

スイトコーン残さを用いた土壌還元消毒の防除効果と土壌 化学性への影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者	長坂, 克彦 舟久保, 太一 後藤, 逸男 星野, 力
巻/号	83巻2号
掲載ページ	p. 117-124
発行年月	2012年4月

スイートコーン残さを用いた土壌還元消毒の防除効果と土壌化学性への影響*

長坂克彦^{1,3}・舟久保太一¹・後藤逸男²・星野 力³

キーワード スイートコーン, 残さ, 土壌還元消毒, ネコブセンチュウ, 施肥方法

1. はじめに

山梨県の施設栽培においてトマト (*Solanum lycopersicum*), キュウリ (*Cucumis sativus*) は主要野菜であるが, 連作に伴うネコブセンチュウ (*Meloidogyne spp.*) や土壌病害の増加が大きな生産阻害要因となっている。土壌病害等の対策として, 土壌還元消毒 (新村ら, 1999) が, 近年開発され注目を集めている。本法は米ぬかやふすまなどの有機物を多量に施用した後で灌水し, 土壌を還元状態として病原菌やセンチュウなどを死滅させる方法である。その防除効果は高く, 様々な作物で研究や実証が行われている (上野ら, 2006; 小河原ら, 2004; 小山田ら, 2003; 片瀬ら, 2005; 片瀬, 2007; 久保ら, 2004; 斎藤ら, 2008; 三木ら, 2008a; 三木ら, 2008b; 門馬ら, 2005; 渡辺ら, 2004)。

山梨県でも普及に向けた試験が行われ, その効果について確認された。しかし, 山梨県は小麦生産量が少ないうえに消毒時期が5~7月であることから, 米ぬかやふすまの入手が難しく, 現場から安価な代替資材が求められている。米ぬかやふすまの代替資材として, 糖蜜 (新村, 2003) やリンゴジュース絞りかす (岩間ら, 2005) など検討がされているが, 山梨県ではこれら資材の入手も困難な状況にある。

そこで, 土壌還元消毒時に施用する資材として, 山梨県の主要野菜であるスイートコーン (*Zea mays*) の残さに着目した。我々はこれまでに, スイートコーン残さを鋤きこんだ水田における水稻の生産安定技術について検討を行ってきた (長坂ら, 2003)。その中で, スイートコーン残さには還元糖などの易分解性有機物が含まれていること, 残さを全量鋤込んで湛水状態にすると入水1日後に酸化還元電位が-200 mV程度まで低下し, 長期間維持され

ることなどを明らかにした。この結果より, スイートコーン残さは土壌還元消毒時に施用する資材として有効であると考えられる。

そこで, 本研究では施設キュウリと施設トマトのネコブセンチュウ対策として, スイートコーン残さを用いた土壌還元消毒法の防除効果について検討した。さらに, 資材に含まれる肥料成分の肥効や本消毒法が土壌化学性に及ぼす影響などを調査し, 化学肥料の使用削減の可能性についても検討した。

2. 試験方法

1) 本土壌還元消毒法の防除効果

(1) ポット試験

2006年6月23日~10月7日に山梨県総合農業技術センター内ガラスハウスでポット栽培試験を実施した。供試土壌として山梨県中央市のネコブセンチュウ被害発症圃場の土壌 (グライ土) と市販育苗培土 (信濃培養土株式会社: そだち) を容積比で等量混合したものをを用いた。供試野菜は育苗培土にて自根で育苗したキュウリ (品種: 大将) 苗を用い, 0.24 m²の菜園プランターに2株を定植した。基肥は無施用とし, NとK₂Oとして各200 kg ha⁻¹に相当するNK化成を追肥した。土壌還元消毒処理期間は下方から水が浸出しないよう, 排水口を密栓した。

試験区としてスイートコーン残さ30Mg ha⁻¹施用区 (以下, 残さ30 Mg区), スイートコーン残さ10 Mg ha⁻¹施用区 (以下, 残さ10 Mg区), スイートコーン残さ5 Mg ha⁻¹施用区 (以下, 残さ5 Mg区), 米ぬか10 Mg ha⁻¹施用区 (以下, 米ぬか10 Mg区), 無処理・湛水区, 無処理・非湛水区の6区とし, 5反復で行った。残さ30 Mg区は, 圃場で栽培した残さの全量鋤込みを想定し, 残さ10 Mg区及び残さ5 Mg区は他圃場で栽培された残さを, ネコブセンチュウ被害圃場に持ち込む労力を考慮し設定した。米ぬか10 Mg区は県内での実証試験結果に基づき, 対照区として設定した。

土壌還元消毒区は, 所定量の各資材を土壌と混和し, 水を加え湛水状態とし, 6月23日~7月12日の20日間ビニールフィルムで被覆した。処理後2回耕耘し, 7月15日にキュウリを定植し, 10月7日まで栽培した。ネコブセンチュウ密度はベルマン法により乾土20 g中の2齢期幼虫数を調査した。ネコブセンチュウによるキュウリの被害については, 萎凋・枯死株の累計と栽培終了時のネコブ

* 本報告の一部は日本土壌肥科学会 (2008) において発表した。

¹ 山梨県総合農業技術センター (407-0105 山梨県甲斐市下今井1100)

