

イチゴ高設栽培におけるカンキツモラセスを用いた土壤還元処理による イチゴ萎黄病の発生に対する効果

萬 周平・山本智樹・伊藤博章*・芝田英明**

(愛媛県農林水産部農産園芸課, *愛媛県南予地方局地域農業育成室, **愛媛県農林水産研究所)

Effect of Fusarium Wilt of Strawberry (*Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*) by Anaerobic soil Disinfestation Using the Citrus Molasses on High-Bench Cultivation System

By Syuuhei YOROZU, Satoki YAMAMOTO, Hiroaki ITOU*, Hideaki SHIBATA**, (Agriculture and Horticulture Division, Agriculture, Forestry and Fisheries Department, Ehime Pref. Government, Itibantyou4-2-2, Matsuyama, Ehime 790-8570, Japan ; *Regional Agriculture Promotion Office, Nanyo Regional Office, Ehime Pref. Government, Tenzintyou7-1, Uwazima, Ehime 798-8511, Japan ; **Ehime Research Institute of Agriculture, Forestry and Fisheries, Kaminanba 311, Matsuyama, Ehime 799-2405, Japan)

キーワード： イチゴ、萎黄病、カンキツモラセス、高設栽培、土壤還元処理

緒 言

愛媛県において、イチゴはキュウリ、トマトに次いで、野菜では3位となる生産額約17億円の基幹作物となっている(愛媛県, 2017)。県内普及拠点の実態調査によると、平成30年産には約20haにおいて軽労働化の可能な高設栽培が普及し、本県が開発した高設栽培システムの愛媛農試方式(玉置・角田, 2003)も採用されている。一方で、県内のイチゴ産地で問題化しているイチゴ萎黄病(*Fusarium oxysporum* f. sp. *fragariae*)は、世界的にもイチゴ炭疽病、うどんこ病と並ぶ重要病害(Maas, 1998)とされており、愛媛県育成品種である‘あまおとめ’(伊藤・松澤, 2008)では本病が多発する圃場も見られ、発生圃場では定植したイチゴの萎凋・枯死(岡本ら, 1970)による減収や伝染源をなくす発病株の抜き取りが栽培中の作業負担となるため、効果的な防除対策が求められている。

本病の伝染経路は、土壤伝染と親株から子株へランナーを介して伝染する苗伝染が報告されてい

る(手塚, 1992)。このうち土壤伝染への対策として、一般的に太陽熱消毒(石松ら, 2013; 鍛冶原ら, 2011)や化学農薬を用いた土壤消毒が行われている。

太陽熱消毒については、温度の確保のため盛夏期にハウスを密閉することが必要となることから、ハウス内の高温が資材を劣化させる短所が指摘されている。これに対し、土壤還元消毒法は土壤に多量の有機物と水を投入して封入し、比較的低い温度条件で土壤を還元化させることで病原を死滅させる技術である(新村ら, 1999; 新村, 2000)。また、*F. oxysporum* に対しても生育抑制効果のある環境に優しい土壤消毒法として注目されている(新村, 2004; 門馬, 2017)。

そこで、愛媛県で普及の進む高設栽培におけるイチゴ萎黄病の防除対策として、大半が廃棄されている地域の未利用資源であるカンキツモラセスを活用した土壤還元処理技術を確立するため、カンキツモラセスの処理量および実施時期について検討したので報告する。なお、本報告の一部は平成

30 年度日本植物病理学会大会で講演発表した (萬・芝田, 2018)。

材料および方法

1. 供試したカンキツモラセス

2017 年および 2018 年に生成されたカンキツモラセス (第 1 表) を用いた。ここでのカンキツモラセスは、柑橘類を搾汁した搾りかすをさらに圧搾し、排出された脱汁液を濃縮した粘液状でオレンジ色の液体を供試した。

第 1 表 供試したカンキツモラセスの性状

| 作成年 | 含水率 (% : w/w) | 比重 | 炭素含有率 (% : w/v) | Brix 糖度 |
|------|------------------|------|--------------------|---------|
| 2017 | 50.1 | 0.96 | 20.0 | 50.5 |
| 2018 | 47.7 | 1.12 | 20.7 | 45.0 |

注 1) カンキツモラセスの状態は液体

2. カンキツモラセス処理量の検討

1) 2017 年

試験は、愛媛県松山市上難波の愛媛県農林水産研究所内のビニールハウスで行い、高設栽培システムは愛媛農試方式 (玉置・角田, 2003) とし、ピートモスともみがらくん炭を 1 : 1 で混和した培地 (ピートくん炭培土) を使用した。供試菌株は、2016 年 8 月に愛媛県宇和島市で採集したイチゴ萎黄病の典型的な病徴を示す罹病株から、小林 (1995) の手法を参考にクラウン部から病原菌を組織分離し、単菌糸分離して得られた菌株 Fo20160601 を用いた。培地とフスマを体積比 4 : 1 で混和して十分量の水道水を添加したものを 1L ビーカーに 150g 充填し、PDA 培地 (栄研化学(株)製) で 25°C・12 日間培養した含菌切片を置床した後、25°C・21 日間培養した (フスマ培養物)。次いで、培地 1L 当たりフスマ培養物を 2g 混和して高設ベッドに充填し、2016 年 11 月 2 日から 2017 年 5 月 25 日に 'あまおとめ' を栽培することで人工汚染圃場を作成した。2017 年 5 月 25 日時点の人工汚染圃場の発病株率は

