

岐阜県における代替技術普及の取り組み ～夏秋トマト栽培における土壌還元消毒法の普及事例～

渡辺 秀樹
岐阜県農業技術研究所

Alternative Technology to Fumigation with Methyl Bromide in Gifu Prefecture -Technical Extension of Soil Reduction to Control Soil Borne Diseases of Tomato Cultivated Under Rain Shelter-

Hideki WATANABE
Gifu Prefectural Research Institute for Agricultural Sciences

キーワード：土壌還元消毒，夏秋トマト，土壌病害，褐色根腐病，現地普及

1 はじめに

臭化メチルは、その適用可能な範囲の広さや効果の安定性、作業の簡便さなどから、これまで多くの作物で使用されてきた。岐阜県においては、主に施設園芸の土壌消毒や育苗培土の殺菌、クリのクリシギゾウムシ対策などに用いられてきたことから、1995年頃から代替技術を検討し、技術普及を推進してきた。このうち、クリについては他の代替技術がないため「不可欠用途」として現在も一部で使用が認められているが、その他については他のくん蒸剤等で対応が可能として、臭化メチルは事実上使用できなくなった。

トマトは県の主要な野菜品目であり、西濃地域等を中心とした低標高地帯（海拔0メートル）では施設型の冬春栽培、飛騨地域等の中～高標高地帯（標高300～800m）では、雨よけハウスによる夏秋栽培が行われ、ほぼ年間を通じた供給体制が整えられている（図1）。ところが、近年、夏秋栽培では長年の連作により褐色根腐病（病原菌：*Pyrenochaeta lycopersici*）の蔓延が生産不安定の要因となっている（図2）。罹病株は梅雨明け後の急激な日射に耐えられず、しおれ症状になり、中段以降の着果不良を引き起こす。本病に対して実用的な抵抗性台木はなく、夏秋栽培では夏期の太陽熱土壌消毒が困難なことから、防除対策としては土壌くん蒸剤に頼る以外に方法がなかった。しかし、本県では化学薬剤および化学肥料の使用量を低減し持続可能な農業生産を図るため、1995年から「ぎふクリーン農業」に取り組んでおり、トマト栽



図1 岐阜県のトマト生産地域



図2 トマト褐色根腐病

培においても化学薬剤に頼らない防除技術の導入が求められていた。

土壌還元消毒法^{1,2,3)}は、土壌にフスマや米ぬか等の易分解性の有機物を投入し、十分な水分と30℃以上の地温を与えることで土壌を早期に還元状態にして土壌を殺菌する技術である(図3)。新村らは、北海道における夏期の太陽熱土壌消毒の改善対策として本法を開発し、ねぎの根腐萎凋病(病原菌: *Fusarium redolens*)に対する本法の実用性を報告している。この方法は、太陽熱消毒ほどの高い地温を必要としないため、本県の雨よけ栽培トマトの栽培期間の前後に適用できる可能性があると考えられた。このため、関係機関が協力してこの課題に取り組んだ。

2 夏秋トマト栽培における土壌還元消毒法の適用時期の検討

岐阜県の夏秋栽培では、苗は4月下旬から6月上旬に定植し、10月から11月まで収穫するのが一般的である。このため土壌還元消毒を実施する場合、定植直前の春処理と栽培終了後の秋処理の2通りが考えられる。そこで、中山間地(標高約450m)の雨よけハウスを用いて適用時期について検討した。

試験は2000年6月1日～22日(春処理試験)と10月17日～12月6日(秋処理試験)の2回行い、褐色根腐病に対する防除効果を検討した。その結果、春処理試験の還元区の地温はハウスを密閉した6月1日以降徐々に上昇し、期間全体の平均地温は深さ15cmで31.4℃、同30cmで29.3℃であった。太陽熱区も還元区とほぼ同様の温度推移を示した。還元区の処理7日後の防除価は、深さ15cmで89、同30cmで65と高かった。また、21日後もそれぞれ100、73と高い防除効果が認められた。一方、太陽熱区の深さ15cmでは、処理21日後に防除価57を示したが、深さ30cmでは期間を通じて防除効果は全く認められず、還元区と比較して防除効果は劣った(表



