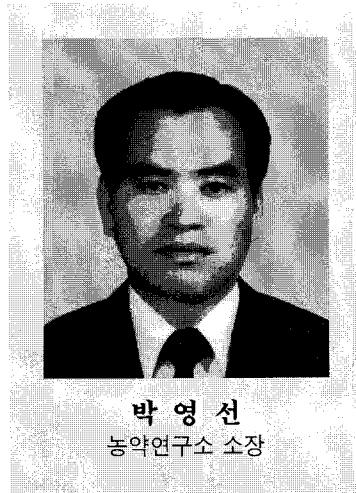


우리나라 저독성농약 개발현황과 전망

농 약은 농작물 재배시에 발생하
는 병해충과 잡초를 효율적으
로 방제하여 수량을 증대시켜줄 뿐
아니라 농산물의 품질향상, 수확시
기조절과 농작업의 생력화를 위하여
매우 큰 비중을 차지하는 영농의 필
수자재이다. 그러나 농약의 개발은
국내기술의 낙후성과 과다한 개발비
용 때문에 일부 농약원제의 국내 복
제 생산을 제외하고는 그 대부분이
선진외국에서 개발한 약제를 도입
선발하여 사용하고 있는 실정이다.
또한 1987년 7월부터 물질특허 제도
가 시행됨에 따라 외국 개발농약의
국제적인 복제생산이 불가능하고 고
액의 기술료를 지불해야만 국내생산
이 가능하기 때문에 현재 77%정도
를 유지하고 있는 원제농약의 국내
자급도가 떨어지고 농약의 생산가격
이 상승할 가능성이 높아지고 있다.

또 한편으로는 농업기술의 발달
과 더불어 경지의 고도 활용은 물론
재배되는 작물의 품종이 다양화되고
다비재배나 밀식재배의 보편화, 그
리고 시설재배에 의한 작물의 년중
재배가 이루어지고 있을 뿐만 아니
라 수입개방화에 따라 과거에 문제
가 되지 않았던 새로운 병해충들이
발생 전파되어 피해를 주고 있는 경
우가 있다. 따라서 이러한 병해충과
잡초를 효율적으로 방제하기 위해
서, 또 농산물을 이용하는 소비자들
이 농약의 독성이나 잔류성등 안전
성을 우려하는 민감한 반응을 보이
고 있는 현실을 감안할때 저독성 농
약의 개발보급은 시급한 과제가 아
닐 수 없다.



박 영 선
농약연구소 소장

1. 새로운 농약의 개발

하나의 새로운 농약을 개발하기 위
해서는 먼저 1만~2만개의 유망화합
물을 합성하고, 합성한 화합물의 활
성을 확인하기 위하여 병해충 및 잡
초에 대한 약효시험, 작물에 대한

약해, 인축에 대한 독성, 농산물이
나 환경중에서의 잔류성 등에 미치
는 영향등 10여년에 걸쳐 수많은 시
험을 거쳐야 하므로 개발확률도 매
우 낮으며 이에 투자되는 개발 비용
도 막대하다. 따라서 새로운 화합물
합성에 의한 농약개발은 극히 제한
되고 있고 많은 어려움이 뒤따르고
있어서 세계적으로 새로이 개발되는
신농약의 수는 1년에 10여종 내외로
알려져 있다. 작물보호를 위하여 사
용되어온 농약은 시대적인 요구에
따라 끊임없이 변천 발전되어 왔다.
표적생물에 대한 약효가 중시되어오
던 1960년대까지는 주로 무기 또는
독성이 강한 유기합성 농약이 주종
을 이루어 왔으나, 유기합성 화합물
에 의한 농산물의 오염과 환경에 대
한 부작용등 안전성 문제가 제기되
면서부터 분자구조의 설계 또는 미

