

ミカン搾汁残さ由来バイオエタノールを用いた 土壌還元消毒によるキュウリネコブセンチュウ被害の軽減

大森誉紀 横田仁子*

Damage reduction of root-knot nematodes on cucumber using soil reduction disinfection
with bio-ethanol made from orange pomace

OOMORI Takanori and YOKOTA Satoko

要 旨

非黒ボク土のハウス土壌において、ミカン搾汁残さから製造したバイオエタノールを用いて低濃度エタノール土壌還元消毒を行い、キュウリのネコブセンチュウ被害軽減に効果があることを確認した。処理液濃度を2%、処理液量を50L/m²、処理期間を21日間とし、処理液の散布方法は、水を湛水またはチューブ散水しながら希釈したエタノールを散布することで、作土が還元化された。これにより、センチュウ密度が低下しキュウリの根こぶ程度も低下し、キュウリの生育や収量が向上した。バイオエタノールの代わりに市販の精製エタノールや変性エタノールでも同様の効果は期待できる。

キーワード：バイオエタノール、低濃度エタノール土壌還元消毒、ネコブセンチュウ、非黒ボク土

1. 緒言

愛媛県は全国トップの柑橘類生産県であり、この柑橘類を利用した果汁飲料水等の製造も盛んである。果汁用搾汁量は25,500t/年で、残さ発生率を50%とすると、搾汁残さは12,750t/年と推計され、これに缶詰用搾汁残さ推計量を加えると、搾汁残さは約13,000t/年と推計されている(愛媛県, 2004)。これら残さは、家畜の飼料や陳皮として全量再利用されているが、リサイクルにかかる経費が大きく新たな活用方法が望まれていた。そこで2010年に、県は環境省地球温暖化対策技術開発事業を活用して、みかん搾汁残さから得た脱汁液から99.5%エタノールを5kL/日製造できる実証プラントを、松山市内の民間ジュース工場内に設置した。製造したエタノールはE3 ガソリンやボイラー用燃料として利用するだけでなく、様々な用途への利用拡大が必要であったことから土壌還元消毒試験への適応性を検討した。

低濃度エタノール土壌還元消毒法(小原, 2008)を用いたキュウリのネコブセンチュウ

対策では、エタノール濃度は7~8月には0.5%、6月には1%で良く(大木ら, 2010)、フスマを用いた土壌還元消毒と比べて下層土まで安定的な防除効果がある(桑原ら, 2011)ことが報告されている。また、エタノール希釈液量は施用する畑条件に合った液量を把握する必要があり(小原, 2008)、大木らは表層腐植質黒ボク土の温室でエタノール希釈液を200L/m²ホースで散布し、桑原らは淡色黒ボク土のビニルハウスで希釈液を150L/m²かん水チューブでかん注処理している。愛媛県内の農耕地土壌の9割以上が保水性の低い非黒ボク土であるため、愛媛県内の土壌ではより少ない希釈液量で効果が得られると考えられる。

本試験では、愛媛県内の土壌でエタノールを用いた土壌還元消毒法を導入する場合の、最低限必要な希釈液量、効果的な希釈液濃度と処理期間、及び省力的で効果の高い施用方法を検討したので報告する。

2. 材料および方法

*元 農林水産研究所

2.1 希釈液の施用量の検討

希釈液の必要量を算出するために、農林水産研究所内の水田転換畑にあるビニルハウスの土壌について、定法（愛媛県農林水産部技術指導課，1994）により、耕起後の作土の飽和透水係数，最大容水量，三相分布（実容積測定器，大起理化工業），pF1.5 時の水分率を測定し，ほ場ではベーシックインテークレート測定した。

2.2 希釈液の濃度および処理期間の検討

希釈液濃度および処理期間を検討するために，2013年7月30日に，キュウリにネコブセンチュウが自然発生している県内のキュウリ連作ハウスから，半促成キュウリ栽培終了直後の栽培畝の土壌を採取した。土壌はナイロン袋に密封して持ち帰り，屋外の降雨や直射日光が当たらない場所で保管し，8月23日に22L容プランター（縦48cm×横32cm×深さ26cm）8基に深さ20cmで充填した。処理区は，エタノール濃度が0%（水のみ）区，0.1%区，0.5%区，2%区の4区で，各区2反復とした。前処理に水道水をかん水しプランターの排水孔から余剰水が排出するまで土壌を十分湿らせ，その後，各希釈液をプランターあたり8L（52L/m²相当）かん水しビニルで被覆し，屋根付き網室内に静置した。各区にEh電極を1本ずつ，7cmの深さに埋め込み，処理期間中のEhをポータブルpH/ORP計（UC23，セントラル科学株式会社）で測定した。なお，供試したエタノールは，（株）えひめ飲料松山工場で製造したバイオエタノールで，リモネンは除去されており，アルコール濃度は99.5%であった。