図3 土壌還元消毒の作業風景
(フスマの混和作業)

表1 トマト褐色根腐病に対する土壌還元消毒の防除効果(春処理試験)

区	深さ (cm)	発病程度			防除価		
		処理後日数			処理後日数		
		7	14	21	7	14	21
還元区	15	0.3	0.5	0.0	89	86	100
	30	0.8	1.0	1.0	65	67	73
太陽熱区	15	3.0	2.7	1.3	0	27	57
	30	3.7	3.7	3.7	0	0	0
無処理区	15	2.7	3.7	3.0	—	—	—
	30	2.3	3.0	3.7	—	—	—

[注] 1) 岐阜県中津川市(標高450m), 2000年6月1日～22日
2) 発病程度指数 0: 根の発病なし, 1: 根の褐変25%未満, 2: 同25-50%, 3: 同50-75%, 4: 同75%以上

表2 トマト褐色根腐病に対する土壌還元消毒の防除効果(秋処理試験)

区	深さ (cm)	発病程度					防除価				
		処理後日数					処理後日数				
		10	20	30	40	50	10	20	30	40	50
還元区	15	2.4	2.7	1.7	1.6	1.2	0	0	41	56	65
	30	1.6	1.9	2.4	1.6	1.4	24	32	20	53	58
無処理区	15	2.1	2.7	2.9	3.6	3.4	—	—	—	—	—
	30	2.1	2.8	3.0	3.4	3.3	—	—	—	—	—

[注] 1) 岐阜県中津川市(標高450m), 2000年10月17日～12月6日
2) 発病程度指数 0: 根の発病なし, 1: 根の褐変25%未満, 2: 同25-50%, 3: 同50-75%, 4: 同75%以上満, 2: 同25-50%, 3: 同50-75%, 4: 同75%以上

1)。本試験では、現地のトマトの定植時期から考慮すると開始時期がやや遅かったため、2001年には4月下旬からトマト萎凋病菌を用いて同様の試験を行い、処理21日後には顕著な菌量の低下を認めた。

秋処理試験の10月中下旬のハウス外気温は15～18℃で、還元区の深さ15cm、30cmの地温は25℃前後であった。地温はハウス外気温の低下とともに徐々に低下し、処理期間中の平均地温は深さ15cmで20.2℃、深さ30cmで21.2℃であった。還元区では、処理30日後まで顕著な防除効果は認められなかったが、処理後40日になると15および30cmのいずれの深さでも防除価が50以上となり効果が認められた(表2)。しかし、その抑制程度は春処理試験と比較してやや劣った。

以上のことから、土壌還元消毒法は春期および秋期のいずれの処理でも褐色根腐病に対する防除効果が認められ、処理日数は標高約450m(岐阜県中津川市)の圃場において、6月上旬処理で7日間、10月中旬処理で40～50日間必要であることが分かった。トマト苗の定植時期を考慮すると春処理を行う時期は4月下旬から5月となる。この時期に行う場合、処理期間は地温の上昇日数も考慮して20～25日が必要と考えられる。また、秋処理は処理開始時期が遅れたり、気象条件が悪かったりすると防除効果が期待できないことも想定される。また、病原菌による圃場の再汚染等の危険性も考慮すると、春処理の方が実用的であると考えられた。

3 飛騨地域における土壌還元消毒法の現地実証

大野郡丹生川村（現：高山市丹生川町：標高 750 m）のトマト生産圃場において、2001～2003 年の 3 年間継続して試験を行った。なお、試験区は下表のとおりとし、同一生産者のハウス（A～D）を用いた。

