

雑草種子の死滅効果をターゲット とした蒸気処理技術

国立研究開発法人
農業・食品産業技術総合研究機構
中央農業総合研究センター

西村 愛子

はじめに

近年、土地利用型農業では、既存の除草剤を基軸とした慣行的な除草体系では防除が困難な難防除雑草が問題となっている。ダイズ作における帰化アサガオ類などの広葉雑草（澁谷ら 2010）、ムギ作におけるネズミムギなどのイネ科雑草（浅井ら 2010）は、減収や作業性の低下、種子混入による品質低下を引き起こす重要な生産阻害要因となっている。現在のところ、これらの難防除雑草の防除に効果的な除草剤の選択肢が乏しく、その被害は現在でも拡大の一途をたどっている。この問題を解決するため、除草剤による化学的防除の他に、栽培規模や栽培方式に合わせた耕種的・物理的防除など適切な防除技術を組み合わせた総合的な雑草管理体系が必要とされている（Harker & O'Donovan 2013）。

雑草害を低減するためには、土壌中の埋土種子集団のサイズ縮小と低密度での維持管理が重要である（Swanton and Booth 2004; Gallandt 2006）。埋土種子集団のサイズや構造、土壌中の分布は、作付や耕起体系に強く影響を受ける。特に、耕起体系によって土壌中の種子の垂直分布は大きく異なり（Vasileiadis *et al.* 2007）、不耕起状況下では埋土種子数の6～8割が土壌表層に分布している（Torrensens *et al.* 2003; Kobayashi & Oyanagi 2005）。雑草の個体群動態へ寄与する雑草個体は、土壌表層からの新規加

入がほとんどで、土壌深度の深いところからの新規加入個体はわずかである（Benvenuti *et al.* 2001）。以上のことから、種子散布直後、不耕起状態における土壌表層種子の減少は、雑草害を大きく軽減させ、雑草防除においても効果的な技術の一つになると考えられる。

本稿では、難防除雑草の埋土種子の駆除技術の一つとして、蒸気を利用した技術開発を目的に、開発過程における雑草種子の死滅効果の検証結果を報告する（西村ら 2014）。

蒸気処理機とは

蒸気処理技術は、1960年代から農地の病虫害駆除を目的に利用されてきた土壌消毒技術の一つである（Gay *et al.* 2010a）。近年、蒸気処理の対象は、病虫害駆除にとどまらず、地上部の雑草に対する除草効果や土壌中の埋土種子の死滅にも注目が集まり、物理的雑草防除技術の一つとして既存の雑草防除技術と組み合わせることにより高い除草効果が報告されている（Samtani *et al.* 2011）。

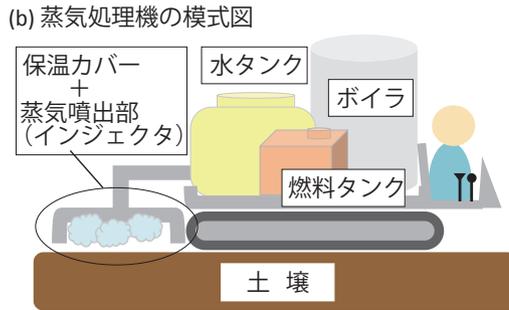
中央農業総合研究センターでは、土壌表層の雑草種子を物理的に死滅される手段として、蒸気処理技術の有効性に着目し、1964年に（株）丸文製作所（<http://www.marubun-s.co.jp/>）により開発された蒸気消毒機SBシリーズを原型とした機械技術開発を行ってきた。SBシリーズは、土壌消毒を目的とした固定式で、土壌深度深くまで高温の蒸気処理を可能にする

仕様である。これを土地利用型農業において、土壌表層の雑草種子を処理対象として利用する場合、広域処理を可能とする自走型への改良と、土壌表層への処理に特化した加熱装置が必要となる。本試験で用いた蒸気処理機は、SBシリーズを改良したボイラ「JJ-2.1型」（伝熱面 2.0 m²、ゲージ圧 0.4 MPa、相当蒸発量 200 kg/h、蒸気潜熱 450 MJ/h）と、300Lの水タンクおよび燃料タンクをクローラ型運搬車（NKCD1275-MB）に搭載した自走型である。ボイラで加熱した水蒸気を運搬車後部の鉄製保温カバー内の蒸気噴出部（インジェクタ）から噴出する仕様へ改良した（図-1）。本試験では、この自走型機を用いて土壌表層へ効果的な処理を可能にする保温カバーとインジェクタの装置の開発を行い、種子への死滅効果を検証した。

