

新規土壌還元消毒を主体とした トマト地下部病害虫防除体系 標準作業手順書

— 公開版 —

Version 1.1



目次

| | | |
|-----------------------------------|-------|----|
| はじめに | ..... | 1 |
| 免責事項 | ..... | 2 |
| I 新規土壌還元消毒の概要と特徴 | ..... | 3 |
| 1. 新規土壌還元消毒とは | ..... | 3 |
| (1) 消毒メカニズム | | |
| (2) 新規土壌還元消毒資材の経費と特徴 | | |
| 2. 対象病害虫 | ..... | 7 |
| (1) 青枯病 | | |
| (2) ネコブセンチュウ | | |
| II 新規資材（糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材）について | ..... | 9 |
| 1. 糖含有珪藻土 | ..... | 9 |
| (1) 特徴 | | |
| (2) 成分（水溶性炭素源等） | | |
| (3) 保存方法 | | |
| 2. 糖蜜吸着資材 | ..... | 11 |
| (1) 特徴 | | |
| (2) 成分 | | |
| (3) 保存方法 | | |
| III 処理方法について | ..... | 13 |
| 1. 地温と処理期間 | ..... | 13 |
| 2. 圃場の準備 | ..... | 15 |
| (1) 残渣の持ち出し | | |
| (2) 圃場の均平化 | | |
| (3) 土壌の耕起と碎土 | | |

| | | |
|-------------------------------|-------|----|
| (4) その他 | | |
| 3. 圃場条件 | ..... | 16 |
| 4. 資材の施用方法 | ..... | 17 |
| (1) 散布 | | |
| (2) 耕起 | | |
| (3) 鎮圧 | | |
| 5. 灌水チューブ設置とビニール被覆 | ..... | 21 |
| 6. 灌水方法 | ..... | 22 |
| (1) 灌水 | | |
| (2) 農業用支柱による灌がい水の浸透具合の確認 | | |
| 7. 土壌還元化程度判定方法 | ..... | 25 |
| (1) 還元臭 | | |
| (2) ジピリジル反応 | | |
| (3) 土壌色 | | |
| 8. 消毒終了後の処理 | ..... | 28 |
| IV 新規土壌還元消毒による防除効果について | ..... | 29 |
| 1. 青枯病に対する防除効果 | ..... | 29 |
| (1) 防除効果 | | |
| (2) 防除効果の持続性 | | |
| 2. 線虫に対する防除効果 | ..... | 33 |
| (1) 防除効果 | | |
| (2) 防除効果の持続性 | | |
| V 栽培管理について | ..... | 37 |
| 1. 資材の肥料としての効果 | ..... | 37 |
| 2. 肥料や堆肥の施肥タイミングと効果 | ..... | 38 |
| 3. 栽培、収量への影響 | ..... | 38 |

| | | |
|-------------------------|-------|----|
| VI 高接ぎ木法について | ..... | 40 |
| 1. 台木品種の青枯病抵抗性 | ..... | 40 |
| 2. 高接ぎ木法の青枯病発病抑制機構 | ..... | 40 |
| 3. 青枯病に対する防除効果 | ..... | 41 |
| VII 体系防除について | ..... | 42 |
| 1. 高接ぎ木栽培との組み合わせによる防除効果 | ..... | 42 |
| 2. 新規土壌還元消毒を実施するタイミング | ..... | 44 |
| VIII 経済性評価 | ..... | 45 |
| 参考資料 | ..... | 51 |
| 担当窓口、連絡先 | ..... | 53 |
| 付録：還元消毒用資材選択の手引き | | |

はじめに

トマトは近年の産地化、施設化に伴う連作により、青枯病や線虫等の土壌伝染性病害虫が発生し安定生産にとって大きな問題となっています。土壌病害虫の防除対策として一般的にはクロルピクリン剤や D-D 等の土壌くん蒸剤による土壌消毒が行われています。土壌くん蒸剤は環境及び処理者への負担が大きいことや圃場の深層部に存在する青枯病菌や線虫等の病害虫に対する消毒効果が不十分なことから新たな消毒技術の開発が求められています。近年、易分解性の有機物を利用した土壌還元消毒技術が開発され、環境にやさしい消毒法として普及が進んでいます。しかしながら、米ぬか、フスマを用いた土壌還元消毒は深層部まで消毒効果が届かないことや、糖蜜等の液体の有機物を用いた還元消毒は、深層部の消毒効果が高いものの、重労働である糖蜜の希釈作業や液肥混入器の利用等が普及の妨げとなっています。

そこで、現地でのニーズに対応するため、青枯病菌及び線虫等を対象として、処理作業が容易で圃場の深層部まで消毒効果の高い資材の選抜を行うとともに、地域や作型に応じた処理方法や他の防除技術と組み合わせた体系化の検討を行いました。その結果、可溶性の糖を多く含むアミノ酸副生物である「糖含有珪藻土」と飼料である「糖蜜吸着資材」の2つの新規資材による土壌還元消毒技術を開発するとともに、青枯病に対する防除技術である「高接ぎ木栽培」を組み合わせた総合防除体系を確立しました。本標準作業手順書（SOP）では、新規資材の特性、処理方法、青枯病菌や線虫等に対する土壌還元消毒効果と体系防除に加え、生産者、普及指導員等から問い合わせの多い施肥や栽培管理等についても記載しました。さらに土壌還元消毒の現場で利用できる「土壌還元化程度判定方法」、「農業用支柱による灌がい水の浸透具合の確認」等の実践的な項目についても掲載しており、土壌還元消毒一般においても広く活用できる内容になっています。本 SOP が、新規土壌還元消毒技術と「高接ぎ木栽培」を組み合わせた総合防除体系の普及のため、研究者、農業指導者および生産者の皆様の理解を深める有効な手引きになることを期待いたします。

なお、本 SOP の内容は、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第 1 期「次世代農林水産業創造技術」（管理法人：農研機構生研支援センター）によって実施された研究成果として得られたものです。

■ 免責事項

- 農研機構は、利用者が本手順書に記載された技術を利用したこと、あるいは技術を利用できないことによる結果について、一切責任を負いません。
- 本手順書に記載された栽培・作業暦に示したスケジュールは、北海道、青森県、新潟県、富山県、石川県、千葉県、岐阜県、和歌山県、熊本県における例であり、地域や気候条件等より変動することにご留意ください。
- 本手順書に示した経営上の効果は、あくまでも千葉県、新潟県、富山県、石川県、岐阜県、和歌山県、熊本県における実証試験での実測値を基に試算した概算値です。地域、気候条件、圃場規模、品種、取引や流通状況その他の条件により変動することにご留意ください。本手順書に記載の技術の利用により、この通りの効果が得られることを保証したものではありません。
- 本手順書に記載されている図表および写真の一部は第 1 期 SIP「次世代農林水産業創造技術」新たな植物保護技術コンソーシアムが取りまとめた「新規土壌還元消毒を主体とした トマト地下部病害虫防除体系 マニュアル」より抜粋・加筆修正されたものです。

I. 新規土壌還元消毒の概要と特徴

1. 新規土壌還元消毒とは

(1) 消毒メカニズム

土壌還元消毒は、還元資材である米ぬか、フスマや糖蜜等の有機物を土壌に混和して灌水し、ビニールで土壌表面を被覆して空気の流入を遮断しながら、高い地温を維持する土壌消毒方法です。土壌中の微生物が、資材をエサとして分解しながら爆発的に増殖する際に、土壌中の酸素を一気に消費することにより、土壌が酸欠状態（還元状態）となり、青枯病菌や線虫等の病害虫を死滅させることができます。

消毒作用のメカニズムは、1) 還元状態における低酸素濃度、2) 太陽熱による高温、3) 還元状態で生成する酢酸や酪酸等の有機酸、二価鉄や二価マンガン等の金属イオンによる抗菌活性、4) 土壌微生物の競合などが作用しています（図 1-1）（門馬、2011）。

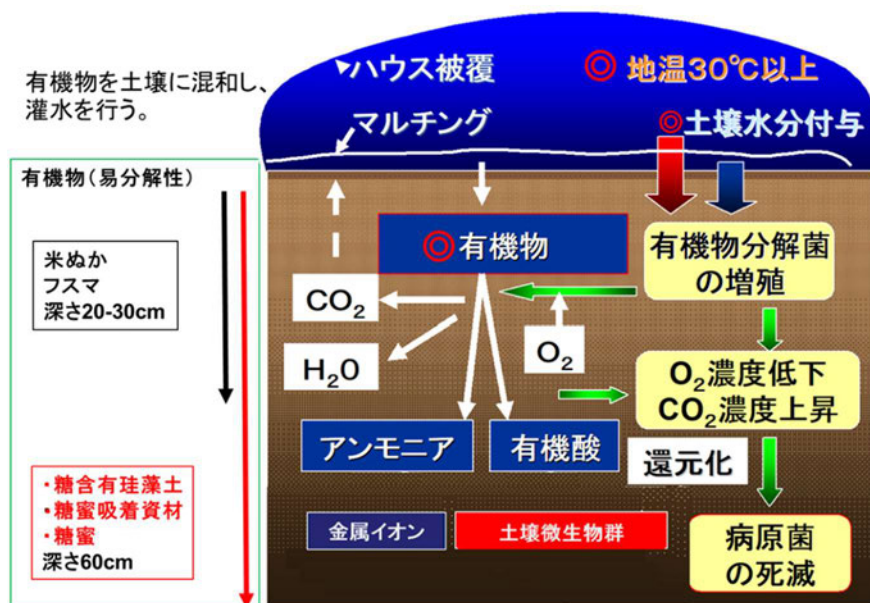


図 1-1 土壌還元消毒の消毒メカニズム

(2) 新規土壌還元消毒資材の経費と特徴

本消毒は化学薬剤を使用しないので、作業員への身体的な影響や、周辺環境への薬剤の飛散等のリスクがありません。また、物理的・耕種的な防除方法のため、環境にやさしいクリーンな消毒技術であるといえます。土壌還元消毒に用いられる有機物の経費と特徴の比較は表 1-1 の通りです。

表 1-1 土壌還元消毒資材の経費と特徴の比較

| | 糖含有珪藻土 | 糖蜜吸着資材 | 糖蜜 | 米ぬか フスマ | ダゾメット剤 (参考) |
|----------------------|--|-----------------------------------|---|-------------------------|-------------------------|
| 処理量 (10a当 たり) | 1 t | 1 t | 0.9 t | 1 t | 30~60kg (青枯病) |
| 資材経費 (10a当 たり) | 5万円程度(国 内品、九州地 域のみ供給) 15万円程度 (輸入品) | 15万円程度 | 10万円程度 | 5万円程度 | 4.5~9万円 |
| 特徴 (糖蜜と の比較) | ○環境にやさ しい。 | ○環境にやさ しい。 | ○環境にやさ しい。 | ○環境にやさ しい。 | 土壌くん蒸剤 (化学農薬) |
| 消毒範囲 | ○深く(地下 60cm程度) まで消毒でき る。 | ○深く(地下 60cm程度) まで消毒でき る。 | ○深く(地下 60cm程度) まで消毒でき る。 | △深くまで消 毒できない。 | △深くまで消 毒できない。 |
| 資材の施 用処理 | ○散布、混和 処理が容易で ある。 | ○散布、混和 処理が容易で ある。 | △希釈液の調 整、混入作業 に時間と労力 がかかる。液 肥混入器が必 要である。 | ○散布、混和 処理が容易で ある。 | ○散布、混和 処理が容易で ある。 |
| 処理時の におい | ○消毒時の臭 いが少ない。 | ○消毒時の臭 いが少ない。 | ○消毒時の臭 いが少ない。 | △消毒時のド ブ臭が強い。 | — |

米ぬかやフスマによる土壌還元消毒は還元化により悪臭（ドブのような臭い）が発生するため、住宅地近接地帯での使用には不向きです。また、還元消毒の範囲は有機物が届いた深さに依存するため、深さ 30cm 程度までしかすき込むことができない米ぬか、フスマでは（図 1-1）、耕盤層以下の深い層に分布する青枯病菌や線虫等に対する消毒効果は不十分です。

