



殺虫劑의 작용기구와  
사용시 주의점 ③

# 綜合管理 체계화에 필수과제

## — 殺虫劑의 선택독성 규명

서울대학교 농과대학 교수

최 승 윤

### 선택독성의 의의와 중요성

살충제의 선택독성(選擇毒性, Selective toxicity)이라 함은 서로 인접해 사는 생물 중 어느 한 쪽에는 해를 끼치지 않고 다른 쪽에는 해를 끼치는 경우를 말하며 이와는 달리 생물의 종류에 관계없이 어느 쪽이나 해를 끼치는 경우를 비선택독성(非選擇毒性, Non-selective toxicity)이라 한다.

예를 들면 포유동물(哺乳動物)과 곤충은 그의 진화과정에서 전혀 달라, 그들은 형태적·생리적·생화학적 측

면에서 볼 때 크게 다르다. 얼핏 생각나는 대로 적어 봐도 포유동물은 항온동물(恒溫動物)로서 폐호흡을 하며 폐쇄적 순환계를 가지고 있는데 반하여 곤충은 변온동물(變溫動物)로서 호흡계는 기관계(氣管系)를 이루고 있으며 개방혈관계를 가지고 있다. 포유동물의 체내에 있어서 당(糖)의 형은 구루코스, 글라이코젠이며 포스파겐은 크레아틴인산인데 대하여 곤충은 트레할로스(Trehalose)형 당을 축적하고 아르기닌산을 포스파겐(Phosphagen)으로 하고 있다. 두 동물은 신경 화학전달

물질로서 아세틸콜린을 모두 가지고 있으나 곤충에 있어서 운동신경 말단의 화학전달물질은 아세틸콜린이 아닌 것 등 그 차이가 크다.

### 非目的虫에는 저독이고 잔류성은 낮은 개발정책

살충제 선택독성 연구의 초기에는 고등동물이나 농작물에 대하여 낮은 독작용을 갖추게 하는 데 목적을 두고 연구되어 왔으나 작금의 선택독성 연구목표는 사람·가축·농작물에 대한 저독성은 물론 대상해충 이외의 생물에 대한 독작용이 낮고 나아가 식물(食物)이나 환경에 잔류하지 않는 것을 주요 목표로 삼게 되었다.

이들에 만족스러운 살충제를 개발함으로써 살충제에 의한 해충의 구제(驅除)가 아닌, 해충의 밀도조절제(密度調節劑) 또는 해충의 밀도를 경제적피해수준(經濟的被害水準, Economic injury level) 이하로 유지시키는 데에만 필요한 약제가 될 수 있게끔 사용코자 하는데 있다고 보겠다.

이와 같은 선택성 살충제는 적용해충의 범위가 좁고, 다량의 살충제 사용을 꺼리며, 실제 사용할 때는 적용살충제의 선정이나 적용해충을

신중히 고려하여야 하기 때문에 상업적인 측면에서나 살충제 사용자, 또는 살충제 사용을 지도하는 사람들의 입장에서 볼 때 그들이 바라는 점과는 상반되는 점이 많겠지만 장기적인 안목에서 해충의 방제라는 측면을 생각하면 지극히 타당하다고 보겠다.

적용범위가 넓고 곤충의 종간(種間) 선택성이 없는 살충제는 단 1회의 살포로서 여러 종류의 곤충을 동시에 구제할 수 있어 선택성 살충제에 비하여 훨씬 유리할 것으로 느낄지 모르나 장기적으로 볼 때는 곤충계의 평형을 결코 무시할 수는 없다. 그렇기 때문에 선택독성은 현재 살충제가 갖추어야 할 중요한 성질로 강조되어 가고 있으며 금후에도 계속 이 점은 강조되어야 할 점이라 본다.

따라서 비선택적 살충제로 목적하는 해충 이외의 생물을 죽이는 것은 물론 불의로 목적해충의 급격한 멸살은 그 후 생태계의 파괴를 가져오기 때문에 해충의 종합적 방제(綜合的防除 Integrated Pest Control)보다 발전한 해충의 종합적 관리(綜合的管理 Integrated Pest Management IPM)라는 새로운 해충방제의 체계를 주장하게 되었다. 그러므로 살충제는 유용한 것이지만 안이한 사용 또는 무절제한 사용은 막대한 해를 초래하기 쉽다.