그림1. 농약의 개발추이

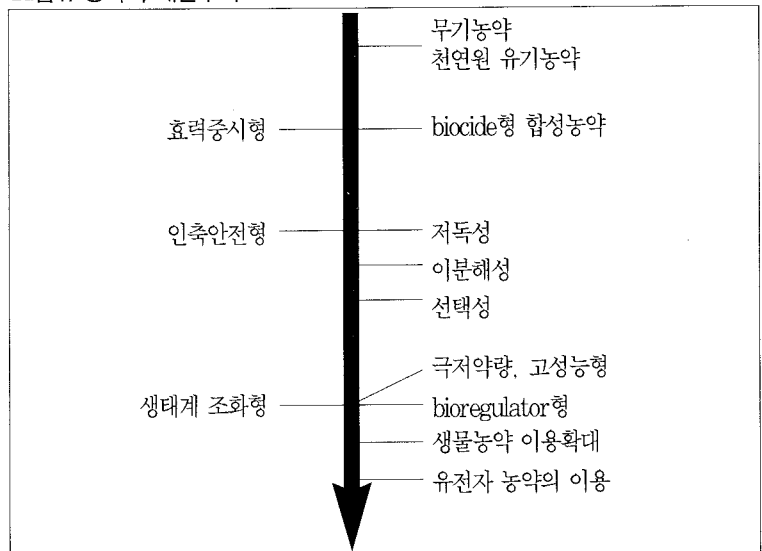


표1. 저독성 농약 개발 보급현황

| 구분 | 종류 | 주요품목 | 독성정도(LD50mg/kg) |
|--------|--------------------------------|---|--|
| 식물성 농약 | 합성제충국제 | 델타린등 36종 | 보통독성(712이상) |
| 미생물 농약 | 항생물질제 세균제 | 농용신등 11종 비티 | 보통독성(1,000이상) 보통독성(1,000이상) |
| 안전성제형 | 미립제 미분제 과립혼연제 캡슐제, 기타 | 비티등 3종 프로파등 3종 비펜스린등 3종 아시트 등 5종 | 보통독성(500이상) 보통독성(500이상) 보통독성(500이상) 보통독성(500이상) |

표2. 식물성분 기원 농약

| 식물자원 | | 유효성분 | 개발농약 | |
|------|------|------------------|---|------------------------------------|
| 살충제 | 카라발콩 | Physostigmine | Carbamates 카바릴 카보후란 프로폭사 | 페노부카브 이소프로카브 카보셀판 |
| | 제충국 | Pyrethrine | Pyrethroids 퍼메스린 사이퍼메스린 비펜스린 헨발라레이트 | 알레스린 델타메스린 사이홀투스린 후루바리네이트 |
| 제초제 | 일반식물 | Indolacetic acid | Phenoxys 이사디 이사디비 | 엠시피에이 나프로파미드 |

생물이나 식물성등 천연 부존자원을 이용한 저독성이고 선택성이며 자연계에서 분해가 잘 되는 농약의 개발이 앞으로 계속 활발하게 추진될 것으로 전망된다.

2. 현재 우리나라에서 사용중인 저독성 농약

저독성이고 공해가 적은 농약은 인축에 해가 없고 유용생물에 대한 부작용도 없을 뿐만 아니라 환경중에서 분해가 쉽게 이루어지는 농약을

총칭하는 것으로 이에는 식물성농약, 미생물농약, 그리고 안전성제형등을 들 수 있다.

현재 우리나라에서 보급사용되고 있는 농약 중 저독성농약은 식물성에서 유래된 농약이 잎말이나방약 델타린유제등 36종, 미생물에서 유래된 농약이 궤양병약 농용신수화제등 12종, 그리고 멸구약 비피미립제등 안전성제형 14종등 총62종의 품목이 사용되고 있다. 이들 농약의 대부분은 외국에서 개발한 농약원제

를 도입, 국내에서 제품화하여 판매하거나 직접 완제품 농약을 도입하여 사용한다. 우리의 기상이나 작물재배품종등에 대하여 수년간에 걸쳐 약효 약해시험 뿐만 아니라 독성이나 잔류성등 농약의 안전성을 심도있게 평가 검토하여 그중 약효가 우수하고 안전성이 확인된 약제에 한해서만 농약으로 개발, 농민들이 사용할수 있도록 생산 공급하고 있다.

3. 식물성 농약의 개발

현재 살균, 살충, 살초등 생물활성물질을 함유한 식물은 세계적으로 1,800여종이 보고되어 있다. 우리나라에서 자생하고 있는 식물중에도 이들 활성물질을 가지고 있는 식물은 제충국, 담배, 멸구슬나무등 40여종으로 알려져 있다.