² 東京農業大学応用生物科学部 (156-8502 東京都世田谷区桜丘1-1-1)

³ 新潟大学農学部 (950-2181 新潟市西区五十嵐2の町8050)

Corresponding Author: 長坂克彦

2011年3月16日受付・2011年9月5日受理

日本土壌肥科学雑誌 第83巻 第2号 p.117~124 (2012)

指数を調査した。ネコブ指数は下記により算出した。

$$\text{ネコブ指数} = \frac{\Sigma (\text{ネコブ程度} \times \text{当該株数})}{(\text{調査株数} \times 4)} \times 100$$

ネコブ程度

- 0: 根こぶなし
- 1: 根こぶが僅かに認められるが被害は目立たない。
- 2: 根こぶは認められるが、大きな根こぶや繋がった根こぶは認められない。
- 3: 大小の根こぶが多数認められる。
- 4: 多くの根が根こぶだらけで太くなっている。

(2) 現地試験

ネコブセンチュウ被害が発生していた山梨県南アルプス市及び山梨県中央市の2つの圃場を対象とし、2007～2008年に現地試験を実施した。図1に各々の作付け体系や処理時期を示した。

南アルプス市試験圃場

本圃場は半促成栽培と抑制栽培の年2作のキュウリ連作ハウスであり、試験期間中もこの作型を継続した。試験区は残さ30 Mg区、米ぬか10 Mg区、慣行区の3区とした。2008年には他圃場から残さを持ち込む労力を考慮した残さ10 Mg区も設置した。慣行区ではネマトリンとD-Dによる薬剤防除を行った。各試験区の面積は残さ区および米ぬか10 Mg区が48 m²、慣行区が134 m²であった。他の圃場で栽培したスイートコーン残さを現地に運び、エンジン式シリンダーカッターを用い3～5 cmに細断後に施用した。各資材を所定量施用し、耕耘後に湛水状態とし、20日間ビニールで被覆した。本圃場では透水性が良好で、湛水状態にしても2～3日後には水が引くため、処理期間中に適宜入水し湛水状態を維持した。残さ30 Mg区、米ぬか10 Mg区では試験期間中、慣行区では2008年半促成作より1ヶ月ごとに株元約20 cmの土壌を10カ所から採取し均一に混合した後に、ネコブセンチュウ密度をベルマン法により3反復で測定した。ネコブ指数は栽培終了時に各試験区より20株を抜き取り前述の式により算出した。深度10 cmの酸化還元電位を土壌用Ehメーター(株式会社藤原製作所社製EHS-120型)を用いて測定した。

中央市試験圃場

本圃場は半促成栽培と抑制栽培の年2作のトマト連作ハウスであったが、試験期間中は連作を止め、促成スイートコーンと抑制トマトの隔年輪作とした。試験区として、残さ全量施用区、米ぬか10 Mg区を設け、各区の面積は各165 m²とした。米ぬか区は所定量を施用後に、残さ全量施用区では2007年には栽培した残さを立毛状態でハンマーモアにより細断後に、2008年には残さ30 Mg ha⁻¹を他圃場から持ち込み細断後に、耕耘・灌水して湛水状態とし、ビニールで被覆した。処理開始時に水位20 cmになるように灌水し、その後の入水は行わなかった。湛水状態は2日間継続した。2007年のスイートコーン残さ量は15 Mg ha⁻¹と露地栽培の半量程度であった。各圃場ともネコブセンチュウ密度及びネコブ指数の調査を前項と同様に行った。

2) 土壌還元消毒前後の土壌化学性の動態調査

2008年に前項の試験圃場で還元消毒前後の土壌を各区3カ所ハンドルオーガー(大起理化学工業株式会社製)を用い深度10 cm毎に採取し、土壌の化学性を調査した。調査した土壌深度は南アルプス市試験圃場で0～100 cm、中央市試験圃場では0～60 cmであった。土壌化学性の分析方法は定法に準じ(農産業振興奨励会, 1993)、交換性陽イオンは原子吸光度計法、有効態リン酸はトルオーグ法、無機態窒素はケルダール法で分析した。

3) スイートコーン残さに含まれる窒素の利用率(枠圃場試験)

試験は健全な収量を得るため、これまでにネコブセンチュウの被害の認められない山梨県総合農業技術センターガラスハウス内枠圃場(灰色低地土)で、2007, 2008年にキュウリ(穂木: 大将 台木: ゆうゆう一輝・黒)の栽培試験を実施した。なお、キュウリへの窒素供給量は、以下の式で求めた。

$$\frac{(\text{処理区窒素吸収量} - \text{無窒素区窒素吸収量})}{\text{資材の窒素含有量}} \times 100$$

各年の耕種概要、試験区は以下の通りである。2007年の試験ではスイートコーン残さ30 Mg区、米ぬか10 Mg区、化学肥料区、無窒素区の4区を2反復で設けた。9月3日にキュウリ苗を定植し、9月28日～11月25日に収

	2007年				2008年				
南アルプス市試験圃場	5/中旬 5/21 6/11 7/18 11/8 12/15				5/16 6/10 6/30 7/25 11/14				
	半促成キュウリ		還元消毒 ¹⁾		抑制キュウリ		半促成キュウリ		還元消毒 ¹⁾ 抑制キュウリ
中央市試験圃場	1/下旬 5/中旬 5/21 6/11 8/2 12/5				1/15 6/5 6/14 7/23 7/28 12/3				
	スイートコーン		還元消毒 ²⁾		抑制トマト		半促成トマト		還元消毒 ¹⁾ 抑制トマト

