

北海道畑作地帯の農産物加工場で発生する排出土 およびジャガイモでん粉粕の消毒

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 し 水 基 滋
農業研究本部 中央農業試験場

はじめに

収穫後の作物に付着している土壌は、集出荷の過程で洗浄などによって取り除かれる。この排出土は元来畑の作土であり、本来であれば農地に還元することが望ましい。しかし排出土には土壌伝染性の病原菌や線虫が混在している危険性があり、不用意に農地へ還元した場合、これらの汚染を拡大させることになる。このため、排出土の農地還元のためには病原菌や線虫を死滅させる必要がある。

また、作物の加工残渣についても、排出土と同様に病原菌が混在しているリスクが高いことから、その扱いについては同様の配慮が必要となる。

本稿では、北海道の大規模畑作地帯において農産物加工場から大量に排出されるテンサイの排出土とジャガイモのでん粉粕の消毒を目指した取り組みについて紹介する。

I 製糖工場排出土

収穫したテンサイの根部に付着している土壌は、貯蔵場所で振動などを利用して分離され、さらに製糖過程で洗浄により取り除かれる。前者は遊離土、後者を洗浄土と呼び、両者を合わせた排出土の量は北海道全体で年間数万 t に及ぶ。

大量の土壌を消毒する場合には、熱を利用した消毒が合理的であるが、熱消毒はボイラーなどで発生させた熱で加熱する方法と堆肥化のように発酵熱を利用する方法とに大別され、前者は一般に高温、短時間の処理に適する。一方、後者は自然発酵熱のため比較的低温ではあるが長期間の持続的な加熱が期待できるもので、大量の土壌を処理するにはこの堆肥化に伴う発酵熱の利用が適している。

1 病原菌の致死温度

熱処理によって殺菌を行う場合、対象となる病原菌や線虫の致死温度を把握することが重要であるが、通常の堆肥化熱では 80℃ 以上の高温を得ることは難しいことから、40～70℃ 程度の温度が長期間にわたり作用した

場合の殺菌効果を知る必要がある。

北海道の畑作地帯で問題となる *Pythium* spp., *Aphanomyces* spp., *Fusarium* spp., *Rhizoctonia solani*, *Verticillium dahliae* 等の主要な土壌病原菌は、50℃ (湿熱) でも 1～3 日以内で死滅する (北海道大学農学部, 1987; 竹原, 2004)。また、ジャガイモシストセンチュウ (*Globodera rostochiensis*) のシストに対しては 45℃ で 1 日間の湿熱処理により蔵卵シストは死滅し、40℃ でも 10 日で死滅する (清水ら, 1997)。

一方、テンサイそう根病の病原ウイルス (BNYVV) の媒介菌 *Polymyxa betae* (以下、そう根病菌) は、上記の病原菌や線虫に比較して致死温度が高く、45℃ で 7 日、50℃ で 5 日、60℃ でも 1 日の湿熱処理が必要 (阿部, 1987) であり、ジャガイモそうか病菌 (*Streptomyces scabies*, *S. turgidiscabies*) (以下、そうか病菌) は、60℃ で 5 日、65℃ で 3 日、70℃ でも 1 日以上が必要である (清水ら, 1996; 1997)。

さらに、ジャガイモ粉状そうか病菌 (*Spongopora subterranea*) (以下、粉状そうか病菌) の湿熱致死条件について罹病塊茎組織の粉砕物を用いて調べたところ、本菌を死滅させるためには 55℃ で 17 日、60℃ で 14 日、65℃ で 10 日、70℃ で 4 日以上処理が必要で、50℃ では 28 日後でも生存していた (清水, 2012)。一方、粉状そうか病菌の汚染土壌における湿熱死滅条件を検討した試験では 70℃ 1 日で死滅したという報告 (中山・堀田, 2006) もあることから、罹病組織と汚染土壌では死滅温度条件が異なる可能性もあるが、いずれにしても他の病原菌や線虫と比較すると、粉状そうか病菌を死滅させるためには高い温度と長い期間が必要となる。

2 堆肥化熱による消毒

筆者らは製糖工場からの排出土、余剰汚泥および廃糖蜜に澱粉工場から排出されるでん粉粕、麦稈および発酵鶏糞を混和シカマボコ型の山 (パイル) として堆積し、排出土やでん粉粕中に生存している病原菌および線虫の堆肥化熱による消毒を試みた。

