

生産者と技術指導者のための
トルコギキョウの立枯病対策事例集

2021年3月



農研機構野菜花き研究部門発行

はじめに

(マニュアルではなく事例集を発行する理由)

- ・単価の上昇が望めない昨今の経済状況において、収益を維持するためには土壌病害による出荷率の低減や品質の低下は最優先で克服すべき課題です。しかしながら、多くのトルコギキョウの産地、経営体が土壌病害の影響を受けており、土壌消毒をしても効果が判然としない事例も多く、経済的な損失は重大です。
- ・2018年から2020年度に実施した経営体強化プロジェクト(p.40 参照)では、トルコギキョウ生産経営体において収益 20%増加を目標として、計画出荷を実現する技術開発と合わせて、土壌病害対策の実証を行いました。
- ・実証現地は 2カ所とも、過去に立枯病(病原菌：*Fusarium oxysporum* フザリウム オキシスポラム)による激しい被害が生じていたことから、同病原菌の特性に対応した複数の対策技術を組み合わせた結果、大幅に出荷率が改善する成果が得られました。
- ・そこで本事例集ではトルコギキョウの土壌病害、特に立枯病の病原菌であるフザリウム オキシスポラムと、各種土壌消毒方法の特徴を整理した上で、高冷地抑制作型と暖地促成作型の実証現地圃場での作業手順とポイントを紹介します。
- ・土壌病害対策は病原菌の種類や被害程度、ハウスの立地環境や作型などによって様々な選択肢と制約があるため、生産現場ごとに最適な方法は異なります。個々の生産現場において最適な方法を構築する際に、この事例集が参考になれば幸いです。

2021年3月

編集担当 福田 直子

目 次

1. トルコギキョウ立枯（たちがれ）病とは	3
2. トルコギキョウ立枯病の原因となる フザリウム オキシスポラムの特徴	5
3. 対策技術の例および注意点	
(1) 土壌消毒法	6
1) 熱による方法について	
2) 土壌還元消毒による方法	
3) クロルピクリン剤利用時の注意点（被覆について）	
4) 畝立後に土壌消毒を行う方法について	
(2) 土壌 pH 矯正	12
1) 石灰質肥料による土壌 pH 矯正について	
2) 転炉スラグを原料とする石灰質肥料の利用	
(3) 品種と栽培管理について	13
4. 対策技術の組み合わせ	14
5. 実証事例	
(1) 暖地促成作型（静岡県静岡市 3-4 月出荷）	15
(2) 高冷地抑制作型（長野県松本市 11 月出荷）	26
参考 1 土壌消毒と土壌 pH 矯正の併用による トルコギキョウ立枯病抑制効果	33
参考 2 転炉スラグ施用による輪作品目（ストック）への影響把握	37
参考文献等	38
執筆者、謝辞、研究担当者	39

1. トルコギキョウ立枯病とは

・糸状菌（カビ）の一種である *Fusarium oxysporum*（フザリウム オキシスポラム）あるいは *Fusarium solani*（フザリウム ソラニ）の感染によって萎れや枯死などの被害が引き起こされる病害です。

・本事例集ではこのうちフザリウム オキシスポラムを原因とするトルコギキョウ立枯病を取り扱っています。

・地上部は、はじめは葉の萎れが発生し、進行すると葉の生気が失われてしおれ（萎凋）、やがて枯れ上がりが生じます。

・地上部に症状が表れる時期は、栽培期間全般です。病原菌密度が高い圃場で対策せずに栽培した場合などは、移植した苗の成長が停滞し、そのまま萎凋・枯死する場合があります（図1）。

・また、土壌消毒が不十分だった場合などに、発病が生育後半となり、開花期頃に被害が顕在化する場合もあります（図2）。



図1 初期成育不良のまま萎凋
フザリウム オキシスポラム感染を確認

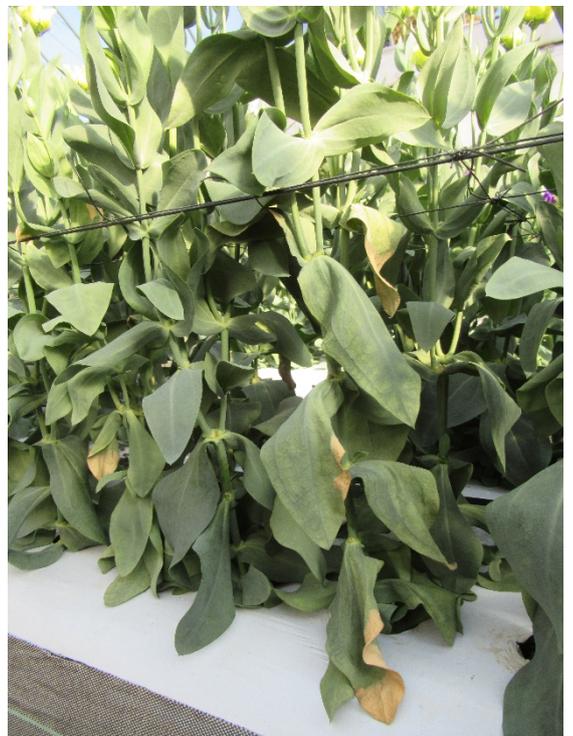


図2 収穫期にみられる萎れ
フザリウム オキシスポラム感染を確認

・萎れが生じた株の茎や根を切断すると、茎内の維管束に褐変が生じていることが観察できます（図3）。根から植物体内に侵入した病原菌によって引き起こされる症状であり、本病を診断する上で重要な特徴です。



図3 フザリウム オキシスポラムによる維管束褐変

・萎れや枯死が生じる病害は立枯病の他にも複数あります。また、複数の病害が混発することもあります。病害によって対策が異なる場合もあるので、**本病が疑われたらまずは地域の普及センター等を通じて、専門機関での診断を依頼してください。**

トルコギキョウが枯死する病害の例*	その他萎れが生じる要因
立枯病 、灰色かび病、茎腐病、菌核病、根腐病、青枯病	過度の土壤乾燥 塩類集積による根の発達阻害 薬剤による土壤消毒後のガス抜き不足 等

*参考資料：吉松・藤永（2011）トルコギキョウ立枯病，農業総覧花卉病害虫診断防除編，農山漁村文化協会，追録第 10 号 3 巻，pp. 21-24

2. トルコギキョウ立枯病の原因となるフザリウム オキシスポラムの特徴

特 徴	防除の際の留意点
土壌伝染性である	発病株を治療する方法はない 苗や農機具・靴底等に付着した土壌でまん延する
土壌深部まで汚染	土壌消毒を行っても菌が残るおそれがある
熱に比較的強い	熱を利用した土壌消毒では十分な地温の確保が必要

・フザリウム オキシスポラムによる病害は他作物でも知られ、大きな被害が出ています。ただし、特定の作物から分離されたフザリウム オキシスポラムは、基本的にその作物のみに病原性を示します。そのため、トルコギキョウに感染するフザリウム オキシスポラムが他作物に病害を引き起こす可能性は低いと考えられます。

・苗あるいは農機具や靴底等に付着した土壌によって病原菌は移動します。

病原菌に汚染された土壌や苗を圃場に持ち込まないよう注意が必要です。

・病原菌は耐久体（孢子）で土壌内に生息します。この菌は土壌の深い部分でも生息が可能です（他作物では **75～90 cm 深の層から検出された例***があります）。このため、土壌消毒を行っても深部に残存した菌により被害が生じるおそれがあります。深部などに残った病原菌が消毒後の耕起などで拡散し、作土層が再汚染されると防除効果が損なわれるため、注意が必要です。

・土壌病害の病原菌の中でも**高温耐性が高い**ことが知られています。熱を用いた土壌消毒法である太陽熱消毒や蒸気消毒を行う場合は、病原菌の死滅が期待できる地温を確保することが重要です（次ページを参照してください）。

*参考：竹原（2004）土壌伝染病談話会レポート 22、22-37

3. 対策技術の例および注意点

ここでは一般的なフザリウム オキシスポラムによる土壌病害の対策技術について、本事例集でとりあつかった技術を中心に特徴と注意点を示します。

本事例の結果より、特に注意が必要な点

熱による消毒では 比較的高い温度 が必要	太陽熱消毒 など長期間処理では 最高 45℃ 、 蒸気消毒 など短期間では 55℃ に達していない場合、失敗のおそれがある。
土壌還元消毒 では、地温は有機物を餌とする微生物の活動に必要	フザリウム オキシスポラムが死滅しない地温でも防除効果が期待できる。
消毒しても 土壌深部などに残存しやすい	土壌深部などに残存した病原菌による作土層の再汚染を避けるため、 消毒後の深耕はしない 。必要に応じて 畝立て後の土壌消毒法 などを組み合わせる。