深層の土壌還元消毒のためには液体の有機物である糖蜜が主に利用されています。糖蜜を利用した還元消毒は、10a 当たり 0.9 t（一斗缶 24 kg が 37.5 缶）の糖蜜を使用します。粘性の高い糖蜜は希釈が必要で、そのための作業が重労働となっています。さらに、糖蜜液処理（0.6%糖蜜液を 150L/m² 灌水）のために液肥混入器等が必要なことから、一部地域での普及に留まっています。

このような問題点を改善し下層に分布する青枯病菌や線虫を防除するため、新規資材である「糖含有珪藻土」および「糖蜜吸着資材」を用いた土壌還元消毒（以下、新規土壌還元消毒）技術の開発を行いました（中保ら、2019）。両資材は可溶性の有機物を含む粉（粒）状の資材で、①米ぬかやフスマと同様に圃場に散布、耕うん機で混和、②灌水チューブで灌水することで可溶性の有機物（糖）が溶解、③糖を含む灌がい水が深層まで移行することで、深さ 60cm まで還元消毒することが可能です（図 1-2）。米ぬか、フスマを用いた土壌還元消毒を実施している生産者は「新規資材」に替えるだけで深層まで効果の高い消毒技術を導入できます。

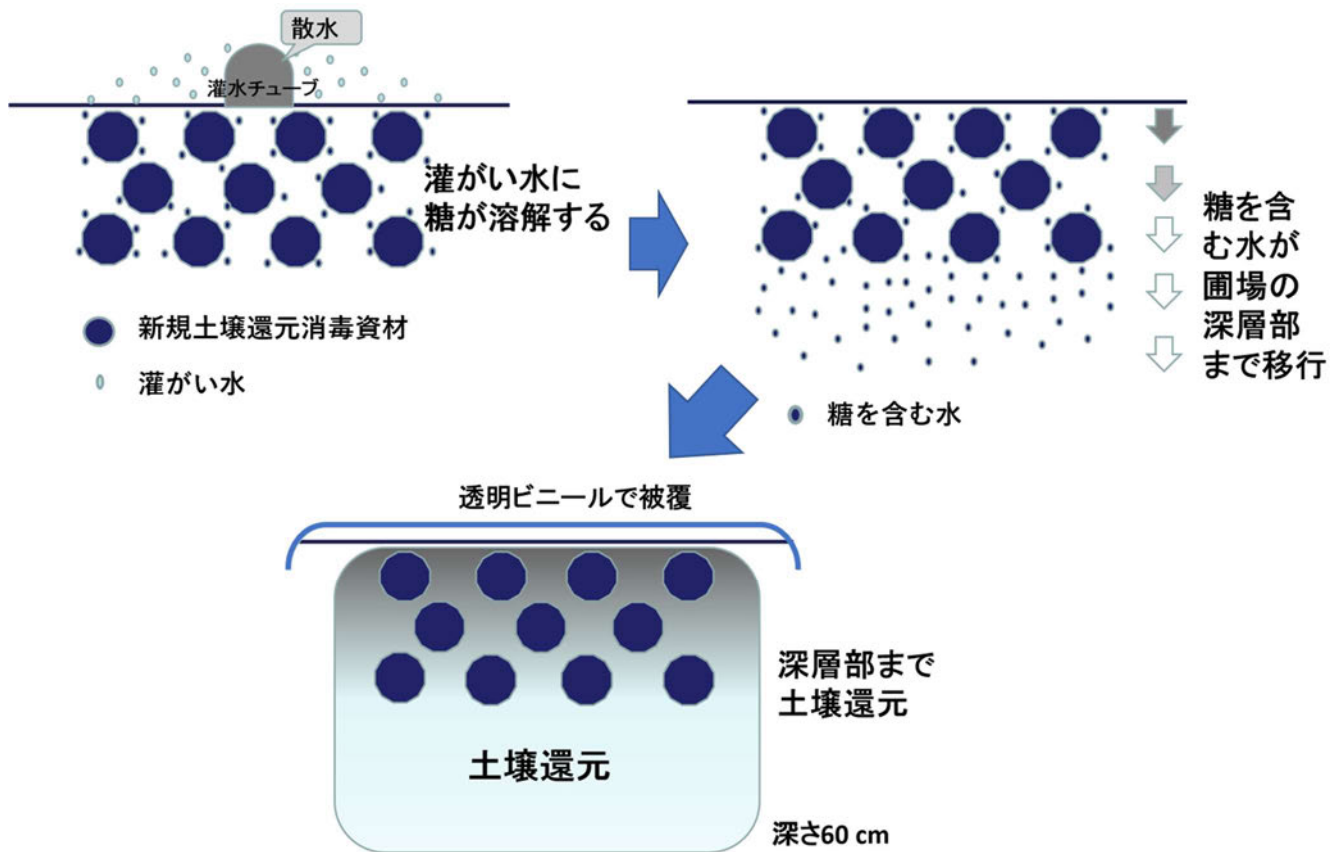


図 1-2 新規資材を用いた土壤還元消毒のイメージ

2. 対象病害虫

(1) 青枯病

植物病原細菌 *Ralstonia solanacearum* によって引き起こされるトマト青枯病は土壌伝染性の難防除病害です（図 1-3）。近年のトマト栽培の産地化、施設化に伴う連作により青枯病の被害が大きな問題となっています。また、温暖化により発生時期や冷涼地域への拡大が危惧されている重要病害です。

本病の防除法のうち、耕種的防除である輪作は施設化により導入が困難です。また、化学的防除であるクロルピクリン、ダゾメット等の土壌くん蒸剤は環境や作業者への負荷が大きく、青枯病菌が存在する圃場の深層まで消毒できないため、その効果は限られています。このような状況下で抵抗性品種を台木、栽培品種を穂木とした接ぎ木栽培が比較的安定した効果の高い防除法として広く普及しています（野菜茶業研究所、2011）。

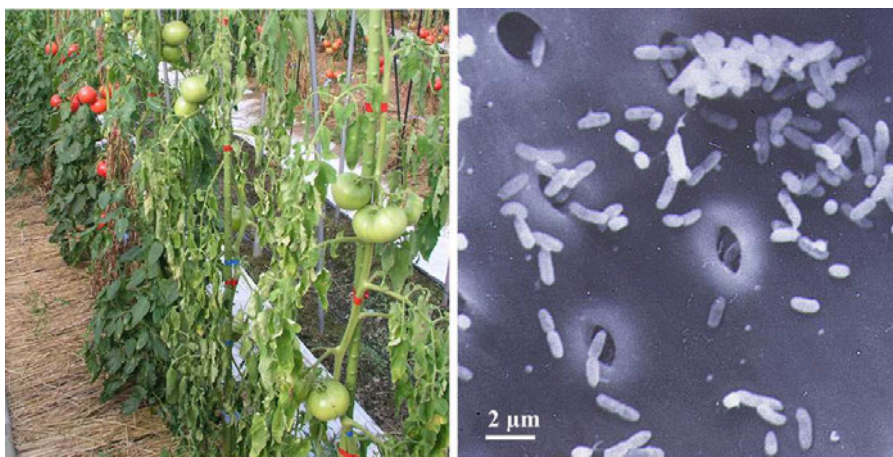


図 1-3 トマト青枯病（左）と病原細菌（右）

(2) ネコブセンチュウ

ネコブセンチュウ (*Meloidogine* spp.) は農業生産上最も重要な植物寄生線虫です。分布や宿主範囲がきわめて広く、寄生された植物の根には「こぶ (ゴールまたは根こぶ)」を形成します。国内には十数種が生息していますが、そのうち、サツマイモネコブセンチュウ、アレナリアネコブセンチュウ (本州型・沖縄型)、キタネコブセンチュウの 3 種が広範囲に分布しています。なかでもサツマイモネコブセンチュウ (*M. incognita*) は、北海道から沖縄まで国内に広く分布し、700 種以上の寄主植物が報告され、最も経済的被害が大きい線虫種です (図 1-4)。サツマイモネコブセンチュウに寄生された作物は根に特有のこぶが形成され、養水分の吸収が阻害されて生育不良となります。また、サツマイモネコブセンチュウが、トマトでは青枯病や萎凋病、キュウリではつる割病の発病を助長することが知られています。サツマイモネコブセンチュウ以外では東北地方から沖縄にかけて国内に広く分布するアレナリアネコブセンチュウ本州型も根にサツマイモネコブセンチュウと同じようなこぶを形成する農業上の被害が大きい重要種の一つです。キタネコブセンチュウは北海道から九州まで分布しますが、冷涼な気候を好み、東北以北や高冷地では本種が主に生息します。



図 1-4 サツマイモネコブセンチュウ (左) と寄生を受けたトマトの根 (右)

Ⅱ. 新規資材（糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材）について

1. 糖含有珪藻土

（1）特徴

糖含有珪藻土（図 2-1）は、アミノ酸生産工程における副生物で、資源の有効利用の観点からは環境配慮型の製品と言えます。糖含有珪藻土はタピオカスターチ等を原料とする糖化液由来の糖と濾過助剤である珪藻土を主成分とします。



図 2-1 糖含有珪藻土（土壌還元消毒資材）

糖含有珪藻土は、土壌還元消毒資材として利用する際に、1）粉状のため、作業性が良い、2）水溶性のため、土壌の奥深くまで消毒できる、3）消毒時の臭いが少ない等の利点が挙げられます。

本資材には、国内（佐賀県）工場品と海外（タイ）工場品の2種類の製品があります。国内工場品は、500kg フレコンバックの荷姿で主に九州の近隣地域の生産者向けに、海外工場品は水分が10%以下のドライタイプで、600kg フレコン

バックと 20kg 袋があり、九州以外の地域の生産者向けに販売されます。

(2) 成分 (水溶性炭素源等)

糖含有珪藻土は、炭素源 (糖) を多く含みます。糖は水に溶けやすく土壌に吸着しにくいいため、資材をすき込んだ土壌に灌水すると、水の流れに乗って下層土に糖が到達し、表層土だけでなく下層土まで還元化できます。これは、糖含量が少ない米ぬかやフスマにはない特徴です。糖含有珪藻土は全炭素含量が高い一方で、窒素、リン酸、カリウム等の肥料成分含量は低い (表 2-1) ですが、土壌還元消毒後のトマト栽培では、増殖した微生物に由来する利用可能な窒素成分が増加することから基肥を減肥し、追肥で調整します。

表 2-1 糖含有珪藻土 (国内工場品、含水率 0.32) の含有成分

| 全炭素 (g/100g) | 全窒素 (g/100g) | カリウム ※ク溶性 (mg-K ₂ O/g) | リン酸 ※ク溶性 (mg-P ₂ O ₅ /g) |
|-----------------|-----------------|---|--|
| 17 | 0.7 | 0.3 | 1.4 |

※ク溶性は 2%クエン酸溶液に溶解 (越野ら、1988) した成分量。

上記は、資材の現物重量当たりの含有量を計測した例であり、保証値ではない点ご注意ください。

(3) 保存方法

国内工場品は未乾燥のため、常温保存中に微生物による分解を受ける可能性があり、長期保存には適しません。保存状態や気象条件によっては、まれにカビ、臭気を発する場合があります。しかし、実際に輸送用のフレコンバッグに入れて保管した場合には数ヶ月間、水溶性の有機性成分の量 (COD : 化学的酸素要求量を

指標として示される値)が低下しなかったことから、消毒開始までの期間は、冷蔵保存等の特別な保管方法は不要であり、雨よけのために防水シートをかぶせれば、ハウスわき等に一時的に保管できると考えられます。なお、糖含有珪藻土は乾燥させると、長期保存できることがわかっており、海外工場品の糖含有珪藻土については、少なくとも7か月間CODが低下しないことを確認しています。

2.糖蜜吸着資材

(1) 特徴

糖蜜吸着資材は、大豆皮にサトウキビ糖蜜を吸着させたもので、大豆皮 33%とサトウキビ糖蜜 67%を含んでおり、水分含有量は 6%程度の乾燥した粒状資材のため取り扱いが容易です(図 2-2)。家畜(乳牛、肉牛や馬)飼料としても使用されています。



図 2-2 糖蜜吸着資材(土壌還元消毒資材)