선택계수 1 이면 種間毒性 일치

살충제의 선택독성은 대상 생물의 종간 독성지수(毒性指數)의 비, 예를 들면 쥐의 LD50/집파리의 LD50으로 표시하는 데 이 값을 선택계수(選擇係數)라 한다. 선택계수의 값이 1에 가까울 수록 두 생물간에 같은 정도의 독성 또는 효력을 나타내는 결과가 되므로 선택성이 없다고 하며 선택계수의 값이 1보다 크거나 또는 작을 때는

어느 한쪽에 대하여 선택적이라 말한다. 즉, 쥐의 LD50/집파리의 LD50 값이 1보다 훨씬 작으면 포유동물(哺乳動物)에 대하여 선택성을 갖춘 살충제라 부르고 1보다 훨씬 크면 해충에 대하여 선택성을 갖춘 살충제라 일컫는다. 그런데 실제 포유동물에 대하여 대상해충에 대한 선택독성은 적어도 50배 이상 되는 살충제라야 바람직하다.

표 1은 몇가지 살충제의 포유동물과 세가지 곤충에 대한 선택독성을 예시한 것인데 선택성 살충제의 경

표 1. 몇가지 살충제의 선택독성

살충제	쥐의 경구독성 (LD50mg/kg)	선택계수(쥐의 LD50/해충의 LD50)		
		집파리	이화명충	꿀동매미충
〈선택성살충제〉				
Pyrethrin	1,500	106	882	—
Fenitrothion	870	153	870	100
Malathion	347	20	386	434
Dipterex(DEP)	390	57	107	5
Carbaryl	438	0.5	—	384
Schradan*	29	0.007	0.005	0.2
〈비선택성살충제〉				
D D T	300	0.2	4	46
B H C	100	2	2	1.8
Parathion	5	5	1	1.3

\* 포유동물에 선택성이 높은 살충제

우 한 두군데를 제외한 선택계수의 값이 50배를 훨씬 넘고 있으므로 해충에 대한 선택독성이 높다고 볼 수 있으며 그들 중 Schradan만은 선택계수의 값이 1보다 훨씬 작으므로

포유동물에 대하여 높은 선택독성을 갖춘 것으로 평가할 수 있다. 한편 비선택성 살충제는 선택계수의 값이 50배 이하의 낮은 값을 나타내고 있다.

□ 살충제의 작용기구와 사용시 주의점 □

방제상의 선택성提高는  
有益동물보호의 첩경

그러나 언제나 선택계수의 값만으로 모든 살충제의 선택성 정도를 정확히 평가할 수는 없다. 특히 포유동물에 대한 대상 살충제의 LD50값이 낮을 때는 그와 같은 문제에 부닥치기 쉽다. 또한 살충제의 선택성은 포유동물에 대한 것 뿐만 아니라 천적곤충(天敵昆蟲) 대 해충에 대한 선택성에 관하여 보다 폭 넓게 많은 정보를 넣고 평가하면 할수록 대상 살충제의 선택독성을 보다 상세히 평가할 수 있는 것만은 사실이다.

해충·사람·가축 및 그 밖의 각종 유익한 동물과의 사이에 선택독성을 상세히 연구함으로써 해충방제의 선택성을 높일 수 있으므로 이 분야의 연구는 대단히 중요한 의의를 지녔다고 보겠다.

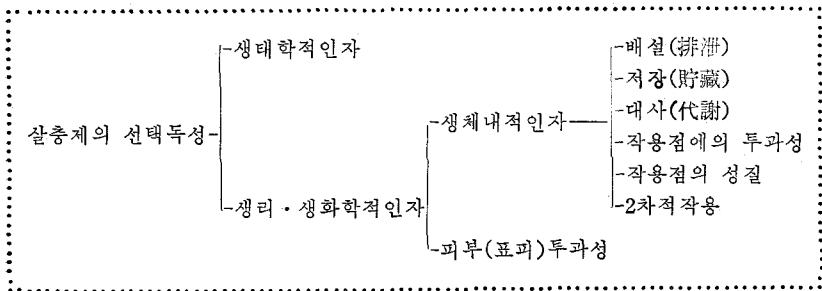
선택독성의 작용기구와 살충력

살충제의 선택독성에 관여하는 요인은 생태학적 선택독성(生態學的 選擇毒性)과 생리·생화학적 선택독성(生理·生化學的 選擇毒性)으로 나눌 수 있다.