90.7% であった。

土壌還元処理は、2017 年 8 月 1 日に、炭素含有率 0.60% (w / v), 0.75% (w / v), 0.99% (w / v) に希釈したカンキツモラセスをジョロで 425L/m³ 灌水した。対照として、2.0% (v/v) のエタノール (Kobara et. al, 2007) および水を同量灌水した。その後、ベッドの上側を透明ポリフィルム (厚さ 0.03mm) で被覆し、下部は黒色ポリフィルム (厚さ 0.05 mm) で包み込み、2017 年 8 月 1 日~29 日の 29 日間密封状態とした。また、ハウスの側窓は常時開放状態とした。

定植は 2017 年 9 月 20 日に行い、株間 20cm の千鳥植とし、1 区 0.42m² (幅 0.3m×長さ 1.4m) に 13

株植え付け 3 反復とした。施肥は「養液土耕 3 号」を 2000 倍希釈となるよう、4 回/日 (1 回 5 分間) の灌水時に流入させて行った。果実は適宜収穫し、葉かき等その他の管理作業は慣行に従った。

土壌還元処理前後の *F. oxysporum* 菌密度の測定は、Fo-G2 培地 (Nishimura, 2007 : 西村, 2008) を用いた希釈平板法によった。すなわち、処理前 (7 月 24 日) と処理後 (8 月 29 日) に、ポリ塩化ビニル製パイプ (直径 2cm) を用いて培地表面から 15cm の深さまでの培地を、各区ベッドの中央部と両端部の 3 点より採取して混合し、滅菌水で 10 倍および 100 倍に希釈した後、懸濁液を 100 μL ずつ Fo-G2 培地に滅菌コンラージ棒で展開した。25°C・7 日間培養した後、培地上の *F. oxysporum* コロニー数を計数し、菌密度を算出した。

処理期間中、定期的に酸化還元電位計 ((株)藤原製作所製, PRN-41) により 10cm 深における酸化還元電位について、また温度データロガー ((株)ティアンドデイ製, TR-71wf) により 10cm 深の毎正時の培地の温度を測定した。

イチゴ萎黄病の発病状況は、定植後約 1 か月ごとに発病程度別に調査し、発病株率および発病度

を算出した (米本ら, 2006)。発病指数は, 0: 発病を認めない, 1: 小葉のわずかな奇形・黄化, 2: 小葉の奇形・黄化などの典型的病徴, 3: 株の萎縮・萎凋, 4: 枯死の 5 段階とした。発病度は, $\Sigma \{(\text{発病程度別株数} \times \text{指数})\} / (\text{調査株数} \times 4) \times 100$ により算出した。

2) 2018 年

2017 年試験で使用した高設栽培システムで行った。供試菌株は, 竹原 (1992) の方法により作出したイチゴ萎黄病菌 (Fo20160601) の *nit* 変異菌株 (Fon-U1) を用いた。すなわち, PDA 培地 (栄研化学(株)製) で培養した供試菌株の菌叢をかきとり PD 培地 (BD(株)製) 100mL に添加し, 25°C・100rpm・暗黒下で 7 日間振とう培養した。その後, 培養液を二重のキムワイプでろ過し, 孢子 (bud cell) 濃度を $2.2 \times 10^3/\text{mL}$ に滅菌蒸留水で調整した菌液 $14\text{L}/\text{m}^3$ を試験圃場の高設ベッドへ均等に灌注接種し, 人工汚染圃場を作成した。

土壤還元処理は, 2018 年 8 月 2 日に, 炭素含有率 0.55% (w / v), 0.61% (w / v), 0.79% (w / v) に希釈したカンキツモラセスをジョロで $425\text{L}/\text{m}^3$ 灌水した。対照として, 約 1.5% (v / v) のエタノールおよび水を同量灌水した。その後, ベッドの上側を透明ポリフィルム (厚さ 0.03mm) で被覆し, 下部は黒色ポリフィルム (厚さ 0.05 mm) で包み込み, 2018 年 8 月 2 日~30 日の 29 日間密封状態とした。また, ハウスの側窓は常時開放状態とした。

定植は 2018 年 9 月 14 日に行い, 栽植密度、供試株数、区制は 2017 年試験と同様とした。

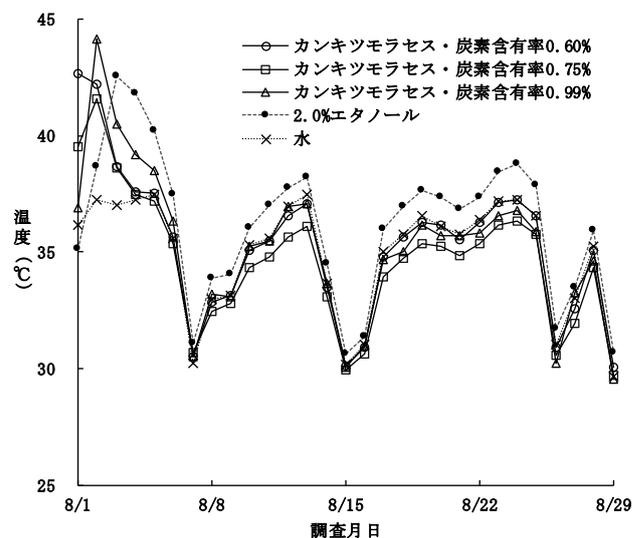
土壤還元処理前後の *nit* 変異させた *F. oxysporum* f. sp. *fragariae* 菌密度の測定は, 処理前 (7 月 6 日) と処理後 (8 月 30 日) に行った。菌密度の測定方法, 処理期間中の酸化還元電位, 培地の温度測定およびイチゴ萎黄病の発病状況は, 2017 年試験と同様とした。

