

土壌還元消毒－防除効果と経済性の評価－

道立中央農試

新村昭憲

shinmura@agri.pref.hokkaido.jp

土壌伝染性病害の対策に関しては、臭化メチルが基本的に使用禁止になったことから、近年代替技術の開発が各地の研究機関で行われてきた。土壌還元消毒は偶然同じ時期に開発されてため注目された技術だが、「薬剤以外の方法で、北海道においても効果が高く、安価に行える土壌消毒」を生産者が求めていたのが開発のきっかけである。この方法は、現場の要望に応える技術という点ではEBCの考え方に沿ったものであり、有効な防除手段の一つとなった。しかし、すべての消毒が還元消毒に替わるわけではなく、消毒以外の対策も多く残されている。また、後述するアンケート調査では効果がなかった事例も認められている。土壌病害の対策は、空気伝染性の病害のように防除薬剤は多くはないが、品種、台木、土壌消毒、栽培管理、緑肥、各種資材など多くの手段があり、それらの組み合わせも考えられる。また、地域、土壌条件、作物、病害ごとにどのような対策を行うかは、私自身、経験的にはイメージは浮かぶが、科学的な根拠に基づいて提案するにはまだまだデータが少ない状況である。

このような現状をふまえ、北海道における施設栽培での土壌病害対策の現状、各種土壌消毒の問題点、還元消毒の経済的評価について述べたい。

1. 北海道における各種土壌病害対策とその効果

北海道の施設栽培における土壌病害の対策は、ホウレンソウやイチゴの *Fusarium*、*Verticillium* 病の防除にダズメット剤を利用することがこれまで多かった。現在でもダズメット剤の利用が最も多いが、最近では還元消毒の利用が増加しており、道立花野菜技術センターの調査では平成15年度に土壌消毒全体の5.3%の比率であった還元消毒が平成17年度には13.3%に、逆に薬剤消毒の割合は82.4%から66.6%に低下している。これは薬剤消毒の面積は大きな変化が無い場合、還元消毒をはじめ、薬剤以外の消毒面積が増加していることを示している(表1)。

表1 平成17年度の作物別処理面積(道立花・野菜技術センター)

処理直前の 作物	処理面積 (m ²)						構成比 (%)
	還元消毒	太陽熱消毒	蒸気消毒	熱水消毒	薬剤消毒	総計	
ホウレンソウ	7717	4320	7159	10032	289058	318286	28.5
イチゴ	18745	25400	-	-	151021	195166	17.5
トマト	36263	-	49466	4290	23000	113019	10.1
ナス	54699	-	13950	5320	1017	74986	6.7
キュウリ	660	-	-	-	35438	36098	3.2
その他野菜	-	-	-	-	34660	34660	3.1
アスパラ	22150	-	-	-	8090	30240	2.7
ミズナ	7236	-	-	-	-	7236	0.6
野菜小計	147470	29720	70575	19642	542283	809690	72.5
カーネーション	-	-	4442	17500	133182	155124	13.9
トルコギキョウ	1485	-	2500	9552	49487	63024	5.6
ユリ	-	-	31900	-	-	31900	2.9
デルフィニウム	-	-	19900	-	-	19900	1.8
サンダーソニア	-	-	16375	-	-	16375	1.5
ストック	-	-	-	-	16250	16250	1.5
キク	-	-	-	-	2000	2000	0.2
その他花き	-	-	1500	-	-	1500	0.1
フリジア	-	-	-	-	990	990	0.1
花小計	1485	0	76617	27052	201909	307063	27.5
合計	148955	29720	147192	46694	744192	1116753	100.0
構成比 (%)	13	3	13	4	67	100	

還元消毒に限っても6~7%は効果がないこととなり、比較的多くの事例で消毒に失敗していることがわかる。土壌消毒の場合は一発勝負的な要素があるため、失敗しないことが防除対策上重要で、失敗を防ぐには消毒の原理をしっかりと生産者に伝える必要がある。

2. 還元消毒を失敗しないために

表2 各種土壌消毒の効果

土壌消毒を成功させるにはある程度の技術と、知識、自分の土地を理解していることが必要であり、更に蒸気消毒や熱水消毒ではボイラーの性能にも左右される。これらのことは散布による防除とはやや異なる部分であり、一度は適切な指導を受けることが重要である。土壌還元消毒は太陽熱消毒の考え方を一步進めた消毒方法であり、低温での消毒効果に優

