



## 살충제

### 계통별 작용특성과 효과적 안전사용법

충남대학교 농과대학교수 이 규 승

살충제는 농업 및 위생적으로 해를 주는 곤충은 물론, 살비제와 살선충제를 포함하는 개념으로 인식되고 있다. 이와같은 살충제는 무기성 살충제와 유기성살충제, 천연살충제와 합성살충제 등으로 부르기도 하나, 일반적으로는 사용목적에 따라 식독제, 접촉독제, 훈증제, 화학불임제 등으로 분류하고 있다.

그러나 좀더 효과적인 해충방제를 위해서는 약제의 화학구조에 따른 각 약제의 특성을 이해하여야만 할 것이며, 또한 사용시 항상 강조되는 안전 사용수칙을 준수하여야 함은 재론할

필요가 없다.

따라서 본란에서는 유해곤충류의 방제에 이용되는 유기합성 살충제를 화학구조에 따라 계통적으로 분류하고 작용특성을 살펴보며, 아울러 이들 약제의 선택과 사용에 중요한 지침이 될수 있는 해충의 약제저항성과 살충제의 화학구조를 관련지어 설명해 보고자 한다.

#### 1. 화학구조에 따른 살충제의 분류

유기합성 살충제를 개발된 시대에 따라 나누어 보면, ①1940년대 후반~1960년대 후반까지 전 세계적으로 널리 사용되었으나, 약제의 환경잔류

성 때문에 사용에 제한을 받고 있는 DDT제, BHC제 등의 유기염소계 살충제를 ‘합성 1세대 살충제’로 하여, ② 1950년대 초반부터 개발·사용되어 온 유기인계 살충제를 ‘합성 2세대’, 또 ③ 1950년대 후반부터 사용되기 시작한 카바메이트계 살충제를 ‘제3세대’, 그리고 ④ 1970년대에 개발되어 지금까지도 새로운 살충제를 만들어 내려는 노력이 계속되고 있는 합성피레트린계 살충제를 ‘제4세대 살충제’라고 한다.

이중 유기염소계 살충제는 국내사용이 거의 중지된 상태이므로 언급할 필요가 없으며, 기타의 세가지 중요한 합성살충제를 대상으로 살펴본다.

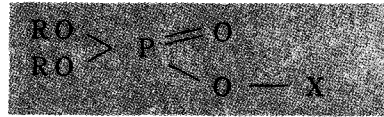
### 시판중인 유기인제의 3가지 구조

1987년 현재 우리나라에서 유통되고 있는 유기인계 살충제는 주성분으로 30여종이며, 카바메이트계 살충제는 약 10성분, 합성피레트린계 살충제는 8종 정도로 알려져 있다.

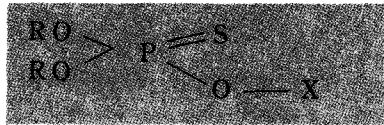
유기인계 살충제는 기본구조에 따라 6종류로 나눌수 있으나, 시판중인 약제는 그림1의 I ~ III의 3가지 구조를 갖고 있다.

I은 P원자에 4개의 산소(O)원자가 결합된 정인산(Orthophosphate)형이며, 보통 ‘포스페이트형’이라고 부른다. II는 유황(S)원자 한 개가

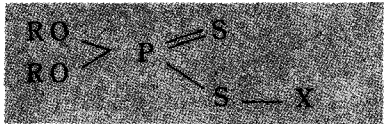
산소원자 한 개와 치환된 형태인 ‘치오포스페이트형(포스포로치오에이트)’이며, III은 유황원자 두개가 산소와 치환된 ‘디치오포스페이트(포스포로디치오에이트)형’이다.



I. 포스페이트형  
(Phosphate type)



II. 치오포스페이트형  
(Thiophosphate type)



III. 디치오포스페이트형  
(Dithiophosphate type)

그림 1. 시판중인 유기인계 살충제의 기본구조

I ~ III에 해당하는 유기인계 살충제의 일반적인 특성은 유황이 많아질수록 지효성과 잔효성이 증가한다고 볼 수 있다. 즉, I군에 속하는 농약들은 속효성이나 기수분해가 용이하여 화학적 안정성이 낮으므로 잔효성도 짧은 반면, III군에 속하는 농

표 1. 유기인계 살충제의 분류

I. phosphates	II. thiophosphates	III. dithiophosphates
디디브이피, 디프(디프록스), 포스팜(다이베크론), 모노포(아조드린, 뉴바크론), 헐테노(호스타키), 테라빈(가도나), 그로빈(벌렌)	이피엔, 메프((스미치온, 호리지온), 에카룩스, 파라치온, 그로포(더스반), 피리포(아테릭), 바미드(킬발), 프로펜(세레크론), 다수진(다이아톤), 피리다(오후나크), 오메톤(호리마트), 메타(메타시스톡스), 프리미(프리미시드)	파프(엘산, 씨디알), 포스트(이미단), 디셀폰(다이저스톤), 지오메, 메치온(수프라사이드), 메카밤(모폭스), 마라톤(마라치온), 에토프(모캡), 타보(카운타), 포모치온, 아진포(구사치온), 디메토(로고, 록손)

\* ( )안은 상표임.

