

## ② 살충제 저항성 해충 어떻게 방제할 것인가

### 1. 약제저항성이란?

해충(응애류 포함)의 살충제(살비제 포함)에 대한 저항성발달(抵抗性發達)이라 함은 어떤 해충 개체군(個體群) 내에서 대다수의 개체(個體)가 해당 살충제에 대하여 저항력(抵抗力)을 가지는 해충 계통(系統)이 출현되는 현상을 말한다. 즉 동일한 살충제를 해충개체군 방제에 계속 사용하면 저항력이 강한 개체들만이 계속 선발(選發)되어 더욱 저항력이 증가하고 이전에 유효(有效)했던 약량(藥量)으로는 이 해충을 방제하는 것이 불가능하게 된다. 이러한 현상을 약제저항성(藥劑抵抗性)이라 하고 그 해충 개체군을 저항성계통(抵抗性系統)이라 한다.

### 교차저항성과 복합저항성

어떤 살충제에 대하여 저항성이 발달한 해충이, 한번도 사용한 적은 없지만, 작용기구(作用機構)가 같은 살충제(예: 유기인계와 카바마이트계)에 저항성을 나타내는 현상을 교차저항성(交叉抵抗性)이라 한다. 또한 살충작용이 다른 2종 이상의 약제에 대하여 동시

에 해충이 저항성을 나타내는 현상을 복합저항성(複合抵抗性)이라 한다. 따라서 현상적으로 교차저항성과 복합저항성은 유사하지만 발현(發現)의 원인(原因)은 다르다. 즉 교차저항성은 한 유전자(遺傳子)의 다면(多面) 발현으로 항상 동일한 현상이 나타나는 반면에 복합저항성은 두가지 이상의 유전자가 별개로 관여하고 있기 때문에 항상 같은 현상이 나타난다고는 할수 없다. 실제 포장(圃場)에서 해충의 약제저항성 계통은 대상 해충의 종류와 살충제의 사용 역사에 따라 단일약제저항성, 교차저항성, 복합저항성 등 다양한 양상(樣相)을 나타낸다.

### 다음 세대로 계속 유전돼

저항성 발달 정도의 표현은 같은 해충 종(種)의 살충제 저항성 발달 계통과 약제를 거의 한번도 살포하지 않은 감수성계통(感受性系統)과의 비교, 즉 저항성계수(抵抗性系數) = 저항성계통 LD<sub>50</sub> / 감수성계통 LD<sub>50</sub>로 나타낸다. 일반적으로 LD<sub>50</sub>의 비교값이 2~4배의 차이를 보이는 것은 곤충개체의 생리적(生理的), 영양적(營養的), 환경적(環境的) 또는 기타 요인(要因)에 의한 내성(耐性)의 차이에 기인(基因)된 경우가 많으며 유전적 특성은 아니다. 그러나 저항성이라 함

은 해충개체군의 살충제에 대한 내성이 유전자에 의해서 다음 세대로 계속 유전되는 현상을 말한다.

이러한 해충의 살충력에 대한 저항성은 선천적(先天的)으로 강한 개체가 자연집단(自然集團)중에 낮은 농도(濃度)로 분포되어 있어서 살포되는 살충제가 도태물질(淘汰物質)로 작용하여 그 집단 내의 저항성해충 개체의 존재비율(存在比率)을 증가시킴으로써 일어나는 일종의 진화현상(進化現象)이라 할 수 있다. 따라서 도태 강도(強度)가 강할수록, 도태되는 세대수(世代數)가 많을수록 저항성의 발달속도가 빨라진다. 반면에 저항성발달 수준(水準)이 낮은 이질성(異質性)인 저항성해충개체는 다른 환경 저항에 대해서는 약한 경향을 보이고 있어서 살충제의 도태가 중단될 때는 개체군 내의 저항성 개체의 비율이 감소되어 감수성해충 개체군으로 돌아가는 경향이 있으나 동질성(同質性)인 저항성해충 개체군이 형성된 후에는 약제를 살포하지 않더라도 감수성해충 개체군으로 돌아가지 않는다.

