

施設ショウガ栽培におけるヨウ化メチルくん蒸剤の 効果と処理条件

衛藤夏葉・安井（大谷）洋子・間佐古将則・岡本晃久・島津 康

和歌山県農業試験場

Effect and Treatment Condition of Soil Fumigant, Methyl Iodide, for Ginger Cultivation in Greenhouse

Kayo Eto, Yoko Otani-Yasui, Masanori Kansako, Akihisa Okamoto, Ko Shimazu

Agricultural Experiment Station, Wakayama Prefecture

緒 言

和歌山県のショウガ栽培は、明治時代中頃に始まり、昭和 40 年代に施設栽培が始まったといわれている。現在、本県のショウガ産地は、和歌山市の砂土地帯における施設栽培が主体となっており、12~2 月の低温期に定植、6~7 月末に新ショウガとして収穫し、その後、次のショウガ作付までの期間に葉菜類を栽培する体系が多い。ショウガ産地では他県の産地と同様、*Pythium myriotylum* (*Pythium zingiberis* と同一種) によるショウガ根茎腐敗病 (第 1 図) が重要病害となっている。

1950 年代以降、和歌山県でも難防除病害であるショウガ根茎腐敗病および雑草の防除のため、優れた土壌くん蒸剤として世界的に普及していた臭化メチル剤が使用されてきた。しかし、本剤は 1992 年、国連環境計画が作成した「オゾン層を破壊する物質に関するモントリオール議定書」においてオゾン層破壊物質に指定され、国際的な規制の下にある (楯谷, 1993)。先進国では代替技術が検討され、2005 年に原則廃止された (小原, 1997 ; 西, 2006 ; 竹内ら, 2000 ; 田代, 2006)。しかし、この時点でショウガについては代替技術が確立されていなかったため、不可欠用途臭化メチルの使用が 2012 年まで認められてきた。この特例措置が 2012 年に終了することを見据え、2008 年度から 5 年間、農林水産省の新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「臭化メチル剤から完全に脱却した産地適合型栽培マニュアルの開発」が実施され (津田, 2008)、和歌山県の施



第 1 図 *Pythium myriotylum* によるショウガ根茎腐敗病の病徴
左 : シュート地際の褐変, 右 : 根茎の病斑

設ショウガ産地に適する代替防除技術についても検討された（大谷，2008）。

本県の施設ショウガ定植前に臭化メチル剤の代替として使用する土壤消毒剤には，①ショウガ定植前の低温期に効果が得られること，②刺激臭がなく，住宅街に混在する施設でも比較的安全に使用できること，③後作作物の栽培期間を長く確保するため，処理期間が短いことが求められる。

ヨウ化メチルは，臭化メチルと同様に刺激臭がないことに加え，土壤をポリフィルム等で被覆後に薬剤を拡散させるため漏臭等の問題が起きにくく，他剤と比較して処理期間が短いことから，②，③の条件を満たす。このため，代替剤として複数の土壤病害虫に対する防除効果が検討されている（川越ら，2000）。しかし，ヨウ化メチルの沸点は臭化メチルよりも高く，比重が大きいため，低温条件となる本県の施設ショウガ定植前処理では気化が不十分となる可能性があった。そこで，筆者らは最も低温となる2月曇天日の施設内を想定した日中被覆内気温17℃の条件で本剤の処理を行い，根茎腐敗病に対する高い殺菌，防除効果が得られることを明らかにした（衛藤ら，2012）。

施設ショウガ栽培における本剤の実用化には，さらに複数の処理条件を明らかにする必要がある。本稿では，ショウガ定植前のヨウ化メチルくん蒸剤処理について，他剤との効果の比較および処理時の加温による防除効果の向上，効率的な処理薬量，連用による薬害発生の有無，処理期間または被覆資材の種類と防除効果の関係を検討した結果を紹介する。

材料および方法

和歌山県農業試験場の鉄骨ハウス内ショウガ根茎腐敗病汚染土壤（砂土）において，2009年から2011年にかけてヨウ化メチルくん蒸剤の効果および処理条件についての検討を行った。

