

鹿児島県産糖含有珪藻土を用いた野菜の土壤病虫害に対する土壤還元消毒法の確立

中川路光庸*¹・加治俊幸*²・窪田瑛水*³・長野可奈*⁴・田中正一・上菌一郎

要 約

鹿児島県内の企業から産出される糖含有珪藻土を用いて、野菜地下部病虫害に対する土壤還元消毒法を確立するため、資材の特性調査と現地実証試験を実施した。資材には水溶性糖類が現物あたり 141mg g⁻¹ 含まれ、日光の当たらない屋外に 4 か月保管しても水溶性糖類の減少は認められなかった。また、資材に含まれる水溶性糖類は、土壌混和後 24 時間で消失することから、施用した当日中に灌水することが重要であることが明らかになった。資材に含まれる水溶性の無機成分含有率は低く、土壌施用による環境負荷は小さいと考えられた。糖含有珪藻土を用いた土壤還元消毒の施設栽培ピーマンに対する現地実証では、夏季の高温期において 1.0kg m⁻² の施用量で土壌中の還元能が高まり、土壌中のネコブセンチュウに対して高い防除効果を示した。露地栽培ソラマメの現地実証では、夏季の高温期に糖含有珪藻土の畝内施用による土壤還元消毒と、通路灌水を組み合わせることで畝内土壌の還元能が高まり、露地栽培における新たな利用の可能性を見いだした。

キーワード：糖含有珪藻土、土壤還元消毒、二価鉄、ネコブセンチュウ

結 言

果菜類野菜の施設栽培では、連作により土壤病虫害の発生が増加し、収穫量減少の主な要因とされている。土壤病虫害の防除対策として、土壤消毒による物理・化学的防除が実施されている。しかし、環境面への配慮や作業者の負担軽減等の観点から、化学農薬に依存しない土壤消毒の導入が求められている¹⁰⁾。そのひとつである土壤還元消毒法は、易分解性の有機物、水および太陽熱を利用して土壌を還元状態にし、土壤病虫害を防除する技術であり、環境負荷の小さい土壤消毒法として普及が進んでいる。易分解性の有機物には、米ぬかや小麦フスマの固形資材、糖蜜やエタノールの液体資材が用いられている⁴⁾。固形資材を用いた土壤還元消毒は、作業性が良いが、その効果は資材の混和された作土層のみに限られる。そのため、当法では、土壌深層までの還元効果がなく、土壌深層に存在するトマト青枯病菌等に対しては消毒効果が劣ると報告されている³⁾。一方、液体資材を用いた土壤還元消毒は、資材の希釈液が届く深層部への還元消毒効果が高い。しかし液体資材の希釈作業が煩雑であるため、普及の妨げとなっている⁹⁾。

これらの問題を解決する手段として、水溶性糖類を含

む「糖含有珪藻土」は、固形資材としての作業性の良さと、灌水により資材中の水溶性糖類が下層土に浸透することで、深さ 60cm 層位の消毒効果が高まる液体資材の特徴を兼ね備え、施用量 1.0kg m⁻² でトマト青枯病に対して高い防除効果を示すことが報告されている⁵⁾。しかし、鹿児島県において、糖含有珪藻土を用いた土壤還元消毒法による土壤病虫害の防除効果を実証した報告はない。

そこで、鹿児島市の食品原料製造会社である株式会社サナスにおいて、トウモロコシを原料とする液糖製造工程の副産物として産出される糖含有珪藻土を用いて、野菜の地下部病虫害に対する土壤還元消毒法の試験を実施したので報告する。

試験 1 では、資材の化学性、保存性等の特性を調査した。試験 2 では、施設栽培ピーマン *Capsicum annuum* L. の現地圃場において、糖含有珪藻土を用いた土壤還元消毒のネコブセンチュウに対する防除効果を調査した。

また、米ぬかやフスマを用いた土壤還元消毒法は主に施設栽培で普及しているが、露地栽培における土壤還元消毒法の知見が少ない。試験 3 では、露地栽培における土壤還元消毒法の確立のため、ソラマメ *Vicia faba* L. の現地圃場において、糖含有珪藻土を用いて畝内部分消毒による土壤還元消毒を実証した。

(連絡先) 生産環境部

*1 曾於畑地かんがい農業推進センター

*2 元農業開発総合センター

*3 北薩地域振興局農政普及課出水市駐在

*4 九州農政局

試験材料および方法

試験 1 糖含有珪藻土の特徴

試験 1-1 糖含有珪藻土の化学性

供試した糖含有珪藻土は、株式会社サナスから入手したものをを用いた。資材の化学性分析は、2021 年 5 月 18 日に入手したものをを用いた。含水率は 105℃で 24 時間後の乾物重から計算した。資材の pH と EC（電気伝導率）は、現物 10g に蒸留水 100ml を加え 30 分振とう後、上澄み液を HORIBA 社製 pH・EC メーターで測定した。全窒素および全炭素は燃烧法により測定した。ケイ酸は資材を過酸化水素水－硫酸によって分解し、残渣を 550℃で灰化後、重量を測定した。水溶性の無機成分含有率は、現物 1g に蒸留水 250ml を添加して振とう抽出後、濾液中のカリウムは炎光光度法、カルシウムおよびマグネシウムは原子吸光光度法、リン酸はバナドモリブデン酸法、硝酸態およびアンモニア態窒素は蒸留法により測定した。水溶性糖類は、現物 5g に蒸留水 100ml を添加して振とう抽出後、パックテスト COD（株）共立理化学研究所）を用いて濾液の COD 値を測定し、グルコース量に換算して求めた。

