

低濃度エタノールを用いた新規土壌消毒技術の開発 —岐阜県におけるホウレンソウ栽培に適した 新規土壌消毒技術の実用規模化研究—

浅野 雄二、渡辺 秀樹

Development of new soil disinfection using a low concentration ethanol
—Scale research into new method to disinfect soil suitable for spinach cultivation in Gifu Prefecture—

Yuji Asano, Hideki Watanabe

Gifu prefectural Research Institute for Agricultural Technology in Hilly and Mountainous Areas, Furukawa Gifu 509-4244
Gifu prefectural Agricultural Technology Center, Matamaru Gifu 501-1152

summary

The treatment conditions of soil disinfection using low concentration ethanol for use to summer spinach under rain shelter in Hida region were examined. As a result, it was considered necessary to ensure the soil temperature and use mist irrigation tube for uniform spread of ethanol. In addition, it was appeared that about 130L/m² of 1% ethanol solution is necessary for control fusarium wilt.

Key Words: low concentration ethanol, reducing soil disinfection, spinach, fusarium wilt

キーワード：低濃度エタノール、還元土壌消毒、ホウレンソウ、萎凋病

緒言

飛騨地域のホウレンソウ栽培では土壌消毒が慣行化しており、化学農薬に頼った防除を行っている。しかしながら作業への負担や、イメージ戦略などの理由で、なるべく化学農薬を使用しない土壌消毒法の開発が望まれている。今までに新村ら¹⁾が提案したふすまなどを用いた還元土壌消毒法があったが、固体をすき込むことによる作用域の少なさなど問題があった。しかしながら、小原ら²⁾は1%程度の低濃度エタノールを用いることで以前から行われているふすまなどを用いた還元土壌消毒に似た効果があると示唆している。この場合は下層土まで浸透し、作用域が広いこと、単一成分のため早期の還元が期待されるなど、長所がいくつか考えられた。このたび「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」「低濃度エタノールを用いた新規土壌消毒技術の開発」を介し、携わる機会を得たため、飛騨地域の雨よけホウレンソウ栽培において低濃度エタノールを用いた還元土壌消毒法の検討を行うこととした。

材料及び方法

実験1 小規模試験区による基礎的実験(2008)

2008年8月19日に低濃度エタノール、クロルピクリン、フスマ還元土壌消毒の各消毒処理を行った。圃場は中山間農業研究所ホウレンソウ簡易雨よけハウスを用いた（以下圃場を用いた実験は同様のハウス）。試験区はエタノール1%7日区（エタノール1%溶液100L/m²、消毒期間7日間）、エタノール1%14日区（エタノール1%溶液100L/m²、被覆期間14日間）、エタノール0.5%7日区（エタノール0.5%溶液100L/m²、被覆期間7日間）、エタノール0.5%14日区（エタノール0.5%溶液100L/m²、被覆期間14日間）、クロピク区（クロルピクリン3ml/穴、被覆期間7日間）、フスマ区（フスマ1t/10a、水100L/m²、消毒期間14日間）、無処理区を設けた。なお、還元区の被覆時はハウスサイド・妻面のビニル被覆を行い（二重被覆）、地温の確保を行った。試験規模は1区15m²（3×5m）とし、試験区間は漏水防止としてオレフィン樹脂製のシートで区切った。低濃度エタノールの散布処理は、直径40mmのホース・エンジンポンプにて行った。調査項目は地温、Eh、土壌水分、土壌菌量、発芽率、発病株率、収量とした。土壌中 *Fusarium* の推移を土壌消毒処理後、8月26日（消毒処理後7日目）、9月2日（消毒後14日目）とした。

土壌の酸化を待ち、9月9日に播種し、10月15日に収穫時調査を行った。

実験2 中規模試験区による連作実験（2009）

2009年に中規模の連作実験を行った。処理前に1作、作付けを行い（4月2日：播種、5月8日：収穫）慣行作型同様に菌密度を上げ、その後、土壌消毒処理を行った。試験区はエタノール区（エタノール1%溶液100L/m²、被覆期間14日間、ハウスサイド・妻面のビニル被覆、水封マルチにて被覆材を固定、48 m²）、クロピク区（クロロピクリン3ml/穴、消毒期間7日間、42 m²）、無処理区（21 m²）とした。低濃度エタノールの散布処理は、点滴かん水チューブ・電動ポンプにて行った。土壌消毒開始は処理後、各区同時に播種が可能のように、処理期間のかかる低濃度エタノール処理は5月29日に、クロロピクリン処理は6月5日に行った。2作目の播種は6月19日、収穫時調査は7月21日に行った。3作目の播種は9月4日、収穫時調査は10月7日に行った。調査項目は地温、土壌菌量、発病株率、収量とした。

実験3 処理液の不均一化の要因解明（2010）

室内実験では50ml シリンジに生土60g（土壌水分12%）、あるいは同容量の絶乾した土壌52.6gを入れ、エタノール1%溶液を生土区は25.2ml、絶乾土は33.6ml（総水分量を同量）をシリンジの上部から注入し、下部から浸透液を約6ml回収し、エタノール濃度を測定した。圃場実験では6月中旬に実験を行い、試験区はエタノール1%-1回処理区（エタノール1%溶液100L/m²）、エタノール0.5%-2回処理区（エタノール0.5%溶液100L/m²×2回）、エタノール原液混和処理区（エタノール原液1.8L/m²を土壌混和後に水100L/m²処理）とした。各試験区は、波板で0.5 m²（70cm×70cm）に区画した。各区の土壌中には、ポラスカップを5、10、15、20および25cmの深さに埋設し、6/15にエタノール溶液を処理した。エタノール原液混和処理区は、土壌中にEt溶液の原液を混和した後にポラスカップを埋設して水を処理した。6/16の午前中にEt0.5%処理区は2回目の処理を行い、午後に各試験区の土壌溶液を採取した。又、水平方向の浸透実験として200cm×60cmの区画を設け、点滴かん水チューブを30cm間隔で2本配置した。点滴かん水チューブの直下（0cm）、水平方向に5cm、10cm、15cmの深さ5cmにポラスカップを埋設し、エタノール1%溶液を100L/m²処理した。処理90分後に土壌溶液を採取した。