(1) 土壌消毒法

1) 熱による方法について

フザリウム オキシスポラムは、土壌伝染性の植物病原菌のなかでも比較的高温耐性が高いことが知られています。これまでの**研究事例等***からは、**太陽熱消毒**などで長期に処理する場合は**45℃以上の温度で死滅が期待できますが、蒸気消毒などの短期間の加熱で消毒する方法では 55℃以上の温度が確実**と考えられます。

また、地表面近くの温度は十分に上昇しても、土壌深部の温度が十分に上昇していない場合があります。土壌深部に病原菌が残存すると、根

が消毒不十分な部位まで伸長した場合や、消毒後の耕起による作土層の再汚染などで被害が生じるおそれがあり、注意が必要です。

なお、本実証例では、蒸気消毒で地下 30 cm の最高地温が 40℃程度の場合に、消毒不十分と見られる被害が生じた事例がありました（静岡県 事例 p.20）。

*参考：竹原（2004）[土壤伝染病談話会レポート 22、22-37](#)

方法の例

- ・太陽熱消毒（本事例集では実施していません）

土壤に灌水後、表面をポリエチレンフィルム（農ポリ）等で被覆して地温を上昇させる方法です。通常、処理期間は 4～6 週間です。日照不足等で地温が上昇しない場合は十分な防除効果が得られません。改良された方法として、稲わらと石灰窒素をすき込むことで生じる発酵熱を併用する方法（太陽熱・石灰窒素土壤消毒法）、畝立てや施肥を行ってから行う方法（宮崎方式）などがあります。

- ・蒸気消毒

蒸気を土壤に注入して地温を上昇させ、消毒する方法です。地温が下がれば栽培可能のため、比較的短期間で作業できます。土質、土壤温度等で必要な蒸気量が変わります。具体的な手順は静岡県の実証例を参照してください（p.19）。

2) 土壤還元消毒による方法

土壤に有機物を混和し、散水後ポリエチレンフィルム等で被覆します。有機物を餌として微生物が急激に増殖し、**嫌気状態（酸素がない状態）**

になることで病原菌が死滅するものと考えられています。消毒期間は、通常**1ヶ月程度**です。地温は直接的な病原菌の死滅をねらったものではなく微生物の活動に必要であり、**30℃以上***が安定して効果が得られる目安とされています。土壌中の**水分**が抜けやすいハウスの端や、**地温**が十分でない深部土壌は消毒が不十分となるおそれがあり、注意が必要です。

*30℃より低い温度で成功した事例もあります。このような条件で実施したい場合は普及センター等を通じて試験研究機関等へ相談の上、実施してください。

方法の例

・米ぬかやふすま等を用いた土壌還元消毒

有機物は米ぬかやふすまなどの粉末状のものを10 aあたり1 t程度散布し、ロータリー等ですきこんだ後に灌水し、土壌表面をビニール等で被覆します。概ね有機物がすき込まれた深さまでが消毒効果が期待できることに注意が必要です。消毒後は耕起してから作畝・作付けを行います。具体的な手順は長野県の実証例を参照してください (p.27)。

・低濃度エタノールによる土壌還元消毒

ここで処理するエタノールは直接的な殺菌効果をねらったものではなく、土壌還元消毒における微生物の餌として用います。エタノールは通常0.5～1.0%程度の濃度に希釈して土壌の表面から灌水チューブ等で均一に流し込み、土壌表面はポリエチレンフィルム等で被覆します。地温が低い場合には、低濃度エタノールの濃度範囲の高めの濃度で実施します。有機物が液体のため土壌深部まで浸透して消毒効果が得られる

ことが期待できます。消毒後は耕起してから作畝・作付けを行います。畝立てした後の処理も実施されています。液体の有機物として、他に廃糖蜜を使った方法などがあります。

還元状態が持続したまま定植した場合には、植え傷みが発生しますので、注意が必要です。余裕をもって作業計画を立てましょう。

詳細についてはマニュアル

(https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/080354.html) や、静岡県の実証例を参照してください(p.17)。

3) クロルピクリン剤利用時の注意点 (被覆について)

クロルピクリン剤は**ガス化**することにより土壌中の病原菌に作用しますが、**被覆が不十分の場合**は大気中に漏洩(ろうえい)して**消毒効果が不安定**となります。また、**強い催涙性、粘膜刺激性**を有するガスのため、**作業者の健康を害する危険性や、周辺住民からの苦情**などにつながるおそれがあります。

ガスの大気中への拡散を防ぐとともに土壌への消毒効果を十分にするため、被覆資材は厚さ 0.03 mm 以上の厚手のもので、穴などがないものを利用してください。また、土壌燻蒸剤の拡散を防止する**ガスバリアー性フィルム**(商品名: バリアスターなど)の利用を検討してください(https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/niases/2016/niases16_s14.html)。

クロルピクリン剤を使用する際は最新の**農薬登録情報を確認**して下さい。

確認先：独立行政法人農林水産消費安全技術センター（FAMIC）

「農薬登録情報提供システム」

http://www.acis.famic.go.jp/index_kensaku.htm

（検索条件）

- ・対象作物名称：「トルコギキョウ」または「花き類・観葉植物」
- ・適用病害虫名称：「立枯病」または「立枯病（フザリウム菌）」

クロルピクリン剤以外の農薬も検索できます。

（参考）トルコギキョウの立枯病に適用のあるクロルピクリン剤または花き類・観葉植物の立枯病（フザリウム菌）に適用のあるクロルピクリン剤は以下になります（令和3年3月1日現在）。

商品名	作物名称	適用病害虫名称	希釈倍数・使用量（抜粋）	使用時期	本剤の使用回数
クロピクテープ	トルコギキョウ	立枯病	<圃場> 110m/100 平方メートル		1回
ソイリーン (クロルピクリン・D-Dくん蒸剤)	トルコギキョウ	立枯病	30 リットル/10a (1穴あたり3ミリリットル)	作付の10～15日前まで	1回
クロールピクリン	花き類・観葉植物	立枯病(フザリウム菌)	<圃場>1 穴あたり2～3ミリリットル		1回
ドロクロール	花き類・観葉植物	立枯病(フザリウム菌)	<圃場>1 穴あたり2～3ミリリットル		1回
ドジョウピクリン	花き類・観葉植物	立枯病(フザリウム菌)	<圃場>1 穴あたり2～3ミリリットル		1回
クロピク80	花き類・観葉植物	立枯病(フザリウム菌)	<圃場>1 穴あたり2～3ミリリットル		1回
クロピクフロー	花き類・観葉植物(きくを除く)	立枯病(フザリウム菌)	30 リットル/10a		1回
ダブルストッパー (クロルピクリン・D-Dくん蒸剤)	花き類・観葉植物(きくを除く)	立枯病(フザリウム菌)	30 リットル/10a (1穴あたり3ミリリットル)	作付の10～15日前まで	1回

4) 畝立後に土壤消毒を行う方法について

消毒後に土壤深部などに病原菌が残存していた場合、ガス抜きや畝立て等の、耕起を伴う作業の際に拡散して、作土層が**再汚染**されるおそれがあります（図4）。

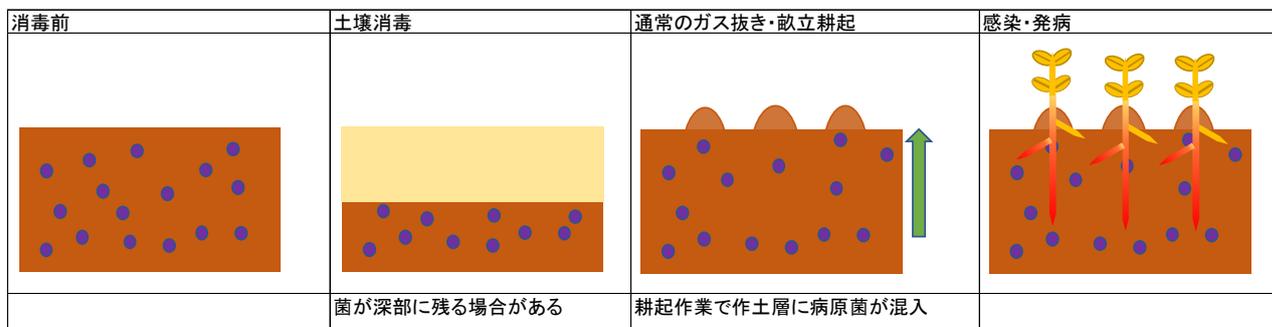


図4 土壤消毒後のガス抜き・畝立耕起による再汚染のイメージ

対策の一つとして、作畝後、畝内土壤を中心に土壤消毒を行い、耕起せずに作付けする方法があります。

本事例集では

- ・蒸気消毒を用いた事例（静岡県、p.19）
- ・クロルピクリン剤を用いた事例（長野県、p.29）を紹介しています。

他の例として、クロルピクリン剤のマルチ畦内同時消毒機による方法

[（http://chloropicrin.jp/fm/saishin.html）](http://chloropicrin.jp/fm/saishin.html)

