

잡초방제기술 어디까지와 있나?

몬산토코리아(주)

농학박사 이 계 홍

1985년의 세계 농약사용량은 금액으로 159억 달러에 달하였으며 그 중 제초제는 70.8억 달러를 기록하여 전체농약의 45%를 차지함으로써 살균제나 살충제 보다도 훨씬 널리 사용되고 있음이 입증되었다.

제초활성이 있는 물질 즉, 제초제로 알려진 화합물은 현재 570여종이 기록되어 있으며 이들 제초제의 대부분은 미국, 영국, 서독, 프랑스, 일본, 스위스 등 소위 선진국의 대규모 농약회사에서 개발해 왔다.

최초로 발견된 제초제는 1896년 프랑스에서 포도밭에 사용하던 유산동이 효시이기는 하나

광범위한 실용성이 인정된 것은 1944년 2, 4-디의 제초활성이 발견되면서 부터이다.

〈표 1〉계통별로 본 세계의 제초제
사용금액 (억달러)

제초제의 계통	1972년	1985년	1990년(예상)
트리아진계	8.55	14.25	12.15
아미아드계	3.40	9.40	10.55
카바메이트계	4.10	7.65	7.65
요소계	5.35	6.70	8.60
디니트로에나린계	2.95	6.60	5.95
홀몬계	4.25	4.35	3.35
다이아진계	0.45	4.35	5.65
디페닐에틸계	0.35	3.45	5.40
기타	2.40	14.00	23.20
합계	31.80	70.75	82.50

(Wood Mckenzie 사)

그 이후 유기 합성 제초제의 개발이 본격화되었는데 제초제 계통별 사용현황 및 전망을 보면 표 1 과 같다.

제초제 사용량 계속증가추세

표 1 에 나타난 결과는 현재 가장 많이 사용되고 있는 제초제의 계통을 알려 줄 뿐만 아니라 향후 5년간 제초제의 사용량은 계속 증가할 것이며 새로운 제초제가 많이 출현할 것이라는 사실을 암시해 주고 있다.

그러면 이들 새로운 제초제는 과연 어떤 조건들을 갖춘 것일까? 그리고 어떻게 개발된 것들일까? 이에 대하여 알아 보기로 하자.

1. 새 제초제 개발방향

작물보호를 위하여 농약을 개발하는 연구자들의 꿈은 무엇일까?

꿈이 지나쳐 망상이라 할 지 모르지만 “종자에 농약을 단 한 번만 처리하여 수확이 가능하도록 해보자”는 생각을 해 볼수도 있을 것이다. 언젠가는 이러한 꿈이 이루어져 파종기와 수확기계만 가지고 농사를 지을 수 있

는 날이 올지도 모르겠으나 여기서는 좀더 현실적인 생각을 해보자.

새 제초제의 개발목표는?

앞으로도 상당히 오랜 기간동안 또는 영원히 살충제, 살균제 및 제초제는 따로 사용해야 할 것이므로 가장 일반적으로 알려진 제초제의 추상적인 개발 목표는 ① 문제잡초에 약효가 탁월할 것. ② 작물에 약해가 없어 안전하게 사용할 수 있을 것. ③ 작물잔류 혹은 환경오염면에서 문제가 없을 것. ④ 가격이 비싸지 않을 것. ⑤ 사용하기가 간편할 것등으로 요약할 수 있을 것이다. 물론 이들 조건들은 제초제를 실제 상업화하는데 필요한 자원, 인력, 시장성, 사업권의 보호(특허, 등록 제도) 등은 고려하지 않은 기술적인 면에서만 본 조건들이다.

제초제 연구의 중점 과제들

한편 1985년 미국잡초학회 연구분과위원회에서 회원들을 대상으로 중점 연구가 필요한 과제의 우선순위를 조사한 바 있는데 그 결과는 다음과 같다.