1. 汚染土壤の準備

2009年は，ショウガ栽培ハウスで前年に全面で発病した圃場を用いた。2010年および2011年には，ショウガ根茎腐敗病菌（和歌山県和歌山市のショウガ栽培ほ場から罹病株を採集し，分離した菌株）を感染させ，培養した稲わらおよび前年の無処理区の土壤を圃場全面に均一に混和し，汚染土壤を作成した。病原菌培養稲わらは，家畜飼料250gを5Lの水で1時間煎じた煎汁に約300gの稲わらを加え，さらに1時間煎じた。その後，稲わらを約50gずつプラスチック容器に詰め，オートクレーブ滅菌し，菌を接種して約1ヵ月間26℃の恒温器で培養して作成した。

2. 他剤との効果の比較および処理時の加温による効果向上

2009年，同一ハウス内をポリフィルムで半分に区切り，一方を加温区，他方を無加温区とした。加温区では，薬剤処理期間中，加温機30℃設定で施設内を加温した。加温区，無加温区それぞれにヨウ化メチルくん蒸剤および対照薬剤の処理区と無処理区を4㎡/区，3反復で設けた。ヨウ化メチルくん蒸剤の処理量は60g/区（15kg/10a）とし，対照としてクロルピクリンくん蒸剤（クロルピクリン99.5%）120ml/区（30L/10a），クロルピクリン・D-Dくん蒸剤（クロルピクリン41.5%，1,3ジクロロプロペン54.5%）120ml/区（30L/10a）を処理した。ヨウ化メチルくん蒸剤は2月3日に処理を開始し，2月6日に被覆除去，2月13日にガス抜きを行った。対照の2薬剤は1月26日に深さ15cmの30×30cmの千鳥状に1穴3mlかん注処理し，2月6日に被覆除去，2月16日にガス抜きを行った。被覆にはガスの透過を低く抑えることができる難透過性フィルムを用いた。2月18日に種ショウガ（品種「土佐一」）を株間30cm，2条植えて定植し，4月末まで加温機25℃設定でハウス内を加温した。施肥は慣行に準じ，7月24日に収穫した。調査は，シュートおよび根茎のショウガ根茎腐敗病の発病，雑草の発生量，出芽開始期の出芽株率について行った。雑草の発生量は，ショウガ定植43日後，0.7㎡/区で，単子葉，双子葉別に本数を調査し，㎡当りに換算した。

3. 処理量の低減および連続処理による薬害発生

2010年、ヨウ化メチルくん蒸剤の処理薬量低減および連続処理による薬害発生について検討した。処理区は第1表の条件で設置した。処理開始は、処理量低減区および対照区は2月2日、3回処理区は1月12日、1月22日、2月2日とし、被覆期間はそれぞれ3日間とした。薬剤処理区内に1×4mの畝を3区設け、全ての区で2月19日に種ショウガ（品種「八郎」）を株間30cm、2条植えで定植し、4月末まで加温機25℃設定でハウス内を加温した。施肥は慣行に準じ、7月26日に収穫した。

調査は、処理量低減区および対照区の処理中被覆内ヨウ化メチル濃度の推移、処理量低減区、対照区および無処理区のショウガ根茎腐敗病菌生存率、ショウガ根茎腐敗病の発病、3回処理区および無処理区の出芽開始期の出芽株率、収穫期のショウガ収量、生育期の茎葉の薬害発生について行った。

ショウガ根茎腐敗病菌生存率は、土壌消毒前に1.と同様に作成した病原菌培養稲わらを不織布の袋に詰め、それぞれの区に埋め込み、土壌消毒後、わらを取り出して *Pythium* 属菌選択培地（東條, 2008; Y. Morita・M. Tojo, 2007）上での菌糸伸長の有無より算出した。病原菌培養稲わらの埋め込み位置は、各処理区の中央部と縁部とし、埋め込む深さは10cm、30cm、50cmとした。ショウガ根茎腐敗病の発病については、2.と同様に調査し、供試根茎数は50個/区とした。

