

微生物除草剤開発の現状と展望

日本たばこ産業(株) 山田 昌雄
植物開発研究所 横浜センター

1. はじめに

最近、環境保全的な農業を志向する中で、農業に必須の農薬についても環境負荷の少ないものを使おうとする考え方が高まっている。化学農薬の開発や施用もその考え方を基本として行われているが、一方、生態系そのものが持つ病害虫や雑草の制御機能を積極的に活用しようとする、生物農薬の実用化への努力がなされている。ここで生態系の持つ制御機能というのは、生態系を構成する種々の生物が相互に干渉し合って、何かが異常な増殖を始めると他のものに抑えられ、元へ戻り、全体のバランスが維持される、そういう自然の仕組みの事であり、それを利用しようとするのが生物農薬である。中でも、最近の微生物の大量培養技術と特性改良技術の進歩を背景にして、世界的に微生物農薬の開発が広範に進められている。

米国では生物農薬の規制は化学農薬よりも緩やかになっていて、そのために開発までの期間が短く、費用も少なく済むといわれている。微生物と化学物質と、有効成分の本質が全く異なる農薬が同一の規制を受けるというのも不合理な事である。わが国でも農薬登録の手続きの中で、微生物農薬の安全性評価についての新しいガイドラインが今年度内に設定される予定といわれ、それによって微生物農薬の開発が促進されるものと期待される。

2. 微生物除草剤とは

雑草を病気にして防除しようとする場合、二通りのアプローチがある。一つは大面積に被害を生じている自然の雑草群落のごく一部にその病原微生物を接種し、自然条件にまかせて発病させ、蔓延させようとするものである。この場合一般には、外来雑草で、天敵病害虫が無いために異常増殖して難防除雑草となっているものを対象とし、その雑草の原産地から病原菌を導入して用いる事が多い。そしてその病原によって雑草を全滅させようとするのではなく、その病原が年々発生して、雑草の密度をあるレベル以下に抑制し続ける事を期待するものである。米国やオーストラリアでは、ヨーロッパやアジアからの侵入雑草が蔓延して化学除草剤では防除効果が挙がらない事例が少なくないようで、このような場合にこの方法が有効に、かつ低コストで適用されている。地中海地域からオーストラリアに侵入してコムギ畑の重要雑草になった、キク科の多年性草本である *rush skeletonweed* (*Chondrilla juncea*) の防除に、原産地で病原菌の探索が行われ、さび病菌の一種、*Puccinia chondrillina* を導入し、大きな防除効果をあげた事は著名な例である。この方法は「古典的」微生物防除法といわれる。

もう一つは病原微生物を大量に培養し、適当

な環境条件の下で化学除草剤と同様に大量に施用して、一気に雑草群落の全体を枯死させようとするものである。これは微生物除草剤といわれ、除草剤として農薬登録を要し、商品として流通販売される。

その他に、微生物の代謝産物を除草剤として利用する、いわゆる微生物源除草剤がある。病害現象は病原微生物の代謝産物に起因することが多いから、微生物源除草剤も微生物そのものを用いる除草剤と一緒に扱う考え方もある。しかし微生物剤の特徴は何よりも、生きているものを商品として扱うところにある。また微生物源農薬は、結局は物質として扱われるので、化学農薬と同様の扱いをして良さそうである。その意味で、本文では生きて活性のある微生物を有効成分とする除草剤のみを、微生物除草剤として扱うことにする。

この種の微生物除草剤は、既に世界で4種類が実用化されている。最も早く開発されたものは中国の Lu-Bao である。これは炭そ病菌 *Colletotrichum gloeosporioides* を利用したもので、ネナシカズラの防除に用いられる。どのような開発過程を経たものか、また施用方法などについても情報が乏しく不明である。なお開発当時の菌株は失われて、現在用いられているものは新たな菌株による Lu-Bao II といわれる。

他の3種は米国の DeVine と Collego、及びカナダの BioMal である。わが国で微生物除草剤の開発に努力しているのは、JT と三井東圧である。まず米国とカナダの3剤について概略を述べて、微生物除草剤というものについてご理解を頂き、次いで現在 JT が開発を進めている2剤についてご紹介しよう。