試験 1-2 保存性の調査

ビニル袋で内包された糖含有珪藻土 500kg をフレコンバッグに入れ、南側を解放した屋根付きの堆肥舎内に 2021 年 5 月 18 日から保管し、9 月 9 日までの約 4 か月間の資材温度および水溶性糖類含量の経時的変化を調査した。資材の温度はデータロガー（T&D 社製、TR-51i）で資材表面から深さ 30cm 位置を測定した。またフレコンバッグの上部を開けて、表面と表面から深さ 30cm の資材をそれぞれ 30、90 および 114 日後に採取し、pH、含水率および水溶性糖類含量を試験 1-1 の手法で測定した。

試験 1-3 土壌に混和した糖含有珪藻土に含まれる水溶性糖類の分解特性調査

糖含有珪藻土を土壌施用、耕耘後に、水溶性糖類が微生物により消費される時間を推定するため、培養試験を実施した。場内で採取した風乾黒ボク土 10g に糖含有珪藻土の現物 0.2g（2.0 kg m⁻² 相当量）を 50ml 容のプラスチック容器内で混合し、含水率 20%になるよう蒸留水 2.5ml を添加後、20、30、40℃で培養した。含水率 20%は、栽培圃場における耕耘後の土壌水分を想定して設定した。培養開始から 1、3、6、9 および 24 時間後に取り出し、混合物に蒸留水 25ml を加え、振とう抽出後、濾液中の水溶性糖類含量を試験 1-1 の手法で測定した。

試験 2 土壌還元消毒の現地実証試験

試験 2-1 現地実証試験

志布志市の施設栽培ピーマン圃場において、糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒のネコブセンチュウ防除効果の現地実証試験を実施した（表 1）。実証圃場の土壌は厚層アロフェン質黒ボク土で、試験規模は各試験区とも 1,000m²であった。実証 1 区は、2021 年 7 月 14 日に糖含有珪藻土 1.0kg m⁻²を全面施用し、耕耘後、縦方向に 1.5m 間隔で灌水チューブを敷設し、除去した天井ビニル（農業用ビニル）で土壌表面を全面被覆した。灌水は 7 月 14 日に 110mm、7 月 21 日に 110mm 実施した。糖含有珪藻土の施用量は農研機構が示した作業手順書⁹⁾を参考に、灌水量は下層 60cm まで浸透する水量を目安とした。対照の農家慣行区は、実証 1 区と同日に米ぬか 0.8kg m⁻²を全面施用し、耕耘後、施設内上部に既設の頭上スプリンクラーにより約 80mm 灌水し、除去した天井ビニルで翌日に土壌表面を全面被覆した。土壌還元消毒の期間は両区とも 2021 年 7 月 14 日から 8 月 26 日であった。土壌還元消毒開始から 14 日後に土壌中の二価鉄含量をオルトフェナントロリン法により測定した。土壌の還元能は、土壌還元により生成した二価鉄含量の増加が認められた時、土壌の還元能が高まったと判断した⁸⁾。センチュウに対する防除効果は、土壌中のネコブセンチュウ数をバルマン法⁷⁾により調査した。地温は深さ 10cm をデータロガー（T&D 社製、TR-51i）で測定した。

表 1 現地実証試験の設計

試験区	供試資材	施用量 (kg m ⁻²)	灌水方法
農家慣行	米ぬか	0.8	頭上スプリンクラー
実証1（試験2-1）	糖含有珪藻土	1.0	灌水チューブ
実証2（試験2-2）	糖含有珪藻土	1.0	頭上スプリンクラー

試験 2-2 糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒の効果的な灌水および被覆時期

試験 2-1 の現地実証試験では、土壌還元消毒の実施面積が 1,000m²と大きく、土壌表面に不規則な勾配があったため、灌水チューブでは十分な水压、水量が確保できず、灌水ムラが局所的に多数確認された。この対策として、施設内上部に既設のスプリンクラーを利用することで、圃場全体をムラ無く灌水することが可能になった。しかし、灌水後は土壌がぬかるみ、土壌表面のビニル被覆作業が翌日以降に遅れるため、土壌還元消毒による防除効果への影響が懸念された。

そこで、2022 年 6 月 28 日に、糖含有珪藻土を土壌施用、耕耘後に速やかに灌水する「当日灌水」と 24 時間

後に灌水する「翌日灌水」、ビニル被覆を当日に行う「当日被覆」と翌日に行う「翌日被覆」を組み合わせ、土壌の還元能に及ぼす影響を調査した（表2）。場内試験は普通アロフェン質黒ボク土のビニルハウス、1試験区当たり5m²で実施した。土壌表面の被覆には透明農業用ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm）を使用した。