図1 現地試験圃場の作付け体系と処理時期

- 1) 残さ区は、他圃場で栽培した残さを30 Mg ha⁻¹持ち込み処理を行った。
- 2) 残さ区は、試験圃場のスイートコーン残さを全量(15 Mg ha⁻¹) 鋤込み処理を行った。

量調査を行った全区に過リン酸石灰を $150 \text{ kg-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ 、塩化カリウムを $200 \text{ kg-K}_2\text{O ha}^{-1}$ 施用した。化学肥料区には追肥を含め、窒素として 230 kg-N ha^{-1} 施用し、その他の試験区は無窒素とした。土壤改良資材として苦土石灰を 1500 kg ha^{-1} 、微量元素資材 (FTE) 60 kg ha^{-1} を全区に施用した。2008年の試験ではスイートコーン残さ 30 Mg 区、化学肥料区、無窒素区の 3 区を 2 反復で設けた。9月5日に定植し、10月2日~11月27日に収量調査を行った。施肥は2007年に準じた。

3. 結 果

1) 防除効果

(1) ポット試験

試験期間中のネコブセンチュウ密度を図2に示した。各区とも土壤還元消毒前には150頭程度であったが、土壤還元消毒後にはすべての処理区で0頭となり、その後の急増は認められなかった。しかし、栽培後期に残さ30Mg区で2頭、残さ10Mg区で8頭、残さ5Mg区で22頭、米ぬか10Mg区では3頭と微増した。一方、ビニールを被覆しただけの無処理・非湛水区では土壤還元消毒後の減

少は認められず、キュウリ定植2ヶ月後には547頭まで増加した。無処理・湛水区では、土壤還元消毒後に20頭まで減少したものの、徐々に増加し栽培後期に679頭まで増加した。

残さ30Mg区のネコブ指数は米ぬか10Mg区と同程度であり、残さ施用量が少なくなるほどネコブ指数は高くなる傾向にあった(表1)。また、無処理・非湛水区及び無処理・湛水区ともに栽培終了時にすべて枯死した。一方、土壤還元消毒区の中では残さ5Mg区の1株に萎凋症状が認められたものの、他の区では枯死・萎凋株は認められなかった(表1)。

表1 ポットにおける栽培終了時のネコブ指数および枯死・萎凋株

試験区	ネコブ指数 ¹⁾	枯死・萎凋株 ²⁾
残さ30 Mg	30	0
残さ10 Mg	35	0
残さ5 Mg	50	1
米ぬか10 Mg	30	0
無処理・湛水	100	10
無処理・非湛水	100	10

1) 5反復 (2株 ポット⁻¹) 合計10株で算出した値を示す。

2) 5反復 (2株 ポット⁻¹) 合計10株の累積値を示す。

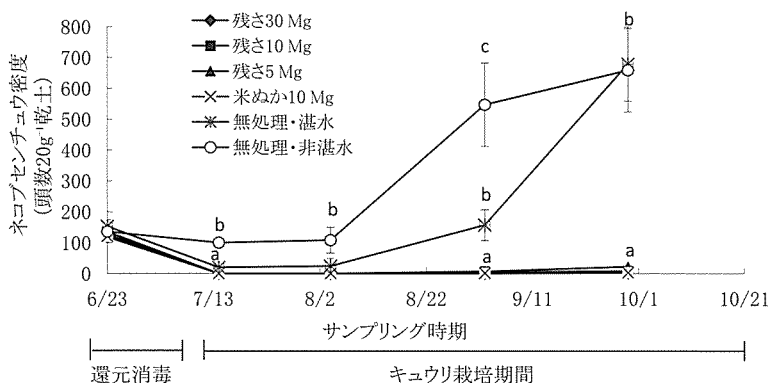


図2 ポット試験におけるネコブセンチュウ密度の推移
図内の垂線は5反復の標準偏差を、異なるアルファベットは同一調査時期にTukey多重比較により5%で有意差があることを示す。

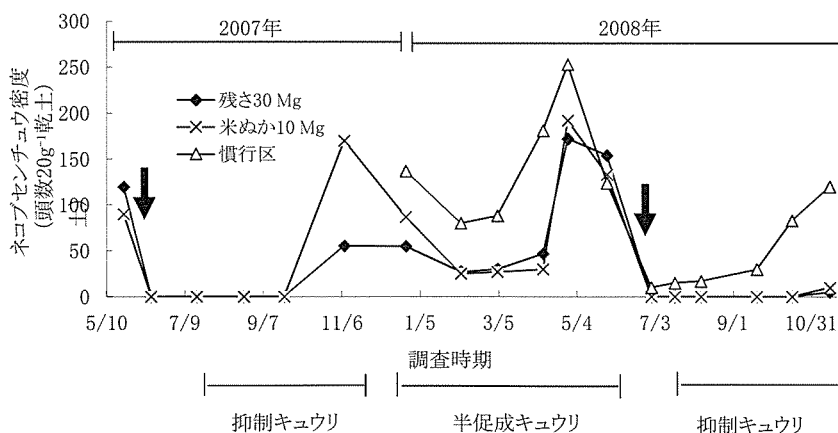


図3 南アルプス市試験圃場のネコブセンチュウ密度の推移
1) 図内の数値は、試験区10カ所から採取した土壤を均一に混合し、3反復で調査した平均値を示す。
2) ↓は土壤還元消毒処理を示す。