本資材は土壌還元消毒資材として利用する際に、1) 粒状のため、作業性が良い、2) 水溶性のため、土壌の奥深くまで消毒できる、3) 自然物由来で、安全性が高い、4) 消毒時の臭いが少ない等の利点が挙げられます。使用方法は前述の糖含有珪藻土と同様であり、土壌消毒効果に関してもほぼ同じです。

(2) 成分（水溶性炭素源等）

本資材には土壌還元化をもたらす炭素源が多く含まれます（表 2-2）。また、ミネラル分として、液体の糖蜜と同様に、肥料成分であるカリウムが豊富に含まれます。

表 2-2 糖蜜吸着資材（含水率 0.07）の含有成分

| 全炭素 (g/100g) | 全窒素 (g/100g) | カリウム ※ク溶性 (mg-K ₂ O/g) | リン酸 ※ク溶性 (mg-P ₂ O ₅ /g) |
|-----------------|-----------------|---|--|
| 39 | 1.3 | 32.1 | 1.8 |

※ク溶性は 2%クエン酸溶液に溶解（越野ら、1988）した成分量。

上記は、資材の現物重量当たりの含有量を計測した例であり、保証値ではない点ご注意ください。

(3) 保存方法

本資材の保管に関しては糖含有珪藻土と同様に、冷蔵等の特別な取り扱いは不要です。しかし、本資材には若干の吸湿性があるため、高湿度下で長期間保存をすると資材が固まってしまう場合があります。その際には資材を袋の上から木槌等で叩き、扱いやすいサイズの粒状にしてください。

Ⅲ. 処理方法について

1. 地温と処理期間

土壌還元消毒で高い消毒効果を得るためには、ビニール被覆して消毒開始後の最初の3日間に良好な天候が続くことが重要であるとされています。そのため、天気予報を参考に晴天が続く日を選んで処理を開始しなければなりません。消毒期間は3週間以上を目安としますが、天候不順等の影響で地温の上昇が十分でないと考えられる場合は、消毒期間を延長します。処理開始後3～5日後にドブ臭がすると（ただし新規資材の場合は米ぬか等の処理に比べ臭気が非常に弱い）、土壌の還元化が進んでいる証拠となります。

促成・半促成栽培では、ハウス内が高温となるため栽培を行わない夏季に処理を行うことができ、30℃以上の地温の確保が容易となるため、土壌還元消毒に適しています（表3-1）。

表3-1 夏季の土壌還元消毒処理期間中の地温（℃）

| 年次 | 試験場所 | 処理期間 | 20～30cm深 | 40～60cm深 |
|------|----------|-----------|------------------|------------------|
| 2016 | 北海道北斗市 | 8/4～8/25 | 23.8～39.2 (33.7) | 23.8～33.9 (30.8) |
| | 岐阜県海津市 | 7/8～8/14 | 24.6～44.3 (37.2) | 25.0～38.4 (33.5) |
| | 和歌山県紀の川市 | 7/29～8/19 | 28.1～44.8 (40.2) | — |
| 2017 | 石川県白山市 | 7/26～8/21 | 22.0～41.3 (35.5) | 23.8～37.0 (32.0) |
| | 和歌山県紀の川市 | 8/28～9/18 | — | 24.4～46.8 (34.4) |
| | 熊本県長州町 | 7/19～9/4 | 30.7～42.9 (38.6) | 28.8～40.6 (36.4) |
| 2018 | 岐阜県海津市 | 6/26～7/27 | 25.0～40.6 (33.6) | 24.5～39.0 (32.4) |
| | 和歌山県印南町 | 7/17～8/8 | 20.9～44.7 (35.0) | — |
| | 熊本県玉名市 | 7/17～8/12 | 19.9～42.3 (37.3) | 19.4～41.0 (32.9) |

表中の値は処理期間中地温の最低～最高（平均）値、新規資材 1t/10a 処理

夏に処理する場合、処理期間中の平均地温が 20cm 深で 33℃以上、40～60cm 深で 30℃以上となる時期に実施します。この温度が確保できる 7 月上旬～8 月下旬に処理を開始し、消毒期間は 20 日間以上を設けてください。

一方、夏秋栽培では、定植直前の春処理と、栽培終了直後の秋処理の 2 通りが考えられますが、天候が安定し地温の上昇が得られやすい春処理が推奨されます（表 3-2）。

表 3-2 春季の土壤還元消毒処理期間中の地温（℃）

| 年次 | 試験場所 | 処理期間 | 20cm深 | 40～50cm深 |
|------|---------|-----------|------------------|------------------|
| 2017 | 北海道木古内町 | 5/1～6/1 | 13.6～30.1 (23.1) | 11.5～26.6 (21.4) |
| | 北海道森町 | 5/16～6/15 | 11.3～33.0 (25.6) | 11.4～30.1 (24.4) |
| | 青森県七戸町 | 5/9～6/12 | 16.7～33.2 (26.1) | 16.5～25.4 (21.8) |
| | 青森県南部町 | 6/6～6/25 | 20.3～37.1 (31.2) | 20.0～31.5 (26.9) |
| | 岐阜県中津川市 | 5/1～5/30 | 14.2～33.5 (25.6) | 12.9～25.8 (20.5) |
| 2018 | 北海道木古内町 | 5/2～6/4 | 16.1～35.4 (25.6) | 13.9～29.8 (22.3) |
| | 北海道北斗市 | 5/7～6/1 | 14.8～34.3 (24.4) | 14.0～28.3 (21.3) |
| | 岐阜県飛騨市 | 5/24～6/21 | 18.0～35.2 (29.0) | 15.7～30.4 (25.0) |

表中の値は処理期間中地温の最低～最高（平均）値、新規資材 1t/10a 処理

土壤還元消毒は、消毒期間中にアメダスの平均気温が 15～18℃以上あれば、可能であると報告されています（新村、2004）。しかし、春処理は、夏季と比較して消毒開始時の地温が低いこと、また地温上昇には長期間必要なことから、消毒効果が不安定となりやすいことを考慮に入れておかなければなりません。岐阜県中津川市での新規土壤還元消毒処理（2017 年、表 3-2）では、ネコブセンチュウに一定の消毒効果はあったものの、調査地点によっては残存が認められました（表 3-3）。

表 3-3 春季の新規土壌還元消毒による線虫に対する消毒効果（岐阜県）

| 資材 | 深さ | 線虫密度（頭/20g 土） | |
|--------------------|---------|---------------|------|
| | | 処理前 | 処理後 |
| 糖含有珪藻土 （1t/10a） | 0-17cm | 10~230 | 3 |
| | 17-33cm | 10~40 | 0~3 |
| | 33-50cm | 25 | 7 |
| 糖蜜吸着資材 （1t/10a） | 0-17cm | 35~140 | 0~7 |
| | 17-33cm | 5~35 | 0~43 |
| | 33-50cm | 5~15 | 0~10 |

中津川市、処理期間 2017.5.1-5.30

2. 圃場の準備

（1）残渣の持ち出し

発病株の残渣は土壌病害虫の第一次伝染源となります。そのため、残渣はなるべく根ごと抜き取って圃場外へ持ち出し、埋却や焼却等適切に処分します。また、耕起しても除去できない大型の雑草は、被覆したビニールを持ち上げて地表面との空間を広げてしまう可能性があるため、抜き取っておきます。

（2）圃場の均平化

土壌還元消毒で高い効果を得るためには、灌水した水が土壌中に均一に行き渡ることが重要です。傾斜や高低差があると高くなった箇所では土壌水分が不十分となるため、消毒効果が劣ることになります。そのため、耕起して畝を崩した後、圃場内の高低差が少なくなるよう均平化します。特に、ハウスの出入り口やトラクター等の農業機械が旋回する箇所では、土が高くなりやすい傾向にあります。また、ハウスサイドは耕起した際に寄せられた土が盛り上がっていることが多いため、できるだけ土を

ハウスの中央側へ寄せて均平化してください。ハウスサイドが低い圃場の場合、灌水時にハウス外へ水が流出しやすくなるため、土を寄せて均平化するか、畦波板を周囲に入れます。

大型施設の場合、鉄骨支柱のある周囲部分や支柱基部近辺等は耕起することができないため、消毒効果が不十分となる可能性が高くなります。そのため、そのような箇所は無理に耕起はせず、土壌の拡散を避けます。

(3) 土壌の耕起と碎土

灌水が均一に行き渡るようにするには、土壌が細かいほうが良いため、事前に一度耕起し、なるべく細くなるように碎土します。乾いた圃場であれば、資材散布後に耕起するだけでも十分ですが、土壌水分が高い、または粘土質等で土塊が大きいと考えられる圃場の場合は、事前耕起を入念に行います。

(4) その他

暗渠がある場合、排水口を閉じておき、土壌中の水分が抜けるのを防ぎます。また、圃場内に暖房機や制御盤等の機器がある場合は、太陽熱消毒や施設の蒸し込み等と同様、消毒期間中の高温による障害を受けないように、遮熱シート等で覆うか、ハウス内の温度が 50℃を超えるようであれば天窓を一部開放しておく等、十分な熱対策をしておく必要があります。

3. 圃場条件

土壌還元消毒法は、地表から深さ 60cm までに水が極めて通りにくい土層がある圃場では、その土層以深に水が十分浸透しないため、下層土を消毒することが

できません。このような圃場で土壌還元消毒を行うためにはサブソイラー等により事前に透水性を確保しておく必要があります。一方で、排水の良い圃場では、水分保持力が低いため十分な還元化が認められず、消毒効果が劣る事例が認められています。

圃場内に暗渠がある場合には、排水管を閉じることにより土壌を還元化し、高い消毒効果を得ることができます。圃場内に高低差のある山間地や傾斜地のハウスでは、灌水した水は高い位置から低いほうに流れてしまうため、圃場全体を湛水することは困難です。斜度が6～7%以上であれば、土壌還元消毒には適さない圃場と判断してください。それ以下の斜度であれば、前述の「圃場の準備」で記載されているように、圃場内の高低差をなくすように土壌を移動し均平化後、消毒を行います。

新規資材を用いた土壌還元消毒は、北日本、北信越、関東、東海および西日本地域の実証事例において、圃場の土性（砂土、砂壌土、壤土、埴壌土、埴土等）に関わらず消毒効果が認められました。

4. 資材の施用方法

(1) 散布

10a 当たり 1t の資材を、ブレンドキャスト等の肥料散布機で散布します（図 3-1）。小規模ハウスの場合、一輪車やトラクターのバケット等に資材を入れ、スコップ・シャベル等で散布します（図 3-2）。いずれも、圃場内に均一になるよう散布します。



図 3-1 ブレンドキャストを用いた資材の散布



図 3-2 バケツやスコップ・シャベルを用いた資材の散布

(2) 耕起

資材が土壌とよく混和するように2、3回ロータリー耕起します（図 3-3）。可能な限り深くまで耕うんしたほうが、土壌深層までの消毒効果が高くなります。大型施設における鉄骨支柱の基部やその周囲部分等、耕起することができない場合は、その土壌表面に資材を散布しておきます。大量の灌水を行うことにより、資材から可溶性の有機物が溶出して土壌中へ移行するため、ある程度の深さまでは土壌の還元化が期待できます。



図 3-3 ローラー耕起による資材の混和作業

(3) 鎮圧

土壌還元消毒で高い消毒効果を得るためには、灌水した水分を土壌が長期間保持することも重要です。そのため、排水性が良い圃場や土質の違い等により圃場内で排水性が異なる箇所がある場合、予めクローラー等で土壌を鎮圧しておきます（図 3-4）。トラクターを低速で走行させるだけでも、ある程度の鎮圧効果があります。これらの鎮圧処理により、土壌の空隙が狭まり透水性が低下して水を貯めやすくなることや、気相率が少なくなることで土壌中の酸素の消費が促進される効果等が期待できるため、還元化がより早く進むと考えられます（三木ら、2012）。