コンポストパイルの各部位における温度は、表層では急激に温度上昇が進み、表層の中段より上部では 70℃ 近い温度が得られた (表-1)。しかし、パイル内部の温度上昇は緩慢であり、さらに底部中央ではほとんど温度

Disinfection of the Soil Separated from Crops and Potato Grounds
in Hokkaido. By Motoshige SHIMIZU

(キーワード: ジャガイモでん粉粕, 消毒, 排出土)

表-1 コンポストパイル内の部位別温度確保日数

温度測定部位	温度確保日数 ^{a)}						最高温度 (°C)
	40°C 未満	40 ~ 49.9°C	50 ~ 59.9°C	60 ~ 64.9°C	65 ~ 69.9°C	70 ~ 74.9°C	
表層上段	2	1	12	7			62.0
表層上段	2	13		7			63.2
表層中段	2		6	10	4		66.7
内部中段	7	7	8				52.8
底部中央	22						36.1
底部角	13	6	3				56.7

^{a)} 堆積開始から1回目の切り返しまでの期間における各温度帯の温度確保日数.

表-2 コンポストパイル内に埋設した汚染土壌からのテンサイそう根病菌, ジャガイモそうか病菌およびシストセンチュウの検出

汚染土壌 埋設位置 ^{a)}	テンサイそう根病 ^{b)}		ジャガイモそうか病 ^{c)}		ジャガイモシストセンチュウ	
	土壌 A	土壌 B	病いも率 (%)	発病度	ふ化遊出率 (%)	ふ化遊出虫数 ^{d)}
表層上段	—	—	0	0	0	0
表層上段	—	—	0	0	0	0
表層中段	—	—	0	0	0	0
内部中段	—	—	22.2	8.3	0	0
底部中央	—	—	16.7	4.2	0	0
底部角	—	—	16.7	8.3	0	0
無処理	+	+	41.7	12.5	76.9	1,136.1

^{a)} 各汚染土壌をコンポストパイルに埋設した位置を示す.

^{b)} 回収した汚染土壌で約2か月栽培したテンサイの細根のELISA検定結果.

^{c)} 回収した汚染土壌を接種したジャガイモ塊茎の発病状況.

^{d)} シスト20個当たり.

が上昇せず、最高温度は40~50°C前後であった。

次に、北海道の畑作地帯において特に未発生地域への拡散を防ぐ必要性が高いとされているそう根病菌、そうか病菌、およびジャガイモシストセンチュウについて、この堆肥化過程における死滅状況を調べた。すなわち、2重のテトロン布袋に詰めた各汚染土壌をパイル内の温度測定箇所埋設し、堆積後20日目の切り返し時に回収して病原菌または線虫の検出を行った。その結果、そう根病菌およびジャガイモシストセンチュウはいずれの埋設箇所からも検出されず死滅していた(表-2)。しかし、そうか病菌はパイル底部や裾角では死滅しておらず、通常のコンポスト処理では、本菌の殺菌は困難と考えられた(清水ら, 1998)。

このパイル内の温度むらを改善する手段として、パイルの底部に通風管を設置して空気を送り込む強制通風処理が有効であった。強制的な通風を行って発酵を促進することにより、無通風による通常のコンポスト処理では

温度上昇が鈍かったパイル中央底部も発酵が促進された。さらに5~7日間隔で吸・排気処理を切替えることにより、致死温度の高いそうか病菌も死滅させる高温を、パイル内のほぼ全部位で得ることが可能であった(表-3, 4)。ただ、混合物の含水率が高い場合には強制通風処理を行っても発酵が進まず、十分な温度が得られない事例もあった(表-5)。このため、堆肥化する混合物の含水率が高くなりすぎないように、麦稈などによる調整が必要である(清水ら, 1999)。

なお、この試験では、堆肥化熱による粉状そうか病菌の死滅状況は未検討であった。これは、粉状そうか病菌の検出技術が当時開発されていなかったことによる。しかし、その後明らかにされた本菌の致死温度に関する情報と照らし合わせてみると、通常の堆肥化熱では本菌を死滅させることは困難で、強制通風などの処理が必須と考えられる。