平成15年	還元消毒 比率 (%)	太陽熱消毒 比率 (%)	蒸気消毒 比率 (%)	熱水消毒 比率 (%)	薬剤消毒 比率 (%)
効果					
高い効果あり	51.7	89.1	12.3	62.0	76.9
効果あり	41.8	6.8	87.7	38.0	22.9
効果なし	6.5	4.1	0.1	0.1	0.1
逆効果	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
合計	100	100	100	100	100

平成17年	還元消毒 比率 (%)	太陽熱消毒 比率 (%)	蒸気・熱水 比率 (%)	薬剤消毒 比率 (%)
効果				
高い効果あり	54.1	0.0	0.0	18.6
効果あり	32.6	24.5	81.0	6.5
効果なし	4.4	0.0	15.2	0.0
逆効果	1.7	0.0	3.8	0.0
不明	7.3	75.5	0.0	74.9
合計	100	100	100	100

れている。還元消毒を行うメリットとしては、特別な危機が不要（ボイラーなど）、2人いれば作業は可能、農薬を使わない（有機栽培あるいは減農薬栽培に利用できる）、効果が高い等のことが挙げられる。また、経済性の面でも、必要な経費はフスマあるいは米ぬかの購入費用程度であるため、資材費は薬剤消毒と同等または地域によっては安くなる場合もある。

一方、熱を利用する消毒法の中では最も低温で消毒を行い、湛水せずに土壌を還元状態にするため、ほ場条件や保水のための工夫が必要である。還元消毒の消毒方法は、①消毒を必要とする土層まで土壌とフスマあるいは米ぬかを混和する。②一度湛水状態になるまで十分に灌水を行う。③土壌表面を透明なフィルムで覆い、水分の蒸散を防ぎ、ハウスを締め切り地温を上昇させる。以上が消毒のための作業である。この中で土壌が乾燥する部分を作らないこと、ハウスサイドは地温が低く、効果が劣りやすいため、ハウスサイドを考えた温度管理を行うことが重要である。

実際に耕起した後に灌水チューブを設置、ビニールを被覆し、還元消毒を行った（図1）。この場合、ほ場に凹凸がある状態で消毒を開始することとなったが、結果は、ハウスサイドと中心部で約2℃の地温の差があったこと、土壌が盛り上がり乾燥した部分ができたため、ハウスサイドと乾燥した部分の消毒効果は不良であった（図2）。このような結果は実際の現場ほ場でも認められており、土壌病害の対策を行う場合、些細なことが失敗の原因となるため対策の種類を選択すると同様に失敗しないための知識や経験も重要である。

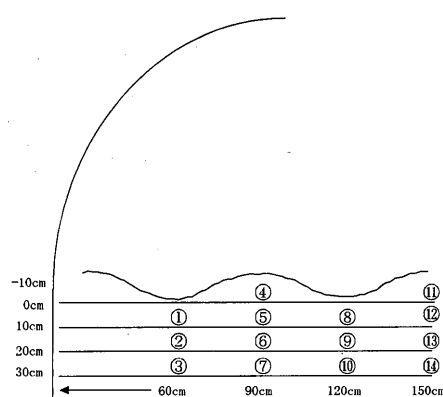


図1 ハウス内の土壌採取地点

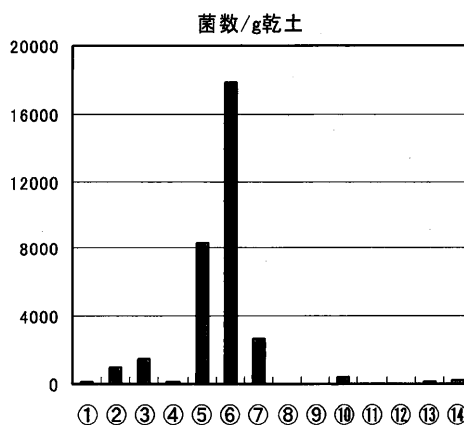


図2 消毒後の Fusarium 菌数

3. 土壌病害における適切な防除対策

土壌病害の防除は、一般的な施設栽培の生産者では病害が発生した時点で対策を考えるのが普通であろう。従って病原菌密度もある程度高くなっている状態で防除を開始するため、特に発生がひどくなってからでは効果が上がりにくい。また、発生対応型の防除は不可能であり、予め発生を予想して防除対策を行うこととなる。そのため、どのような対策を行うかは、あらかじめ評価しておく必要がある。

対策を評価するにはそれぞれの消毒法の他に抵抗性品種や台木、地温の抑制など耕種的防除の効果、生産者の間で比較利用されていることの多い各種資材も評価する必要がある。しかし資材や有機物施用の効果は見えにくく評価が難しい場合が多い。また、土壌消毒においても消毒直後の効果は明確だが、効果の持続性は比較する土壌条件が一定でないこと、管理条件が一定でないこともあり、十分判断できない場合も多い。そこで、対策を行った効果、生育はどうなったか、どの程度の期間効果があつたかアンケート調査を行った。