クロピクフローの畝立て後処理

[（ https://www.nipponkayaku.co.jp/media/pdf/agro/pc/products/pdf/43_chlopicflow_termsfuse.pdf ）](https://www.nipponkayaku.co.jp/media/pdf/agro/pc/products/pdf/43_chlopicflow_termsfuse.pdf) などがあります。

(2) 土壌 pH 矯正

1) 石灰質肥料による土壌 pH 矯正について

以前よりフザリウム オキシスポラムによる土壌伝染性病害の耕種的対策の一つとして、石灰質肥料による土壌 pH の矯正が知られています。土壌 pH が高くなるにつれて被害が減少する傾向がありますが、**一般的な石灰質肥料**である 消石灰、炭酸カルシウム等では微量元素欠乏症のおそれがあるため**上限が pH6.5 程度**とされています（下記参考資料*）。

2) 転炉スラグを原料とする石灰質肥料の利用

微量元素を豊富に含む転炉スラグを原料とする石灰質肥料では、土壌 **pH を 7.5 程度**に矯正しても微量元素欠乏症は生じないため、フザリウム オキシスポラムによる土壌病害の被害軽減に有効なことがいくつかの作物で示されています。

転炉スラグによる土壌 pH 矯正で土壌病害の被害軽減を行う場合、pH メータを用いて土壌緩衝能曲線を作成し、目標となる pH(例えば 7.5)までに必要な転炉スラグ肥料の量を正確に把握して投入する必要があります。具体的な方法については下記参考資料*を参照してください。

*参考資料：「転炉スラグによる土壌 pH 矯正を核とした土壌伝染性フザリウム病の被害軽減技術 -研究成果集-」

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/archive/laboratory/tarc/material/056110.html

本事業では転炉スラグによる土壌 pH 矯正をフザリウム オキシスポラムによるトルコギキョウ立枯病発生圃場で実施したところ、生産物の品質に影響はなく土壌消毒（クロルピクリン剤、土壌還元消毒、蒸気消毒）との併用に問題がないことを確認しました。ただし、現地圃場を用い

た比較試験では、pH 矯正単独の被害抑制効果は明確ではありませんでした（長野県事例、p.33）。したがって、**本病発生圃場への対策としてはまず適切な土壤消毒を第一の選択肢**としてください。

（3）品種と栽培管理について

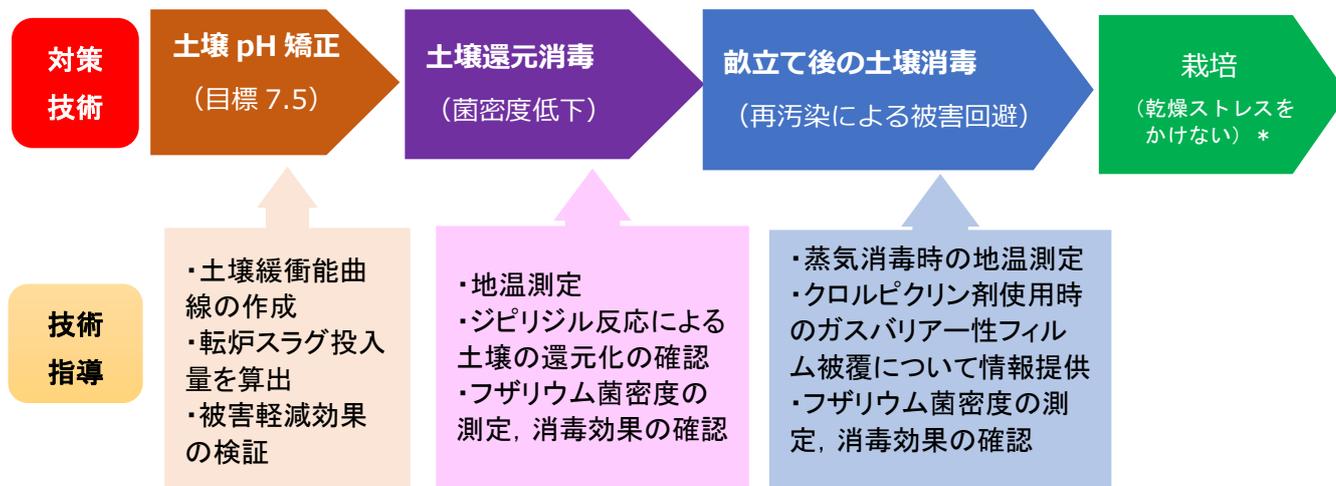
- ・トルコギキョウでは現在、立枯病に強い「抵抗性品種」や「耐病性品種」は市販されていませんが、発病の程度に品種間差が認められます（長野県事例、p.34）。今後は品種の立枯病感受性（発病しやすさ）について整理が進むことで、発生圃場で弱い品種の作付けを避ける等の対策につながることを期待されます。
- ・他の作物で言われていることですが、窒素肥料を多用すると発病が助長されるので施肥管理を適切に行いましょう。
- ・未熟堆肥、あるいはC/N比の低い未分解有機物を施すとフザリウム属菌の土壤中の密度を増加させるおそれがあります。
- ・湿害、干害、塩類による濃度障害、土壤害虫や線虫などによる根傷みはフザリウム属菌の感染を助長して、発病に結びつくので根に傷を付けないよう栽培管理に十分注意しましょう。
- ・発蕾以後に極端に灌水を減らす「水きり」は発病（萎れ）を助長します。収穫まで適当な灌水を継続して健全な成長と開花となるように管理しましょう。

4. 対策技術の組み合わせ

本事業の実証地は、過去に立枯病による激しい被害が生じていたことから、複数の対策技術を組み合わせた被害軽減を検討しました。また、それぞれの対策技術が的確に実施されたかの**確認を技術指導者が行いました。**

前提	対策
<ul style="list-style-type: none"> ・実証現地圃場ではフザリウムオキシスポラムを原因とする立枯病により激しい被害が生じていた。 ・土壌消毒を実施したが効果が得られなかった。 	<ul style="list-style-type: none"> ・転炉スラグを用いた土壌 pH 矯正を行う。 ・作土層全体の菌密度低下をねらって土壌還元消毒を行う。 ・残存した病原菌による被害を防ぐため、畝立て後の消毒（クロルピクリン剤あるいは蒸気消毒）を行う。

作業のながれと技術指導者（農業研究センター・普及センター等）の役割



* 病害を恐れた過度の灌水制限により、立枯病と誤認される萎れや障害が生じた事例（図5）があることから、本事例では過度に水分ストレスをかけないように灌水しました。



図5 下位葉先端からの枯死
フザリウム菌不検出、灌水量増により上位葉は障害発生せず。

5. 実証事例

(1) 暖地促成作型 静岡県農林技術研究所担当

所在地：静岡県 静岡市

施設規模：250坪=8.3a（2連棟）

土質他：暗渠既設、水はけ良好

		1 作目						2 作目 (実証対象)			
		土壌還元消毒		畝立後消毒	高温期定植	立枯症状		畝立後消毒	低温期定植	出荷率	
2016	転炉スラグ 施用 pH7.5	なし	耕起 作畝	蒸気	秋出荷作型	なし	耕起 作畝	蒸気	春出荷作型	不明	
2017	転炉スラグ 施用 pH7.8	なし	耕起 作畝	蒸気	秋出荷作型	なし	耕起 作畝	蒸気	春出荷作型	40%	
2018 プロジェクト開始	pH7.5 以上 確認	フスマ還元消毒 (還元確認済) 周辺住民の苦情で 以後実施不能	耕起 作畝	蒸気 7月	2 作区	秋出荷 作型	なし	耕起 作畝	11月 蒸気 昇温不十分	春出荷作型 11/20定植	40~60%
					1 作区	作付なし (10月下旬の定植まで表面被覆)			春出荷作型 11/20定植	90%	
2019	pH7.5 以上確認	低濃度エタノール還元消毒 (還元確認) 臭気少	耕起 作畝	蒸気 9月下旬	土壌表面をビニール被覆				春出荷作型 10/25定植	90%以上	

作業工程の概要

ポイント

- ・ 作土層全体の菌密度低下をねらって土壌還元消毒を導入。
- ・ 地温が十分上がる 7~9 月に蒸気消毒を実施。
- ・ 秋出荷作型をやめて 3 月出荷とその二番花を狙った作型に変更。
- ・ 水分ストレスをかけないよう灌水管理を行う。

