

フリージア球根腐敗病に対する球根消毒および土壌消毒の検討

大野 史佳¹・川上 郷子²・新保 佐知¹・安達 直人³・松田 絵里子¹

Fumika OHNO・Satoko KAWAKAMI・Sachi SHINBO・Naoto ADACHI・Eriko MATSUDA :

Bulb and soil disinfection for addressing freesia bulb rot

フリージア球根腐敗病は*Fusarium oxysporum*による土壌伝染性の病害であり、球根消毒に加えて土壌消毒による防除が必要である。球根の薬剤消毒として、ベノミル水和剤100倍およびイプコナゾール・銅水和剤20倍の30分浸漬処理で高い防除効果が認められた。また、温湯処理は感染程度が低い少発生圃場からの球根に対しては効果が認められたため、さらなる検討が必要である。さらに太陽熱土壌消毒の有効性を検証した結果、高い防除効果が認められ、草丈および球根収量が向上した。また、消毒直後は土壌中の*F. oxysporum*が不検出となり、栽培後も低い密度で推移した。

Key words : フリージア球根腐敗病, 土壌伝染病害, 球根消毒, 太陽熱土壌消毒, *Fusarium oxysporum*

緒 言

フリージア球根腐敗病(病原菌:*Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli*)はフリージアにおける重要病害の1つであり栽培の全期間を通して発病する。罹病球根を定植すると発芽や生育が抑制され、株の黄化や枯死に至る。球根は次第に腐敗し、外皮を残して球根内部が黒変乾固する(岸ら編, 1998)。また、病原菌は土壌中に残存して次作の伝染源となる。そのため、球根伝染と土壌伝染の二つ面から防除法を確立する必要がある。石川県ではフリージアのビニルハウス栽培が全県的に行われており、季咲き栽培では9月下旬頃から球根定植が始まり、翌年の3月から4月にかけて開花期を迎え、球根肥大が進み地上部が枯れあがる5月以降に球根を掘り上げる。その後、茎葉根の除去と罹病・虫加害球根を処分する調整作業、成球と木子の分離と大きさ別に選別する選別作業を経て、球根は定植まで納屋などの風通しの良い場所で保管される。

球根腐敗病対策として、球根は調整作業後に薬剤消毒を行うが、登録のある農薬はチウラム・チオファネート

メチル水和剤の1剤のみである(2024年7月時点)ため、耐性菌発生リスクがあること、代替農薬がないことが課題である。そのため、登録農薬拡大のためのデータ収集、さらには農薬以外での効果的な防除法が必要となる。一方、土壌消毒については複数の登録薬剤があるものの、資材費が高く、作業者の安全対策も必要なことから敬遠されることが多い。また、県内生産地の多くは住宅地に近接しているため、土壌くん蒸剤の使用には配慮が必要である。このような背景のもと、生産地からは簡便で安全性の高い土壌消毒法が求められている。

そこで、本研究ではフリージア球根腐敗病において、球根に対する薬剤消毒、温湯消毒及びオゾン水消毒、さらに太陽熱土壌消毒の効果を検討したので、その結果について報告する。

材料および方法

1. 供試菌株と孢子懸濁液の作成

供試菌株は、2020年に県内のフリージアから分離された*Fusarium oxysporum* f. sp. *gladioli* (菌株No.20)を

¹石川県農林総合研究センター農業試験場 Ishikawa Agriculture and Forestry Research Center Agricultural Experiment Station Saida bo 295-1, Kanazawa, Ishikawa 920-3198, Japan

²現:(公財)いしかわ農業総合支援機構 Present Address : Ishikawa New Agriculture Total Support Organization Kuratsuki 2-20, Kanazawa, Ishikawa 920-8203, Japan

³現:石川県農林水産部生産振興課 Present Address : Production and Promotion Division, Department of Agriculture, Forestry and Fisheries, Ishikawa Prefecture, Kuratsuki 1-1, Kanazawa, Ishikawa 920-8580, Japan

用いた。孢子懸濁液は、ジャガイモ煮汁液体培地にPDA培地で前培養した病原菌を置床して25℃、5～7日振とう培養した。その後、2重ガーゼでろ過し、3,000rpmで遠心分離して得られた沈殿を蒸留水で希釈することで濃度を調製し、試験に供試した。