表-3 強制通風方式によるコンポストパイル内の部位別温度確保日数

温度測定部位	温度確保日数 ^{a)}							最高温度 (℃)
	40℃未満	40～49.9℃	50～59.9℃	60～64.9℃	65～69.9℃	70～74.9℃	75℃以上	
表層上段	2	4	19	11	4	8	13	80.9
表層中段	3	2	9	9	10	13	14	82.5
表層下段	1	7	11	17	7	12	3	77.6
内部中段	1	7	6	4	4	12	27	81.2
底部中央	6	6	9	4	8	9	19	82.8
底部角	24	7	3	2	2			68.3

^{a)} 堆積開始から強制通風処理終了までの期間における各温度帯の温度持続日数。

表-4 強制通風方式によるコンポストパイル内に埋設した汚染土壌からのテンサイそう根病菌、ジャガイモそうか病菌およびシストセンチュウの検出

汚染土壌埋設位置 ^{a)}	テンサイそう根病 ^{b)}		ジャガイモそうか病 ^{c)}		ジャガイモシストセンチュウ	
	土壌A	土壌B	病いも率 (%)	発病度	ふ化遊出率 (%)	ふ化遊出虫数 ^{d)}
表層上段	—	—	0	0	0	0
表層中段	—	—	0	0	0	0
表層下段	—	—	0	0	0	0
内部中段	—	—	0	0	0	0
底部中央	—	—	0	0	0	0
底部角	—	—	50.0	25.0	0	0
無処理	+	+	100	25.0	76.9	1,136.1

^{a)} 各汚染土壌をコンポストパイルに埋設した位置を示す。

^{b)} 回収した汚染土壌で約2か月栽培したテンサイの細根のELISA検定結果。

^{c)} 回収した汚染土壌を接種したジャガイモ塊茎の発病状況。

^{d)} シスト20個当たり。

表-5 強制通風方式によるコンポスト化の概要とそうか病菌致死温度日数の到達状況

試験年	処理日数	材料の混合割合 (%)							水分 ^{a)} (%)		ジャガイモそうか病菌致死条件到達箇所数 ^{b)}			
		洗浄土	遊離土	余剰汚泥	廃糖蜜	発酵鶏糞	でん粉粕	麦稈	処理前	処理後	60℃ < 7日間以上	65℃ < 5日間以上	70℃ < 1日間以上	合計
1992	60	43	35	7	1.5	1.5	9	3.2	39	31	14/15	13/15	14/15	14/15
1993	90	40	40	5	1.5	1.5	10	2.5	48	38	7/16	5/16	3/16	7/16
1994	30	64	17	7	2.0	—	7	4.0	37	28	14/15	14/15	14/15	14/15
1995	37	63	15	7	3.0	—	7	5.2	44	41	12/15	12/15	10/15	13/15

^{a)} 強制通風によるコンポスト化処理前および処理後の材料混合物の値。

^{b)} 分母はコンポストパイル内の温度測定箇所数、分子はそうか病菌の各致死温度・日数に達した箇所数を示す。

II ジャガイモのでん粉粕

ジャガイモのでん粉粕(以下、でん粉粕)の発生量は、道内で年間約10万t規模に及び、近年は輸入飼料の高騰傾向も相まって乳牛などの飼料としての需要が高まっている。

でん粉粕は加熱処理工程を経ずに排出されるため、そ

の中にはそうか病菌と粉状そうか病菌が多量に混在している。しかし、排出土の堆肥化試験でも明らかのように、堆肥材料の水分が高い場合は発酵が進みにくいため、水分含量が高い牛の糞尿を堆肥化処理によってそうか病菌や粉状そうか病菌の致死温度条件に到達させるのは困難である。

一方、でん粉粕を飼料として利用する場合には、サイ

レージ発酵や牛の消化作用で消毒効果が期待できることから、致死温度が高いそうか病菌と粉状そうか病菌の生残性に及ぼすサイレージ発酵や牛の消化作用の影響について検討がなされた。