アンケートの結果、ハウレンソウでは萎凋病の41の事例が集まり(表3)、輪作では2年のニラ栽培で効果が認められているが、1年のピーマン栽培では効果が認められていない。還元消毒に関しては2年以上効果のある事例もあり、適切な消毒ができれば、長期の効果が期待できる。1年効果がある事例は2年目以降の栽培がないため効果の持続性は不明であるが、薬剤消毒についてはすべて毎年消毒が行われており、毎年の消毒が必要であるとの認識があると考えられる。

表3 ハウレンソウ萎凋病における各種防除効果

	効果あり		不十分	効果なし
	2年以上	1年		
交互作(2作ニラ)	1	0	0	0
交互作(2作トマト)	0	0	1	0
交互作(1作ピーマン)	0	0	0	2
還元消毒	7	4	2	0
蒸気消毒	0	3	1	2
熱水消毒	0	1	0	0
クロルピクリン	0	4	0	1
ダゾメット	0	7	0	0
堆肥	0	0	0	3
対策なし	0	0	0	2

1年効果ありでは、2年以上の栽培歴が無いものも含む

表4 ネギ根腐萎凋病における各種防除効果

	効果あり		不十分	効果なし
	2年以上	1年		
還元消毒	8	0	2	0
蒸気消毒	11	6	0	0
ダゾメット	0	0	1	0

1年効果ありでは、2年以上の栽培歴が無いものも含む

表5 イチゴ疫病における各種防除効果

	効果あり		不十分	効果なし
	2年以上	1年		
還元消毒	3	5	0	0
太陽熱+地中加温	0	2	0	0
ダゾメット	1	0	1	0

1年効果ありでは、2年以上の栽培歴が無いものも含む

ネギ根腐萎凋病の事例では、還元消毒で3年、蒸気消毒で消毒後2年目まで効果が認められた事例がある一方、還元消毒では効果が不十分な事例も認められている。また、イチゴ疫病では還元消毒で2年目まで効果が認められており、十分利用価値の高い消毒法と言える。このように土壌還元消毒は各種土壌病害に効果が高く、消毒後も比較的長期にわたり効果を発揮すると考えられるが、効果が不十分な事例も少なからず存在することから、今後は過度に排水の良好なほ場で効果を安定させる技術、低温で十分な効果を発揮する技術など失敗しやすい条件で効果を安定させる技術開発が必要である。また、この他にアンケートの回答に微生物資材などの利用もあつたが、有効な事例は認められなかった。

土壌消毒に関する生産者のニーズは効果の高さ、安定性は最も重要であるが、加えて効果の持続性も求められている。そのための手段として消毒後の土壌の管理技術もこれからは重要になると考えられる。還元消毒に限らず消毒後の土壌の生物性は大きく変化している。そのため、僅かに残った病原菌の増殖を出来るだけ抑制する技術が求められている。すでに各地の試験場などで拮抗微生物の利用や堆肥の施用、微生物の多様性との関連などの検討がなされているが、必要なものは生産者がすぐに利用でき、汎用性の高い技術である。土壌中の微生物を管理することはきわめて難しく時間のかかることであるが、消毒後の土壌では比較的可能性が高いと思われる。未発生地では土壌病害は進入してから発病するまで比較的時間がかかるが、消毒後の土壌をそのような土壌に作り上げる方法を見つけることが期待される。

4. 土壌還元消毒の経済的評価

各種土壌消毒における経費を各普及センターの協力で試算した例を表6に示した。ここでは北海道で最も普及しており、手軽に行えるダゾメット剤を基準として比較したが、実際の現場における経費を試算するとダゾメット剤では10a当たり約3万円の経費が必要であったが、クロールピクリンでダゾメットの2倍弱、クロピクフローで3倍弱であった。一方薬剤以外の消毒方法では熱水消毒で7倍強の経費が必要であった。この金額は現地の事例を基に試算した結果であるため、機種や資材の違いで変動すると考えられるが、ボイラーを用いた消毒では、機材の費用と燃料代が高くつくため、他の消毒よりも高額となった。私の経験では、北海道では水温が低く、本州以南の地域よりもより燃料費が高くなることが多いと思われる。

