

# 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法 実施マニュアル



千葉県  
千葉県農林水産技術会議

## はじめに

トマトやキュウリなどの施設野菜生産者は、ネコブセンチュウや各種の土壌病害に悩まされており、これらの防除にはクロルピクリンやD-Dによる土壌くん蒸消毒、あるいはフスマや米ぬかを用いた土壌還元消毒が行われている。しかし、これらの消毒法では、薬剤や資材等が届いていない深層部に病害虫が残存して、消毒効果が不十分となりやすいことや、臭気の発生等によって住宅地周辺では処理しにくいことなどの問題があった。

そこで、これらの問題を解決する技術として、千葉県は独立行政法人（現国立研究開発法人）農業環境技術研究所および日本アルコール産業株式会社と共同で、低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法を開発し、特許を取得した。その後、平成20年度から4年間、農業環境技術研究所や他県等とともに農林水産省「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」において実用化に向けた研究を実施し、数種の野菜・花きの土壌病害虫に対するこの消毒法の利用技術を確立した。

また、県単独事業である「環境負荷軽減のための農業新技術確立推進事業（平成20～24年度）」及び「緊急技術開発促進事業（平成24～26年度）」においては、トマトやメロンの病害虫に対する効果確認や低コスト化、土壌消毒の効果判定に供する遺伝子診断による土壌病害の簡便な定量化に対する研究も行った。

本マニュアルは、現場での指導者向けに、これまでに行った研究成果を取りまとめたものである。本技術の内容が十分に理解され、施設野菜の安定生産と生産性の向上に役立つよう活用いただければ幸いである。

## 目 次

1	低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法とは	1
2	処理方法の実際	3
3	畝部分処理	5
4	土壌還元消毒効果を決める4つのポイント	7
5	トマト・キュウリ作付体系における処理方法	10
6	低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法の経済性	12
7	遺伝子診断によるウリ類ホモブシス根腐病菌の 土壌菌密度評価法	13

## 1 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法とは

### 作用機作

土壌還元消毒法とは、フスマ等の有機物を施用した後、かん水してからポリフィルム等で被覆して酸素を遮断するとともに地温を高く維持することで、病害虫等の密度低下を図る技術である。施用される有機物は土壌微生物の餌であり、微生物が爆発的に増殖することで土壌中の酸素を消費し尽くして、土壌が還元化する。作用機作については、低酸素濃度のほかに、高温、微生物の拮抗・競合、生成する酢酸などの有機酸や二価鉄などの金属イオン等の複合的な作用によるものと考えられている（図1）。

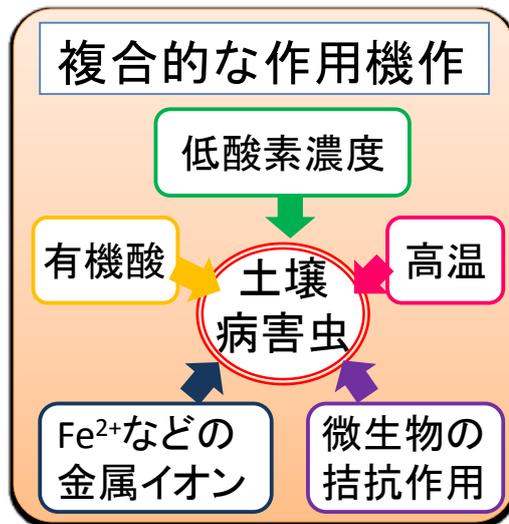


図1 土壌還元消毒法の作用機作

### 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法

は、還元化資材であるエタノールを1%程度かそれより低い濃度に希釈して使用方法であり、エタノールは易分解性の有機物であることから、本法の基本的な作用機作は易分解性の有機物を多く含むフスマを用いた土壌還元消毒法の場合と同様と考えられる。

### 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法の利点

エタノールを使用する利点の一つは、水溶性であるため、土壌の深層まで容易に浸透させることができることである。したがって、フスマ処理では難しかった作土より深い層（深さ30~50cm）に対しても、十分な量を処理できれば、病害虫の密度低減が可能である。

また、フスマ処理の場合、フスマ中に存在するタンパク質等の分解によって処理中に強いドブ臭が発生する。タンパク質等を含まないエタノール処理では、このような悪臭が少ないので、住宅に隣接する場所でも比較的安心して処理できる。さらに、かん水チューブ等で簡単に散布できることや散布直後の耕うんが不要なため、処理に要する作業時間が短いなどの利点もある。

市販されている土壌還元消毒用のエタノール資材は、植物発酵由来のものであることや、施用されたエタノールは微生物により迅速に炭酸ガスと水に分解され、大気や地下水を汚染させることがないので、本法は環境にやさしい土壌消毒技術と言える。

### エタノールの農薬取締法上の位置づけ

本法におけるエタノールの使用濃度は通常1%未満であり、消毒用アルコールで使用される濃度（80%程度）とは大きく異なる。エタノールの直接的な殺菌作用を利用しているのではないので、本法で使用するエタノールは農薬取締法上の農薬には該当しないと判断

されている。

### 土壌還元消毒効果の確認された土壌病害虫

現在、低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法は、ウリ科野菜のホモプシス根腐病やメロンの黒点根腐病、キュウリ・トマトのネコブセンチュウなどに対し、効果があることが明らかにされている（表1）。また、多くの一年生雑草に対しても発芽抑制効果が確認されている。