また、試験2-1の現地実証圃場においても、表2の当日灌水・翌日被覆区に該当する試験区を実証2区として調査した（表1）。土壌は厚層アロフェン質黒ボク土で、試験規模は1,000m²、糖含有珪藻土1.0kg m⁻²を施用、耕耘後、頭上スプリンクラーにより約80mm灌水し、除去した天井ビニルで翌日に土壌表面を全面被覆した。

調査は実証1と同様に、土壌還元消毒開始から14日後の土壌を採取し、二価鉄含量を測定した。現地実証では二価鉄含量の測定とネコブセンチュウ数を調査した。

表2 灌水時期と被覆時期の組み合わせ試験の設計

試験区	糖含有珪藻土 施用量	糖含有珪藻土 施用・耕耘	灌水 時期	被覆 時期
当日灌水・当日被覆	1.0kg m ⁻²	当日	当日	当日
当日灌水・翌日被覆			当日	翌日
翌日灌水・翌日被覆			翌日	翌日

試験3 畝内部分消毒法の技術開発

試験3-1 畝内部分消毒と通路灌水の組合せ試験

圃場面積2,000～3,000m²規模の露地栽培の環境において、圃場全体をビニル被覆する土壌還元消毒法は、労力的にも困難と考えられる。そこで、植え付け畝のみに土壌還元消毒を行う畝内部分消毒法について検討した。畝内部分消毒法では通路に資材を施用しないため、糖含有珪藻土1.0kg m⁻²を施用する場合、畝内の施用量は増える。そこで、実面積当たりの畝内施用量を1.5kg m⁻²として、畝内部分消毒法の土壌還元能評価試験を実施した（表3）。

場内試験は、普通アロフェン質黒ボク土のビニルハウス、1試験区当たり5m²で実施した。2021年10月4日に糖含有珪藻土を畝幅に施用し、耕耘、畝幅は1.0m、畝高は0.1m、ベッド幅は0.7mで作畝後、灌水チューブを畝上部に敷設した。その後、農業用透明ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm）で被覆した。

畝内部分消毒では、通路部分が被覆されていないことから、通路土壌表面からの蒸散により土壌が乾燥し、畝内の土壌水分を高く維持できないことが想定される。そこで、通路に灌水チューブを追加で敷設し、畝内灌水と通路灌水を組み合わせて、畝内土壌の還元能に及ぼす効果を調査した。

糖含有珪藻土を施用した当日に、深さ60cmに浸透するまで灌水し、最終的に畝内に67mm灌水した。通路灌水は、通路土壌のぬかるみがとれ、乾いたと判断したときに行い、土壌還元消毒開始から1, 5, 7および11日目に通路に20mmまたは13.5mm灌水した。通路灌水量は、現地での畑灌水利用を想定して、鹿児島県内畑地の7日間断の畑地かんがい基準量21mm¹²⁾を参考に、ほぼ基準量の20mmと基準量の2/3の13.5mmとした。

表3 畝内部分消毒法の土壌還元能評価試験の設計

試験区	糖含有珪藻土 施用量 (kg m ⁻²)	畝内 灌水 (mm)	通路 灌水 (mm)
1	0	0	0
2		67	0
3	1.0 (畝内実面積 あたり1.5)	0	0
4		67	0
5		0	20.0
6		67	20.0
7		0	13.5
8		67	13.5

試験3-2 畝内部分消毒法の現地実証試験

指宿市の露地栽培ソラマメ圃場において、糖含有珪藻土を用いた畝内部分消毒法の現地実証試験を実施した（表4）。実証圃場の土壌は火山放出物未熟土で、試験規模は320m²であった。2021年7月20日に糖含有珪藻土をベッド幅に条施用し、畝幅1.8m、ベッド幅1.1mで作畝した。糖含有珪藻土の施用量は1.0kg m⁻²で、畝幅1.8m/ベッド幅1.1mの実面積当たり畝内施用量は約1.6kg m⁻²であった。畝上部に灌水チューブを敷設し、畝を透明農業用ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm）で被覆後、畝内に100mm灌水した。

通路灌水は、通路に敷設した灌水チューブを用いて、通路が乾いた時に土壌表面がぬかるむ程度に灌水した。土壌還元消毒開始から14日で、農家の判断により合計3回通路灌水を実施した。対照として通路灌水をしない区を設置した。土壌還元消毒開始から14日後に、畝内土壌中の二価鉄含量の測定とネコブセンチュウ数を試験2-1と同じ方法で調査した。土壌還元消毒は、ソラマメ植え付けの約1か月前まで約1.5か月間実施した。

表4 畝内部分消毒の現地実証試験の設計

試験区	通路 灌水	糖含有珪藻土 (kg m ⁻²)
通路灌水有り	有り	1.0 (畝内実面積 当たり1.6)
通路灌水無し	無し	

結 果

試験1 糖含有珪藻土の特徴

試験1-1 糖含有珪藻土の化学性

糖含有珪藻土の化学性を分析した結果、水分 37.8%、全炭素 24.4%、全窒素 2.1%、C/N 比 11.9、水溶性糖類 141 mg g^{-1} 、ケイ酸 19.4%であった（表5）。圃場に糖含有珪藻土 1.0 kg m^{-2} 施用する場合、水溶性糖類の投入量は約 141 g m^{-2} であった。pH は 3.68, EC は 0.31 dS m^{-1} 、水溶性の無機成分含有率は、リン酸は 0.39%, 石灰は 0.12%, これら以外は 0.1%未満であった。

