

사용량 줄이고 사용폭은 넓힌다  
 품줄이고 사용간편한 신제형 개발연구도 활발

# 환경보전형 저독성농약 개발에 초점



농산물의 생산 및 품질을 저해하는 가장 큰 요인 중의 하나가 농작물 재배 중에 발생하는 병해충 및 잡초에 의한 피해이며 농작물 재배에 있어서 가장 힘든 일 중의 하나가 제초작업이다. 한여름 무더운 퇴약벌 아래서 논밭에 발생하는 잡초를 손이나 호미로 뽑아내는 김매기야말로 중노동이

아닐 수 없으며 불과 20여년 전까지만 해도 이같은 일을 매년 되풀이 해 왔던 것이다. 그러나 1970년대부터 경제사회적인 발전에 따라 제초제를 이용한 잡초방제방법이 주방제수단으로 변화되면서 제초제의 종류도 다양해지고 있다.

〈표1〉  
 최근 들어 농업기술의 발달과 재배법 변천에 따라 농경지잡초의 발생 양상도 매우 다양하게 변화되고 있고, 농촌에서는 노동력 감소로 인한 일손부족과 노임상승으로 영농부담이 가중되고 있으며, 농민들은 농산물 수입자유화에 대응할 수 있는 생산비 절감형의 고품질 안전농산물 생산기술 개발보급을 필요로 하고 있다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위한 새로운 농약개발의 필요성이 절실히 요구됨에 따라 인축에 해가 없고 자연환경에서 쉽게 분해

되는 환경보전형 저독성농약과 적용작물에 약해가 없고 여러 종류의 잡초를 동시에 효과적으로 방제할 수 있는 사용간편한 안전생력형 농약개발에 대한 연구가 국내는 물론 최근 선진각국에서도 활발히 진행되고 있기에 이에 대한 연구동향과 앞으로의 제초제 개발전망을 피력하고자 한다.

## 1. 국내의 제초제 시장 현황

세계의 농약시장은 1960년 총매상고가 8.5억불이었던 것이 1970년에는 27억불로 10년간 약 3.2배 증가되었으며 1980년에는 116억불로 1970년에 비하여 약 4.3배의 높은 신장을 보였으나 1990년에는 264억불로 10년간 약 2.3배로 증가추세가 다소 둔화되었다. 그러나 제초제시장은 1960년에 점유율이 20%에 불과하였으나 급신장되어 1970년에

표1. 작목별 잡초방제에 의한 수량 증대효과

(81~90 농약년)

구 분	벼	보리 (番薯作)	콩	옥수수	땅콩	감자	고추	양배추	양파	당근
무방제구 감수율(A)	30.5	20.0	50.3	32.0	38.4	30.0	17.2	33.0	40.6	46.0
방제구 감수율(B)	4.3	1.5	15.7	5.4	3.9	7.1	5.6	6.0	17.7	8.0
증수효과(B-A)	26.2	18.5	34.6	26.6	34.5	22.9	11.6	27.0	22.9	38.0

표2. 세계의 제초제농약 계통별 매출액 현황

(단위: 100만 \$)

약제별	년 도	1992	1990	'92~'90 신장률	1995 (추정)	'90~'95 신장률
Triazines		1,235	1,730	1.9	1,485	-3.0
Amides		495	1,250	5.3	1,100	-2.5
Carbamates		590	1,060	3.3	1,030	-0.5
Ureas		770	840	0.5	730	-2.8
Toulines		420	830	3.9	730	-2.5
Hormones		610	660	0.4	540	-3.9
Diazines		65	750	14.6	710	-1.1
Diphenyl Ethers		50	590	14.7	680	2.9
Sulfonyl Ureas		-	530	-	1,085	15.4
Imidazolinones		-	435	-	730	11.0
기 타		345	2,950	12.7	4,260	7.6
계		4,580	11,625	5.3	13,080	2.4

