焼酎粕加工液を用いた土壌病害虫抑止法の開発 サツマイモネコブセンチュウに対する抑止効果

黒木 尚¹⁾・今村 幸久¹⁾・野崎 克弘¹⁾・白木 己歳¹⁾・上米良壽誕²⁾
(¹⁾ 宮崎県総合農業試験場・²⁾ 雲海酒造株式会社)

A method for controlling soilborne diseases using processed liquid from shochu distillery waste: control effect of *Meloidogyne incognita* infection of melon. Takashi Kuroki¹⁾, Yukihisa Imamura¹⁾, Katsuhiko Nozaki¹⁾, Mitosi Shiraki¹⁾ and Toshihiro Kanmera²⁾
(¹⁾ Miyazaki Agricultural Research Institute, Miyazaki, Miyazaki 880-0212, Japan. ²⁾ Unkai Shuzo Co., Ltd., Aya, Miyazaki 880-1303, Japan)

環境に配慮した持続可能な農業が近年ますます求められるようになり、化学農薬に頼らない土壌病害虫防除法の開発が重要になってきている。宮崎県の地域資源である焼酎粕の有効活用を検討していく中で、筆者らは焼酎粕を加工・調整した焼酎粕加工液に着目し、メロンのサツマイモネコブセンチュウに対するムギ焼酎粕加工液の抑止効果について検討を行った。その結果、灰色低地土圃場において、焼酎粕加工液の定植前処理は、地上部の萎凋および根こぶの着生を低く抑え、果実品質を高めたことから、メロンのサツマイモネコブセンチュウに対し焼酎粕加工液は高い抑止効果を持つことが明らかとなった。また、焼酎粕加工液に含まれる肥料成分のみで収穫まで肥料不足となることなくメロンが栽培できたことから、肥料としても有効であることが確認された。

Key words : root-knot nematode, organic amendments

緒 言

メロン (*Cucumis melo* L.) 栽培において、ネコブセンチュウ等の土壌病害虫による被害は、株の萎凋・枯死を招き、果実品質を著しく低下させることから、メロンの安定生産と産地維持のため、防除対策は欠かせないものとなっている。一般的に土壌病害虫に対しては、土壌くん蒸剤などの化学薬剤により防除が行われているが、農業従事者の健康への悪影響および環境への負荷が懸念されている。環境に配慮した持続可能な農業が求められる中、化学農薬に頼らない土壌病害虫に対する防除法の開発が近年ますます重要になってきている。

一方、宮崎県の地域資源である焼酎粕は焼酎製造過程で出る蒸留後の食品残渣であり、窒素、リン酸、カリなどの肥料成分を有していることから、これまで肥料効果について研究されてきた(福川, 1991; 横山ら, 2009)。筆者らは、焼酎粕のさらなる有効活用を検討していく中で、焼酎粕を加工・調整した焼酎粕加工液が、メロンつる割病に対し高い抑止効果を示すことを

明らかにした(野崎ら, 2010)。また、焼酎粕は、有機物や有機酸、ビタミン、ミネラルなど多種多様な成分を含み、特にアミノ酸や有機酸を豊富に含んでおり(家藤, 1991)、これら有機物および有機酸による植物寄生性線虫に対する抑制効果について研究がなされている(Linford et al., 1938; 石橋, 1970; 古賀, 1977; 古賀, 1984; 中園ら, 1984; 中園ら, 1986; 片瀬ら, 2010; 浦上ら, 2009; 浦上ら, 2011)。そこで本試験では、メロン栽培におけるサツマイモネコブセンチュウ (*Meloidogyne incognita* Kofoid et White) に対する焼酎粕加工液の抑止効果について検討を行ったので報告する。

本研究を行うにあたり、焼酎粕を利用した土壌病害虫抑止の可能性について、先見的な取り組みを行い、今回の焼酎粕加工液を利用した土壌病害虫抑止試験についてのシーズ的な知見を提供していただいた、横山明敏博士(元宮崎県総合農業試験場)に厚くお礼申し上げる。