식물에서 유래한 농약은 제충국, 담배의 니코틴 및 테리스 등에서 유래된 것이 대표적이다. 특히 제충국의 경우 주성분은 피레스로이드인데 이를 근간으로 하여 광분해의 문제점을 보완하고 살충력을 향상시킨 합성 피레스로이드계 농약은 기존 카바메이트계나 유기인계 농약에 비하여 저독성이며 고효성임과 동시에 선택성이 뛰어나서 각광받고 있다. 따라서 이들 수많은 유망식물로부터 여러가지 생리활성 물질을 추출·분리하여 그 화학구조와 특성을 밝히고 그의 유도체를 합성하는 방법으로 새로운 식물성 농약을 개발해가고 있는 것이 세계적인 추세이다.

농약연구소에서도 우리나라에 자생하고 있는 황벽나무등 식물성농약

표3. 미생물 농약의 특성

| 구 분 | 유기 합성 농약 | 미생물 농약 |
|---------|----------|--------------|
| 개발 방법 | 인공합성 | 미생물 및 분비물 이용 |
| 개발 비용 | 고가 | 저가 |
| 개발 제제 | 안정 균일 | 불안정 불균일 |
| 약효 발현속도 | 속효성 | 지효성 |
| 적용 대상 | 광범위 | 한정적 |
| 인축 독성 | 있음 | 없음 |
| 약제 내성유발 | 있음 | 없음 |
| 생태계 영향 | 있음 | 없음 |

표4. 항생물질 개발연구

| 기 관 | 약 제 | 대 상 | 추 진 결 과 |
|---------------------|---------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 농촌진흥청 농약연구소 | 살균제 살충제 제초제 | 벼 흰잎마름병 과수응애 비선택성 | 물질 추출 생산균 선발 생산균 선발 |
| 한국과학기술원 유전공학연구센터 | 살균제 제초제 생장조절제 | 벼도열병, 문고병 선택 및 비선택성 생장촉진 | 물질분리 물질분리 물질분리 |
| 한국화학연구소 | 살균제 의약품 | 벼도열병, 문고병 채소잰빛곰팡이병 무좀 | FM 37 KRF 001 AF 37 |

개발에 유망한 식물을 대상으로 많은 연구를 하고 있다. 특히 사과재배에 있어 극심하게 피해를 주는 부란병을 효과적으로 방제할 수 있는 식물성 살균제 개발연구를 시도하여 황백나무 수피의 조추출물에서 항균 성분을 단리하고 베르베린유도체의 주사제를 제제하여 그 특성을 조사한 결과 단백질 생합성 저해작용으로 부란병을 방제하는 효과가 우수함을 밝히고 1990년 8월 사과나무 부란병 방제용 베르베린 유도체의 용도 및 그 조성물에 관한 내용으로 특허(제39646호)를 취득한 바 있다.

또 한편으로는 은행잎과 피마자 잎중의 활성성분이 벼멸구 살충성에 우수한 효과를 보임에 따라 현재 이들 활성 성분의 합성수율향상 및 활성이 높은 유도제 개발에 노력하여 상당한 진전을 보고 있으며 새로운 농약개발이 기대되고 있다.

4. 미생물농약 개발

현재까지 많이 사용되어온 유기합성 농약보다는 독성이 낮으면서 잔류나 환경오염의 우려가 없고 생태계를 보존할 수 있는 새로운 농약개발 방안의 하나로 자연계에 존재하는 미

생물을 이용하여 농약을 개발하는 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다.

미생물 농약은 미생물 자체를 직접 이용하는 경우와 미생물이 분비하는 생리활성 물질을 농약으로 이용하는 두가지 경우가 있다. 이중 어느 경우로 개발이용하는 간에 유기합성 농약에 비하여 독성이나 잔류성 면에서 비교적 안전한 저독성이다.

미생물 농약은 유기합성 농약에 비하여 약효가 지속적으로 발현되고 선택성이 높아 대상병해충 이외의 생물에는 영향을 미치지 않으며 약제에 대한 내성발현도 없다. 또 방제대상이 제한적인 반면에 동일한 약종의 연용에 의한 약제내성 유발의 우려가 없으며 생태계 보존에도 크게 기여할 수 있다.

미생물 자체를 이용하는 대상 미생물로는 천적미생물과 길항 미생물에 속하는 세균, 방선균, 바이러스, 원생동물 및 선충등을 들수 있으며 이 경우의 방제대상은 주로 병원균이나 해충 또는 잡초이다.