표3. 국내 주요 제초제의 연대별 출하량 순위 및 사용량

구분	출하량 단 위	1970	1975	1980	1985	1990
논 잡 초 약	1	PCP (60)	마세트 (843)	마세트 (1,687)	마세트 (1,560)	마세트 (1,018)
	2	파무콘 (19)	T.O.K (667)	사단 (291)	사단 (267)	푸마시 (332)
	3	T.O.K (13)	사단 (61)	하이탁크 (217)	노노플 (173)	만드리 (214)
	4	Sweep (3.5)	스텝 (34)	엠오 (63)	푸마시 (150)	노노플 (160)
밭 잡 초 약	1	마세트 (62)	마세트 (106)	라쏘 (202)	라쏘 (500)	라쏘 (712)
	2	라쏘 (23)	그라목손 (37)	마세트 (118)	마세트 (77)	마세트 (83)
	3	그라목손 (15)	탁크 (23)	이그란 (19)	씨마진 (21)	스토프 (71)
	4	-	라쏘 (2.3)	엠오 (12)	엠오 (20)	데브리놀 (27)

( ) : 유효성분 출하량 M/T

35%의 높은 점유율을 나타내었고 1990년에는 44%의 점유율을 보임으로써 제초제의 중요성이 새롭게 인식되었다.

우리나라에 있어서도 1970년에 농약 총매출액 69억원중 제초제의 점유율이 12%에 불과하였으나 그후 살균제와 살충제는 점유율이 다소 감소한 반면 제초제시장은 1990년 총매출액 3,536억원 중 제초제의 점유율이 28%로 나타났으며 앞으로도 제초제의 시장점유율은 점진적으로 증가될 것으로 예상된다.

세계적으로 볼 때 1990년 주요 작물별 제초제사용 매출액은 밀이 23.8억불로 가장 많고 그 다음이 옥수수 > 과수·채소 > 콩 > 벼 > 사탕무 > 면화 > 유채 순이며 이들 작물이 전체 매출액의 83%를 차지하고 있다. 계통별로 볼 때는 트리아진계, 아미드계와 카바마이트계의 제초제 매출액이 가장 많으며 최근 설펜닐우레아계와 이미다졸리논계 제초제의 신장률이 급속히 높고있다. <표2>

우리나라의 경우 논잡초약으로는 1970년대부터 마세트의 사용량이 가장 많고 다음이 푸마시 > 만드리 > 노노플 > 밧사그란 순이며 밧잡초약으로는 라쏘 > 마세트 > 스토프 > 데브리놀 > 씨마진 등의 제초제가 대부분을 차지하고

표4. 연대별 세계의 농약개발 품목수

구 분	'71~'75	'76~'80	'81~'85	'86~'90	계
살 균 제	18	7	19	14	58
살 총 제	19	7	16	23	65
살 균 살 총 제	0	2	0	0	2
제 초 제	20	14	18	21	73
생 장 조 정 제	4	8	9	4	25
기 타	5	3	8	7	23
계	66	41	70	69	246

표5. 논잡초 방제용 제초제의 제형별 사용방법에 따른 노동절감효과 비교

약 제	사용량 (10a)	처리방법	처리시간 (분/10a)	방제가 (%)	노동절감 효과
액상수화제	500ml	물꼬처리	5	92	83%
입제	3kg	손뿌림	30	95	0

있다. <표3>

특히 논잡초약의 경우 일년생 및 다년생잡초의 동시방제를 위한 일발처리용 제초제의 사용량이 증가되고 있는 추세이다.

## 2. 최근 제초제의 개발 동향

그동안 제초제의 개발은 식량작물 위주의 잡초방제에 편중되었기 때문에 소득작물용의 다양한 제초제 개발과 재배양식의 다양화에 따른 사용 간편하고 사용폭이 넓은 제초제의 개발이 미흡하였다. 일년생 제초제의 연용에 의한 다년생 잡초의 우점 현상과 대부분의 제초제가 잡초 발아전 토양처리제로 제초제의 사용적기 선택폭이 좁은 문제점도 있다. 또한 제초제는 이상기상, 유묘이앙 등 특수

여건하에서 약해 발생의 우려가 있고 오용에 의한 약해발생이 빈번하기 때문에 제초제 사용시 제한 조건이 많아서 사질답, 누수답 등 불량환경 조건에서 안심하고 사용할 수 있는 제초제의 개발이 시급한 실정이다.