3. DeVine

DeVine は、疫病菌の一種、*Phytophthora palmivora* 菌を用いた、かんきつ園の Stranglervine (ががいも科のつる草) の防除剤である。この菌はかんきつの果実に弱い病原性があるが、樹には全く病原性を示さず、Stranglervine に高い防除効果を示した。Florida Department of Agriculture and Consumer Services と Institute of Food and Agriculture Science が共同開発し、Abbot Laboratories が商品化し、1981年に米国で最初の微生物除草剤として U. S. Environmental Protection Agency (EPA) に登録され、市販された。かんきつ園という限られた地域にのみ用いられる剤として、宿主範囲について問題になるものは無いが、キュウリ、スイカなどが弱く感染するので注意を要する。商品は $6.7 \times 10^5/l$ の厚膜孢子懸濁液で、水で400倍に希釈し湿った土壌の表面に $5 l/10 a$ 散布する。1回処理で95~100%の防除効果があった。菌は土壌中に残って翌年以降にも効果を示した。

本剤は化学剤のような長期保存はできず、冷蔵条件で6週間安定保存できるのみなので、冷蔵システムを用いて流通、販売されている。そんな状況で商品に成り得たというのは、フロリダのかんきつ園に使用が限定され、受注生産が可能だからであろう。

4. Collego

Collego は炭そ病菌の一種、*Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschynomene* 菌を用いた、イネとダイズの圃場の northern jointvetch (マメ科のクサネムに近い植物) の防除剤である。この菌に

よって枯死するのは northern jointvetch のみであり、作物や他の雑草には感染しない。USDA, アーカンソー大学, Upjohn社の協力で商品化され、1982年に登録され、Ecogen社から Collego という商品名で市販された。

本剤はA, B 2成分から成り、Aは孢子を加えるための糖液で1 lの瓶に入っている。B成分は病原菌の乾燥孢子で、1袋に 75.7×10^{10} 個の生孢子が入っていて、重量でなく生孢子の数によって包装されている。A成分3瓶とB成分3袋とを、約19 lの混合用のバケツに入れて市販している。A 1瓶の中身と、その瓶に2 lの水とをバケツに入れて混合し、B 1袋を加えて孢子が完全に分散するまで攪拌する。この孢子液を噴霧器のタンクに入れ、水を加えて100 ガロン=379 lにすると、これが4 haの分になる。従って散布量は10 aに約9.5 lとなる。

散布時期は、草が作物の草冠より上に出た時から開花あるいは着莢期前迄。水田にはあらかじめ湛水し、夕方、作物と雑草に結露が始まってから散布する。普通、1週後に病徴が生じ、5週以内に枯死する。圃場試験の防除効果は水田で76~97、ダイズ畑で91~100%であった。本菌は前記の DeVine と違って、施用後は土壌、水などから急速に消滅し、環境中に残らない。他の化学剤、あるいは微生物剤との併用が種々試みられ成功している。興味深いことに、northern jointvetch ともうひとつの水田の大雑草 winged waterprimrose との同時防除のために、本菌と *Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *jussiaeae* との tank mixture が試みられ、圃場試験で施用4週後に前者が96%、後者が100%枯死する好結果が得られた。本剤は DeVine と違って

施用対象面積が広いので、一般農家に対して微生物除草剤についての広範な普及教育活動が行われ、効果を挙げたという。

5. BioMal

BioMal は、炭そ病菌の一種、*Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *malvae* 菌を用いた、round-leaved mallow (マルバゼニアオイ)の防除剤である。この菌の宿主範囲は *Malva* (ゼニアオイ)属の植物と velvetleaf に限られる。Agriculture Canada Research Station が開発し、Philom Bios社が商品化して、カナダで最初の微生物除草剤として1992年に登録された。圃場では $60 \times 10^6 / m^2$ の生孢子濃度、施用後48時間以内の降水、あるいは12~15時間の結露、20℃前後の冷涼な気温、かつ曇天の条件で防除が成功した。本剤では総合防除を志向して、開発の過程から種々の化学農薬との混用を積極的に試み、混用の可否について多くの情報が得られている。

