

トマト施設栽培ほ場における 土壌還元消毒作業マニュアル



令和6年2月

さいたま市施設トマトグリーン栽培協議会

目次

| | |
|---------------------------------|----|
| 1. 土壌還元消毒とは | 1 |
| 2. 糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒 | 1 |
| 3. 処理方法 | 2 |
| ① 処理開始日・期間の計画 | 2 |
| ② ほ場条件の確認 | 2 |
| ③ ほ場の準備 | 3 |
| ④ 資材の散布・混和 | 3 |
| ⑤ かん水チューブの設置及び被覆 | 4 |
| ⑥ かん水し、ハウスを閉め切る | 4 |
| ⑦ 土壌還元化の確認 | 4 |
| ⑧ 消毒の終了 | 5 |
| 4. 土壌消毒の実施時期と実施頻度 | 5 |
| 5. 資材の肥料効果及び肥料・堆肥の施用タイミング | 6 |
| 6. 防除効果について | 6 |
| ① 還元化の確認 | 6 |
| ② センチュウ類に対する防除効果 | 7 |
| ③ 病原菌に対する防除効果 | 7 |
| 7. 機械散布による省力効果について | 9 |
| 8. 今回使用した資材について | 9 |
| 9. 参考文献 | 10 |

1. 土壌還元消毒とは

土壌還元消毒とは、還元資材（米ぬか、フスマ、糖蜜等の有機物）を土壌に混和した後にかん水し、ビニール等で土壌表面を被覆することで空気の流入を遮断しながら、高い地温を一定期間維持することで消毒効果を得る土壌消毒方法です。土壌中の微生物が、還元資材を餌として分解し増殖する際に、土壌中の酸素を消費することにより、土壌が酸欠状態（還元状態）となり、青枯病や根腐萎凋病等の病原菌やセンチュウ類を死滅させることができます。

また、還元状態の他、還元状態で生成する有機酸、二価鉄や二価マンガン等の金属イオンによる抗菌活性や土壌微生物の競合、太陽熱による高温等も消毒作用に寄与します。

2. 糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒

本マニュアルでは土壌還元資材として、新規資材である「糖含有珪藻土」を使用しています。従来の米ぬかやフスマによる土壌還元消毒は、還元化により悪臭が発生するため、都市農業地域など住宅地が近接しているほ場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、すき込みができる深さ 30cm 程度までしか消毒効果を発揮することができません。糖蜜による土壌還元消毒は深層まで消毒が可能であるものの、希釈作業や液肥混入器が必要になるなど、作業が煩雑となります。

「糖含有珪藻土」は、可溶性の有機物を含む粉状の資材で、タピオカスターチ糖化液由来の糖と、糖化液を濾過する際の濾過助剤である珪藻土を主成分としています。米ぬかやフスマと同様にほ場に散布して使用できる上、耕運機で混和した後に、かん水チューブでかん水することで、可溶性の有機物（糖）が溶解して深層まで移行するため、深さ 60cm 程度まで消毒効果を得ることが可能です。



図1 糖含有珪藻土



図2 糖含有珪藻土の性状

3. 処理方法

① 処理開始日・期間の計画

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。また、消毒期間は3週間以上を目安（天候不順等で地温上がらない場合は延長）とし、平均地温 30°C以上を確保する必要があります。そのため、地温が確保しやすい夏季に十分な処理期間を設けられるよう、栽培期間を考慮した上で、予め計画しておきましょう。