実験4 実用規模での適用実験（2010）

2010年に実用規模での適用試験を行った。実験2同様に処理前に1作、作付けを行い（4月12日：播

種、5月24日：収穫）、その後、土壌消毒処理を行った。試験区はエタノール区（エタノール1%溶液1t/10a、水130L/m²、被覆期間14日間、ハウスサイド・妻面のビニル被覆、水封マルチにてハウス周辺部の地温確保、中農研雨よけハウス1棟：132 m²）、クロピク区（クロロピクリン3ml/穴、消毒期間7日間、66 m²）、無処理区（66 m²）とした。低濃度エタノールの散布処理は、ミストかん水チューブ・液肥混入機（通常のかん水経路に設置）にて行った。土壌消毒開始は実験2と同様の理由で8月11日に、クロロピクリン処理は8月18日に行った。2作目の播種は9月6日、収穫時調査は10月21日に行った。調査項目は地温、エタノール濃度、土壌菌量、発病株率、収量とした。

実験5 実用規模での連作下での持続性実験（2011）

実験4をふまえ産地慣行栽培と同じ連作栽培を行った。実験2、4同様に処理前に1作、作付けを行い（2010年12月9日：播種、4月18日：収穫）、その後、各処理を行った。試験区は実験3と同様としたが、エタノール処理区の被覆期間を低温の影響により21日間とし、クロロピクリン区も14日の被覆とした。土壌消毒開始は実験2と同様の理由で5月31日に、クロロピクリン処理は6月7日に行った。処理後の作付けの播種は2、3、4作目それぞれ7月11日、8月18日、10月10日に行い、収穫時調査は2、3、4作目それぞれ8月16日、9月20日、11月21日に行った。調査項目は地温、エタノール濃度、土壌菌量、発病株率、収量とした。

実験6：土壌病害抵抗性品種の選定（2010、2011）

実験4を行ったクロロピクリン区から消毒前の汚染土壌と消毒後の消毒済み土壌を採種し、汚染土壌比率を1/10、1/100、1/1000とした土壌を調整し、1次選抜として夏ホウレンソウ栽培用18品種の検討を行った。土壌は30×45×深さ10cmのトレーにそれぞれ3トレーずつ充填し、1品種各25粒深さ5mm程度に播種し、発病株率を検討した。

次に1次選抜により選抜された「ミラージュ」について実験5の2、3作目にエタノール処理区のハウスサイドに2条ずつ播種し被害度の調査を行った。

表1 実験1における処理期間の地温推移

		エタノール1%区		エタノール0.5%区		フスマ区	
		15cm	30cm	15cm	30cm	15cm	30cm
積算温度	7日間	4976	4801	5076	4892	5161	4862
	14日間	10477	10136	10697	10341	10858	10283
平均温度		30.9	29.8	31.5	30.4	32.1	30.2
最高温度	7日間	40.4	35.2	42.1	36.2	42.4	35.5
最低温度		22.7	23.7	22.4	23.8	21.4	22.6
平均温度	14日間	31.8	30.8	32.5	31.4	33.0	31.3
最高温度		41.4	37.2	42.6	38.1	42.5	37.2

結果及び考察

実験1 小規模試験区による基礎的実験(2008)

地温環境は各区とも積算温度（℃時）で7日間は約5000（℃時）、14日間で約10000（℃時）となり、平均温度でも30℃を確保していた（表1）。

また、酸化還元電位は各区7日間で水100L/m²施用された処理区では200mV以下で、クロルピクリン区、無処理区は200mVを越えていた。14日間では100L/m²施用された処理区では70mV以下となり、無処理区は約290mVで電位差は200mVを越えていた（表2）。このときの土壌表層（10cm）の *Fusarium* 菌はエタノール処理7日後に、20cmの深さでは処理14日後にほとんど検出されなくなった。フスマ区ではエタノール区と比較して消毒効果が十分ではなかったが、

この原因としてフスマの混和ムラがあったものと考えられた。また、消毒後1作目には、エタノールおよびフスマ区の *Fusarium* 菌の増加が認められ、特に試験区のサイド部分の菌量が多かった（表3）。

試験区別被害度は慣行土壌消毒法であるクロルピクリン区で非常に低く、エタノールの処理濃度・日数による傾向はみられなかった。（図1）。一方で各区ともに条別被害度ではハウスサイドに近い条（16条目）で被害が大きく、区の中央で被害が小さかった。ハウス中央通路に近いところでは、サイド側の条ほどでないが被害度が高くなる傾向であった（図2）。

試験区別収量はクロルピクリン区>フスマ区>エタノール処理各区となりエタノール処理区間では差はなかった（表4）。

表2 実験2の処理期間中の土壌還元電位の推移

	調査日	調査地点	エタノール1%		エタノール0.5%		フスマ区	クロルピクリン区	無処理区
			7日区	14日区	7日区	14日区			
8月26日	10cm	中央	190	123	155	146	134	219	258
	20cm	中央	167	102	132	122	136	217	251
9月2日	10cm	中央	-	48	-	29	66	-	286
	20cm	中央	-	14	-	25	17	-	294