表1 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法により効果が確認された病害虫とその処理方法

作物	病害虫	エタノール濃度 (%)	液量 (L/m <sup>2</sup> )
ウリ科野菜	ホモプシス根腐病	1~2	100~200
メロン	黒点根腐病	2	200
カーネーション	萎凋細菌病	2	100~150
ハウレンソウ	萎凋病	0.5~1	100~200
イチゴ	萎黄病・炭疽病	0.5~2	100
トマト	褐色根腐病	0.75	200
	萎凋病（レース2）	0.25	150
キュウリ・トマト	ネコブセンチュウ	0.25~1	100~200

注1) 「低濃度エタノールを利用した土壌還元作用による土壌消毒(農業環境技術研究所ほか、2012)」を加筆修正

2) ウリ科野菜はカボチャ、キュウリ、スイカ、メロンなど

## 2 処理方法の実際

### 必要な資材等

処理に必要なものは、土壤還元消毒用のエタノール資材（市販の成分濃度65%のものが望ましい）、かん水チューブや液肥混入器等のかん水器具、それと土壤表面を被覆するためのフィルムである（表2）。

この土壤還元消毒法でも、フスマ等による土壤還元消毒と同様に、通常の作物へのかん水と比べ、かなり多量の水が必要である。初めて処理を行う場合は、井戸の能力を超えて汲み上げてしまい、水が途中で出なくなるがあるので、注意する。

かん水器具等は、特に新しく用意する必要はなく、通常の栽培で使用しているものでよい。散布終了のタイミングを事前に知るために、量水計（水道メータ）を用意しておくとう便利である。

作業の大まかな流れは図2のとおりであり、散布から定植まで3～4週間必要となるので、定植作業が遅れないよう、日程に余裕を持たせた散布計画を立てる。

### 前日までの作業

前作物の撤去後、耕うんして畝を崩し、圃場を均平にする。ただし、ネコブセンチュウやトマト萎凋病を対象とする場合、畝の高さが15cmまでであれば、効果に高さによる差がないので畝を残したままでもよい。

エタノールを正確な濃度で希釈するには液肥混入器を用いることが望ましい。これがない場合は、井戸ポンプの手前にコックを取り付けて、そこからエタノール資材を吸引させる方法(写真1)や、動噴を利用してエタノール資材をかん水中に混ぜ込む方法で行う。これらの場合は、事前に希釈倍数がおおむね正しくなるようコックの開け方や動噴の圧力を調整しておく必要がある。

希釈液の散布にはかん水チューブを用いる。前作でかん水に使用したものでよいが、散布ムラができないよう目詰まりを除去しておく。チューブは50cm程度と普段のかん水より

表2 処理に必要な資材等(10a 当たり)

土壤還元消毒用エタノール(成分65%)	288～1,200L
水	75～200m <sup>3</sup>
かん水チューブ	2,000m
エタノールを希釈するもの(液肥混入器等)	1台
農薬用タンク(500L程度のもの)	1台
量水計(なくても可能)	1台
被覆用の農ポリフィルム等	1,000 m <sup>2</sup>

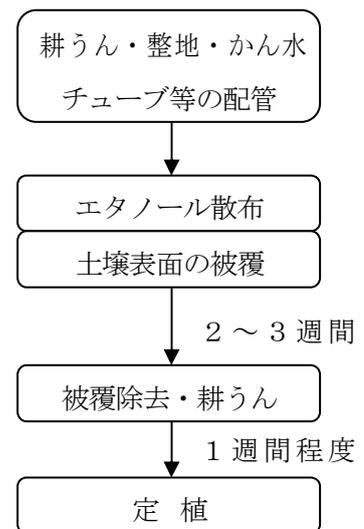


図2 作業のフローチャート



写真1 吸引による希釈法

狭い間隔で配置すると、散布ムラが少なくなる。多少のムラを気にしなければ、既存の頭上配管や地上配管のかん水パイプでも散布は可能である。

黒ボク土や砂質土で水はけのよい圃場では、散布した希釈液が容易に抜けないよう前日までに 50mm(50L/m<sup>2</sup>)程度かん水し、土壌を十分湿らせておく。

### 当日の作業

液肥混入器を利用する場合には、エタノール資材を農薬用タンクに投入し、濃度 1% で処理するなら 65 倍、0.5% なら 130 倍になるよう液肥混入器の目盛りを合わせ、希釈液の散布を行う（写真 2）。ポンプの能力やチューブの間隔にもよるが、面積 1～数 a に 150L/m<sup>2</sup>の量を散布するには 2 時間程度を要する。

散布後は、直ちに土壌表面を透明の農ポリフィルム等で被覆する（写真 3）。これには温室カーテン等の再利用で構わないが、穴が開いている場合は必ず補修してから利用する。また、可能であれば、空気を入りにくくするためにフィルムの端を土中に埋める等の工夫をする。

### 施設の密閉

施設内で処理する場合、被覆後は施設全体を密閉し、2～3 週間その状態を保って土壌の還元化を促す。ただし、真夏の時期に施設を完全密閉すると、異常な高温により天窓制御器やかん水配管に悪影響が出る可能性があるため、気温 50℃を目安に適度な換気を行う。