미생물 자체를 직접이용하는 연구역사를 보면 천적미생물은 독일에서 1880년 사상균으로 딱정벌레목 해충을 방제한 것이 처음이었고, 길항미생물은 1927년 미국에서 방선균으로 감자 더태이병 방제 연구가 처음 시도되었다. 현재는 50여종의 미생물들이 병해충 또는 잡초방제를 위하여 실용화 되고 있거나 농약으로의 개발연구가 추진중에 있다.

미생물이 분비하는 활성물질은

표5. 미생물 자체 이용연구

| 구분 | 미생물 | 연구기관 | 결과 요약 | |
|-------|----------------|---|-------------------------------|--|
| 천적미생물 | 흰불나방 방제 | Bt세균 | 농약연구소 고려화학중앙연구소 한국화학연구소 | Bt제 대량 배양법(특허취득) 원제 생산체계 확립 원제 생산체계 확립 |
| | 거세미나방 방제 | NPV | 농업기술연구소 | 대량증식방법 및 방제법 확립(특허취득) |
| 길항미생물 | 고추역병 방제 | 세균(<i>Bacillus</i>) | 농약연구소 | 길항세균 선발(AC-1) 및 대량배양법 확립(특허취득) 농가실증 |
| | 고추역병·입고병 방제 | 세균(<i>Pseudomonas</i>) 세균(<i>Tricoderma</i>) | 농업기술연구소 영남작물시험장 | 방제균선발 및 시제품 제조 길항세균 선발, 시제품 제조 |
| | 인삼근부병 방제 | 세균 사상균 | 인삼연초연구소 | 길항세균 선발 조합(농가) 생산이용 |
| | 고추 토마토 바이러스 방제 | 약독바이러스(TMV, CMV) | 농업기술연구소 강원대학교 | 약독바이러스 유기선발 효과 확인 |

항생물질과 항균성 물질이 있는데 이들을 생산해내는 미생물은 세균, 방선균 등이다. 이들 활성물질중 항생물질은 다른 식물이나 미생물 또는 해충의 발육이나 증식을 억제시키거나 줄일 수 있는 작용특성이 있어 농업용이나 의학용으로 많이 이용되고 있다.

우리나라에서도 농약연구소, 농업기술연구소등 농촌진흥청 산하 시험연구기관에서 1984년부터 벼 흰잎마름병 방제용 항생물질 개발을 시발로 과학기술원, 한국화학연구소, 고려화학중앙연구소, 인삼연초연구소에서 미생물을 이용한 농약개발을 위하여 많은 연구들을 하고 있다.

특히 농약연구소에서 고추역병 방제용으로 개발한 길항미생물(AC-1)의 특성을 보면 시설 하우스 내에서의 방제효과는 67~81%

로 유기합성농약의 방제효과와 유사하였고 고추등 11작물에서 약해가 없이 안전하였으며 독성도 아주 낮아서 토양중에 있는 세균이나 방선균 및 사상균에 아무런 영향을 미치지 않았다.

5.농약의 신제형 개발

최근의 농약개발 방향은 안전성을 고려하여 약효지속기간이 짧아지는 경향이다. 그러나 사용자 쪽에서 보면 일정 기간동안 효과를 지속적으로 발휘할 수 있는 농약을 원하게 된다. 단위면적당 주성분의 사용량이 매우 적으면서도 이를 균일하고 효과적으로 살포할수 있는 새로운 기술의 개발이 매우 중요시 되고 있는 실정이다. 따라서 이와같은 문제점을 보완하고 보다 안전하고 사용하기 쉬운 형태로 농약을 제제하려는 시도가 농약연구소를 비롯한 국

내외 연구기관에서 활발하게 추진되고 있다.

기존의 농약제형중 유제는 유기용매에 의한 독성이나 인화성 및 약해발생의 단점을 가지고 있어 유탁제, 유현탁제, 고상유제의 개발이 바람직하다. 수화제는 살포액 조제시 일정량의 농약을 평량하는 것이 곤란하므로 액상 수화제로 제제하고 농약 취급시 분진에 의한 중독위해성을 배제할 수 있는 수화성 입제로의 제제도 기대할 수 있다. 최근 분제의 소비량은 감소하는 추세이나 살포시 비산에 의한 환경오염이나 약효저하 우려등을 해소할 수 있는 미립제나 저비산분제로의 개발이 증대될 전망이다. 입제의 경우는 사용이 간편한점이 있으나 단위 면적당 투여되는 주성분의 양이 많은 관계로 약제 생산비용의 상승, 환경에의 부작용등 문제점이 있으므로 미세캡슐