表3 実験1における各処理区の土壌における *Fusarium* 菌密度

調査日	調査地点	土壌深度	エタノール1% 7日区	エタノール1% 14日区	エタノール0.5% 7日区	エタノール0.5% 14日区	フスマ区	クロルピクリン区	無処理区
処理後7日	試験区中央	10cm	0	0	0~710	0	43~1191	0	1520~4808
		20cm	0~160	0~312	34~2435	33~984	1308~5169	0	859~7439
処理後14日	試験区中央	10cm	-	0	-	0	0	-	1873~6770
		20cm	-	0	-	0~110	122~178	-	1540~9408
収穫時(10月8日)	ハウス内通路側	10cm	-	47~280	-	33~140	100~147	0	-
		20cm	-	400~540	-	0~47	180~440	0	-
	試験区中央	10cm	-	54~140	-	20~27	80~247	0	1800~4533
		20cm	-	7	-	0	33~647	0	467~2200
ハウスサイド側	10cm	-	87~733	-	7~153	800~1867	0	-	
	20cm	-	0~87	-	7~173	320~1000	0	-	

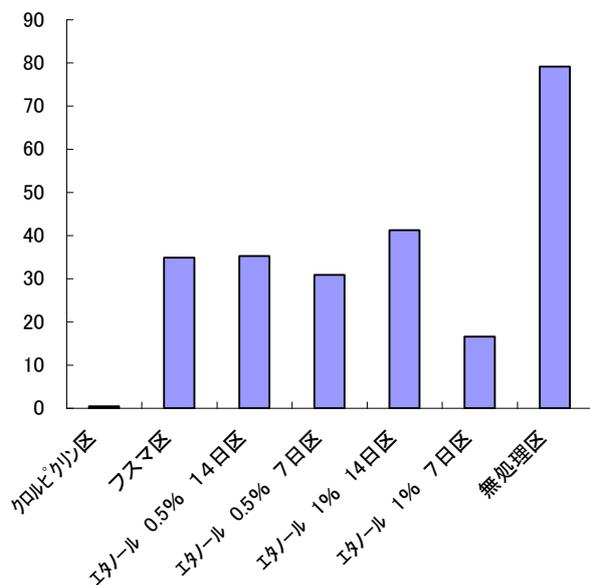


図1 実験1における根部の被害度

程度基準 0:被害無し 1:道管1/3褐変 2:道管2/3褐変 3:道管3/3褐変 4:枯死
被害度 = $\sum \text{程度別発病指数} \times \text{同株数} / (\text{調査株数} \times 4) \times 100$

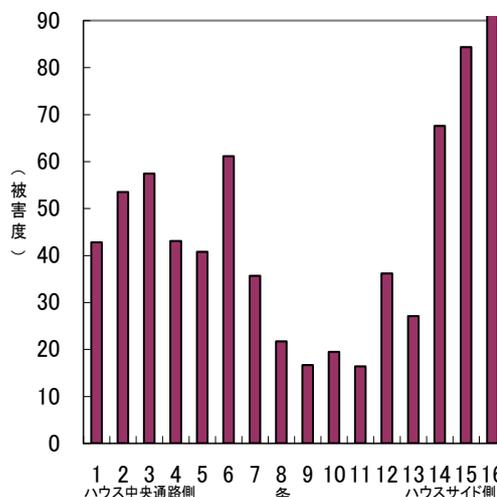


図2 実験1におけるエタノール1%14日区の被害度

被害度基準: 図1と同様

その他、副次的に効果があると考えられる雑草個体数も条別被害度と同じく、ハウスサイドに近い方で多い傾向であった。雑草種別割合では各土壌消毒処理に共通してハルジオン・ヒメジョオンの割合が

大きくなっていった（図3、4）。また、処理後の土壌硬度は還元消毒、クロピク、無処理の順で土壌硬度が高く、15cm程度までにどの区も一度、土壌が硬くなるが、水を処理した区は顕著であった。また、0.5%区より1%区の方が硬くなる傾向がみられた（図5）。

以上、実験1では各区の条別被害度や除草効果などから試験区が小さく、圃場外や圃場内の通路などから酸素や *Fusarium* 菌などの流入がおり、十分な評価ができなかったと考えられた。

表4 実験4における収量

区	収量(kg/10a)
クロピク区	3367
フスマ区	2767
イタノール 0.5% 14日区	2100
イタノール 0.5% 7日区	2037
イタノール 1% 14日区	1812
イタノール 1% 7日区	2002
無処理区	902

実験2 中規模試験区による連作実験（2009）

実験2の場合も処理期間の平均地温はほぼ30℃に達しており、十分な地温が確保された（データ省略）。処理前の *Fusarium* 菌は595～13932 cfu/g 乾土と

無処理区	フスマ区			イタノール0.5% 7日区			イタノール1% 7日区		
	6	15	13	9	21	3	16	13	4
	1	0	1	1	4	5	4	1	2
	2	0	0	8	3	1	2	2	2
7	1	1	1	5	4	0	10	10	8
29	2	1	0	1	2	1	3	8	8
15	1	2	9	7	18	15	25	32	23

図3 実験1における雑草の個体数分布の圃場図

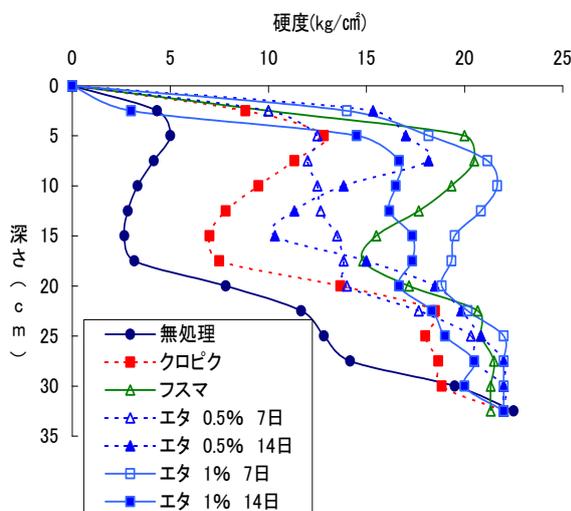


図5 実験1における作付け後の土壌硬度(DIK-5520)