第1表 処理量の低減と連続処理による薬害についての試験区の概要

区	加温	被覆資材	区面積	m ² 当たり 処理量	処理回数
処理量低減	加温機25℃設定	難透過性フィルム	25.0 m ²	10g	1
3回処理	無加温	0.05mm ポリフィルム	16.5 m ²	15g	3
対照	加温機25℃設定	0.05mm ポリフィルム	16.5 m ²	15g	1
無処理	無加温	被覆なし	4.0 m ²	-	-

注) 処理薬量は全て250g/区とした。難透過性フィルムは「バリアースター[®]（東罐興産株式会社製）」を使用した。

4. 処理期間および被覆資材の種類

2011年、ヨウ化メチルくん蒸剤の処理期間および被覆資材の種類について検討した。処理区は第2表の条件で設置した。処理開始は2月16日とし、2010年と同様に処理した。処理期間中、施設内は無加温とした。処理区は16.5 m²/区、反復なし、処理薬量は250g/区、無処理区は4 m²/区、3反復を設けた。

各土壌くん蒸処理区内に1×4mの畝を3区設け、全ての区で3月18日に種ショウガ（品種「土佐一」）を株間30cm、2条植えで定植し、4月末まで加温機25℃設定でハウス内を加温した。

施肥は慣行に準じ、8月16日に収穫した。

調査は、ポリフィルム被覆区および対照区の処理期間中の被覆内濃度の推移、全ての区のショウガ根茎腐敗病菌生存率、ショウガ根茎腐敗病の発病、雑草の発生量について行った。ショウガ根茎腐敗病の発病は30個/区について2.と同様、雑草の発生量はショウガ定植34日後、4 m²/区で2.と同様に調査した。

第2表 処理期間および被覆資材についての試験区の概要

区	処理期間	被覆資材
3日被覆	3日	難透過性フィルム
ポリフィルム被覆	14日	0.05mmポリフィルム
対照	14日	難透過性フィルム

結果

1. 他剤との効果の比較および処理時の加温による効果向上

シュートの平均発病率は、加温の有無に関わらず、ヨウ化メチルくん蒸剤はクロルピクリン・D-Dくん蒸剤と同等であり、クロルピクリンくん蒸剤よりもやや低かった。根茎の発病は、加温区のヨウ化メチルくん蒸剤はクロルピクリン・D-Dくん蒸剤と同等であり、クロルピクリンくん蒸剤よりも少なかった。いずれの薬剤処理区も無処理区と比較してシュートおよび根茎の発病は少なかった。収穫時、無処理区では根茎重量が薬剤処理区よりも軽かった（第3表）。

雑草の発生量は薬剤間に有意差が認められず、いずれの薬剤処理区も無処理区に比べて少なかった。また、処理期間中の加温の有無による顕著な差は認められなかった（第4表）。

ショウガ出芽株率は、いずれの薬剤処理区も無処理区と同等であり、処理期間中の加温の有無による差も認められなかった（第5表）。

第3表 土壌くん蒸剤がショウガ根茎腐敗病の発病に及ぼす影響

加温の有無	処理薬剤	シュートの平均 発病率 (%)	根茎の平均 発病度	平均根茎重(g)
加温	ヨウ化メチルくん蒸剤	0.1 a	1.7 a	633 ab
	クロルピクリンくん蒸剤	2.6 a	20.0 bc	719 ab
	クロルピクリン・D-Dくん蒸剤	0.1 a	5.8 ab	830 a
	無処理	16.3 b	35.8 c	453 b
無加温	ヨウ化メチルくん蒸剤	1.1 a	4.2 a	664 ab
	クロルピクリンくん蒸剤	4.9 ab	5.0 a	647 ab
	クロルピクリン・D-Dくん蒸剤	0.0 a	11.7 a	796 a
	無処理	19.0 b	30.0 a	415 b

注) シュートの平均発病率は、定植後、2009年7月23日までに発生したシュート数に占める発病シュート数の割合(%)。発病は、シュートが手で引き抜ける程度の腐敗の発生の有無により判定した。