2. 各種球根消毒法の検討

2. 1 薬剤消毒

供試した薬剤は、フザリウム病害に登録のある薬剤から選定し、予め寒天培地菌叢ディスク法（木曾・山田，1998）で菌糸伸長抑制効果が認められたベノミル水和剤、トリフルミゾール水和剤、ヒドロキシイソキサゾール液剤、イブコナゾール・銅水和剤の4剤を用いた。希釈倍率、処理方法については各薬剤で球根消毒または種子消毒の登録内容を参照し、浸漬処理するものは30分間に統一した。また、対照薬剤はフリージア球根腐敗病に登録のあるチウラム・チオファネートメチル水和剤を供試した。

効果は以下の方法で検討した。外観が健全な球根の底盤部にカミソリで深さ1mm程度の切り込みを5カ所入れ、 1×10^8 cfu/ml孢子懸濁液に1時間浸漬接種後、3日間25℃で風乾することで罹病球根を作成した。2021年10月11日に罹病球根の作成、14日に薬剤処理を行い、同日、農業試験場ガラス温室内のプランター（22.5×65×18cm）に定植した。栽培管理は場内慣行に従い、翌2022年6月10日に球根を掘り上げた。開花期である2022年4月15日に草丈、6月19日に掘り上げた球根（成球）の重量、成球あたりの木子数、発病程度を各区24球調査した。発病度は病斑面積を指数化して次式により算出した。発病度＝ Σ （程度別発病球数×指数）/（4×調査球数）×100 [発病指数：0：発病なし、1：病斑面積5%未満、2：5～30%未満、3：30%以上、4：腐敗が著しく球根の原型をとどめない]。防除価＝ $100 - (\text{処理区の発病}/\text{無処理区の発病}) \times 100$ 。以下の試験でも同様の評価方法を用いた。

2. 2 温湯消毒

罹病球根に対する防除効果を調査した。球根は、球根腐敗病の発生程度が異なる2圃場（多発生：発病率6割程度、少発生：発病率1割程度）から掘り取った見た目上健全な球根を、保菌球根とみなして供試した。品種は圃場ごとに異なるが、過去の発生状況から各品種間での球根腐敗病に対する感受性の差は小さいと考えられる。

処理温度と時間については、 1×10^8 cfu/ml孢子懸濁液を一定の温度で加温して菌の死滅または低減を経時的に確認する予備試験を行い、その結果から試験区を温湯処理区（50℃6分浸漬、55℃2分浸漬、55℃4分浸漬、55℃6分浸漬、60℃2分浸漬）、無処理区の6区とした。多発生圃場由来の球根は温湯処理区で各区40球、無処理区で20球供試した。少発生圃場由来の球根は温湯処理区で各区38球、無処理区で19球供試した。2022年5月20日に球根をネット詰めし、温度を設定したウォーターバス（アナログ恒温器平型、AS ONE社）内で浸漬した。処理後は直ちに流水で10分冷却、風乾し、7月15日に発病調査を行った。

2. 3 オゾン水消毒

はじめに病原菌に対するオゾン水の殺菌効果を確認した。1ppmオゾン水（UNIZONE、ウォーターエージェンシー社）と 1×10^8 cfu/ml孢子懸濁液を2：1、1：1、1：2の割合で15mlチューブに混和して20分間静置した。その後、1000倍希釈液0.5mlを駒田培地（駒田，1976）上で培養し、形成されたコロニー数を調査した。対照として滅菌水と孢子懸濁液を混和したもので同様の試験を行った。続いて、罹病球根に対する防除効果を調査した。球根は球根腐敗病の発生程度が異なる2圃場（多発生：発病率6割程度、中発生：発病率3割程度）から掘り取った見た目上健全な球根を、保菌球根とみなして供試した。品種は圃場ごとに異なるが、過去の発生状況から各品種間での球根腐敗病に対する感受性の差は小さいと考えられる。試験区はオゾン水処理区と無処理区の2区で、多発生圃場由来の球根はオゾン水処理区で40球、無処理区で20球供試した。中発生圃場由来の球根は各区28球供試した。2022年5月20日に球根をネット詰めし、1ppmオゾン水に1時間浸漬した。なお、オゾン水は生成後、徐々に酸素と水に分解してオゾン濃度が低下するため、浸漬直後から終始1ppmオゾン水を流速4L/分で上からかけ流して濃度を維持した。処理後は風乾し、7月15日に発病調査を行った。