雑草種子への死滅効果

(1) 試験方法

本試験では、ダイズ作における難防除雑草のマメアサガオ（*Ipomoea lacunosa* L.）、ムギ作雑草のネズミムギ（*Lolium multiflorum* Lam.）、および代表的な畑雑草であるハルタデ（*Persicaria vulgaris* Webb et Moq.）の3草種を供試した。種子は、中央農業総合研究センターの野外圃場において栽培し、採取後低温（5℃）乾燥条件で保存したものを使用した。種子は、各種50粒をポリエステル製不織



(c) 蒸気処理装置の構造模式図
保温カバー+蒸気噴出部（インジェクタ）の形状

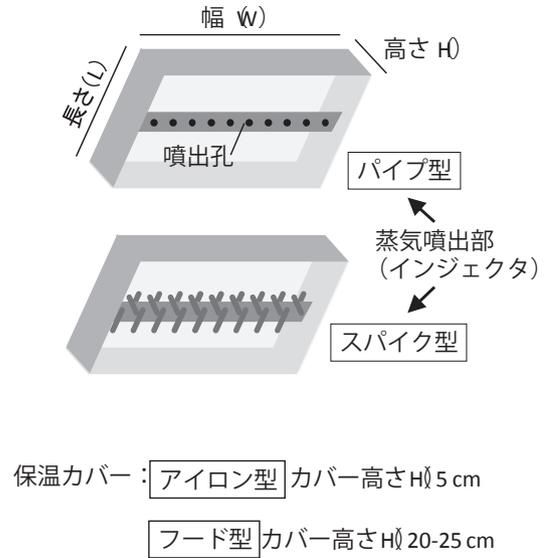


図-1 蒸気処理機の概要

袋に封入し、各5反復を蒸気処理機走行路下に設置し、0.7 km/hの速度で蒸気処理を行った。処理後、回収した種子は、マメアサガオとハルタデは30 / 20°C 12時間の明暗条件、ネズミムギは20 / 15°C 12時間の明暗条件で恒温器内においてシャーレ内に置床し発芽試験を行った。2週間後の発芽数・未発芽生存数・死亡数を計測し、処理時の土壌表面温度とともに、蒸気による種子の死滅効果を検証した。

(2) 装置の開発過程にともなう種子死滅効果

保温カバーは、平面型の鉄板を土壌表面へ直接押し当てるアイロン型と、蒸気噴出部（インジェクタ）を立体的に覆うフード型の2タイプを開発した（図-1）。「表-1」に示すフード1～3は、仕切りのゴム板の枚数（0、2もしくは3枚）の違いにより内部構造が異なる。またフード4は植物残渣の引きずりを防止するため、フー

ド3の鉄板側面の形状を改良したものである。インジェクタ部は、多孔パイプから土壌表面へ蒸気を噴出するパイプ型と、長さ5 cmのスパイクを土壌中へ差し込みながら蒸気を噴出するスパイク型の2タイプを開発した（図-1）。試験は、これらの組み合わせから形状の異なる5タイプの装置を用いて蒸気処理を行った（表-1）。

いずれの装置においても土壌表面が60～95°Cの高温度に達し、フード型×パイプ型の組み合わせで95.0°C

表-1 蒸気処理機の形状タイプ概要と処理時の温度

試験年月日	装置形状タイプ (記号)	保温カバー および インジェクタ	保温カバー 外形サイズ (cm) *1	保温カバー内部仕様 *2		通過時間 *3 (秒)	各土壌深度における 処理時最高温度 (°C)			温度持続時間 (秒) (地表面温度)		
				有効サイズ (cm)	有効面積 (m ²)		0cm	2cm	5cm	60°C <	80°C <	
2010 10/14	I	アイロン+パイプ	W150×L50×H5	W150×L50	0.75	2.6	-	48.8	28.6	-	-	
	11/9	II	フード1+パイプ	W120×L70×H20	W114×L45	0.51	2.3	60.1	14.9	11.9	1	0
	11/18	III	フード2+スパイク	W120×L70×H25	W90×L70	0.63	3.6	84.1	-	17.7	18	8
	11/19	IV	フード3+パイプ	W120×L70×H20	W114×L45	0.51	2.3	95.0	-	-	68	17
2011 1/14	V	フード4+パイプ	W94×L70×H20	W94×L30	0.28	1.5	91.3	-	7.9	37	12	