根茎の発病は、0：腐敗なし、1：直径1cm以下の病斑が1～数个程度、2：表面積の1/10以上1/5以下が腐敗、3：表面積の1/5以上が腐敗の4段階の指数で評価し、発病度は $[\sum(\text{指数別発病根茎数} \times \text{指数}) / (\text{調査根茎数} \times 4)] \times 100$ とした。供試根茎は、250g～350g程度の新ショウガの根茎10個とした。

平均根茎重は、各区15株重量から算出した1株当りの根茎重。

同一加温条件下で異なるアルファベットを付した薬剤処理間に有意差 ($p < 0.05$) あり (Tukey)。

第4表 土壌くん蒸剤が雑草発生量(単位:本)に及ぼす影響

加温の有無	雑草の種類	ヨウ化メチル くん蒸剤	クロルピクリン くん蒸剤	クロルピクリン ・D-Dくん蒸剤	無処理
加温	単子葉	4.8	25.2	0.5	41.0
	双子葉	11.9	1.9	0.0	85.2
	合計	16.7	27.1	0.5	126.2
無加温	単子葉	12.9	11.4	0.5	63.8
	双子葉	2.4	1.4	1.9	81.9
	合計	15.3	12.8	2.4	145.7

注) 各処理区中央付近で約0.7m²あたりの雑草発生本数を調査し、m²あたりの値に換算した。

第5表 土壌くん蒸剤が出芽株率（単位：％）に及ぼす影響

加温の有無	供試薬剤			無処理
	ヨウ化メチル くん蒸剤	クロルピクリン くん蒸剤	クロルピクリン・ D-D くん蒸剤	
加温	74	72	86	74
無加温	82	81	74	76

注) 調査は1区30株につき、シュート発生のみられる株数を数え、割合を算出した。

2. 処理量の低減

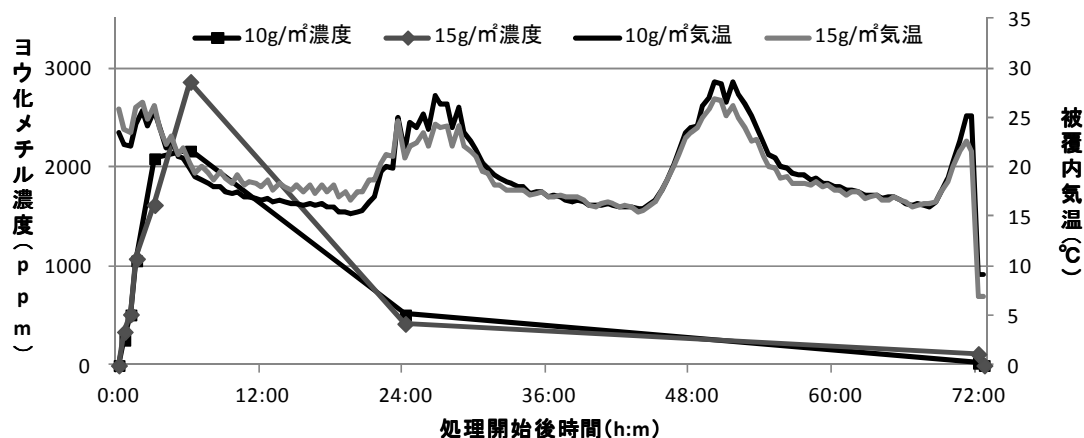
被覆内ヨウ化メチル濃度は、処理量を $10\text{g}/\text{m}^2$ とした処理量低減区では6時間後に約 2200ppm であり、 $15\text{g}/\text{m}^2$ とした対照区よりも約 700ppm 低かった。処理開始1日後以降、両区の濃度は同様に推移した（第2図）。

無処理区の病原菌生存率は深さ10, 30, 50cmとも100%であったのに対し、処理量低減区では中央部および縁部の深さ50cmでそれぞれ100%、対照区では縁部の深さ50cmでのみ14%で、それ以外の地点では0%であった（第6表）。