1 ジャガイモそうか病菌

でん粉粕は密封貯蔵して乳酸発酵を進め、長期保存が可能なサイレージとして牛に給与される。そこで、サイレージ発酵過程におけるでん粉粕中のそうか病菌の動態について調べたところ、そうか病菌は貯蔵温度が高いほど速やかに生菌数が減少し、25、15、4℃でそれぞれ3、7、22日目に検出限界 (3×10^2 cfu/g) 以下となった(湊・清水, 2006)。また、無処理のでん粉粕を土壌に混和した場合のそうか病の病いも率は67.2%であったが、25℃で7日目、15℃で22日目、4℃で29日目以降のでん粉粕では発病が認められなかった(表-6; 図-1)。サイレージ発酵によって、でん粉粕中には乳酸と酢酸含量の増加が認められ、貯蔵温度が高いほど蓄積量も多くなり、

表-6 貯蔵温度・期間の異なるでん粉粕サイレージを混和した土壌におけるそうか病の発病状況

温度	日数	ジャガイモそうか病	
		病いも率 (%)	発病度
無処理	0	67.2	48.7
4℃	14	57.3	20.6
	29	0	0
15℃	7	2.4	0.6
	22	0	0
25℃	7	0	0
	22	0	0
加熱でん粉粕施用 ^{a)}		0	0
でん粉粕無施用		0	0

^{a)} 65℃ 3日間湿熱加熱処理。

これに伴い pH は速やかに低下して、サイレージ発酵開始時の pH5.2 が 29 日後には pH3.4 ~ 4.2 となった。これらのことから、サイレージ発酵に伴うそうか病菌の死滅には、有機酸による殺菌作用の関与も示唆された。

次に、牛の消化作用によるそうか病菌の生残性について検討した結果、本菌の胞子は、第一胃液 (pH6.36) で培養したでん粉粕中では培養期間中顕著な菌数変化は見られなかったが、十二指腸管内容液 (pH2.36) 中では3分で90%、5分で99%が死滅した(湊・清水, 2008)。病斑由来のそうか病菌も第一胃内容液中では減少しなかったが、十二指腸管内容液中では10分で1/10、30分で1/1000と短時間で指数関数的に減少した。また、そうか病菌を接種したふすまや、そうか病の罹病いもを採食した牛の糞便からはそうか病菌が検出されず、この糞便を原料とした堆肥を土壌に施用してジャガイモを栽培しても、そうか病の発病は認められなかった(表-7)。

これらのことから、でん粉粕に混在するそうか病菌は、サイレージ発酵過程および牛消化管内においてそれぞれ殺菌作用を受けるため、でん粉粕を給餌された牛の糞便に排泄される可能性は極めて低いものと推察された(湊・清水, 2013)。

2 ジャガイモ粉状そうか病菌

中山・村井(2012)は、ペール缶を用いてでん粉粕をサイレージ発酵させ、そこに埋め込んだ粉状そうか病菌接種でん粉粕を定期的に取り出して粉状そうか病菌の生存を調査した。その結果、サイレージ発酵補助剤の乳酸菌資材を添加し、加温されたガラス室内(平均気温14.6℃)において6か月以上(積算温度: 2,688.7℃)発酵させた接種でん粉粕からは粉状そうか病菌は検出されず、死滅したと考えられた。しかし、乳酸菌資材無添加または短い処理期間(3か月)や低い温度での処理(積算温度1,317.4℃以下)では死滅しなかった。このように、サイレージ発酵で粉状そうか病菌を死滅させるため



図-1 サイレージ処理でん粉粕を混和した土壌におけるそうか病の発病状況

A: サイレージ処理でん粉粕混和区 (25℃, 7日貯蔵)。

B: サイレージ無処理でん粉粕混和区。

表-7 そうか病菌給与牛の糞便を原料に作成した牛糞堆肥の施用とそうか病菌の発生

施用有機物	施用量 ^{c)} (t/10 a)	接種菌量 ^{d)} (cfu/堆肥 g)	反復数	そうか病	
				病いも率 (%)	発病度
牛糞堆肥 ^{a)}	5	—	5	0	0
接種牛糞堆肥 ^{b)}	5	1.07×10^2	1	1.3	0.3
接種牛糞堆肥	5	1.07×10^4	1	8.9	2.2
無処理	—	—	2	0	0

^{a)} 堆肥期間中の最高温度は24℃.

^{b)} 上記堆肥を65℃、3日間湿熱加温し、そうか病菌 (*S. turgidiscabies*) を接種したもの.

^{c)} 各有機物の土壌への施用量.

^{d)} 牛糞堆肥1g当たりの *S. turgidiscabies* の孢子接種量.