- 새로운 생태적, 생물적, 비 화학적 잡초방제 방법의 발견

- 비경운 작물재배를 위한 더욱 효율적이고 경제적인 새로운 잡초방제 기술의 개발
- 제초제 및 그 대사 물질에 의한 수질 및 환경 오염을 막을 수 있는 새로운 기술의 개발
- 제초제 및 기타 잡초방제 기술에 대한 작물의 저항성을 증진시킬 수 있는 발전된 기술의 개발
- 과학자로부터 농가로의 기술보급 개선
- 경지 및 목초지에 있어서의 다년생 잡초를 방제할 수 있는 새로운 기술의 개발

오염 걱정없고 작물 안전하게

위에 기술한 잡초방제기술의 개발분야 또는 제초제가 갖추어야 할 구비조건을 다시 요약하면 “특정농업 조건하에서 환경오염의 위험이 없이 작물에 안전하게 사용할 수 있는 효과적인 제초수단의 개발”이 잡초방제 연구자에게 주어진 과제라 할 수 있다.

이중에서 약효 및 작물에 대한 안전성은 항상 기본적인 요건으로 새로운 제초제의 개발지침이 되어왔으나 최근 5년여사이에 심각한 문제로 대두된 것

이 환경오염 분야이다.

공해방지위한 개발 어려움 커

세계적으로 농약 중에서도 가장 많이 사용되고 있는 제초제는 필연적으로 토양, 지하수 및 표면수와 밀접한 관계가 있으며 막대한 사용량을 고려할 때 환경오염 및 이로인한 인류에 대한 독성여부에 지대한 관심을 갖게되는 것은 당연하다 하겠다. 일반적으로 농약을 관리하는 행정당국에서는 가능한 모든 조치를 동원하여 공해위험 요인을 극소화하려는 반면 새로운 제초제를 발명하고자 노력하는 사람들이 이를 모두 충족시키기에는 새로운 화합물의 개발이 지극히 어려운 상황에 봉착해 있는 것이 현실이다.

사업구조개편 기술개발 진력

이러한 제조 회사들의 어려움 때문에 최근 수년사이에 여러개의 작은 농약회사(상대적으로 규모가 작으나 국제적인 회사임)들이 흡수 또는 합병 되었으며 사업구조의 개편을 시도하고 있는 회사들이 있는 것으로 보아 그 심각성이 매우 큰 것으로 보인다. 그러나 아직도 농약산업의 주류를 이루고 있는 많은 회

사들이나 농약 연구자들은 새로운 문제의 도전과 시련을 극복하기 위해 기술개발에 진력하고 있으며 이들의 연구가 결실을 맺어감에 따라 독창적인 제초제의 개발도 차근차근 이루어질 것으로 믿어 의심치 않는다.

이제 새로운 잡초 방제기술을 개발하는 노력이 기울여지고 있는 방향을 단기 및 장기적인 면에서 검토해 보기로 한다.

2. 기술개발현황과 전망

오늘날 유용한 제초제를 발견해 낼수 있는 확률은 20,000~30,000분의 1에 지나지 않는다고 한다. 10년에 한가지의 새로운 제초제를 얻어내고자 한다면 매일 7~10종의 새로운 화합물을 합성해내야하는 계산이며 한 개의 새로운 제초제를 발견해내는데 소요되는 연구개발비의 투자는 최소한 3천만 달러(약 27억원)가 필요하다. 또한 제조시설투자를 위해 3천~5천만 달러(약 27억~45억원)의 추가 비용이 든다고하니 참으로 막대한 자금을 필요로하는 사업이다. 이렇게해서 개발된 제초제의 사업적인 성공여부는 10여년 사이의 시장변화에 따라 실패작으로 끝

날 수도 있으니 고도의 위험성을 안고 있는 것이 제초제를 포함한 농약의 개발이라 하겠다.