表2 現地試験圃場における各作付け終了時のネコブ指数¹⁾

圃場	試験区	2007年 抑制作跡	2008年 半促成作跡	2008年 抑制作跡
南アルプス市 試験圃場	残さ30 Mg	32.6	62.5	3.8
	残さ10 Mg	— ²⁾	—	5.0
	米ぬか10 Mg	47.1	67.5	10.0
	慣行区	60.0	80.0	33.8
中央市 試験圃場	残さ全量施用 ³⁾	0.0	5.0	3.8
	米ぬか10 Mg	0.0	6.3	12.5

1) 各試験区より20株のネコブ程度を調査し算出した。

2) 区を設定しなかった。

3) 2008年は他圃場で栽培したスイートコーン残さを30 Mg ha⁻¹ 鋤込み処理を行った。

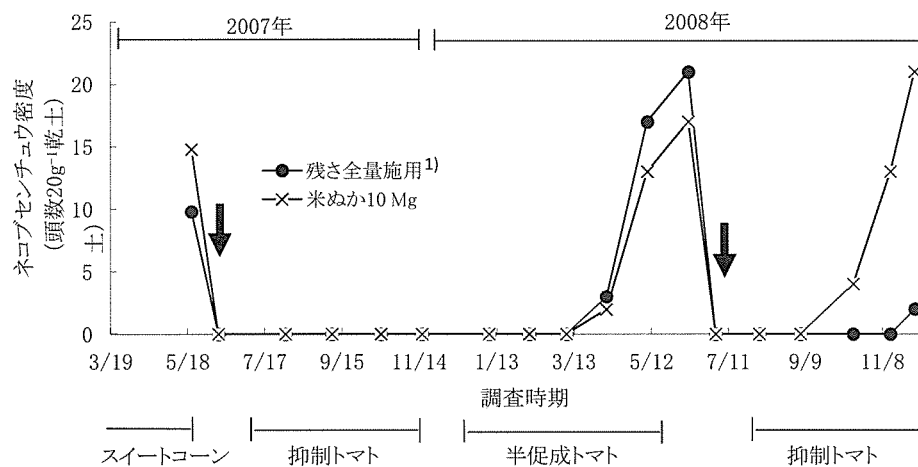


図4 中央市試験圃場のネコブセンチュウ密度の推移

1) 2008年は他圃場で栽培したスイートコーン残さを30 Mg ha⁻¹ 鋤込み処理を行った。

2) 図内の数値は、試験区10カ所から採取した土壌を均一に混合し、3反復で調査した平均値を示す。

3) ↓は土壌還元消毒処理を示す。

(2) 現地試験

南アルプス市試験圃場

ネコブセンチュウ密度の推移を図3に、ネコブ指数を表2に示した。2007年抑制作において、土壌還元消毒後に各試験区とも0頭まで低下したが、栽培後期になると米ぬか10 Mg区で170頭、残さ30 Mg区で55頭と増加が認められた。栽培終了時のネコブ指数は米ぬか区で47.1、残さ30 Mg区で32.6と慣行区の60.0と比較してやや低い傾向にあった。

2008年半促成作において、ネコブセンチュウ密度は低温時の1月～4月までは処理区で25頭程度に、慣行区で70頭とやや低めに推移したが、気温の上昇とともに、各区とも150頭以上に増加した。栽培終了時のネコブ指数も抑制作と比較して高く、残さ30 Mg区が62.5、米ぬか10 Mg区が67.5、慣行区が80.0であった。各区とも高温時にしおれ株が多数認められた。

2008年抑制作では、土壌還元消毒前に各区とも150頭程度であったが、土壌還元消毒後に残さ30 Mg区と米ぬか10 Mg区では0頭まで低下し、栽培後期まで低密度で推移した。一方、慣行区では湛水後に10頭程度まで低下したが、その後、徐々に増加した。栽培終了時のネコブ指数は、残さ30 Mg区と米ぬか10 Mg区では10以下と軽

微であったのに対し、慣行区では33.8と中程度であった。また、この作では残さ10 Mgも設置したが、ネコブ指数は5.0と低かった。

土壌の酸化還元電位は、慣行区が処理5日後に361 mVと酸化状態であったのに対し、残さ30 Mg区では-115 mV、米ぬか10 Mg区では-17 mVまで低下した(データ略)。

中央市試験圃場

ネコブセンチュウ密度の推移を図4に、ネコブ指数を表2に示した。本圃場では試験前の2006年抑制作にネコブセンチュウによる萎凋症状が認められていた。ネコブセンチュウ密度やネコブ指数などは調査していないが、根を観察するとすべての株に根こぶ付着が認められ、ネコブセンチュウ密度は高いレベルにあったと推察された。しかし、スイートコーン栽培後の2007年抑制作前には10頭程度と低密度であった。土壌還元消毒後は0頭となり、栽培期間中増加は認められず、各区のネコブ指数も0.0であった。