6. JTが開発中のクログワイ剤

これから述べる剤はクログワイのみ、あるいはクログワイと、その他にイヌホタルイなど1~2種に効果があるのみなので、一般に呼ばれている、いもち剤、紋枯剤などのように、クログワイ剤、スズメノカタビラ剤などと称することにしたい。

クログワイはよく知られた水田のカヤツリグサ科の多年生雑草で、地下茎を長く伸ばし、25 cm 程の深さまで多くの塊茎を作る。翌年その塊茎は春から秋まで長期にわたって出芽するので、化学剤での根絶が困難な強害雑草である。

鈴木穂積氏は東北農試、北陸農試で、クログ

ワイに病原菌を接種して防除しようとする研究を行い、有効な菌を報告した。JTは北陸農試の発明の実施許諾を得、鈴木氏より菌株の分譲を受けて研究を開始すると共に、全国規模でクログワイの病原菌の探索を行った結果、鈴木氏の菌と同一と思われる種 *Epicoccosorus nematosporus*（学名未発表、E菌と略記）と *Nimbya scirpicola*（N菌）および *Dendryphiella* sp.（D菌）の3種の病原菌を見出し、微生物除草剤開発の見地から比較検討した。E菌についてはJTが独自に分離した菌株を供試し、N菌、D菌の各1菌株と共に水田における効果を検討した。1993年の結果は第1表に示す通りであり、1994年の試験でも類似の結果を得た。

この試験では水田に50cm四方の試験区を設定し、芽出しをしたクログワイ塊茎を1区に20個ずつ植え付け、7月6日、22日、8月4日に1

回、あるいは7月6日と8月4日の2回接種して経時的に地上部の観察評価による防除率を調査し、また11月下旬に塊茎を掘り上げて調査した。対照として化学除草剤のベンタゾン・MCP剤を7月6日に1回施用した区と、チウラム・ベノミル剤を毎週散布して病原菌の自然発生を抑えた区を設けた。

供試菌のうちE菌の効果が最も高く、7月6日1回接種で8月18日以後地上部をほとんど完全に枯死させた。塊茎形成も著しく抑制され無処理区の1%以下であった。この効果は接種と二次伝染による直接の殺草、地上部の抑制による新しい茎と塊茎の形成抑制等の諸効果を併せたものと考えられる。結果として化学剤と同等の効果であるが、施用から殺草までの時間が、化学剤では2週間であるのに対してE菌では6週を要した。7月22日1回接種もほぼ同等。8月4日1回接種では6週後の枯死状況はほぼ同等であったが、塊茎形成への効果は著しく劣

第1表 1993年上越における圃場試験の結果

処 理	調査日 接種日	防 除 率						塊茎数	塊茎重 g
		7/13	7/22	8/4	8/18	9/1	9/15		
E 菌	7/6	2	13	78	98	99	99	2	1
	7/22	—	—	35	80	96	99	8	6
	8/4	—	—	—	65	83	93	60	68
	7/6 & 8/4	1	18	60	95	98	99	2	1
N 菌	7/6	9	20	45	70	78	85	32	29
	7/22	—	—	15	18	50	80	76	70
	8/4	—	—	—	10	10	18	169	200
	7/6 & 8/4	9	15	25	60	70	88	47	48
D 菌	7/6	4	5	10	5	5	20	22	34
	7/22	—	—	5	10	10	30	73	100
	8/4	—	—	—	2	5	10	194	231
	7/6 & 8/4	3	5	5	13	2	10	160	170
ベンタゾン・MCP	7/6	83	95	95	93	95	98	2	3
無 処 理		0	0	0	0	0	0	230	317

った。7月6日と8月4日の2回接種の効果は7月6日1回接種と差が無かった。N菌もかなり良く効いたが、二次伝染が十分でなくE菌より大分劣り、接種適期については同様の傾向であった。D菌は更に効果が劣った。D菌は温室試験ではかなり高い殺草効果を示すが圃場では効果が低く、これは本菌の主な伝染源が菌核なので、二次伝染が緩慢である為と考えられる。