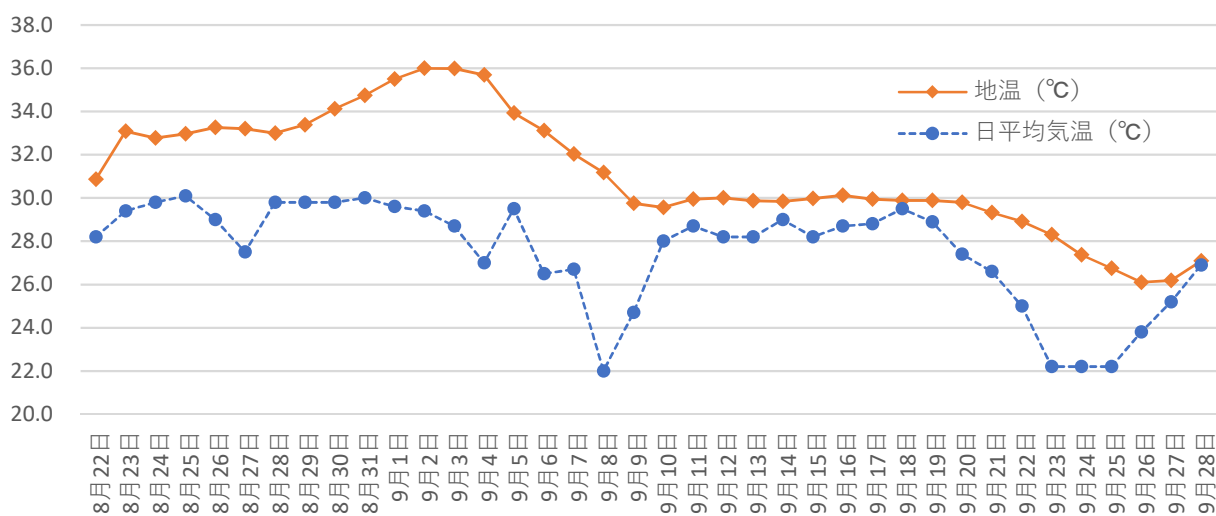


図3 実施ほ場における処理期間中の日平均地温の推移（深さ 30cm 位置）

※本来は7月上旬頃からの開始が望ましい

日平均気温は気象庁の過去の気象データから引用

② ほ場条件の確認

- ・処理予定のほ場の透水性・排水性を確認してください。
- ・透水性の悪いほ場では、水が土壌に浸透せずに下層の土壌を還元化することができないため、サブソイラー等により事前に透水性を確保する必要があります。
- ・また、砂礫土壌等の排水性が良すぎる土壌については水分保持ができず、還元化されないために消毒効果が劣る可能性があります。

③ ほ場の準備

- ・残渣は土壌病害虫の伝染源となるため、ほ場外に持ち出して処分してください。
- ・かん水した水が土壌中に均一に行き渡るよう、土壌を細かく碎土するとともに、均平化してください。
- ・暗きよがある場合は排水口を閉じておいてください。
- ・ほ場内の制御盤等の機器は遮熱シート等で覆うなど遮熱対策をしてください。

④ 資材の散布・混和

10 a あたり 1 t 以上の還元資材をなるべくほ場内に均一になるように散布し、ロータリー耕起して土壌とよく混和します（可能な限り深耕が望ましい）。

散布に際しては機械による散布が省力・時間短縮に有効（機械散布による省力効果については後述）ですが、マニユアスプレッダーでは散布の勢いが強く、粉塵が大量に舞い上がってしまうため、ライムソー等の静かに置くように散布する機械を使用するのが望ましいです。

手散布を行う場合は、資材をほ場の数カ所にまとめて開封したのち、レーキ等で広げる方法が効率的です。

また、散布する時期はハウス内が高温になりやすいため、複数人で行い、こまめに水分補給するなど、熱中症対策を十分に実施してください。



図4 マニユアスプレッダーによる散布



図5 手作業による散布

※糖含有珪藻土は細かい粉状であるため、大量に粉塵が舞います。防塵マスク、保護メガネを着用の上で作業を行ってください。

⑤ かん水チューブの設置及び被覆

- ・ほ場全面に均一にかん水させるため、概ね 60cm～1 m の間隔でかん水チューブを設置します。
- ・透明の塩化ビニール・PO フィルム等でほ場の全面を被覆します。
(中古を用いる場合は、破損箇所をテープ等で補修しておく。)
- ・密閉性を高めるためフィルム周囲を土壌中に埋め込むか、土壌をかけてください。
- ・フィルムのつなぎ目はしっかり留めるか、重なる部分を多めにとり、気密性を高めるようにしてください。