シュートの発病率には区による差が認められなかった。根茎の平均発病度は、有意差は認められなかったものの、処理区で無処理区よりも低く、処理量による処理区間の差は認められなかった（第7表）。

3. 連続処理による薬害発生

3回処理区のショウガ出芽株率および収穫期の収量は、対照の1回処理区または無処理区と同程度であり、茎葉への薬害も認められなかった（第8表）。



第2図 ヨウ化メチル処理量が被覆内ヨウ化メチル濃度の推移に及ぼす影響

注) ヨウ化メチル濃度は、北川式ガス検知管（光明理化学工業社製）により測定した。

第6表 ヨウ化メチルくん蒸剤の処理量が根茎腐敗病菌の殺菌効果に及ぼす影響

薬剤	処理区	地点	深さ (cm)	病原菌 生存率(%)
ヨウ化メチル くん蒸剤	処理量低減	中央	10	0
			30	0
			50	100
		縁部	10	0
			30	0
			50	100
	対照	中央	10	0
			30	0
			50	0
		縁部	10	0
			30	0
			50	14
無処理	-	-	10	100
			30	100
			50	100

第7表 ヨウ化メチルくん蒸剤の処理量が根茎腐敗病の発病に及ぼす影響

処理区	シュートの平均発病率 (%)	根茎の平均発病度
処理量低減	0.0	0.2
対照	0.2	2.0
無処理	1.2	9.8

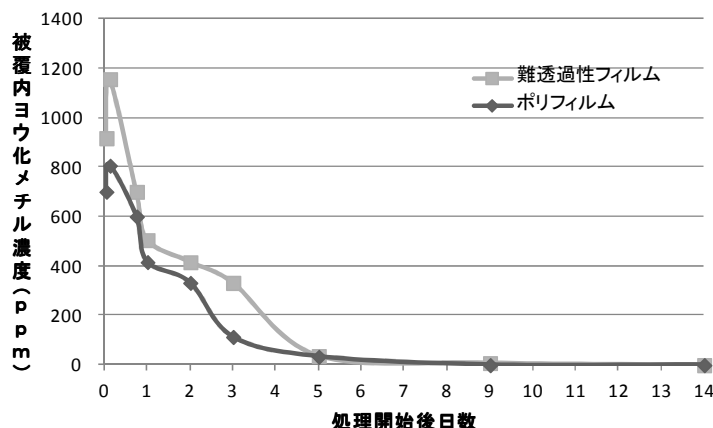
注) シュートの発病率および根茎の発病度は第3表注釈と同様に算出した。
処理区間にシュートおよび根茎の発病の有意差は認められなかった。

第8表 ヨウ化メチルくん蒸剤の処理回数がショウガの生育および収量に及ぼす影響

処理回数	ショウガ出 芽株率(%)	ショウガ収量 (kg/m ²)	茎葉へ の薬害
3回	88.9	8.2	-
1回(対照)	96.3	8.7	-
無処理	85.2	8.0	-

4 ヨウ化メチルくん蒸剤処理期間および被覆資材の種類

難透過性フィルムで被覆すると、処理開始から3時間後の被覆内ヨウ化メチル濃度はポリフィルムに比べて350ppm高く、9日後にポリフィルムでは検出限界以下となったのに対し、8ppmであった。処理開始から14日後の被覆内ヨウ化メチル濃度は両資材とも検出限界以下であった(第3図)。シュートおよび根茎の発病は、有意差は認められなかったものの、処理区で無処理区と比較して低く、処理区間の差はなかった(第9表)。雑草発生量には、処理期間および被覆資材の種類による差は認められず、無処理区と比較するといずれの処理区も少なかった(第10表)。