材 料 お よ び 方 法

1. 供試圃場

宮崎県総合農業試験場（宮崎県宮崎市）内のサツマイモネコブセンチュウ汚染圃場（灰色低地土）を用い、2009年の秋作メロン栽培で試験を行った。汚染圃場はハウセンカで増殖させたサツマイモネコブセンチュウ（九州沖縄農業研究センターより分譲）を接種した後、メロンを1作栽培した圃場を供試した。なお、その際のメロンの根こぶ着生株率は100%であった。試験区は面積5.25m²（3.5m×1.5m）、10株植えとし、2反復で試験を行った。各区の境は畦波板を深さ約20cmで埋設し、間仕切りを行い、処理時から収穫まで地表面を農業用ポリエチレンフィルム（厚さ0.03mm、緑色）で覆い、再汚染の影響を排除した。

2. 焼酎粕加工液

ムギ由来の焼酎粕（雲海酒造株式会社）を固液分離後、液部をさらに低温濃縮して焼酎粕濃縮液と凝縮液（特開2004-338974）に分離した。その濃縮液を凝縮液で窒素成分0.2%となるように希釈調整した液体を供試焼酎粕加工液として用いた。

3. 区の構成および処理方法

処理区は焼酎粕加工液処理区、および対照としてD-D剤処理区、無処理区を設置した。

焼酎粕加工液は、定植15日前（2009年9月10日）に畦部の中央部に幅約20cm、深さ約15cmの溝を切り、そこに焼酎粕加工液を、20Lポリタンクを用いて株当たり5.5Lになるように連続して流し込み、直ちに埋め戻す方法で処理し、処理後、前述のフィルムで被覆した。

D-D剤は、定植14日前（同年9月11日）に手動式灌注器で30cm千鳥に20L/10a相当量を灌注処理（深さ15cmに1穴2ml）し、0.03mm透明ポリエチレンフィルムで被覆した。定植1日前に被覆を除去し、ガス抜きのため軽く耕起し、定植直前に前述のフィルムで被覆した。

4. 耕種概要

メロン品種は「アールスメロン系」を用い、最低夜温を18℃に設定した加温ビニールハウス内で平畦により栽培（株間35cm）した。播種2009年9月9日、定植9月25日、交配日11月1～4日、収穫2010年1月4日であった。施肥量は、窒素成分で株当たり11gとし、焼酎粕加工液区は加工液（5.5L×0.2%）を、D-D剤および無処理区は100日タイプの肥効調節型肥料を施用し、追肥は行わなかった。

5. 調査方法

地上部における萎凋程度を下記の基準に従って定植から約10日おきに各区全株（10株）について調査し、萎凋株率および萎凋度を算出した。

地上部の萎凋程度別基準

- 0：萎凋が認められない
- 1：葉の生気がなくなる
- 2：一部に萎凋がみられる
- 3：全体に萎凋がみられる
- 4：枯死

萎凋度 = $[\sum (\text{指数} \times \text{萎凋程度別株数}) / (\text{調査株数} \times 4)] \times 100$

また、2010年1月4日の収穫時に各区全株（10株）について、上記の萎凋程度調査を行ったのち、根を掘り取り、下記の基準に従って調査し、根こぶ着生株率、根こぶ指数を算出した。

根こぶ着生程度別基準

- 0：根こぶが全く認められない
- 1：根こぶがわずかに散見される
- 2：根こぶは中程度でほとんど連なっていない
- 3：根こぶが多く連なっている
- 4：根こぶがほとんど連なっている

根こぶ指数 = $[\sum (\text{指数} \times \text{根こぶ着生程度別株数}) / (\text{調査株数} \times 4)] \times 100$

定植25日後の10月20日に各区全株（10株）について生育調査（草丈、葉数）、収穫時には各区全果（10果）について果実品質（外観、重量、果形、糖度）を調査した。果実外観については宮崎県経済連の出荷規格に基づき5（良）から1（不良）の5段階で評価し、1果あたりの平均値を算出した。また、基準が2以上の果実を商品果実とし、商品果率を算出した。

さらに、焼酎粕加工液処理直後（9月12日）から定植（9月25日）までの期間の地温を測定するため、焼酎粕加工液処理区および無処理区の深さ25cm地点にデータロガー（LITE5016, MicroLife）を設置した。また、土壌pHの変動を明らかにするため、すべての試験区において、焼酎粕加工液処理前および処理3日後の土壌pHをpHメーター（F-52, HORIBA）により測定した。

結 果

1. 焼酎粕加工液のサツマイモネコブセンチュウに対する抑止効果

各試験区の定植から収穫までの地上部の萎凋株率および萎凋度の推移を第1、2図に、収穫時の萎凋、枯

第1図 萎凋株率の推移. 数値は2反復の平均値.