3. 太陽熱土壌消毒の防除効果

3. 1 室内試験

汚染土壌を土壌水分別に恒温条件におき、病原菌が死滅する温度条件および土壌水分条件を検討した。供試土壌は農業試験場内から採取した壤土および砂土で、両土壌とも事前に121℃15分で高圧蒸気滅菌した。300ml容

量のポリ瓶に乾土200g, 1×10^7 cfu/ml 孢子懸濁液10mlおよび所定量の蒸留水を加え, 20日間恒温のインキュベーター内で静置した。処理条件は, 温度40℃, 45℃, 50℃と土壌水分(最大容水量)20%, 40%, 60%の組み合わせとした。調査は処理直前から処理20日後までに計8回行った。ポリ瓶内の土壌をよく混和したのち, 生土10gを取り出し, 土壌希釈平板法(大畑ら編, 1995)を用いて, 駒田培地上にコロニーを形成した。コロニー数から乾土1gあたりの生菌数を算出し, 処理前の生菌数から各調査日の生存菌率を求めた。

3. 2 場内圃場試験

2022年8月に農業試験場内のPOフィルムハウス1棟(間口6m, 奥行き20m)で実施した。なお土性は壤土で, 前年にフリージア球根腐敗病が自然発生した圃場を使用した。試験区は, 太陽熱土壌消毒区(以下, 太陽熱区)と無被覆区の2区で, ハウス内3畝のうち端と中央の2畝を太陽熱区, 残り1畝を無被覆区とした(第1図)。太陽熱土壌消毒の手順は宮崎方式(白木, 2007)に準じ, 耕起, 作畝後, 畝上に散水チューブを設置し, 約5時間散水した。処理当日に畝内部の土壌が泥団子状になるほど水分を含んでいることを確認し, 0.05mm透明POフィルムで土壌表面を二重被覆して8月2日から8月23日の21日間ハウスを密閉した。無被覆区は耕起, 作畝後, 散水および被覆をせずに同期間ハウスを密閉した。処理期間中は各処理区の畝端1点, 深さ10cm, 20cm地点にボタン型温度ロガー(サーモクロンGタイプ, KNラ

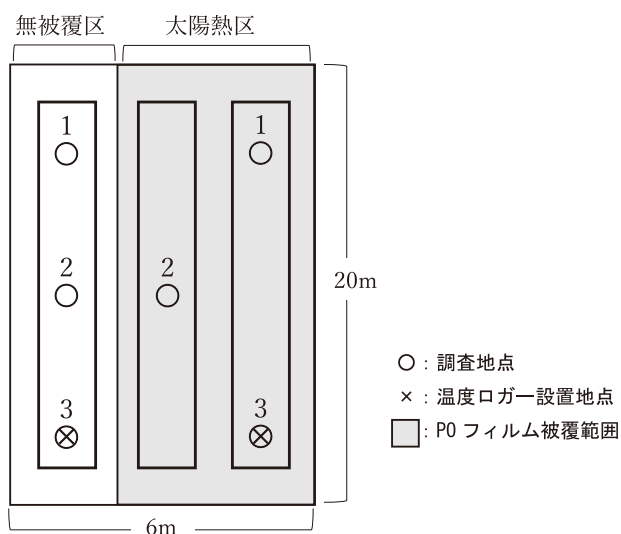
ボラトリーズ)を設置し, 1時間ごとに地温を記録した。処理後, 10月24日にLPコート50(尿素全量42%)をハウス当たり2kg畝の上から施肥し, 10月31日に球根の上に1cm程度土がかかる深さでフリージア球根を定植した(定植密度: 株間10cm×条間10cm, 2球植え)。栽培管理は場内慣行に従い, 翌2023年5月15日に球根を掘り上げた。