표6. 고추역병 방제용 길항 미생물(AC-1)의 특성

| 미생물 종류 | 방제효과(%) | | 약 해 | 급성독성 | 타미생물 영향 |
|--------------|---------|----------------------|----------------|------------------------------------|----------------------|
| | 온실 | 포 장 | | | |
| Bacillus속 세균 | 90 | 시설 67~81 노지 25~75 | 고추등 11작물 안전 | 저독(LD ₅₀ >1000mg/kg) | 세균, 방선균, 사상균에 무영향 |

표7. 기존 농약제형의 장단점

| 기존제형 | 좋은 점 | 나쁜 점 | 기대되는 신제형 |
|-------|---|---|------------------|
| 유제·액제 | 약효 확실 살포 조제 용이 사용 범위 넓음 | 약해 발생 우려 인화성 화재 우려 포장 보관 수송 어려움 | 수성 현탁제 고형 유제 |
| 수 화 제 | 제제화 용이 고농도 제제 가능 포장 보관 수송 용이 빈병처리 문제없음 | 살포액 조제 복잡 정량 평량 곤란 흡입 중독 우려 채소류 오염우려 | 액상 수화제 수화성 입제 |
| 분 제 | 살포효율 높음 살포액 조제 불필요 | 표류비산 대기오염우려 과수용 고착성 불량 잔효성 우려 적음 | 저비산 분제 미립제 |
| 입 제 | 비산 안됨 살포자 안전 살포액 조제 불필요 살포장비 불필요 | 농약 투하량 많음 농약 가격 비싼편임 약효 발현 완만 | 미세 캡슐제 방출 조절제 |

제나 방출조절제 등으로 개발 활용될 전망이다.

가.벼멸구 방제용 미립제

농약성분의 입경이 미세할수록 살포시 지상 낙하속도가 완만하고 바람에 날리기 쉬우므로 대상 병해충의 서식 부위인 작물체의 부착량이나 토양으로의 낙하량은 감소하게 된다. 농약연구소에서는 농약살포시 비산에 의한 약효저하와 환경오염방지 및 타작물에 대한 약해유발 가능성등 단점을 개선보완한 미립제 제형을 개발, 보급한바 있다.

나.시설원예용 신제형

1)미분제

시설하우스용 약제가 구비해야할 특성으로는 확산성이 좋아야 하고 부착성이 균일해야 하며 약제에 의한 작물 오염이 없어야 한다. 또 약제 살포시 하우스내의 습도를 높이지 않고 살포자에도 안전해야 하며 단 시간내에 살포작업이 가능해야 한다. 농약연구소에서 시설하우스 전용으로 개발한 미분제는 실내에 들어가지 않고 외부에서 양측 출입구를 통하여 동력살분기를 사용, 살포함으로써 실내의 습도를 높이지 않

고 살포자에게도 안전한 제형이다. 또 농약살포에 소요되는 시간도 10a당 3~5분 정도로 생력 살포가 가능하다.