약은 비교적 지효성이며 화학적 안정성이 크므로 약효가 수일~수주까지 지속된다.

시판중인 유기인계 살충제를 기본 구조에 따라 분류하여 품목명으로 제시하여 보면 표 1과 같다.

### 실제 사용면에서 5군분류가 마땅

그러나 유기인계 살충제의 특성을 기본구조만으로 설명하는 것은 충분치 않은 경우가 있다. 이는 기본구조에 결합되어 있는 R-과 X-가 어떤 특성을 지녔는지도 중요하기 때문이다.

따라서 실제로 농약을 사용하는 측면에서는 유기인계 살충제를 5군으로 나눌 필요가 있다고 본다.

제1군은 접촉독제로서 화학적인 안정성이 낮고, 물에 대한 용해도가 비교적 크며 가수분해가 잘 되므로 잔

효성이 낮은 약제로 테라빈제가 여기에 속한다.

제2군은 비교적 잔효성이 인정되는 접촉독제로 국소침투성을 나타내며, 물에 대한 용해도가 낮은 반면 유기용매에 잘 녹는 화학적 안정성을 지닌 약제들로 마라톤제, 다수진제 및 메프제 등이 여기에 속한다.

제3군은 제2군과 유사한 정도의 화학적 안정성을 가지나, 2군에 비해 수용성이 크며 침투이행성을 나타내는 약제들로 디메토제, 디셀폰제 등이 이에 속한다.

제4군은 증기압이 높으며 상대적으로 화학적 안정성이 낮아 훈증제로 이용될 수 있는 약제로 디디브이피제가 이에 속한다.

제5군은 입제로 제조하여 토양에 사용할 수 있는 약제들이 속하며, 화학적 안정성과 증기압이 다소 높은

것이 특징인데 그로포제, 다수진제 등이 이에 속한다.

### 카바메이트계 약제의 3가지 구조

또 카바메이트계 살충제는 구조적으로 크게 3종류로 나눌수 있다.

제1군에 속하는 것은 페닐기나 나프틸기와 같은 아릴기를 갖고 있으며 N-methyl 카바메이트의 기본구조를 갖는 것들로 카바릴제, 엠아이피씨제, 비피제 및 엠티엠씨제 등이 있다.

제2군은 헤테로 고리화합물을 가지고 있으며 N-methyl이나 N-dimethyl 에스테르 결합을 하고 있는 것으로 카보제, 피리모제 및 벤즈제 등이 이에 속한다.

이들 1, 2군에 속하는 카바메이트계 살충제들은 유기인계 살충제에 비해 독성이 낮을뿐 아니라 저농도에서도 약효를 나타내는 장점이 있으며, 충체의 외피층에 존재하는 지방층을 쉽게 통과하므로 방제효과가 높은 것으로 알려져 있다.

제3군은 옥심구조를 가진 화합물로 솔잎혹파리의 방제에 사용되는 테믹제, 원예용으로 사용되는 메소밀제 등이 이에 속하는데, 이들 약제는 곤충에 대해서는 물론 인축독성도 매우 높은 특성을 지니고 있다.

### 화학안정성 높은 합성피레트린계

한편, 합성피레트린계 살충제는 식

물성 살충제로 쓰였던 제충국제의 단점인 광분해를 보완하여 화학적 안정성을 높인 약제이다. 이는 방제가 높아 단위면적당 사용량을 줄일 수 있고, 특히 인축에 대한 독성도 유기인제나 카바메이트계 살충제에 비해 낮은 것으로 알려져 있다.

현재 국내에서 판매되고 있는 합성피레트린계 살충제는 대부분이 1980년대 들어서 개발되거나 시판된 약제이며, 주로 접촉독과 식독을 겸하고 있으나 어독성이 높기 때문에 수도용으로의 사용은 제한되고 있다.

## 2. 합성살충제의 작용특성과 효과적 사용방법

유기인계, 카바메이트계 및 합성피레트린계 살충제는 모두 신경독으로 작용하는 약제들이다.