開花期である2023年3月27日に草丈の調査を行い, 5月15日に成球の重量および成球あたり木子数, 5月22日に成球の発病調査を行った。いずれの調査も各区1地点あたり30株または成球30球を調査した。なお, 太陽熱区はハウス端側の畝から2点(畝の両端, 調査地点1および3), 中央の畝から1点(畝の中央, 調査地点2), 無被覆区は両端2点と中央の1点を調査地点とした。また, 2022年7月28日(処理前), 8月23日(処理後), 2023年5月15日(栽培後)に同地点で土壌中の*F. oxysporum*菌密度を調査した。土壌は, 処理前と処理後は深さ10cmおよび20cm地点から, 栽培後は深さ10~20cm地点から採取した。採取した土壌をよく混和したのち, 生土10gをサンプリングし, 土壌希釈平板法を用いて, 駒田培地上にコロニーを形成した。コロニーは, 菌叢の形態ごとに分類し, *F. oxysporum*検出プライマーセットFoITS74/FoITS1065(中田ら, 2018)を用いてPCRで識別し, 乾土1gあたりの生菌数を算出した。

3. 3 現地圃場試験

2022年7月から8月にかけて金沢市のガラス温室1棟(間口10m, 奥行き40m)で実施した。なお土性は砂壤土で, 前年に球根腐敗病が自然発生した圃場を使用した。試験区は, 対照区なしの太陽熱区のみで, 7月26日から8月18日の23日間ハウスを密閉した。栽培管理は生産者慣行で, 翌2023年4月27日に球根を掘り上げた。

上述の場内圃場同様, 処理期間中は地温を測定し, 2023年4月28日に球根を掘り上げ, 成球の発病調査を行った。また, 2022年7月16日(処理前), 8月19日(処理後), 2023年4月27日(栽培後)に土壌中の*F. oxysporum*菌密度を調査した。発病調査は8地点実施し, 1地点あたり成球30球調査した。土壌は処理前, 処理後は3地点, 深さ10cm, 20cmから採取し, 栽培後は8地点, 深さ10~20cm地点から採取した。なお, 同ガラス温室内で複数品種のフリージアを栽培していたことから, 品種間差がみられる草丈, 掘り上げ球根の重量, 成球あたりの木子数は調査していない。



第1図 太陽熱土壌消毒の試験区構成

結 果

1. 植付け前の球根消毒剤の防除効果

薬剤消毒試験での無処理区の発病度は46.6と多発生であった。供試した薬剤の防除価はベノミル水和剤（100倍浸漬）で防除価84.8、イプコナゾール・銅水和剤（20倍浸漬）で防除価79.0、対照であるチウラム・チオファネートメチル水和剤（100倍浸漬）で防除価95.7となり、対照剤に比べやや劣るものの、高い防除効果が認められた。防除効果が高かった上記2試験区は草丈、球根重量、成球あたり木子数についても無処理区と比較して大きい、もしくは多い結果となった。一方、トリフルミゾール水和剤（0.2%粉衣）で防除価23.4、ヒドロキシイソキサゾール液剤（100倍浸漬）で防除価26.2、イプコナゾール・銅水和剤（200倍浸漬）で防除価15.9、イプコナゾール・銅水和剤（1000倍浸漬）で防除価14.6となり、防除効果は低かった（第1表）。なお、いずれの試験区も試験期間を通して薬害は認められなかった。

2. 温湯消毒およびオゾン水消毒の検討

温湯消毒試験において、多発生圃場由来の球根を用いた場合は無処理区で発病度82.5と甚発生であり、温湯処理区は全ての区で防除価0と防除効果は低かった。一方、少発生圃場由来の球根を用いた場合は無処理区で発病度11.8と少発生であったが、温湯処理区は防除価33.1～78.0となり、試験区間でばらつきはあるものの一定の防除効果が認められた（第2表）。

オゾン水消毒試験において、1 ppmオゾン水：孢子懸濁液が2：1の試験区でシャーレあたりのコロニー数が0となりオゾン水の殺菌効果が培地上で確認された（第3表）。また、球根への防除効果を調査した結果、多発生圃場由来の球根を用いた場合は無処理区で発病度82.5と甚発生であり、オゾン水処理区で防除価6.1と防除効果は低かった。中発生圃場由来の球根を用いた場合は無処理区で発病度25.9と中発生であり、オゾン水処理区で防除価0と防除効果は低かった（第4表）。