クログワイの微生物除草剤は有望ではあるが、化学剤に比べて幾つかの問題点を残している。まずE菌は化学剤と同等の効果があるが、効果発現までの時間が長い。微生物剤では施用後、病原の感染、発病、枯死という経過があるので、それに少なくとも1週間以上の日時を要するのは本質的にやむを得ない事である。化学剤の効果は後日新たに抽出した茎には達しないが、微生物剤では草の枯死後も孢子が生存し、新しい茎にも二次感染して枯死に至らせる。微生物剤の遅効性をカバーするには、化学剤との併用が有力な手段であり、同時に化学剤施用の回数や量を減らす結果にもなる。その場合、従来の化学剤の施用法にとらわれず、微生物の特性に応じた施用法を検討する必要がある。

第2に微生物剤の特性として発病環境の影響を受けやすく、そのため年次あるいは地域による効果の差があらわれる。それを緩和させる菌株、すなわち好適環境の幅が広い菌株を選ぶ事と、製剤の工夫が更に必要と考えられる。これまでの試験によると、E菌の供試菌株はそれらの点で非常に優れた菌のように考えられる。

更に、クログワイは水田の最も重要な雑草ではあるけれども、他にも防除すべき雑草が数多くある。化学剤はそれらの多くに効果を発揮するのに対して、微生物剤はク

ログワイの他、1～2の草種に効果があるだけである。今後、他の水田雑草に有効な微生物剤あるいは化学剤との混用を図る方向に進みたい。現在これらの点を考慮しながら、E菌の商品化を進めつつある。

7. JTが開発中のスズメノカタビラ剤

スズメノカタビラはイネ科の越年生雑草である。東京付近では10月頃に発芽し、真冬にもよく生育して種子を形成する。通常6月頃には枯死するが、日蔭で湿潤なところでは秋まで残るものもみられる。刈り込みに強く、ゴルフ場のグリーンでは1cm足らずの茎にも穂をつけている。現在日本芝の中のスズメノカタビラを枯らす化学剤は幾つかあるが、ベントグラスには葉害があり、ベントグリーンのスズメノカタビラに使える剤が求められている。

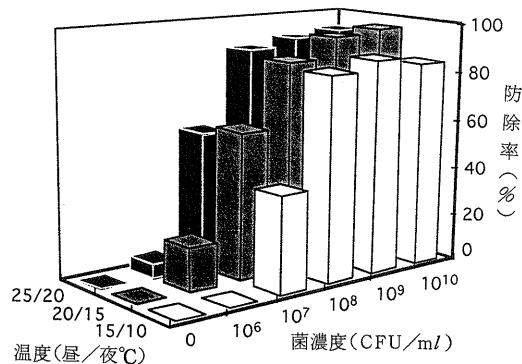
米国ミシガン州立大のRobertsは、病徴のないスズメノカタビラの導管部に潜在している*Xanthomonas campestris*細菌が、傷を付けて大量に接種すればスズメノカタビラを枯死させる能力があり、微生物除草剤として使える事を見出して、1992年に米国特許を取得し、JTと協力関係にある米国のマイコジェン社がその特許の使用権を取得した。雑草の病原菌でも、米国の菌を日本で使う事には問題があるので、JTはそのような菌を日本国内で探索して、病徴のない数万株のスズメノカタビラから菌の分離を試みた結果、全国20都道府県からスズメノカタビラに病原性を示す93菌株を得た。それらの中から、スズメノカタビラに病原力が最も強い菌株を選抜した。この菌はわが国の至る所に存在する微生物で、極めて安全なものと考えられる。

微生物除草剤は、従来主に糸状菌について開

発効力がなされてきた。感染に傷を要する細菌や、昆虫などのベクターを要するウイルスは、大量接種により発病させるには適さないとされたからであるが、ゴルフ場の芝生は頻りに刈り込むので常に傷が付く、細菌の感染に適している。そこでこの細菌を、ゴルフ場の特にペントグリーンのスズメノカタビラを対象とする、微生物除草剤として商品化する努力を開始した。