3. 処理時期の検討

‘あまおとめ’ を供試し, 2018 年に, 人工汚染圃場においてカンキツモラセスの処理時期を検討した。高設栽培システム, 人工汚染圃場は, 「2. カンキツモラセス処理量の検討の 2) 2018 年」と

同様とした。

土壤還元処理時期は, 2018 年 7 月 4 日~7 月 19 日の 16 日間, 7 月 4 日~8 月 1 日の 29 日間, 8 月 3 日~8 月 17 日の 15 日間, 8 月 3 日~8 月 31 日の 29 日間とした。カンキツモラセスの濃度は, 7 月 4 日からの処理区は炭素含有率 1.02% (w / v), 8 月 3 日からの処理区は 0.82% (w / v) とし, ジョロ



第 1 図 土壤還元処理期間中の各区培地内の日平均温度の推移 (2017)

で $425\text{L}/\text{m}^3$ 灌水した。その後, ベッドの上側を透明ポリフィルム (厚さ 0.03mm) で被覆し, 下部は黒色ポリフィルム (厚さ 0.05 mm) で包み込み, 各区それぞれの期間密封状態とした。また, ハウスの側窓は常時開放状態とした。

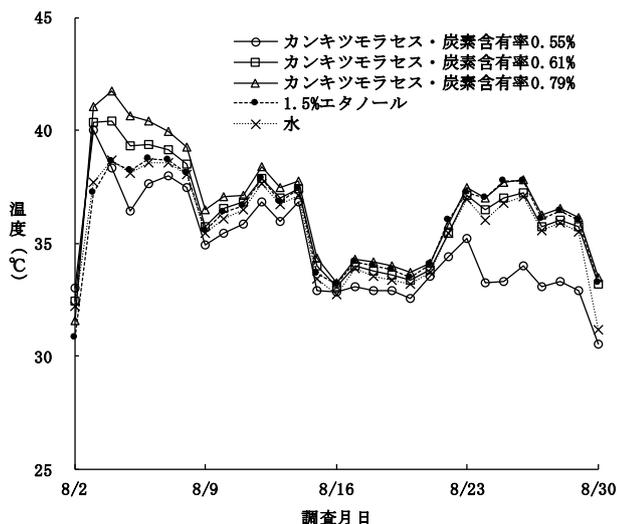
定植は 2018 年 9 月 14 日に行い, 栽植密度、供試株数、区制は「2. カンキツモラセス処理量の検討の 2) 2018 年」の試験と同様とした。

土壤還元処理前後の *F. oxysporum* 菌密度の測定は, 処理前 (6 月 25 日), 処理直後 (各区処理を終了した当日) および処理後 (8 月 31 日) に行った。菌密度の測定方法, 処理期間中の酸化還元電位およびイチゴ萎黄病の発病状況は, 「2. カンキツモラセス処理量の検討の 1) 2017 年」の試験と同様とした。また, 処理期間中に 7 月 4 日~8 月 1 日, 8 月 3 日~8 月 31 日に処理を行った区で 1 か所ずつ, 10cm 深の毎正時の培地の温度を温度データロガー ((株)ティアンドデイ製, TR-71wf) により計測するとともに, ハウス内の地上 1m の毎正時の気温を温度データロガー ((株)ティアンドデイ製, TR-72wf) により計測した。

結 果

1. カンキツモラセス処理量の検討

処理期間中の培地の日平均温度について、2017年は、カンキツモラセス・炭素含有率 0.60%区で 42.7℃、同・炭素含有率 0.75%区で 41.6℃、同・炭素含有率 0.99%区で 44.2℃、2.0%エタノール



第2図 土壌還元処理期間中の各区培地内の日平均温度の推移 (2018)

区で 42.6℃、水処理区で 37.5℃まで上昇し、その後は 29.5℃以上を保ちながら下降と上昇を繰り返した。なお、各処理区間で大差はみられなかった (第1図)。2018年は、カンキツモラセス・炭素含有率 0.55%区で 40.0℃、同・炭素含有率 0.61%区で 40.4℃、同・炭素含有率 0.79%区で 41.8℃、1.5%エタノール区で 38.7℃、水処理区で 38.7℃まで上昇し、その後は 30.5℃以上を保ちながら下降と上昇を繰り返した。なお、8月23日以降、カンキツモラセス・炭素含有率 0.55%区では、その他の区に比べてやや低い温度で経過した(第2図)。

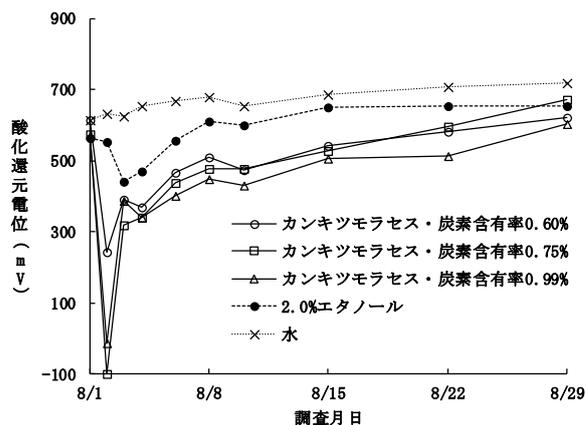
培地の 30℃以上および 40℃以上の積算時間について、2017年は、カンキツモラセス・炭素含有率