일반적으로 살충제의 선택독성에 관여하는 요인을 간략히 간추리면 다음과 같이 표시할 수 있다.

생태학적 선택독성은 침투성 살충

□ 살충제의 선택독성에 관여하는 요인 □



제를 사용하였을 때, 식식성곤충(植食性昆蟲)은 직접 독작용의 영향을 받으나 비식식성곤충은 직접 해를 받지 않는 것과 마찬가지로 곤충의 행동이나 또는 습성의 차이에 따라 선택독성을 나타내는 좋은 예라 볼

수 있다. 그밖에 살충제의 국부처리(局部處理)나 살충제 살포시 방호복(防護服)을 착용하는 일도 이 범주에 속하는 것으로 보아진다. 이와같은 선택성은 접촉살충제(接觸殺虫劑) 보다는 침투성살충제(浸透性殺虫劑)나 소

□ 살충제의 작용기구와 사용시 주의점 □

화중독제(消化中毒劑)에서 좋은 성과를 거두기 쉽다. 급성독성(急性毒性)이 강한 Aldicarb나 Carbofuran을 입제로 제조, 사용하는 것은 선택독성을 얻을 수 있는 하나의 좋은 예라 하겠다.

생리·생화학적 선택독성은 (1)살충제의 곤충체내에의 투과성(透過性), (2)살충제의 해독·분해·대사(解毒·分解·代謝) 및 활성화대사(活性化代謝), (3)살충제의 각종 생체 조직내에서의 축적 및 배설(排泄), (4)살충제의 작용점의 투과성, (5)살충제의 작용점의 독작용(毒作用) 및 (6)작용점에서의 2차적 독작용 등의 차이에 의하여 선택성이 생기는 것으로 해석되고 있다.

## 1. 虫體특성과 투과성

곤충과 포유동물의 피부는 그 구조에 있어서 근본적으로 다르기 때

문에 생리적인 면에서나 물리적인 면에서 큰 차이가 있다.

일반적으로 곤충의 피부는 「키틴」질로 되어 딱딱하나 포유동물의 피부는 「제라틴」을 지닌 유연한 피부로 되어 있다. DDT와 같이 높은 지용성(脂溶性)을 갖춘 살충제는 곤충의 피부, 왁스에 잘 녹아 피부투과성이 높지만 포유동물에 대해서는 그렇지 못하다. 때문에 DDT는 포유동물에 대해서는 독성이 낮으나 곤충에 대해서는 강한 경피독성(經皮毒性)을 나타낸다.

표 2에서 보는 바와 같이 DDT는 처리방법에 따라 쥐와 토끼에 대한 경피독성은 콩풍뎅이와 바퀴의 그것에 비하여 현저히 낮은 것은 바로 투과성의 차이에서 기인된 것으로 생각한다.

살충제가 곤충체와 접촉해서 그의 독작용을 발휘하기 위해서는 표피를 투과해서 체내에 침입하지 않으면

표 2. 살충제의 처리방법에 따른 DDT독성의 차이 (O'Brien, 1967)

공 시 동 물	LD50(mg/kg)			
	경 피	경 구	복강내주사	정맥 주사
쥐	3,000	400	150	50
토끼	300~2,820	300	2,100	50
노린재의 1종	409	301	31	—
꿀벌	114	1.7	0.2	—
콩풍뎅이	93	205	162	—
바퀴	10	—	7	—

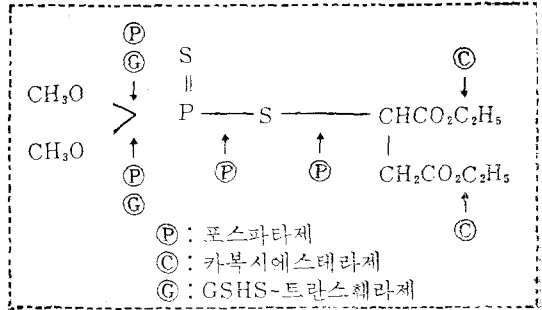
안된다. 살충제의 곤충체내에 침입 경로는 경피(經皮) 경구(經口), 경기문(經氣門)이라 보는데 곤충의 피부는 외골격(外骨格)으로 되어 있어 포유동물과는 전혀 다른 피부로 되어 있기 때문에 선택성이 나타나는 것은 쉽게 이해할 수 있다.