処理土壌の検定には，14日間被覆処理の土壌と21日間被覆処理の土壌を供試した。14日間処理土壌は各プランター内の片側半分（1/5000a）ワグネルポット3個に分けて充填し，希釈液施用同日に無病の市販育苗培土に播種14日後のキュウリ自根苗‘夏すずみ’を各ポット1株定植した。プランター内の残土は不攪乱のまま7日間処理を継続し，21日間処理土壌とした。そして，播種21日後のキュウリ苗各3株をプランター内の土壌へ直接定植した。いずれのキュウリもワグネルポッ

トまたはプランターで播種45日後まで栽培し，草丈，葉数を株ごとに調査した。また，成書（伊藤，2011）により，根を水洗しフロキシシンB水溶液で染色した後，卵のう着生数を計数し，卵のう程度を0（卵のう無），1（卵のう1～5個/株），2（同5～20個/株），3（同20～100個/株），4（同100個以上/株）の5段階に評価し，その平均を卵のう指数とした。

2.3 希釈液の湛水施用と散水施用による効果比較

試験は農林水産研究所内の土壌肥料ガラス温室（100m²）で行った。2.1で供試した県内キュウリ連作ハウスの作土を2012年11月に採土し，ガラス温室内に散布・耕起し，2013年3月から12月までトマト‘桃太郎8’を半促成および抑制栽培し，汚染土壌を準備した。

エタノールを用いた土壌還元消毒は，2014年4月18日から5月9日まで実施した。供試したエタノールは2.2で用いたものと同じである。ガラス温室内を耕起，整地後，温室内を縦に3分割し1.5m×15mの区画を3区設け，湛水区，散水区および無処理区を配置した。湛水区はプラスチック製あぜ波シートで囲い，温室内のかんがい配管から区画内に50L/m²注水し自然落水後，再び50L/m²注水，湛水し，この中に10倍に希釈したエタノールを10L/m²散布し，直ちに歩行型管理機で良く攪拌することで，湛水中のエタノール濃度を約2%とした。散水区には散水チューブ（散水量200mL/分/m）を枠内に2本配置し，隣接する処理区へ処理の影響が及ばないよう幅135cmのビニルシートを直立させて囲い，使用水量が湛水区と同量となるよう約3時間の散水を2回実施した。2回目の散水時に10倍希釈エタノール10L/m²を3回に分けてジョウロで散布した。両区ともエタノール施用後はビニルマルチで被覆し，無処理区は耕起，整地後裸地のまま放置した。処理期間中は温室を密閉し，処理期間終了後に被覆を除去した。

処理効果を把握するため，被覆除去後直ちに各処理区の中央に畝裾幅0.9mの畝を立て，銀マルチで被覆し，各畝に播種46日後のキュウリ自根苗‘北進’を1本/m²となるよう株間66cmで10本定植した。基肥には高度化成

を窒素成分で 15kg/10a 施用し、追肥には有機液肥を収穫開始以降に 2 回、1 回あたり施用量を窒素成分で 3 kg とし、かん注施肥した。かん水は開花までは手かん水とし、開花後はマルチ下に配したかん水チューブで 3 畝同時に毎日かん水した。

処理中の無処理区地表面や被覆直下の温度および 10cm 下の地温を温度記録計（おんどとり Jr., 株式会社ティアンドディ）で測定した。処理によって土壌が還元されたことを確認するため、処理後土壌の断面の土色を標準土色帖（富士平工業株式会社）を用いて調査し、土壌中の全センチウ数を土壌還元処理の前後の作土について、ベルマン法（佐野ら, 2011）を用い 48 時間で分離し、実体顕微鏡下（S8AP0, LEICA）で計測した。草丈は各区 6 株を測定し、収量は各区 6 株の合算で調査した。根こぶ程度は、キュウリの生育盛期である 7 月 2 日に、各区内で生育が平均的な株について伊藤（2011）の方法で 5 段階で評価した。また、その株元の土壌について同様に全センチウ数を計測した。