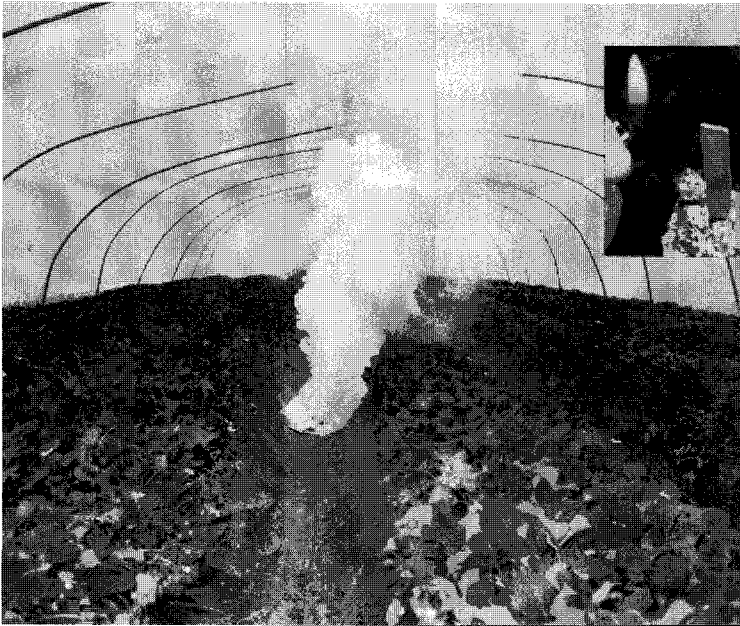
2)과립혼연제

과립혼연제 농약은 고온에서 분해되지 않고 연기화할 수 있는 성질의 농약주성분에 발연제, 방염제등 부자재를 첨가하고 입상으로 만들어 밀폐된 시설하우스 전용으로 사용할 수 있는 제형이다. 혼연제 농약을 사용할 때에는 살포장비가 불필요하고 시설하우스내에 일정한 간격으로 농약을 은박지에 놓고 점화하면 자연적으로 농약성분이 연기화하여 하우스내 전체에 골고루 확산하여 낙하하므로 생력적이고 살포자에게도 매우 안전하며 농산물중의 농약 잔류량도 크게 경감시킬 수 있다.

살포시 주의사항으로는 모든 농작업을 완료한 저녁때 하우스를 완전히 밀폐하고 하우스 체적 100m²당 6g정도의 소량의 농약을 작물체가 없는 5~6개소에 작은 알루미늄 호일에 올려놓고 점화심지를 쫓은후 하우스 내부로부터 점화하고 출입문을 밀폐해 놓는다. 6시간이상 경과된 다음날 아침 농작업을 하기전 문을 열어 환기한다. 농약의 점화혼연작업을 할때는 반드시 마스크와 고무장갑등 보호장비를 착용하고 작업을 실시해야 안전하다.

다.방출조절제 농약

방출조절제 농약은 일정기간동안 농작물을 가해하는 병해충의 발생시기



시설하우스내에 점화한 과립혼연제

표8. 미립제 농약의 특성

| 구 분 | 미세입자 분포율($10\mu\text{m}$ %) | 평균입경(μ) | 비산거리(m) | 방제가(%) |
|-----|--|---------------|---------|--------|
| 미립제 | 10미만 | 36 | 50내외 | 97 |
| 분제 | 40이상 | 18 | 150이상 | 93 |

표9. 미분제 농약의 특성

| 제 형 | 평균입경(mm) | 살포량(10a당) | 살포시간(분/10a) | 살포방법 |
|-----|----------|-----------|-------------|---------|
| 미분제 | 0.005 이하 | 0.3~0.5kg | 3~5 | 시설외부→내부 |
| 수화제 | 0.010 내외 | 200 l | 60이상 | 시설내부 |

표10. 혼연제 농약의 특성

| 구 분 | 조 성 | 살포방법 | 살포시간(분/10a) | 작물잔류성(%) | 방제가(%) | 살포자 위해성 |
|-----|-------------------|-----------|-------------|----------|--------|---------|
| 혼연제 | 발연제 방엽제 접합제 농약 | 점화혼연 | 5 | 24 | 92 | 안전 |
| 수화제 | 계면활성제 증량제 농약 | 희석액 분무 | 60 | 100 | 76 | 중독우려 |

에 맞게 농약성분을 오랫동안 서서히 방출해 냄으로써 작물 생육기간 동안 발생하는 병해충을 방제하는 제형이다. 이 방출조절제의 특징은 휘발이나 유실에 의한 농약손실을 극소화할 수 있고 광이나 미생물에 의한 분해를 지연시킬 수 있으며 원제의 독성이나 약해, 약취등 부작용을 최소화할 수 있을 것으로 기대하나 농약의 잔류 우려를 배제할 수 없는 것이 결점이라 하겠다.

이상의 제형들 외에도 농약연구소에서 현재 개발중에 있거나 개발이 유망한 제형으로는 제초제 함유 비닐멀칭제, 종자분의제 및 항공방제용 고농도 미량살포 제제 등을 들 수 있다.

이상에서 기술한 바와 같이 자연 상태에서 일정기간내에 분해가 잘 이루어지고 독성이 거의 없으며 잔류성으로 인한 문제가 없고 생태계의 균형을 유지할 수 있는 농약의 개발은 우리가 바라는 앞으로의 농약이라 할것이다. 따라서 자연계에 부존된 천연물 특히 미생물을 대상으로 하는 새로운 선도물질의 추구는 현재 선진국에서도 많은 연구가 이루어지고 있고 산업화된 성공적인 예도 있기 때문에 앞으로 집중적으로 연구 노력한다면 미생물에 유래된 농약개발 가능성은 매우 높을 것으로 전망된다. **농약정보**