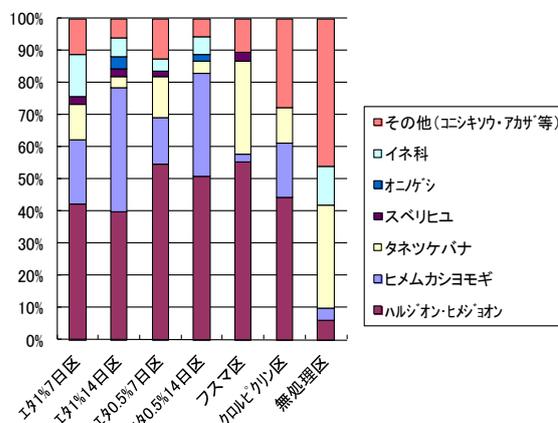


図4 実験1における雑草の種類分布

表6 実験2における処理前の *Fusarium* 菌密度

反復	cfu/g乾土	水分率%
①	8281	10.6
②	13094	12.9
③	13932	9.6
④	1183	10.4
⑤	595	9.3
⑥	877	15.6

表7 実験2における処理7日後の土壌中の *Fusarium* 菌密度および土壌水分率
採取深さ別の *Fusarium* 菌密度、土壌水分率

地点	2cm		10cm		20cm	
	菌数 (cfu/g乾土)	水分率(%)	菌数 (cfu/g乾土)	水分率(%)	菌数 (cfu/g乾土)	水分率(%)
①	0	19	647	20	41,062	24
② サイド	0	21	0	23	91	19
③	0	19	0	20	404	19
④	0	17	0	22	8	23
⑤ 中央	0	21	0	23	18	24
⑥	0	20	0	22	0	23
⑦	0	20	0	21	258	17
⑧ サイド	0	19	0	24	42	19
⑨	0	16	0	21	15,807	20

注) サイド:ハウスのパイプから60cm入った地点

なった（表6）。低濃度エタノールを用いた還元土壌消毒処理を行ってから、7日後（エタノール1%、100L注入処理日から）での菌密度は2cmまでの深さでは0cfu/g乾土となり、10cmでは①サイドで菌が

検出された。20cmではサイド部分の菌密度が高く、中央部分の菌密度は低かった（表7）。その後、14日後ではエタノール処理区でサイド部分の一部(①、⑧)で菌密度が高く、クロルピクリン区では全く検

表8 実験2における処理14日後の土壌中のFusarium菌密度および土壌水分率

試験区	地点	採取深さ別のFusarium菌密度、土壌水分率					
		2cm		10cm		20cm	
		菌数 (cfu/g乾土)	水分率(%)	菌数 (cfu/g乾土)	水分率(%)	菌数 (cfu/g乾土)	水分率(%)
エタノール 処理区	①	0	6	21,845	20	19,871	19
	② サイド	0	19	0	22	0	22
	③	0	18	0	20	0	19
	④	0	17	0	21	0	18
	⑤ 中央	0	22	0	22	0	23
	⑥	0	19	0	21	0	21
	⑦	0	20	0	22	0	18
	⑧ サイド	0	20	5,888	22	2,169	22
	⑨	0	18	0	20	0	20
クロルピクリン区	①	0	3	0	8	0	14
	②	0	3	0	9	0	12
	③	0	2	0	7	0	11
	④	0	2	0	7	0	10
	⑤	0	2	0	11	0	13
無処理区	①	97	3	539	8	4,085	12
	②	44	9	428	15	191	18
	③	108	8	155	16	144	17

表9 実験2の試験区全体の被害度

	1作目		2作目	
	被害株率	被害度	被害株率	被害度
エタノール処理区	16.5	8.8	56.4	37.6
クロルピクリン処理区	6.6	2.6	19.6	10.7
無処理区	91.8	58.2	96.9	81.1

注)：防除価は無処理の被害度から算出
被害度基準は実験1と同様

表10 実験2における粗収量

	エタノール 処理区	クロルピ クリン区	無処理区
	1作目	1902	2043
2作目	1930	2057	—

		消毒後1作終了時の被害度							
		1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m
播種条	1	95	25	2	4	13	0	0	5
	2								
	3								
	4	32	3	0	0	13	0	9	3
	5								
	6								
	7								
	8								
	9	0	3	0	0	0	0	0	0
	10								
	11								
	12								
	13								
	14	6	0	2	12	0	0	0	0
	15								
	16								
	17	10	3	7	3	6	0	23	6
	18								
	19	0	8	19	50	0	33	8	0
	20								
	21	6	36	5	2	21	19	3	2
	22								
	23								
	24	4	11	0	0	0	0	0	5
	25								
	26								
	27								
	28								
	29	8	5	0	3	0	0	4	11
	30								
	31								
	32	7	3	0	4	83	9	16	0

		消毒後2作終了時の被害度							
		1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m
播種条	1	92	50	17	41	37	58	20	42
	2								
	3								
	4	21	22	10	11	3	25	25	30
	5								
	6								
	7								
	8								
	9	25	28	25	19	14	15	9	36
	10								
	11								
	12								
	13								
	14	63	30	78	50	20	33	44	39
	15								
	16								
	17	58	59	8	47	36	32	47	14
	18								
	19	58	43	42	55	84	78	42	42
	20								
	21	25	46	58	40	88	68	34	48
	22								
	23								
	24	30	28	40	56	68	68	41	39
	25								
	26								
	27								
	28								
	29	32	39	13	18	17	36	30	34
	30								
	31								
	32	36	6	17	25	59	25	23	13