ただし、灌水量が多すぎると別の土壌病害（*Pythium* 菌による根腐病など）が発生しやすくなるため診断して対処。

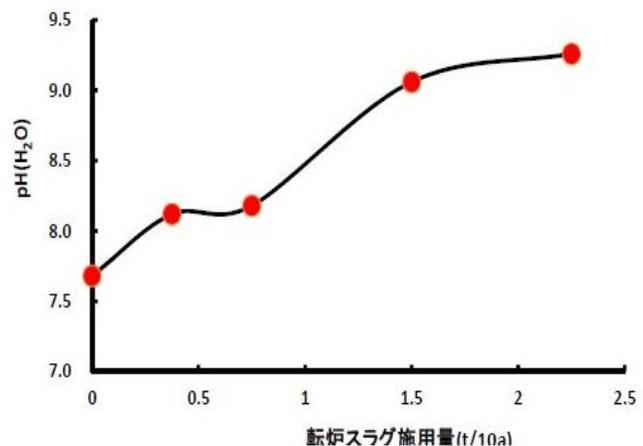
1) 転炉スラグによる土壌 pH 矯正

2016 年

- ・ pH7.5 を目標として 1,200 kg/10 a を投入した。
- ・ 2015 年度の作付けが終了した後の土壌を採取し、土壌緩衝能曲線を作成し、転炉スラグ投入量を決定した。なお、pH 矯正する作土の深さは 20 cm として計算した。

2017 年

- ・ pH7.8 を目標に 100 kg/10 a を投入した。
- ・ 2016 年度の作付けが終了した後の土壌を採取し、土壌緩衝能曲線を作成し、投入量を決定した。



2018 年、2019 年

- ・ 作付け前に土壌 pH を確認し、pH7.5 以上であることを確認したため、追加しなかった。

図 1 転炉スラグ施用量決定のための緩衝能曲線 (2017 年度作成)

2) 土壌還元消毒

2016 年、2017 年

- ・ 実施していない。

2018 年

- ・ ふすまを用いた土壌還元消毒を実施。

【具体的な作業手順】

- ・ 前作終了後に、トルコギキョウの根を含めできるだけ残渣を残さず除去する。

・ふすま 800 kg / 8.3 a を投入し、圃場に混和した。その後、十分に灌水し、ビニルフィルムで被覆した。ハウスを締め切りにして、3 週間被覆状態を維持した（被覆期間 6 月 10 日～7 月 2 日）。

・被覆とハウス締め切り期間の終了後、ジピリジル溶液を用い、地中 30 cm まで還元状態になったことを確認した。

・なお、この圃場は住宅地に隣接していたため消毒期間中に生じた還元臭が問題となった。また、ふすまは窒素成分を含むため、窒素分を減らした施肥設計とした。

2019 年

・**低濃度エタノールを用いた土壌還元消毒**を実施。

【具体的な作業手順】

・前作終了後に、トルコギキョウの根を含めできるだけ残渣を残さず除去し、残渣除去後は耕起しておく。

・エタノールが外部に漏れて消毒効果が不十分にならないよう、事前に暗渠排水口を塞いだ後に消毒を実施した。

・灌水チューブを設置、チューブごとビニルフィルムで被覆した（図 2）。

・エタノール資材（エコロジアール、480 L / 250 坪）をエタノール濃度 0.7-0.8 % に希釈後、灌水チューブから散布した。



図 2 土壌還元消毒の様子（8 月 20 日）

・8月21日より3週間は被覆したままハウスを締め切った状態を維持した。なお、2020年の同様の時期に地温を測定し、深さ30cmで40℃を超えることを確認した(図3)。

・被覆とハウス締め切り期間の終了後、ジピリジル溶液を用い、地中30cmまで還元状態になったことを確認した(図4)。

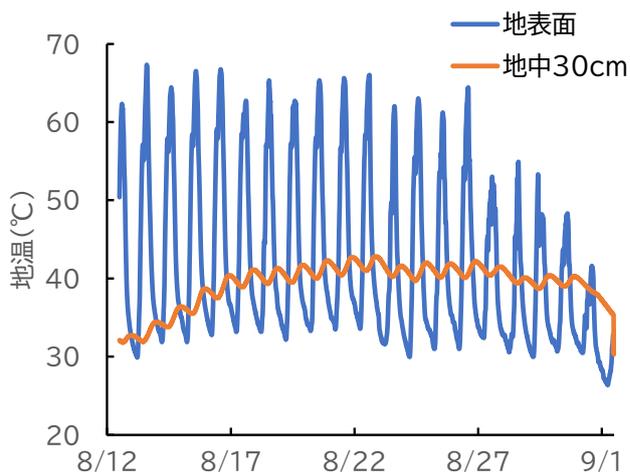


図3 (参考) 2020年に実施した低濃度エタノールによる還元消毒時の地表および地中温度の推移

(2020年8月12日~8月31日)



図4 ジピリジル溶液噴霧後の土壌断面(還元処理終了後)

技術指導者 向け情報

ジピリジル溶液の作り方と使用目的

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、還元状態を判定する。

α - α' ジピリジル試薬 1 g を 10% (v/v) 酢酸溶液 500 ml に溶かして作成。土壌断面に溶液を噴霧後、土壌が還元化していれば数分以内に赤色となる。色の濃さから還元の強弱を判断できる(還元が弱かった例は長野県事例 p.28)。

3) 畝立て後の消毒

2016、2017年

・低温期作型の前に、10月出荷を狙って7月定植の高温期作型を実施していた。高温期作型の作付け前には蒸気消毒を実施しており、大きな被害は確認されていなかった。

・低温期作型の作付け前には**11月に蒸気消毒**を実施していたが、被害が生じていたとのこと（聞き取り）。高温期作型後は、根の残渣で増殖している病原菌に対して、蒸気消毒による地温上昇が十分でなく、被害が生じていた可能性が考えられた（2018年の結果からも推定される）。

2018年

・低温期作型の前に行う蒸気消毒において、フザリウム オキシスポラムへの効果が期待できる地温を確保するため、高温期作型を取りやめ、**7月に蒸気消毒**を実施した。

