

미생물제초제는 미생물 자체 또는 미생물의 대사산물을 이용하여 만든 제초제를 일컫는 것으로, 1970년대 초 미국 알칸사스에서 벼와 콩 경작지의 자귀풀 종류(northern jointvetch)에 병을 일으키는 병원균이 분리되어 수년간의 연구를 거쳐 미생물제초제로 상품화 된 이후 미생물제초제에 대한 연구개발이 활성화되기 시작하였다. 특히, 최근 지속가능한 농업발전으로의 전환과 이미 개발되어 사용되고 있는 유기합성 제초제의 환경오염 및 인축 독성에 관한 재고, 재등록 관련 문제 때문에 국내외적으로 보다 환경적으로

안전하며 방제효과가 높은 미생물제초제의 개발에 대한 관심이 높아지고 있다.


현재까지 보고된 미생물제초제 연구는 잡초의 병원균을 이용한 내용이 대부분을 차지하고 있으며, 그 시장이 작아 제초제가 개발되어 있지 않거나 또는 지속적인 유기합성 제초제 사용에 의한 잡초군락의 생태학적 변화, 저항성 유발 등으로 기존의 제초제로는 방제가 잘 되지 않는 잡초들이 주요 연구 대상이 되고 있다.

이러한 연구정보의 교환을 위해 지난 1993년 7월에는 캐나다의 McGill 대학에서 '제 2차 국제미생

현황과 전망

미생물제초제 개발연구

현재 20여 제제 상품화 추진
국내서도 개발가능성 충분, 연구활발



다년생 논잡초 벼풀에서 분리된 병원균
Plectosporium tabacinum

물제초제 워크숍이 개최된 바 있으며, 각 나라에서도 심포지움 개최 등 미생물제초제 개발에 대한 노력이 대학과 국공립 연구기관을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 지난 8월 22일 서울대학교 농업생명과학대학 '농업신소재 연구센터'에서 개최된 '생물농약과 병해충 방제' 심포지움에서도 미국 플로리다 대학교의 Charudattan 박사가 초청되어 세계적으로 진행 중인 미생물제초제의 현황에 대한 발표가 있었다.

1. 미생물제초제 개발 현황

가. 식물병원균을 이용한 제초제

작물 경작지의 주요 잡초에만 선택적으로 병을 일으키는 식물병원진균을 분리, 제제화하여 미생물제초제로 개발하고자 하는 것이 현재까지 이루어진 미생물제초제 연구의 대부분을 차지하고 있으며, 이렇게 개발되어 사용되고 있는 제초제를 진균제초제(mycoherbicide)라 부르기도 한다. 미생물제초제도 합성제초제와 마찬가지로 잡초가 증식하여 작물생산에 손실을 가져오기 전에 짧은 기간동안 일정한 장소에 적정량을 살포해야 하는데, 합성제초제와는 달리 병원균이 잡초에 침입하여 병을 일으켜야 하기 때문에 살포시 병 감수성인 기주체의 생육기, 병원균 농도 및 환경적인 측면이 고려되어야만 효과적인 방제효과를 낼 수 있다.

지난 20년간 세계 각국에서 잡초병원균의 미생물제초제 개발 연구로 현재 상품화를 위해 등록된 것은 DeVine, Collego, Lubao-2, BioMal과 Dr. BioSedge 등이 있다(표 1). 그러나 경제적 또는 생산기술 상의 문제로 대부분이 생산되지 않고 있으며, DeVine만이 유일하게 판매되고 있다.

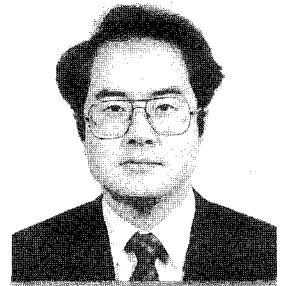
이 외에도 개발 가능성이 높아 현재 산업체와 공동 연구중에 있거나 상품화를 위한 등록시험중에 있는 식물병원진균은 *Colletotrichum truncatum*,

Alternaria crassa, *A. helianthi*, *Phomopsis amaranthicola*, *Fusarium tricinctum*, *Chondrostereum purpureum* 와 *Dactylaria higginsii* 등이 있다.