第2表 土壌還元処理試験の各区培地内における温度別の積算時間

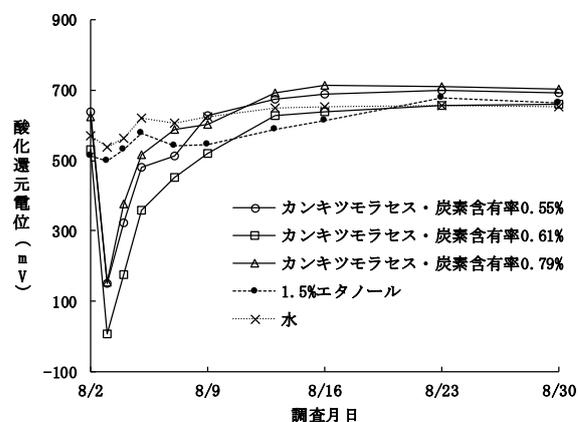
| 試験年度 | 供試資材 | 炭素含有率 (%) | 積算時間 (hr) | |
|------|-----------|-----------|-----------|------|
| | | | ≧30℃ | ≧40℃ |
| 2017 | カンキツモラセス | 0.60 | 537 | 150 |
| | カンキツモラセス | 0.75 | 531 | 115 |
| | カンキツモラセス | 0.99 | 532 | 149 |
| | 2.0%エタノール | | 576 | 194 |
| | 水 | | 515 | 156 |
| 2018 | カンキツモラセス | 0.55 | 541 | 132 |
| | カンキツモラセス | 0.61 | 627 | 174 |
| | カンキツモラセス | 0.79 | 634 | 190 |
| | 1.5%エタノール | | 607 | 181 |
| | 水 | | 608 | 159 |

0.60%区で 537 時間および 150 時間、同・炭素含有率 0.75%区で 531 時間および 115 時間、同・炭素含有率 0.99%区で 532 時間および 149 時間、2.0%エタノール区で 576 時間および 194 時間、水処理区で 515 時間および 156 時間であった。2018年は、カンキツモラセス・炭素含有率 0.55%区で 541 時間および 132 時間、同・炭素含有率 0.61%区で 627 時間および 174 時間、同・炭素含有率 0.79%区で 634 時間および 190 時間、1.5%エタノール区で 607 時間および 181 時間、水処理区で 608 時間および 159 時間であった (第2表)。

培地の酸化還元電位について、2017年は、処理1日後にカンキツモラセス・炭素含有率 0.60%区で 243mV、同・炭素含有率 0.75%区で -100mV、同・炭素含有率 0.99%区で -13mV まで下降し、処理2日後以降は、処理区間で大差無く、318mV から 673mV まで徐々に上昇した。2.0%エタノール区では、処理2日後に 441mV まで下降し、処理3日後以降は、



第3図 土壌還元処理期間中の各区培地内の酸化還元電位の推移 (2017)



第4図 土壌還元処理期間中の各区培地内の酸化還元電位の推移 (2018)

472mV から 655mV まで徐々に上昇した。水処理区では、処理後の下降はみられず、615~720mV の間で

経過した（第3図）。2018年は、処理1日後にカンキツモラセス・炭素含有率0.55%区で153mV、同・炭素含有率0.61%区で8mV、同・炭素含有率0.79%区で156mVまで下降し、処理2日後以降は、処理区間で大差無く、177mVから704mVまで徐々に上昇した。1.5%エタノール区および水処理区では、処理後の大きな下降はみられず、498~677mVの間で経過した（第4図）。

培地中の *F. oxysporum* の菌密度について、2017年における処理前（処理8日前）および処理後（処理を終了した当日）は、カンキツモラセス・炭素含有率0.60%区で 2.6×10^4 cfu/g 乾土および N.D.、同・炭素含有率0.75%区で 3.8×10^4 cfu/g 乾土および N.D.、同・炭素含有率0.99%区で 3.2×10^4 cfu/g 乾土および N.D.、2.0%エタノール区で 2.3×10^4 cfu/g 乾土および N.D. であった。これに対し、水処理区では 2.2×10^4 cfu/g 乾土および 5.3×10^0 cfu/g 乾土であった。2018年における処理前（処理26日前）および処理後（処理を終了した当日）は、カンキツモラセス・炭素含有率0.55%区で 2.4×10^4 cfu/g 乾土および N.D.、同・炭素含有率0.61%区で 1.4×10^4 cfu/g 乾土および N.D.、同・炭素含有率0.79%区で 1.4×10^4 cfu/g 乾土および N.D.、1.5%エタノール区で 1.0×10^4 cfu/g 乾土および N.D. であった。これに対し、水処理区では 1.2×10^4 cfu/g 乾土および 2.0×10^2 cfu/g 乾土であった（第3表）。