3. 結果

3.1 処理液量の検討

ハウス土壌の最大容水量は 36mL/100mL、三相構造は固相率 44%、液相率 19%、気相率 37%であり、pF1.5 時の水分率は 22%であった。ベーシックインテークレートは 8mm/h、作土の飽和透水係数は 1.9×10^{-2} cm/s であった（表 1）。

3.2 処理濃度および処理期間の検討

土壌還元処理後の Eh は、2%区では施用後 10 日で -400mV に低下し、その後一定であった。水のみ区と 0.1%区は 100~320mV でほぼ一定であった。0.5%区では施用後 5 日までは 200mV で一定であったが、10 日後以降は 400mV で一定であった（図 1）。

卵のう指数は、水のみ区を除く各区で 14 日間処理より 21 日間処理が有意に低かった。21 日間処理では、水のみ区 > 0.1%区 ≒ 0.5%区 > 2%区の順に低かった。草丈は、いずれの区も 14 日間処理より 21 日間処理で高くなり、

21 日間処理では、0.1%区 ≒ 水のみ区 > 0.5%区 ≒ 2%区の順に小さかった。葉数も 0.5%区と 2%区では他区より少なかった（表 2）。

3.3 省力的で効果の高い処理方法の検討

土壌還元処理中の地温は、裸地である無処理区の地表面では最低 13.7℃~最高 69.3℃、マルチ直下の地表面では 21.1℃~65.7℃であった。マルチ下 10cm の位置では 22.2℃~33.7℃で平均が 27.8℃であった（図 2）。

表 1 水田転換畑ハウスの土壌物理性

項目	計測値
最大容水量 (mL/100mL)	36
固相率 (%)	44
液相率 (%)	19
気相率 (%)	37
pF1.5 時水分率 (%)	22
飽和透水係数(cm/s-1)	1.9×10^{-2}
ベーシックインテークレート(mm/h)	8.0

表 2 プランターでのエタノール処理濃度および処理期間の違いがキュウリ苗の生育に及ぼす影響

区	処理期間 (日)	草丈 (cm)	葉数 (枚/株)	卵のう指数 ^x
水のみ	14	64 b	11 a	4.0 a
	21	89 a	11 a	4.0 a
0.1 %	14	39 b	9 ab	3.2 ab
	21	94 a	11 a	2.4 cd
0.5 %	14	35 b	8 b	3.0 bc
	21	59 b	9 ab	2.0 de
2%	14	39 b	8 b	1.3 e
	21	58 b	9 ab	0.3 f

x は、卵のう程度を 0 (卵のう無), 1 (卵のう 1~5 個/株), 2 (同 5~20 個/株), 3 (同 20~100 個/株), 4 (同 100 個以上/株) の 5 段階に評価。

各項目内の異なる英小文字間に Tukey の多重検定 (5%) で有意差あり。

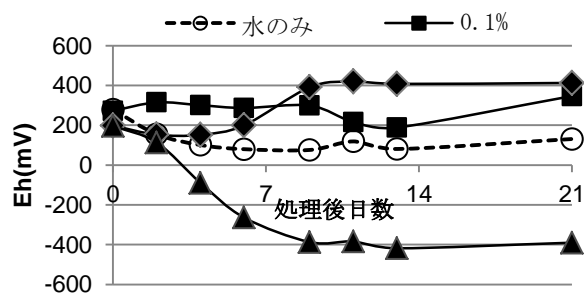


図 1 プランターでのエタノール処理中の土壌 Eh の推移

土壤還元処理後の土壤断面の土色は、湛水区や散水区では 10 cm 深までがオリーブ黒色で、10 cm 以下では暗灰黄色であった。無処理区では黄褐色～暗灰黄色で作土，下層ともほぼ同様な色調であった（表 3）。

土壤中全センチウ数は、湛水区，散水区とも処理直後に約 1 頭/30g 生土で，生育盛期に 71～185 頭/30g 生土と増加した。無処理区では，処理期間の前後で 230～235 頭/30g であったが，生育盛期には 1,193 頭/30g に増加した（表 4）。