第1表 薬剤処理による防除効果および生育への影響

薬剤名	試験区		発病度	防除価	草丈 (cm)	球根重量 (g)	木子数 (個/成球)
	希釈倍数・使用量	処理方法					
ベノミル水和剤	100	30分浸漬	7.1	84.8	75.9 ab	10.6 a	5.9
トリフルミゾール水和剤	球根重量の0.2%	球根粉衣	35.7	23.4	58.2 cde	9.0 abc	2.8
ヒドロキシイソキサゾール液剤	100	30分浸漬	34.4	26.2	55.0 de	7.3 bc	3.2
イプコナゾール・銅水和剤	20	30分浸漬	9.8	79.0	69.3 bc	10.6 a	4.9
イプコナゾール・銅水和剤	200	30分浸漬	39.2	15.9	62.9 cde	10.0 abc	3
イプコナゾール・銅水和剤	1000	30分浸漬	39.8	14.6	50.7 e	7.5 abc	2.4
対)チウラム・チオファネートメチル水和剤	200	30分浸漬	2.0	95.7	81.9 a	9.8 ab	5.9
無処理	—	—	46.6	—	48.8 e	6.3 c	1.4

注) 異なるアルファベット間にはTukey多重比較検定 ($p < 0.05$) で有意差あり

第2表 温湯処理による防除効果

供試球根	試験区	発病度	防除価
多発生圃場由来	50℃ 6分	85.6	0
	55℃ 2分	85.6	0
	55℃ 4分	86.3	0
	55℃ 6分	88.8	0
	60℃ 2分	88.8	0
	無処理	82.5	—
少発生圃場由来	50℃ 6分	4.6	61.0
	55℃ 2分	2.6	78.0
	55℃ 4分	6.6	44.1
	55℃ 6分	4.6	61.0
	60℃ 2分	7.9	33.1
	無処理	11.8	—

第3表 オゾン水の殺菌効果

試験区 (1 ppmオゾン水：孢子懸濁液)	平均コロニー数 /シャーレ
2：1	0 (112)
1：1	2.7 (125)
1：2	40 (136)

注) カッコ内は対照の滅菌水：孢子懸濁液のコロニー数を示す

第4表 オゾン水処理による防除効果

供試球根	試験区	発病度	防除価
多発生圃場由来	1 ppmオゾン水	77.5	6.1
	無処理	82.5	—
中発生圃場由来	1 ppmオゾン水	27.7	0
	無処理	25.9	—

3. 土壌中の球根腐敗病胞子の死滅条件

壤土では、生存菌率が0 %になるのは、最速で1日後（処理温度50℃，土壌水分60%および40%），最遅で12日後（処理温度40℃，土壌水分20%）であった。同様に砂土についても、壤土に比べ生存菌率の減少率が若干低いものの、処理温度が高く、土壌水分が大きいほど短時間で病原菌が死滅する傾向にあった（第5表）。

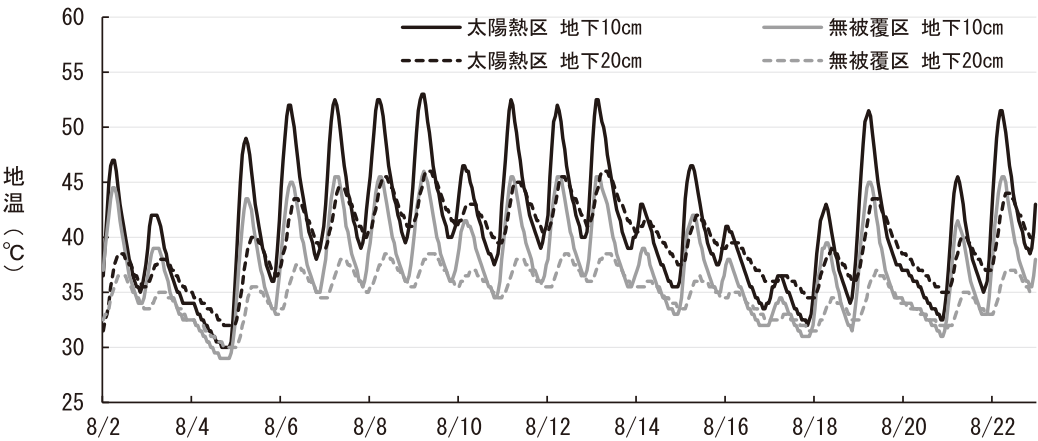
4. 太陽熱土壌消毒の効果検証

試験期間である2022年8月2日から23日の金沢市（金沢地方気象台）は平均気温28.6℃（2012～2022年平均比+0.5℃），日照時間134時間（2012～2022年平均比-44時間）であった。ハウス内温度（地上1.5m地点）は平