第3表 土壌還元処理試験における各区培地内の *F. oxysporum* の菌密度

| 試験年度 | 供試資材 | 炭素含有率 (%) | 菌密度 (cfu/g乾土) | |
|---------------------|-----------|-----------|--------------------|---------------------|
| | | | 処理前 ^{注1)} | 処理後 ^{注1)} |
| 2017 | カンキツモラセス | 0.60 | 2.6×10^4 | N.D. ^{注2)} |
| | カンキツモラセス | 0.75 | 3.8×10^4 | N.D. |
| | カンキツモラセス | 0.99 | 3.2×10^4 | N.D. |
| | 2.0%エタノール | | 2.3×10^4 | N.D. |
| | 水 | | 2.2×10^4 | 5.3×10^0 |
| 2018 ^{注3)} | カンキツモラセス | 0.55 | 2.4×10^4 | N.D. |
| | カンキツモラセス | 0.61 | 1.4×10^4 | N.D. |
| | カンキツモラセス | 0.79 | 1.4×10^4 | N.D. |
| | 1.5%エタノール | | 1.0×10^4 | N.D. |
| | 水 | | 1.2×10^4 | 2.0×10^2 |

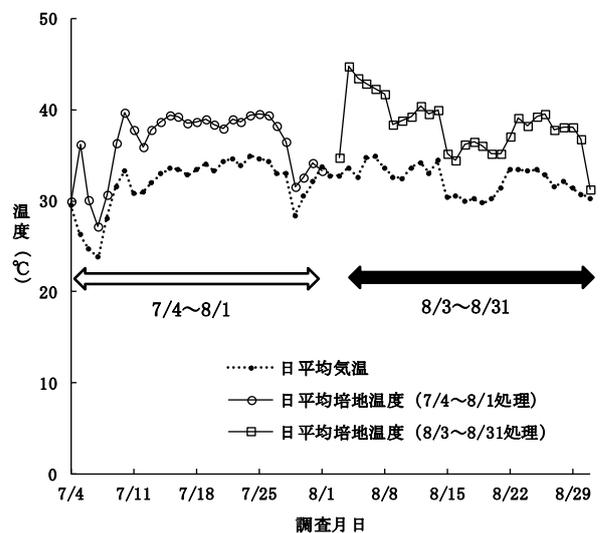
注1) 「処理前」は2017年は処理8日前、2018年は処理26日前
「処理後」はどちらの年も処理を終了した当日

注2) N.D. : 検出限界以下

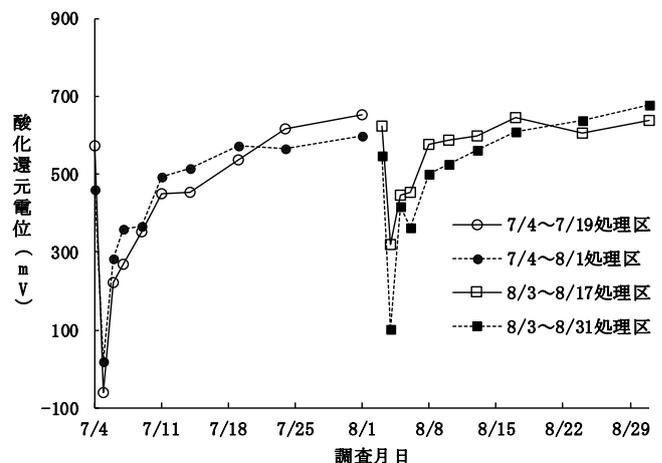
注3) 2018年の試験はイチゴ萎黄病菌の *nit* 変異菌の菌密度

定植後の発病状況について、2017年は、カンキツモラセス・炭素含有率0.60%区で12月27日から発病がみられ始め、2月28日の発病株率7.7%、発病度1.9、同・炭素含有率0.75%区で2月28日まで発病がみられず、同・炭素含有率0.99%区で

12月27日から発病がみられ始め、2月28日の発病株率2.6%、発病度1.3、2.0%エタノール区で12月27日から発病がみられ始め、2月28日の発病株率2.6%、発病度0.6、水処理区では10月24日から発病がみられ始め、2月28日の発病株率56.4%、発病度37.8であった。2018年は、カンキツモラセス・炭素含有率0.55%区で11月30日から発病がみられ始め、2月22日の発病株率5.1%、発病度2.6、同・炭素含有率0.61%区、同・炭素含有率0.79%区および1.5%エタノール区で2月22日まで発病がみられず、水処理区で1月25日から発病がみられ始め、2月22日の発病株率5.1%、発病度1.3であった（第4表）。



第5図 土壌還元処理期間中の日平均気温と処理時期の違いによる各区培地内の日平均温度の推移 (2018)



第6図 処理時期の違いによる土壌還元処理期間中の各区培地内の酸化還元電位の推移 (2018)

2. 処理実施時期の検討

ハウス内の日平均気温について、7月4日～8月1日は、西日本豪雨（6月28日～7月8日）の影響で7月5日（36.3℃）を除いて27.2～30.7℃で経過したが、7月9日以降は31.6～39.8℃の間で経過した。8月3～31日は、31.3～44.9℃の間で経過した（第5図）。

培地の30℃以上および40℃以上の積算時間について、7月4～19日処理区で315時間および88時間、7月4日～8月1日処理区で594時間および203時間、8月3～17日処理区で326時間および153時間、8月3～31日処理区で644時間および278時間であった（第5表）。