表5 糖含有珪藻土の化学性(2021年5月, 現物当たり)

	含水率	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N比	水溶性糖類 (mg g^{-1})	ケイ酸 (%)
糖含有珪藻土	37.8%	24.4	2.1	11.9	141	19.4

pH (H ₂ O)	EC (dS m^{-1})	NH ₄ -N	NO ₃ -N	リン酸	カリ	苦土	石灰
抽出1:10		水溶性 (%)					
3.68	0.31	0.04	0.01	0.39	0.01	0.01	0.12

試験1-2 保存性の調査

糖含有珪藻土を入れたフレコンバッグを日光の当たらない屋外に保管した条件下において、調査期間中の資材の含水率は 38%前後で推移し、pH は 3.7 から 3.5 へ僅かに低下した。表面の水溶性糖類は $132 \sim 152 \text{ mg g}^{-1}$ 、内部は $148 \sim 160 \text{ mg g}^{-1}$ 推移し、約 4 か月間ほとんど変化がみられなかった（表6）。フレコンバッグ内の資材の温度は、6 月が $25 \sim 30^\circ\text{C}$ 、7 月上旬から 9 月上旬までが 30°C 前後で、気象観測データから外気温と同程度で推移したと予測された（図1）。

表6 保管した糖含有珪藻土の経時的変化。

採取日	経過 日数	水分 (%)	pH (H ₂ O) (1:10)	水溶性糖類 (mg g^{-1})	
				表面	内部 (深さ30cm)
2021/5/18	—	37.8	3.70	151	—
2021/6/17	30	38.7	3.66	132	148
2021/8/16	90	37.8	3.52	147	160
2021/9/9	114	38.1	3.46	144	149

注) 南側を開放した屋根付きの堆肥舎に保管

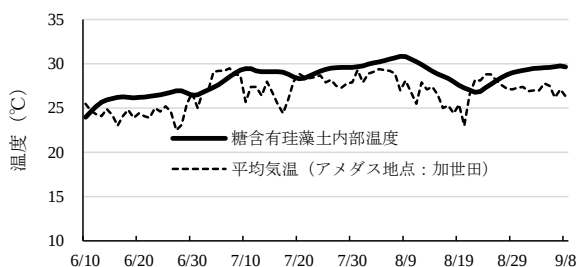


図1 保管中の糖含有珪藻土内部（深さ 30cm）の温度

注) 南側を開放した屋根付きの堆肥舎に保管

試験1-3 土壌に混和した糖含有珪藻土に含まれる水溶性糖類の分解特性調査

培養温度 30°C および 40°C の水溶性糖類は、時間とともに減少し、培養前と比較して 6 時間後には 6 割程度に減少し、24 時間後にはほぼ消失した（図2）。培養温度 20°C の水溶性糖類は、培養後 9 時間までは 9 割程度残存したが、24 時間後にはほぼ消失した。

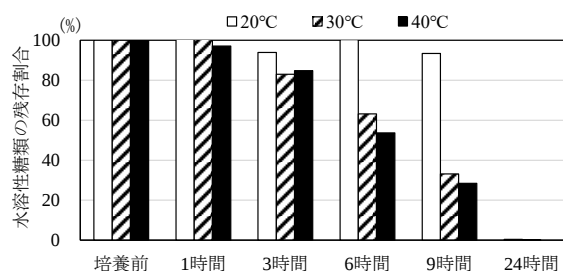


図2 黒ボク土壌を供試した糖含有珪藻土中水溶性糖類の残存割合の推移 (2021 年)

注1) 混合比 糖含有珪藻土：黒ボク土壌＝1:50

2) 含水率 20%

試験2 施設栽培における土壌還元消毒試験

試験2-1 現地実証試験

糖含有珪藻土を 1.0 kg m^{-2} 施用した実証1区の土壌表面から深さ 30cm までの二価鉄含量は、米ぬかを 0.8 kg m^{-2} 施用した農家慣行区に比べて多かったことから、実証区は水溶性糖類が下層まで浸透し土壌還元能が高まったと推定された（図3）。しかし、今回の試験では 30～50cm 深の二価鉄含量は僅かで、強い土壌還元能を認めなかった。土壌還元消毒後の実証1区の総センチュウ数およびネコブセンチュウ数は 0 で、センチュウに対する防除効果は農家慣行区と同等以上と考えられた（表7）。土壌消毒期間中の地温は、消毒開始時の灌水と 8 月上旬中旬の降雨により 26°C 程度に下がったが、概ね 28°C から 34°C で推移した（図4）。なお、土壌還元消毒後に定植したピーマンは、達観調査では両区とも生育に大きな差はみられなかった。