### 被覆の除去・耕うん

処理期間が終わり、被覆フィルム等を除去したら、還元状態を解消するために、圃場全体を耕うんする。

消毒中に生成された酢酸等による生育不良を回避するため、処理後の定植は、被覆フィルムの除去後 1 週間以上過ぎてから行う。圃場の排水性が悪く、1 週間経っても酸っぱい臭いやドブ臭を感じる場合は、もう一度耕うんし、臭気なくなるまで日にちを置いてから定植する。湿害に弱いインゲン・エダマメ等のマメ科作物や耕うんできない圃場の端にまで定植されるイチゴで障害が起った事例があるので、これらの作物は特に注意して、耕うんから定植までの日数を 2～3 週間と長くする。



写真 2 液肥混入器を用いた希釈液の散布作業



写真 3 土壌表面の被覆



写真 4 耕うん作業

### 3 畝部分処理

低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法は、ネコブセンチュウなどの病害虫に対して高い被害軽減効果が得られるが、他の消毒法と比較すると資材費が高い。そこで、低コスト化を図るため、10a 当たりのエタノール使用量を削減しても病害虫に対する高い効果が期待できる畝部分処理技術を開発した。

土壌病害虫は、作物の根が張っている畝に多く、通路には少ないのが一般的である。そこで、本技術では、病害虫が多い畝部分のみ散布し、通路の散布を省略する。これによって、使用するエタノールの量をおよそ半分にすることができる。

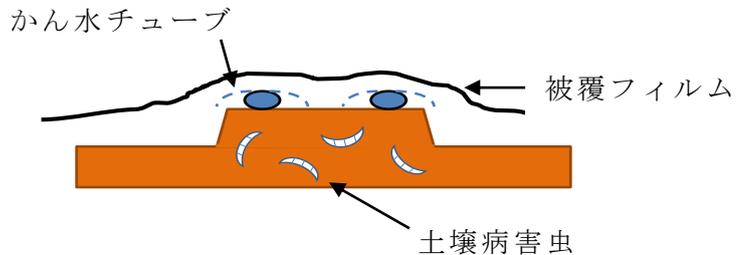


図3 畝部分処理

具体的には、図3のように、前作の畝上のみに配管したかん水チューブでエタノール希釈液を散布する。ただし、土壌の被覆は通路部分にも必要であり、被覆フィルムは圃場全体に散布の前に張っておく。

なお、キュウリ等の浅根性の作物では、通路表面付近にも多少の根が存在して病害虫も

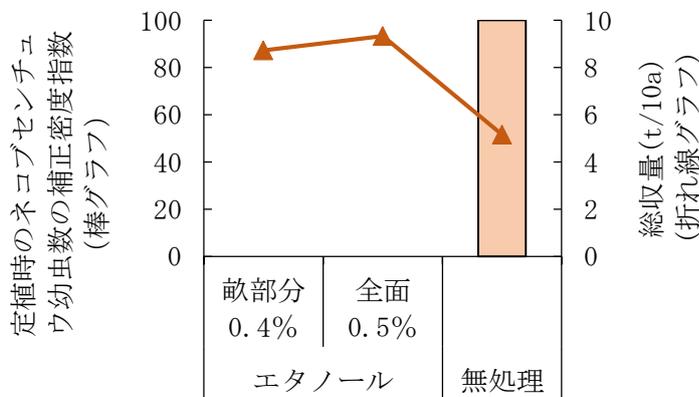


図4 畝部分処理によるキュウリのネコブセンチュウの密度低減効果（平成24年度）

注1) 処理日：平成24年8月30日、31日、エタノール処理量：150L/m<sup>2</sup>、被覆期間：21日、品種：「ハイグリーン21」（台木カボチャ：「ゆうゆうー輝黒」）、定植：9月28日、収穫：10月31日～2月12日

2) 補正密度指数はベルマン法(25g、25℃、48h)のネコブセンチュウ幼虫数による

補正密度指数 = (試験区/試験区処理前) / (無処理区/無処理区処理前) × 100

発生するが、畝部分処理でも、畝から流れ落ちた散布液が浸み込み、太陽熱との組合せで、この部分にも消毒効果が期待できる。

#### 土壌病害虫に対する土壌還元消毒の処理法による効果の違い

図4は、キュウリのネコブセンチュウを対象に試験した結果である。この試験では、10a 当たりのエタノールの使用量を全面処理の40%に削減したにもかかわらず、畝部分処理によってもネコブセンチュウの密度は大幅に低下し、収量低下も抑えられた。

図5は、トマトのネコブセンチュウを対象に0.25%とかなり低濃度で処理した結果である。畝部

分処理は、10a 当たりの量を同じにして全面処理した場合やフスマを全面処理した場合と比較し、ネコブセンチュウの被害低減効果が同等以上であった。

トマト萎凋病（レース2）を対象とした試験でも、畝部分処理により同様な結果が得られており、これらのことから、畝部分を集中して消毒することで、全面処理よりコストを抑えながら、処理効果を維持できることが明らかとなった。

なお、前作において株が枯死するなど処理前の土壌中の病害虫密度が高い場合は、0.25%では地温の上がりにくい深層部で効果が不十分となることがある。このような場合は、0.5%程度に濃度を高めて処理を行う必要がある。