均37.7℃，最高68℃，最低22.5℃であった。地温について、太陽熱区の最高地温は53℃，最低地温は30.0℃（ともに地下10cm地点），無被覆区の最高地温は46.0℃，最低地温は29.0℃（ともに地下10cm地点）と，太陽熱区は無被覆区に比べ高い温度で推移した（第2図）。無被覆区の発病度は47.2と多発生であったが，太陽熱区で防除価63.6と高い防除効果が認められた。特にハウス中央に位置する太陽熱区の調査地点2では発病度が0となった。また，草丈，球根重量，成球あたり木子数についても太陽熱区は無被覆区と比較して大きいまたは多い傾向にあった（第6表）。土壌中の*F. oxysporum*菌密度を調査した結果，土壌消毒の処理前ではすべての調査地点で菌が検出された（ $6.3 \times 10^2 \sim 1.9 \times 10^3$ cfu/g乾土）。処理後，

第5表 土性，温度および土壌水分の違いによる殺菌効果

土性	温度	土壌水分	生存菌率（％）							
			当日	1日後	2日後	3日後	5日後	7日後	12日後	20日後
壤土	50℃	60%	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		40%	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		20%	100.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	45℃	60%	100.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		40%	100.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		20%	100.0	11.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	40℃	60%	100.0	4.1	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
		40%	100.0	19.0	2.4	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0
		20%	100.0	58.8	51.0	34.5	3.0	1.7	0.0	0.0
	50℃	60%	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		40%	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		20%	100.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
砂土	45℃	60%	100.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		40%	100.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
		20%	100.0	3.3	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	40℃	60%	100.0	15.2	3.6	2.4	1.9	0.0	0.0	0.0
		40%	100.0	39.1	37.6	26.5	3.2	0.3	0.0	0.0
		20%	100.0	83.3	72.7	51.7	6.4	3.0	0.1	0.0



第2図 太陽熱土壌消毒期間中の1時間毎の地温の推移

太陽熱区は不検出（検出限界以下）となった一方、無被覆区は $2.1 \times 10^2 \sim 4.4 \times 10^2$ cfu/g乾土となり、処理前と比較して減少したものの生菌が検出された。また、栽培後には太陽熱区で不検出 $\sim 8.2 \times 10^2$ cfu/g乾土、無被覆区では $2.1 \times 10^3 \sim 2.7 \times 10^3$ cfu/g乾土となった。なお、処理前と処理後は深さ10cmおよび20cm地点の生菌数をそれぞれ算出したが、深さによる菌密度の偏りがみられなかったため平均値を結果として用いた（第7表）。

5. 現地圃場における実証試験

試験期間である2022年7月26日から8月18日の金沢市（金沢地方気象台）は平均気温29.2℃（2012～2022年平均比+1.0℃）、日照時間176時間（2012～2022年平均比-5時間）であった。ハウス内温度（地上1.5m地点）は平均41.4℃、最高73℃、最低25.5℃であった。地温は、最高55.5℃（地下10cm地点）、最低22.0℃（地下20cm地点）を記録し、場内圃場同様、日中温度が上がり、夜間に下がる波形を描いて推移した。防除効果について、調査地点8地点のうち7地点は発病度0、1地点で発病度12.5となり、圃場全体の発病程度は低かった。また、土壌中の*F. oxysporum*菌密度について、処理前は $9.4 \times 10^2 \sim 4.2 \times 10^3$ cfu/g乾土、処理後は不検出、栽培後は不検出 $\sim 7.7 \times 10^2$ cfu/g乾土であった（データ略）。

考 察

フリーズア球根腐敗病の防除薬剤として、ベノミル水和剤の100倍30分浸漬処理およびイプコナゾール・銅水和剤の20倍30分浸漬処理で高い防除効果が認められた。いずれの剤においても現時点では農業登録がないため、登録拡大が求められる。また、仮に登録が取れた場合、ベノミル水和剤は耐性菌リスクが高いMBC殺菌剤（ベンゾイミダゾール系）に分類されることから、連用を避けて使用するなど工夫が必要である。イプコナゾール・銅水和剤は本試験において20倍30分浸漬処理で高い防除効果が得られたが、20倍と高濃度のため、コスト面と廃液処理の面から実用性に関して課題が残る。そのため、本試験では防除効果が低かった200倍処理の長時間浸漬処理で防除効果が認められるか検討の余地がある。本試験は植付け前に消毒を行い、防除試験を確認したが、本県のフリーズアの球根は掘り取り後に消毒を行い、保管中の腐敗を防いでいる。そのため、今後掘り取り後消毒の防除効果についても確認していく必要がある。