2008年半促成作のネコブセンチュウ密度は、4月まで0頭で推移し、その後、20頭程度まで上昇した。栽培後のネコブ指数は各区とも5～6程度と被害は軽微であった。

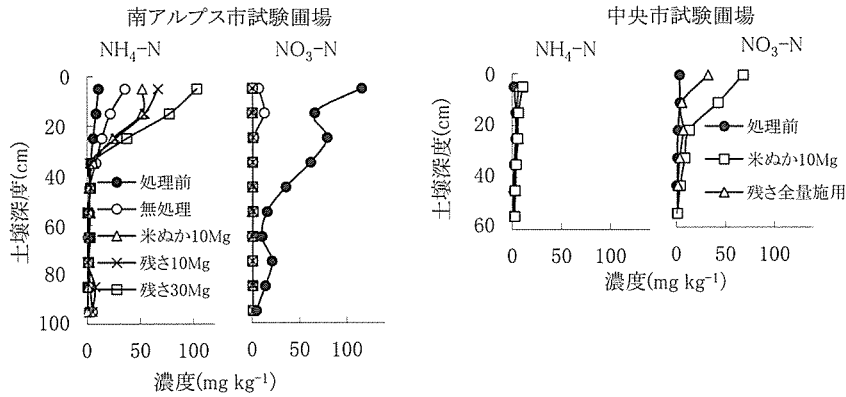


図5 現地試験圃場の処理前後の土壤深度別無機態窒素濃度 (2008)

表3 現地試験圃場における土壤還元層毒前後の土壤化学性の変化

圃場	年度	試験区	pH (H ₂ O)	EC dS m ⁻¹	交換性塩基 (mg kg ⁻¹)			可給態 P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	NH ₄ -N mg kg ⁻¹	NO ₃ -N mg kg ⁻¹
					Ca O	Mg O	K ₂ O			
南アルプス市試験圃場	2007	処理前	6.5	0.99	4982	558	574	1944	15	362
		残さ30Mg	6.8	0.21	4073	432	515	2308	51	1
		米ぬか10Mg	7.3	0.15	3986	441	432	2157	61	5
		無処理区	6.9	0.11	4478	458	249	2168	36	3
	2008	処理前	6.4	1.40	5505	657	391	2134	11	116
中央市試験圃場	2007	残さ30Mg	7.1	0.19	4024	412	724	2689	103	1
		残さ10Mg	7.0	0.14	4084	407	448	2341	73	0
		米ぬか10Mg	7.0	0.14	4866	417	253	2590	52	0
		無処理区	7.3	0.17	4642	416	290	2640	35	7
	2008	処理前	7.5	0.19	4602	562	112	2715	2	4
中央市試験圃場	2007	残さ全量施用	7.5	0.18	4648	642	178	3124	20	6
		米ぬか10Mg	7.5	0.10	4832	414	114	2977	4	8
		無処理区	7.6	0.39	5663	746	74	3426	2	2
	2008	残さ全量施用 ¹⁾	7.3	0.38	4502	830	311	3608	11	68
		米ぬか10Mg	7.7	0.20	4869	703	157	3165	7	32

1) 他圃場で栽培したスイートコーン残さを30 Mg ha⁻¹鋤込み処理を行った。

2008年抑制作のネコブセンチュウ密度は、土壤還元消毒後に0頭となったが、米ぬか10Mg区で9月後半に、残さ全量施用区で11月前半にわずかな上昇が認められた。ネコブ指数は残さ全量施用区で3.8、米ぬか10Mg区で12.5と2007年より高かった。

2) 土壤還元消毒前後の土壤化学性の動態調査

現地圃場での処理前後の土壤化学性を表3に示した。処理期間中湛水状態であった南アルプス市試験圃場では、土壤還元消毒後に各区ともpHが上昇し、交換性カルシウム、マグネシウム含量が減少した。交換性カリウム、アンモニア態窒素は残さ区で高い傾向にあった。硝酸態窒素は処理前に2007年が362 mg-N kg⁻¹ 乾土、2008年が116 mg-N kg⁻¹ 乾土と高かったが、土壤還元消毒後には各区とも低下した。硝酸態窒素の垂直分布をみると、処理前には50 cmまで100 mg-N kg⁻¹ 乾土程度であったが、土壤還元消毒後に各区とも全層で検出限界量程度まで減少した(図5)。

一方、土壤還元消毒直後だけ湛水状態とした中央市試験圃場では、交換性カルシウムが減少したが、交換性マグネシウムの減少は認められなかった。硝酸態窒素は土壤還元

表4 場内枠圃場における資材の養分投入量

年次	資材	投入量 (kg ha ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2007年	残さ	108	80	190
	米ぬか	202	531	211
2008年	残さ	118	70	168

消毒後に微増した。

3) スイートコーン残さに含まれる窒素の利用率

残さ30Mg区の資材からの養分投入量は2007年、2008年の平均で窒素が113 kg-N ha⁻¹、リン酸が75 kg-P₂O₅ ha⁻¹、カリウムが179 kg-K₂O ha⁻¹であり、米ぬかと比較して窒素が半量、リン酸は1/7、カリウムが1.1倍であった(表4)。この傾向は前述の現地試験でも同様であった(データ略)。中央市試験圃場で2007年抑制作前に栽培した残さは、生体重が15 Mg ha⁻¹、窒素が51 kg-N ha⁻¹、リン酸が28 kg-P₂O₅ ha⁻¹、カリウムが50 kg-K₂O ha⁻¹と少なく、露地栽培の半量程度であった。この原因は冬季にスイートコーンとしては高めに温度管理をしたためであると考えられる。