・なお、前年までと同様に高温期作型を実施した区を設けて被害の発生状況を比較した。

【具体的な作業手順】

畝立て後にパイプを畝上に置き、2畝まとめてビニルフィルムで被覆して畝面から4時間蒸気を送る方法で実施した。

地温調査は、蒸気消毒時の蒸気パイプ噴出し口の近辺（上流部）と下流のそれぞれ地中10cmと30cmの温度を調査した（上流と下流の間隔は40m）。

7月に実施した蒸気消毒では、地中30cmの地温が畝上流では60℃以上を8時間以上、畝下流では50℃以上を12時間以上維持していた（図5左）。

11月に実施した蒸気消毒では、地中30cmの最高地温は畝上流では50℃、畝下流では地温40℃であった（図5右）。

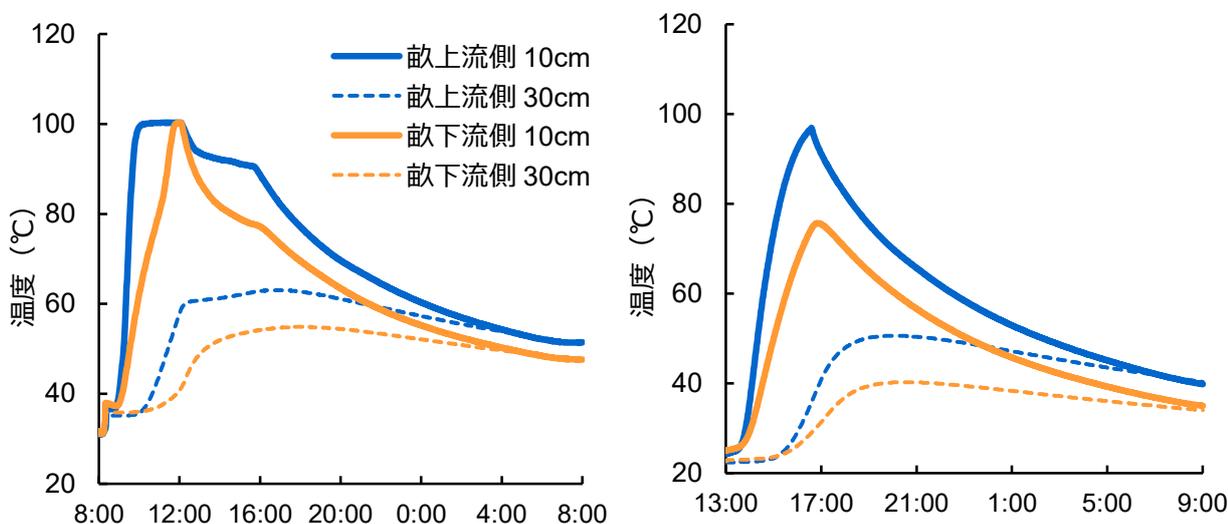


図5 蒸気消毒時の地温変化の推移

左：2018年7月6日、右：2018年11月16日調査、凡例は共通

2019年

- ・蒸気消毒は9月25日に実施した。畝立て後にパイプを畝上に置き、2畝まとめてビニルフィルムで被覆して畝面から4時間蒸気を送る方法で実施した。

- ・蒸気パイプ上流および下流ともに地中10cmの地温は80℃に達していた（図6）。下流の地中30cmにおいても50℃以上を3時間維持していた。

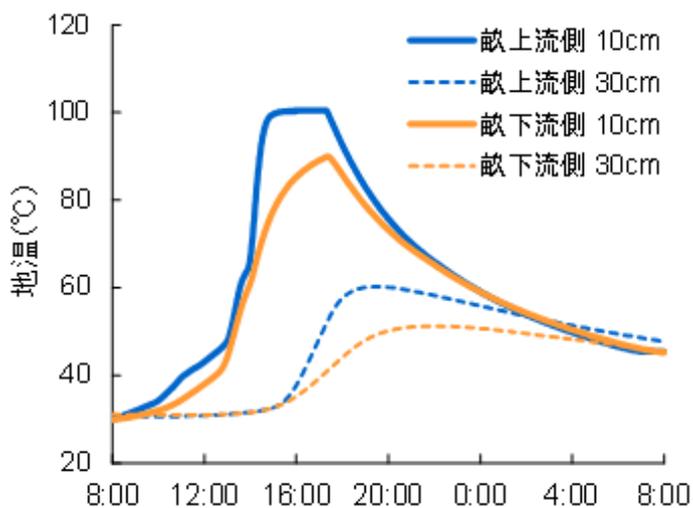


図6 蒸気消毒時の地温変化の推移
(2019年9月25日調査)

4) フザリウムの菌密度の推移 (2019-2020年)

・ハウス内6か所の地中10-20cmの土壌を採集し、フザリウム オキシスポラムと、フザリウム ソラニの2種の菌密度*を測定した(アグロカネショウ株式会社 <https://www.agrokanesho.co.jp/soil/index.html> に解析を委託)。

・フザリウム オキシスポラムについて、前作終了直後における菌密度は非常に高かったが、土壌還元消毒後および定植前(蒸気消毒終了後)の菌密度は大幅に低下し、多くの地点で検出限界以下であった(図7)。

・一番花の収穫終了後(5月中旬)においても、菌密度は低いままであったが、二番花の収穫終了時(作付終了時、7月下旬)には菌密度が上昇していた。このことから次期の作付け前には土壌消毒が必要と考えられる。

・フザリウム ソラニは調査した5回とも検出されなかった、もしくは非常に低い密度であった。

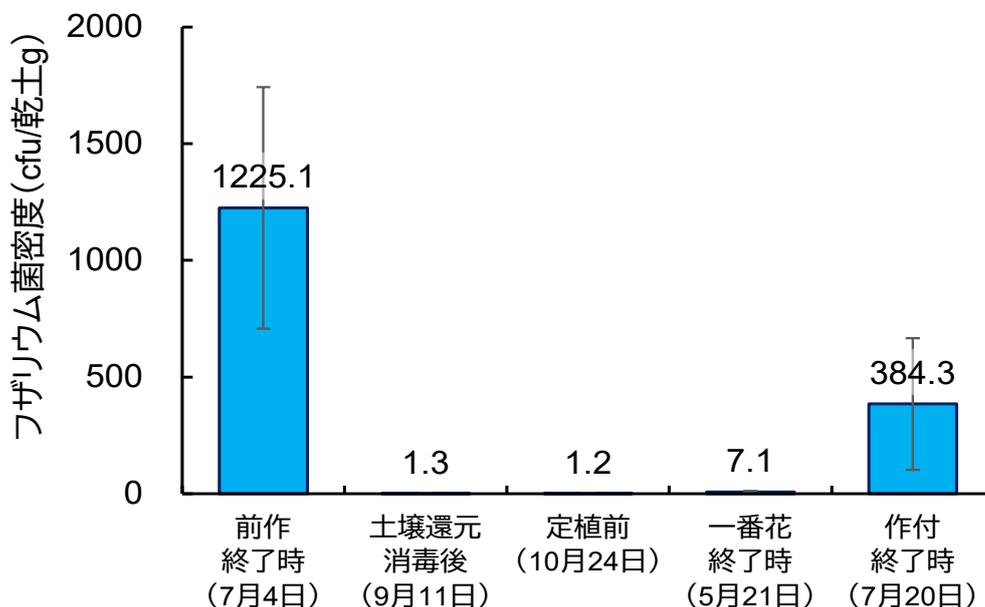


図7 フザリウム オキシスポラム菌密度の推移
(2019-2020年の作付け、日付はサンプル採取日)

* (注意) 菌密度の測定結果には環境中に生息する非病原性フザリウムも含まれており、この数値が圃場における発病の危険性と一致しない場合があることに留意が必要です。

5) 土壌 pH について (2019-2020 年)

・毎月 1 回程度、ハウス内 6 か所の地中 10-20 cm の土壌を採集し、土壌 pH を測定した。土壌 pH は定植から収穫時まで 7.5 以上を維持していた (図 8)。

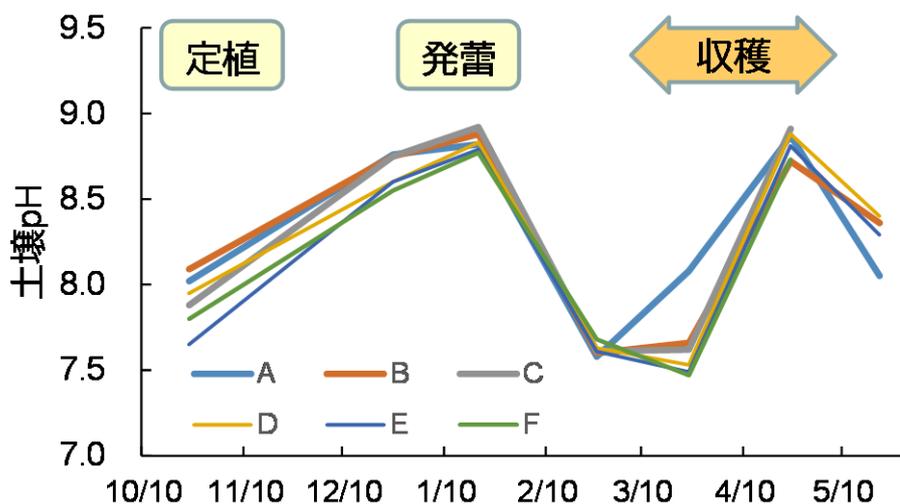


図 8 栽培期間中の土壌 pH の推移 (2019-2020 年の作付け)

6) 立枯病被害について (2019-2020 年)

・「セブレリッチホワイト」と「セレブピンク」の 2 品種について、立枯病による枯死株数を調査した。

・収穫期における立枯病による枯死株率は、「セブレリッチホワイト」は 0%、「セレブピンク」は 2.5%であった (表 1、図 9)。

表 1 収穫期におけるトルコギキョウ品種別の立枯病発生株数と発生率

(2019-2020 年の作付)

品種	発生株数 ^z (調査区)			発生率 (%)
	I	II	III	
セブレリッチホワイト	0	0	0	0.0
セレブピンク	3	0	0	2.5

^z 各区40株を調査



図9 左「セレブリッチホワイト」、右「セレブピンク」の開花状況

2020年4月9日撮影

・生産者への聞き取りでは、「セレブリッチホワイト」のJA市場出荷率は87%、直売所へのお荷率は約10%であり、合計のお荷率は90%以上であった。

・4月に収穫後、切り株を残して二番花収穫に向けて栽培したところ、7月上旬のお荷期においても立枯病を発症する株はみられなかった(図10)。



図10 「セレブリッチホワイト」二番花の開花時の様子

(2020年7月16日撮影)

7) 経営評価

立枯病総合対策（転炉スラグによる土壌 pH 矯正+低濃度エタノールによる土壌還元消毒+畝立て後の蒸気消毒）の実施により、出荷率が 70%から 90%に改善したとして、経済性を試算した（表 2）。必要経費を計上しても農業所得は現状の 2 倍以上に改善するとの結果が得られ、立枯病対策の経営上の重要性が明らかとなった。

表 2 静岡県 3 月出荷作型での立枯病総合対策導入による経済性の評価
(10a 当たり)