続いて温湯消毒とオゾン水消毒の防除効果を検討した。温湯消毒は稲の種子消毒で既に普及している技術であり、ばか苗病、もみ枯細菌病、苗立枯細菌病などで防除効果が確認されている（岡部・馬場、2011）。また、もみ枯

第6表 太陽熱土壌消毒による防除効果および生育への影響

試験区	調査地点	発病度	平均発病度	防除価	草丈 (cm)	球根重量 (g)	木子数 (個/成球)
太陽熱土壌消毒区	1	29.2	17.2	63.6	42.9 bc	5.9 b	3.4
	2	0			47.9 a	7.7 a	2.9
	3	22.5			43.8 ab	6.4 ab	5.6
無被覆区	1	49.2	47.2	—	42.1 bc	4.3 c	1.5
	2	56.7			38.7 c	3.0 c	1.0
	3	35.8			30.4 d	2.7 c	1.5

注) 異なるアルファベット間にはTukey多重比較検定 ($p < 0.05$) で有意差あり

第7表 土壌菌密度の推移

試験区	調査地点	土壌中の <i>F. oxysporum</i> 密度 (cfu/g乾土)		
		処理前	処理後	栽培後
太陽熱土壌消毒区	1	1.9×10^3	ND	8.2×10^2
	2	1.3×10^3	ND	ND
	3	1.1×10^3	ND	4.1×10^2
無被覆区	1	1.1×10^3	2.1×10^2	2.1×10^3
	2	1.5×10^3	4.4×10^2	2.5×10^3
	3	6.3×10^2	4.3×10^2	2.7×10^3

注) ND（不検出）は検出限界以下であることを示す

細菌病およびトリコデルマ苗立枯病に対するオゾン水消毒の効果が報告されている（草刈ら，2000）ことから，フリーズ球根腐敗病についても適応可能か検討した。温湯消毒について，多発生圃場由来の球根では防除効果が低かった一方，少発生圃場由来の球根では一定の防除効果が認められた。少発生圃場由来の球根は保菌密度が小さく大半の菌を殺菌できたと考えられるほか，内部まで病原菌が感染しておらず表面に感染した菌に対して効果的に殺菌できたためと考えられる。そのため，球根の保菌密度が小さい場合や，球根表面にのみ病原菌が感染している場合は，温湯消毒で効果が認められる可能性が示唆された。一方，本試験は50℃以上の短時間消毒を想定して処理区を設定したが，50℃未満の長時間処理による防除効果や，熱による生育への影響についても検討する必要がある。またオゾン水消毒について，1 ppmのオゾン水は病原菌に対して殺菌効果が認められた一方，罹病球根に対する防除効果は低かった。これは，球根自体が水をはじきやすい素材であるため，オゾン水が球根内部まで浸透せず，内部に感染した病原菌まで直接届かなかったことが原因と推測される。

土壌消毒については，太陽熱土壌消毒の防除効果と実用性について検討した。室内試験の結果，同じ温度帯であっても土壌水分が高いほど消毒効果が高まることが示された。これは，空気よりも水の熱伝導率が高く，土壌の水分量が高いほど病原菌に対して熱が伝わりやすくなるためである。また，砂土と壤土で生菌の減少率に差がみられたが，砂土は保水性が弱く，熱伝導が壤土より劣るためと推測される。さらに，室内試験では恒温処理で病原菌の死滅条件を求めたが，病原菌の死滅には，恒温処理ならびに変温処理いずれの場合も，有効温度域の積算時間によって死滅条件を設定できる（小玉・福井，1982）と報告されており，一般に太陽熱土壌消毒の効果の目安は一定温度以上の積算時間で計算されている（農研機構，2015）。そのため，圃場における殺菌の目安は，例えば壤土で土壌水分40%（土壌を握ったときに塊になるくらい）を確保できている場合，40℃以上の地温を積算で168時間確保することが死滅条件と設定できる。圃場試験において，土壌水分40%以上を確保できていたと仮定すると，場内圃場では，地温40℃以上の積算時間は地下10cmで283時間，20cmで250時間，現地圃場においては，地下10cmで308時間，20cmで233時間であり（データ略），死滅条件を大きく上回った。また，場内圃場，現地圃場いずれも，太陽熱区の土壌菌密度が，処理後すべ