특정계통 제초제에 대한 전문성

새로운 제초제의 개발은 막대한 자본의 투자가 필요할 뿐만 아니라 사업상의 위험성마저 높기 때문에 일반적으로 세계 굴지의 대기업에 의해 이루어지고 있으며 사업상의 위험성을 극소화하고 효율성을 높이기 위해 각기 특정계통의 제초제 연구에 대한 전문성을 유지하고 있는 듯하다. 예를들면 시바가이기가사의 트리아진계 제초제, 웨스트사의 요소계 제초제, 몬산토사의 아세트아미드계 제초제, 듀폰의 설펀닐유레아계 제초제 등이 그 예이다. 그나마 이미 개발된 제초제들의 성능이 상당히 높은 수준에 달하여 새로운 제초제의 발견가능성은 매우 희박해져가고 있는 상황하에서 현재 세계굴지의 기업들이 당면하고 있는 사업상의 도전은 가히 심각하다고 할 수 있다.

따라서 향후 3~5년내에 효과를 거둘 수 있는 단기적인 연구와 10년이후를 생각하는 장기적인 연구로 나누어 우선 당면한 사업상의 어려움을 타개하면

서 독창적이고 우수한 새로운 잡초방제기술의 개발에 대한 투자를 계속하고 있다.

가. 단기적 연구

1) 혼합사용 및 혼합제개발

현재까지 570여종의 제초활성을 가진 물질이 알려져 있는데 그중에서 상업화된 제초제는 초기에 대부분이 단일 약성분으로 된 단제(單劑)로 개발되었다.

그러나 동일포장의 동일작물에 수년간 연용했을 때는 거의 예외 없이 그 제초제에 내성(耐性, Tolerance) 또는 저항성(抵抗性, Resistance)을 가진 초종이 우점을 하게 된다. 따라서 일정한 기간이상 반복사용하면 단일 약성분으로서의 제초제 효용가치가 크게 저하되므로 상호약효의 보완효과를 가진 제초제를 2종 이상 혼합하여 사용함으로써 각 제초제의 장점을 살리고 단점을 보완하는 효과를 거둘수 있다.

혼합사용으로 투자, 노력 절감

현재 이미 상업화되어 있는 제초제의 상당수는 특정작물에 고도의 선택성이 인정되는 것들이며 상승적(相乘的)이거나 상가적(相加的)인 제초효과가 인

정되는 제초제를 골라 혼합하여 사용함으로써 같은 효과를 가진 전혀 새로운 물질을 개발하는 투자와 노력을 절감하는 연구이다.

또한 이러한 시도는 이미 개발되어 있는 제초제에만 국한되어 있는 것이 아니라 새롭게 발견된 제초제의 경우에도 특이한 한두가지 장점만 가지고 있으면 단일약제가 아닌 혼합제를 개발함으로써 농가의 필요를 충족시킬 수 있다.

'80년 이후 혼합제시대 개막

우리나라 수도작 제초제의 경우에는 1980년이후에 이와 같은 혼합제의 개발이 본격화되어 이미 "혼합제시대"라고 해도 지나치지 않을 정도로 새로운 제품의 개발이 활발하며 발농사에 있어서도 같은 개념을 도입한 혼합제의 개발이 활기를 띠고 있다.

혼합제의 개발은 이미 알려져 있는 자원을 그대로 활용 하는 것으로 가장 짧은 기간에 경제적으로 우수한 제초제를 개발해 낼 수 있는 방법이다.

2) 극미량 활성물질 개발

잡초를 죽이는 기능이 지극히 강력하여 극미량(極微量)으로도

만족스러운 제초효과를 거둘 수 있는 물질을 개발하는 연구이다.

10여년 전부터 이미 선진국에서는 농약으로 인한 환경오염이 심각한 사회문제로 대두됨에 따라 여러회사가 단위면적당 사용약량을 현저히 줄일 수 있는 물질의 개발에 착수한지 오래여서 그 결과가 벌써 나타나고 있으며 가까운 장래에 더 많은 종류의 새로운 물질이 출현할 것으로 기대된다.