⑥ かん水し、ハウスを閉め切る

- ・土壌表面が湛水状態になるまでかん水します (1m² あたり 150～200L 程度が目安)。

※水が浸透していない部分では消毒効果が発揮されない (糖は水に溶けて下層に到達し還元化する) ため、十分にかん水してください。

※消毒期間中に追い水 (追加でかん水) を行うと地温が低下する可能性があるため、最初に十分量をかん水します。

- ・ハウス開口部 (入口・側窓・天窓) を全て閉じて密封状態にします。

(ただし、真夏の高温期で十分に温度が確保できるときはハウス内の資材・機材の劣化を防ぐために側窓・天窓の一部を開放しても地温を保つことができます。)

⑦ 土壌還元化の確認

- ・処理期間が終了する際に、土壌が還元化しているかを確認してください。還元化がされていれば「特有の還元臭 (ドブ臭) がする」、「20cm 程度掘った土が青灰色を呈している」などの特徴が現れます。・可能であれば、採土器を用いて土壌を採取し、ジピリジル試薬を用いた赤色の呈色反応 (還元化で生じる二価鉄イオンに反応) により確認してください。



図6 採土器による土壌採取



図7 採取した土壌

⑧ 消毒の終了

- ・被覆を剥がして土壌を乾燥させたのち、耕うんして地温を下げるとともに土壌を酸化状態に戻します。

※酸化が不十分な状態だと作物に生育障害が生じる恐れがあります。

4. 土壌消毒の実施時期と実施頻度

土壌還元消毒は高温期（6～8月）に十分な期間（3週間以上）を確保することが理想です（表1）。

糖含有珪藻土による土壌還元消毒は、トマト栽培において複数作にわたり防除効果が持続するとされていますが、作付回数の増加とともに病原菌やセンチュウ類の密度は増加するため、毎年土壌消毒を行うことが望ましいです。毎年太陽熱消毒を行いつつ、数年に一度は土壌還元消毒を行うなど、防除効果と経済性を考慮しながら適切な土壌消毒の方法を選択しましょう。

表1 トマトの土壌還元消毒実施時期の例

| | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|-----|--------|----|----|----|----|----|---------|---------|------|-----|-----|-----|
| トマト | —————▶ | | | | | | ◀-----▶ | ●—————● | | | | |
| | | | | | | | 栽培終了 | 土壌消毒 | 定植時期 | | | |

5. 資材の肥料効果及び肥料・堆肥の施用タイミング

糖含有珪藻土は、窒素、リン酸、カリウム成分が少ないため、土壤還元消毒後の作物に対する肥料としての効果は高くありません。しかし、土壤還元消毒により、①土壤微生物により土壌に蓄積している窒素が発現、②地温上昇に伴う土壤有機物の分解促進による窒素形態の変化（有機態→無機態（アンモニウム態・硝酸態））が生じることで基肥の窒素を減肥できる可能性があります。

化学肥料、緩効性肥料及び有機質肥料は、土壤還元消毒前に入れると、かん水や還元化によって成分が下層へ流亡、または肥効が落ちる可能性があるため、消毒後の耕起・畝立て時に施用します。

堆肥は、未消毒のものは病原菌・センチュウ類を含んでいる可能性があるため土壤還元消毒前に施用しておくことをお勧めします。消毒前に施用すると、かん水による流亡により速効性肥料としての効果は低下しますが、緩効性の窒素成分である有機態窒素は土中に留まるため、物理性改善効果及び地力窒素の維持効果は大きく損なわれません。