資材を圃場に処理（散布、耕起）したら、当日～翌日には土壌中の微生物により資材中の糖が分解されますので、処理後は速やかに灌水作業を行ってください。



図 3-4 耕起後のトラクター走行による土壌の鎮圧

5. 灌水チューブ設置とビニール被覆

圃場全面に均一に灌水させるため、栽培時よりも狭い間隔で灌水チューブを設置します。60cm～1m おきに 1 本の間隔で設置することが推奨されます（図 3-5）。



図 3-5 灌水チューブの設置

ビニールは透明のポリエチレンフィルム、または PO フィルムを用います（図 3-6）。中古を用いる場合は、空気の流入を防ぐため、穴等の破損箇所がないものかテープで補修済みのものを用います。また、太陽光を効果的に地表面に当てるため、透明度を維持しているものを使用します。被覆する際は、密閉度を高めるため、ビニールの端を土壌中に埋め込むか、周囲に土壌をかけておきます。ビニールが小さく、重ね合わせて使用する場合は、重なる部分の面積がなるべく広くなるようにします。被覆後は空気の流入を防ぎ、地温を高く維持させるために、ハウスの開口部を全て閉じて密閉します。



図 3-6 ポリエチレンフィルムによる被覆

6. 灌水方法

(1) 灌水

灌水量は、一般的に 1 m^2 当たり 100～150L の水が必要で、水田の代かき時のように足が潜るようになるまで灌水します（図 3-7）。圃場の灌水量が把握しにくい場合は、農業用支柱等を土壤に差し込み、土壤下層まで十分に水が浸透しているか確認する方法もあります（24～25 ページを参照）。



図 3-7 ビニール被覆後の灌水状況

新規資材は水に溶けやすい炭素源（糖）を多く含んでいるため、灌水することにより、糖が水の流れに乗って下層土まで到達し還元化することができます。そのため、灌水量の不足は消毒効果が劣ることに繋がります。下層土まで十分に水が浸透しているか、必ず確認することが大切です。

土壌深層での安定した防除効果を得るためには、圃場条件に応じて以下の 3 種類の灌水方法があります。

- 1) 灌水処理当日に圃場表面が湛水状態になる場合 → (1 日で湛水状態になるまで灌水)
- 2) 灌水処理当日に圃場表面が湛水状態にならない場合、または 2 日以内に表面が乾くほど透水性が高い場合 → 分割灌水 (1 日で可能な限り湛水状態になるまで灌水し、翌日さらに灌水)
- 3) 強固な耕盤層が存在し、下層へ水が浸透しにくい場合 → 耕盤層破壊 (資材施用前にサブソイラーで耕盤層を破壊後、慣行あるいは分割灌水)

北日本地域、高冷地等の地温が低い地域や灌がいのための水量が一日では

十分に取れない圃場では、「分割灌水」で灌水を実施することが有効です。表 3-4 で示すように分割灌水区は、慣行灌水区に比べ、圃場のより深層で還元化を確認できます。

表 3-4 分割灌水による土壌還元消毒後の還元程度（和歌山県）

| 灌水方法 | 調査地点 | ジピリジル反応で陽性を示した 土壌の深さ（cm） |
|---|------|-----------------------------|
| 分割灌水 1日目67L/m ² 2日目120L/m ² | ① | 60 |
| | ② | 60 |
| | ③ | 45 |
| | ④ | 40 |
| | 平均 | 51 |
| 慣行灌水 1日目200L/m ² | ① | 30 |
| | ② | 40 |
| | ③ | 40 |
| | ④ | 35 |
| | 平均 | 36 |
| 無処理 | ① | — |
| | ② | — |
| | ③ | — |
| | 平均 | — |

土壌還元消毒は 2017 年 8 月～9 月に糖含有珪藻土 1t/10a 用いて実施した。

(2) 農業用支柱による灌がい水の浸透具合の確認

土壌深層部への水の浸透具合を確かめる方法の 1 つです。灌水時に小さな水溜まりができ始めたら農業用支柱（市販の園芸用 直径 18～21 mm、長さ 120cm～210cm）を小刻みに数回に分けて地面に突き刺します（図 3-8）。一度に強く突き刺すと支柱が折れてしまいますので注意が必要です。土壌深層部まで、水が溜まっていれば、地表下 60cm～100cm の深さまで支柱が突き刺さります。また、土壌から抜き出すと支柱には泥水が付着するため、水の溜まり具合を確認することができます。土壌の表層に水が溜まっていなくても、支柱が土壌にスム

ーズに刺されば、地下部では水が順調に溜まっている証拠です。圃場内の1カ所だけではなく、ハウスサイド、ハウスの出入り口とその反対側等で行い、水の溜まり具合を確認するようにしてください。



図 3-8 農業用支柱による土壌深層部の湛水状況の確認

7. 土壌還元化程度判定方法

(1) 還元臭

施用した資材に含まれる窒素が分解される際に発生する臭気で、どぶ臭とも呼ばれます。臭いの有無で判定するため簡便ですが、新規資材は窒素含有量が少ないために臭気が非常に弱いという特徴があります。

(2) ジピリジル反応

(採土器を用いたジピリジル反応)

還元消毒中の圃場から採土器を用いて土壌を採取し、ジピリジル液 (α-α'ジピリジル試薬 1g を 10% (v/v) 酢酸溶液 500ml に溶かしたもの) を噴霧して色彩の変化を見ます (図 3-9)。赤く着色すれば還元化しています。













| | 深度0～30cm | 深度30～60cm | 深度60～90cm |
|--------|---|--|---|
| 糖含有珪藻土 |  |  |  |
| 糖蜜吸着資材 |  |  |  |
| 米ぬか |  |  |  |
| 無処理 |  |  |  |

図3-9 採土器で採取した土壌のジピリジル反応（矢印の深さまで反応）

糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材は深度 60-90cm まで還元化している

（圃場断面におけるジピリジル反応）

消毒後の圃場において、穴（縦 50cm、横 50cm、深さ 60cm）を掘り、土壌断面の地表付近から下に向かってジピリジル試薬をかけます（図 3-10）。ジピリジル反応は、採土器を用いた場合と同様です。α-α'ジピリジルが二価鉄イオンと反応して赤色の錯体を形成することを利用して、還元状態の判定を行います。土壌が還元化していれば、即時に呈色反応が認められ、発色の程度から還元の強弱を判断することもできます。

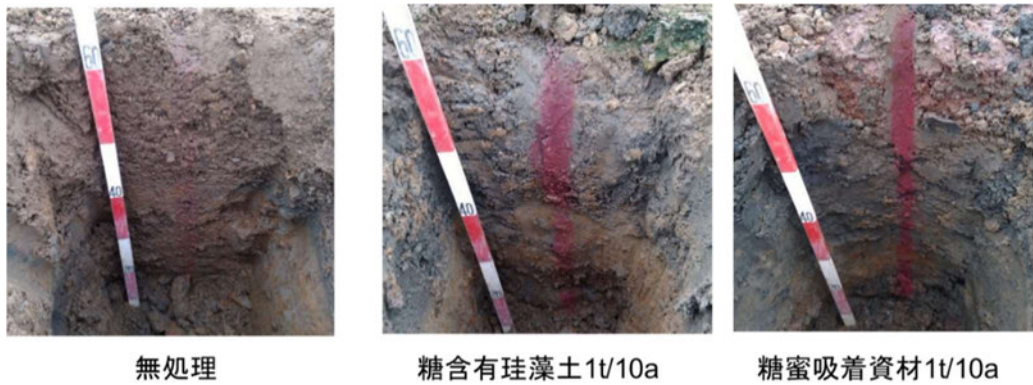


図 3-10 土壤還元消毒後の土壤断面におけるジピリジル反応

(ろ紙を用いたジピリジル反応)

黒ボク土では、直接土壤に噴霧しても色彩の変化が見えにくいので、ジピリジル試薬をしみこませたろ紙に土壤を置床する等工夫します（図 3-11）。ろ紙上の赤みの面積や色の濃さからジピリジル反応の強弱を判定します。

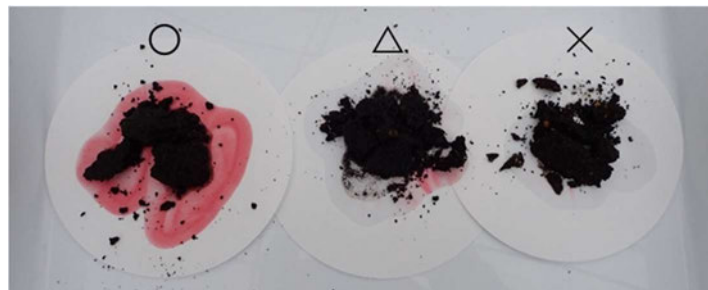


図 3-11 紙の上におけるジピリジル反応の判定（黒ボク土）

○：還元化、△：やや還元化、×：還元化していない

(3) 土壤色

処理後の土壤にスコップで深さ約 20 cm の穴を掘り、土壤色を観察し、還元化程度を以下の 5 段階（還元化程度：4、3、2、1、0）で判定します（図 3-12）。1 試験区当たり 9 カ所（縦 3×横 3）程度観察すると処理区全体の還

元化程度を評価できます。

- 4 : 穴全体が鮮やかな青灰色を呈する
- 3 : 鮮やかな青灰色と青灰色と原土の中間的な色が混在する
- 2 : 穴全体が青灰色と原土の中間的な色を呈する
- 1 : 青灰色と原土の中間的な色と原土の色が混在する
- 0 : 原土の色を呈する



図 3-12 土壤色による還元化程度の判定（還元化程度：4）

8. 消毒終了後の処理

ハウスを開放して通風し、ビニール被覆を除去して、圃場を乾燥させます。トラクターが入れるぐらいに乾いたら、圃場全体をよく耕うんし、地温を下げるとともに、土壤中に酸素を供給して確実に酸化状態に戻します。排水性の悪い圃場や還元状態のドブ臭が残っている場合は、再度耕うんします。耕起が不十分の場合、作物に生育障害が発生することがありますので注意してください。

糖含有珪藻土および糖蜜吸着資材は肥料成分含量が少ないものの、土壤還元消毒後は土壤診断を行い、施肥設計を実施してください。一般的に土壤還元消毒後の作付けは、基肥を減肥し、追肥で調整します。その後、各栽培地域の適切な畝間、畝幅で畝立を行い、トマトを定植してください。

IV. 新規土壌還元消毒による防除効果について

1. 青枯病に対する防除効果

(1) 防除効果

糖含有珪藻土および糖蜜吸着資材を土壌還元消毒用の資材として用いることで、トマト栽培期間中の青枯病の発生を低く抑えることが可能です（中保ら、2019）。安定した消毒効果を得るためには、資材量は 1t/10a 以上必要です。消毒時期は 6 月～9 月（地温 30℃以上を確保できる時期）、湛水状態になるまで灌水することで、地表下約 60cm 程度の深さまで土壌は還元し、土壌深層部に生残している青枯病菌を消毒することができます（表 4-1）。それによりトマトの栽培期間中の青枯病の発生を抑えます（図 4-1、4-2）。

表 4-1 新規土壌還元消毒法による土壌中の青枯病菌に対する殺菌効果（新潟県）

| 試験区 | 調査日 | 青枯病菌数 (CFU/g 土壌) | | | |
|--------|------|------------------|----------|----------|----------|
| | | 0～15cm深 | 15～30cm深 | 30～45cm深 | 45～60cm深 |
| 糖含有珪藻土 | 5/31 | 1100 | 210 | 43 | 23 |
| 1t/10a | 6/25 | <3 | <3 | <3 | 3.6 |
| 糖含有珪藻土 | 5/31 | ≥2400 | 1100 | 23 | 7.2 |
| 2t/10a | 6/25 | <3 | <3 | <3 | <3 |
| 糖蜜吸着資材 | 5/31 | 2400 | 120 | 410 | 9.2 |
| 1t/10a | 6/25 | <3 | <3 | <3 | <3 |
| 無処理 | 5/31 | ≥2400 | ≥2400 | 210 | 28 |
| | 6/25 | 1100 | ≥2400 | 64 | 15 |

消毒期間：2018.6/1～6/25

青枯病菌数 (CFU : colony forming unit) の測定は MPN*-PCR 法 (井上・中保、2015) により測定 (*最確値 most probable number: MPN)