사용약량 줄이고 약효는 크게

종래 제초제는 헥타아르 (ha) 당 보통 최소 한도 1킬로그램 (kg) 이상의 성분량이 소요되었으나 새롭게 개발된 제초제는 불과 10~60그램 (g)의 성분량으로 제초효과를 발휘할 수 있는 것들이다. 몇가지 예를들면 듀폰사와 닛산화학의 설포닐 유레아계 제초제와 몬산토사의 피리딘계 제초제등이 있다.

3) 해독제 · 보호제의 개발

제초제의 해독제 (Antidotes, Safeners, Plant protectants, Antagonists, Contratotoxicants 등은 동의어임)는 특수화합물을 작물종자에 처리 함으로써 제초제로

부터 작물을 보호 할 목적으로 쓰이는 물질이다. 해독제를 사용하여 제초제의 작물에 대한 약해를 경감시킬 수 있다면 제초제를 사용할 수 없던 작물이 안전하게 보호를 받아 제초제의 사용이 가능해진다는 개념이다.

해독제 개발로 적용작물 확대

이제까지의 연구 성과는 단작업 작물에 대해 특정 제초제의 해독제가 개발되어 일부 실용화되고 있으나(알라클로르의 마일로에 대한 Flurazole 해독제) 그 작용기작이 밝혀지지는 않은 것 같다. 이와같은 해독제의 작용기작이 분명히 구명된다면 쌍작업 작물을 대상으로한 제초제 해독제 개발에 크게 기여할 것으로 생각되며 결과적으로 이미 개발되어 있는 제초제의 효용성을 확대하는데 도움이 될 것이다.

제초효과 지속으로 경제성 증대

또한 일부 카바메이트계 제초제는 토양내에서의 제초활성 지속기간이 지나치게 짧은 결점이 있다. 이러한 제초제의 경우에는 제초제 성분을 분해하는 토양미생물의 활동을 저해하는 물질을 처리함으로써 제초효과 지속기간을 연장시키고자 하는 것

이 제초제 보호제(Protectants 또는 Extenders)의 개념이며 여기에서 기대되는 효과는 장기간 잡초방제를 가능케 하여 제초제 사용의 경제성을 증진시키는 것이다.

4) 제제 형태의 개발

동일한 성분의 제초제를 제제 형태를 달리하여 원제품을 제조함으로써 제초제의 안전성, 경제성, 약효지속기간의 연장 등을 도모하고자 하는 연구이다.

많은 제초제의 경우에 토양내에서의 제초효과 지속기간이 약제의 특성으로 제한되는 것들이 있는데 이러한 제초제의 약효지속기간을 연장시키고자 하는 연구가 진행중에 있으며 실용화된 제품들도 있다. 예를들면 몬산토사에서 개발한 라쏘마이크로테크는 알라클로르 제초제 성분을 현미경으로나 볼 수 있는 극히 미세한 캡슐에 넣어서 제형화한 것이다.

기존제품 개량 부수효과 기대

여기에 사용된 기술은 마이크로 인캡슐레이션(Micro-encapsulation)이라는 기술로서 제초제가 토양에 처리된 이후에 약성분이 서서히 방출됨으로써 약

효 지속기간의 연장효과 이외에 유실방지, 작물에 대한 약해 경감, 환경에 대한 공해감소, 사용자의 약제에 대한 피부노출감소 등의 복합적인 효과가 있다. 획기적인 새로운 약효를 기대하기 보다는 기존 제품의 제형을 개량함으로써 짧은 기간내에 약효 증진, 기타 부수적인 효과를 기대하는 연구로서 유효제가 필요 없는 수용성 제제의 개발등과 함께 가까운 장래에 실용적인 기술개발이 기대되고 있다.