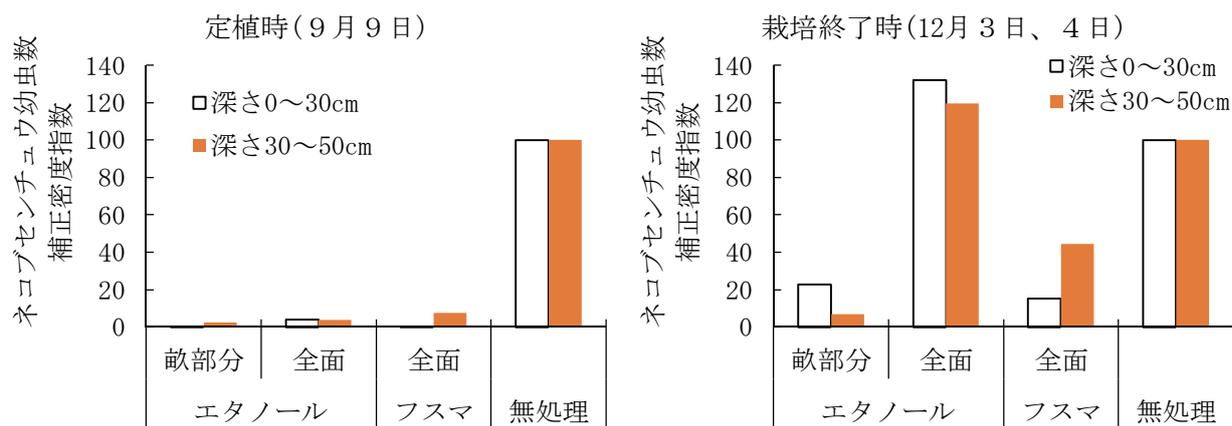


図5 畝部分処理によるトマトのネコブセンチュウの密度低減効果（平成26年度）

注1) 処理日：平成26年8月11日、被覆期間：21日、品種：「桃太郎グランデ」

2) 各区の処理量等は、エタノール畝部分処理が畝部分に0.25%150L/m<sup>2</sup>、全面処理が全面に0.25%75L/m<sup>2</sup>、10a当たりの土壌還元消毒用エタノール資材（成分65%）使用量はともに288L、フスマ全面処理は1kg/m<sup>2</sup>（散布水量150L/m<sup>2</sup>）

3) 図3の注2)に同じ

### 畝部分処理の留意点

- 畝部分処理では処理前に畝を崩してしまうと、病害虫の発生が多い畝部分の土壌が散布液の届かない通路部分に移動して、病害虫を拡散させてしまうので、絶対に畝は崩さない。
- かん水チューブの配置は1畝に対し2本がよく、前作栽培時にこのような配置であれば、取り付けパイプの配管を直さずにそのまま処理できる。
- 被覆フィルムは、畝の肩部分に空気層ができないよう、ゆるめに張る。
- 処理に際しては、散布液が畝表面を伝って通路へ多量に流れ落ちないように、ゆっくりと散布し、畝内に浸透させる。
- 処理後は、他の土壌還元消毒と同様に土壌の還元状態を解消するため耕うんする。また、通路深層部分には処理効果が及ばないので、畝は前作と同じ位置に成形する。

## 4 土壌還元消毒効果を決める4つのポイント

低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法は、土壌中の微生物の働きを利用した消毒法であるので、①エタノール量（濃度）のほか、②地温や③被覆期間により土壌病害虫に及ぼす効果が異なってくる。また、④水量によって、散布液の到達する深さが変わってくるので、これら4点がこの消毒法での効果を左右する重要なポイントとなる。

### ①エタノール量（濃度）

この消毒法では、エタノールは土壌微生物の餌であり、餌の量が多いほど、土壌中の酸素の消費量が多くなって土壌が強還元化し、生成される酢酸などの有機酸（有機酸自体にも殺線虫効果がある）の量も多くなる。2%程度まではエタノール濃度を高くするほど、病害虫の密度を低減する効果は高まるものの、高濃度処理ではコストが増加する。また、処理後の還元状態を解消するときの時間が長くなったり、深い層で解消が不十分になったりして作付けした作物の生育に悪影響が生じる。反対に0.1%より低い濃度では、密閉した状態でも土壌中の酸素が消費仕切れずに、土壌が十分な還元状態にならない。したがって、一般的には0.1～1%が土壌還元消毒として適正な濃度になる。

室内試験でネコブセンチュウに対する効果をフスマと比較したのが表3である。この試験ではフスマ5gに相当するエタノールの量はおおむね1mLであった。フスマは、重量の半分程度がでんぷんなどの易分解性の有機物であるが、粒状で土壌中の分散性が劣るため、さらにその半分程度しか還元消毒に利用できないことなどから、この結果はおおむね妥当と考えられる。

表3 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法の処理温度及びエタノール濃度がネコブセンチュウ幼虫の生存に及ぼす影響（室内試験、平成20年）

エタノール量 (mL)	ネコブセンチュウ幼虫数(頭)				
	15℃	20℃	25℃	30℃	35℃
5	1	9	2	0	0
2.5	8	33	0	0	0
1.25	27	108	18	0	0
0.625	9	150	3	6	0
0	122	39	26	9	1
フスマ 5g	50	107	31	1	0

注1) エタノール量は生土1kgあたりに添加した量

注2) ネコブセンチュウ幼虫数は処理7日後にベルマン法で調査

10aあたりに換算すると、フスマ1tに対してはエタノール200Lが相当量となる。フスマ1tと土壌還元消毒用のエタノール200L（成分65%資材で288L）はどちらも4～5万円で入手可能であり、資材コストの面からの差は小さい。