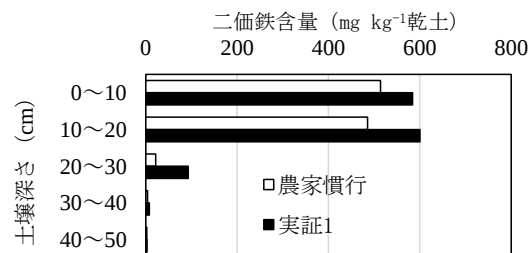


図3 土壌還元消毒14日後の土壌中の二価鉄含量

注1) 現地実証試験、厚層アロフェン質黒ボク土

2) 消毒期間：2021年7月14日～2021年8月26日

表 7 土壌還元消毒のセンチュウに対する効果

試験区	消毒前 (2021年6月30日)		消毒後 (2021年8月26日)	
	総センチュウ数	うちネコブセンチュウ	総センチュウ数	うちネコブセンチュウ
農家慣行	298	14	59	0
実証1	157	60	0	0

注1) 生土20gあたりの調査 2) 厚層アロフェン質黒ボク土 3) 深さ0~20cm
4) 消毒期間：2021年7月14日~2021年8月26日

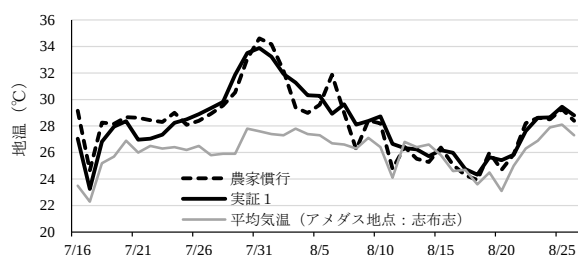


図 4 実証期間中の地温（日平均）の推移（2021 年）

注 1) 厚層アロフェン質黒ボク土 2) 深さ 10cm
3) 農家慣行区：米ぬか 実証 1 区：糖含有珪藻土

試験 2-2 糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒の効果的な灌水および被覆時期

場内試験では、当日灌水・翌日被覆区における 0~10cm の二価鉄含量は、当日灌水・当日被覆区より低かった（図 5）。これは、灌水開始から 3 時間で 100mm 灌水し、24 時間後に被覆するまで裸地であったことから、土壌表面が乾燥したためと考えられた。しかし、深さ 10~30cm の二価鉄含量は当日灌水・当日被覆区と同等で、土壌還元能が維持されたと考えられた。

一方、翌日灌水・翌日被覆区では、いずれの深さでも二価鉄含量が少なく、灌水を翌日に遅らせると十分な還元能を維持できなかった。30~50cm の深さでは、各区とも二価鉄含量は表層に比べて低かった。

また、試験 2-1 の現地実証試験において、場内試験の当日灌水・翌日被覆区に該当する実証 2 区の二価鉄含量は、深さ 0~30cm において当日灌水・当日被覆に該当する実証 1 区と同程度であった（図 6）。

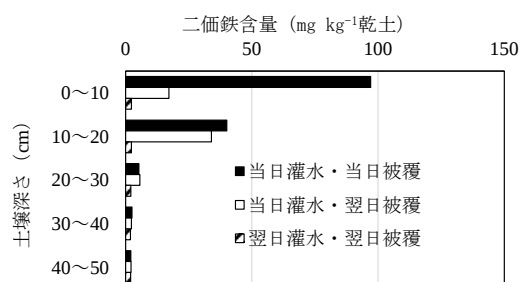


図 5 糖含有珪藻土施用後の灌水および被覆時期が土壌中の二価鉄含量に及ぼす影響

注 1) 場内試験，普通アロフェン質黒ボク土
2) 消毒期間：2022 年 6 月 28 日~2022 年 7 月 14 日

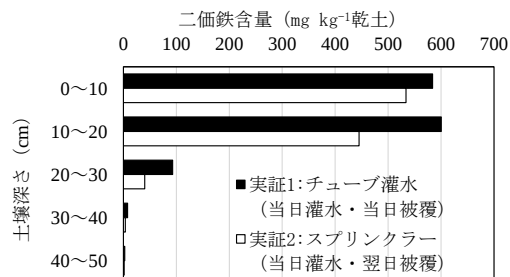


図 6 糖含有珪藻土施用後の被覆時期が土壌中の二価鉄含量に及ぼす影響

注 1) 現地実証試験，厚層アロフェン質黒ボク土
2) 消毒期間：2021 年 7 月 14 日~2021 年 8 月 26 日

試験 3 畝内部分消毒技術の開発

試験 3-1 畝内部分消毒と通路灌水の組合せ試験

糖含有珪藻土を施用しなかった試験区 1, 2 は、畝内灌水の有無にかかわらず調査期間中に二価鉄はほとんど生成されなかった（表 8）。糖含有珪藻土 1.5kg m⁻² を施用後、被覆後に畝内に灌水しなかった試験区 3, 5, 7 の土壌中の二価鉄はほとんど生成されなかった。14 日目まで二価鉄含量の生成が認められたのは、畝内灌水および通路灌水の両方を実施した試験区 6, 8 であった。通路灌水 20mm の試験区 6 の二価鉄含量は通路灌水 13.5mm の試験区 8 より多く、通路の土壌水分を高めることで、畝内の土壌還元能が高まることが示された。