5) 살포기구의 개발

제초제 자체의 개발 못지않게 중요한 의미를 갖는 것이 살포기구의 개발에 대한 연구이다. 몇가지 연구성과를 예로들면 약제를 희석하는 물의 양을 극소화할 수 있는 극미량 살포기구(Ultra-low volume sprayer), 이행성 제초제의 경제적인 사용을 위한 로프 위크(Rope wick), 경엽 처리형 제초제를 위한 재순환 분무기(Recycle Sprayer), 미량의 제초제 주입을 위한 도끼(Hypo-Hatchet), 약액이 분무되는 과정에서 기포를 형성 하여 균일 살포를 확인할 수 있는 노즐, 분무입자의 비산방지를 위한 노즐(Driftless Nozzle) 등

창의적인 아이디어를 활용하여 제초제 사용의 효율성을 높이고 자 개발된 기계, 기구는 헤아리기 힘들 정도이다.

나. 장기적 연구

1) 생물적 방제수단의 개발

생물을 이용하여 잡초를 방제하는 방법으로는 ① 곤충을 이용하는 경우, ② 식물 병원균을 이용하는 경우와 ③ 어패류를 이용하는 경우로 그 가능성을 구분할 수 있을 것이다. 생물적인 잡초방제에 대한 연구는 1900년대 초에 비롯되었으며 몇 가지 성공적인 사례도 보고되어 있다.

좀벌레이용하여 선인장 제거

곤충을 이용하여 성공한 사례의 하나는 관상식물로 호주에 도입된 선인장의 일종이 잡초로 경지를 침해하여 한때 3,000 만 헥타아르의 면적에 만연 하였으며 이의 방제를 위해 아르헨티나로부터 좀벌레의 일종을 도입하여 커다란 성공을 거둔 사례가 있었는데 필자가 1979년에 호주를 방문 했을 당시 직접 현장을 목격한 바 있다.

병원균 포자 살포로 자귀풀 방제

식물병원균을 이용한 사례의 하나는 미국 아칸소주에서 자귀풀 방제를 위하여 현지에 자생하고 있던 콜레토티리쿰 곰팡이 (*Colletotrichum gloeosporioides*(penz.) Sacc. f. sp. *aeschyomenes*)의 살아있는 포자를 살포하여 성공을 거둔 경우이다. 1969년에 시작된 연구결과 업존 회사에서 1982년에 콜레고(Collego)라는 상품명으로 판매하기에 이르렀다. 지난 14년동안 이 균이 시험되었으나 일체의 부작용이 발견되지 않았으며 실제 사용상의 문제점도 없었다고 한다.

취급·증식 등 과제 해결돼야

한편 어패류를 이용하는 사례로서는 초어 또는 특수한 종류의 달팽이가 실용화 또는 연구, 검토되고 있다. 곤충이나 어패류를 이용하는 경우에는 취급이 곤란하고 증식하는데 커다란 어려움이 있을 뿐 아니라 유용식물에도 가해할 수 있는 위험성이 크다고 보겠다. 한편 식물병원균의 경우에는 취급이 극히 용이하고 타농약과 같이 살포가 가능하며 증식이 쉬운 장점이

있으나 특정지역에 자생하고 있는 균을 찾아내야하는 어려움이 있고 균의 활력을 증진유지시키는 방안, 대상잡초의 범위를 넓힐 수 있는 방안등에 대해 앞으로 많은 연구가 이루어져야 할 것이나 몇가지 성공적인 사례들은 장래의 가능성에 대한 기대를 갖게 하기에 충분하다.

2) 타감작용의 이용

상호대립 억제작용 또는 타감작용은 식물군락에서 흔히 관찰되는 것으로서 식물체내에서 생성된 물질이 다른 식물의 발아와 생육에 영향을 주는 생화학적 상호 작용을 말한다. 이러한 작용에 관여하는 물질은 여러가지 이름(Allelopathins, Allelochemicals, Allelopathic toxins 등)으로 불려지는데 이와같은 물질을 찾아내어 제초제로 이용하고자 하는 시도이다. 이 분야에 대한 연구는 근년에 들어 대단히 활발한 데 대립 억제 작용은 생장조절 물질의 기능과 비슷하게 나타나며 이러한 작용이 있다고 보이는 잡초 로서는 쇠털풀, 개구리밥, 조류, 강아지풀, 미역취등이 연구대상으로 되고있다.