그러므로 새로 개발되는 제초제는 우선 인축 및 환경에 안전하고 가격이 저렴해야 하며 약효가 우수해야 함은 물론 그 효과가 지속적이어야 한다. 불량환경하에서도 작물에 약해가 없고 사용 간편하며 노력절감 효과가 뛰어나야 한다. 또한 작물과 잡초간에 선택성이 높은 광지역에 사용할 수 있는 사용적기 폭이 넓은 약제라야 한다.

새로운 유기합성 농약의 개발은 합성으로부터 약효 약해시험 및 안

전성 평가를 거쳐 등록에 이르기까지 약 10~12년의 기간이 걸리며 개발비용에 있어서도 300~400억원이 소요되고 그 확률에 있어서도 2만분의 1 정도로 농약에 대한 안전성이 강화되면서 더욱 어려워지고 있다.

세계의 유기합성 농약 개발현황을 보면<표4> 1971년부터 1990년까지 20년간 총 246개 농약중 73개 화합물이 제초제로 개발되었다. 최근 제초제의 개발동향은 유기합성제초제 개발의 경우 사용약량면에서는 설폰닐우레아계 등 저약량의 고도 선택성 제초제의 개발 및 사용량 절감에 대한 연구가 진행되고 있는데 이는 농약의 생산, 유통, 수송, 저장시의 비용은 물론 사용노력 절감의 측면에서 획기적인 일이라 할 수 있다.

또한 난방제잡초를 방제할 수 있는 전문약제의 개발과 여러 종류의 잡초를 동시에 방제할 수 있는 일발처리용 제초제를 개발 중에 있으며 그중 일부약제는 이미 실용화되고 있다.

사용방법의 측면에서는 농작물 재배중에 폭넓게 사용할 수 있는 경엽처리용 제초제 개발에 대한 연구가 진행중에 있으며 노력절감을 위하여 비이앙과 동시에 사용할 수 있는 이앙기 처리 액상수화제, 관개시에 물꼬에 처리할 수

표6. 살초활성물질의 제초제 연구개발동향

개발자	기원 (생산균)	물질명	대상 잡초	개발년도
Nickell 등	<i>Streptomyces griseus</i>	cycloheximide	광엽 및 화본과 잡초(논, 밭)	1954
Yamada	<i>Streptomyces</i> sp.	methoxyphenon	일년생 광엽잡초 및 피(논, 밭)	1972
Yamada 등	<i>Streptomyces</i> sp.	anisomycin	일년생 광엽잡초(논, 밭)	1972 (실용화)
Yamada 등	<i>Streptomyces toyocaensis</i>	toyocamycin	일년생 광엽잡초(논, 밭)	1972
메이지제과	<i>Streptomyces hygrosopicus</i>	bialaphos	일년생 광엽잡초(과수원, 뽕밭, 비농경지)	1973 (실용화)
Arai	<i>Streptomyces saganonensis</i>	herbicidin	광엽 및 화본과 잡초에 선택적 작용(논)	1976
Omura	<i>Streptomyces hygrosopicus</i>	herbimycin	광엽 및 화본과 잡초에 선택적 작용(논)	1979
Omura	<i>Kitasatosporia phosalacinea</i>	phosalacine	광엽잡초(밭)	1984

있는 Flowable제, 논둑에서 뿌릴 수 있는 고형의 Jumbo제 등이 이미 개발되었거나 시험중에 있다. <표5>

이외에 비료농약혼합제나 제초제 함유 비닐피복제 개발에 대한 연구도 진행중에 있다. 제초제 함유 비닐피복제가 개발된다면 비닐 멀칭재배를 하는 밭작물의 경우는 제초제를 살포하는 작업이 생략되므로 농업생산비가 크게 절감될 것으로 기대된다.

선진 외국에서는 유기합성 농약의 사용으로 인한 부작용을 해소하기 위한 방안으로 생물적방제 연구에 주력하고 있다. 생물적 방제의 경우 연구개발전략으로는 유전공학적인 기법을 이용한 작물개발, 미생물 생산 제초활성물질의 개발, 잡초병원미생물의 직접이용 방법으로 분류되고 있다.

생물공학기술을 이용한 제초제 내성작물 개량연구는 특정제초제에 저항성을 가지는 유전자를 미생물로부터 분리하여 이 유전자를 작물체내에 삽입시킴으로써 작물체가 그 특정 제초제에 대하여 내성을 가지게 되는 것이다.

