥は入れずに、追肥で施肥を行う。

(2) フィルムで覆いをする

塩ビフィルムで土壌全体を被覆する。蒸気が隙間から逃げないように、水枕やチェーンなどでしっかり周囲の押さえを行う。

(3) 蒸気消毒をする

蒸気ホースに蒸気を送り、蒸気消毒を行う。一度に蒸気消毒できる面積は、700 kg/hr 相当蒸発量の能力の蒸気消毒機で50~100 m²程度である。

(4) 蒸気消毒後に散水

蒸気消毒終了の目安は、地下20 cmの位置が50℃程度になったときである。夏期に行った場合は、2~3時間程度である。

蒸気消毒終了後、あらかじめ設置してある散水チューブで1 m²当たり50 l散水する。急速に散水すると温度低下を招くので、2時間程度かけゆっくりと散水する。

(5) 定植

蒸気消毒終了後、保温のため被覆フィルムで1～2日間覆ったままにしておく。フィルムをはずした直後に定植できる。

V 現在の普及状況

散水蒸気消毒が現在どの程度普及しているかについての具体的なデータはない。これは、本法に必要な機材・資材が一般の熱水消毒や蒸気消毒と同じであり、本法にのみ使用されるものがないため、売り上げから普及度を推測することができないためである。それでも、実施方法の問い合わせが他県の生産者から来たり、他県の病害虫防除基準等にも記載されていることから、全国的にはそれなりに普及しているものと考えている。しかし、静岡県内に限って見ると、残念ながら当初予想した程の普及はしていない。この最大の原因は青枯病の多発にある。ここ数年、特にトルコギキョウにおいて青枯病の発生が拡大傾向にあることから、他の消毒法に切り替えたり、もしくは本法の実施を踏みとどまる事例が伝えられてくるのが実情である。青枯病にもある程度の効果を示

す改良法もしくは併用法の開発が必要である。

おわりに

低コストで簡易に土壤消毒が可能であった臭化メチルの全廃は、使用していた栽培者には大きな痛手である。その代替技術の一つとして散水蒸気消毒法を開発したが、地床の土壤消毒では土壤消毒のできる深さに限界がある。この散水蒸気消毒も40 cm以下の土壤は消毒が困難なため、地中深くに生存する青枯病菌に対しては効果がない。こうした点を十分に理解したうえで実施すれば、今までの蒸気消毒のように蒸気管を土に埋める必要もなく省力的な土壤消毒法で、また土壤の除塩効果も期待できる。

参考文献

- 1) 本間義之 (2000): 施設園芸 9: 60～63.
- 2) 中曽根渡 (2004): 農及園 79: 285～286.
- 3) 佐藤展之 (2004): 同上 79: 277～284.
- 4) 静岡県農業試験場 (1971): 静岡農試特別報告 10: 88 pp.
- 5) 鈴木幹彦ら (2003): 静岡農試研報 48: 29～33.
- 6) 外側正之 (1994): 土と微生物 44: 77～88.
- 7) ———・市川 健 (2001): 静岡農試資料 2012: 15～16.

(登録が失効した農薬 28 ページからの続き)

- シメトリン・ベンチオカーブ・メフェナセット・MCPB 粒剤
- 20116: クミショット SM1 キロ粒剤 (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- ピラゾレート・プロモブチド・ベンチオカーブ粒剤
- 16921: クミアイリワード粒剤 (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- 16922: 三共リワード粒剤 (三共アグロ) 2006/12/19
- プロモブチド・ペンシルフロロンメチル・ベンチオカーブ・メフェナセット粒剤
- 21158: パワーウルフ 1 キロ粒剤 75 (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- 21159: デュボンパワーウルフ 1 キロ粒剤 75 (デュボン) 2006/12/19
- ペンシルフロロンメチル・ベンチオカーブ・メフェナセット粒剤
- 20750: ウルフエースジャンボ (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- 20751: ウルフエース L ジャンボ (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- ペンシルフロロンメチル・ベンチオカーブ・メフェナセット粒剤
- 17410: クミアイウルフエース粒剤 25 (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- 17642: クミアイウルフエース粒剤 17 (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- 18282: バイエルウルフエース粒剤 17 (バイエルクロップサイエンス) 2006/12/19
- 18436: クミアイウルフエース 1 キロ粒剤 75 (クミアイ化学工業) 2006/12/19

- 18437: ウルフエース 1 キロ粒剤 75 (デュボン) 2006/12/19
- 18439: クミアイウルフエース 1 キロ粒剤 51 (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- 18440: ウルフエース 1 キロ粒剤 51 (デュボン) 2006/12/19
- ベンチオカーブ粒剤
- 13773: サターン粒剤 (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- ベンチオカーブ・DCPA 乳剤
- 19122: サタニール乳剤 (クミアイ化学工業) 2006/12/19
- アジムスルフロン・フェントラザミド・ペンシルフロロンメチル粒剤
- 20520: イネブライト A1 キロ粒剤 36 (バイエルクロップサイエンス) 2006/12/21
- クミルロン・ペントキサゾン水和剤
- 19852: 「丸紅」草笛フロアブル (丸紅) 2006/12/22
- クミルロン・ペントキサゾン剤
- 19856: 「丸紅」草笛ジャンボ (丸紅) 2006/12/22
- ピラゾスルフロンエチル・ペントキサゾン水和剤
- 19863: 科研スターボ顆粒 (科研製薬) 2006/12/22
- 19864: スターボ顆粒 (日産化学工業) 2006/12/22
- 19865: 大塚スターボ顆粒 (大塚化学) 2006/12/22
- シクロスルフアロン・ペントキサゾン粒剤
- 19870: 科研ユートピア粒剤 13 (科研製薬) 2006/12/22
- 19871: ユートピア粒剤 13 (BASF アグロ) 2006/12/22
- テニルクロール水和剤
- 19874: クリヤード水和剤 (トクヤマ) 2006/12/24
- 19875: [DIC] クリヤード水和剤 (日本曹達) 2006/12/24
- イマゾスルフロン・フェントラザミド粒剤
- 20550: バイエルリーディングジャンボ (バイエルクロップサイエンス) 2006/12/26
- 20551: リーディングジャンボ (住化武田農業) 2006/12/26 (49 ページに続く)