項目		現状	立枯病総合対策	備考
粗収益	出荷本数	21,000	27,000	
	平均単価	180	180	単価据え置き
	出荷率	70%	90%	立枯病総合対策により出荷率20%増加
	計	3,780,000	4,860,000	
経営費	種苗費	112,500	112,500	
	肥料費	49,749	62,398	転炉スラグ追加
	農薬費	56,252	230,713	土壌消毒用エタノール追加
	光熱動力費	643,836	809,126	重油(蒸気消毒)追加
	その他諸材料費	150,863	150,863	
	諸経費	1,315,005	1,362,807	蒸気消毒償却分機追加
	出荷販売経費	712,969	915,910	出荷本数増加
	雇用労賃	377,739	453,943	出荷作業時間増加
	計	3,418,912	4,098,260	
農業所得		361,088	761,740	
(対現状%)			211%	
所得率%		10	16	

8) その他

・これまでに、土壌中のリン酸が過剰になるとフザリウム オキシスポラムによる土壌病害が助長されるとの試験結果*があります。一般的な適正施肥の観点からも、リン酸過剰とならないような施肥設計を心がけてください。

・消毒前に畝立てを行うなど、土壌消毒後になるべく土を動かさずに済むよう工夫しましょう。

・栽培前には支柱や灌水チューブなどの栽培資材の消毒をしましょう。

*参考：後藤（2016）肥料化学 38、 49-78

5. 実証事例

(2) 高冷地抑制作型 長野県野菜花き試験場担当

所在地：長野県 松本市

施設規模：77 坪=2.5 a 2 棟

土質他：深耕による土づくりの励行により作土は 60 cm ほど。水はけも良い。

作業工程の概要

ハウスA 転炉スラグ深耕 (55 cm)処理

出荷率

2017 開始前			耕耘・作畝	クロルピクリン剤 (錠剤*) 畝内消毒	秋出荷作型	0%
*2021年2月現在適用なし						
2018 プロジェクト開始	土壤還元消毒 (還元未確認)	耕耘	転炉スラグ施用	耕耘・作畝	秋出荷作型 8/2定植	0%
2020 3年目	pH確認 (スラグ効果継続)	土壤還元消毒 鎮圧実施 (還元確認)	耕耘・作畝	クロルピクリン剤 畝内消毒7/15 ガスバリアー性 フィルム被覆	秋出荷作型 7/28定植	90%以上 達観評価

ポイント

- ・鎮圧や耕耘深を注意することにより土壤還元消毒の安定性を確保。
- ・ガスバリアー性フィルムを使用してクロルピクリン剤による畝内消毒効果の安定性確保。
- ・転炉スラグによる土壤 pH 矯正の立枯病抑制効果については（参考 1）として後述。

1) 転炉スラグを用いた土壌pH 矯正

2018 年 (初期投入)

・現地土壌の緩衝能曲線を作成し、作土 55 cm 深を pH7.5 に矯正するのに必要な転炉スラグの量を算出した。

・7月11日に転炉スラグ 10 t/10 a 施用し 55 cm 目標で深耕。

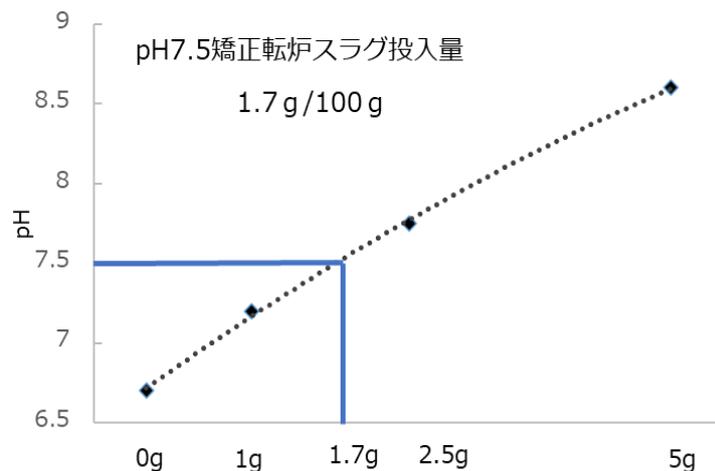


図1 転炉スラグ施用量を決める緩衝能曲線

2020 年 (追加投入)

・前年まで土壌 pH は 8.2 程度と高い値を維持していたが、2020 年の作付け前には土壌 pH が 7.3 に低下していたため、転炉スラグを追加投入し土壌 pH7.6 に矯正した。

2) 全面土壌消毒

・米ぬかを用いた土壌還元消毒

2018 年 (失敗事例)

・米ぬかを用いた土壌還元消毒を実施したが、その後に転炉スラグ施用のため消毒後に 55 cm 深の耕起を実施したところ、消毒の効果が得られなかった。

2020 年

・米ぬか 15 kg×15 袋を施用し、ほ場内へ均一にいきわたるようにしっかりと 25 cm 深まで混和した。



図2 鎮圧後の様子

・土壌還元消毒は消毒期間中に土壌が乾燥すると効果が劣るので、ほ場の保水性を高めるためにハウス内をトラクターで走行し、鎮圧を行った（図2）。ハウスの周縁部は乾きやすいため、念入りに鎮圧した。

・用水から水を引き入れ、ハウス内を湛水状態にした後フィルムを被覆し、ハウスを閉め切って5月11日から1か月間土壌還元消毒を実施した。

・地温調査は、ハウス中央部の深さ15 cm、30 cmおよび、周縁部（側部）の深さ15 cmの温度を計測した（図3）。

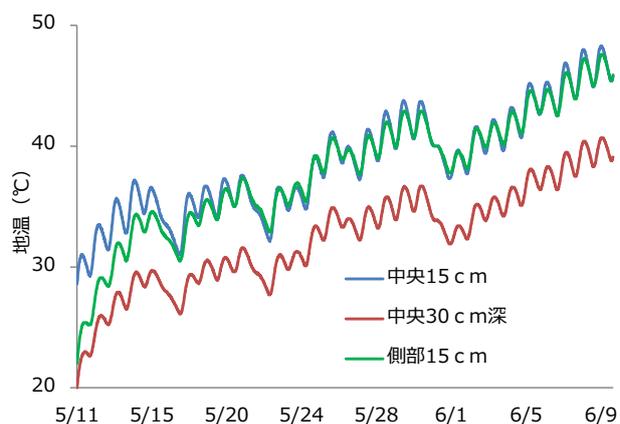


図3 還元消毒期間の地温の推移（2020年）

・土壌還元消毒終了時にジピリジル溶液を用い、ハウス中央部では地中30 cmまで還元状態になったことを確認した。ただし、周縁部では着色が弱かったため、できるだけ周縁部を避けて耕起した（図4）。



図4 ジピリジル溶液噴霧後の土壌断面（還元処理終了後）
ハウス中央部（左）は赤い着色が確認されるが、周縁部（右）は着色がほとんど見られない。

・土壌還元消毒終了後は耕起（25 cm 深）を行い、畝立てとマルチ（植穴なし）を展張し、フラワーネットの設置を行った。

3) 畝立て後の消毒

2017年（失敗事例：プロジェクト開始前）

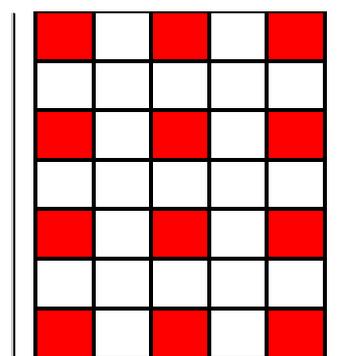
試行的にクロルピクリン剤（錠剤*）を用い、マルチを被覆材として畝内土壌を消毒したが、防除効果は得られなかった。

*（注意）2021年2月現在でトルコギキョウ立枯病に適用はない。

2018年 行っていない

2020年

・クロルピクリン剤をマルチで被覆した畝内にフラワーネットを目印に、図5に示すように1穴あたり2.5ml 灌注した。



・処理終了後は速やかにマルチの上から**ガスバリアー性フィルム**でハウス全面を被覆して効果の安定化を図った。

図5 クロルピクリン剤の灌注位置

畝幅60cmに12cmマスのフラワーネットを設置した状態。赤位置に2.5ml 灌注

4) 発病推移

2018年（土壌還元消毒の失敗）

・土壌還元消毒後に転炉スラグによる土壌pH矯正を実施したが、定植初期から生育不良となり、維管束の褐変が観察され（図6）、フザリウム オキシスポラムの感染が確認された。



図6 初期生育不良株の茎基部断面
2018年10月撮影

・土壌還元消毒の効果が得られなかった理由として、土壌pH矯正のための55cm深の深耕が、**消毒不十分な深部土壌の病原菌による再汚染**を招いたと考えられる。また、