ハウス	処理期間	処 理 区
A	2001.5.7-5.30	還元区（フスマ 1t,2t）, 対照区（太陽熱のみ）
B	2002.5.1-5.28	還元区（フスマ 2t）
C	2003.5.2-5.27	還元区（フスマ 2t）
D		無処理区

耕種概要：品種 桃太郎 8（自根栽培），定植 6 月上旬
調査方法：2001 年，2002 年および 2003 年の 10 月下旬～11 月上旬に根を抜き取り，褐色根腐病の発病程度を以下の指数によって求めた（0：無発病，0.5：根の罹病面積が 5% 以下，1：同 5～25%，2：同 25～50%，3：同 50～75%，4：同 75% 以上）。発病度は， Σ （発病指数×同株数）×100/（4×調査株数）により求め，防除値は無処理区の発病度から算出した。また，2003 年 10 月 30 日に，各区の 1 株当たりの着果数を各区 15 株について調べた。

3.1 温度条件

2001 年に処理した時の温度推移を図 4 に示す。期間中の平均外気温は 17.1℃であった。ハウス内の地温が概ね 30℃に到達するまでに，深さ 15cm で 5 日，同 30cm で 9 日を要した。処理期間中の平均地温は，深さ 15cm で 31.8℃，同 30cm で 27℃であり，概ね 30℃を確保できた。

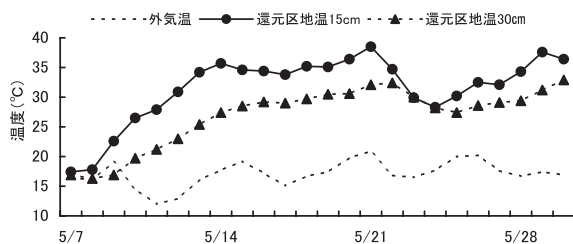


図 4 処理期間中の温度推移

岐阜県大野郡丹生川村（標高 750 m），2001 年，外気温はアメダスデータ（高山市）

3.2 防除効果

還元処理 1 年目の防除効果を表 3 に示す。褐色根腐病の発病度は，無処理区で 99，対照区で 95 と著しく高かったが，還元区（1 t）では 38，還元区（2 t）では 20 と低く，フスマを 2t 投入した区は安定して高い防除効果が認められた。

3.3 防除効果の持続性

2001 年に還元処理した圃場の発病程度を 3 年間継続して調査した結果を図 5 に示す。還元区 1 年目の平均発病指数は 1～1.5 で，無処理区の 4.0 と比較し著しく低かつ

表 3 トマト褐色根腐病に対する土壌還元消毒の防除効果^{a)}

処理区	調査株数	発病程度別株数 ^{b)}						発病度	防除値
		0	0.5	1	2	3	4		
還元区（1 t）	30	0	9	9	4	8	0	38	62
還元区（2 t）	30	1	14	13	2	0	0	20	80
対照区	15	0	0	0	0	3	12	95	4
無処理区	30	0	0	0	0	1	29	99	—

a) 岐阜県大野郡丹生川村（標高 750m），処理期間 2001.5.7～5.30，調査 2001.11.1

b) 発病程度指数 0：発病なし，0.5：根の褐変 5% 未満，1：同 5-25%，2：同 25-50%，3：同 50-75%，4：同 75% 以上。

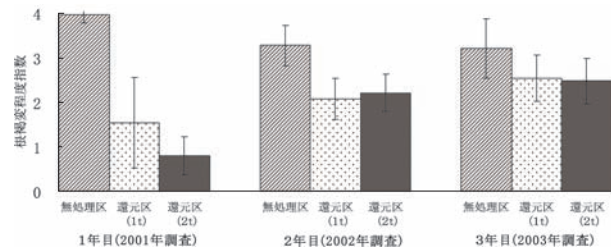


図 5 トマト褐色根腐病に対する還元処理効果の持続性

た。還元区 2 年目には 2.1～2.5 と高くなったが，無処理区の 3.3 と比較して明らかに低く，3 年目には無処理区との間に有意な差は認められなかったものの低い値を保った。また，1 年目と異なり還元区の 2 年目および 3 年目の発病指数にフスマの投入量による差は認められなかった。