그러므로 제초제 내성유전자를 받아들인 작물을 재배하는 기간중에 그 제초제를 살포함으로써 제초제에 내성을 갖는 작물에는 해가 없이 잡초를 효과적으로 방제할 수 있는 기술이다.

항생물질 제초제 개발연구는 미생물이 생산하는 대사산물중 제초활성을 갖는 물질을 분리 정제하여 제초제로 개발한 농약으로 우리나라에서는 Bialaphos 수용제가 비선택성 과원잡초약으로 고시 사용되고 있다.

연구접근방법으로는 미생물을

탐색하여 살초활성을 검정한 다음 유효성분을 분리추출하여 야외포장 시험과 안전성평가를 거쳐 특허출원과 동시에 제제화시험과 개발등록을 하게 되는데 이에 대한 연구동향은 <표6>에서 보는 바와 같다.

미생물제초제의 개발연구는 잡초에 병원성을 가지는 병원 미생물을 직접 제초제로 개발이용하는 방법으로 개발과정은 방제대상잡초를 결정하고 병원균을 수집하여 효과 및 특이성을 평가한 다음 포자나 균사의 대량생산과 포장시험에서 효과와 작용특성을 확인하고 제제화 과정을 거쳐 특허 등록을 한 후 시장에 공급하게 된다.<표7>

### 3. 새로운 제초제의 개발전망

농작물 재배기술의 발달과 잡초의 발생양상 그리고 그 시대의 사

회경제적 상황에 따라 농약의 개발성향도 변화되기 마련이다. 식량이 극심하게 부족하였던 1960년대에는 작물의 생산성을 높이기 위하여 병해충 방제에 있어서 농약에 의존하다보니 자연적으로 농약을 편중사용하게 되었고 따라서 약효가 우수한 농약의 개발에 중점을 두게 되었다. 그후 식량난이 점차 해결되고 경제적인 여건이 좋아짐에 따라 건강에 대한 관심이 높아지면서 고품질의 안전한 농산물을 찾게 되었다. 따라서 인체에 안전하며 독성이 낮고 농산

물중에 농약성분이 잔류하지 않는 이분해성(분해가 잘 되는) 농약을 필요로 하게 되었다. 그러나 최근 들어 자연환경의 보전과 대기오염의 방지는 물론 농업생태계의 유지보전을 위한 병해충의 종합관리 개념이 도입되면서 앞으로의 농약은 초미량 살포로 고도의 선택성을 지닌 유기합성 농약과 함께 자연에 존재하는 유용한 부존자원을 개발 이용한 생물농약의 개발이 더욱 활발히 진행될 것으로 본다.

유기합성 농약의 개발은 저독안전한 작용특이성이 있는 농약으로

극미량의 사용으로도 약효가 우수하고 농작물이나 자연상태에서 오랫동안 존재하지 않는 분해가 빠른 약제이어야 하고 저항성 유발이 비교적 적은 여러 잡초에 광범위하게 적용 가능한 농약이 바람직하다고 본다. 그러므로 최근에 개발보급이 확대되고 있는 Sulfonyl Urea계의 경우 같이 선택성이 높고 소량사용으로도 약효가 우수한 약제의 개발이 당분간 지속될 전망이며 작물과 잡초간의 선택성이 우수하여 작물생육기에도 안전하게 사용할 수 있는

표7. 미생물을 이용한 미생물 제초제 개발현황

병원진균	적용 대상 잡초	제품명	제조회사	약효 및 기타
<i>Phytophthora palmivora</i>	Strangler vine in orange field	Devine	Abbott (1981) (미국)	방제가 100% 5년간 약효지속
<i>Collectorichum gloeosporioides</i>	Northern jointvetch	Collego	Ecogen (1982) (미국)	0.21/acre \$ 8.0/acre 방제가 93~98%
	Persimmon trees	Persimmon wilt	Noble Foundation (미국)	
<i>Chondrostereum purpureum</i>	Wild blackberry	Silver leaf	Koppert (네덜란드)	방제가 100%
<i>Collectorichum orbiculare</i>	Spiny cockleburr Xanthium sinosum	Burr Anthracuol	Austrlia Licinensing to sandoz co, Philom Bios (캐나다)	호주에서 등록 (1992년)
<i>Collectorichum gloeosporioides</i>	Round-leavea mallow in letil, flax, wheat field	Biomal	Philom Bios (캐나다)	캐나다에서 등록 (1992년)
<i>Puccinia amaliculata</i>	Yellow nutsedge in rice field	Puccinia spore	미국에서 등록	(1992년)