培地の酸化還元電位について、7月4～19日処理

区では、処理1日後に-61mVまで下降し、処理2日後以降は、223mVから651mVまで徐々に上昇した。7月4日～8月1日処理区では、処理1日後に17mVまで下降し、処理2日後以降は、283mVから597mVまで徐々に上昇した。8月3～17日処理区では、処理1日後に318mVまで下降し、処理2日後以降は、447mVから644mVまで徐々に上昇した。8月3～31日処理区では、処理1日後に103mVまで下降し、処理2日後以降は、364mVから677mVまで徐々に上昇した（第6図）。

培地中の*F. oxysporum*の菌密度について、処理前（6月15日）、処理直後（各区処理を終了した当日）および処理後（8月31日）は、7月4～19日処理区で 2.1×10^5 cfu/g 乾土、 2.6×10^2 cfu/g 乾土および 8.2×10^0 cfu/g 乾土、7月4日～8月1日処理区

第4表 土壤還元処理試験におけるイチゴ萎黄病の発生推移

| 試験年度 | 投入資材 | 炭素含有率 (%) | 発病株率 (%) | | | | | 発病度 | | | | |
|------|-----------|-----------|----------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| | | | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 |
| 2017 | カンキツモラセス | 0.60 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 5.1 | 7.7 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 1.3 | 1.9 |
| | カンキツモラセス | 0.75 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | カンキツモラセス | 0.99 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 1.3 | 1.3 |
| | 2.0%エタノール | | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| | 水 | | 2.6 | 25.6 | 48.7 | 51.3 | 56.4 | 0.6 | 13.5 | 27.6 | 34.6 | 37.8 |
| 2018 | カンキツモラセス | 0.55 | 0.0 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 5.1 | 0.0 | 0.6 | 1.3 | 1.3 | 2.6 |
| | カンキツモラセス | 0.61 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | カンキツモラセス | 0.79 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 1.5%エタノール | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 水 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.1 | 5.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 1.3 |

注1) 2017年の調査日は、10月：10/24、11月：11/29、12月：12/27、1月：1/31、2月：2/28

注2) 2018年の調査日は、10月：10/19、11月：11/30、12月：12/28、1月：1/25、2月：2/22

第5表 処理時期の違いによる土壤還元処理試験の各区培地内における温度別の積算時間（2018）

| 供試資材 | 炭素含有率 (%) | 処理期間 | 積算時間 (hr) | |
|----------|-----------|----------|-----------|------|
| | | | ≥30℃ | ≥40℃ |
| カンキツモラセス | 1.02 | 7/4～7/19 | 315 | 88 |
| カンキツモラセス | 1.02 | 7/4～8/1 | 594 | 203 |
| カンキツモラセス | 0.82 | 8/3～8/17 | 326 | 153 |
| カンキツモラセス | 0.82 | 8/3～8/31 | 644 | 278 |

第6表 土壤還元処理試験における各区培地内の*F. oxysporum* f. sp *fragariae*の菌密度

| 供試資材 | 炭素含有率 (%) | 実施時期 | 菌密度 (cfu/g 乾土) | | |
|----------|-----------|----------|-------------------|---------------------|-------------------|
| | | | 処理前 (6/15) | 処理直後 ^{注1)} | 定植前 (8/31) |
| カンキツモラセス | 1.02 | 7/4～7/19 | 2.1×10^5 | 2.6×10^2 | 8.2×10^0 |
| カンキツモラセス | 1.02 | 7/4～8/1 | 1.8×10^5 | 7.3×10^2 | 7.9×10^0 |
| カンキツモラセス | 0.82 | 8/3～8/17 | 2.3×10^5 | N.D. ^{注2)} | N.D. |
| カンキツモラセス | 0.82 | 8/3～8/31 | 1.2×10^5 | N.D. | N.D. |

注1) 「処理直後」は各区処理を終了した当日

注2) N.D.：検出限界以下

第7表 処理時期の違いによる土壤還元処理試験のイチゴ萎黄病の発生推移

| 投入資材 | 炭素含有率(%) | 実施時期 | 発病株率(%) | | | | | 発病度 | | | | |
|----------|----------|----------|---------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|------|
| | | | 10/19 | 11/30 | 12/28 | 1/25 | 2/22 | 10/19 | 11/30 | 12/28 | 1/25 | 2/22 |
| カンキツモラセス | 1.02 | 7/4~7/19 | 0.0 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 7.7 | 0.0 | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 3.2 |
| カンキツモラセス | 1.02 | 7/4~8/1 | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 12.8 | 15.4 | 1.9 | 3.2 | 3.2 | 6.4 | 7.7 |
| カンキツモラセス | 0.82 | 8/3~8/17 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.6 | 2.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.6 | 0.6 |
| カンキツモラセス | 0.82 | 8/3~8/31 | 0.0 | 2.6 | 2.6 | 5.1 | 5.1 | 0.0 | 1.3 | 1.3 | 1.9 | 2.6 |

で 1.8×10^5 cfu/g 乾土, 7.3×10^2 cfu/g 乾土および 7.9×10^0 cfu/g 乾土, 8月3~17日処理区で 2.3×10^5 cfu/g 乾土, 両者とも N.D., 8月3~31日処理区で 1.2×10^5 cfu/g 乾土, 両者とも N.D. であった(第6表)。