3.4 生産性の向上効果

土壌還元消毒がトマトの着果数に及ぼす影響を表 4 に示す。調査は 2003 年秋に行った。無処理区では 5 段目が 2.6 個と著しく少なかった。また，9 段以降の着果はなく，株当たり平均着果数は 28.3 個だった。一方，還元処理区ではいずれの区も着果数が多く，処理当年は 37.5 個，2 年目で 29.8 個および 3 年目でも 34 個の着果があり，無処理区と比較して安定した着果数が得られた。

以上の結果，標高 750m の夏秋トマト栽培圃場において 5 月上旬に土壌還元消毒を開始したところ，25 日程度の処理で褐色根腐病に対して高い防除効果が認められた。根の発病程度は処理 3 年目でも無処理区に比較して低く，トマト果実の着果数も多くなり実用的な防除効果が認められた。

4 飛騨地域における土壌還元消毒の普及状況

飛騨地域の夏秋トマト栽培において，土壌還元消毒に取り組んでいる生産者は 2005 年には 51 戸 602a と年々確実に増加している（図 6）。当地域において本技術が普及しつつあるのは，定植時期などこれまでの栽培体系を大きく変更することなく導入可能であったこと，褐色根腐病の防除だけでなく同時に基肥を減らすことができることなどが大きな要因であろう。夏秋トマト栽培で土壌還元消毒を行う場合，投入した有機物からの窒素供給

表4 土壌還元消毒がトマトの収量に及ぼす影響（飛騨地域農業改良普及センター：田畑）

処理区 ^{b)}	各段の着果数 ^{a)}											計	無処理比 (%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
還元1年目区 (2t)	3.0	3.4	3.0	4.6	4.4	4.4	4.2	4.0	2.5	2.0	2.0	37.5	133
還元2年目区 (2t)	2.6	2.6	4.0	4.8	4.4	2.6	3.2	2.8	2.8			29.8	105
還元3年目区 (1t)	2.4	3.2	3.2	3.2	5.2	3.2	3.8	3.6	3.3	2.0	2.0	35.1	124
還元3年目区 (2t)	3.0	3.8	4.2	4.8	4.4	3.2	3.0	2.6	3.0	2.0		34.0	120
無処理区	3.0	3.0	4.8	5.2	2.6	3.0	3.2	3.5				28.3	—

a) 岐阜県大野郡丹生川村（標高 750m），調査 2003.10.30

b) 還元1年目区（2003年），還元2年目区（2002年），還元3年目区（2001年）

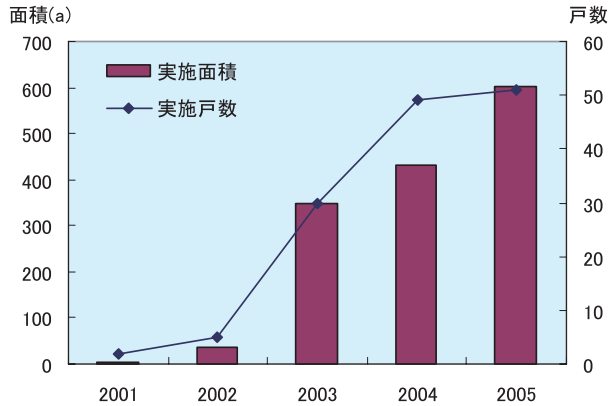


図6 土壌還元消毒の普及推移
（飛騨地域農業改良普及センター調べ）

があるため、基肥は基本的に施用しない。つまり、圃場に投入するフスマや米ぬかは消毒用素材としてだけでなく肥料の役割も兼ねている。また、土壌還元処理により1週間は多量の水を投入するため除塩効果もあるようで、土壌の塩類バランスが是正され「つくりやすくなった」と評する声が多い。根は細根量も多くなり生育後半まで安定した生育を示す（図7）。この点については、熱水土壌消毒でも同様な現象が確認されている⁴⁾。