表6に土壤還元消毒に用いた資材と化学肥料(硫安)の

キュウリにおける窒素利用率を示した。残さ30 Mg区の窒素利用率は2007年が42.6%，2008年が48.3%であり、米ぬかと比較して高く、化学肥料区の窒素利用率と比較して2007年が78%，2008年が77%であった。

4. 考 察

1) 防除効果

米ぬかやふすまを用いた土壌還元消毒法は、ネコブセンチュウ防除に有効な方法であるが、前述のように山梨県では入手が難しい。そこで、スイートコーン残さを用いた土壌還元消毒法について検討した。

ポット試験やネコブセンチュウ被害の大きい圃場での実証規模の試験結果から、本土壌還元消毒法は対照である米ぬかを用いた土壌還元消毒法と同等の防除効果をもつことが明らかになった。土壌還元消毒の作用機構について片瀬(2007年)は、地温30~40℃で土壌にふすまなどの有機物を混入させると、これを栄養源として土壌微生物が急激に増殖し、湛水条件下で酸素の消費により土壌は還元状態となり、有機物から有機酸が生成され、センチュウや病原菌は生成された有機酸と無酸素状態および太陽熱や発酵熱による高温などの複合的な要因により防除効果が得られると考察している。本土壌還元消毒法もスイートコーン残さには微生物の栄養源であるデンプンや還元糖などの易分解性糖が葉部で17.1% (乾物)、茎部で19.9% (乾物)と多く含まれていること(長坂ら, 2003)や、施用後に土壌が還元状態となることから、ふすまを用いた土壌還元消毒と同じメカニズムによってネコブセンチュウに対する防除効果が得られたと考えられる。

土壌還元消毒法の持続性について、サツマイモネコブセンチュウに対するふすまを用いた報告がある(新村, 2002)。これによると土壌還元消毒直後の作付ではセンチュウ密度が減少し、高い防除効果を示すが、2作目にはセンチュウ密度が上昇し防除効果は持続しない。この原因として片瀬(2007)や新村(2002)は、ふすまを混和した層よりも深いところには効果が及ばず、下層に生き残ったセンチュウが栽培後期や次作に増殖してくるためと考察している。

本試験でもキュウリの連作圃場である南アルプス市現地圃場では、土壌還元消毒後3ヶ月程度は低密度で推移したが、抑制キュウリの生育後期や半促成キュウリでセンチュウ

ウ密度が上昇し(図3)、2作目の半促成キュウリではネコブセンチュウによる被害が認められた(表2)。また、スイートコーンを輪作した中央市試験圃場では、連作圃場である南アルプス市現地圃場と比較し、ネコブセンチュウ密度は低く推移したが、土壌還元消毒後2作目の半促成トマトでは栽培後期にネコブセンチュウの増殖が認められた(図4)。このことから本土壌還元消毒法の持続性もふすまを用いた土壌還元消毒法と同程度であると考えられた。

2) 窒素の動態と化学肥料の削減

岡本ら(2009)が土壌還元消毒後の残存無機態窒素を考慮した葉菜類の減肥について提案している。しかし、山梨県では土壌還元消毒後に定植までの期間が短いため、土壌分析結果を施肥に反映させることは難しい。そこで、残さの窒素無機化率やその窒素の利用率から、化学肥料の削減の可能性を検討した。

枠圃場試験で求めたスイートコーン残さのキュウリにおける窒素利用率は42.6~48.3%と化学肥料(硫安)の77~78%であった。したがって、施設内で栽培したスイートコーンの残さ全量を用いて土壌還元消毒を行うと、20~30 Mg ha⁻¹の残さ量を確保できるとことから、60~90 kg ha⁻¹の窒素が削減できると考えられた。

また、農地から系外に流出する硝酸態窒素は地下水汚染や湖沼の富栄養化を引き起こす恐れがあることから(竹内, 1997)その溶脱抑制は環境保全上の課題となっている。山梨県では、除塩や病害虫防除のために、半促成栽培後に湛水することが慣行的に行われている。これによって作土に残存した硝酸態窒素が下層へ移行するために地下水の汚染が懸念される(長坂ら, 2002)。本試験では、慣行区や処理区で土壌還元消毒前に残存していた硝酸態窒素がほとんど消失していた。筆者らが実施したポット試験によれば(長坂ら, 2001)、スイートコーン残さを鋤き込むと浸透水中に硝酸態窒素は全く溶出してこなかった。その硝酸態窒素の動態を詳細に調べるために、重窒素ラベルした硝酸カリウムを用いた室内試験を実施したところ、添加した硝酸態窒素の10%が有機化し、5%がアンモニア化し、85%が脱窒していた(長坂ら, 2000)。したがって、残さを敷き込み湛水状態にすることで、急速に還元状態となるために硝酸態窒素は溶脱せず、脱窒したものと考えられた。このことからスイートコーン残さを用い土壌還元消毒を行うと地下水への硝酸汚染のリスクは軽減される可能性が示