*1: W=幅, L=長さ, H=高さ。

*2: 直接地表面に蒸気があたる保温カバー内の内部屋部分。

*3: 有効面積の通過時間(秒)。

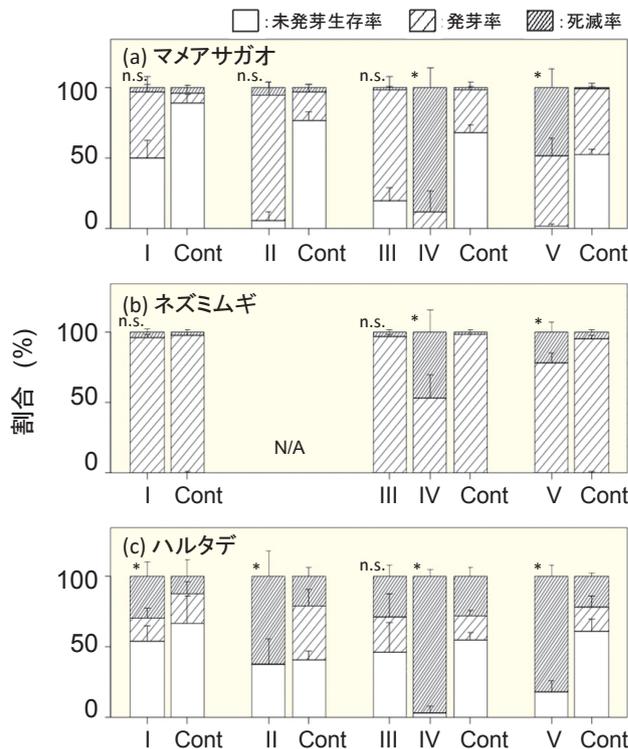


図-2 5タイプの装置による蒸気処理後の種子発芽試験結果
5反復の平均値，エラーバーは標準偏差を示す。装置形状タイプ (I, II, III, IV, V) は表-1を参照。無処理：Cont, N/A：試験なし。図中表記は無処理とのt-検定の有意差の結果を示す。*： $p < 0.05$, n.s.：有意差なし。

の最高温度を記録した。一方で、処理時に測定した土壤中の温度は、土壤中2cmまたは5cmの地点でも大きな温度上昇は見られなかった(表-1)。土壤中で蒸気が噴出される深さの違いによって、熱の伝達様式が異なることが知られている(Gay *et al.* 2010a)。土壌表面から蒸気を噴出した場合、表面水平方向への熱は急速に拡散するが、土壌中に蒸気を噴出した場合、表面への噴出と比較すると、土壌中への熱の拡散は緩慢で加熱部周辺の温度は上昇しにくい。自走型機による数秒間の蒸気処理では、スパイク型では高温度に到達するための十分な蒸気量が供給できず、また、アイロン型では蒸気の大半が空気中へ拡散してしまい、十分な温度上昇へ繋がらなかった(表-1)。フード型装置においても、作物残渣の引きずりなど圃場条件によっては蒸気漏れが観察されると温度低下に繋がる

ことが明らかとなり、フードの気密性の重要性が示唆された。

種子への死滅効果は、温度の上昇にともない無処理と比較すると有意に増加した(図-2)。雑草種子は、種間によって熱に対する感受性が異なる(Horowitz *et al.* 1983; Thompson *et al.* 1997)。本試験でも、ハルタデ>マメアサガオ>ネズミムギの順で死滅率が大きくなり、特筆すべきことに、60~80°Cの蒸気処理ではマメアサガオ種子の硬実打破に有効であることが明らかとなった。

(3) 種子の吸水条件と種子死滅効果

硬実種皮を持たない種子の水分含量は、熱に対する感受性に大きく影響する。本試験では、水分量の影響を検証するため、硬実種皮を持たないネズミムギ種子について、給水処理の種子(水分含量50~60%)と乾燥種子(水分

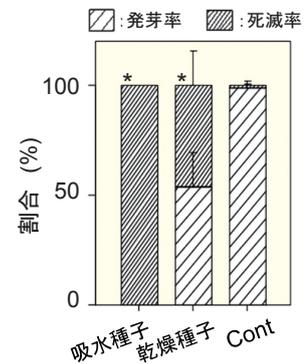


図-3 吸水種子および乾燥種子における蒸気処理
5反復の平均値，エラーバーは標準偏差を示す。図中表記は死滅率における無処理とのt-検定の有意差の結果を示す。*： $p < 0.05$ 。