図6 実験2における消毒後におけるエタノール処理区の被害度

出されなかった（表8）。

エタノール処理区全体の被害度は消毒後1作目8.8、2作目37.6とクロロピクリン区の1作目2.6、2作目10.7と比較し、高いものの、無処理では1作目58.2、2作目88.1と高く、低濃度エタノール処理後1作目の条別被害度はエタノール処理区の1条目妻付近、32条目の中央付近、処理作業中にできた足跡がみられた19条目で大きな被害がみられた。クロピク区もハウスサイドの妻付近の32条目で被害

表11 実験3における絶乾土及び生土の
エタノール濃度分布(シリンジ試験)

反復	絶乾土	生土
	(vol%)	(vol%)
1	1.0	0.4
2	1.0	0.4
3	1.0	0.3
平均	1.0	0.4

注) 50mlシリンジ使用、エタノール溶液濃度1%(v/v)、
土壌溶液は下層部からの浸出液

表12 実験3におけるエタノール処理方法の違いと
土壌中濃度分布(垂直浸透試験)

試験区	採取位置	Et濃度(vol%)		
		反復1	反復2	反復3
Et1% 1回区	5cm	0.9	0.9	1.0
	10cm	0.9	1.0	1.0
	15cm	0.9	0.9	1.0
	20cm	0.9	0.9	0.9
	25cm	0.7	0.4	0.7
Et0.5% 2回区	5cm	0.5	0.4	0.4
	10cm	0.5	0.4	0.5
	15cm	0.5	0.5	0.5
	20cm	0.5	0.5	0.5
	25cm	0.5	0.5	0.4
Et原液混和处理区 3回区	5cm	<0.1	<0.1	<0.1
	10cm	<0.1	<0.1	0.2
	15cm	0.6	0.6	1.5
	20cm	1.3	3.2	0.7
	25cm	1.3	3.0	1.3

がみられた。消毒後2作目では処理区全体に被害がみられ、特に1条妻付近、19条目の周辺部分は大きな被害となった(図6)。一方、クロピク区もハウスサイドの妻付近の32条目の被害が高くなったが、エタノール区ほどの被害の広がりはなかった(データ省略)。

粗収量は処理後2作ともにクロピク区の方がやや高い傾向であった。また、1作目と2作目では大きな収量差はなく、エタノール区では被害度は高くなっているものの粗収量に大きな影響は与えなかった(表10)。

以上、実験2では14日後に *Fusarium* 菌が検出されたことや足跡が残った部分で発病が激しいなど、処理の不均一化が起こる要因があると考えられ、要因解明が処理精度の向上につながると考えられた。

実験3 処理液の不均一化の要因解明(2010)

室内実験ではシリンジ内の絶乾土にエタノール溶液を処理した場合は、最下層までエタノール濃度が低下することはなかったが、生土の場合には濃度勾配が認められ、土壌浸出液中のエタノール濃度は、4割に低下していた(表11)。圃場試験ではエタノール1%溶液を100L/m²処理した場合、表層5cmから

表13 実験における土壌中の
濃度分布(垂直浸透試験)

点滴チューブ からの距離	Et濃度(vol%)		
	反復1	反復2	反復3
0cm	1.0	1.0	1.0
+5cm	1.0	1.0	1.0
+10cm	1.0	1.0	1.0
+15cm	0.1	0.1	0.2

	1m	3m	5m	7m	9m	11m	13m	15m	17m	19m	21m
1				8	0	5	8	11	7	10	
2											
3				11	7	5	7	7	6	10	
4											
5				2	3	3	5	0	0	3	
6											
7				7	2	0	11	7	3	5	
8											
9				13	8	4	0	0	0	0	
10											
11				8	3	0	0	0	0	0	
12											
13				3	0	3	5	5	0	9	
14											
15				3	0	3	3	0	8	7	
16											
17											
18				8	6	8	4	8	5	4	
19											
20				0	0	0	2	0	0	0	
21											
22				2	6	3	4	5	9	5	
23											
24				0	0	4	3	2	2	2	
25											
26				2	0	0	3	0	3	0	
27											
28				3	0	0	0	0	2	2	
29											
30				0	0	0	5	2	0	2	
31											
32				7	8	12	10	13	7	8	

図7 実験4における条別被害度(エタノール処理区)

	1m	3m	5m	7m	9m	11m	13m	15m	17m	19m	21m
1	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0
2											
3	2	0	0	0	0	0	0	2	0	2	2
4											
5	2	5	0	0	5	0	2	0	0	0	11
6											
7	5	6	2	0	0	7	2	0	0	2	0
8											
9	0	0	2	6	2	7	3	6	4	8	0
10											
11	5	2	2	7	5	0	5	0	3	4	3
12											
13	0	0	0	3	0	0	0	2	0	2	0
14											
15	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

図8 実験4における条別被害度(クロロピクリン処理区)

	1m	3m	5m	7m	9m	11m	13m	15m	17m	19m	21m
15	88	84	83	81	73	31	57	78	93	55	59
14											
13	54	78	39	89	77	40	59	78	83	78	50
12											
11	84	95	31	88	83	89	84	95	89	52	75
10											
9	88	100	53	92	89	72	81	89	75	65	95
8											
7	42	39	88	75	52	86	95	88	70	85	97
6											
5	33	35	35	53	87	91	75	85	45	56	79
4											
3	31	36	42	48	81	70	43	25	81	33	88
2											
1	30	93	93	97	85	100	84	36	5	0	27

図9 実験4における条別被害度(無処理区)