表5 場内枠圃場におけるキュウリの養分吸収量と収量

年次	試験区	収量 Mg ha ⁻¹	養分吸収量 (kg ha ⁻¹)		
			N(利用率 % ¹⁾)	P ₂ O ₅	K ₂ O
2007年	残さ30 Mg	61.4	131 (42.6)	98	273
	米ぬか10 Mg	56.2	120 (17.3)	83	253
	化学肥料	59.9	210 (54.3)	103	344
	無窒素	54.4	85	80	227
2008	残さ30 Mg	67.2	122 (48.3)	87	249
	化学肥料	86.7	210 (63.0)	122	365
	無窒素	36.7	65	52	128

1) (処理区窒素吸収量-無窒素区窒素吸収量)÷資材の窒素含有量×100により算出

唆された。

2) リン酸の動態

山梨県で過去に実施した施設野菜土壌の実態調査では、収穫後の作土中に平均で可給態リン酸が $2743 \text{ kg-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (34 圃場)、硝酸態窒素が 310 kg-N ha^{-1} (68 圃場) と大量に集積していた。この傾向は山梨県だけでなく、各地でも報告されている (若沢, 1996; 佐々木, 1995; 小原ら, 2004; 大島ら, 2008)。リン酸については過剰害が少ないと言われているが、村上ら (2003) がアブラナ科根こぶ病などの土壌病害の発生を助長すると報告している。また、リン酸肥料の原料であるリン鉱石等は需給バランスの不均衡により近年高騰しており、農家の経営を圧迫している (藤井, 2009) ことから、リン酸過剰圃場にリン酸を施用することは望ましいことではない。

米ぬか 10 Mg ha^{-1} を用いた土壌還元消毒を行うと、 $531 \text{ kg-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ のリン酸が投入される (表 4)。土壌還元消毒の資材として最も知見の多いふすまには 22 g kg^{-1} のリン酸が含まれ (農業・生物系特定産業技術研究機構編, 2004)、これを 10 Mg ha^{-1} 施用して土壌還元消毒を行うと $220 \text{ kg-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ のリン酸が圃場へ投入されることになる。

一方、スイートコーン残さの全量 (30 Mg ha^{-1}) を用いた場合は、リン酸の投入量は 2007 年が $80 \text{ kg-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ 、2008 年が $70 \text{ kg-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ と米ぬかやふすまより少ない。うえ、圃場より吸収されたリン酸であり、圃場外部から持ち込みではない。これらのことから、リン酸が過剰な施設野菜圃場で土壌還元消毒を行うときは、米ぬかやふすまよりスイートコーン残さを用いた方が土壌環境の保全に寄与できることが考えられる。

5. 要 約

スイートコーン残さを用いた土壌還元消毒法のトマトとキュウリのネコブセンチュウに対する防除効果と土壌化学性に及ぼす影響を調査し、以下結果を得た。

- 1) 本法のネコブセンチュウ防除効果は米ぬかを用いた土壌還元消毒法と同等かそれ以上であった。
- 2) 土壌還元消毒後の抑制作では、窒素で $60 \sim 90 \text{ kg ha}^{-1}$ の化学肥料を削減できた。
- 3) 本法はリン酸の投入量が少ないので、リン酸過剰圃場に適し、土壌に及ぼす環境負荷が少ない環境保全型の防除方法であると考えられた。

謝 辞：本研究を行うにあたっては現農業大学校講師玉井重則氏には、現地圃場の選定・作業等のご協力を戴いた。また村松氏、塩島氏には試験圃場を提供して頂いた。各位に対し記して深く謝意を表します。

文 献

岩間俊太・今井照規・坂本伸子・松川佳澄 2005. リンゴ絞りかすを用いた土壌還元消毒は良好な還元状態が長期間持続する。東北農業研究成果情報, 19, 286-287.