DeVine은 *Phytophthora palmivora* 를 이

용한 액체 제제로서 1981년도에 Abbott Lab.에 의해 상품화 된 이후, 현재 미국 플로리다의 감귤재배 농장에서 난방제 잡초인 strangler vine (Milkweed vine, *Morrenia odorata*)의 방제용으로 사용되고 있다. *P. palmivora*는 1972년도에 플로리다에서 처음 병든 잡초로부터 분리되어 대량 배양 후 포장에 살포되었는데, 처리후 10주 이내에 96%의 잡초가 방제되었으며, 1978~1980년도에 한번 살포된 이후 1986년도 발병 조사에서도 95~100%의 방제효과를 보였다. 이 병원균은 대상 잡초 외에 실험실 조건에서 토마토, 양파, 수박 등 여러 작물에 발병시켰지만 자연 상태에서는 고농도의 병균에 노출되지 않을 것으로 생각되어 미생물제초제로 개발, 상품화되어 판매되고 있다.

Collego는 1982년도 Ecogen Corporation에 의해 상품화 된 벼와 콩 경작지의 자귀풀 종류 방제용 미생물제초제로 미국 알칸사스에서 주로 사용되고 있다. 이것은 *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *aeschynomene* 포자를 분체 형태로 제제화한 것으로 포자 분말(15% 포자, 85% 부제)과 수용성 포자 분산용액으로 구성되어 있다. 분체 형태의 이 제품은 보통 유통상태에서 1년 이상 효과가 있었으며, 냉장 상태로 보관할 경우 3년 이상 안정한 것으로 조사되었다. 잡초 방제 효과는 1972년 이후 수차례



정 영 톰

경상대학교 자연과학대학 미생물학과

의 포장 실험에서 방제가가 평균 90% 이상이었다. 이 병원균은 자귀풀 종류에 선택적으로 병을 일으켜 완전히 고사시키는 것으로 보고되었으나 최근에 다른 작물에도 약간의 병징을 보인다고 하였다. 이 제제는 얼마전까지 판매가 되었으나 지금은 생산기술상의 문제로 생산이 중단된 상태이다.

Lubao는 중국의 콩 경작지에서 기생식물인 새삼(*dodder, Cuscuta sp.*)을 방제하기 위하여 사용되었던 미생물 제초제로 1963년에 처음 병원균 *Colletotrichum gloesporioides*가 분리되었다. 1970년대 후반에 중국 전역 10지역 67만ha의 콩 경작지에 사용되었으며 평균 85% 이상의 새삼 방제효과를 나타내었다. 실제 농민들은 평균 포자농도가 $2 \times 10^7/ml$ 인 포자현탁액을 습도가 높은 7월 하순에서 8월 초순 사이에 살포하였을 때 좋은 방제효과를 얻을 수 있었지만, 최근에는 보존성 또는 생산 기술상의 문제로 인하여 사용량이 줄어 들고 있다고 한다.

BioMal과 **Dr. BioSedge**는 각각 *Colletotrichum gloesporioides*과 *Puccinia canaliculata*를 이용한



미생물 대사물질을 제초제로 이용하려는 연구가 현재 세계적으로 활발히 추진되고 있다. 사진은 적절한 방제를 하지 않아 잡초가 무성한 벼논.

미생물제초제로 캐나다와 미국에서 상품화를 위해 등록은 되었으나 경제적인 이유로 개발회사에서 판매를 취소하였다.

나. 미생물 대사산물을 이용한 제초제

식물병원균이 분비하는 병원진균 독소연구는 병원균의 식물침입 기작 구명을 위해 주로 수행되었으나 최근들어 이를 제초제 개발에 응용하고자 하는 연구가 시작되었으며, 그 외 다른 미생물이 생산하는 제초활성 물질을 제초제 개발에 이용하고자 하는 연구도 여러 곳에서 수행되고 있다. 이와같이 미생물 유래의 제초활성 물질을 찾아내어 제초제로 개발하고자 하는 데는 몇가지 이유가 있다.