자료: First International Weed control Congress 1992, Melbourne, Austrlia

표8. 생명공학이용 농업시장 전망(미국)

년 도	1991	1996	2001	년성장률(%)
매출액(백만\$)	60	400	2,000	42

-유전자 조작 미생물 및 작물에 대한 관련법규 제정과 평가시설완비

고도 선택성의 이미다졸리논계 등의 제초활성물질에 대한 개발연구가 기대된다.

농약 신제형의 개발은 사용간편하고 인축 및 환경에 안전한 제형, 살포노력이나 작업을 가능한 생력화할 수 있는 약제, 또한 농작물 재배기술의 발달에 알맞는 기계화 살포제형 개발과 아울러 약제살포 횟수를 줄일 수 있도록 동시방제용 혼합제나 한번처리로 작물재배중에 잡초를 지속적으로 방제할 수 있는 제형이 이상적이라고 본다.

기존의 주요한 농약 제형중에서 유제는 사용하는 유기용제에 의한 독성, 인화성, 약해유발 등 단점을 내포하고 있어 이를 대체할 수 있는 유탁제, 유현탁제, 고상유제에 대한 개발이 기대되고 있다. 수화제는 살포액 조제시 적량의 평량이 곤란하므로 액상수화제로 제제함으로써 주성분의 사용량을 감소시키고 약효를 증진시킬 수가 있다. 또한 수화성 입제로의 제제는 취급시 분진에 의한 중독 위험을 배제할 수가 있고, 분제는 살포시 비산에 의한 환경오염, 약효

저하의 우려 등을 해소하기 위하여 미립제나 저비산 분제의 개발이 증대될 전망이다. 입제의 경우는 사용이 간편한 장점이 있으나 단위 면적당 주성분 투하량이 많은 관계로 약제비용의 상승, 환경에의 부작용 증대 등의 문제점을 수반하므로 의약분야에서 실용화되어 있는 것과 마찬가지로 주성분 방출조절제가 농업분야에서도 연구 개발될 전망이다.

유효성분 방출조절제의 특징은 약효지속기간이 길고 휘발, 유실에 의한 농약손실을 극소화하며 광이나 미생물에 의한 분해지연과 원제의 부작용(독성, 약해, 약취 등)을 최소화할 수 있을 뿐만 아니라 반응성 저하로 혼합제 적용범위를 확대할 수 있는 장점이 있다.

생물농약의 개발은 유용생물자원을 직접 이용하거나 미생물 대사산물 또는 대사산물 중에서 선도물질을 찾아 유도체를 합성하여 농약으로 개발하는 방법 그리고 식물로부터 농약성분을 추출하여 이용하는 방법이 있으며 이외에도 생명공학기법을 응용하여 제초제

에 대하여 저항성인 유전인자를 작물체내에 삽입시켜 잡초의 피해를 방제하는 방법의 연구가 더욱 활발히 진행될 것으로 믿는다.

지금까지 개발사용중인 농약의 대부분은 유기합성에 의한 농약이었으나, 최근 생물을 이용한 농약 개발의 성공과 이제까지의 문제점으로 대두되었던 농약중독, 잔류독성, 생태계 파괴 등에 대한 해결 가능성이 보이므로써 생물을 이용한 생물농약이 각광을 받게 되어 여러나라에서 개발에 역점을 두고 있는 실정이다.

앞으로는 생물신소재나 생명공학기법을 이용한 제초제의 개발이 점진적으로 증가될 것이다. <표8> 금후의 제초제는 저약량으로도 고도 선택성을 가지며, 사용적기 폭이 적고 작물에 약해가 없으며, 약효가 우수한 약제이어야 할 것이다. 또한 여러가지 잡초를 동시에 방제할 수 있는 약제와 아울러 특정잡초를 방제할 수 있는 전문 약제의 개발이 요구된다. 작물재배양식의 다양화에 따라 광범위하게 사용할 수 있는 생력형 약제가 개발되어야 할 것으로 생각한다.

**농약정보**