水はけがよくハウス端が乾燥しやすいことも消毒不十分につながった可能性がある。

・フザリウム菌の密度が高い圃場でトルコギキョウを栽培する場合、転炉スラグによる土壌 pH 矯正のみでは被害の軽減が困難と考えられた。

2020 年

・土壌 pH を維持するため転炉スラグを追加で混和した後、**土壌還元消毒**の際はハウス内土壌を**鎮圧**するとともに、実施後の耕起深を消毒効果が期待できる米ぬか混和深度の 25 cm 深程度にとどめた。そのうえで畝立て後に**クロルピクリン剤**を用いた消毒を行い、**ガスバリアー性フィルムによる被覆**を実施した。

・これらの対策を組み合わせの結果、生育後半まで発病株は少なく推移し（図 7）、出荷率は 90%以上まで回復した。



図 7 2020 年 11 月の実証ハウスの状況

5) フザリウム菌密度の推移 (2020年)

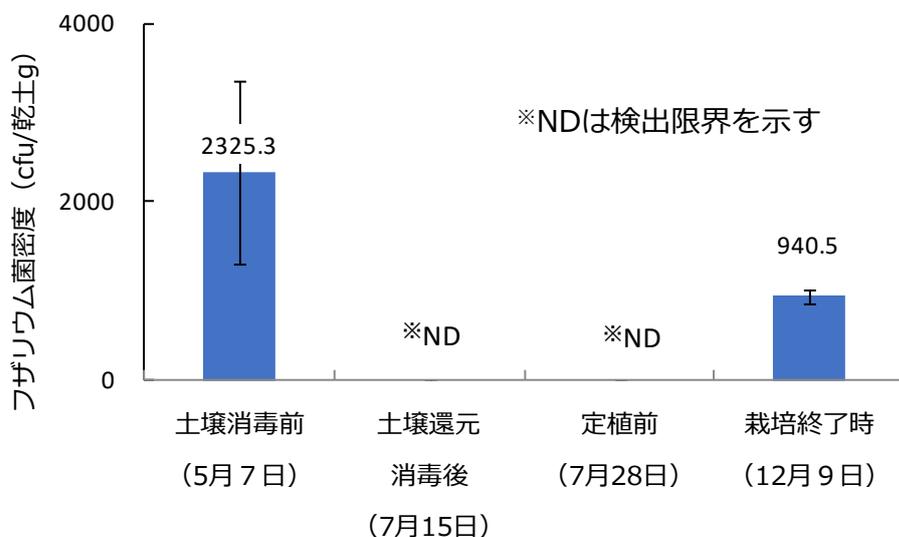


図8 フザリウム オキシスポラム菌密度の推移 (日付はサンプル採取日)

- ・フザリウム オキシスポラムの**菌密度***は、土壌還元消毒後に検出限界以下まで低減し、クロルピクリン剤処理後の定植前も同様であった (図8)。
 - ・フザリウム菌密度の低下を確認したことにより、土壌消毒方法が適切であると判断することができた。
 - ・栽培終了後は消毒前と同程度まで菌密度が増加しており、消毒効果は1作限りと考えられた。
 - ・本事例のように土壌消毒を行っても立枯病が発生する圃場については、作付け前に余裕をもって土壌還元消毒を実施し、菌密度の低下が見られないようであれば、工程や資材の見直しを行って再度、土壌還元消毒等を実施していただきたい。
- * (注意)** 菌密度の測定結果には土壌中に生息する非病原性フザリウムも含まれており、この数値が圃場における発病の危険性と一致しない場合があることに留意が必要です。

6) 経営評価

立枯病総合対策（転炉スラグによる土壌 pH 矯正+米ぬかによる土壌還元消毒+クロルピクリン剤による畝立て後の土壌消毒）の実施により、出荷率が70%から90%に改善したとして経済性を試算した（表1）。必要経費を計上しても農業所得は現状の1.5倍以上に改善するとの結果が得られ、立枯病対策の経営上の重要性が明らかとなった。

表1 長野県10月出荷作型での立枯病総合対策導入による経済性の評価
(10aあたり)

項目	現状	立枯病 総合対策	備考
粗収益	3,548,160	4,561,920	
出荷本数	19,712	25,344	
平均単価	180	180	単価据え置き
出荷率	70%	90%	出荷率20%向上と仮定
項目			
種苗費	619,520	619,520	
肥料費	51,564	199,104	転炉スラグ追加
農薬費	82,371	82,371	クロルピクリン剤は共通
光熱動力費	95,272	95,272	
その他諸材料費	91,460	166,370	ガスバリア性フィルム追加
償還費共済保険修繕費	869,399	869,399	
出荷販売経費	804,377	1,019,713	出荷本数増加
計	2,613,963	3,051,749	
農業所得	934,197	1,510,171	
(対現状%)	-	162%	
所得率	26%	33%	

(参考1) 土壌消毒と土壌pH矯正の併用によるトルコギキョウ立枯病抑制効果

1. ねらい

土壌消毒に加えて転炉スラグによる土壌pH矯正を併用した場合の被害抑制効果を把握する。

2. 試験内容

- ・2019年、2020年の2カ年実施。
- ・ハウスA (p.27) と隣接するトルコギキョウ立枯病の自然発生ハウス (ハウスB) 内に、転炉スラグ施用区と無施用区 (それぞれ2反復) を設定 (図1)。
- ・施用区には目標pH7.5、矯正深度25cmとして転炉スラグ (てんろ石灰) を5,000 kg/10aを投入した (矯正前の土壌pHは6.4)。2020年の作付け前にスラグ処理区の土壌pHを確認したところpH7.3まで低下していたため、転炉スラグを追加投入した。
- ・2か年とも作付け前に土壌還元消毒とクロルピクリン剤による畝立て後の土壌消毒を実施した。

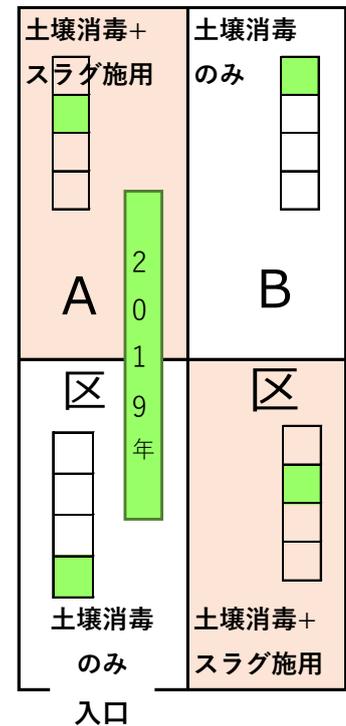


図1 ハウスBのスラグ施用と試験区の設置状況

単棟ハウス (2.5a) 畝4条、黄緑色は品種「アンバーダブルモヒート」の調査位置。2019年は中央部反復無し、2020年は4カ所2反復。

3. フザリウム菌密度について

- ・ハウス内4か所の地中10-20cmの土壌を採集し、フザリウム オキシスポラムとフザリウム ソラニの2種の菌密度を測定した (アグロカネショウ株式会社に解析を委託)。
- ・フザリウム オキシスポラムについて、土壌消毒前の菌密度は非常に高かつ

たが、土壌還元消毒後および定植前（クロルピクリン畦内処理終了後）の菌密度は大幅に低下し、多くの地点で検出限界以下であった（図2）。

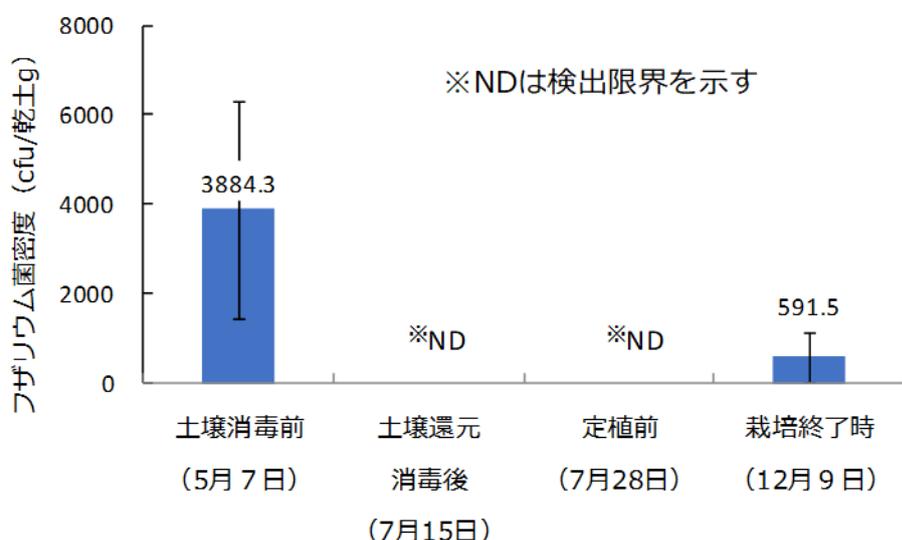


図2 フザリウム オキシスポラム菌密度の推移（日付はサンプル採取日 2020年）

4. 立枯病被害について

・「レイナⅡ型ホワイト」、「ボヤージュⅡ型ブルー」、「セレブリッチホワイト」、「ハピネスホワイト」、「アンバーダブルモヒート」について、立枯病による枯死株数を調査した（表1、表2）。