ての地点で検出限界以下となったことから，地下20cmまでの病原菌は概ね殺菌できたと示唆される。無被覆区は処理後も一定量の球根腐敗病菌が生存していたことから，フリーズ栽培中に菌が増殖し，栽培後は処理前よりも高い菌密度となったと推測される。また，太陽熱区は無被覆区に比べて低い発病度となった一方，調査地点による発病度のばらつきがみられた。ハウス内における地温の分布は，ハウス中央部と比較してサイド部で低くなることが分かっている（白木，2007）ため，本試験圃場においても畝端に比べてハウス中央部で地温が高くなり，他の地点よりも発病が抑えられたと考えられる。一方，畝端部では防除効果が認められたものの，中央部に比べてやや低かった。通常フリーズの根圏は地下20cm前後であるが，まれに30cmに達する株もあった。そのため，畝端については地下20cmよりも深い層まで十分に熱が伝わらず，土壌中に残存していた菌が根から感染した可能性がある。このように熱が伝わりにくい地下深部では十分な効果が得られないことがあるため，処理前の土壌水分を高めるほか，被覆資材をより保温性の高いものにする，有機物と石灰窒素を混用施用して温度上昇を補完するなど工夫が必要である。また，草丈，球根重量および木子数といった収量の面でも，太陽熱土壌消毒の効果が認められた。これは，発病が抑制されたことによる直接的な要因のほか，高地温条件下により土壌中の有機態窒素が無機化して（Stapleton *et al.*, 1985）フリーズの栄養成長に利用されたことも一因と考えられる。

以上より，フリーズ球根腐敗病に対して球根の薬剤消毒効果が明らかになったほか，温湯消毒の可能性および太陽熱土壌消毒の有効性が確認された。温湯消毒については，さらなる処理条件の検討や生育への影響を追求する必要があるものの，太陽熱土壌消毒については，フリーズは気温が高い夏期が休閑期となること，当技術は特別な資材や技術を必要としないことから現地での普及性も高いと考えられる。現場指導においては既存の登録薬剤による球根消毒と太陽熱土壌消毒を合わせた指導を行い，健全球根の確保と土壌の健全化を目指す。

引用文献

- 岸 國平編（1998）日本植物病害大辞典，546，全国農村教育協会，東京。
- 木曾 皓・山田正和（1998）植物病原菌の感受性検定マニュアル I，28-33，日本植物防疫協会，東京。

- 小玉孝司・福井俊男（1982）ハウス密閉処理による太陽熱土壌消毒法について．V．イチゴ萎黄病防除に対する適用．日植病報48：570-577．
- 駒田 旦（1976）野菜のフザリウム病菌，*Fusarium oxysporum*，の土壌中における活性評価技術に関する研究．東近農試研報29：132-269．
- 草刈眞一・岡田清嗣・瓦谷光男（2000）オゾン水による水稻もみ枯細菌病およびトリコデルマ苗立枯病菌汚染種子の殺菌効果．近畿中国農業研究成果情報：101-102．
- 中田菜々子・横山とも子・中村耕士（2018）ニンジンしみ症病斑から*Fusarium oxysporum*，*F. solani*および*Pythium sulcatum*を検出するためのマルチプレックス PCR．関東東山病害虫研報65：39-43．
- 農研機構（2015）陽熱プラス実践マニュアル 第三版．農研機構中央農業研究センター：1-24．
- 岡部繭子・馬場 正（2011）水稻種もみの温湯消毒法．信州大学農学部紀要 47：25-32．
- 大畑貫一・荒木隆男・木曾 皓・工藤 晟・高橋廣治編（1995）作物病原菌研究技法の基礎，296-297，日本植物防疫協会，東京．
- 白木己歳（2007）宮崎方式の太陽熱処理の効果と普及．植物防疫61-2：64-67．
- Stapleton, J. J., Quick, J., and Devay, J. E. (1985) Soil solarization effects on soil properties, crop fertilization and plant growth. Soil Biol. Biochem. 17：369-373.

（2024年11月18日受理）