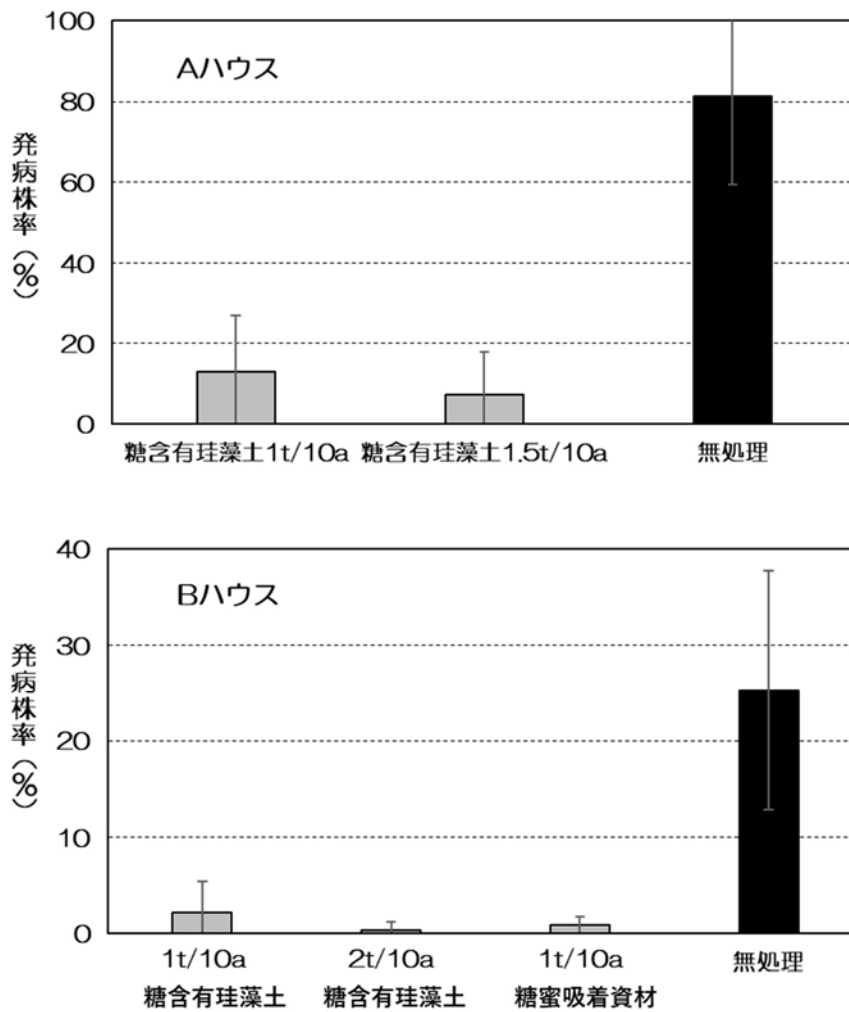


図 4-1 新規土壌還元消毒によるトマト青枯病に対する防除効果（新潟県）

Aハウス 消毒期間：2017年6月5日～7月3日

栽培期間：7月16日～11月28日

供試品種 穂木：りんか409、台木：Bバリア

Bハウス 消毒期間：2018年6月1日～6月25日

栽培期間：7月12日～11月26日

供試品種 穂木：りんか409、台木：Bバリア

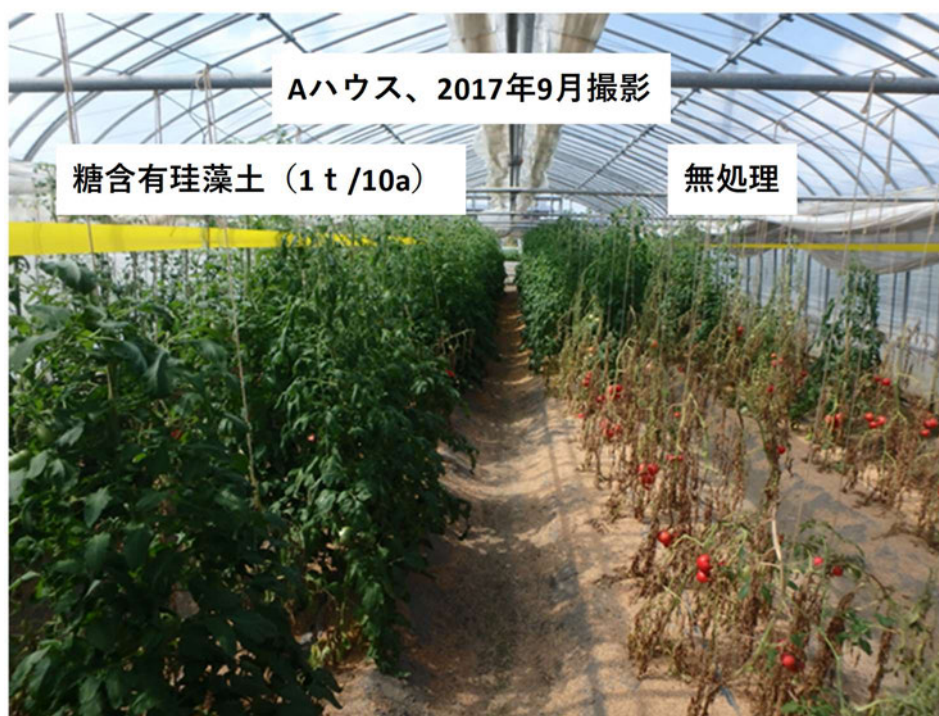


図 4-2 糖含有珪藻土の土壤還元消毒による青枯病に対する防除効果
(新潟県)

(2) 防除効果の持続性

糖含有珪藻土を用いた土壤還元消毒法の青枯病に対する防除効果は、消毒後にトマトを複数作栽培しても持続します(図 4-3)。

本消毒法は、青枯病に対して高い防除効果を示しますが、その効果は地域や圃場条件によっても影響を受けます。消毒時に地温が確保できない時期(10月下旬)に土壤還元消毒を行った圃場では、消毒後1作目では防除効果が得られたものの、2作目では青枯病が多発する事例が認められています。一回の土壤還元消毒によって複数作にわたり青枯病を防除するためには、適切な時期(地温の確保)と手順で消毒することが重要です。

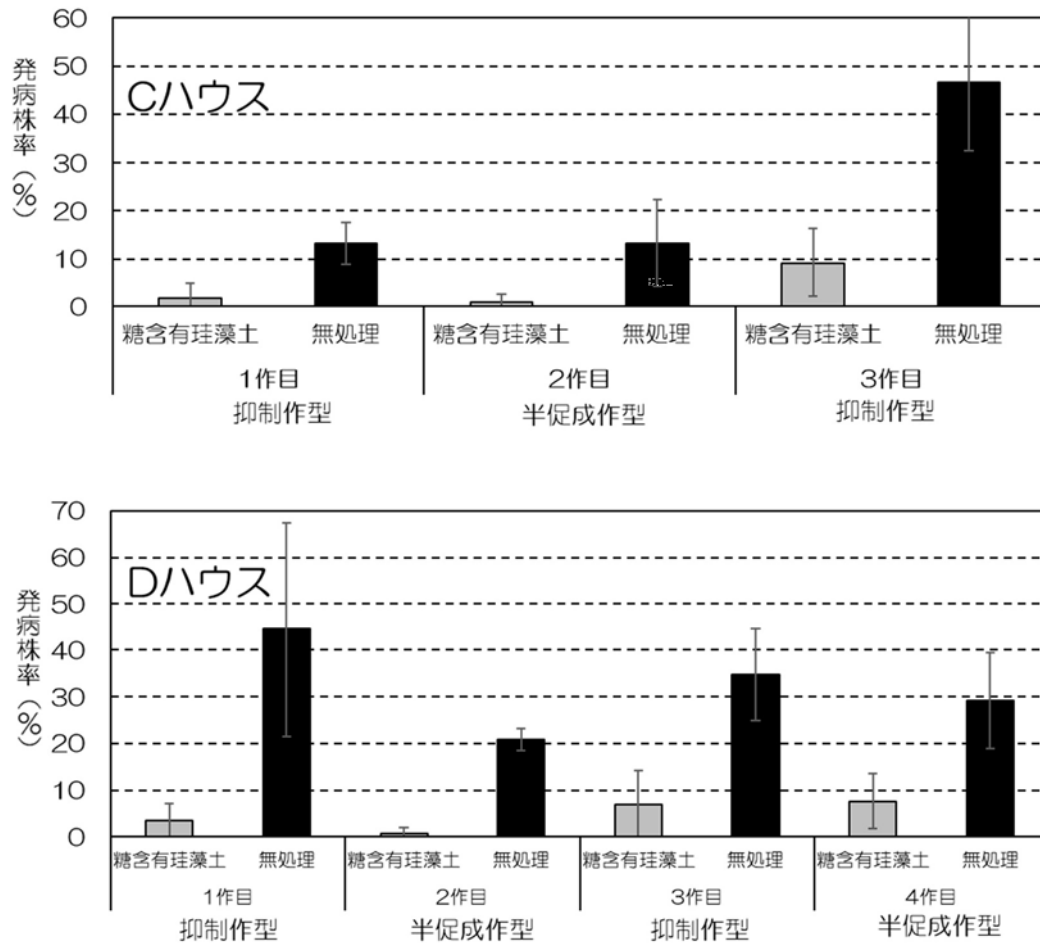


図 4-3 糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒のトマト青枯病に対する防除効果の持続性（新潟県）

Cハウス 消毒期間：2016年6月8日～6月30日、栽培期間 1作目：2016年7月10日～11月27日、2作目：2017年3月5日～7月1日、3作目：2017年7月8日～11月19日、供試品種 1作及び3作目 穂木：りんか409、台木：Bバリア、2作目 穂木：麗容、台木：ブロック

Dハウス 消毒期間：2016年6月1日～6月25日、栽培期間 1作目：2016年7月8日～11月24日、2作目：2017年3月1日～7月10日、3作目：2017年7月15日～11月24日、4作目：2018年3月6日～7月10日、供試品種 1及び3作目 穂木：りんか409、台木：Bバリア、2及び4作目 穂木：麗容、台木：ブロック

2. 線虫に対する防除効果

(1) 防除効果

糖含有珪藻土および糖蜜吸着資材（各 1t/10a）を用いた土壌還元消毒により、圃場の深層部に生残しているネコブセンチュウ（以下：線虫）を効率よく防除できます（表 4-2～4-4）。また、土壌還元消毒後のトマトの栽培では根こぶが観察されないことから、線虫に対して高い防除効果を示すことがわかります（表 4-5、図 4-4）。なお、消毒時期は青枯病と同じく夏季（地温 30℃以上を確保できる時期）が望ましく、春処理では効果が不安定となりやすいことを考慮に入れておかなければなりません（表 3-2、3-3）。

表 4-2 土壌還元消毒前後の線虫密度推移（作土層：0～30cm）

（農研機構）

| 処理 | 処理前線虫密度 | | 処理後線虫密度 |
|--------|---------|---|---------|
| 糖含有珪藻土 | 378.2 | → | 0 |
| 糖蜜吸着資材 | 422.7 | → | 0 |
| 無処理 | 381.4 | → | 38.5 |

線虫密度：頭/20g 土、消毒期間：2015 年 7 月 21 日-8 月 16 日

表 4-3 土壌還元消毒前後の線虫密度推移（土壌深度 30～45 cm）

（農研機構）

| 処理 | 処理前線虫密度 | | 処理後線虫密度 |
|--------|---------|---|---------|
| 糖含有珪藻土 | 136.9 | → | 0 |
| 糖蜜吸着資材 | 118.6 | → | 0 |
| 無処理 | 61.3 | → | 11.8 |

線虫密度：頭/20g 土、消毒期間：2015 年 7 月 21 日-8 月 16 日

表 4-4 土壌還元消毒前後の線虫密度推移（土壌深度 45～60 c m）

（農研機構）

| 処理 | 処理前線虫密度 | | 処理後線虫密度 |
|--------|---------|---|---------|
| 糖含有珪藻土 | 2.9 | → | 0 |
| 糖蜜吸着資材 | 24.4 | → | 0 |
| 無処理 | 14.3 | → | 0.1 |