### ②地温

土壌還元消毒は生物反応を利用しているため、表3のように、温度が高いほど生物反応が活性化し、消毒効果が高くなる。圃場試験の結果等から、同程度の消毒効果を得るには、深さ30cmにおける被覆期間の平均地温が2～3℃低くなるごとに、エタノール濃度を2倍

に高める必要があると考えられた。したがって、この深さの地温が 25℃より低い時期に処理を行っても実用的ではなく、この消毒法の処理時期は 5 月～ 9 月（図 6）に限定される。特に、地温が一段と高くなる梅雨明けから 8 月上旬に処理を開始すると、土壤還元消毒効果が最も高く、エタノールの量を減らしても実用レベルの効果が得られるため、経済的にも有利になる。

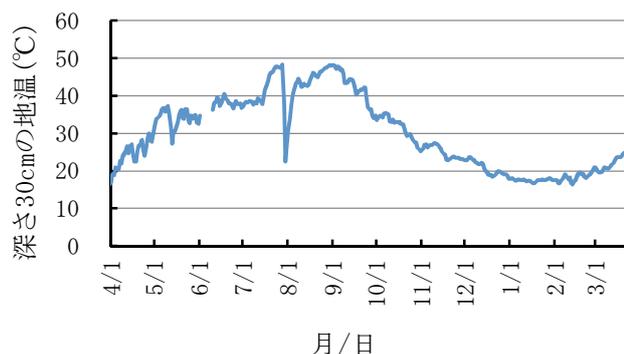


図 6 土壤を被覆した無加温パイプハウスにおける地温の推移（平成 22 年度）

注) 5 月と 7 月の温度低下はかん水を行ったため

### ③土壤表面の被覆

土壤還元消毒における土壤表面の被覆は、空気中の酸素を遮断する、水やエタノールの蒸発を抑える、保温効果という三つの機能があり、欠かせない要素である。被覆の期間は、フスマを用いた土壤還元消毒法では、土壤くん蒸剤の場合と同じく 2 週間ほどであり、それより長くしても消毒効果はあまり高まらない。しかし、低濃度エタノールを用いた土壤還元消毒法では、濃度が比較的高いときは 3 週間程度まで被覆期間を延長すると更に消毒効果が高まるので、できるだけ長くしたい。

表 4 は、被覆期間中の土壤中のエタノール及び酢酸濃度の推移を示したもので、エタノールは、処理濃度が高いほど、土壤中から検出される濃度が高く、検出期間も長くなって

表 4 土壤還元消毒における被覆期間の土壤溶液中のエタノール及び酢酸濃度

土壤還元消毒法	深さ	エタノール濃度 (%)				酢酸濃度 (%)				
		1日後	3日後	7日後	14日後	1日後	3日後	7日後	14日目	21日後
エタノール 1.0%	0-15cm	0.29	0.25	0.02	ND	0.01	0.06	0.24	0.03	ND
	15-30cm	0.23	0.30	0.08	ND	ND	0.03	0.04	0.02	ND
	30-45cm	0.06	0.10	0.07	ND	ND	ND	0.02	ND	0.04
	45-60cm	0.06	—	—	—	ND	—	—	—	—
エタノール 0.5%	0-15cm	0.08	0.07	ND	ND	ND	0.08	0.09	ND	ND
	15-30cm	0.11	0.05	ND	ND	ND	0.10	0.20	0.01	ND
	30-45cm	0.09	ND	ND	ND	ND	ND	0.28	0.01	0.04
	45-60cm	0.03	—	—	—	ND	—	—	—	—
エタノール 0.25%	0-15cm	0.09	0.04	ND	ND	0.01	0.10	ND	ND	ND
	15-30cm	0.06	0.02	ND	ND	ND	0.09	0.04	ND	ND
	30-45cm	0.04	0.02	ND	ND	ND	ND	0.03	ND	ND
	45-60cm	0.02	—	—	—	ND	—	—	—	—
フスマ 1kg/m <sup>2</sup>	0-15cm	ND	ND	ND	ND	0.02	0.07	0.01	0.02	ND
	15-30cm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	30-45cm	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	45-60cm	ND	—	—	—	ND	—	—	—	—
糖蜜 1.0%	0-15cm	ND	ND	ND	ND	0.04	0.04	0.03	ND	ND
	15-30cm	ND	ND	ND	ND	0.03	0.06	ND	ND	ND
	30-45cm	ND	ND	0.02	ND	0.02	ND	0.03	ND	ND
	45-60cm	ND	—	—	—	ND	—	—	—	—

注 1) 平成 21 年 8 月 18 日処理、処理量は 200L/m<sup>2</sup>、

2) 濃度は FID 付 GC 法で測定 ND: 検出限界 0.01%未満、—: 未調査

いる。エタノールが分解して生成された酢酸についても同様な傾向がみられており、0.5%以上の濃度の処理では、処理 21 日後にも酢酸がわずかながら検出され、この頃まで還元状態が持続している。実際、ウリ類ホモプシス根腐病に対する処理効果を調査したところ、14 日間被覆区に比べて 21 日間被覆区のほうで発病抑制効果が高かった。