表1 土壌消毒とpH矯正の併用が枯死株率に及ぼす影響（2019年）

試験区	品種	調査数 ¹⁾	枯死株数		枯死株率 (%)
			A区	B区	
土壌消毒 + pH矯正	レイナⅡ型ホワイト	52	6	2	7.7
	ボヤージュⅡ型ブルー		1	1	1.9
	セレブリッチホワイト		1	0	1.0
	アンバーダブルモヒート		25	-	7.0
土壌消毒のみ	レイナⅡ型ホワイト	52	9	1	9.6
	ボヤージュⅡ型ブルー		5	1	5.8
	セレブリッチホワイト		0	1	1.0
	アンバーダブルモヒート		119	-	32.3

1) 調査区毎の株数



図3 「アンバーダブルモヒート」の土壌消毒+ pH 矯正区（左）と土壌消毒のみの区（右）の状況 2019年10月

表2 土壌消毒とpH 矯正の併用が枯死株率に及ぼす影響（2020年）

試験区	品種	調査数 ¹⁾	枯死株数		枯死株率 (%)
			A区	B区	
土壌消毒 +pH矯正	レイナII型ホワイト	20	0	1	2.5
	ボヤージュII型ブルー		0	0	0
	セレブリッチホワイト		0	0	0
	ハピネスホワイト		0	0	0
	アンバーダブルモヒート		8	12	50.0
土壌消毒のみ	レイナII型ホワイト	20	1	1	5.0
	ボヤージュII型ブルー		0	0	0
	セレブリッチホワイト		2	0	5.0
	ハピネスホワイト		0	1	2.5
	アンバーダブルモヒート		1	15	40.0

1)調査区毎の株数

5. まとめ

・調査した5品種のうち、特に「アンバーダブルモヒート」は土壌消毒を実施した条件下でも枯死株率が高い傾向があった。

・2019年において、立枯病の被害を受けやすいと考えられる品種「アンバーダブルモヒート」の枯死株率が、土壌消毒+転炉スラグによる土壌pH 矯正区で抑制された（表1、図3）。

・ただし、2020年では、「アンバーダブルモヒート」は調査区 A の土壌 pH を矯正した区で土壌消毒のみの区よりも枯死株率が高くなり、効果は判然としなかった（表 2）。

・他の品種では、土壌消毒によって枯死株数が少ない条件下であったが、2 年とも土壌 pH 矯正区で枯死株率がより低くなる傾向が見られた。ただし、その抑制効果は大きなものではなかった。

・これらの結果からトルコギキョウ立枯病対策において、**土壌消毒に土壌 pH 矯正を併用することによる大きな効果は期待できず、本病発生圃場での対策としてまずは適切な土壌消毒の実施が必要**と考えられた。

(参考2) 転炉スラグ施用による輪作品目（ストック）への影響把握

(長野県野菜花き試験場 県単事業)

- ・代表的な輪作品目であるストックについて、高 pH 土壌でも栽培可能か調査した。
- ・全区とも生育は概ね良好で、転炉スラグ 80 g/L 施用区 (pH : 8.3) においても障害の発生は見られなかった。ストックでは転炉スラグ施用による生育への影響は小さいと考えられた。

表 転炉スラグ施用量と定植時の pH 及び収穫終了後の pH、EC

施用量 (g/L)	定植時 pH	収穫後 (11/4)	
		pH	EC (mS/cm)
0	6.9	5.9	0.75
10	7.0	6.6	0.61
20	7.3	6.9	0.91
40	7.7	7.7	0.64
80	8.1	8.3	0.73

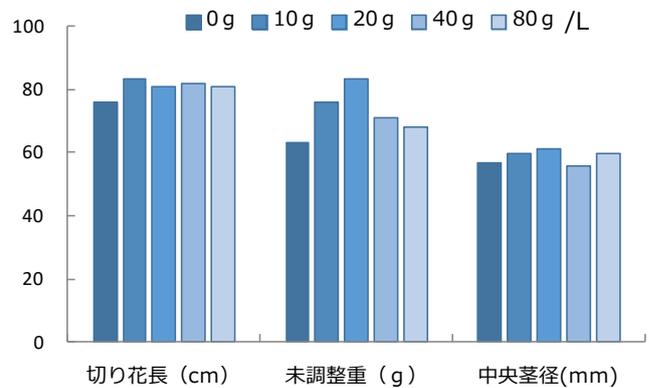


図 転炉スラグ施用量とストック切り花形質との関係

耕種概要

試験区：転炉スラグ（ミネカル）0、10、20、40、80 g/L の5水準
 培土：畑土 10 L・9.2kg/プランター
 元肥：エコロング 413-100：4 g/L、硫マグ：2 g/L
 定植：8月5日、5株/プランター
 品種：ストック「アイアンホワイト」
 追肥：8月24日・プロミック中粒（12-12-12）、5個/プランター

参考文献等

- ・トルコギキョウ立枯病

吉松英明・藤永真史（2011）トルコギキョウ立枯病，農業総覧花卉病害虫診断防除編，農山漁村文化協会，追録 10 号 3 巻，pp. 21-24

- ・熱水土壤消毒の原理と効果

竹原利明（2004）土壤伝染病談話会レポート 22,22-37

- ・低濃度エタノールを利用した土壤還元作用による土壤消毒 実施マニュアル (第 1.2)

https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/080354.html

- ・土壤くん蒸効果を向上させ現場ニーズに応えるガスバリアー性フィルム

https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/4th_laboratory/niaes/2016/niaes16_s14.html

- ・クロルピクリン剤のマルチ畦内同時消毒機による方法

<http://chloropicrin.jp/fm/saishin.html>

- ・クロピクフローの畝立て後処理

http://www.greenjapan.co.jp/cropiku_f.pdf

- ・転炉スラグによる土壤 pH 矯正を核とした土壤伝染性フザリウム病の被害軽減技術 -研究成果集-

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/archive/laboratory/tarc/material/056110.html

- ・園芸土壤のリン酸過剰がもたらす弊害とその対策

後藤逸男（2016）肥料化学 第 38 号 49-78

執筆者

- 1 - 4 農研機構東北農業研究センター 永坂 厚
農研機構野菜花き研究部門 福田 直子
- 5 (1) 暖地促成作型 静岡県農林技術研究所 岩崎 勇次郎
- 5 (2) 高冷地抑制作型 長野県野菜花き試験場 佐藤 憲二郎

謝 辞

トルコギキョウの実証栽培にご協力いただきました、静岡市農業協同組合
および、遠藤正樹様に深く感謝いたします。



本研究は生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」の支援を受けて行った。

課題番号：k304

課題名：高温環境等を克服して日本品質を周年安定生産

研究コンソーシアム名：経営体（環境克服生産）コンソーシアム

実施期間：2018-2020 年度

研究代表者：岩崎泰永（-2019）、中野有加（2020）

トルコギキョウ研究課題担当者

長野県野菜花き試験場

宮本賢二（-2019）、宮坂昌実、森野林太郎（2020）、佐藤憲二郎

静岡県農林技術研究所 寺田吉徳、岩崎勇次郎、幸前宏美

株式会社ダブルエム 狩野 敦、都 丈志

株式会社フラワースピリット 上條信太郎

国立大学法人東海国立大学機構 岐阜大学 嶋津光鑑

農研機構 野菜花き研究部門 福田直子、牛尾亜由子

協力機関

農研機構 東北農業研究センター 永坂 厚

（協力に当たり「農研機構の研究支援要員の雇用経費補助」の支援を受けた。）

敬称略



発行：農研機構野菜花き研究部門長
〒305-8519 茨城県つくば市観音3-1-1
発行年月：2021年3月

本マニュアルの無断での複製・転載は禁じます。

内容に関する問い合わせは、農研機構ウェブサイト問い合わせ窓口
(<http://www.naro.affrc.go.jp/inquiry/index.html>)

までご連絡下さい。

免責事項

本事例集は発行時点での情報に基づいて作成しています。
農研機構は本事例集に掲載された情報ご利用になったことにより
損害が生じてても一切の責任を負いません。