このように、導入の目的が必ずしも病害防除だけではないことは注目に値し、この点が普及に拍車をかけている。有機物の購入価格はフスマで約28,000円/t、米ぬか



図7 収穫終了時の根の発病状況
（左：無処理区，右：還元区）

で約16,000円/tである。定植前の土壌消毒および基肥にかかる経費を算出すると、米ぬかで土壌還元消毒を行う場合は無処理（基肥のみ）と比較して約3,700円高くなるだけであり、クロルピクリン体系の1割程度と非常に安価である（飛騨農業改良普及センター調べ）。ただし米ぬかはフスマに比べて入手が困難な場合が多い。

今回の試験結果から、土壌消毒は3年に1度のローテーション体系を組むことによって作業の分散が図れる可能性があり、実際にそのような導入がなされつつある。また、高齢化等で生産ハウス面積を減少することにより圃場に余裕のある生産者では、休閑しているハウスを夏期に土壌還元処理する場合も見られる。さらに、新たな取り組みとして土壌還元処理を畝たてマルチ後に行って作業を省力化したり、育苗用土を土壌還元処理する試みもなされている。

5 おわりに

岐阜県では持続可能な農業生産を図るため、1995年度から「ぎふクリーン農業」に取り組んでいる。これは、従来の栽培に比べ化学合成農薬および化学肥料の使用量を慣行栽培に対していずれも30%以上削減した栽培を認定登録し生産物に表示するもので、トマト、ホウレンソウ、ニンジン、リンゴ、米、茶など約60品目、その生産登録面積は3,703ha（2004.1月現在）に及んでいる。このうち、トマトについては現在県内の7割以上の産地が認定され、安全安心な栽培への農家の意識も高くなってきた。そのきっかけ作りの一部を土壌還元消毒は担っているように思われる。

臭化メチルの代替技術には、主に代替農薬を利用した化学的防除法と、熱水や蒸気、太陽熱や土壌還元を利用した物理的防除法がある⁵⁾。昨今では、農産物の安全志向の高まりから物理的防除法が注目されてきており、本県においても夏どりホウレンソウを対象とした熱水土壌消毒法について以前から検討してきた^{6,7)}。また、飛騨地域のトマト栽培では前述のように土壌還元消毒が普及し始めているが、県内の東濃・中濃地域などでは定植時期が飛騨地域より約1ヵ月早く、十分な消毒条件が確保しにくいと、あまり導入が進んでいない。このため、これらの地域の一部では熱水土壌消毒の利用なども視野にいれて現在検討が進められている。

土壌還元消毒法は、国内各地で実証試験が行われ^{2,8,9,10,11,12,13}、熱水土壌消毒と併用した処理技術も報告されている¹²。また、その発病抑制のメカニズムについても検討が進められている^{14,15}。県内では、今回紹介した夏秋トマトのほかに、施設型の冬春トマトおよびキュウリ、飛騨地域の雨よけハウレンソウ、キクやトルコギキョウ、平坦地域の施設栽培イチゴ、ダイコン、ササゲなどでも土壌還元消毒の導入試験が進められている^{8,9,10}。特に冬春トマトおよびキュウリ栽培では、従来から太陽熱土壌消毒が普及していた地域であり、夏秋産地よりも急激に導入が進んでいる。しかし、本法は万能的な防除法というわけではなく、冬期の利用は困難で、標高によっても利用可能な時期は異なる。病害の種類や処理条件によっても防除効果は様々であろうし、透水性の非常に良好な圃場や露地作物への利用には課題が残されている。また、導入に当たっては投入する有機物からの窒素供給があるため、基肥量の調整について作物ごとに検討する必要がある。さらに、ハウレンソウのように年間数回作付けするような場合には消毒期間のさらなる短縮化、効果の安定性・持続性が求められている。