## 2. 살충제 저항성의 기원과 발달

저항성의 기원은, 해충의 자연 개체군 중에는 본래부터 살충제에 대

해서 강한 유전자(遺傳子)를 가진 개체와 약한 유전자를 가진 개체가 혼재(混在)되어 있는데 대부분이 후자인 개체들로 구성되어 있으므로 살충제 사용으로 인한 도태를 여러 세대에 걸쳐서 되풀이 함에 따라 살충제에 강한 유전자를 가진 해충 개체들의 선발(選拔)이 계속되므로 저항성이 증가하게 되고 해충의 집단 중에서 우연한 기회에 돌연변이(突然變異)를 일으켜 저항성 유전자를 획득(獲得)하게 되어 해충 개체가 살충제를 살포한 환경에서 살아남게 되고 그 자손(子孫)을 증가시키는 결과를 나타내어 저항성 발달 계통이 출현(出現)하게 된다.

### 계속적 약제살포 저항성 유발

즉, 자연 개체군에서 희소(稀少)하게 존재하는 저항성 유전자를 가진 해충개체는 살충제의 선발압(選發壓)에 의하여 초기에는 약제저항성이 서서히 증가하는데, 년중 발생 회수가 많고 밀도 증가(密度增加)가 빠른 해충의 피해를 막기 위해서는 살충제를 주기적으로 살포하여야 하기 때문에 계속적 약제살포에 의하여 저항성 증가 속도가 빨라진다. 이와 같이 계속적 약제살포는 저항성 유발(誘拔)의 원인이 된다. 저항성 해충의 출현(出現)은 두 가지

설(說)로 요약되는데, 그것은 돌연변이설(突然變異說)과 도태설(淘汰說)이다. 다시 말하면, 저항성 유전자가 선천적 존재(存在)인지 후천적 유발(誘拔)인지에 대해서 학자간에 논의되어 왔으나, 오늘날 대다수의 학자들에 의해 지지되고 있는 것은 선천적 존재설로서, 치사(致死)시키지 않을 농도(濃度)의 살충제를 누대처리(累代處理)한다 할지라도 저항성은 유발되지 않으나 살충제의 치사량을 계속 처리할 때는 선발 물질로 작용하기 때문에 저항성이 유발된다.

### 선천적으로 해충집단에 존재

예로써, Crow (1957)는 초파리에 대해서 50세대 동안 치사없이 계속 누대 처리 하였으나 저항성 유발이 전혀 일어나지 않았음을 보고하였고, Brown (1958)은 대만에서 과거에 한번도 살충제를 살포한 적이 없는 지역의 빈대 200마리 중에서 한 마리가 DDT에 저항성 이었고 아프리카에서는 약제 살포를 한 적이 없는 지역에서 모기의 0.04~12%가 디엘드린에 저항성이라고 하였다. 이러한 사실은 처너지에 있는 해충 집단에도 저항성 유전자가 존재하고 있다는 사실을 입증하고 있다. 이와같이 원래 해충개체군에 극소수로 존재하는 저항성 유전자는

농약을 살포하는 환경 조건 하에서 선발된다. 해충 집단에 대해서 살충제를 계속 살포함에 따라 저항성 유전자가 선발되고, 저항성은 선천적으로 해충집단의 처녀(處女) 자연개체군에 존재하며, 살충제는 이러한 요인을 환경에 적응시키는데 강력한 선발물질(選拔物質)로 작용한다.

### 저항성의 유발 조건들……

동일종 해충 개체군이라도 살충제의 종류, 살포방법, 기주식물, 유전자의 특성과 수, 기상 조건 등에 따라 저항성 수준(水準)이 다른 계통으로 발달하게 된다. 따라서 저항성 유발의 조건을 보면, (1) 저항성유발은 강력한 선발조건(選拔條件) 하에서 더욱 신속히 일어나고, (2) 고농도(高濃度)의 약제 살포가 아닐지라도 정기적인 선발작용(選拔作用)은 동일한 저항성 수준으로 유발되며, (3) 높은 저항성 수준의 유발은 초기의 강력한 선발에서 얻어지고, (4) 주기적 선발조건 하에서 낮은 농도의 약제살포는 높은 농도의 살포보다 동질성(同質性)인 저항성 계통을 얻을 수 있다. 비저항성(非抵抗性) 계통의 교류(交流)가 없는 한, 동질성 계통에 더이상 살충제를 살포하지 않고 방치하여 두더라도, 저항성 계통의 수준은 또다시 감수성(感受性) 계통으로 돌아가지 않는다.