第2図 萎凋度の推移. 数値は2反復の平均値.

第3図 収穫時の萎凋株の状況(手前:無処理区,奥:焼酎粕加工液処理区).

死株の状況を第1表および第3図に示した。無処理区では、交配期(交配日:11月1～4日)を境に萎凋株率およびその程度が急激に進展し、収穫時には枯死株率75.0%,萎凋度88.8となった。これに対し、焼酎粕加工液処理区は、栽培期間中を通して萎凋株率、萎凋

度ともに低く推移し、収穫時には萎凋度8.8,枯死株は皆無であった。また、D-D剤処理区は、交配約1ヶ月後から萎凋株率が急激に進展し、収穫時には75.0%であったが、萎凋度は40.0と低く抑えられており、枯死株は皆無であった(第1表)。

根こぶの着生株率および根こぶ指数は、無処理区とともに100と非常に高かったが、焼酎粕加工液処理区ではそれぞれ50.0%,25.0であった。D-D剤処理区は根こぶの着生株率は75.0%と高かったが、根こぶ指数は23.8と低く抑えられ、焼酎粕加工液処理区とはほぼ同程度であった(第2表)。

以上より、焼酎粕加工液処理区は、サツマイモネコブセンチュウに対し、無処理区と比べ高い抑止効果が認められた。

2. メロンの生育および果実品質について

定植25日後までの初期生育は、無処理区を含めほぼ同じであった(第3表)。

収穫果実の状況は第4図および第4表に示した。無処理区では、枯死株が多発したため商品果率35%と低く、収穫できた果実に関しても、ネットが不良で小玉な果実外観の劣っているものが多く、糖度も低いことから、商品価値が低かった。D-D剤処理区は、商品果率95.0%で、果実はやや小玉傾向であり、ネットが荒いものが多くみられたことから、果実外観がやや劣った。これに対し、焼酎粕加工液処理区は商品果率100%で、十分にネットを形成した品質の高い果実が収穫できた。

3. 焼酎粕加工液処理期間中の地温および土壌 pH の推移

処理期間中の地表面下25cmの地温を測定した結果、焼酎粕加工液処理区は無処理区と比較して調査期間を通して高く推移し、平均地温は焼酎粕加工液処理区が35.2℃であったのに対し、無処理区は33.4℃であり、焼酎粕加工液処理区で1.8℃高かった(第5図)。

土壌 pH は、無処理区およびD-D剤処理区では、処理前後でほぼ変動がなかったのに対し、焼酎粕加工液処理区では、処理3日後の土壌 pH は5.8から5.1へと低下した(第6表)。

なお、これら調査期間中に焼酎粕加工液を処理した土壌では、処理2日目から地表部に糸状菌が地表面を覆い尽くすほど急激に発生し、定植時まで確認された。地中においても、処理2日目から定植時まで糸状菌の発生が肉眼で観察された。定植時以降、次第に観察されなくなった。また、このような糸状菌の発生は、その他の試験区では観察されなかった。

第1表 収穫時における地上部の萎凋発生状況

	反復	調査 株数	萎凋株率 (%)	枯死株率 (%)	萎凋程度別株数					萎凋度	防除価 ^{a)}
					0	1	2	3	4		
焼酎粕加工液	I	10	40.0	0.0	6	3	1	0	0	12.5	90.1
	II	10	10.0	0.0	9	0	1	0	0	5.0	
	平均	10	25.0	0.0						8.8	
D-D 剤	I	10	80.0	0.0	2	1	5	2	0	42.5	55.0
	II	10	70.0	0.0	3	0	6	1	0	37.5	
	平均	10	75.0	0.0						40.0	
無処理	I	10	100	80.0	0	1	0	1	8	90.0	
	II	10	100	70.0	0	1	0	2	7	87.5	
	平均	10	100	75.0						88.8	

a) 防除価は、無処理区を0としたときの相対値、萎凋度より算出。

第2表 収穫時における根こぶの発生状況

	反復	調査 株数	根こぶ着生 株率 (%)	根こぶ程度別株数					根こぶ指数	防除価 ^{a)}
				0	1	2	3	4		
焼酎粕加工液	I	10	50.0	5	2	3	0	0	20.0	75.0
	II	10	50.0	5	1	1	3	0	30.0	
	平均	10	50.0						25.0	
D-D 剤	I	10	80.0	2	6	2	0	0	25.0	76.2
	II	10	70.0	3	5	2	0	0	22.5	
	平均	10	75.0						23.8	
無処理	I	10	100	0	0	0	0	10	100	
	II	10	100	0	0	0	0	10	100	
	平均	10	100						100	