定植後の発病状況について, 7月4~19日処理区で11月30日から発病がみられ始め, 2月22日の発病株率7.7%, 発病度3.2, 7月4日~8月1日処理区で10月19日から発病がみられ始め, 2月22日の発病株率15.4%, 発病度7.7, 8月3~17日処理区で1月25日から発病がみられ始め, 2月22日の発病株率2.6%, 発病度0.6, 8月3~31日処理区で11月30日から発病がみられ始め, 2月22日の発病株率5.1%, 発病度2.6であった(第7表)。

考 察

土壤還元消毒については多くの土壤病害に対して試験研究が行われており(門馬, 2017), その効果を安定的に発現させるための条件として, 有機物資材の処理量や実施する時期が挙げられる。有機物資材にはフスマや廃糖蜜(モラセス), 低濃度に希釈したエタノール等様々なものが用いられている中で, 温度条件が同じ場合, 処理量が多く, または濃度が高いほど安定した効果が得られる傾向がみられる(新村, 2010; 渡辺・浅野, 2012)。また, 露地の土耕栽培において 30°C 以上の地温の日別積算時間が280~300時間に達することによって効果が認められる(米本ら, 2006)。これらの条件に加え湛水や密封による空気との遮断によって, 土壤酸化還元電位の低下とそれに伴う酸素の欠乏, 土壤微生物の活動, 酢酸等の有機酸の生成, 金属イオン(Fe^{2+} や Mn^{2+})の遊離といった様々な要因が組み合わさることで, 病原の生育抑制効果が得られるとされる(門馬, 2011; 小原, 2013)。

本試験においても, 柑橘類を搾汁した搾りかすをさらに圧搾し, 排出された脱汁液を濃縮した廃糖蜜で, 粘液状でオレンジ色の液体であるカンキツモラセスを有機物資材をとし, 必要な処理量(濃度)と処理時期について検討した。その結果, 処理量については, 8月上旬から29日間処理する場合において, カンキツモラセスを炭素含有率0.61%以上に調整して利用することで, 約1.5~2.0%濃度エタノールと同等の安定した効果を得ることができた。この時, 30°C 以上の培地温度の積算時間は531~634時間の範囲であり, 米本ら(2006)の試験で効果の得られた温度条件を十分に満たしており, 土壤還元処理に適した条件であったと考えられる。また, 処理期間中はハウスを開放しており, 40°C 以上の培地温度の積算時間は各区115~194時間で, 熱消毒に必要とされる 40°C 以上の地温の積算時間が190~336時間(小玉・福井, 1982)を下回っていたことから, 今回の試験でも効果は地温上昇だけによるものではないことが示唆された。

実施時期について, 炭素含有率0.82%以上のカンキツモラセスを用いる場合, 処理日数に関わらず, 8月上旬からの処理開始は, 7月上旬からの処理開始に比べて病原菌の残存がみられず, 発病もやや少なく安定した効果が得られた。このとき, 8月上旬からの処理開始では, 培地の日平均温度が常に 35°C 以上確保されており, 還元処理に適した条件であった。しかし, 7月上旬からの処理開始では処理後2~4日の天候不良により 30°C 以下で推移した。土壤還元消毒において十分な効果を得るには 30°C 以上の地温が必要であるとされているため(新村ら, 1999; 渡辺・浅野, 2012), 処理直後の培地温度が一時的に 30°C 以下に低下したことが不利に働いたものと考えられた。これに対して, 処理6日後以降は7月処理区, 8月処理区ともに概ね 35°C 以上の温度で推移しており, 処理期間を通した 30°C 以上の培地温度の積算時間も全ての試験区

で米本ら (2006) が効果の得られた条件に達していた。

また、カンキツモラセス処理量、処理実施時期の検討試験のいずれにおいても、カンキツモラセスを処理した場合、酸化還元電位の最低値が $-100\sim 250\text{mV}$ であまり低下せず、還元化も長く維持されなかった。酸化還元電位については、高設栽培においては土耕栽培に比べて低下しない事例も報告されている (農研機構農業環境変動研究センター, 2012)。愛媛農試方式の高設栽培 (玉置・角田, 2003) では栽培槽は不織布をハンモック状に吊り下げて作り、培地はピートモスともみがらくん炭を混和した人工培地を用いている。このため、ポリフィルムで高設ベッドを密封したことで嫌気的条件は維持されていたとすれば、培地の組成や物理性が還元化を長く維持できなかった要因になるものと推察した。なお、エタノール処理区に比べてカンキツモラセス処理区では、低い炭素含有率であっても一時的とは言え、より酸化還元電位は低下していることから、処理資材として優れていることが明らかとなった。

以上のことから、カンキツモラセスは土壤還元処理に用いる有機物資材として有用であり、概ね 30°C 以上の培地の日平均温度が確保されていれば、炭素含有率 0.61% 以上で29日間、 35°C 以上の培地の日平均温度が確保されていれば、炭素含有率 0.82% 程度で15日間以上の処理を行うことによって、一定の効果が得られるものと判断した。よって、実際に土壤還元処理を実施する場合は、梅雨明け以降に行うことが望ましく、本法のカンキツモラセスによる土壤還元処理は盛夏期にもハウスを開放した状態にできることから、ハウス内の温度上昇を抑えながら、イチゴ萎黄病の発生を抑制できることが明らかとなった。今後は、未利用資源の有効利用や環境にやさしい農業の推進に資するため、現地での発病程度に応じたカンキツモラセスの処理方法等のさらなる検討が望まれる。