유기인계 살충제의 피부투과성은 친유성(親油性)인 것일 수록 곤충체포의 왁스층에 대한 흡착이 잘 되지만 표피에는 수분이 많고 기름(油)이 적기 때문에 유(油)/물(水)의 분배성(分配性)이 중간정도의 화합물이라야 침투되기 쉽다.

대부분의 유기인계 살충제는 Phosphate 형(P=O)이 본래 생리활성(生理活性)이 높은 것임에도 불구하고 Thiono 형(P=S)으로 되어 있는 것은 후자의 경우에서 지용성이 크기 때문에 그들이 피부투과성이 용이해지는 것으로 해석되고 있다.

## 2. 약제의 活性化代謝

곤충체내에 들어간 살충제는 작용점에 도달해서 생리활성을 나타내게 되는 것인데 그곳에 이르기 까지 곤충체내에 있는 효소들에 의하여 어떤 경우에는 무독화(해독) 되거나 또 어떤 경우에는 보다 강한 화합물



- Ⓟ : 포스파타제
- Ⓢ : 카복시에스테라제
- Ⓜ : GSHS-트란스츨라제

그림 1. malathion의 분해위치

로 변하여 활성화(活性化)된다. 이와 같은 생체내에 있어서 대사경로(代謝經路)의 차이, 활성화의 대소에 따라 살충제의 선택성이 크게 좌우된다.

표 3에서 보는 바와 같이 malathion은 포유동물, 조류(닭)에 대해서는 독성이 낮고 곤충류에 대해서는 독성이 높은 화합물로서, 선택독성의 한가지 좋은 예가 되고 있다.

표 3. 곤충과 척추동물에 대한 malathion의 독성

척추동물에 대한 LD50 mg/kg(경구)	곤충에 대한LD50 mg/kg(국소처리)
쥐 1,509	바퀴 8.4
생쥐 1,609	집파리 30
물뚱트 570	응애(클) 0.75
닭 275	멸강나방 18

한가지 예를 들면 malathion은 포유동물이나 곤충 체내에서 산화되어 malaoxon으로 변환 다음 콜린에스테라제(ChE)를 저해하는 데 쥐의

□ 살충제의 작용기구와 사용시 주의점 □

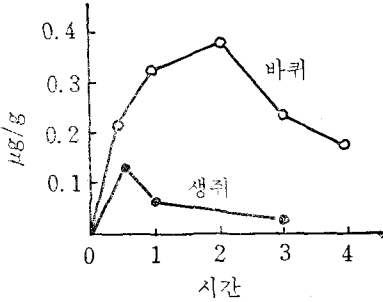


그림 2. 생쥐와 바퀴체내에 있어서 malaoxon의 함량(malathion 30µg/g투여)

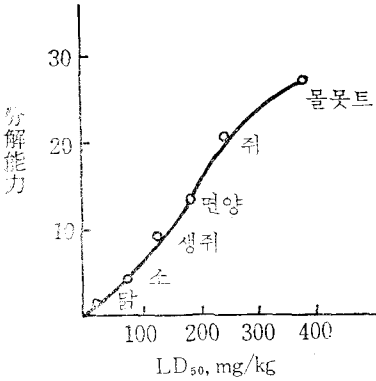


그림 3. 몇가지 포유동물에 있어서 Dimethoate 분해능력과 독성과의 관계

간에서는 Malaoxon을 즉시 분해, 무독하게 만든다. 또 malathion은 카복시에스테라제에 의하여 분자내의 카복시에스테르 결합이 파열(생쥐에서는 약 70%, 바퀴나 집파리에서는 약 30%가 효소에 의해 분해됨) 되는 외에 다른 효소에 의해서

도 여러 곳에서 분해된다(그림 1 참조). 이와 같은 분해효소의 활성은 포유동물 쪽이 훨씬 높다. 그림 2에 나타낸 바와 같이 바퀴 체내에서는 malaoxon이 다량 존재하는 데 비해 생쥐에서는 malaoxon이 약간 존재할 뿐이다. 즉, 이와 같은 현상 때문에 선택독성이 발휘되는 것으로 해석되고 있다. 같은 포유동물이라도 Dimethoate의 분해능력에 차이가 있는 예도 볼수 있다(그림 3 참조).