還元消毒についてはダゾメットの2倍程度の経費が必要となっているが、その原因は灌水に時間がかかるため労賃が高くなっていることにある。灌水の時間はポンプの管理以外はそれほど労力を必要としないため（ボイラーを稼働させないため安全性にも大きな問題はない）、人件費はもう少し下がると考えられる。また、フスマで計算しているが、米ぬかを用いると資材費も低下するため、ダゾメットと大きな差はない。

次に、平成15年に土壌病害（青枯病）が発生した10年連作しているトマト農家の事例を道立中央農試の白井、中後志地区農業改良普及センターの松澤らが経営の面から評価している。その結果、8年目の1ハウス（300m²）あたりの収入と、病害が発生した場合の損失、16年（9年目）に還元消毒を行った後の収入計算すると表8のようになる。病害の発見した年は平成15年（8年目）であり、その年の場合の病害による損失はわずかであり、額も15,960円/300m²にすぎなかった（表7）。一般に、病害の発生による減収額が防除経費と等しくなる被害水準を超えるような場合に防除を行うことが合理的な行動であるとされてきた。すなわち、以下の式に基づき、防除の有無を判断することになる。

$$D(\text{減収率}) > C(\text{防除費用}) / (P(\text{単価}) \times Y(\text{収量}))$$

これを土壌還元消毒法で考えてみると、減収額が防除経費と等しくなる減収率は5.6%であった（46,920円（C）/（280円/kg（P）×3,000kg（Y））。M経営の場合、8年目の減収率が5.6%以下なので、土壌還元消毒を実施しない方が、消毒に要する費用が不要であることや栽培期間が短縮しないため、試算上は合理的と判断される。しかしながら、土壌消毒等の対策を施さなかったハウスでは、9年目に土壌病害が大発生し、減収率は92.5%になってしまった（表7）。その際、300m²当たりの損失額は777,000円にまで至った。土壌病害の場合、発生してしまうと防除が不可能であること、発生初年度は多くても数%の発生程度で、翌年大発生することがしばしば見受けられることから発生の際の軽微なうちに対応することで還元消毒を用いても経済的な被害も軽減することが確認された。この事例は台木を利用せず還元消毒のみで防除を行った場合で、この後も毎年約12万円の経費が必要となる可能性が高い。しかし、北海道の成績では青枯病の場合は、台木と還元消毒の併用が推奨されている。そのため経費は多くなるが、効果は高く、2年程度の効果は期待できるため、この場合とやや異なる結果になる。何れにしても各作物、各病害に対する防除手段の組み合わせは十分検討されていないのが現状であり、最善の防除方法、合理的な防除法を明らかにするためにはさらに試験を積み重ねる必要がある。

表6 各種土壌消毒の経費試算（花・野菜技術センター）

消毒法	必要資材	規格・使用量	単価	資材費	労働時間	労賃	直接経費計	比
薬剤消毒	ダゾメット	30kg	6150円/10kg	18450	9.7	9700	31450	100
	周辺資材	灌水チューブ1200m	3300円/300m（年2回、2年使用）	3300				
	クロールピクリン	30L	15250円/30L	45750	2	2000	53750	171
	周辺資材	灌水機	利用料6000円/10a	6000				
	クロピクフロー	30L	29800/15L	59600	13.2	13200	85580	272
	周辺資材	灌水チューブ1200m	3300円/300m（年2回、2年使用）	3300				
熱水消毒	熱水消毒器	本体、周辺機器一式	38000円（耐用年数8年）	4750	36	36000	230000	731
	灯油	2200L	18920円（年2回、2年使用）	4730				
還元消毒	フスマ	1t	利用料40円/m ²	40000	26.7	26700	65250	207
	周辺資材	灌水チューブ1200m	705円/20kg	154000				
			3300円/300m（年2回、2年使用）	3300				

農業改良普及センターの調査資料より作成、労賃は1000円/時間、熱水消毒の利用料はグループでの導入例

表7 M経営における青枯病発生ハウスの収量

		7年目	8年目	9年目	10年目
収量	(kg/300㎡)	3,000	2,943	225	2,744
減収量	(kg/300㎡)	0	57	2,775	256
減収率	(%)	0	1.9	92.5	2.0*
被害額	(円/300㎡)	0	15,960	777,000	71,680

注1) 減収率は、7年目の収量を基準にした。

注2) * : 10年目の減収率は、土壌病害由来の値。残りは栽培期間の短縮に伴う減収である。

注3) 被害額の試算は、280円/kg (3カ年平均値) を用いた。

表8 還元消毒の有無による損失額

	実際の 損失額	9年目に 消毒した場合
土壌消毒に要する費用	0	46,920
栽培期間の短縮等に伴う減収分	0	56,000
土壌病害発生に伴う減収分	777,000	15,680
損失額	777,000	118,600