



김정한
서울대 농업생명과학대 교수

“전에는 한말이면 벌레가 죄다 죽었는데 지금은 세말, 네말을 쏘아 부어도 까딱하지 않아요.” 예전 농업전문지에 게재된 내용이다. 한마디로 정상적인 추천농도로 농약을 살포해도 해충이 잘 죽지 않는다는 말이다. 골치 아프고 황당한 일이 아닐 수 없다.

이러한 현상은 농약에 대해 ‘해충 저항성’이 증가되어 발생한 경우로서, 특히 잔효성이 긴 농약이나 작용점이 제한적인 농약을 계속 사용할 때 소수의 저항성 해충이 살아남아 증식될 수 있는데, 이와 같은 과정이 반복되어 저항성 해충이 계속 증가한다. 이때 해충의 생활사가 짧을수록 저항성 발달속도가 빠르다.

전에는 한말이면 벌레가 모두 죽었는데?

해충 저항성 증가가 문제, 1950년 137종서 최근 541종 보고
과도한 살충제 사용 자제 · 종합적 방제(IPM)법 지속 개발해야

저항성 해충이 증가하면 작물 피해가 증가하고 살충제 사용량이 증가되어 농산물 생산비가 올라간다. 이렇게 되면 직접적으로 농가 소득이 감소되고, 토양 수질 등 환경오염의 증가와 농산물 · 식품의 잔류농약 문제까지도 발생해 농산물의 안전성 확보와 환경 보호에 걸림돌로 작용하게 된다. 더구나 해충의 저항성 발달속도가 새로운 살충제 개발속도보다 훨씬 빠르니 문제가 심각할 수 있다.

해충 저항성 현황

최초의 살충제 저항성 사례는 1908년 미국 산호세까지 벌레가 석회유황합제에 대해 저항성이 발현된 경우이다. 세계적으로 1950년에 137종으로 증가하였고 최근에는 541종으로 보고 되었다.

우리나라에서는 농촌진흥청이 1996년 이후 작물별 주요 해충의 농약 저항성 정도를 주기적으로 조사하고 있는데(표 1) 최근에 농촌진흥청 농업과학기술원이 지난 6년 동안 관찰한 살충제 저항성



변화 결과를 발표했으며 해충의 살충제 저항성이 크게 발달해 약제 선택에 유의해야 할 것으로 지적됐다. 예를 들어 조팝나무진딧물은 피레스로이드계 약제에 대해 추천 농도보다 20~30배 높은 저항성을 보였고, 점박이응애는 최근 개발된

몇몇 살충제를 제외하고는 방제 효과를 기대하기 어려울 정도로 높은 저항성을 보였다. 오이충 채벌레는 등록약제 대부분이 심각한 저항성을 나타냈고 꽃노랑총채벌레는 네오니코티노이드계인 치아메톡삼과 이미다클로프리드에 대한 저항성이 특히 높았다. 또한 온실가루이는 카바메이트계와 피레스로이드계 농약은 전혀 방제 효과를 기대하기 어려웠다(농민신문).

해충 저항성의 정의 및 종류

저항성(抵抗性, Resistance)은 관련기관에 따라 정의가 약간씩 다르기는 하지만 간단하게 말해서 “농약에 대한 감수성(感受性, Susceptibility)이 저하되어 농약에 견딜 수 있는 능력이 발달된 상태”로 유전자에 의해 후대로 유전된다. 이에 반해 내성(耐性, Tolerance)은 단기적으로 감수성이 저하된 상태로 후대에 유전되지 않는다.

이러한 저항성은 단일저항성(한 가지 농약에만 나타나는 저항성), 교차저항성(한 농약에 저항성인 해충이 한 번도 접촉한 적이 없는 다른 농약(유사한 화학구조, 작용기작 또는 대사과정을 갖는 농약)에 저항성 나타낼 때) 그리고 복합저항성(작용 기작이 서로 다른 2종류 이상의 농약에 대해 동시에 저항성을 나타낼 때) 등으로 구분한다. 이러한 다양한 저항성 종류로 인해 사

표 1. 주요 해충의 농약 저항성('96-'02)(출처: 농약의 안전성과 작물보호)

해충	조사지역	살충제	저항성 정도*
복숭아혹진딧물	횡성 등 12지역	피리모수화제	9.4(0.1~24.0)
목화진딧물	평택 등 7지역	할로스린유제	2.1(0.1~9.8)
점박이응애	안동 등 2지역	피리다벤수화제	70.0(60.0~80.0)
배추좀나방	평창 등 9지역	펜발러레이트유제	11.0(4.0~37.0)
“	“	싸이퍼메스린유제	3.5(1.3~7.6)

* 해충에 대한 농약의 반수치사(半數致死)농도(LC50: ppm)/농약추천농도(ppm)

용하지 못하는 살충제가 수십 종에 이른다고 한다.