この細菌の有傷接種による最終病徴は、細菌が導管に充満して完全に枯死するのであるが、その速度は温度と、接種する菌濃度に支配される。昼30℃/夜25℃では処理後1週～10日では枯死するが、このような真夏の温度条件ではスズメノカタビラが生育しないので、25/20℃が実用上最適の温度条件となる。スズメノカタビラを播種して4週後に2 cm 高で刈り込み、直ちに $10^6 \sim 10^{10}$ cfu (colony forming unit) / ml の濃度の菌液を200 ml / m² 噴霧し

た後、25/20, 20/15, 15/10℃の3段階の室温に置いて病徴の推移を観察した。評価は残ったスズメノカタビラの地上部の生重を測定して、無処理区の価を0とする防除率(%)を算出した。第1図は接種4週後のものである。その結果、 10^8 / ml 以上の濃度でどの温度域でも75%以上の防除率(観察評価ではほとんど枯死)が



第1図 スズメノカタビラの発病と気温-菌濃度との関係

第2表 平成6年度植調芝関係除草剤試験成績より抜粋(宇大雑草科学研究センター試験結果)

薬 剤 名	使 用 量 (ml/m^2)	散布水量 (ml/m^2)	主 要 対 象 雑 草 残 草 量				禾 本 科 カヤツリグサ科 計	
			スズメノカタビラ(1)		スズメノカタビラ(2)			
			本, g/m^2	%	本, g/m^2	%	本, g/m^2	%
無 処 理			165 7.4	100 100	85 1.5	100 100	250 8.9	100 100
J T H - 101	0.2	200	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	0.4	400	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	1	200	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0
	2	400	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0

6/30処理, 8/1調査, 上段: 本数/m², 下段: g/m²

芝品種はペントグラス(ペンクロス), 試験規模1区2 m², 2反復

(1): 地上部4 cmで切除, (2): 地上部1 cmで切除. 切除位置に関係なく完全防除を示した. 芝は草丈, 葉色, 繁茂力ともに全く正常.

得られたが、枯死までの期間は25/20℃で7～10日、15/10℃では4週間以上を要した。施用量は化学剤と同様に $200\text{ l}/10\text{ a} = 2\text{ m l}/100\text{ cm}^2$ が適当と思われるが、低温の場合は施用量が多いほど効果が上がる傾向が見られた。

本菌を接種したスズメノカタビラをバリカンで刈り込み、そのまま同じ刃で未接種植物を刈ると、刃に付着した細菌によって二次伝染が容易に起こった。この二次伝染は刈り込みが頻繁なほど、また菌濃度が高いほど著しい。これにより本菌は芝生の刈り込みを続ける事によって、同一植物内で二次伝染が起こって効果が増強されると共に、後発生するスズメノカタビラに対しても十分な殺草効果を持つ事が示された。

本剤については、現在 JTH-101 の試験名で日植調の公的試験を実施中であるが、成績は良く(第2表)、ゴルフ場のグリーンキーパーの評価も高く、単剤として実用化できる数少ない微生物除草剤の一つと期待している。なお、公的試験の供試剤は-80℃に凍結した $10^{11}\text{ cfu}/\text{ml}$ の菌液を保冷して届け、現地で融解、希釈して所定の濃度 ($10^8\sim10^9$) とし、散布量は $200, 400\text{ ml}/\text{m}^2$ としている。前記の DeVine に似た商品形態であるが、将来はさらに改善したい。

クログワイ剤と同様に、本剤も化学剤と比べて効果発現までの時間が長い、一方ではスズメノカタビラが急速に枯れると芝生に穴があいてしまうから、むしろスズメノカタビラは徐々に枯れて、その間に本来の芝が回復できるような遅効性の除草剤の方が良いとの考えもある。

8. おわりに

JTの微生物除草剤2剤について、その開発経過を紹介した。殺菌剤、殺虫剤の場合は、あ

る圃場である時期に防除を要する病害、虫害はそれぞれ1～2に過ぎないから、単剤で通用するが、除草剤の場合は、どの時期にも数種の雑草が生育しているから、1草種に効果があるのみの微生物剤では一般に商品になり難い。水田用剤はその見地で今後の開発を進める。