摘 要

イチゴ高設栽培において、イチゴ萎黄病菌に対する土壤還元処理の資材としてカンキツモラセスの処理条件を検討した結果、培地の日平均温度が

概ね 30°C 以上に安定的に確保される時期において炭素含有率 0.61% 以上で29日間、培地の日平均温度が 35°C 以上に安定的に確保される時期において炭素含有率 0.82% 程度で15日間以上の処理を行うことによって、一定の効果が得られるものと判断した。また、ハウスの開放条件での処理が可能となり、太陽熱消毒に比べ温度の上昇を抑えて実施することができることから、土壤還元処理におけるカンキツモラセス利用の有用性が示された。

謝 辞

本試験を実施するにあたり、神奈川県農業技術センターの植草秀敏氏、岡本昌広氏、園芸植物育種研究所の門馬法明氏には土壤還元消毒法の技術や作用機構について、西日本農業研究センターの竹原利明氏にはイチゴ萎黄病菌の生態について、貴重な知見の教授とご指導を頂いた。また、えひめ飲料株式会社各位には、試験に用いるカンキツモラセスをご提供頂いた。ここに記し、感謝の意を表する。

引用文献

- 愛媛県農林水産部農業振興局農産園芸課 (2017) : 平成 29 年産野菜類の生産販売状況に関する調査 : 2~4.
- 石松敏樹・岡本潤・後藤英世 (2013) : 大分方式高設栽培における太陽熱消毒によるイチゴ萎黄病の防除対策. 大分県農林水研報 (農業研究部編), 3 : 9~18.
- 伊藤博章・松澤光 (2008) : イチゴ新品種 ‘あまおとめ’ の育成. 愛媛県農試研報, 41 : 16~20.
- 鍛冶原寛・野村愛・井上興・岡田知子・唐津達彦・林克江村・小山覚史 (2011) : 山口型高設栽培システム「らくラック」における太陽熱消毒によるイチゴ萎黄病の防除. 近畿中国四国農研, 18 : 19~25.
- Kobara, Y・Uematsu, S・Tanaka-Miwa, C.・Sato, R. and Sato, M. (2007) : Possibility of the new soil fumigation technique with ethanol solution. Proceeding of 2007 Annual International

- Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions : 74.1 ~74.2.
- 小原祐三 (2013) : 酸化還元電位の新展開 - 土壌の酸化還元がもたらす現象を追う - 6. 低濃度エタノール処理による土壌酸化還元制御を利用した連作障害回避技術. 土肥誌, 84 : 112~117.
- 小林紀彦 (1995) : フザリウム菌による病害 (萎ちょう性). 作物病原菌研究技法の基礎—分離・培養・接種— (大畑寛一・荒木隆男・木曾皓・工藤晟・高橋廣治編). 日本植物防疫協会, 東京 : 295~297.
- 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.
- Maas (1998) : Compendium of Strawberry Disease, SECOND EDITION, APS PRESS, Minnesota : 1~128.
- 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.
- 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.
- 新村昭憲・坂本宣崇・阿部秀夫 (1999) : 還元消毒法によるネギ根腐萎ちょう病の防除. 日植病報, 65 : 352 (講要).
- 新村昭憲 (2000) : ネギ根腐萎凋病の病因と対策. 土壌伝染病談話会レポート, 20 : 133~143.
- 新村昭憲 (2004) : 還元消毒法の原理と効果. 土壌伝染病談話会レポート, 22 : 2~12.
- 新村昭憲 (2010) : 還元消毒法の効果と原理. 農業および園芸, 85 : 810~816.
- Nishimura, N (2007) : Selective media for *Fusarium oxysporum*. J. Gen. Plant Pathol., 73 : 342~348.
- 西村範夫 (2008) : PCNB を用いない *Fusarium oxysporum* 用選択培地. 植物防疫, 62 : 164~167.
- 農研機構農業環境変動研究センター (2012) : 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技術 技術資料 : 71pp.
- 岡本康博・藤井新太郎・加藤喜重郎・芳岡昭夫 (1970) : イチゴの新病害「萎黄病」. 植物防疫, 24 : 231~235.
- 小山田浩一・鈴木聡・和田悦郎・齋藤芳彦 (2003) : 土壌還元消毒法のイチゴ萎黄病に対する防除効果. 関東東山病虫研報, 50 : 49~53.
- 竹原利明 (1992) : 糸状菌における *nit* 変異菌株の作出と利用. 植物防疫, 46 : 395~399.
- 玉置学・角田和利 (2003) : イチゴのハンモック式簡易高設栽培システム. 愛媛農試研報, 37 : 13~19.
- 手塚信夫 (1992) : イチゴ萎黄病の発生生態と防除. 土と微生物, 39 : 21~25.
- 渡辺秀樹・浅野雄二 (2012) : ホウレンソウ萎凋病菌および立枯病菌に対する低濃度エタノールの有効処理条件. 関西病虫研報, 54 : 127~129.
- 米本謙悟・広田恵介・水口晶子・坂口謙二 (2006) : 露地における土壌還元消毒法の利用方法とイチゴ萎黄病に対する効果. 四国植防, 41 : 15~24.
- 萬周平・芝田英明 (2018) : 愛媛県のイチゴ高設栽培におけるカンキツモラセスを用いた土壌還元消毒によるイチゴ萎黄病の防除. 日植病報, 84 : 226.