線虫密度：頭/20g 土、消毒期間：2015年7月21日-8月16日

表 4-5 トマト栽培終了後の根こぶ指数（農研機構）

| 処理 | 根こぶ指数 |
|--------|-------|
| 糖含有珪藻土 | 0 |
| 糖蜜吸着資材 | 0 |
| 無処理 | 3.7 |

線虫調査株数各区 30 株

指数は 0～4 の 5 段階、整数の間も評価して実質 9 段階



図 4-4 新規資材による土壌還元消毒の根こぶに対する抑制効果（農研機構）

左から糖含有珪藻土区、糖蜜吸着資材区、無処理区、トマト品種：アニモ TY-10

（2）防除効果の持続性

新規資材による土壌還元消毒後 1 作目および 2 作目のトマト栽培は、無処理

と比較し生育抑制は認められません（表 4 -6）。土壌還元消毒区は 1 作目、2 作目ともに収量に差はありませんが、無処理区は 1 作目から収量が減少します（図 4-5）。

表 4-6 土壌還元消毒後のトマトの生育程度（草丈 cm）（農研機構）

| 処理 | 草丈 (cm : 5月24日) | 草丈 (cm : 6月6日) |
|-----------|-----------------|----------------|
| 糖含有珪藻土1作目 | 80.8 ± 1.3 a | 123.7 ± 1.2 a |
| 糖含有珪藻土2作目 | 81.9 ± 0.7 a | 121.3 ± 1.1 a |
| 糖蜜吸着資材1作目 | 82.5 ± 1.2 a | 123.3 ± 1.4 a |
| 糖蜜吸着資材2作目 | 80.1 ± 1.6 a | 120.3 ± 1.6 a |
| 無処理1作後目 | 83.8 ± 1.0 a | 122.5 ± 1.1 a |
| 無処理2作目 | 57.7 ± 2.2 b | 87.4 ± 4.1 b |

定植 4 月 26 日、品種アニモ TY10、n=28

異なるアルファベット間で有意差あり (p<0.05 : Tukey-Kramer の HSD 検定)

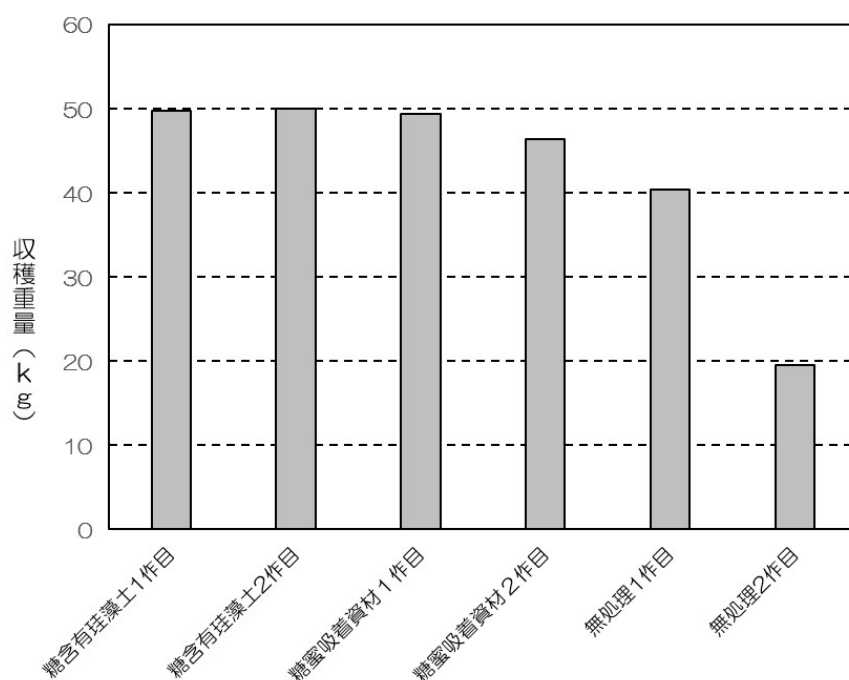


図 4-5 土壌還元消毒後のトマトの収量調査（農研機構）

定植 4 月 26 日、収穫 7 月 5 日～28 日の間に 7 回収穫した合計重量 kg、各区 28 株

また、栽培終了後、新規土壌還元消毒区は、1 作目では根こぶが観察されず、2 作目でも根こぶはほとんど認められません（表 4-7）。しかし、無処理区は 1 作目から甚大な根こぶの発生が観察されます。このように、新規資材を用いた土壌還元消毒は、持続的に線虫を抑制し、トマトの安定生産のための有効な防除法と考えられます。

表 4-7 栽培終了後の根こぶ指数（農研機構）

| 処理 | 株数 | 根こぶ指数 | |
|-----------|----|-------|---------|
| | | 平均値 | 範囲 |
| 糖含有珪藻土1作目 | 28 | 0.00 | 0 |
| 糖含有珪藻土2作目 | 28 | 0.04 | 0~0.5 |
| 糖蜜吸着資材1作目 | 28 | 0.00 | 0 |
| 糖蜜吸着資材2作目 | 28 | 0.10 | 0~1.5 |
| 無処理 1 作目 | 28 | 3.10 | 1.5~4.0 |
| 無処理 2 作目 | 28 | 4.00 | 4 |

指数は 0~4 の 5 段階、整数の間も評価して実質 9 段階

V. 栽培管理について

1. 資材の肥料としての効果

米ぬか、フスマを利用した土壌還元消毒では、資材の肥料効果を考慮し、消毒後のトマト栽培において、基肥窒素量を半量～無とし、液肥、追肥を中心とした栽培を行っています。

新規資材においては以下の肥料効果が挙げられます。

1) 糖含有珪藻土は、窒素、リン酸、カリウム成分が少ないため（表 2-1）、米ぬかやフスマに比べ土壌還元消毒後の作物に対する窒素肥料としての効果は小さくなります。

2) 糖蜜吸着資材は、カリウムを多く含むことから（表 2-2）、カリウム施肥効果があります。窒素、リン酸については糖含有珪藻土と同様に含有量は少ないです。

また、糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材のいずれを用いた場合でも

3) 還元消毒では土壌微生物による前作残肥窒素の取り込みとその死滅によって、消毒前の土壌に蓄積していた窒素が消毒後に発現してきます。

4) 消毒期間中にはビニール被覆するため、日中には地温が上昇し、土壌の有機物の分解が促進され窒素成分が作物に利用されやすい無機態窒素（アンモニウム態窒素と硝酸態窒素）に変化します。地力の高い圃場では、高地温による土壌有機物からの窒素発現量も多くなります（井原、2020）。

これらのことから新規土壌還元消毒においても、消毒前の土壌中に無機態窒素が存在すると考えられる場合、少なくとも数割の基肥窒素の減肥が望ましいと考えられます。消毒から栽培まで期間が取れるようであれば土壌診断の結果をもとに施肥設計をしてください。なお、地力窒素の調査法は、近年手引きとしてまとめられて

います（農研機構中央農業研究センター、2020）。

2. 肥料や堆肥の施肥タイミングと効果

土壌還元消毒では、圃場を耕起して有機物をすき込み、灌水、ビニールでの被覆、ハウスの締め切り（3週間程度）、ビニール除去、土壌を酸化させるために耕起・畝立を行います。そのため、肥料や堆肥を施用するタイミングは以下のようになります。

1) 化成肥料、緩効性肥料や有機質肥料は、灌水や還元化によって成分が下層土へ流亡、あるいは肥効が落ちる可能性があるため、消毒後の耕起・畝立時に施用します。

2) 堆肥は、消毒後に施用した場合、慣行と肥料効果に違いはありません。消毒前に施用した場合、堆肥が含有する水溶性のカリウムや窒素成分の一部（硝酸態窒素）が灌水により下層土に流亡するため、速効性肥料としての効果が低下します。ただし、緩効的に効く窒素成分である有機態窒素は灌水しても作土中に留まりやすいので、肥効がなくなるわけではありません。物理性改善効果、地力窒素の維持効果は大きく損なわれることはないと考えられます。

3. 栽培、収量への影響

新規資材を用いた土壌還元消毒は、適切な肥培管理を行えばトマトの生育や収量に大きな影響を与えません（表 5-1、図 5-1）。また、初期生育時の莖径は、無処理区や化学農薬区と差異がなく（表 5-1）、米ぬか、フスマによる土壌還元消毒後に栽培したトマトでよくみられるような窒素過多による「樹ボケ」（草勢が強くなること）の症状が生じ難いことがわかります。

表 5-1 還元消毒区・化学合成農薬区・無処理の生育と収量（青森県）

| 試験区 | 7月19日 | | 総収量 (kg/a) | A+B品 収量 |
|--------------------|--------|--------|---------------|------------|
| | 草丈(cm) | 茎径(mm) | | |
| 糖含有珪藻土(0.8t/10a) | 102.6 | 12.9 | 539 | 145 |
| 糖含有珪藻土(1.2t/10a) | 101.8 | 14.2 | 484 | 146 |
| ダゾメット粉粒剤(20kg/10a) | 103.4 | 13.2 | 457 | 168 |
| 無処理 | 96.3 | 13.0 | 456 | 123 |

A品・B品は全農あおり野菜出荷規格、2017年8月～10月の収穫物について調査、

品種：りんか409、定植：6月21日 基肥窒素施用量：12kg/10a

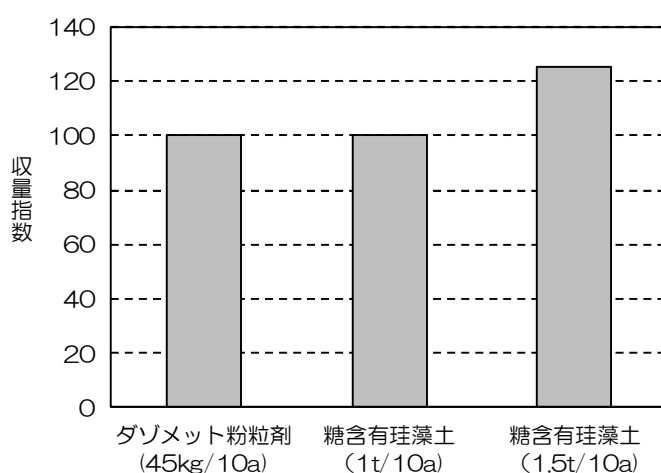


図 5-1 土壌還元消毒後に栽培したトマトの収量比較（石川県）

収量指数は、ダゾメット粉粒剤を100とした収量比を示す。

土壌還元消毒および化学合成農薬の処理は8月に実施し、その後トマト（穂木/台木：

CF 桃太郎はるか/がんばる根）を栽培した。収穫物調査は10月～12月に実施した。

VI. 高接ぎ木法について

1. 台木品種の青枯病抵抗性

土壌中にある青枯病菌はトマト根の傷や自然開口部から感染して導管に侵入し、莖部へ移行・増殖し、萎凋、枯死の症状を引き起こします。青枯病抵抗性の台木品種は青枯病菌に感染するものの、植物体内で青枯病菌の移行と増殖の抑制機構が働き発病には至りません（無病徴感染しています）。この抑制機構には木部組織（導管、木部柔細胞）および髄組織での物理的な防御反応の関与があることが明らかとなっています。近年、前述した産地化や施設化に伴う連作や温暖化の影響を受け、従来の慣行接ぎ木では青枯病の発生を抑えることができない事例が多く報告されています。これは高温や高湿度条件、菌密度が高い条件で「台木の抑制機構」が十分に働かず、無病徴感染した台木から穂木へ青枯病菌が移行し穂木が感染・発病することが主な原因と考えられています（中保ら、2012）。

2. 高接ぎ木法の青枯病発病抑制機構

高接ぎ木法は、慣行接ぎ木（接ぎ木部位：子葉上）より高い位置（同：地際から 10cm 以上）に接いだ苗を利用した防除技術です（図 6-1）。高接ぎ木トマトは台木品種の持つ“植物体内での青枯病菌の移行と増殖の抑制能力”を最大限に活用し、穂木への青枯病菌の感染を抑制します。地際から 12cm（およそ第 2 葉）上より 15cm（およそ第 3 葉）上の高接ぎ木のほうがより高い発病抑制効果が認められます。