특히 유기인계 및 카바메이트계 살충제는 신경전달 물질인 아세틸콜린(acetyl choline)의 분해에 관여하는 콜린에스테라제(choline esterase)라는 효소의 작용을 억제함으로써, 자극전달 물질인 아세틸콜린의 분해가 이루어지지 않아 자극전달이 계속되므로 생리적인 이상을 일으켜 중독상태에 이르게 된다. 즉, 아세틸콜린은 콜린에스테라제에 의해 아주 짧은 시간에 아세트산과 콜린으로 분해되는 것이다.

그런데 유기인계 살충제의 기본구조는 아세틸콜린과 매우 유사하여 콜린에스테라제의 활성부위인 에스테르 형성부위를 공격하게 된다. 유기인계 농약의 인(P)원자를 중심으로한 부분이 인산화되어 콜린에스테라제의 에스테르형성부위와 결합하게 되며, 기타의 부분은 콜린에스테라제를 구성하는 다른 아미노산과 결합되므로 효소의 활성을 저해하는 것이다. 특히 그림 1에 표시된 X-기의 구조에 따라 동일한 기본구조를 갖는 유기인계 살충제라도 독성이나 안정성 등의 특성이 달라지게 되는 것이다.

### 신속한 효과 보이는 「눅다운」 현상

카바메이트계 살충제의 콜린에스테라제를 저해하는 방식은 유기인계와는 달리 농약성분이 직접 아세틸콜린과의 경쟁을 통해 이루어진다. 이 결과에 따라 유기인계 살충제보다 약효발현 속도가 빠르고, 낮은 농도에서도 효과가 좋은 것이다. 실험적으로는 유기인계 살충제와 비슷한 콜린에스테라제의 저해수준을 나타내는데 걸리는 시간이 2~15배 정도나 짧아졌다는 보고도 있다.

한편 합성피레트린계 살충제를 날아다니고 있는 곤충에 접촉시켜 보면, 바로 땅에 떨어질 정도로 신속한 효과를 보이는데, 이를 눅다운효과(knock-down effect)라 부른다.

이런 현상은 신경중독증세에 기인하는 것이다. 그런데 실제로 농약성분이 최외피층을 통과할 수 있는 정도의 짧은 시간에 효과가 발현된다는 사실은 합성피레트린계 살충제가 말초신경계나 중추신경계에 모두 영향을 줄 수 있다는 것을 말해준다.

### 독작용 특성알고 효과적 사용토록

이상에서 살펴본 바와 같이 현재 사용되고 있는 유기합성 살충제들은 다소간의 차이는 있으나 모두 신경독제라는 공통점을 갖고 있다.

이제부터는 이와같은 농약의 독작용의 특성을 이해하여, 좀더 효과적으로 살충제를 사용할 수 있도록 도움을 주고자 한다.

요즘 병원에서 사용하는 페니실린은 개발 당시의 역가에 비해 수만 배나 고단위로 사용한다. 이는 페니실린에 의해 치료되는 병원균이 그만큼 내성이 강해졌다는 것이다. 내성이 강해진다는 현상은 농약을 사용할 때도 느낄 수 있는 것으로, 방제가 수월했던 해충이 추천농도보다 더 높은 농도로 사용해도 별로 신통한 방제효과를 얻지 못하는 경우에도 해당된다.

### 저항성 발달, 어느 해충 약제는 가능

해충이 특정한 살충제에 대해 내성이 커져 일정한 농도에서 살아남

는 개체수가 많게 되면, 우리는 일반적으로 그 농도에서 해충의 약제저항성이 높아졌다고 말한다. 이와 같은 약제 저항성은 해충의 생리·생태적 특성, 농약의 사용회수와 살포간격 등에 따라 발현되는 정도의 차이는 있지만 어느 해충, 어느 약제를 막론하고 유발될 수 있는 것이다.

즉, 연간 발생회수가 많은 해충, 먹이의 범위가 넓은 해충, 먹이의 섭취량이 많은 해충, 이동성이 큰 해충들이 비교적 약제 저항성 유발이 잘 된다고 알려져 있다. 같은 해충이라도 총령(虫命)에 따라 농약에 대한 내성의 정도가 다르므로 농약의 살포시기는 매우 중요한 요인이 된다.

그러나 해충이 특정 약제에 대해 저항성을 갖게 되는 것은 한가지 요인에 의한 것은 아니며, 여러가지 복합적인 요인들이 관여하게 된다.