また、本消毒法以外にも言えることであるが、処理した部分の周囲（端から 25cm 程度）は、還元化が不十分で、処理効果が低くなっている。したがって、被覆フィルムの裾部分を酸素が入らないように埋めるか、処理する範囲を普段作付けしている部分より広くすると、効果が不足しやすい部分の面積が減る。また、フィルムの合わせ目部分からも酸素が入ることで処理効果が低下するので、合わせ目が病虫害の多い畝の上でなく、少ない通路の部分になるようにフィルムを張るよう工夫する。

#### ④水量

フスマを用いた土壌還元消毒法や土壌くん蒸剤による消毒は、耕うんする深さや土壌消毒機のくん蒸剤を打ち込む深さによる制約を受けるが、低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法の場合は、水量の調節によって、効果の得られる深さをある程度自由に設定することが可能である。

短期間で収穫する作物の場合は、土壌表面付近の消毒だけで実用的な効果が得られることもあるが、トマトやキュウリなど長期間の栽培を行う作物では、土壌病虫害の生息域（深さ）全体を消毒したほうが密度抑制効果は高まるので、これらを考慮して散布液を浸透させる深さを決める。

黒ボク土の施設圃場では、一般的に深さ 40cm ほどに硬盤層があり、そのため、作物の根や土壌病害は地表から深さ 45cm 程度のところにとどまっている。しかし、天地返し等により硬盤を破碎している場合は、深根性の作物では更に深い層まで根が伸長し、それに伴って病虫害の生息域も広がっている。一方、砂質土の圃場では、黒ボク土のものに比べると明瞭な硬盤層が作られにくく、これが下限となることは少ない。しかし、砂質土の地域では地下水位が数 10cm と浅い圃場が多く、根の伸長はこの地下水面付近で停止しており、これが下限となる。地下水位は、圃場を実際に掘って確かめることもできるが、簡易には圃場と近隣水田の水面との高低差で推測できる。

土壌の種類と深さ別の必要水量を表 5 に示す。土壌の保水性（最大容水量）により必要な水量が異なり、砂質土は黒ボク土の約半分でよい。ただし、半分になるのは水量だけであり、必要なエタノール資材の量は黒ボク土も砂質土も基本的に変わらない。

したがって、砂質土の散布液は、黒ボク土の 2 倍の濃度が適正值となる。

表 5 県内の主要土壌における消毒を行う深さ別の 1 m<sup>2</sup>当たりの必要水量

深さ	黒ボク土	砂質土
30cm	100L	50L
45cm	150L	75L
60cm	200L	100L

## 5 トマト・キュウリ作付体系における処理方法 ～主にネコブセンチュウ対策として～

### ネコブセンチュウの増殖と土壌消毒による密度低減

温室内であれば、ネコブセンチュウの1世代の期間は夏期で1か月、冬期で2～3か月であり、年間では8世代程度の世代交代を繰り返す。ネコブセンチュウの繁殖力は旺盛であり、トマトやキュウリを作付した圃場では1世代で数～10倍程度に増加し、年間では10万～1億倍に増加することもあり得る。

一方、土壌消毒等によるネコブセンチュウの密度低減は、粒剤の殺線虫剤で1/10、土壌くん蒸剤で1/1,000～1/10,000、フスマを用いた土壌還元消毒法で1/100～1/1,000くらいである。低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法では、エタノール濃度や処理時の地温によって効果が異なるものの、フスマを用いた土壌還元消毒法並みの1/1,000～土壌くん蒸剤を超える1/100,000の密度低減効果が得られる(表6)。

いずれの消毒法も同じことが言えるが、1回の処理では、年間のネコブセンチュウの増加分を減らすことができないので、長期の連作圃場では複数の消毒法との組合せや年2回の消毒が必要になる。

### 年2作型での土壌消毒の時期

県内の野菜栽培施設では、冬～春にキュウリ、夏もしくは秋にトマトを組み合わせて作付けすることが比較的多いので、この場合の効果的な消毒体系を検討した。当然のことではあるが、春と秋の年2回土壌還元消毒を行うことで、消毒効果が高くなった。また、根こぶの着生が少なく、収量も薬剤(D-D)処理と変わらなかった(表7)。

しかし、この方法では消毒経費が掛かりすぎるため、年1回消毒とし

表6 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法のネコブセンチュウに対し期待できる密度低減率

地温	0.25%	1%
25℃以下	実用的効果なし	
30℃	1/1,000	1/10,000
35℃	1/10,000	1/100,000

注) 平成19～26年に行った試験(黒ボク土)結果から推定

表7 夏秋どりトマト・促成キュウリの作付体系における各土壌消毒法の処理時期の組合せによる栽培終了時の根こぶ指数及び収量

土壌消毒法	夏秋どりトマト		促成キュウリ		
	根こぶ指数	収量(t/10a)	根こぶ指数	収量(t/10a)	
エタノール春秋	38.3	7.6	35.2	4.2	
	秋	71.9	6.7	40.4	3.6
	春	43.8	7.2	72.5	2.5
薬剤	春秋	60.9	7.5	43.8	4.0
	秋	60.9	7.3	42.5	4.3
無処理	65.6	6.4	68.5	2.1	

注1) 試験場所は農林総合研究センター内温室(黒ボク土)、土壌消毒法の春は平成23年5月6日に、秋は平成22年9月14日と平成23年9月16日に、春秋は春と秋の両方の時期に土壌消毒を実施、エタノールは1%200L/m<sup>2</sup>処理、薬剤はD-D 20mL/m<sup>2</sup>