表14 実験4における処理後の土壌中エタノール濃度及び有機酸濃度

処理後日数	地点	エタノール濃度 (vol%)		酢酸 (mg/L)		酢酸 (mg/L)	
		10cm	20cm	10cm	20cm	10cm	20cm
1日後	①	0.8	1.1	-	127	-	-
	②	1.1	1.1	104	133	-	-
	③	1.0	1.0	120	147	-	-
	④	1.1	1.1	182	146	-	-
	⑤	1.1	1.2	170	191	-	-
	⑥	1.1	1.1	159	161	-	-
	⑦	1.1	1.1	154	172	-	-
	⑧	1.1	1.1	107	114	-	-
	⑨	1.0	1.0	149	179	-	-
	平均	1.0	1.1	143	152	-	-
7日後	①	0.1	0.2	403	149	4,468	2,873
	②	0.4	0.5	3,726	2,764	1,652	1,512
	③	0.5	0.6	4,660	3,728	453	332
	④	0.5	0.5	620	536	2,522	2,509
	⑤	0.6	0.7	1,733	1,595	2,293	1,641
	⑥	0.7	0.8	1,767	2,452	1,793	598
	⑦	0.1	0.2	2,406	1,061	4,027	4,149
	⑧	0.7	0.8	3,532	3,161	573	201
	⑨	0.7	0.8	2,366	1,968	801	201
	平均	0.5	0.6	2,357	1,935	2,065	1,557
14日後	①	0.2	0.1	1,174	945	4,153	4,249
	②	0.3	0.1	4,419	1,864	1,796	4,786
	③	0.2	<0.1	3,365	1,419	2,974	5,112
	④	0.4	0.2	1,315	771	2,887	2,880
	⑤	0.4	0.2	1,755	931	3,103	3,647
	⑥	0.4	0.1	1,921	697	2,344	3,848
	⑦	0.1	<0.1	2,247	1,150	3,122	5,449
	⑧	0.3	0.1	2,785	1,469	3,045	4,252
	⑨	<0.1	0.2	366	1,530	2,053	2,604
	平均	0.3	0.1	2,150	1,197	2,831	4,092

表15 実験4における土壌中のFusarium菌密度(処理直後)

試験区	地点	処理前	処理7日後			処理14日後		
			2cm	10cm	20cm	2cm	10cm	20cm
エタノール区	①	5,400	0	0	93	0	0	0
	②		120	0	7	0	0	0
	③		0	13	100	0	0	0
	④		0	0	0	0	0	0
	⑤		0	0	0	0	0	0
	⑥		0	0	730	0	0	0
	⑦		0	0	53	0	0	0
	⑧		0	0	53	0	0	0
	⑨		0	47	140	0	0	0
クロピク区	①	1,660	n.t.	n.t.	n.t.	0	0	0
	②		n.t.	n.t.	n.t.	0	0	0
	③		n.t.	n.t.	n.t.	0	0	0
	④		n.t.	n.t.	n.t.	0	0	0
	⑤		n.t.	n.t.	n.t.	0	0	0
無処理区	①	1,320	n.t.	n.t.	n.t.	330	107	13
	②		n.t.	n.t.	n.t.	473	133	0
	③		n.t.	n.t.	n.t.	600	1,870	0
	④		n.t.	n.t.	n.t.	640	1,140	300
	⑤		n.t.	n.t.	n.t.	33	0	0

注) 単位: cfu/生土1g、n.t.: サンプルングなし

2cm: 0~2cmまでの土壌 10cm: 7.5~12.5cmの土壌 20cm: 17.5~22.5cmまでの土壌

表16 実験4における粗収量

	粗収量(kg/10a)
エタノール処理区	1678
クロルピクリン処理区	1722
無処理区	809

表17 実験5における処理後の土壤中エタノール濃度と各有機酸濃度

処理後 日数	深さ	エタノール (vol%)	リン酸	ギ酸	酢酸 (mg/L)	フピオン酸	酪酸
1日後	2cm	0.83	8.9	0.00	33	0	0
	10cm	0.83	7.6	0.00	24	0	0
	20cm	0.84	6.6	0.00	25	0	0
7日後	2cm	0.54	2.4	0.00	1127	20	157
	10cm	0.47	0.0	0.00	2189	49	1190
	20cm	0.49	0.0	0.00	1625	39	1306
14日後	2cm	0.00	0.0	4.01	807	534	1186
	10cm	0.00	0.0	4.33	1405	1051	2990
	20cm	0.00	0.0	2.43	700	1314	3405
21日後	2cm	0.00	0.0	0.00	15	276	168
	10cm	0.00	0.0	0.00	32	0	206
	20cm	0.00	0.0	0.00	140	52	107
Cont		0.88	0.0	0.00	21	0	0

20cm までのエタノール濃度はほとんど低下しなかったが、表層 25cm の最深層部では 0.4～0.7% に低下した。一方、0.5% 溶液 100 L/m² を 2 回処理した場合は、表層から最深層部まで濃度は一定であった。また、エタノール原液を処理して水で浸透させた場合、表層 5cm から 10cm まではエタノール濃度がほぼ検出限界値以下となり、下層部ほど濃度が高くなった（表 12）。水平方向のエタノール溶液の浸透では点滴かん水チューブを用いて 100 L/m² 処理した場合でもチューブから 15cm の位置のエタノール濃度は著しく低かった（表 13）。

以上、実験 3 では実験 2 で考えられた処理の不均一化は土壤中の水分がエタノール処理液により「移流」を起こしながら押し出され、同時に「拡散」するため、深層部が低濃度になると考えられた。また、実験 3 では水平方向の浸透が十分でなかった。これは一般的に低いとされる、水移動のマトリクスポテンシャル（土粒子間の移動エネルギー）が要因で水平移動が十分に起こらなかったと考えられた。これらのことより処理液は均一かつ十分な量を処理する必要があると考えられた。