第3図 被覆資材の種類が被覆内ヨウ化メチル濃度の推移に及ぼす影響

第9表 ヨウ化メチルくん蒸剤処理時の被覆条件が根茎腐敗病の発病に及ぼす影響

処理区	シュートの平均発病率 (%)	根茎の平均発病度
3日被覆	2.1	0.6
ポリフィルム被覆	1.6	0.3
対照	0.5	0.3
無処理	5.6	8.9

注) シュートの発病率および根茎の発病度は第3表注釈と同様に算出した。
 処理区間にシュートおよび根茎の発病の有意差は認められなかった。

第10表 ヨウ化メチルくん蒸剤処理時の被覆条件が雑草発生量(本数)に及ぼす影響

雑草の種類	ヨウ化メチル処理			無処理
	3日被覆	ポリフィルム被覆	対照	
単子葉	0.8	4.4	0.3	24.9
双子葉	0.5	0.9	0.1	13.9
合計	1.3	5.3	0.4	38.8

考 察

ヨウ化メチルくん蒸剤は、2月処理で根茎腐敗病および雑草に対してクロロピクリンくん蒸剤およびクロロピクリン・D-Dくん蒸剤と同等以上に効果が高く、臭化メチルくん蒸剤の代替剤として有望であった。一方、クロロピクリンを含有するくん蒸剤は使用に際して刺激臭を伴うため、作業者への負担が大きく、住宅が近接するほ場では周辺環境への影響が懸念される。また、低温期の処理には10日以上期間が必要であり、後作作物の栽培終了後、次作のショウガ定植までの期間が短い場合は使用できない。これらのことから、和歌山県の施設ショウガ栽培では、ヨウ化メチルくん蒸剤が代替剤としての適性が高いと考えられた。クロロピクリンくん蒸剤およびクロロピクリン・D-Dくん蒸剤と同様、ヨウ化メチルくん蒸剤処理中の加温の有無による発病程度および雑草発生量の顕著な差は認められず、加温による効果向上は期待できないと考えられた。ヨウ化メチルは臭化メチルよりも気化しにくい性質を持つものの、今回の2月施設内無加温の処理条件は気化に充分であるとと考えられた。また、ヨウ化メチルの気化速度の違いは根茎腐敗病防除および雑草抑制に影響が少なく、気化すれば一定の効果が得られることが示唆された。

ヨウ化メチルくん蒸剤の処理量は臭化メチル剤の半分であるが、原料が高コストであり、薬剤も

高価であることが想定されたため、難透過性フィルムを使用し、処理量低減を検討した。ショウガ根茎腐敗病の発病は、処理量を3分の2に低減しても通常量と同程度であり、根茎腐敗病の発病が少発生の条件下では処理量の低減は可能であると考えられた。しかし、処理量を低減すると土壌の深さ50cmでの殺菌効果は劣り、ほ場によっては深さ50cmからも病原菌が検出されることが確認されているため(吉本, 2001)、条件によっては発病に差が出る可能性がある。このことから、処理量を低減する使用方法については、未発病ほ場に限定するなど、今後さらに条件を検討する必要がある。

被覆期間については、3日間と14日間でショウガ根茎腐敗病および雑草に対する効果に差はなく、今回のように発病が少発生の条件では、被覆期間を延長しても防除効果は向上しないと考えられる。発病程度が中発生以上の圃場において、被覆期間を3日以上に延長することで効果が向上する可能性はある。しかし、被覆開始5日目以降、被覆内濃度が極めて低く推移したことから、施設内での処理であれば、効果の面からは3~5日程度が被覆期間の目安になると考えられた。

被覆資材は、難透過性フィルムを用いる方が処理期間中の被覆内ヨウ化メチル濃度を高く保てたが、今回の試験では防除効果に差はなく、今後、発病程度が中発生以上の条件での検討が必要である。

ヨウ化メチルを土壌くん蒸に用いると、土壌中にヨウ素イオンが残存し、薬害を引き起こす事例が他作物で報告されている(森田, 2012; 田代, 2006)。今回の試験では、連年施用を想定し、連続して3回同じ土壌に処理したが、ショウガの出芽および収量に影響はなく、茎葉への薬害も認められなかった。実際には年1回の処理であり、ショウガ栽培中には多量の灌水を行うことから、砂地土壌ではヨウ化メチルくん蒸剤の連用によってショウガに薬害が発生する可能性は低いと考えられた。