2) 根こぶは夏秋どりトマトが平成23年9月5日、促成キュウリが平成24年1月18日調査、  
根こぶ指数 =  $\Sigma(\text{各着生程度} \times \text{株数}) / (\text{調査株数} \times 4) \times 100$

着生程度0: 根系全体に根こぶを認めない、1: こぶをわずかに認める、2: こぶの数が中程度、3: こぶの数が多  
い、4: こぶの数が特に多く、かつ大きい

3) 収穫期間は、夏秋どりトマトが7月28日～9月5日、促成キュウリが11月18日～1月18日

た場合、春に比べて秋の土壌還元消毒のほうで高い効果が得られた。これは、トマトは線虫害に比較的強く、キュウリと台木カボチャは弱いためであり、キュウリでの大幅な減収を回避するためには、キュウリ栽培直前の消毒が優れている。また、春（5月頃）より秋（9月頃）のほうが季節的にも地温が高く、消毒効果が高まることも期待できるので、年1回消毒の場合は秋が望ましい（図7）。

この作付体系では、キュウリとトマトの畝は同じ位置に作られる。また、トマトは平畝が一般的なので、処理は基本的にト

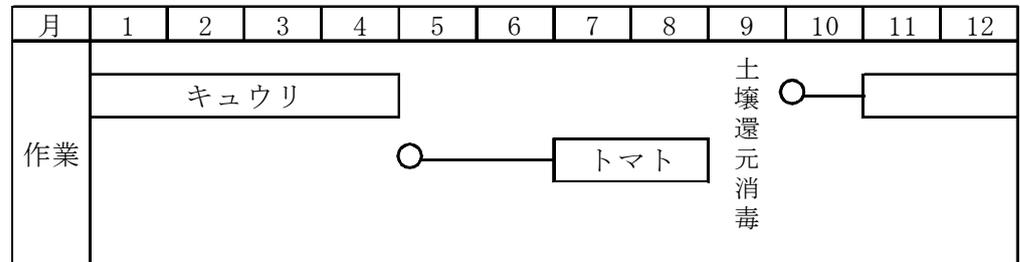


図7 年1回消毒のときの低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法の処理時期

マトの畝を残した畝部分処理でよい。濃度は線虫密度にもよるが、地温が徐々に低下する9月ならば黒ボク土で0.5%、砂質土では1%程度の高めに処理するほうが安定した効果が得られる。また、トマトで萎凋株が発生するくらい線虫密度が高い場合には、キュウリの施肥・畝立て時に粒剤の殺線虫剤を併用する必要がある。

### 土壌病害が併発している場合

この作付体系では、トマトの萎凋病や青枯病、キュウリのホモプシス根腐病等の併発が考えられる。

トマト萎凋病には、上記のネコブセンチュウで用いた方法のままでよいが、青枯病には十分な効果が期待できないので、土壌還元消毒から土壌くん蒸剤（クロルピクリン）処理に変えるとともに抵抗性台木に接ぎ木を行うなど、一般的な青枯病対策が必要である。

キュウリのホモプシス根腐病はネコブセンチュウに比べると還元状態に強く、上記の方法でもある程度の発病抑制効果はあるが、前年の発病程度が高いと実用レベルの効果は得られない。そこで、この場合は処理前に畝を崩して耕うんするとともに、濃度を2倍程度高くして処理を行い、被覆期間も3週間以上に伸ばすことで、還元化の持続期間を長くして効果を安定させる。



写真5 トマト萎凋病（レース2）

## 6 低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法の経済性

低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法では、エタノール資材以外は、かん水器具など手持ちのものを利用できるので、処理にかかるその他の費用としては井戸ポンプを動かすモーターの電気代程度である。そこで、キュウリ及びトマトでのネコブセンチュウ対策を例にして、各消毒法の資材費から費用対効果を検討した。

各土壌消毒法の資材は表8のとおりである。低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法は、処理方法によって資材費が変わってくるので、全面処理と畝部分処理とに分け、さらに使用濃度別に分けて記載した。

キュウリ及びトマトでは、定植時の土壌中にネコブセンチュウが数頭見られた程度の低密度（ベルマン法）であっても1～3t/10aの収量の低下が見られるので、多くの場合、各土壌消毒の資材費は、減収回避分による粗収益の増額(表9)で賄えると考えられる。

また、低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法の資材費を他の消毒法のものと比較すると、フスマを用いた土壌還元消毒法よりもやや安いものの、土壌くん蒸剤との比較では高くなってしまふ。

したがって、低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒を行うことで高付加価値品として単価がキュウリで23円/kg、トマトで69円/kg

上昇すれば、D-D から資材費の高い1%全面処理に切り換えても、増加コストを吸収できる。しかし、収穫物の単価の上昇が見込めなければ、土壌くん蒸剤の代替としての利用は、消毒効果の不足や処理時の臭気等、土壌くん蒸の実施に問題がある場合のみに限定される。

表8 各土壌消毒法の資材費

土壌消毒法	10a 当たり 資材使用量	10a 当たり 資材費(千円)
低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒法		
全面処理	1%	2,308L
	0.5%	1,154L
	0.25%	577L
畝部分処理	1%	1,154L
	0.5%	577L
	0.25%	288L
フスマを用いた土壌還元消毒法		1t
D-D		20L
クロルピクリン		30L