a) 防除価は、無処理区を0としたときの相対値、根こぶ指数より算出。

第3表 定植25日後の生育状況^{a)}

	定植25日後	
	草丈 (cm)	葉数
焼酎粕加工液	73.8	9.3
D-D 剤	70.7	9.9
無処理	74.3	9.7

a) 数値は2反復（各区10株）の平均値。

第4表 収穫果実の形状および品質^{a)}

	反復	調査 果数	商品果率 (%)	果実重量 (g)	果高 (cm)	果径 (cm)	果痕 (cm)	果実 外観	糖度 ^{b)}	
									隔壁	中間
焼酎粕加工液	I	10	100	1,418.5	13.0	12.8	2.6	4.3	15.3	14.8
	II	10	100	1,442.5	13.0	12.5	2.8	3.8	15.4	14.8
	平均	10	100	1,430.5	13.0	12.6	2.7	4.1	15.3	14.8
D-D 剤	I	10	90.0	1,232.0	12.7	12.0	2.1	2.2	15.3	14.6
	II	10	100	1,202.0	12.4	12.1	2.3	4.0	15.1	14.7
	平均	10	95.0	1,217.0	12.5	12.0	2.2	3.1	15.2	14.6
無処理	I	10	40.0	846.5	10.9	10.6	2.3	1.5	9.6	9.0
	II	10	30.0	881.1	11.6	10.8	2.2	1.7	10.8	10.1
	平均	10	35.0	862.9	11.2	10.7	2.2	1.6	10.1	9.5

a) 数値は平均値。b) 果実糖度 (Brix) は、糖度計 (PR-101, ATAGO) により測定。

第5表 処理前後の土壌 pH の推移^{a)}

	処理前	処理3日後
焼酎粕加工液	5.8	5.1
D-D 剤	5.8	5.9
無処理	5.9	5.9

a) 数値は2反復の平均値.

第4図 収穫果実の状況 A: 焼酎粕加工液処理区, B: 無処理区.

第5図 焼酎粕加工液処理期間中の深さ25cmの地温の推移.

考 察

焼酎粕加工液処理は、灰色低地土圃場において地上部の萎凋度および根こぶ指数を低く抑えたことから、サツマイモネコブセンチュウに対し高い抑止効果を持つことが明らかとなった。また、土壌くん蒸剤であるD-D剤と比較し、根こぶの着生を低く抑え、地上部の萎凋度を低く抑えていたことから、果実品質が高くなったと考えられる。

Oka (2010) は、有機物施用による線虫の密度抑制のメカニズムについて、有機物内の殺線虫物質の土壌への放出や有機物分解過程での殺線虫物質の生成、拮抗微生物の増殖や導入、植物耐性の増加、土壌物理性の変化等の複合的な要因によるものであるとしている。また、片瀬・牛尾 (2010) は、有機酸による殺線虫効果について、有機物に含まれる有機酸の効果について

報告している。焼酎粕は前述のとおり有機物および有機酸を豊富に含んでおり (家藤, 1991), 本試験で使用了焼酎粕加工液にも有機物および有機酸が豊富に含まれていると推測されるため、これら有機物および有機酸がサツマイモネコブセンチュウの被害抑制に寄与したものと考えられる。

さらに、焼酎粕は有機酸を豊富に含んでいることから pH は低く、本試験で使用了焼酎粕加工液の pH も 4.1 であるため、焼酎粕加工液を処理することにより処理3日後には土壌 pH が低下した。片瀬ら (2005) は、有機酸の殺線虫効果と pH の関係を明らかにしており、pH の低下がサツマイモネコブセンチュウの被害抑制を高めた可能性もあると推測された。

また、今村ら (2010) により、焼酎粕加工液を土壌に処理すると、土壌中の一般糸状菌及び細菌数等が著しく増加し、FDA (fluorescein diacetate) 加水分解酵素活性を指標とした微生物活性 (Adam and Duncan, 2001) も高まることが報告されている。本試験でも土壌表面および土壌中の糸状菌の菌糸が確認され、これら糸状菌を含む土壌微生物が焼酎粕加工液の有機物を炭素源として利用することに伴う発熱 (地温上昇) が認められた。これら土壌微生物の活動および発熱もサツマイモネコブセンチュウの密度抑制に関与している可能性も考えられる。