生育盛期の根こぶは，湛水区，散水区で微～少発生であり，無処理区では甚であった。草丈は 5 月 21 日以後に無処理区で有意に低く，収量は散水区＞湛水区＞無処理区の順に多かった（表 5）。

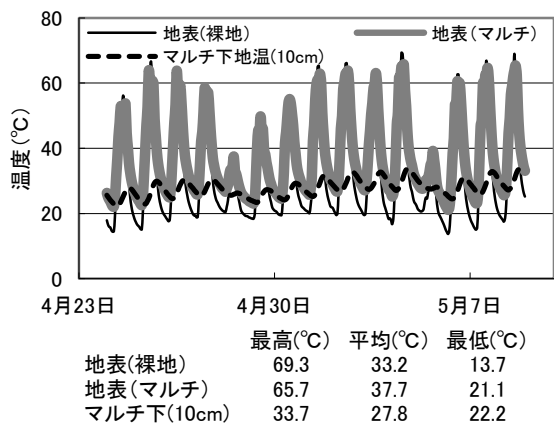


図 2 処理中の土壤表面と地中の温度

表 3 土壤還元処理後の土色^x

	0～10cm 深	10～19 cm 深
湛水区	オリーブ黒 (7.5Y 3/2)	暗灰黄 (2.5Y 4/2)
散水区	オリーブ黒 (5Y 3/2)	暗灰黄 (2.5Y 4/2)
無処理区	黄褐 (2.5Y 5/4)	暗灰黄 (2.5Y 4/4)

^x () 内はマンセル表色系

4. 考察

4.1 処理に要する液量

大木ら（2010）や桑原ら（2011）は，いずれも黒ボク土を供試し，希釈エタノール液 150～200L/m²をホース散布してエタノール土壤還元消毒を実施した。県内には黒ボク土は少なく，非黒ボク土が多い。非黒ボク土壌は黒ボク土壌に比べ固相率が高く，最大容水量が小さいことから，本県では土壤を湿潤にさせる水量は，大木ら，桑原らの試験より少なくても良いと考えた。また，県内ではハウスの多くが水田転換畑に建てられている。水田転換畑では水田の耕盤に由来する不透水層があり，水の下方浸透が極めて小さい。本調査でも，ベーシックインタープレートと比べ，作土の飽和透水係数は極めて小さいことから，最小限の処理水量は，作土層を湿潤にさせる量と考えられた。すなわち，必要な処理水量は，作土の最大容水量または気相率と同量で良いと考えられ，36～37L/m²の施用で 10 cm，50L/m²の施用で 14 cm 浸透し，作土を湿潤にすると考えられた。本試験では処理後の土壤断面が 10 cm 深まで土壤還元を示していたことから，50L/m²の処理量で妥当であったと思われる。

表 4 土壤中全センチウ数の推移^x

	(頭/30g 生土)		
	処理前 ^y	処理後 ^y	生育盛期 ^y
湛水区	190	1	71
散水区	60	1	185
無処理区	230	235	1,193

^y 処理前（4 月 18 日），処理後（5 月 9 日），生育盛期（7 月 8 日）

^x センチュウの分離はベルマン法で 48 時間

表 5 キュウリの草丈，収量と根こぶ程度

	草丈 (cm) ^{z y}				果実数 (本/株)	果実重 (g/株)	根こぶ 程度 ^x
	5 月 14 日	5 月 21 日	6 月 6 日	6 月 18 日			
湛水区	27 a	47 a	153 a	201 a	29	3,926	1
散水区	27 a	48 a	156 a	193 a	37	6,101	2
無処理区	24 a	33 b	100 b	174 b	10	1,082	4

^z 定植 5 月 9 日，摘芯 6 月 18 日，根こぶ程度は 7 月 2 日（生育盛期）

^y 異なる英小文字間に Tukey の多重検定(5%)で有意差あり。

^x 根こぶ程度は 0:無，1:微，2:少，3:多，4:甚

4.2 効果的な希釈液濃度と処理期間

プランター試験では、2%区でのみ処理期間中に Eh が大きく低下し、かつネコブセンチュウの検定用に定植したキュウリ苗の卵のう指数は、2%区で有意に低かった。このことから、エタノール濃度が 0.5%以下では土壤の還元が不十分で、ネコブセンチュウの抑制に効果が低いと考えられる。