즉 기존의 합성방법에 의한 제초제 개발은 소요되는 경비에 비해 성공률이 낮아 활성이 좋은 미생물 대사물질의 선발이 상대적으로 경제적인 것으로 생각되고 있고, 또한 진균독소나 대사물질은 기존의 제초제와는 다른 새로운 작용기작을 가지고 있을 가능성이 높아 이러한 물질이 개발된다면 더 효과적이고도 환경적으로 안전한 새로운 형태의 제초제로 개발될 수 있다고 생각되기 때문이다. 그리고 미

생물 유래의 활성물질이 합성 물질에 비해 분해가 쉽게 되거나 독성이 낮아 안전할 것이라는 생각도 미생물 대사물질을 제초제로 이용하고자 하는 이유중의 하나라고 할 수 있다.

그동안 연구된 여러 종류의 미생물 대사물질중에서 현재 제초제로 개발되어 판매되고 있는 것으로 방선균인 *Streptomyces sp.*에서 분리된 bialaphos가 있는데,

표 1. 상품화를 위해 등록된 미생물제초제

| 상품명 | 개발회사 | 병원균 | 대상잡초 | 사용지역 |
|---------|-------------------------|---|------------------------|-------------------|
| DeVine | 1981 Abbott Lab. | <i>Phytophthora plamivora</i> | strangler vine | 미국 남동부 감귤농장 |
| Collego | 1982 Ecogen Corp. | <i>Collectotrchum gloeosporioides</i> f. sp. <i>aeschynomene</i> | 지귀풀 종류 | 미국알칸사 버, 콩 재배지 |
| Lubao | 1970(?) | <i>colletotrichum gloeosporioides</i> | 실새삼 | 중국 콩 재배지 |
| BioMal | 1993(?) Philom Bios | <i>colletotrichum gloeosporioides</i> | round-leaved mallow | 캐나다 곡류 재배지 |

이 물질은 L-2-amino-4 [(hydroxy)(methyl) phosphinoyl]butyryl-L-alanyl-L-alanine의 Na염으로 처음에는 1973년도 Kondo 등에 의하여 벼 잎집무늬마름병균인 *Rhizoctonia solani*에 대한 억제 효과가 좋은 항균물질로 보고되었다. 그 이후 이 물질이 여러 종류의 잡초에 대한 제초활성이 좋음이 밝혀져 일본에서 1984년과 1986년도에 각각 비식용 작물과 식용작물 경작지 제초제로 개발되었다.

이것은 국내에서도 '비알라포스 수용제' 라는 이름으로 1989년도에 품목고시 되었으나 1992년도에 품목이 폐지되었다. 특히, bialaphos는 속효성이며 약효가 오래 지속되지만 토양중에서는 쉽게 대사, 분해되어 버리기 때문에 작물의 생장과 발아에는 영향을 미치지 않는다. 여러 종류의 미생물 유래 제초활성물질은 bialaphos와 같이 구조적 변형없이 그대로 사용되기도 하지만 구조-활성 상관관계 연구를 통하여 보다 간단한 구조로 바꾸어 상품화 된 경우도 있다. 그 예로 *Streptomyces* sp.로 부터 분리한 anisomycin의 활성과 구조를 연구하여 더욱 간단한 구조의 제초제로 개발한 methoxyphenone 이 있다.

다. 국내의 연구현황

최근 우리나라에서도 잡초의 병원균 또는 미생물 대사산물을 이용한 미생물제초제 개발 연구가 대학교 및 국립연구기관을 중심으로 수행되고 있다. 필자와 한국화학연구소 농약스크리닝 연구부에서 우리나라의 논잡초중 현재 사용중인 제초제로는 방제가 어려운 논피, 벼풀과 올미의 방제를 위한 미생물제초제 연구를 수행하였다. 특히, 다년생 논잡초인 벼풀, 올미에서 이 잡초만 선택적으로 침입하여 발병고사 시키는 병원균을 분리하여 실내실험과 포장 실험을 수행하였는데, 이 병원균은 포자농도가 105개/ml에서도 벼풀과 올미의 유묘(2~5엽기)를 완전히 고사시켰다.