には、そうか病菌と比較すると、はるかに長期間の処理を要することが明らかにされた。

次に、牛の消化作用による粉状そうか病菌の生残性については、家畜の消化管を通過しても死滅しないことが PETHYBRIDGE (1911) により報告されている。また、筆者が行った試験によると、粉状そうか病菌の罹病組織の磨砕物を牛の十二指腸内容液に浸漬し、38℃で60分培養しても殺菌効果は認められなかったことから、牛の消化管を通過させても粉状そうか病菌に対する殺菌効果は期待できないと考えられる。

先にも述べたように、牛の排泄物に粉状そうか病菌が生残していた場合、それを堆肥化しても発酵温度が上昇しにくく、本菌の致死温度条件に到達させるのは困難である。このため、でん粉粕の飼料利用場面で粉状そうか病菌量を低下できる可能性があるのはサイレージ発酵過程のみと考えられる。しかし、現在明らかになっている死滅条件はハードルが高く、さらに実規模の適用に向けてはさらに種々の調整条件の検討が必要となる。

おわりに

製糖工場排出土については、畑地へ還元を目指して消毒法の検討が長年行われてきた。しかし、コストの面や実規模のコンポスト処理で完全な消毒効果が保証しきれないといった理由から、有効利用されていないのが現状である。現在、遊離土については、原料を工場に運搬してきたトラックで同一の生産者に戻すなど、工場内への蓄積量を極力減らす工夫がなされている。しかし、それでも排出される土壌は産業廃棄物などで処分されていると思われることから、有効利用のために、より低コストで効果的な消毒技術の開発が望まれる。

一方、でん粉粕については、牛の飼料として利用し、その排泄物を堆肥化して畑地へ還元する地域内耕畜連携

を目指して試験が進められた。その結果、そうか病菌についてはサイレージ発酵過程および牛消化管内における殺菌作用によって、牛の糞便に排泄される可能性は極めて低いことが明らかとなった。しかし、粉状そうか病菌については、上記の過程で死滅せず、また、牛糞堆肥の発酵過程においても本菌の致死条件の確保は難しいと考えられた。粉状そうか病菌は、それ自身がジャガイモの病原菌であるだけでなく、ジャガイモ塊茎褐色輪紋病の原因ウイルス（ジャガイモモップトップウイルス、PMTV）を媒介する。塊茎褐色輪紋病は我が国2例目の発生が2005年に北海道で確認されたが、本病が道内にまん延定着すれば生食・加工用ジャガイモに致命的な被害を与えるため、粉状そうか病菌の拡散防止対策はその重要性がさらに増している。現在、粉状そうか病菌に対する実用的な殺菌方法が確立されていないことから、北海道ではでん粉粕を給餌した家畜の排泄物はジャガイモを栽培しない草地などへ還元するよう指導されている。しかし、草地への還元にも限度があり、良好な耕畜連携を推進するため、今後、粉状そうか病菌の効率的な殺菌法の開発が必要である。

引用文献

- 1) 阿部秀夫 (1987): 北海道立農試報告 60: 1~99.
- 2) 北海道大学農学部 (1987): 根菜類遊離土砂の簡易式堆肥化による殺菌, 昭和61年度科学研究費補助金 (一般研究B) 研究成果報告書: 1~67.
- 3) 湊 啓子・清水基滋 (2006): 日草誌 52別1号: 378~379 (講要).
- 4) _____ (2008): 同上 54別号: 384~385 (講要).
- 5) _____ (2013): 投稿中.
- 6) 中山尊登・堀田光生 (2006): 日植病報 72: 86~87 (講要).
- 7) _____・村井 勝 (2012): 北日本病害虫研報 63: 46~51.
- 8) PETHYBRIDGE, G. H. (1911): Investigation on Potato Disease. J. Dep. Agric. Tech. Inst., Ireland 11: 417~419.
- 9) 清水基滋ら (1996): 北海道立農試集報 71: 17~25.
- 10) _____ら (1997): 北農 64: 402~406.
- 11) _____ら (1998): 同上 65: 358~365.
- 12) _____ら (1999): 同上 66: 372~381.
- 13) _____ (2012): 北日本病害虫研報 63: 42~45.
- 14) 竹原利明 (2004): 土壌伝染病談話会レポート 22: 22~27.