実験 4 実用規模での適用実験（2010）

実験 3 をふまえた適用実験を行ったところエタノール濃度は、処理 1 日後に調査した 9 地点の全てにおいて 20cm の深さまで 1% 程度が検出され下層土までの浸透が確認された。また、処理 7 日後には、平均 2000ppm の酢酸、酪酸が検出され、還元による影響も確認された（表 14）。なお、処理期間の平均地温は深さ 20cm でもほぼ 40℃ に達しており、積算温度は 10000℃ 以上となり十分な地温が確保されていた（データ省略）。

1 作目作付け前の土壤中 *Fusarium* 菌密度はエタノール区で 5400 cfu/生土 1g、クロルピクリン区は 1660cfu/生土 1g、無処理は 1320cfu/生土 1g（表層 10cm）で、エタノール区の処理 7 日後（エタノール 1%、130L 注入処理日から）の菌密度は、2cm までの深さでは②を除き 0cfu/生土 1g となり、10cm では

③、⑨で菌が検出され、20cm では④、⑤のみ 0cfu/生土 1g となった。処理 14 日後には、エタノール区、クロルピクリン区ともに *Fusarium* 菌は検出されなかった（表 15）。

収穫時の条別被害度はエタノール区でハウスサイド付近を中心に被害度 10 以上が散見された。クロルピクリン区では被害度 10 以上が 1カ所と少ないものの被害度 10 以下については所々確認された。無処理区では被害度 50 以上が調査地点の半分以上を占めた（図 7、8、9）。

粗収量はエタノール処理区が 1678kg/10a、クロルピクリン区が 1722kg/10a で無処理区が 809kg/10a となった（表 16）。

以上、実験 4 では実験 3 を踏まえ処理液の散布方法を点滴かん水チューブからミストかん水チューブに変更し、処理量も 100L/m² から 130L/m² に増加させたことで効果が安定し、改善が見られた。

実験 5 実用規模での連作下での持続性実験（2011）

エタノール濃度は液肥混入機を通過直後のエタノール処理液は 0.88% で、処理 1 日後の土壤中エタノール濃度は 0.84% とやや低いもののほぼ同等の濃度となった。処理 7 日後ではエタノール濃度は半減し、14 日後では検出限界となった。有機酸の生成は 14 日後が最も多く、21 日後では減少していた（表 17）。また、実験 4 の処理期間の平均地温は 20cm でも約 40℃ に達していたが、実験 5 では 1cm のごく浅い深さで 36.5℃、20cm で 33.3℃ と実験 4 と比較して低かった（データ省略）。1 作目作付け前の土壤中 *Fusarium* 菌密度はエタノール区で 1386cfu/生土 1g、クロルピクリン区は 5363cfu/生土 1g、無処理は 1066cfu/生土 1g（表層 10cm）で、エタノール処理 7 日後の時点では 9 地点中 6 地点で生存菌が確認されたが、処理 14 日後にはいずれの地点からも検出されなかった（表 18）。

表18 実験5における土壤中Fusarium菌密度

試験区	地点	処理前	処理後7日後			処理後14日後		
			2cm	10cm	20cm	2cm	10cm	20cm
エタノール区	①		0	0	0	0	0	0
	②		0	0	0	0	0	0
	③		0	0	0	0	0	0
	④		160	160	552	0	0	0
	⑤	1,386	0	0	1,320	0	0	0
	⑥		0	0	863	0	0	0
	⑦		123	123	16	0	0	0
	⑧		0	0	344	0	0	0
	⑨		23	26	16	0	0	0
クロピク区	①		0	0	0	0	0	0
	②		0	0	0	0	0	0
	③	5,363	0	0	0	0	0	0
	④		0	0	0	0	0	0
	⑤		0	0	0	0	8	0
無処理区	①		606	606	38	1,703	1,528	108
	②		2,065	2,065	547	1,491	2,916	172
	③	1,066	1,849	1,849	79	1,036	1,296	47
	④		6,023	6,023	132	2,145	2,263	259
	⑤		5,284	5,284	117	1,233	1,683	2,739

注) 単位: cfu/乾土lg, n.t.: サンプルング無し

2cm: 0~2cmまでの土壌 10cm: 7.5~12.5cmの土壌 20cm: 17.5~22.5cmまでの土壌

表19 実験5における各区の被害度

	消毒後		
	1作目	2作目	3作目
無処理区	82.0	85.9	71.9
エタノール処理区	9.4	31.3	25.4
クロピクリン処理区	1.5	15.3	21.1

表20 実験5における粗収量

	消毒後			
	1作目	2作目	3作目	合計
エタノール処理区	1365	2130	1463	4958
クロピクリン区	1628	2460	842	4930

表21 実験5における品種別被害度

	1作目	2作目
	サマートップ	8.3
ミラージュ(選抜品種)	9.3	27.3

播種条	1m	3m	5m	7m	9m	11m	13m	15m	17m	19m	21m
	1		14	43	40	19	11	25	33	18	
2											
3		21	22	25	8	28	36	29	11		
4											
5		6	39	28	13	13	25	16	18		
6											
7		22	63	19	23	47	13	36	11		
8											
9		30	25	21	25	43	56	31	14		
10											
11		35	30	25	44	16	20	15	14		
12											
13		31	13	6	43	43	28	22	13		
14											
15		75	25	36	63	32	38	21	16		
16											
17											
18		30	19	42	6	19	45	19	11		
19											
20		18	31	7	14	25	38	7	41		
21											
22		33	46	47	13	29	29	13	50		
23											
24		4	44	6	21	42	61	25	31		
25											
26		29	45	10	8	19	39	43	28		
27											
28		4	38	17	25	25	33	46	28		
29											
30		22	46	0	13	19	44	17	14		
31											
32		8	13	4	25	6	14	16	19		

図10 実験5における土壌消毒後3作目の条別被害度(エタノール処理区)

収穫時のエタノール区全体の被害度は処理後1、2、20)