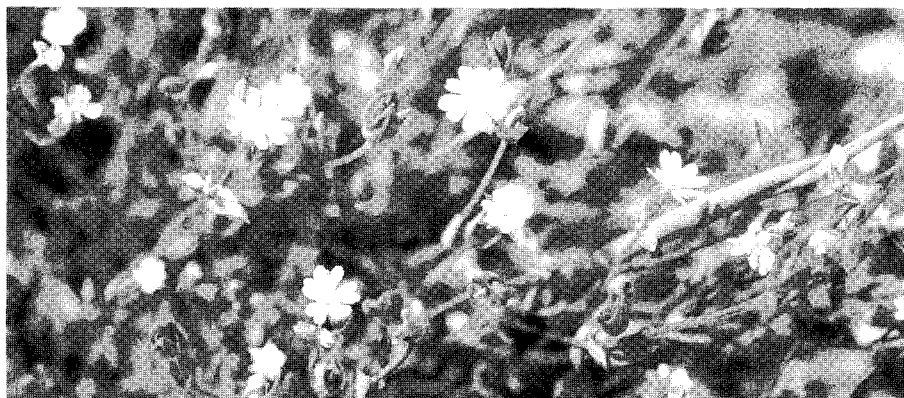
이외에 벼풀과 발생생태가 비슷한 다년생 논잡초로 올방개가 있는데, 올방개의 지문형태 병반에서 영남작물연구소의 홍 등이 1991년에 병원균 (*Epicoccosorus nematosporas*)을 분리하여 수년간 포장실험을 수행한 결과 이 병원균 처리로 기존의 합성제초제와 동일한 방제효과를 얻었다고 하였다. 그러나, 이 병원균은 건조한 환경조건에서는 포자가 사멸되기 때문에 적절한 제제화 방법 개발이

꼭 필요하다고 하였고, 이웃 일본에서는 Japan Tobacco 회사에서 상품화를 위해 적절한 제제 방법을 개발중에 있다. 최근 우리나라 전북지역의 간척지 논에서 대량 발생되어 문제가 되고 있는 잡초로 매자기가 있는데, 효과적인 방제방법이 없어 1990년 유 등이 병원균인 *Nimbya scirpicola*를 분리하여 발병정도 및 기주범위를 조사한 바 있다.

현재 국내 야산지역 또는 과수원에서 심각한 문제가 되고 있는 잡초로 칩이 있는데, 김 등이 1991년 대구지역에서 역병 증상을 보이는 칩 병반으로부터 병원균을 분리하여 *Phytophthora erythro-septica*

해결되어야 할 제한요인들이 몇가지 있다. 우선 온실 또는 포장실험에서 제초효과가 확인된 병원균을 경제적으로 대량생산 할 수 있는 방법이 확립되어야 하고, 대량생산된 미생물이 다양한 환경내에서 변함없는 방제효과를 낼 수 있도록 적절한 제제 개발이 필수적이다.

대량생산을 위하여 액체 또는 고체배양 등 생산에 적합한 배지와 기간 등 경제성이 있는 방법을 찾아야 하고, 또 미생물제초제가 살아있는 병원균을 이용하기 때문에 대량생산 후 유통기간 중에 온·습도 변화가 있더라도 포장살포시 발병에 필요한 충



국내에서도 미생물 제초제의 개발 가능성은 충분하며 현재 연구가 활발히 진행되고 있다. 사진은 밭에 발생하는 잡초들.

로 동정하였으며, 분리된 역병균의 포자를 접종하여 발병정도를 관찰하였다. 이 병원균은 잡초방제 효과도 뛰어나고 제제화 가능성도 높기 때문에 앞으로 국내 뿐만 아니라 국외에서의 사용도 고려해 볼 수 있어 미생물 제초제로서의 개발이 기대된다. 이 외에 미생물대사산물을 이용한 제초활성 물질의 탐색연구도 몇몇 국립 연구기관에서 수행되고 있다.