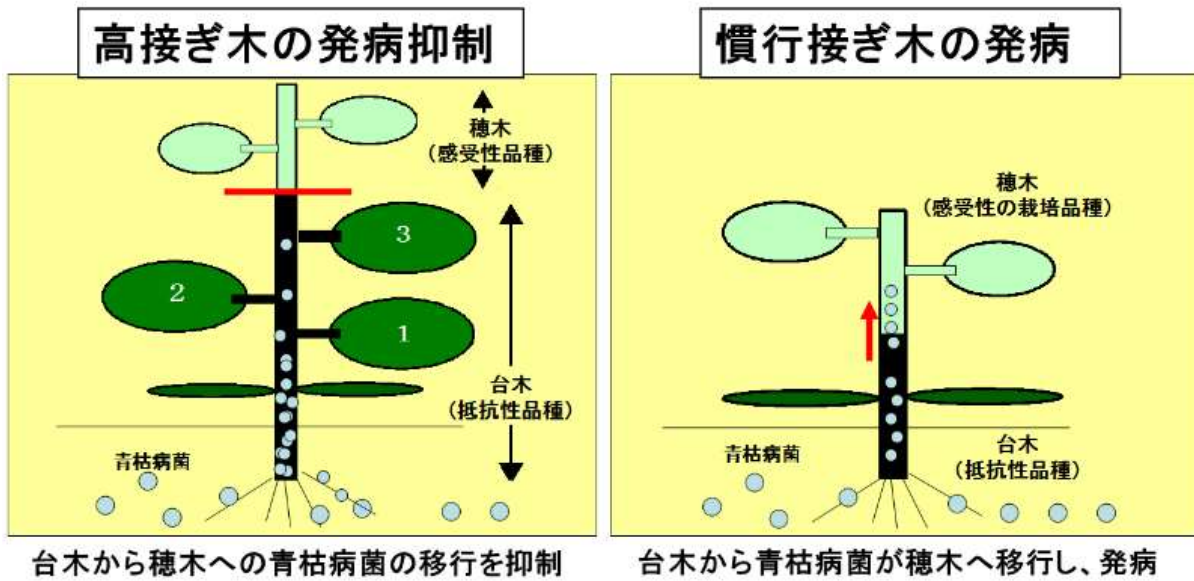


図 6-1 高接ぎ木法の発病抑制メカニズム

3. 青枯病に対する防除効果

高接ぎ木法は、北日本地域の夏秋作型、北信越地域の半促成、抑制作型、西日本の促成作型等、地域、作型にかかわらず慣行接ぎ木法よりも安定した高い発病抑制効果が実証されています（図 6-2）。



図 6-2 半促成作型における青枯病発病抑制効果（新潟県）

Ⅶ. 体系防除について

1. 高接ぎ木栽培との組み合わせによる防除効果

新潟県では夏季の高温期に定植する抑制作型において、高接ぎ木栽培の導入を進めています。既に青枯病の発生株率が30%以下の圃場では、高接ぎ木苗を用いることで、慣行接ぎ木苗に比べて青枯病の発病株率を半分程度に抑えられます（前田、2019）。

糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒法の実施直後は、土壌中の青枯病菌は検出限界以下まで低下します。土壌中の病原細菌数は消毒後のトマト作付回数とともに増加するため、これに伴い青枯病の発病リスクも高まることが想定されます。新規土壌還元消毒は複数作栽培しても消毒効果が維持されますが、青枯病は発病してからは防除できないため、耕種的防除法である高接ぎ木栽培と組み合わせることで、本病の発生のより効果的な抑制を可能にします。図7-1、7-2のように土壌還元消毒後、青枯病の発生が懸念されるトマト3連作、4連作時に高接ぎ木栽培を導入することで、慣行接ぎ木栽培に比べて青枯病の発病を軽減することができます。土壌還元消毒の処理が上手くいかなかった場合や、前作の発病状況等を考慮し、高接ぎ木栽培の導入時期を判断することで、青枯病を持続的に防除することができます。

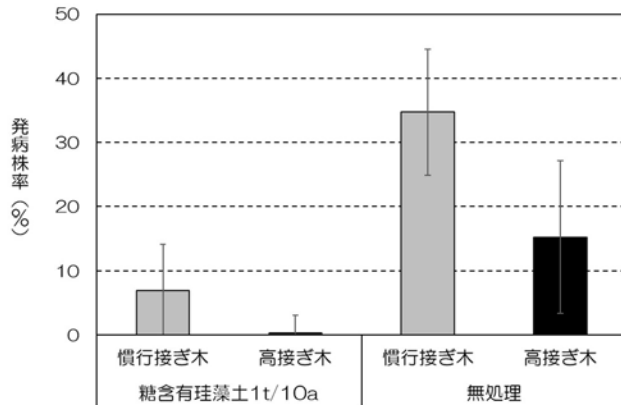


図 7-1 土壌還元消毒法と高接ぎ木栽培によるトマト青枯病に対する防除効果
(消毒後 3 連作目のトマト栽培における実証試験) (新潟県)

消毒期間：2015 年 8 月 17 日～9 月 20 日、栽培期間：2017 年 7 月 15 日～11 月 24 日、供試品種 穂木：りんか 409、台木：B バリア、慣行接ぎ木：子葉上で接ぎ木、高接ぎ木：3 葉上で接ぎ木

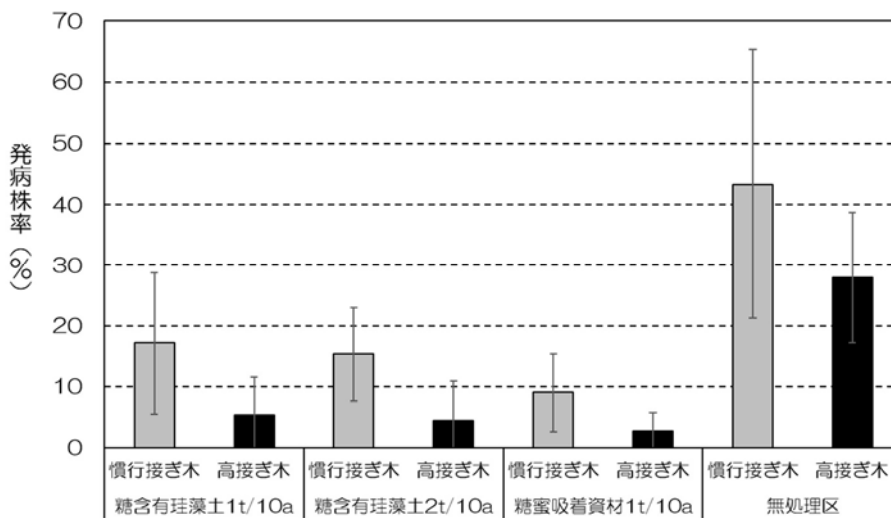


図 7-2 土壌還元消毒法と高接ぎ木栽培によるトマト青枯病に対する防除効果の持続性 (消毒後 4 連作目のトマト栽培における実証結果) (新潟県)

消毒期間：2016 年 8 月 18 日～9 月 12 日、栽培期間：2018 年 7 月 12 日～11 月 24 日、供試品種 穂木：りんか 409、台木：B バリア、慣行接ぎ木：子葉上で接ぎ木、高接ぎ木：3 葉上で接ぎ木

2. 新規土壌還元消毒を実施するタイミング

本防除体系は、青枯病に対する防除効果と導入コストを考えると、最初に新規土壌還元消毒により土壌中の青枯病密度と発病を抑制した上で、2～3年に一度の消毒が資材コスト削減につながり経済的に有効です。青枯病は発病してからは防除できないため、前作の青枯病の発病程度、菌密度やネコブセンチュウ密度（線虫は青枯病の発病を助長します）を調査しつつ、高接ぎ木栽培と組み合わせた体系防除を実施します（図 7-3）。



図 7-3 土壌還元消毒を基幹とした体系防除の例

上段：2作に一度新規土壌還元消毒を実施

中段：3作目に高接ぎ木栽培を導入し、2～3作に一度新規土壌還元消毒を実施

下段：高接ぎ木栽培と組み合わせ3作に一度新規土壌還元消毒を実施

★：青枯病の発病調査、病原細菌、線虫密度の調査

VIII. 経済性評価

新規土壌還元消毒を主体としたトマト地下部病害虫防除体系は、SIP 第 1 期次世代農林水産業創造技術「新たな植物保護技術」コンソーシアムで開発され、本コンソーシアムでは、開発した新技術の導入が経営面にもたらす効果を評価するモデルを株式会社日本総合研究所が構築し、9つの道県で実施された現地実証で得られたデータをもとに採算性（生産者にとって投資に見合う収益が見込めるか）と展開性（新たな技術を普及するうえで重要なポイントをリスト化し、定性的に評価）の2つの視点から評価を行いました。

採算性評価では、栽培エリア、経営主体、栽培面積、栽培条件等の前提条件を整理して実証地別に経営モデルを設定し、技術の導入前後で必要となるコスト（設備投資、人件費、その他経営費（いわゆるランニングコスト））をそれぞれ算出し、合わせて生産者への聞き取りを行うことで精緻化をはかりました。

コストと粗収益の計算には、各道県等が策定する農業経営指標の数値を利用し、「青枯病発病率 = 収量の減少率」と定義して、粗収益を単価×収量で算出しました（収量は熊本県のみ実収量、それ以外は定義による推定値を使用）。

採算性評価では、所得改善効果を農業所得（粗収益－農業経営費）の増減から、作業の現実性を家族労働一人当たり年間作業時間から、生産性向上効果を家族労働者1時間当たり農業所得と全算入生産費をもとにそれぞれ評価しました。

新規土壌還元消毒技術の採算性の評価結果は表 8 - 1 に示す通りです。

全算入生産費 = (農業経営費 + 家族労働見積額 + 自己資本利子見積額 + 自作地代見積額) / 収量

自己資本利子見積額 = { (農業経営費 - 減価償却費 + 家族労働見積額) × 1/2 (生産期間) + 投下設備の現在価値 } × 年利率 (4%)

※自作地代見積額は経営指標又は当地の農地賃借料統計類から引用

モデル事例として実証地 10カ所で新技術体系の導入試験を実施しましたが、北海道と青森県の試験は対象土壌病害が青枯病以外（褐色根腐病または株腐病）であるため表 8-1 の採算性評価ではこれらを除く 8カ所の結果を示しています。評価の結果、本技術体系の導入により農業所得が改善する可能性は相当高いと考えられました。なお、家族労働 1人当たり年間作業時間はいずれの実証例でも従来の土壌消毒と比べて大きな変化は認められず、設定した目標値（2,000 時間）を超える例もなかったことから、作業の現実性についても問題がないことが明らかになりました（データ省略）。家族労働者 1時間当たり農業所得は 8カ所全てで増加し、導入前の発病率が高かった場合には経営が大幅に改善する結果となりました。全算入生産費はいずれの事例においても減少し、技術体系の導入により生産性向上についても効果が期待できることが示されました。

上記の採算性評価から、導入すべき生産者の条件として以下の点が示されました。

- 技術導入による発病率の改善度合い（導入前後の発病率の差）が 15%を上回れば農業所得は 10%以上改善する傾向がみられます。つまり、青枯病や線虫による発病率の見込が 15%を上回ることが予想される場合、本技術は生産者にとって非常に有用です。
- 新潟県等、1回の消毒で複数作に渡って防除効果を持続できる場合、農業所得は大きく改善します。複数作に渡って防除効果を持続させることは経済的評価の面からも非常に重要です。
- 夏秋作型や低温地域等、消毒時期に十分な地温が得られない場合は、還元消毒の効果を得づらいといえます（データ略）。

3点目については、多くの施設を持つ生産者であれば、施設の一部を休める形で毎年順番に新規土壌還元消毒を実施する「ローテーション方式」での技術導入も土壌病害虫の被害が大きな場合は有効であると考えられます。

なお、北海道と青森県の実証試験においては、ふすま等による従来技術では効果が得られなかった深度 40cm までの深い層において新規資材による土壌還元技術が褐色根腐病または株腐病に高い防除効果を示したことから、これらの地域においても処理時期等の工夫により本体系が土壌病害虫に有効な技術として普及できる可能性はあると考えられます（北海道立総合研究機構、2019）。