注) 低濃度エタノールの処理量は 150L/m<sup>2</sup>、エタノール資材は市販品(成分 65%)換算、畝部分処理では畝の面積が全面積の1/2として算定

表9 促成キュウリ及び抑制トマトの増収による粗収益の増額の試算

項目	促成 キュウリ	抑制 トマト
収穫量(t/10a)	15	5
単価(千円/t) a	315	300
出荷経費(千円/t) b	86	95
収穫・調製・出荷労働時間(h/t)	64.5	74.0
収穫・調製・出荷労賃(千円/t) c	53	60
1t増収することに増える粗収益(千円/t) a-(b+c)	177	144

注) 「野菜経営収支試算表(平成22年3月、千葉県農林水産技術会議)」より算出。ただし、労賃は千葉県の平成27年10月1日現在の最低賃金時間額817円に改変

## 7 遺伝子診断によるウリ類ホモプシス根腐病菌の土壌菌密度評価法

### 土壌消毒効果を評価する技術の必要性

低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒は、処理濃度、時期、期間等により処理効果が異なる。土壌還元消毒の効果を評価する場合、処理後に実際に作物を栽培して発病の程度を確かめることもできるが、地温や降水量等の発病に影響する条件が処理前後の作で異なり、正確に評価できないことがある。このため、処理前後の土壌の汚染程度を同じ条件で評価する方法が必要とされている。

### 土壌の汚染程度を評価する方法－幼苗検定法と遺伝子診断法－

スイカホモプシス根腐病菌の土壌汚染程度を評価する方法として、これまでは検査対象の土壌にキュウリ苗を植え、その発病度から推定する幼苗検定法が用いられてきた（写真6）。幼苗検定法は専門的な知識や技術を必要とせず、身近にある資材で実施可能であるが、気温や他の病害虫の影響を受ける上に4週間程度の時間がかかる。

そこで、温度条件にかかわらず迅速に土壌の汚染程度を評価する方法として、遺伝子診断法を開発した。本法では、検査対象の土壌からDNAを抽出し、その中からホモプシス根腐病菌に特徴的なDNAを検出・定量する。気温等に影響を受けることなく一年中実施でき、土壌の採取から汚染程度を推定するまでの時間は、最短で3日間である。

汚染程度が1 cfu/土壌1 g（土壌1 gに1コロニー）の場合、スイカの生育及び収量に影響することがほとんどないと考えられる。幼苗検定法と遺伝子診断法はどちらも1 cfu/土壌1 gの土壌から病原菌を検出することができるので、遺伝子診断法は幼苗検定法を代替できる。



写真6 キュウリ幼苗検定法



写真7 遺伝子診断法に用いる機械

表10 幼苗検定法と遺伝子診断法の比較

土壌の汚染程度 評価法	所要時間	長所	短所
幼苗検定法	4週間（事前に育苗が必要）	専門的な知識や技術は不要、身近な資材で実施可能	高温では発病しない、4週間程度の時間が必要、センチュウや立枯病等他の病害虫の影響を受ける
遺伝子診断法	最短3日間	気温や他の病害虫の影響を受けない、迅速に結果が出る	専用の機械や試薬が必要

## 遺伝子診断法の概要

### ① 土壌採取

土壌の診断等で用いる 5 点法（深さ 0-15cm）によって、合計 2 kg 程度の土壌を採取する。前作で明らかに発病が見られた場合には、その株周辺の土壌を採取する。採取土壌は分析まで冷暗所で保管する。

### ② 土壌の均一化（これ以降の作業は農林総合研究センター生物工学研究室が実施する）

採取した土壌から小石や植物片を取り除き、よく混和して 60℃で 12 時間乾燥させた後、粉碎してさらに混和する。

### ③ 土壌からの DNA 抽出

均一化した土壌を 0.4g 量り取り、DNA を抽出する。この時、標準試料となる DNA を添加する。標準試料の添加は、抽出時のロスや土壌による吸着の影響を補正するためのものである。DNA 抽出は 3 反復で行う。

### ④ 土壌 DNA からのホモプシス根腐病菌の検出・定量

リアルタイム PCR 法で、土壌 DNA に含まれるホモプシス根腐病菌の DNA を検出して定量する（写真 7）。

## 得られた結果の活用法

得られた定量値から、幼苗検定の発病度と遺伝子診断法の定量値の関係をもとに土壌汚染程度を推定する（表 11）。

幼苗検定法にも遺伝子診断法にも言えることであるが、病原菌が検出されなかったとしても、その圃場に全く菌がないとは言えないため、前作での発生状況も考慮し、土壌消毒の要否などを判断する。

表 11 遺伝子診断法の定量値と圃場での発病の可能性

土壌	ホモプシス根腐病菌の DNA 量 (pg/ $\mu$ L)	幼苗検定発病度	圃場での発病の可能性
A	16.09	26.6	高い
B	10.73	18.9	
C	2.41	17.2	
D	1.03	17.2	
E	0.04	9.4	低い
F	検出限界以下	10.9	

## 参考文献

平成 20 年度千葉県試験研究成果普及情報「スイカホモプシス根腐病による急性萎凋症防除対策（1）ホモプシス根腐病菌汚染土壌のキュウリ幼苗検定法による汚染程度評価法」