식물체 생성물질, 제초제로 이용

한편 최근 미국 몬산토사에서 대립억제 작용을 조사하는데 효율적으로, 그리고 종래 식물생육을 실측조사하는 방법보다 훨씬 빠르게, 신빙성이 있는 정보를 얻어낼 수 있는 수학적인 모형(Model)을 1985년도 미국화학학회에 보고한 바 있다. 일반적으로 대립억제 작용에 관여하는 화합물은 그 종류가 대단히 많은 것으로 추정되므로 실용화를 위해서는 많은 연구가 필요하다. 그러나 이미 여러가지 잡초에서 대립억제 작용이 관찰, 보고되고 있으므로 우선 생태적인 방제에 이용이 가능하게 될 날도 멀지 않을 것으로 본다.

3) 생명공학과 제초기술

생명공학은 21세기 문명의 꽃이라 일컬어질 만큼 큰 기대를 모으고 있는 첨단기술로서 현재 최소한 200여개의 회사가 전세계에서 사업화를 위한 연구에 몰두하고 있다고 알려져 있다. 조직배양, 세포융합, 유전자 조환(組換)의 3 단계로 흔히 요약되는 생명공학 기술을 이용한 최근의 연구결과를 몇가지 살펴보기로 하자.

세균 유전자조작, 독물질 분해

1981년 미국 일리노이 대학교의 차크라바티(Chakrabarty) 박사팀은 토양중에 있는 수도모나스균(*Pseudomonas cepecia*)의 플라스미드(Plasmid)를 이용한 분자유종 기술에 의해 고엽제로 쓰이는 2, 4, 5-T의 분해능력이 매우 높은(98%를 1주일 이내에 분해함) 균주를 얻는데 성공하였다. 이 연구결과는 기타 토양중의 유독물질 또는 환경오염물질의 분해를 위해 세균의 플라스미드의 유전자조작이 효과를 볼 수 있다는 점을 시사하는 것으로 주목을 받고 있다.

세포융합으로 생산성 향상

한편 스트렙토마이세스균(*Streptomyces hygroscopicus*)에서 생성되는 제초제인 비알라포스(Bialaphos)를 발견한 일본의 메이지세이카회사는 1983년에 변이균주의 세포융합에 의해 제초제의 생산성을 20~30% 향상시키는 개가를 올렸다.

제초제 저항성작물 육종에 주력

또하나 잡초방제 기술과 관련된 생명공학 기술분야는 제초제

에 저항성을 가진 작물을 만들어내는 연구이다. 제초제에 대한 식물의 저항성이 처음 보고되기는 불과 20여년 전의 일이었으나 그동안 여러가지 제초제에 대해 수많은 식물의 저항성 발현이 조사, 보고되어 왔다.

혁신적인 비선택성 제초제가 등장하고 생명공학 기술의 실용화 가능성이 높아짐에 따라 제초제에 대한 저항성을 가진 작물을 창출(創出)해 보려는 노력이 여러 회사에 의해 진행되고 있다. 듀폰회사는 자사에서 개발한 설포닐유레아계 제초제를 써서 조직배양 기술을 이용하여 그 제초제에 저항성이 있는 담배개체를 선발해 내는데 성공하였으며 몬산토회사와 칼젠회사는 유전자 조환기술에 의해 글라이포세이트 제초제에 저항성이 있는 담배개체를 창출하는 연구에 커다란 진전을 보고있는 것으로 알려져 있다.

가장 첨단과학이라는 생명공학을 이용하여 제초제 특히, 비선택성 제초제에 저항성이 있는 작물이 탄생되어 그야말로 잡초는 전혀없는 작물재배가 가능하게 될날을 기대해 보는 것도 무리는 아닐 것이다.