해충 저항성 원인

그러면 해충들이 어떻게 저항성을 갖게 되는 것일까? 원인은 다음과 같이 크게 3가지로 분류한다. 첫째 행동적 변화인데 해충이 살충제와의 접촉을 회피하여 잘 죽지 않는다. 둘째는 생리적 변화로 해충 표피의 구조변화(예: 표피가 두꺼워짐)로 살충제가 해충의 몸속으로 침투되는 비율이 저하된다. 셋째는 생화학적 변화인데 이는 살충제 무독화대사효소(가수분해 효소, 산화 효소 등)의 양 또는 활성의 증가 및 대사경로, 속도 등의 변화, 체외배설속도 등의 증가에 의한 해독작용이 증대하고 살충제 작용점(살충제가 저해 작용하는 대상)의 변화에 의해 농약에 대한 감수성이 저하(예를 들어 신경계에 작용하는 살충제의 경우; 신경전달 물질인 아세틸콜린을 분해하는 효소인 아세틸콜린에스터라제의 감수성 저하나, 아세틸콜린이 결합하여 신경 자극을 전달하는 아세틸콜린수용체의 성질변화, 신경 세포 막의 변화나 또는 신경세포에서 신경 자극을 생성하는 이온이 출입하는 이온 채널의 변화에 의한 신경의 감수성 저하 등...)된다. 특히 셋째의 1)대사(代謝)와 관련된 방어기능 체계(2005년 10월호 참조)가 활성화 되어 저항성 해

자문위원칼럼 ⑤ 전에는 한말이면 벌레가 모두 죽었는데?

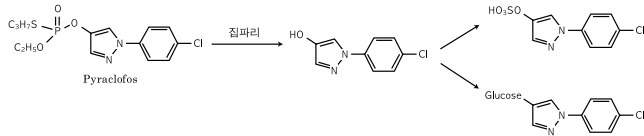


그림 1. 살충제 pyraclofos 저항성 집파리에서 pyraclofos의 대사 경로 (S. W Lee 등, Pesticide Biochemistry & Physiology, 2005)

표 2. 저항성 해충에 대한 대체 농약 선발(출처: 농약의 안전성과 작물보호)

농 약	저항성 해충	대체 농약
피리모	복숭아혹진딧물	이미다클로프리드수화제 등 14약제
할로스린	목화진딧물	프로펜유제, 푸라치오카브유제
피리다벤	점박이응애	아버멕틴유제, 클로르헥나피르유제
피레스로이드계	배추좀나방	루페누론 등 3약제

충이 되는 경우가 많은데(그림 1), 위와 같이 다양한 방법으로 해충이 종족의 생존과 번식을 위해 저항성을 발현시켜 농약의 독성에서도 살아남는 현상을 볼 때, 비록 미물이기는 하지만 자연의 섭리에 대한 존경과 경외감을 금할 수 없다.

입장을 바꿔 해충 입장에서 보면 저항성 해충은 살충제와의 전쟁에서 멸종의 위기를 극복하고 살아남은 생존자이며 미래의 희망인 것이다. 그러나 미안하지만 어찌하겠나! 저항성 해충을 잡지 않으면 우리가 굶어 죽기 때문에 반드시 잡아야 하는 것을.....!

해충 저항성 대책

해충 저항성 대책의 최선책은 저항성을 유발시키지 않거나 지연시키는 방향으로 해야 하는데 대체 농약을 선발하는 등 화학적 방제대책을 마련하고, 생물학적 또는 재배적 요인을 이용한 생물학적 방제를 적절히 사용하는 종합적 방제도 연구개발해야 한다.

화학적 방제 대책을 보면, 먼저 과도한 살충제

의 사용을 자제하고 동일 농약의 연속사용 금지, 살충 기작이 서로 다른 농약을 번갈아 사용(교호사용; 交互使用)한다. 또 여러 가지 살충제의 살충기작, 살포농도, 방법 및 횟수, 잔류기간 및 잔류량 등을 고려한 약효 시험을 하여 저항성이 없는 다른 살충제를 선발, 대체 사용한다(표 2). 아울러 살충기작이 서로 다른 살충제를 혼합하거나 상승효과를 낼 수 있는 혼합제를 개발하여 여러 종류의 해충을 동시방제하고 저항성 발현을 저하 시킨다. 그러나 오히려 저항성을 촉진시킬 위험성이 있기도 하다. 또한 살충제가 해독 대사작용을 거쳐 무독화 되는 반응을 저해하는 협력제를 개발하여 혼합 사용한다. 마지막으로 해충과 사람과의 생리학적 차이점을 이용한 선택적 살충제, 해충의 생체방어체계인 대사과정을 연구하여 무독화 되지 않는 살충제, 또한 살충제 작용점 변화를 극복할 수 있는 살충제 등을 개발한다. 최근의 예로서 동부한농에서 개발한 bistrifluron은 인체에는 독성이 아주 약하고도 해충의 표피구성분인 chitin의 생성을 저해해 해충을 방제할 수 있는 농약이다.

다음으로 종합적 방제(Integrated Pest Management: IPM)법이다. 해충의 생활사, 먹이 선호도, 천적과 경쟁자의 관계, 피해 작물의 내성 정도, 특정 농약에 대한 저항성 정도 등을 고려하고, 화학적 방제를 포함한 가능한 모든 수단을 동원, 상호모순 없이 유효 적절히 사용함으로써 해충을 박멸하는 것이 아니라, 해충 수를 경제적 피해한계 이하로 유지 관리하는 방제법을 연구 개발한다. Y