本研究で明らかになった焼酎粕加工液処理によるメロンのサツマイモネコブセンチュウ被害抑止技術は、きわめて有用な耕種的有害線虫抑止技術であると考えられるが、その抑止効果の発現については、現時点では不明な点が多いことから、今後メカニズムの解明について検討していく必要がある。

なお、焼酎粕加工液処理区のメロンは、化成肥料を施肥した他の区と同様に順調に生育し、最終的に追肥を一切行わずに収穫できたことから、灰色低地土圃場において、焼酎粕加工液に含まれる肥料成分でメロンが栽培・収穫でき、焼酎粕加工液は肥料としても有効であることが確認された。

引用文献

- Adam, G. and H. Duncan (2001) Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soil. *Soil Biol. Biochem.* 33: 943-951.
- 福川利玄 (1991) 南九州地域における焼酎蒸溜廃液の肥料的利用の事例について. *肥検回報* 44: 34-42.

- 家藤治幸 (1991) 醸造物の成分 (石川雄幸編). 財団法人日本醸造協会 (東京): pp139-141.
- 今村幸久・黒木 尚・野崎克弘・上米良壽誕・黒木利美・渡司照久・甲斐考憲 (2010) 焼酎粕を利用した土壤病害虫防除法の開発 (第3報) 防除効果の要因解明への取り組み①. 園芸学研究 9 (別1): 68 (講要).
- 石橋信義 (1970) 肥培管理がサツマイモネコブセンチュウの発生病害並びに殺線虫剤の防除効果におよぼす影響. 応動昆14: 127-133.
- 片瀬雅彦・牛尾進吾 (2010) 土壤還元消毒における有機酸の生成と殺線虫効果. 植物防疫64: 33-37.
- 片瀬雅彦・安江園子・上遠野富士夫・水久保隆之 (2005) サツマイモネコブセンチュウに対する有機酸の殺線虫効果に及ぼす pH の影響. 第49回応動昆大会講演要旨集: 211 (講要).
- 古賀成司 (1977) 土壤線虫の耕種的防除法に関する研究 第4報 有機物施用, 土壤水分および地温が線虫密度に及ぼす影響. 九病虫研会報23: 145-148.
- 古賀成司 (1984) 土壤線虫の耕種的防除. 植物防疫 38: 132-137.
- Linford, M.B., F.Yap and J.M.Oliveira (1938) Reduction of soil population of the root-knot nematode during decomposition of organic matter. Soil Science 45: 127-140.
- 中園和年・佐野善一・荒城雅昭 (1986) 有機質の施用量とネコブセンチュウによる作物の被害 (第二報). 第30回応動昆大会講演要旨集: 190 (講要).
- 中園和年・佐野善一・荒城雅昭・宮澤数雄・伊東祐二郎 (1984) 堆肥の施用とネコブセンチュウによる作物の被害 (線虫). 第28回応動昆大会講演要旨集: 160 (講要).
- 野崎克弘・黒木 尚・黒木利美・渡司照久・今村幸久・甲斐考憲・上米良壽誕 (2010) 焼酎粕加工液を利用した土壤病害虫防除法の開発 (第1報) メロンつる割病 (*Fusarium oxysporum* f. sp. *melonis*) に対する防除効果. 園芸学研究 9 (別1): 166 (講要).
- Oka, Y. (2010) Mechanisms of nematode suppression by organic soil amendments-A review. Applied Soil Ecology 44: 101-115.
- 浦上敦子 (2011) アスパラガス廃棄根株等の有機物施用によるキタネグサレセンチュウの密度低減効果. 植物防疫65: 33-37.
- 浦上敦子・相澤証子・國久美由紀・村上健二・徳田進一・東尾久雄 (2009) 伏せ込み促成栽培後のアスパラガス廃棄根株すき込みによるキタネグサレセンチュウ密度低下と後作レタスの収量増加. 日線虫誌 39: 23-30.
- 横山明敏・川崎佳栄・西原基樹・上田重英・黒木正晶・宮本裕子 (2009) 家畜ふんたい肥等有機物資材の窒素無機化特性. 宮崎総農試報44: 1-13.

(2011年4月28日受領, 9月20日受理)