### 3. 生體內 축적 및 배설

체내에 침입한 약제가 지방조직(脂肪組織)에 축적(蓄積)되어 작용점으로 이행하지 못하거나, 침투한 약제가 배설(排泄)되는 것은 살충제의 종류, 또는 동물의 종류에 따라 차이가 있을 것으로 생각되나 이들을 살충제의 선택독성과 관련시킨 연구보고는 찾아 보기 어렵다.

### 4. 작용점의 투과성

작용점에 도달하는 약량은 처리약량, 체내 침입 후의 대사, 체내 조직에의 분배에 따라 다르고 최종적으로 작용점 주변에서의 약제 농도가 투과성에 관계한다. 물론 살충제의 종류에 따라 작용점이 다른 데 현

재 사용되고 있는 대부분의 살충제는 작용점이 신경조직에 있다. 척추동물에서는 혈액뇌관문(血液腦關門)이 있어 뇌에의 물질유입(物質流入)을 제어하고 있다. 곤충은 개방혈관계(開放血管系)로 되어 있어 신경조직에의 물질유입 제어에 관해서는 명확히 밝혀져 있지 않으나 신경구(神經球)를 에워싸고 있는 신경소(神經鞘)가 있어 이것이 K 등의 이온 투과성을 제어하고 있는 것으로 알고 있다. 그래서 이들 장벽은 이온 화합물이 아세틸콜린을 투과시키지 않는다는 사실도 잘 알려져 있다. 그러나 이들 조직에의 살충제 투과성은 Schradan에서 보고된바 있다. 즉, 꿀둥매미충이나 먹노린재의 신경구는 그의 장벽이 극히 박약(薄弱)해서 Schradan의 투과성이 선택적으로 판계한다고 한다. 한편 포유동물에 대한 Fenitrothion의 저독성은 Fenitroxon이 뇌에의 침입이 어려운 것도 하나의 선택성을 나타내는 원인으로 해석되고 있다.

## 5. 작용점에서의 독성

작용점에 있어서 살충제의 독작용은 유기인제나 Carbamate제에 의한 신경의 AchE 저해작용, DDT 등은 신경의 전기생리학적 연구업적이 많다. 신경 시나프스에 있어서 자격전달

(刺激傳達)은 포유동물에서나, 곤충에서나 마찬가지로 AchE에 의하여 영위되고 있다. 그런데 포유동물에 있어서 신경근접합부(神經筋接合部)의 전달은 신경 시나프스와 똑 같으나 곤충에서는 그와는 다른 전달물질에 의해서 이룩되는 것으로 해석하고 있다.

AchE 효소단백 분자는 음이온 작용점과 에스텔 작용점을 가지고 있어 살충제(저해제)—기질(基質)—효소계에 있어서의 저해반응(阻害反應)은 활성기(活性基)와 저해제(阻害劑)와의 친화성에 따라 다르게 나타난다. 콜린에스테라제(ChE) 저해력과 선택독성과의 관계는 꿀벌에 대한 Iso-propyl-Parathion의 저독성은 Iso-propyl-paraoxon이 꿀벌의 ChE 저해력이 낮은 데 기인되며 Fenitrothion의 저독성은 쥐의 뇌에 있는 ChE 저해력이 낮은 데 기인되는 것으로 해석되고 있다.

## 6. 2차적 독작용의 발휘

DDT나 TEPP로 처리한 곤충 체내에는 어떤 종류의 유독물질(有毒物質)이 곤충체내에서 발생하여 이것들이 곤충의 사망과 밀접한 관계가 있는 것으로 연구, 보고한 예는 있으나 아직 살충제의 선택독성과 관련시켜 연구한 보고는 없는 것으로 알고 있다. <계속>