2. 미생물제초제 개발연구의 제한요인과 개선방안

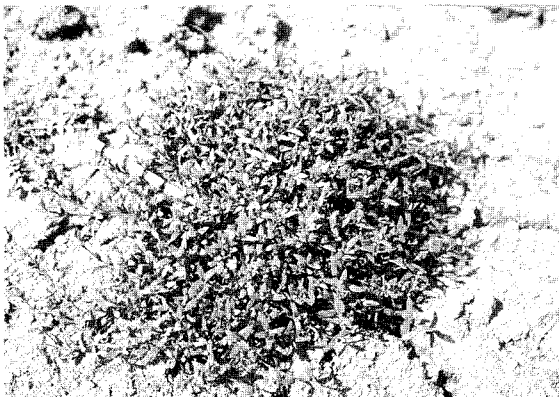
미생물제초제를 개발하는 것은 다른 병해충의 생물농약 개발과 마찬가지로 실용화 되기 위해서는

분한 농도가 유지될 수 있도록 제제화 되어야 한다. 병원균에 따라서는 Collego와 같이 건조상태인 분제와 Devine과 같이 액체 상태로 조절되어야 하며, 이렇게 제제가 만들어져도 실제 사용시에 건조가 되면 병원균이 사멸되어 발병효과가 급격히 감소할 수도 있다. 이러한 것을 방지하기 위하여 식물체 표면에서 포자가 발아될 수 있도록 수분을 늘릴 수 있는 수분흡습제 같은 부제를 제제화 할 때 첨가하거나 또는 미생물제초제 사용시기를 이슬이 맺히기 전 또는 대기 중 습도가 높은 우기를 이용할 수도 있다.

또 다른 문제는 미생물제초제 방제효과의 일관성

유지이다. 분리한 병원균이 실험실에서 계속적인 세대배양으로 병원성이 감소하는 경우가 있으므로 이때는 다시 새로운 균주를 분리하여 높은 병원성을 유지해야 한다. 그리고 미생물제초제의 환경변화에 따른 효과감소는 제제화로 해결해야 할 문제이지만 실제적으로 개발하는 회사에서는 이 부분에 대한 노하우를 갖고 있는 것으로 생각된다. 이 외에 병원균의 특정 잡초에 대한 고도의 기주특이성은 환경적 측면에서 보면 바람직하지만 여러 잡초병원균을 미생물제초제로 개발하는데는 장애로 생각된다. 왜냐하면 미생물제초제로 개발하기 위해서는

는 환경오염을 유발하지 않고 환경과 조화를 이루는 새로운 형태의 제초제 개발에 많은 힘을 쏟고 있다. 또한 이미 사용되고 있는 여러 제초제에 대한 규제도 더욱 강화되고 있는 실정이어서 식물병원진균 또는 미생물 대사산물을 이용한 미생물제초제 개발은 그 전망이 매우 밝다고 생각된다. 또한 식물병원진균이 분비하는 독소나 다른 미생물들의 제초 활성 물질은 이들을 화학적인 방법으로 적절히 변형하여 환경적으로 안전하고 새로운 작용기작을 가진 제초제 개발의 기반이 될 수도 있기 때문에 충분히 연구 가치가 있으며, 그 필요성이 있다.



환경독성시험, 등록을 위한 실험 등 개발비가 엄청나게 소모되는데 대상 잡초가 1~2개로 한정되고 시장이 충분히 크지 못하면 경제적으로 이득이 없어 회사에서는 개발을 꺼리기 때문이다. 그러나 예를 들어 벼 재배에서 중요한 잡초인 논피, 적미(red rice) 등은 현재 합성제초제로도 방제하기 어렵고 잡초의 여러가지 특성이 벼와 비슷한 식물이기 때문에 병원균의 고도 특이성이 유리할 수도 있다.

현재 세계적으로 20여개 정도의 중요한 잡초에 대한 미생물제초제 개발연구가 상품화를 위한 등록 시험 중에 있는 것으로 보고되고 있고 앞으로도 그 숫자가 증가될 전망이다. 국내에서는 아직 상품화 단계에 이른 것은 없지만 외국에서 이미 개발되어 사용되고 있는 미생물제초제를 볼 때 개발 가능성은 충분하다고 생각된다. 특히 생태학적 특성 때문에 현재 효과적으로 방제하기가 어려운 잡초의 방제를 위해서는 미생물제초제가 효과적이라고 생각되며, 분자생물학을 비롯한 여러 미생물 응용기술을 이용한다면 보다 경제적이고도 효과적으로 새로운 미생물제초제를 개발할 수 있을 것이다. **농약정보**

3. 전망

최근 유기합성 제초제의 환경오염과 인축에 대한 안전성이 문제가 되면서 세계적인 여러 산업체에서