また病害、虫害はそれぞれ殺菌剤、殺虫剤が無ければ防除が不可能である。防除効果が高ければ施用方法が面倒でも、あるいは高価であっても実用化される。すなわち殺菌剤、殺虫剤は防除の為に存在するものであるのに対して、雑草は除草剤が無くとも手で抜けばよいが、それでは労力が大変である。すなわち除草剤は本質的には省力のために存在するものである。従って施用が煩雑な除草剤は使われない。微生物除草剤の開発もその事を念頭に置く必要がある。

微生物除草剤に共通の特徴は生きて活性のある病原微生物を含むことで、その長所も短所もそれに依るものであることを、ご理解頂けたと思う。微生物除草剤の開発に当たって重要なことは、既に述べた微生物剤の長所、短所を前提として、①それぞれの剤の目的に最適の微生物を見出すこと、②最適の施用法を工夫すること、③大量培養技術の開発、④長期間活性を保持し、標的雑草への感染を促進する製剤法の確立、の4点であると考え、①については、野外から理想的な微生物を見出せない場合、それに種々の加工を加える技術を開発する必要がある。また②については、化学剤との調和が重要と考える。

微生物農薬は自然の中に存在する微生物を利用するものだから、人間が新たに作り出した化学農薬に比較して一般に安全なものと考えられるが、決して無条件に安全なものではない。新しいガイドラインに従って、感染性、病原性、毒

性、生残性について、また環境に放出された微生物のその後の命運について、十分な検討を行わなければならない。

更に、微生物除草剤に環境保全的な安全性を期待するのみでは普及が望めない。施用法を更に工夫して、微生物剤でなければならない特性と活用場面を見出して行く必要がある。将来、雑草を枯死させる微生物の活性物質を、純粋かつ安定した形で取り出して量産できれば、それがより望ましい事は言うまでもない。しかし、それまでは生きた微生物そのものを用いて行かねばならないし、またそれによって得られた情報が活性物質の利用に役立つと思う。これらの諸点について、今後、研究機関とメーカーとが協力して技術開発を進めていかなければならないと考えている。

リスクの多い分野であるが、環境保全的農業に必須の資材である次世代農薬開発の、パイオニアとしての責を果たして行きたいと考えている。ご指導とご支援をお願いしたい。

参 考 文 献

- Microbiological control of weeds symposium: Weed Sci. 34 (Suppl. 1): 1~53. 1986.
- Burge, M. N. ed.: Fungi in biological control systems. Manchester University Press, Manchester, 269pp. 1988.
- Charudattan, R. & Walker, H. L. ed.: Biological control of weeds with plant pathogens. John Wiley & Sons, New York, 293pp. 1982.
- Hoagland, R. E. ed.: Microbes and microbial products as herbicides. American Chemical Society, Washington DC, 341pp. 1990.
- TeBeest, D. O., Yang, X. B. & Cisar, C. R.: The status of biological control of weeds with fungal pathogens. Ann. Rev. Phytopathol., 30: 637~657, 1992.
- Templeton, G. E., TeBeest, D. O. & Smith, R. J. Jr.: Biological weed control with mycoherbicides. Ann. Rev. Phytopathol., 17: 301~310, 1979.
- Wilson, C. L.: Use of plant pathogens in weed control. Ann. Rev. Phytopathol., 7: 411~434, 1969.
- Zettler, F. W. & Freeman, T. E.: Plant pathogens as biocontrols of aquatic weeds. Ann. Rev. Phytopathol., 10: 455~470, 1972.

水田雑草の生態と防除 —水稲作の雑草と除草剤解説—

宮原益次／著

A5判 定価3,090円(税込)

水田雑草の発生特性、雑草害について著者40年の知見を網羅。さらに水田における合理的で省力的・低コストの雑草防除について解説。

全国農村教育協会

〒110 東京都台東区台東1-26-6(植調会館)
Tel.03-3833-1821 Fax.03-3833-1665