- 上野 清・金子勝廣・谷口恵之助 2006. 山梨県におけるイチゴ萎黄病および線虫に対する土壌還元消毒の効果。北日本病害虫研究会報, 57, 62-64.
- 牛尾進吾・片瀬雅彦・久保周子・山本二美・安西哲郎・大塚英一 2004. 土壌還元消毒による施設黒ボク土の土壌化学性の変化。千葉農研セ研報, 3, 105-112.
- 大島宏行・後藤逸男 2008. 茨城県内の小玉スイカ栽培ハウス土壌におけるリン酸蓄積の実態。土肥誌, 79, 263-271.
- 岡本昌広・植草秀敏・伊藤喜誠 2009. 土壌還元消毒に伴う残存無機態窒素を考慮した葉菜類の減肥。土肥誌, 80, 526-529.
- 小原 洋・中井 信 2004. 農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動：農耕地土壌の特性変動 (II)。土肥誌, 75, 59-67.
- 小河原孝司・富田恭範・長塚 久・今泉ゆき・千葉恒夫 2004. メロンつる割病に対する土壌還元消毒の防除効果。茨城農総セ園芸研報, 12, 23-27.
- 小山田浩一・鈴木 聡・和田悦郎・斎藤芳彦 2003. 土壌還元消毒法のイチゴ萎黄病に対する防除効果。関東東山病害虫研究会報, 50, 49-53.
- 齋藤克哉・川崎聡明・本間 隆・小形恵美・堀由紀子 2008. ストック萎凋病に対する土壌還元消毒法の防除効果。北日本病害虫研究会報, 59, 71-73.
- 片瀬雅彦・上遠野富士夫・渡辺 一・市東豊弘・久保田祥子 2005. 土壌還元消毒によるネグサレセンチュウ類の防除効果及び施設イチゴへの適用。千葉農総セ研報, 4, 117-123.
- 片瀬雅彦 2007. 平成19年高度先進技術研修「化学農業を用いない効果的な線虫防除対策」<http://www.naro.affrc.go.jp/ET/h19/pdf/3-06.pdf>
- 久保周子・片瀬雅彦・竹内妙子・清水喜一・加藤浩生 2004. トマト土壌病害虫に対する土壌還元消毒の効果。千葉農総セ研報, 3, 95-104.
- 佐々木兼人 1995. 宮崎県における畑土壌とハウス土壌での蓄積養分の実態。宮城農短大報, 75, 59-67.
- 塩野宏之・越野昭彦・森岡幹夫・熊谷勝巳 2009. 施設栽培における米ぬかを使用した土壌還元消毒後の化学性の変化。土肥誌要旨集, 55, 259.
- 竹内 誠 1997. 農耕地からの窒素・リン酸の流出。土肥誌, 68, 708-715.
- 長坂克彦・花形敏男・松野 篤・木下耕一・千野浩二・上野直也 2000. スイートコーン残さ鋤き込み水田における水稻の生育と窒素の動態。土肥誌要旨集, 46, 287.
- 長坂克彦・松野 篤 2001. スイートコーンと水稻の栽培体型における生産と環境を考慮した施肥管理技術。土壌保全調査事業等優良成果集, 3-4, 農林水産省生産局農産振興課技術対策室。
- 長坂克彦・松野 篤 2002. 山梨県内野菜施設土壌の水溶性イオン集積の実態と低ストレス施肥法の検討。山梨総農試研報, 11, 27-33.
- 長坂克彦・花形敏男・松野 篤・木下耕一 2003. スイートコーン残さ鋤き込み水田における水稻の生育とメタン発生削減。土肥誌, 74, 817-821.
- 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れ萎ちょう病の防除。日植病報, 65, 352-353.
- 新村昭憲 2002. 還元消毒による施設土壌病害虫の防除と糖蜜を用いた下層土消毒。新しい研究成果—北海道地域—, 106-110.
- 新村昭憲 2003. 糖蜜を利用した土壌還元消毒の下層土への防除効果。日植病報, 69, 78.
- 農産振興奨励会 1993. 土壌、水質及び作物体分析法。東京。
- 農業・生物系特定産業技術研究機構編 2004. 家禽日本飼養標準, p. 122. 中央畜産会, 東京。
- 平野隆生・清水 武・吉村修一 1983. ハウス野菜連作土壌の実態調査。大阪農技セ研報, 20, 19-28.

- 三木静恵・漆原寿彦・酒井 宏 2008. キュウリホモプシス根腐病に対する土壌還元消毒法の防除効果. 関東東山病害虫研究会報, 55, 19-20.
- 三木静恵・漆原寿彦・池田健太郎・酒井 宏 2008. ホウレンソウ萎凋病に対する土壌還元消毒法の防除効果安定化. 関東東山病害虫研究会報, 55, 15-18.
- 村上圭一・後藤逸男 2007. 土壌のリン酸過剰が土壌病害の発病を助長する. 農業および園芸, 82, 1290-1294.
- 門馬法明・宇佐見俊行・雨宮良幹・宍戸雅宏 2005. 土壌の還元化によるトマト萎凋病菌の生存抑制効果とその要因. 土と微生物, 59, 27-33.
- 若沢秀幸 1996. 本県農耕地土壌15年の地力変化 施設土壌はこう変わった進むリン酸とカリの集積. 農業技術研究, 50, 24-27.
- 渡辺秀樹・堀之内勇人・五十川悦司・田畑幸司・渡辺知文・峯村 晃・鈴木隆志 2004. 雨よけ栽培トマトの褐色根腐病に対する還元土壌消毒法の防除効果. 関西病害虫研究会報, 46, 15-21.

Pest control effects of soil-reducing disinfection and soil management technology using sweet corn residues

Katsuhiko NAGASAKA^{1,3}, Taichi FUNAKUBO¹, Itsuo GOTO² and Tsutomu HOSHINO³

¹Yamanashi Pref. Agritech. Cent., ²Tokyo Univ. Agric., ³Niigata Univ. Agric.

We investigated the pest control effects of a soil-reducing disinfection method using sweet corn residues on root-knot nematodes (*Meloidogyne microcephala*) and on the chemical characteristics of the soil. The nematode control effects of this method were comparable to or better than those of a similar method using rice bran. After the disinfection, delayed-start culture enabled us to reduce the use of manufactured fertilizers by 60-90 kg-ha⁻¹ of nitrogen and 120-180 kg-ha⁻¹ of potassium. With the small amount of phosphoric acid fed, this method is suitable for soils with an excessive phosphate content. It also helps decrease the eluviation of nitrate-nitrogen remaining in the soil after cropping.

Key words: sweet corn residues, soil-reducing disinfection, root-knot nematodes, method of fertilizer application

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., 83, 117-124, 2012)