表 8 糖含有珪藻土畝内施用後の二価鉄含量の推移

試験区	糖含有珪藻土 施用量 (kg m ⁻²)	畝内 通路		二価鉄含量 (mg kg ⁻¹ 乾土)		
		灌水 (mm)	採取層位 (cm)	8 日目	14 日目	28 日目
1	0	0	0	0	0	0
			0~10	0.7	1.3	0.3
			10~20	0.3	1.2	0.3
			20~30	0.4	1.2	0.4
			0~10	0.3	1.2	0.4
			10~20	0.4	1.5	0.3
2		67	0	0.3	1.3	0.3
			20~30	0.3	1.3	0.3
3	1.0 (畝内実面積 あたり 1.5)	0	0	0	0	0
			0~10	0.3	1.4	0.4
			10~20	0.4	1.6	0.3
			20~30	0.4	1.2	0.3
4		67	0	0.7	2.4	0.5
			10~20	51.6	1.8	0.4
			20~30	0.6	1.4	0.2
5		0	20.0	0.3	1.7	0.3
			0~10	1.5	1.6	0.4
			20~30	1.7	0.9	0.3
6		67	20.0	51.8	58.0	0.5
			10~20	36.4	51.1	0.9
			20~30	1.3	0.8	0.3
7	0	0	0	0	0	0
			0~10	1.8	1.3	0.3
			10~20	1.5	1.3	0.2
			20~30	1.1	0.8	0.2
			0~10	11.8	47.5	0.5
			10~20	1.5	0.8	0.5
8		67	13.5	0.7	0.7	0.3
			20~30	0.7	0.7	0.3

注 1) 普通アロフェン質黒ボク土
2) 2021 年 10 月 4 日に畝幅に施用

試験 3-2 畝内部分消毒法の現地実証試験

火山放出物未熟土壌の現地圃場において、土壌還元消毒を開始した 7 月 20 日から 14 日後までの最高気温は、29.4~34.3°C で推移した（気象観測データ，アメダス地点：指宿）。地温は測定しなかったが、晴天が続いたことから、ポリエチレンフィルムで被覆した畝内土壌の地

温は 30℃以上確保されたと推定された。土壤還元消毒開始から 14 日後の畝内土壌の深さ 0～30cm の二価鉄含量は、通路灌水有り区が通路灌水無し区より多く、通路灌水の実施により土壌の還元能が高まることが明らかになった（図 7）。また、通路灌水有り区の総センチウ数も土壤消毒後に減少した（表 9）。なお、土壤還元消毒後に定植したソラマメは、達観調査では両区とも生育に差はみられなかった。

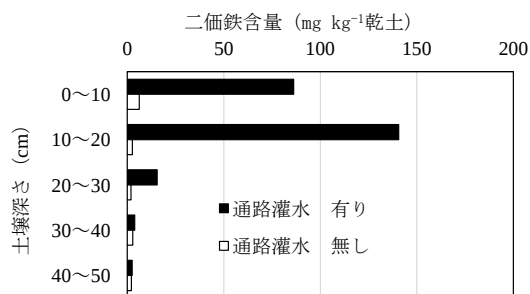


図 7 糖含有珪藻土畝内施用と通路灌水の有無が畝内土壌中の二価鉄含量に及ぼす影響

注 1) 現地実証試験，火山放出物未熟土

2) 消毒期間：2021 年 7 月 20 日～2021 年 9 月上旬

表 9 畝内部分消毒前後の総センチウ数

土壌採取日	総センチウ数	備考
5月28日	194	消毒前
8月19日	6	消毒開始から30日後

注1) 生土20gあたりの調査 2) 火山放出物未熟土 3) 深さ0～20cm

4) 消毒期間：2021年7月20日～2021年9月上旬

考 察

県内食品原料製造会社から副産物として産出される糖含有珪藻土を用いた土壤還元消毒法を確立するため、資材の特性調査と、いくつかの実証試験を実施した。

試験 1-1 では、糖含有珪藻土の特性を調査した。糖含有珪藻土の現物 1g には水溶性糖類が 141mg 含まれ、これは施用量 1.0kg m² で水溶性糖類 141g m² に相当した。また、水溶性の無機成分含有率は低く、栽培圃場に資材を 1.0kg m² 施用して 100mm 灌水した場合、硝酸態窒素濃度は約 1mg kg⁻¹ に希釈されることから、地下に浸透しても環境負荷は小さいと考えられた。

試験 1-2 では、ビニルで内包した糖含有珪藻土の保管中の品質について調査した。5 月中旬から 4 か月間で資材の pH や含水率に大きな変化はなく、水溶性糖類の減少も認められなかったことから、日光に当たらない現地での保管中でも、品質の劣化が小さいことが示された。このことは、資材の pH が 4.0 以下で微生物活性が低いこと等から、保管中の微生物による水溶性糖類の分解は