3作目それぞれ9.4、31.3、25.4となり、クロピクリン区では1.5、15.3、21.1とややクロピクリン区より被害度が高かった(表19)。

収穫時の条別被害度は実験4でエタノール処理区でハウスサイド付近を中心に被害度10以上が見られたが、実験5ではハウスサイドに被害が多い傾向にはなかった(図10)。

粗収量はエタノール処理区が処理後1、2、3作目それぞれ1365、2130、1463kg/10aで、合計4958kg/10aとなった。クロピクリン区では1、2、3作目それぞれ1628、2460、842kg/10aで合計で4930kg/10a(表

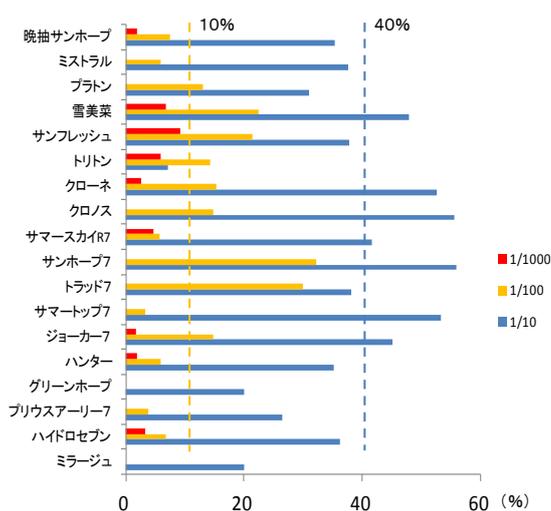


図11 実験6における耐病性品種選抜

以上、実験5では消毒後3作までは被害程度はややエタノール処理区で高いものの作期通じての収量性ではクロピクリン処理と同等の結果となったことより、十分な処理が行われれば化学農薬による処理と大差ないと考えられた。

実験6：土壌病害抵抗性品種の選定

1次選抜の結果、各汚染土壌(比率1/10、1/100、1/1000)で発病率が低かった(1/10は発病率40%以下、1/100は10%以下、1/1000は発病無しとした)のは「ミストラル」、「グリーンホープ」、「プリ

ウスアーリー7」「ミラージュ」であった。（図11）。この品種のうち「ミラージュ」を圃場で栽培した結果、「サマートップ7」に対し、「ミラージュ」は被害度が同程度かやや高い傾向となった（表21）。

た直接の殺菌物質である二価鉄の生成を（門馬らが未発表）ジピリジル反応などで確認する必要があると考えられた。しかしながら本実験では細粒灰色低地土による実験結果で各土壌に適した施用量が必要と考えられた。

総合考察

実験1では基礎的な特性や問題点を明確にするため、いくつかの小試験区により実験を行った。この実験では無処理の被害度約80と比較し、低濃度エタノール処理により被害度が15～40に低減する一方、エタノール処理区の処理方法による差がなく、小規模の試験区では安定性に問題があることも明確となった。また、副次的な現象として除草効果がある程度期待されること、ホースによる急激な処理液散布は土壌硬度を高めてしまうことなども明らかとなった。

これらを踏まえ、実験2では中規模の試験区に変更し、処理方法も点滴かん水チューブを用い実験を行った。しかしながらエタノール処理区のハウスサイドなどに14日の処理期間を経ても、*Fusarium*菌が検出されるなど場所による不安定さが残り、処理の不均一化の原因究明が課題となった。

実験3では実験2で起こった不均一化の原因を検討した。その結果、土壌中水分の「移流」と「拡散」による深層部の処理水濃度の希釈と水平方向の浸透性の低さが問題であることが明らかとなった。これらを踏まえ実験4では処理水を130L/m²とし、処理方法もミストかん水チューブに変更した。結果はクロルピクリンと同等の被害度、収量性となった。しかしながら1作のみの結果となっており、現地の慣行栽培同様に連作による持続性の評価が求められた。このため実験5を行ったところ土壌消毒処理後3作までの間は被害度がややエタノール処理区で高かったものの作期の合計収量はクロルピクリン処理と同等となった。

以上の各実験の結果より、飛騨地域における簡易雨よけハウスでの夏ホウレンソウ栽培において低濃度エタノールによる還元消毒を実施する場合は環境整備として全体の地温上昇³⁾のための二重被覆やハウスサイドの水まぐらの設置を行うこと⁴⁾、均一な散布のためのミストかん水チューブの設置が必要と考えられた。また、足跡などにより被覆材との間に空間ができることで還元を妨げる可能性があるため、鎮圧を行うとより良いと考えられた。

低濃度エタノールの処理条件は1%程度の低濃度エタノールを用い、130L/m²程度の十分な処理液を施用する必要があると考えられた。また、施用後は被覆期間を十分設けるとともに、門馬らが明らかとし

摘要

飛騨地域における簡易雨よけハウスでの夏ホウレンソウ栽培において低濃度エタノールによる還元消毒を試みた。濃度、散布方法、散布量、圃場環境等の検討を行った結果、圃場環境として全体の地温上昇対策、均一な散布のためのミストかん水チューブの設置が必要と考えられた。低濃度エタノールの処理条件は1%程度の低濃度エタノールを用い、130L/m²程度の十分な処理液を施用する必要があると考えられた。

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(3) : 352-353.
- 2) 小原裕三（2007）：環境への負荷がより小さい低濃度エタノールを用いた低コストの新規土壌消毒法の開発. 農環研プレスリリース
- 3) 新村昭憲（2002）：還元消毒法の原理と効果. 土壌伝染病談話会レポート, 22 : 2-12
- 4) 三木静恵、池田健太郎（2008）：還元土壌消毒法および天敵利用による病害虫防除における現地適応技術の開発・検証, 関東病虫研報 55 : 15-18