また、技術普及の可能性を示す「展開性」の評価は、生産者、資材供給を担う企業ならびに研究・普及担当機関へのヒアリングをもとに実施しました。本評価は、チェックリスト方式による 3 段階評価で実施され、技術のユニバーサル性（生産者からみた使い勝手や扱いやすさ、他品目への適用の可否、メンテナンスの容易さ等）、環境負荷の低減効果（減農薬、省エネ、廃棄物の有効利用の可能性等）、導入による負の効果（リスク）の有無や程度、技術のサプライチェーン体制の整備、知的財産権保護に係る対策の有無について全 21 項目が設定されました。SIP のプロジェクト終了時には、資材の生産・供給体制が最大の懸念要因とされましたが、令和 2 年度には糖含有珪藻土の販売が開始され、これまで家畜飼料として販売されていた糖蜜吸着資材も土壌還元消毒資材として販売されるようになったことから、項目の 8 割はすでに解決済みとなり、十分普及ラインに達しているとの評価になりました。普及に当たって強みとなり得る本体系の特徴として、実証を通じて灌水量や資材の施用量・方法を厳密に規定することで、導入者の技能によらず一定の効果を得やすい点、対象作物が多い青枯病を対象としているため他品目への適用可能性が高い点、従来の土壌還元消毒技術を応用しながら、効果を向上させる代替資材が整備されている点等が挙げられました。

表 8-1 各地域におけるモデル事例の採算性評価 (注3、注8)

| 地域 | 千葉県 | 新潟県 (注5) | 富山県 | 石川県 (注6) |
|-------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| 栽培条件 | | | | |
| 作型 | 促成 | 抑制+半促成 | 半促成 | 半促成+抑制 |
| 栽培面積 | 20a | 30a | 40a | 40a |
| 作業人数 | 2人 | 4人 | 2人+パート雇用 | 2人+パート雇用 |
| 慣行消毒方法 | 還元消毒 (フスマ) | - (無処理) | - (無処理) | - (無処理) |
| 導入技術と条件 | | | | |
| 新規土壌還元消毒 | 1t/10a 1作に1度 | 1t/10a 4作に1度 | 1t/10a 1作に1度 | 1.5t/10a 2作に1度 |
| 高接ぎ木栽培 | 導入 (一部) (78千円/10a) | 導入 (676千円/10a) | 導入 (一部) (78千円/10a) | 導入 (520千円/10a) |
| 発病程度と経営収支 (トマト作: 1年当たり) | | | | |
| 青枯病発病率 (注2) | 30.0% → 0% | 32.3% → 3.0% | 23.8% → 8.8% | 半促成 33.5% → 0% 抑制 3.4% → 0% |
| 収量 (kg/10a) (注1) | 5,600 → 8,000 42.9%増 | 11,112 → 15,471 39.1%増 | 9,144 → 10,944 19.7%増 | 14,077 → 18,000 27.9%増 |
| 農業所得 (千円) (注1、注4) | ▲590 → 432 -%増 | 3,151 → 6,156 95.4%増 | 4,183 → 4,706 12.5%増 | 5,556 → 7,627 37.3%増 |
| 家族労働者1時間当 たり農業所得 (円) | ▲495 → 286 | 838 → 1,423 | 2,305 → 2,522 | 1,927 → 2,479 |
| 全算入生産費 (円/kg) | 545 → 450 | 325 → 267 | 196 → 193 | 282 → 253 |

表 8-1 各地域におけるモデル事例の採算性評価 続き (注1、注8)

| 地 域 | 岐阜県 | | 和歌山県 | 熊本県 (注2,7) |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 経営・栽培条件 | | | | |
| 作型 | 促成 | 夏秋 | 促成 | 促成 |
| 栽培面積 | 50a | 30a | 25a | 26a |
| 作業人数 | 2人+パート雇用 | 2人 | 3人+パート雇用 | 1人+パート雇用 |
| 慣行消毒方法 | 糖蜜処理 | - (無処理) | 太陽熱消毒 | - (無処理) (ナス用台木) |
| 導入技術と条件 | | | | |
| 新規土壌還元消毒 | 1t/10a 1作に1度 | 1.5t/10a 1作に1度 | 1t/10a 1作に1度 | 2t/10a 1作に1度 |
| 高接ぎ木栽培 | 導入 (一部) (275千円/10a) | 導入なし | 導入 (567千円/10a) | 導入 (563千円/10a) |
| 発病程度と経営収支 (トマト作: 1年当たり) | | | | |
| 青枯病発病率 (注2) | 15.7% → 0% | 26.5% → 12.7% | 10.8% → 0% | 0% → 18.0% (トマト用台木) |
| 収量 (kg/10a) (注3) | 15,703 → 18,627 18.6%増 | 6,646 → 7,894 18.8%増 | 5,364 → 6,000 11.9%増 | 9,311 → 12,636 35.7%増 |
| 農業所得 (千円) (注1、注4) | 4,118 → 6,350 54.2%増 | 3,368 → 3,555 5.5%増 | 3,377 → 3,419 1.2%増 | 3,658 → 5,723 56.4%増 |
| 家族労働者1時間当 たり農業所得 (円) | 1,208 → 1,767 | 1,647 → 1,655 | 728 → 734 | 6,863 → 10,633 |
| 全算入生産費 (円/kg) | 324 → 299 | 363 → 360 | 1,384 → 1,363 | 387 → 358 |

表 8-1 各地域におけるモデル事例の採算性評価

注 1：試算には各県の農業経営指標等に基づく数値を使用しており、個々のモデルにおいて導入前後のトマトの販売単価は同一です。

注 2：それぞれの地域における収量には、青枯病発病率 = 収量の減少率と定義して、試算した値を使用していますが、熊本県のみ実収量を記載しています。

注 3：%は増減率を表します。

注 4：農業経営費の主な増加（減少）要因は以下の通りです。

① 土壌還元消毒の導入費用および高接ぎ木苗の導入費用。新規土壌還元消毒は資材費を 15 万円/t として計算。

② 収量増減に伴う雇用労賃や物流・出荷費の増減。

注 5：新潟県の青枯病発生率は、各作の導入前後の発生率の単純平均で計算しています。なお、各作の発病率は次の通りです。

- 1 年目 抑制作 1 回目（消毒処理後 1 作目）：44.4%→3.5%、
半促成作 1 回目（消毒処理後 2 作目）：20.9%→0.3%、
2 年目 抑制作 2 回目（消毒処理後 3 作目）：34.7%→0.7%、
半促成作 2 作目（消毒処理後 4 作目）：29.2%→7.6%。

注 6：石川県の青枯病発生率は、各作の導入前後の発生率の単純平均で計算しています。なお各作の発病率は次の通りです。

抑制作：3.4%→0%、半促成作：33.5%→0%

注 7：熊本県の慣行技術として使用されているナス台木は、青枯病に対する抵抗性が非常に高い一方、トマトの収穫量が大きく減少する特性を有します。新規土壌還元消毒と高接ぎ木栽培を導入することで青枯病の発病率は若干上がるものの、高接ぎ木栽培によりその負の影響を上回る収量増を得ることができました。

注 8：上記は実証研究の成果に基づくモデル試算であり、同様の効果が得られることを保証するものではありません。

参考資料

全般

新規土壌還元消毒を主体としたトマト地下部病害虫防除体系マニュアル

農研機構中央農業研究センター（2019）新規土壌還元消毒を主体としたトマト地下部病害虫防除体系マニュアル（技術版、北日本地域版、関東地域版、北信越地域版、東海地域版、西日本地域版）

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/130490.html

I. 新規土壌還元消毒について

門馬法明（2011）低濃度エタノールによる新規土壌消毒法の開発．植物防疫 65 : 486-490

中保一浩・前田征之・村元靖典（2019）新規資材「糖含有珪藻土」を用いた土壌還元消毒によるトマト土壌病害防除技術．植物防疫 73 : 738-751

野菜茶業研究所（2011）野菜の接ぎ木栽培の現状と課題．野菜茶業研究所研究資料 7 : 1-142

II. 新規資材（糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材）について

越野正義（1988）リン（リン酸）．第二改訂詳細肥料分析法．養賢堂．東京．p.96

III. 処理方法について

三木静恵・漆原寿彦・池田健太郎・柴田聡（2012）ハウレンソウ萎凋病に対する土壌還元消毒法の防除効果安定化への処理条件．群馬県農業技術センター研究報告 9 : 43-50

新村昭憲（2004）還元消毒法の原理と効果．日本植物病理学会土壌伝染病談話会レポート 22 : 2-12

IV. 新規土壌還元消毒による防除効果について

井上康宏・中保一浩（2015）最確数（Most Probable Number）と Bio-PCR 法を応用した、MPN-PCR 法による青枯病菌の高感度定量検出法．植物防疫

69 : 439-443

中保一浩・前田征之・村元靖典（2019）新規資材「糖含有珪藻土」を用いた土壌還元消毒によるトマト土壌病害防除技術. 植物防疫 73 : 738-751

V. 栽培管理について

井原啓貴（2020）太陽熱土壌消毒に伴い土壌有機物から発現する窒素量の推定－土壌中無機態窒素の増加を考慮した施肥の適正化に向けて－. グリーンレポート615 : 12-13

農研機構中央農業研究センター（2020）野菜作における可給態窒素レベルに応じた窒素施肥指針作成のための手引き

https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/carc_chissosehishishin20200331.pdf

VI. 高接ぎ木法について

中保一浩・野津あゆみ・前田征之・鍛治原寛（2012）高接ぎ木法によるトマト青枯病総合防除. 農業技術大系土壌施肥編 第5-1巻 : 畑106の12-30

VII. 体系防除について

前田征之（2019）北信越地域におけるトマト半促成、抑制裁培における病害虫に対する防除効果. 植物防疫 73 : 743-747

VIII. 経済性評価

北海道立総合研究機構（2019）深い層まで簡単に消毒できる新しい土壌消毒法
<http://www.hro.or.jp/list/agricultural/center/kenkyuseika/panf/31/16.pdf>

担当窓口、連絡先

外部からの受付窓口：

農研機構 中日本農業研究センター 研究推進部 研究推進室 広報チーム

029-838-8421 koho-carc@ml.affrc.go.jp

付録：還元消毒用資材選択の手引き

付録：還元消毒用資材選択の手引き

- ・ 農研機構では、土壌病害虫対策として、糖含有珪藻土・糖蜜吸着資材、低濃度エタノール、緑肥（カラシナ他）等の資材を用いた土壌還元消毒技術を開発するとともに、利用マニュアルや標準作業手順書（SOP）を作成し、これら技術の紹介・普及に努めてきました。
- ・ これらの技術をさらに多くの場面でご活用いただけるよう、生産者ご自身に多様な資材の中からそれぞれの条件に合った資材を選んでいただくための「資材選択の手引き」を作成しました。これから土壌還元消毒を行う方にご利用頂ければ幸いです。

ここで扱う資材

- ・糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材
- ・エタノール
- ・糖蜜
- ・米ぬか、小麦フスマ
- ・緑肥（カラシナ等アブラナ科植物）

表 還元消毒用資材選択の手引き

| 栽培方法 | 病害虫の種類 | 液肥混入器 動力噴霧器 | 緑肥事前 栽培 | 利用可能資材 | |
|----------|----------------|----------------|------------|---------------------------|---|
| 施設 | 青枯病、線虫 | なし | —— | 糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材 | |
| | | 使用可能 | —— | エタノール、糖蜜 糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材 | |
| | 糸状菌病 | なし | 不可 | —— | 糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材 米ぬか、小麦フスマ |
| | | | 栽培可能 | —— | 緑肥(カラシナ等アブラナ科植物) 糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材 米ぬか、小麦フスマ |
| | | 使用可能 | 不可 | —— | エタノール、糖蜜、米ぬか、小麦フスマ 糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材 |
| | | | 栽培可能 | —— | 緑肥(カラシナ等アブラナ科植物) エタノール、糖蜜、米ぬか、小麦フスマ 糖含有珪藻土、糖蜜吸着資材 |
| 露地 | 青枯病、線虫 糸状菌病 | なし | —— | ×(現時点で有効性が実証された 資材なし) | |
| | | 使用可能 | —— | エタノール | |
| 人工 培地 | 青枯病、線虫 | —— | —— | × | |
| | 糸状菌病 | —— | —— | エタノール | |

資材名をクリックすると、利用方法が書いてある web サイトにアクセスできます



「農研機構」は、国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構のコミュニケーションネーム（通称）です。