本試験は 7～8 月に実施したが、大木ら (2010)の試験では 7～8 月にはエタノール濃度は 0.5 %、6 月には 1%が良いとしている。本試験では、非黒ボク土壌を供試し、処理液量は 50L/m²と大木らの試験の 4 分の 1 と少ない。非黒ボク土壌は黒ボク土に比べ保水性が低く、またプランター試験であり余剰水が排出されやすい条件であったことと合わせ、エタノール濃度が 0.5%では土壤が還元されるには不十分であったと思われる。

卵のう指数は、処理期間が 21 日間に比べ 14 日間で有意に高いことから、ネコブセンチュウの抑制のためには処理期間が 14 日間で不十分であった。ネコブセンチュウの世代交代は好適な環境では 1 世代を 1 か月で完了する (三枝, 2011) ことから、土壤還元処理期間は 1 か月程度が必要であると考えられた。

4.3 省力的で効果の高い処理方法

ほ場試験では、湛水区と散水区を設置した。いずれも補助作業者を必要とせず、両区とも省力的な方法と考えられる。散水時に液肥混入器等を使用すれば、より省力的な作業が可能となる。排水性の低いほ場では湛水または散水の方法、排水性の高いほ場では散水の方法を選択することができる。

湛水区、散水区とも、生育盛期には根こぶが発生していたが、その程度は無処理区より低かった。また湛水区、散水区の作土の土色は明度および彩度ともに無処理区より低く土壤が還元であったことを示していた。このことがネコブセンチュウの初期密度を抑制し、定植直後からのネコブセンチュウの加害を回避し、無処理区と比べ、地上部の生育が良好となり収量も高くなったと考えられた。

湛水区の根こぶ指数が散水区より高かったのは、湛水区が無処理区と接しており根の伸

長に伴い感染が増加したと考えられた。このことから、本土壌還元消毒では、栽培期間中に下層土または処理区周辺土壌からネコブセンチュウの侵入があると考えられる。このため、土壌中のネコブセンチュウを完全に除去することは難しいと思われるので、土壤還元消毒は毎作実施することが好ましい。

なお、本試験では、(株)えひめ飲料松山工場でミカン搾汁残さから製造したバイオエタノールを供試した。このエタノールはかすかに柑橘臭があるものの、アルコール分を 99.5%に精製したものであり、かつ柑橘類の皮に多く含まれるリモネンは除去されていることから、市販されている精製アルコールと同等製品である。よって、精製アルコールまたは変性アルコールを用いた土壤還元消毒と同様に、本バイオエタノールも土壤還元消毒に使用できる。

謝辞

本試験の実施にあたり、バイオエタノールを提供いただいた(株)えひめ飲料松山工場にお礼申し上げます。

引用文献

- 愛媛県 (2004) : バイオマス発生量等調査研究報告書。
- 愛媛県農林水産部普及指導課 (1994) : 土壤・作物体診断マニュアル。
- 伊藤賢治 (2011) : 線虫学実験法。日本線虫学会。
- 黒木修一、櫛間義幸 (1992) : 宮崎県において抵抗性のトマト品種に寄生のみられたサツマイモネコブセンチュウ、九州病害虫研究会報, **38**, 96-98。
- 桑原克也、高橋まさみ、大堀智也、三木静恵 (2011) : 施設キュウリにおける低濃度エタノールを用いた土壤還元消毒による下層土のネコブセンチュウの防除効果、関東東山病害虫研究会報, **58**, 85-89。
- 水越亨 (2004) : 北海道におけるサツマイモネコブセンチュウのトマト抵抗性品種打破個体群の出現、北日本病害虫研究会報, **55**, 202-206。

奈良部孝，百田洋二（1992）：抵抗性トマト品種に寄生するサツマイモネコブセンチュウ系統の出現とその解析，関東東山病害虫研究会報，**39**，297－299.

小原裕三（2008）：低濃度エタノールによる新規土壤消毒法の開発，植物防疫，**62**，427－432.

大木浩，牛尾進吾，川城英夫，武田藍（2010）：エタノールを用いた土壤還元消毒における処理濃度と地温がキュウリのネコブセンチュウ防除効果に及ぼす影響，関東東山病害虫研究会報，**57**，71－74.

三枝敏郎（2011）：センチュウ おもしろい生態とかしこい防ぎ方，社団法人農山漁村文化協会.

佐野善一，水久保隆之，相場聡（2011）：線虫学実験法．日本線虫学会.