含量7.5%)の蒸気による死滅効果を比較した。その結果、95°Cの処理温度でも乾燥種子では死滅率46.3%であったのに対し、給水種子では死滅率100%となり、乾燥種子の高い耐熱性を示す結果となった(図-3)。土壌表面に自然散布された種子は、試験で使用した乾燥種子よりも水分含量が高いことが想定される。そのため、乾燥種子を供試して死滅効果を評価した本試験の結果は、圃場での蒸気処理効果を過小評価している可能性が考えられた。

蒸気処理機の実用化に向けて

これまでの蒸気処理技術は、固定式が主流で配管設備など大掛かりな施設を必要とするため、低い稼働効率や高い消費燃料を理由に、施設栽培を中心とした小規模な利用にとどまってきた。本技術は、土地利用型作物への適用が目的のため、自走型への改良と処理時間の大幅な短縮により広域処理が可能になった。本試験から、種子の死滅に必要な種ごとの大まかな温度域を提示することができたが、特に、マメアサガオの種子が60°C程度の低い温度で硬実打破されたことから、「発芽促進」による雑草防除技術として蒸気処理機を用いることも有効と考えられ

る。なぜなら、広域処理を前提とした本技術の適用により使用燃料の軽減および処理時間のさらなる短縮に繋がるからである。また、作物収穫後の不耕起状態で、土壌表面のマメアサガオ種子に蒸気を処理し発芽を促進することで、生育不適な冬期間の発芽個体の死滅が期待される。

本技術により雑草種子への有効な死滅効果を得ることができたが、一方で、種子の死滅を左右する処理時の温度は、気象条件や土壌特性などの物理的要因によって左右されやすいことが示されてきた (Gay *et al.* 2010ab)。蒸気処理技術を実用化するためには、これらの物理的要因を考慮した処理条件の提示が必要である。試験時、畝立てや作物や雑草残渣などの圃場の環境状況によって、安定した連続走行が困難な場合も多く、種子の死滅に必要な温度域を維持し、安定した連続走行が可能な装備の改良が今後も必要である。処理温度はさまざまな圃場環境や処理条件によって変動することが予想される。実用的な技術の開発とガイドラインの作成のためには、実圃場での次年度以降の雑草発生密度の抑制効果の検証と合わせて、今後も死滅効果の変動要因の解明をさらに進める必要がある。

付記

本研究は「平成 22 年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：蒸気処理機を利用した土地利用作物の難防除雑草の土中種子駆除技術の開発」による研究資金により行われた。

引用文献

- 浅井元朗ら 2010. ムギ作における難防除雑草の埋土種子調査法. 雑草研究 55, 218-227.
- Benvenuti, S. *et al.* 2001. Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. *Weed Sci.* 49, 528-535.
- Gay, P. *et al.* 2010a. A high efficiency steam soil disinfestation system, part I: Physical background and steam supply optimization. *Biosystems Eng.* 107, 74-85.
- Gay, P. *et al.* 2010b. A high efficacy steam soil disinfestation system, part II: Design and testing. *Biosystems Eng.* 107, 194-201.
- Harker, K.N. and J.T. O'Donovan 2013. Recent weed control, weed management, and integrated weed management. *Weed Technol.* 27, 1-11.
- Horowitz, M. *et al.* 1983. Solarization for weed control. *Weed Sci.* 31, 170-179.
- Kobayashi H. and A. Oyanagi 2005. *Digitaria ciliaris* seed banks in untilled and tilled soybean fields. *Weed Biol. Manag.* 5, 53-61.

西村愛子ら 2014. 蒸気処理機を用いた耕地雑草埋土種子の死滅技術開発. 雑草研究 59, 167-174.

Samtani, J.B. *et al.* 2011. Evaluation of non-fumigant alternatives to methyl bromide for weed control crop yield in California strawberries (*Fragaria ananassa* L.). *Crop Prot.* 30, 45-51.

澁谷知子ら 2010. ダイズ作における重要雑草の埋土種子調査法. 雑草研究 55, 208-217.

Swanton C.J. and B.D. Booth 2004. Management of weed seedbanks in the context of populations and communities. *Weed Technol.* 18, 1496-1502.

Thompson, A.J. *et al.* 1997. The effect of temperature on viability of imbibed weed seeds. *An. Appl. Biol.* 130, 123-134.

Torrens, K.S. *et al.* 2003. Long-term experiments with reduced tillage in spring cereals. I. Effects on weed flora, weed seedbank and grain yield. *Crop Prot.* 22, 185-200.

Vasileiadis V.P. *et al.* 2007. Vertical distribution, size and composition of the weed seedbank under various tillage and herbicide treatments in a sequence of industrial crops. *Weed Res.* 47, 222-230.