### 발달속도와 양상, 약제따라 달라

더 나아가서 약제저항성의 발달속도와 저항성 양상(樣相)은 해충의 종류에 따라 다를 뿐만 아니라 살충제의 화학적 계열이 같더라도 약종에 따라 현저한 차이가 있다. 예를 들면, 최근에 필자가 시험확인한 결과에 의하면, 점박이응애는 유기인계에 대하여 저항성발달 속도가 빠르고 유기염소계인 켈센에 대해서는 완만(緩晚)하지만 주석계인 프릭트란은 매우 느린 속도로 저항성이 발달함을 알 수 있다.

또한 유기인계로 도태한 개체군은 동일 계열 약제에 강한 교차 저항성을 나타내고 켈센과 같은 유기염소계 살비제에는 아주 낮은 수준으로 교차저항성을 보였으며 반대로 켈센의 도태개체군은 유기인계에 대하여 그 자체의 저항성 발달 보다 더 높은 교차 저항성을 나타내었다. 근래 많이 사용하는 피레스로이드계인 타스타와 유기인계와의 관계는 켈센과 유사한 저항성 발현 경향이나 타스타와 켈센과는 비교차저항성(非交叉抵抗性)을 나타낸은 약제 간에 저항성기작의 특이성이 다른데 그 원인이 있는 것으로 생각된다. 이와같이 해충의 약제저항성의 발달속도와 양상이 다른 것은 살충제의 화학적 계열에 따라 또는 동일 화학 계열이라

도 약중에 따라 작용기구(作用機構)의 차가 다소 있기 때문인 것으로 생각된다.

### 3. 살충제 저항성의 기작

곤충에서 신경계통의 자극전달(刺戟傳達)은 단일 효소나 수개의 효소작용에 의해서 이행(履行) 되는데 농약의 살충 작용은 이러한 생명의 필수적인 신경 자극전달을 교란(攪亂) 함으로써 곤충의 생명을 잃게한다. 약제저항성 해충이 살충제에 의한 자극전달작용의 교란을 저지(沮止) 하는 방법은 다음 두가지가 있다. 첫째로 저항성계통 해충은 살충제에 의한 자극전달 작용 교란을 막을 수 있는 보호능력의 증가이며 둘째로 살충제의 독작용에 대처하기 위하여 무감각 기능으로 변이(變異)를 일으킴이라 하겠다. 이밖에 여러 요인들이 살충제 저항성 발달에 관여하고 있다.

#### 행동작용과 형태적 변화

따라서 약제저항성 해충의 가능한 저항성 기작(抵抗性機作)을 요약하면, 첫째 행동작용(行動作用)으로 약제를 살포한 곳의 기피(忌避)를위한 식별능력(識別能力)증가, 둘째로 형태적 변화로 살충제의 충체내(蟲體內) 침투(浸透)를 막기 위한 피부

두께의 증대와 활력증가, 셋째로 생리적 현상으로, (1) 살충제의 피부투과성(皮膚透過性)의 감소, (2) 살충제의 독성활성화(毒性活性化) 저지, (3) 살충제의 보다 신속한 대사와 배설작용의 촉진, (4) 체내에 흡수된 살충제의 해독작용(解毒作用) 증대 등이다. 특히 해충의 약제저항성 수준과 해독작용과는 밀접한 관계가 있다. 저항성 해충의 해독작용 방법으로는 산화작용(酸化作用), 가수분해작용(加水分解作用), 비효소반응(非酵素反應), 지방질 조직에서 페닐아민및 트립토판과 같은 대사물질의 기능활발등이다.

#### 여러요인 복합적 작용에 기인

또한 유기인제 저항성해충은 아세틸콜린의 가수분해 효소인 콜린에스트라제를 유기인제에 의해 저해를 받지 않도록 특성을 바꾸고, 저항성 집파리는 불필요한 효소를 분해시키며, 저항성 모기는 살충제 분해효소를 많이 생산하게 된다. 즉, DDT 저항성 해충의 해독작용의 주요 효소는 하이드로클로라아제이고 유기인제저항성 해충에서는 콜린에스트라아제, 알리에스트라아제 및 페닐에스트리아제의 활성기능을 촉진함과 동시에 살충제에 대한 형태적변이와 행동 변화 등에 기인한다. 이 상과 같이 여러 요인이 관여하여 약

제저항성이 발현되는데 경우에 따라 어떤 한 요인이 관여할 수도 있지만 대부분의 경우에 여러 요인이 복합적으로 작용한다.