産地で発生している土壌病害は地域、品目により千差万別である。今後も代替技術の導入にあたっては、生産農家、農業改良普及センターおよび関係機関が一体となって、地域の気象条件、土壌条件および栽培体系等様々な要素を考慮しながら適切な代替技術を検討していく必要がある。

摘要

土壌還元消毒法は、従来の太陽熱消毒法より低い温度でも利用できることから、臭化メチル代替の一翼を担う技術として近年注目されている。岐阜県の夏秋トマト栽培において、定植前（春処理）および収穫後（秋処理）に処理したところ、いずれの時期でも褐色根腐病に対して防除効果が認められた。また、標高 750 m の現地圃場において、5 月上旬の処理で褐色根腐病に対して高い防除効果が認められ、その効果は 3 年間持続した。本法は、低コストで利用可能な環境保全型の技術として、飛騨地域の夏秋トマト産地で普及しつつある。

引用文献

- 1) 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 : 352-353
- 2) 新村昭憲. 2000. ネギ根腐萎凋病の原因と対策. 土壌伝染病談話会レポート. 20 : 133-143
- 3) 新村昭憲. 2000. 直接的土壌病害虫対策 - 土壌還元消毒法 - . 農業技術体系. 第 5 - 1 (追録 11 号) : 畑 212 の 6-9
- 4) 西 和文・池田剛志・猪野敏雄・西牟田康博・儀藤善行. 2002. 熱水土壌消毒 - その原理と実践の記録 -. 日本施設園芸協会 : 53-57
- 5) 西 和文. 2004. 臭化メチル代替技術の現状と展望. 今月の農業. 48 (5) : 15-19
- 6) 柳瀬関三. 2003. 夏どりハウレンソウの熱水土壌消毒法. 農耕と園芸. 58 (4) : 71-75
- 7) 浜崎健司・佐藤 衛・西 和文. 2005. ハウレンソウ萎凋病罹病株の地中埋設に対する熱水処理の効果について. 関西病虫研報. 47 : 117-118
- 8) 高井 啓・西 和文・田口義広・渡辺秀樹・勝山直樹・窪田昌春. 2003. キュウリ栽培施設における土壌還元消毒の効果と土壌 pH, EC, およびキュウリの生育に及ぼす影響. 関西病虫研報. 45 : 99-100
- 9) 渡辺秀樹・五十川悦司・田畑幸司・渡辺知文・峯村 晃・鈴木隆志・堀之内勇人・田口義広. 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. 関西病虫研報. 46 : 15-21
- 10) 峯村 晃・野村康弘. 2004. 湛水還元処理によるナス青枯病及び雑草への影響. 関西病虫研報. 46 : 61-62
- 11) 上田賢悦・佐藤 玄・佐山 玲. 2002. 秋田県における土壌還元消毒によるハウレンソウ萎凋病の防除. 北日本病虫研報. 53 : 52 - 54
- 12) 植草秀敏・岡本昌広・草野一敬. 2002. 熱水と土壌還元処理の併用によるトマト萎凋病菌の密度低減効果. 関東東山病虫研報. 49 : 23-29
- 13) 小山田浩一・鈴木 聡・和田悦郎・齊藤芳彦. 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
- 14) 久保周子・片瀬雅彦・牛尾進吾・大塚英一・山本二美・竹内妙子. 2002. 還元消毒法の消毒効果に関する要因. 日植病報. 68 : 206
- 15) 門馬法明・宇佐見俊行・雨宮良幹・宍戸雅宏. 2003. 土壌の還元化がトマト萎凋病の生存に及ぼす影響因子の解析. 日植病報. 69 : 288