### 동일 약제 10~20년간 사용말아야

약제저항성의 형태를 크게 두가지로 나누어 볼 수 있다. 한 가지는 해충이 약제와의 접촉을 회피하는 형태적 현상에 따른 것으로 농약이 살포된 작물체의 표면을 기피하게 되나, 이 경우는 큰 비중을 차지하지 아니한다. 둘째는 총체가 약제에 견디는 능력이 커지는 현상이다. 이 경우는 다음세대로 저항성이 유전되므로 해충의 약제 저항성은 점차 증가

하게 된다. 특히 유전된 저항성이 소멸되기까지는 수십 세대가 걸려야 하므로 특정약제에 저항성을 나타내는 해충에 대해서는, 연간 해충의 발생회수에 따라 달라지기는 하겠지만, 동일 약제를 적어도 10~20년간은 사용하지 않아야 약제 저항성의 위험에서 벗어날 수 있다.

그런데 해충이 약제에 견디는 능력은 현재까지의 연구결과 3가지 형태로 밝혀졌다.

우선 가장 큰 요인은 총체내에서 약제를 분해·대사하는 효소계가 발달한다는 사실이다. 즉, 총체내의 기존효소계는 어느 정도 농약성분을 기질로 이용할 수 있는데, 동일한 약제가 자꾸 총체내로 들어오게 되면 이를 분해하는 능력이 저절로 커지는 것이다.

둘째는, 곤충의 최외피층이나 신경막등 활성부위를 구성하는 지질층의 포화도가 증가되어 농약성분의 총체내 침투를 방지하고, 또 동시에 외피층에서의 집적량을 증가시키므로 해충을 치사시키는데 필요한 약량이 상대적으로 증가하는 경우이다. 세번째는, 앞서 말한 콜린에스테라제의 활성 부위가 변형되어 아세틸콜린과 비슷한 구조를 가진 유기인계 살충제라도 결합할 수 있는 부위가 적어짐으로써 약효가 낮아지는 경우를 들 수 있다.

이들 세가지 중 특히 첫번째인 효소계의 활성증가 현상이 약제저항성 유발에 가장 큰 요인으로 알려져 있다. 에스테라제(esterase), 모노옥시게나제(mono oxygenase), 글루타치온 S-트랜스퍼라제(glutathion S-transferase) 등의 활성증가는 농약 성분을 빠른 시간내에 수용성이 큰 대사산물로 만들어, 무독화 또는 저독화 시킨다.

#### 구조 비슷한 약제에 교차저항성 발달

그런데 이들 효소는 농약의 독작용 발현부위를 포함하는 화학구조 전체에 작용할 수 있으므로, 구조가 비슷한 농약을 계속 사용할 경우에 동일한 약제를 반복하여 사용하는 것과 같은 효과를 나타내게 된다. 따라서 구조가 비슷한 농약중 한 가지에 저항성이 유발되면 비슷한 구조를 가진 농약에도 저항성이 유발되는데, 이런 현상을 '교차저항성'이라 한다.

즉, 표1에서 볼 때 3군에 속하는 농약들은 각 군마다 인(P)을 중심으로한 독작용 부위가 동일하므로 어떤 의미에서는 같은 농약이라고 볼 수도 있다(물론 전술한 바와 같이 R- 또는 X-가 다르므로 농약의 특성은 다를 수 있다). 또 표1에서의 3개 군이 각각 유행의 갯수에 따라 달라진다고 해도 인산화 과정에 의해 콜린에스테라제를 저해하는 부위가 일

치하기 때문에 오랫동안 사용하게 되면 3종류의 기본구조 모두에 저항성을 나타낼 수 있는 것이다.

또 연구결과 유기인계에 저항성을 지닌 해충은 카바메이트계에도 쉽게 저항성을 나타낸다는 사실도 밝혀졌는데 이는 효소활성의 증가와 콜린에스테라제의 구조변형 등에 의한 것으로 보인다. 그리고 외국에서는 합성피레트린계 살충제를 사용한지 2~3년 이내에 수십~수백배 정도의 포장저항성을 나타내는 해충이 발견된 보고가 있는데, 이도 역시 합성피레트린계 농약과 DDT제의 살충기작이 같기 때문에 이미 DDT에 잠재적 저항성을 가졌던 해충이 합성피레트린계와 접촉함으로써 단시간 내에 저항성이 증가한 것이라 본다.

#### 해충 생태 파악, 약제 교대 사용토록

이상에서 살펴본 내용을 토대로 좀더 합리적인 농약사용방법을 제시한다면 첫째, 아무리 효과가 우수한 농약이라도 계속하여 살포하는 것은 바람직하지 않다는 사실이고, 둘째는 가능하면 유기인계, 카바메이트계, 합성피레트린계 살충제를 교대로 사용할 것이며, 셋째는 해충의 발생생태를 정확히 파악하여 적절한 방제시기를 선택하고, 사용농도를 준수하며 넷째는 경제적 피해수준을 감안하여 방제회수를 줄이는 방법등이라 본다.