#### 4. 저항성해충의 방제대책

새로운 농약의 계속적 개발(開發) 사용에 이어 이에 대한 해충저항성 발달이 뒤따르게 됨으로 오늘날 약제저항성 해충을 지속적(持續的)으로 방제하기란 매우 어려운 실정이다. 약제 저항성 해충을 효과적으로 방제하기 위해서는 1) 교체 살비제(交替殺蜂劑)의 합리적 사용, 2) 혼합제의 상승효과(相乘效果) 이용, 3) 해충종합방제법(害蟲綜合防除法)의 체계화에 의한 농약사용 절감(節減) 등으로 생각할 수 있다.

##### 과잉, 연속사용 피해야

저항성발달의 촉진요인(促進要因)을 보면, 방제적 측면, 대상해충 측면 및 유전적 측면등에서 생각할 수 있다. 즉, 해충방제를 위하여 살충제를 사용할 때 약제의 선정, 사용량, 사용방법, 살포회수 등은 저항성 유발에 큰 영향을 주게 된다. 동일 약제의 연속 사용, 필요 이상의 과용, 특히 잔효성이 긴 살충제의 계속 사용등에서 저항성유발이 더욱 촉진된다. 방제 대상해충중 응애류나

멸구류 또는 진딧물류 처럼 이동성(移動性)이 약하고 세대교체(世代交替)가 빠르며 증식력이 강한 종류는 살충제저항성 발달이 더욱 빨라진다. 마찬가지로 해충개체가 지니고 있는 저항성 유전자 수와 그 우성정도(優性程度)도 저항성 발달에 크게 작용한다.

따라서 저항성해충의 방제대책(防除對策)으로는 우선 약제 살포에 의한 저항성발달을 회피(回避)하거나 지연시킬 수 있는 방법으로 살충제의 동일계 약제의 과잉 사용과 연속 사용을 피하고 작용기구가 다른 살충제의 교호 사용(交互使用)의 방법을 고려하여야 하겠다. 특히 발생 회수가 많고 저항성 유발(誘發)이 쉬운 진딧물류나 응애류의 방제는 작용기구가 다른 한 약제를 년 1회씩 다른 약제와 바꿔가면서 사용하면 그 약제의 수명연장은 물론 방제 효과를 기대할 수 있다.

##### 최후무기, 효율적 사용이 중요

그러므로 기존(既存) 살충제에 저항성이 발달한 경우에는 살충제의 작용기구가 다른 대체약제(代替藥劑)의 개발사용이 요망되는데 이와같이 새로운 살충제로 바꾸는 방법은 대체약제 개발속도 보다 저항성발달의 속도가 더 빠르기 때문에 당면 문제점으로 남아 있으나, 최근에 개발

사용되고 있는 안전성 살충제는 부작용이 없고 환경 오염이 적으면서 저항성유발이 더딘 살충제(예: 곤충생장조절제)가 계속 연구 개발되어 사용되어야 할 것이다. 또한 적극적인 타개책(打開策)으로는 해충에 대하여 부상관(負相關)의 교차저항성을 이용한 약제와 해독 활성화의 증대를 저해하는 공력제(共力劑)의 개발 이용이 기대된다.

해충종합방제의 수행에 있어 살충제의 효율적 사용 절감(使用節減)을

위하여는 모든 가능한 방법(方法)과 기술(技術)을 합리적으로 조화를 이뤄 투입했다고 하더라도 해충 발생 빈도가 경제적 피해한계선(被害限界線)을 초과할 때는 살충제 사용이 필요 불가결하다. 해충 방제에 있어 농약은 최후의 무기로서 다른 방제법과 합당하게 조화(調和)를 이뤄 효율적으로 사용이 될때 농업생태계(農業生態系)의 안전기반(安全基盤)이 유지될 것이다.

(끝)

참고자료

농약등록상황

8월중

〈제조품목등록〉

농 약 명	품 목 명	상 표	함유량	등록회사	등록일자
잎집무늬마름병약	바리신액제	-	3%	전진산업	'89. 8. 10
	바리신분제	-	0.3%	전진산업	'89. 8. 10