進まなかったためと推測された。

糖含有珪藻土の水溶性糖類含量を調査した試験の報告¹⁾において、資材に含まれる水溶性糖類は保管開始時が 132±18 mg g⁻¹、3 か月後が 144±10 mg g⁻¹ と大きな変化がみられなかったことは、本研究と概ね一致している。一方で、保管期間中の資材の温度は 60℃まで上昇したと報告している¹⁾。しかし、本研究では温度上昇を認めなかったことから、ビニルで内包することにより、資材の保存性を高めることができると考えられた。

試験 1-3 では、糖含有珪藻土を土壤施用、耕耘後に資材に含まれる水溶性糖類が微生物により消費される時間を調査した。培養開始から 6 時間後の水溶性糖類は、培養温度 30℃、40℃ともに約 6 割まで減少し、24 時間後にはほとんど残存していなかった。栽培圃場における土壤還元消毒では、地温は 30℃以上確保することが推奨されている⁸⁾。そのため、糖含有珪藻土を栽培圃場に施用してから 24 時間後には水溶性糖類は微生物により消費され、その後に灌水しても水溶性糖類は下層に浸透しないと考えられた。スイートコーン残渣を用いた土壤還元消毒の報告では、資材すき込み後から灌水開始までの期間が長くなると、残渣に蓄積した糖類が分解し、防除効果が低下するおそれがあるとしている⁶⁾。夏季に実施される土壤還元消毒の栽培圃場においては、土壤混和後に速やかに灌水することが重要であると考えられた。

試験 2-1 では志布志市の現地圃場において、土壤還元消毒のネコブセンチュウ防除効果を実証した。糖含有珪藻土 1.0kg m² 全面施用の実証区と、米ぬか 0.8kg m² 全面施用の農家慣行区を比較した結果、土壤還元消毒開始から 14 日後の実証区の土壌中の二価鉄含量は、農家慣行区に比べて多かった。ネコブセンチュウ数は 0 で、防除効果が高いことが示された。糖含有珪藻土や糖蜜吸着資材を用いた土壤還元消毒試験では、施用量 1.0kg m² でネコブセンチュウに高い効果を示すことが報告されており⁵⁾、本研究でも同様の成果が得られた。

米ぬかが作土層にのみ混和されるのに対し、糖含有珪藻土は灌水により資材に含まれる水溶性糖類が下層土に浸透し、作土層より下層における病害虫防除の効果が期待されたと考えられた。糖蜜を用いた土壤還元消毒では、資材に含まれる糖分が灌水により深層へ浸透して、還元状態を引き起こすと報告されており⁵⁾、糖含有珪藻土も、下層の土壤還元消毒が可能であると考えられた。本研究では、ネコブセンチュウを土壤還元消毒法の効果の評価の対象としたが、今後は青枯病や根こぶ病等土壤病害に対する防除効果の実証も必要である。また、

実証試験で下層の二価鉄含量が表層に比べて低いことについては、土壌断面の物理性調査を実施していないため、確かな考察ができない。しかし、実証圃場は毎年深耕しており、下層の排水性が良好で土壌水分が低くなったことにより、土壌還元が弱まったと考えられた。

試験 2-2 では頭上スプリンクラーにより圃場全体をムラ無く灌水した後、ビニル被覆する時期が、土壌還元能に及ぼす影響を調査した。その結果、糖含有珪藻土を施用した当日に灌水し、当日に被覆する区が最も土壌還元が進んだ。また、当日に灌水し、翌日に被覆する方法でも下層土の土壌還元は進んだ。一方、資材を施用してから 24 時間後に灌水した区は、土壌還元が認められなかった。このことは、試験 1-3 の結果からも明らかのように、土壌混和後 24 時間以内に水溶性糖類が土壌微生物により分解されたことから（図 2）、翌日に灌水しても水溶性糖類は下層土に移行せず、土壌還元能が高まらなかったためと推察された。

以上の結果から、糖含有珪藻土を利用した土壌還元消毒は、施用した当日中に灌水することが重要であることが明らかになった。また、スプリンクラーを利用した頭上灌水で、やむを得ず当日中にビニル被覆できない場合においても、翌日被覆の二価鉄含量は当日被覆に比べてやや少ないものの、土壌還元効果は期待できると考えられた。

試験 3 では、指宿市の現地圃場において、露地栽培の土壌還元消毒の可能性について検討した。指宿地域では IPM 技術の導入が進んでおり、露地栽培ソラマメの主要な産地である。土壌消毒は作付け前の夏季に畝立てし、畝マルチによる太陽熱消毒や化学農薬による土壌消毒が行われている。しかし、露地栽培においても化学農薬に頼らない土壌消毒技術の開発が求められている。ソラマメ露地栽培の現地実証試験では、畝内部分消毒に加えて、通路部分の灌水を組み合わせることで、畝内土壌の還元能が高まり、センチュウに対する防除効果が認められた。これらの結果から、露地栽培における糖含有珪藻土を用いた畝内部分消毒技術の可能性が期待された。