本剤は2011年にショウガ根茎腐敗病および一年生雑草に対して農薬登録され、ショウガ定植前の土壌くん蒸が可能となった(商品名: ヨーカヒューム[®], アリスタライフサイエンス)。

施設ショウガ栽培において、ショウガ根茎腐敗病および雑草防除の臭化メチル代替技術としてヨウ化メチルくん蒸剤は有効であるものの、経費削減につながる手段についてはさらに検討が必要である。

摘 要

施設ショウガ栽培における定植前のヨウ化メチルくん蒸剤処理のショウガ根茎腐敗病および雑草に対する効果、処理条件および薬害について検討した。

1. ヨウ化メチルくん蒸剤のショウガ根茎腐敗病および雑草に対する効果は、クロロピクリンくん蒸剤およびクロロピクリン・D-Dくん蒸剤と同等以上であった。
2. ヨウ化メチルくん蒸剤の処理量を通常量の15g/m²から3分の2の10g/m²に低減すると、通常量と同等の防除効果が得られたが、土壌の深さ50cmで殺菌効果が劣った。
3. ヨウ化メチルくん蒸剤を3回同じ土壌に連続して処理しても、ショウガの生育および収量に影響は認められなかった。
4. 難透過性フィルムを被覆に用いると、ポリフィルムに比べて被覆内のヨウ化メチル濃度を高く保てたが、ショウガ根茎腐敗病および雑草に対する防除効果は向上しなかった。
5. ヨウ化メチル処理の被覆期間を3日から14日に延長してもショウガ根茎腐敗病および雑草の防除効果は向上しなかった。

引用文献

- 衛藤夏葉・安井洋子・間佐古将則. 2012. 和歌山県の施設ショウガ産地のための脱臭化メチル栽培マニュアルの開発. 植物防疫. 66 : 655-659.
- 川越洋二・中村正和・今村幸久・三浦猛夫. 2000. 土壌病害虫防除のための臭化メチル代替技術の開発 第一報 ヨウ化メチル剤を用いた秋冬作メロンの黒点根腐敗病およびサツマイモネコブセンチュウの防除. 九病虫研会報. 46 : 37-41.
- 小原裕三. 1997. 農業から放出される臭化メチルの環境影響とその軽減方法. 植物防疫. 51. 10 : 455-458.
- 森田泰彰. 2012. 高知県の露地ショウガ産地のための脱臭化メチル栽培マニュアルの開発. 植物防疫. 66 : 660-664.
- Y. Morita・M. Tojo. 2007. Modifications of PARP Medium Using Fluazinam, Miconazole and Nystatin for Detection of *Pythium* spp. in Soil. Plant Disease. 12. 2007 : 1591-1597.
- 西 和文. 2006. 臭化メチルを巡る国際動向と代替技術. 野菜茶業研究集報. 3 : 35-41.
- 大谷洋子. 2008. 住宅地に混在するショウガ栽培施設における臭化メチル代替技術. 植物防疫. 62 : 516-520.
- 竹内繁治・川田洋一・古谷眞二. 2000. 臭化メチル代替くん蒸剤によるショウガ根茎腐敗病の防除. 高知農技セ研報. 9 : 17-24.
- 田代定良. 2006. 臭化メチル代替農薬の効果と普及. 野菜茶業研究集報. 3 : 21-28.
- 楯谷昭夫. 1993. 臭化メチルとオゾン層について. 植物防疫. 47 : 193-195.
- 東條元昭. 2008. フルアジナムとミコナゾールを用いたピシウム菌選択培地の作製と病害診断への利用. 植物防疫. 62 : 161-163.
- 津田新哉. 2008. 我が国の土壌くん蒸用臭化メチル剤の最期と今後の歩むべき道. 植物防疫. 62 : 511-515.
- 吉本 均. 2001. ショウガ根茎腐敗病菌の土壌深度分布と消長. 和歌山県農業試験場単年度試験研究成績. 病虫-34.