6. 防除効果について

① 還元化の確認

土壤還元消毒処理終了後に土壤還元状態について、ジピリジル反応により調査を実施しました。深さ 0～30cm まで強い還元状態が確認され、60cm 程度の深さまで薄い赤色になっており、耕うんした層よりも深くまで還元状態になっていました。

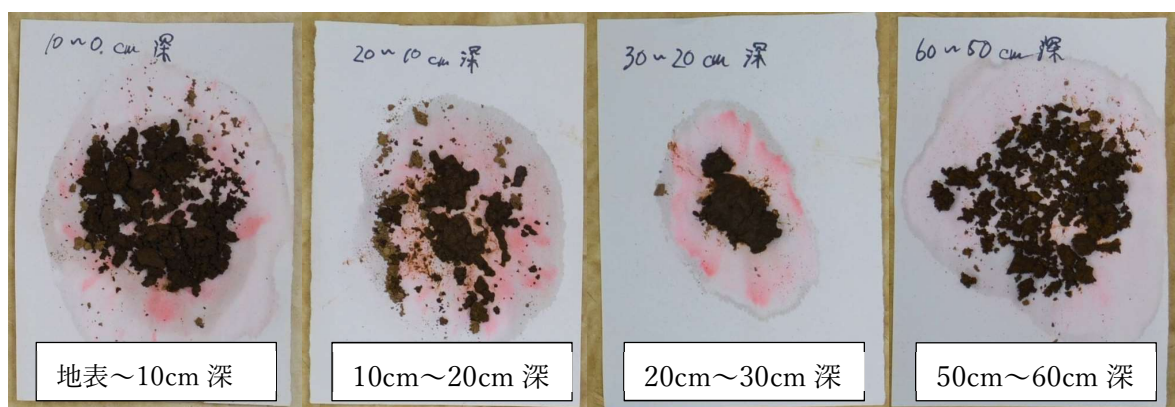


図8 ジピリジル反応による確認
(40cm 付近は採土器で採取できず)

② センチュウ類に対する防除効果

土壌還元消毒処理前後の有害センチュウ類の密度について、リアルタイム PCR 法を用いて定量しました（アグロカネショウ(株)に委託分析）。

対象とするほ場全てにおいて、土壌消毒前はキタネグサレセンチュウが高密度で検出されました（サツマイモネコブセンチュウ、キタネコブセンチュウについては検出されませんでした）。土壌消毒後は、対象とする 3 ほ場全てにおいてキタネグサレセンチュウを含む有害センチュウ類はいずれも検出されませんでした（表 2）。

表 2 キタネグサレセンチュウ密度

| 生産者 | Ct 値（被害発生ポテンシャル*） | |
|-----|-------------------|----------|
| | 消毒前 | 消毒後 |
| A 氏 | 35.2 (2) | ND** (1) |
| B 氏 | 31.9 (3) | ND** (1) |
| C 氏 | 30.9 (3) | ND** (1) |

* 被害発生ポテンシャルは以下の通り。

1：検出なし（** ND=未検出）

2：センチュウが検出され、要防除水準ではないが注意が必要（Ct 値>35.0）

3：要防除水準のセンチュウが検出された。（Ct 値 \leq 35.0）

③ 病原菌に対する防除効果

土壌還元消毒処理前後の病原菌の密度について、希釈平板法を用いて定量しました（アグロカネショウ(株)に委託分析）。

対象とする 3 ほ場全てにおいて、消毒前は根腐萎凋病や立枯病などの原因となるフザリウム菌（オキシスポラム、ソラニ）が高密度で検出され、うち 1 ほ場においては根腐病などの原因となるピシウム属菌が高密度で検出されました（併せて分析した青枯病菌は検出限界未満（100 cfu/g）でした）。

消毒後は、対象とする 3 ほ場全てにおいてフザリウム菌及びピシウム菌の密度が大幅に低下しました（表 3、表 4）。

（ピシウム菌について、発病ポテンシャル 1 の基準は 5cfu/g 未満ですが、消毒後は

よりシビアに検査するために希釈倍率を上げて分析したため結果は 2cfu/g 未満で記載されています。)