土壌の還元能の調査において、糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒法は、表層から 60cm 深までの土壌還元が進むとされている⁸⁾。しかし、現地実証試験では深さ 30cm までの土壌還元効果にとどまった。土壌還元消毒では、排水が良好な圃場では効果が不十分となることが知られている²⁾。現地実証試験においては、処理前に圃場の土壌物理性等について事前に調査が必要であったと考えられた。土壌還元は微生物活動による酸素の消費や土壌水分、地温に影響されることから¹¹⁾、土壌

水分を維持する技術についても、検討が必要である。今後、火山放出物未熟土壌などの排水性の良い土壌における土壌還元能を高める技術開発により、幅広い品目での活用が期待されると考えられる。

また、土壌還元消毒後は土壌中の窒素量が高まることが報告されている⁵⁾。本研究では、達観によると、ソラマメの初期生育量が、無処理区とほぼ同程度であったことから、土壌還元消毒後による土壌中無機態窒素量の増加が生育に及ぼす影響は小さかったものと考えられる。土壌診断による基肥の減肥などの調査研究も、今後取り組む必要があると考えられる。また、今回の現地試験では生理障害等は認められなかったが、当技術導入によって、植え付け時に生育障害が発生する恐れもある。土壌還元消毒終了から植え付けまでの期間を十分にとり、植え付け前に耕耘作業を複数回行う等の対策が必要である。

以上、糖含有珪藻土を用いた土壌還元消毒の効果的な施用方法や資材の特性を明らかにした。この成果は、畑作物の生産性向上に寄与すると考えられる。

謝 辞

資材の提供、現地試験のご協力を賜りました株式会社サナスの皆様には感謝の意を表します。また、センチュウ数の調査に協力いただいた当センター病理昆虫研究室の研究員、現地実証試験を実施するにあたり協力いただいた曾於畑地かんがい農業推進センターおよび南薩地域振興局農林水産部農政普及課指宿市十二町駐在の普及指導員に深謝いたします。

なお、本研究は、株式会社サナスの委託事業「地域循環！「糖含有珪藻土」を活用した安心・安全な土壌消毒と土壌改良技術の開発」によって実施されました。

引用文献

- 1) 井原啓貴 2019. 土壌還元消毒に用いられる糖含有資材の保管中の品質変化と施用土壌中での炭素動態, 土肥要旨集 65:292
- 2) 小松勉・松澤光弘・堀田治邦 2006. 糖蜜還元消毒と抵抗性台木によるトマト青枯病の防除効果, 北日本病虫研報 57:38-41
- 3) 久保周子・片瀬雅彦・清水喜一・加藤浩生・竹内妙子 2004. トマト土壌病害虫に対する土壌還元消毒の効果, 千葉県農業総合研究センター研究報 3:95-104
- 4) 門馬法明 2017. 土壌還元消毒の普及の現状と今後の展望, 土と微生物 71:24-28
- 5) 村元靖典・渡辺秀樹・棚橋寿彦・中保一浩 2020.

- 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によるトマト土壌病害虫に対する防除効果, 関西病虫研報 62:31-37
- 6) 長坂克彦・舟久保太一・後藤逸男 2013. スイートコーン残渣を用いた土壌還元消毒の防除効果と土壌化学性への影響, 農業技術体系土壌施肥編 5-1:172.107.2-11
- 7) 農研機構 2013. 有害線虫総合防除技術マニュアル
- 8) 農研機構 2021^a. 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
- 9) 農研機構 2021b. 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
- 10) 農林水産省 2021. みどりの食料システム戦略
- 11) 新村昭憲 2010. 還元消毒の効果と原理, 農業および園芸 85(8):810-816
- 12) (社) 鹿児島県農業・農村振興協会 2007. 鹿児島県農林業技術ハンドブック第 4 次改訂

Establishment of a Soil Reduction Disinfection Using Sugar-Containing Diatomite from Kagoshima Prefecture against Soil Pests and Diseases in Vegetables

Koyo Nakakawaji , Toshiyuki Kaji , Akimi Kubota , Kana Nagano , Shoichi Tanaka and Ichiro Uezono

Summary

Using sugar-containing diatomite produced by local enterprises in Kagoshima Prefecture, this study aimed to establish a soil reduction disinfection method against below-ground pests and diseases affecting vegetables. Characterization of the material's properties and on-site demonstration trials were conducted. The material contained a water-soluble sugar content of 141 mg g⁻¹. After four months of storage outdoors in shaded conditions, there was no significant reduction in sugar content. Additionally, the water-soluble sugars disappeared within 24 hours after mixing with the soil. This highlights the need for irrigation on the same day of application. The levels of water-soluble inorganic components were low, indicating minimal environmental impact from soil application. In the demonstration of the soil reduction disinfection method for peppers grown under the greenhouse, an application rate of 1.0 kg m⁻² during the high-temperature summer period enhanced the reduction potential in the soil and exhibited a high control effect against root-knot nematodes. Moreover, in the demonstration of the soil reduction disinfection method for fava beans grown in the open-field indicated that combining the application of sugar-containing diatomite in the ridges with pathway irrigation during the high-temperature summer period increased the reduction potential in the ridge soil, uncovering new possibilities for its application in the open-field cultivation.

Keywords :ferrous iron, root-knot nematode, soil reduction sterilization, sugar-containing diatomite