表3 フザリウム菌 単位：cfu/g (乾土)

| 生産者 | 種類 | 分析値 (発病ポテンシャル*) | |
|-----|---------|-----------------|----------|
| | | 消毒前 | 消毒後 |
| A氏 | オキシスポラム | 11,000 (3) | 28.3 (1) |
| | ソラニ | 1,600 (3) | <2.0 (1) |
| B氏 | オキシスポラム | 15,000 (3) | 13.0 (1) |
| | ソラニ | 780 (3) | <2.0 (1) |
| C氏 | オキシスポラム | 15,000 (3) | 3.7 (1) |
| | ソラニ | 43,000 (3) | <2.0 (1) |

* 発病ポテンシャルは以下の通り。

- 1：発病リスクが低い。(菌密度<40.0 cfu/g)
- 2：発病リスクは低いですが、注意が必要。前作で発生あったが、菌が検出されない。(菌密度<100 cfu/g)
- 3：発病リスクが高い。(菌密度≧100 cfu/g)

表4 ピシウム属菌 単位：cfu/g (乾土)

| 生産者 | 分析値 (発病ポテンシャル*) | |
|-----|-----------------|----------|
| | 消毒前 | 消毒後 |
| A氏 | <5.0 (1) | <2.0 (1) |
| B氏 | 490 (3) | 3.2 (2) |
| C氏 | <5.0 (1) | <2.0 (1) |

* 発病ポテンシャルは以下の通り。

- 1：発病リスクが低い。(菌密度<5 cfu/g)
- 2：発病リスクは低いですが、注意が必要。前作で発生あったが、菌が検出されない。(菌密度<5 cfu/g)
- 3：発病リスクが高い。(菌密度≧5 cfu/g)

7. 機械散布による省力効果について

散布にかかる作業時間及び労力について比較を行った。

150坪のほ場への散布について、28袋のうち25袋は機械散布(マニユアスプレッダー)、3袋を手散布で実施し、それぞれかかる時間を計測しました。

表5 作業時間の比較

| 作業 | 機械散布 (25 袋) | 手散布 (3 袋) |
|-----------|-------------|-----------|
| 開封作業～積込 | 30 分 | — |
| 散布 | 11 分 | 11 分 |
| 散布後の機械清掃 | 15 分 | — |
| 合計 | 56 分 | 11 分 |
| 袋あたりの作業時間 | 2.24 分/袋 | 3.67 分/袋 |

1袋あたりに要する作業時間を単純に比較すると、機械散布は手散布と比べて約39%の作業時間の削減となりました。

労働効率について、機械散布では開封、積込み、散布の工程毎に一括して行うことができ、広い面積でも一人で作業が可能です。一方で、手散布では散布場所まで運搬、開封、散布を何度も反復して行う必要があり、単位時間あたりに一人が散布できる範囲も小さいため、複数人での作業が必要となります。

8. 今回使用した資材について

- 糖含有珪藻土 (味の素ヘルシーサプライ(株) AHS 糖含有珪藻土 TH)

必要量：20 kg×56 袋 (10a 当たり)

- かん水チューブ (タキロンシーアイ(株) セフティ灌水チューブ)

必要量：5 巻 (10a 当たり)

規格：厚 0.13mm×幅 50mm×長 200m 黒色 孔：片面 ピッチ：150mm

- ポリマルチ

必要量：3 本 (10a 当たり)

規格：厚 0.05mm×幅 600mm×長 100m

- 畔シート（波板）（岩谷マテリアル(株) 畔シート）※必要に応じて
必要量：6枚
規格：厚 0.5mm×幅 30cm×長 20m

9. 参考文献

- 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
（国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構中央農業研究センター（2019））
- 土壌還元消毒作業マニュアル
（本庄市有機 100 倍運動推進協議会 本庄農林振興センター（令和 5 年 2 月））