

톱기슴머리대장
유충(左)과 성충

연구과제

살충제 저항성 그 원인과 대책

정 부 근 경상남도 농촌진흥원(農博)

침예한 대립관계로 발전

인간과 곤충은 농작물에 대한 먹이의 공유자로서 또는 인간이 해충의 기주로서 오랜 관계를 유지해 왔다. 그러나 지구상에서 인구가 증가하고 생활의 질이 향상될수록 인간과 곤충의 관계는 더욱 경쟁관계로 발전하였다.

인간은 이 경쟁관계에서 이기기 위하여 경종적, 기계적, 물리적, 생물적, 화학적, 방역적으로 강구할 수 있는 모든 조치를 최대한 활용하여 대처하였다. 그러나 역사적으로 볼 때 인간이 항상 승리하였던 것은 아니다.

왜냐하면 해충도 변화된 환경에 능동적으로 대처함으로써 오늘날과 같이 번창하게 되었기 때문이다. 결국 양자는 오랫동안 공진화(coevolution)의 틀 속에 있었고 오늘날 그 관계는 첨예한 대립의 양상을 빚고 있다. 이 때문에 인간에게 해결해야 할 많은 문제를 야기하고 있다.

해충은 그 개체수가 많은 것과 함께 개체의 다양성도 풍부해서 광범위한 방제조치를 능히 극복할 수 있다. 인간이 취한 방제조치는 개체군 중에 있던, 상대적으로 저항성인 유전형질을 가진 개체를 선발하게 되어 결국 저항성 개체가 우점하게 됨으로써 방제조치는 효력을 상실하게 된다.

이 글에서는 농약중 해충방제가 가장 중요한 살충제를 중심으로 해충이 저항성을 나타낼 때 저항성 발달에 관여하는 인자에 대하여 고찰하고, 살충제 저항성 문제를 슬기롭게 극복할 수 있는 몇가지 대책을 제시함으로써 농약 사용상 신중함을 제고코자 하였다.

1. 살충제 저항성의 원인

해충의 살충제 저항성에 관여하

표1. 집파리 SKA 계통의 저항성 기작 (Sawicki 1973)

유 전 자	염색체	Diazinon에 저항성 배수
SKA(parent strain)	2, 3, 5	250
gene <i>a</i> , <i>gst</i>	2	13
<i>Pen</i>	3	1.5
<i>md</i>	5	8
gene <i>a</i> , <i>gst</i> , <i>Pen</i>	2, 3	62
gene <i>a</i> , <i>gst</i> , <i>md</i>	2, 5	62
<i>Pen</i> , <i>md</i>	3, 5	9

는 인자로는 살충제의 체벽투과인자, 살충제 작용점의 불감성, 해독분해효소(esterase, microsomal monooxygenase, glutathione S-transferase 등)의 활성증가를 들 수 있다.

표1은 집파리 SKA 계통에서 저항성 발현에 관여했던 유전인자가 살충제 저항성에 어느정도 기여했는지를 나타내고 있다. 이 표에서 보면 살충제 저항성은 어느 한 요인에 의해서라기 보다는 여러 유전인자가 복합적으로 관여함을 알 수 있다.

표2는 살충제 저항성 발현에 관여하는 요인들을 나타내고 있다. 여기서 유전적, 생물적 요인들은 인간이 조정할 수 있는 것이 아니지만 방제조치를 취할 때 고려할

표2. 포장개체군에서 살충제 저항성 선발에 영향을 주는 인자들(Forgash, 1984)

유 전 자	생 물 적	방 제 적
1. 저항성 대립유전자 빈도	I. 생물적	I. 농약
2. 저항성 대립유전자 수	1. 세대경과	1. 살충제 성질
3. 저항성 대립유전자 우성도	2. 세대당 자손	2. 이전에 사용된 농약과의 관계
4. 저항성 대립유전자 투과성	3. 교미, 처녀생식	3. 잔류와 제형
상호작용	II. 습성	II. 처리
5. 예전의 약제선발	1. 격리, 이동	1. 처리수준
6. 적응성	2. 교미	2. 선발수준
	3. 생존개연성, 회피	3. 발육단계
		4. 처리방법
		5. 처리공간
		6. 교차선발

으로써 저항성 발달을 억제할 수 있다. 유전적인 측면에서 저항성 대립유전자의 수, 빈도, 우성도, 상호작용 등은 모두 저항성 발달에 촉진인자로 작용하게 된다.

신중한 농약사용자세 요구돼

생물적인 측면에서 한 세대 경과시간이 짧고 세대당 자손의 수가 많은 벼멸구, 응애, 배추좀나방, 진딧물과 같이 체구가 작은 해충이 여기에 포함 된다고 할 수 있다. 그리고 교미, 처녀생식, 격리성이나 이동성 등의 요인은 미시적 관점과 거시적 관점에 따라 저항성 발달에 촉진인자일 수도 있고 지연요인일 수도 있다.

방제적인 측면에서는 표에서와 같이 환경중에서 농약의 잔류기간이 짧고, 이전에 사용했던 농약의 작용기작이나 대사에 관련한 연관이 없을 때 저항성 발달을 지연시킬 수 있다. 그러나 이러한 요인은 인간의 욕구와 상충되는 점이 많다. 그 이유는 농민들은 잔효력이 긴 농약과 그러한 방향으로 개발된 농약제형을 선호하고, 예방적으로 농약을 살포한 후 안심하고 지내기를 바라기 때문이다. 또한 이전에 사용했던 것과 연관이 없는 농약이란 결국 농약의 개발비용 상승과 연관되어 있기 때문에 그 해결책이 쉽지 않다.

따라서 농약도 이제는 앞서 언



톱날노린재

급된 몇몇 문제해충에 대해서는 의약품과 같은 정도의 사용상 신중함을 가지고 방제에 임하는 자세가 필요하다. 즉 농약의 농도, 병해충의 종류, 지난번 방제때 사용한 품목명과 그 품목이 속했던 농약의 계열군 등을 고려할 필요가 있다. 그리고 이에 대한 근거를 두고 약종의 선택, 방제시기의 선택, 농약처리 공간의 선택 등에 있어서 방제목적에 대한 초점을 분명하게 해두어야 한다. 이 같은 합리적 선택이 농약 저항성 발달을 지연시키는 중요한 인자이다.

2. 살충제 저항성 대책

가. 중·장기적 대책

해충의 살충제 저항성 문제를 근원적으로 해결한다는 것은 인간이 개발한 새로운 기작의 살충제가 해충의 저항성 발달속도 보다도

장기적인 관점에서 신농약의 개발 비용과 시간을 단축시킬 수 있는 보다 효율적인 체계의 개선이 끊임없이 이루어져야 한다

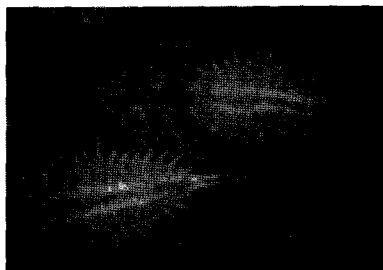
항상 한 단계 앞서가는 상태를 의미한다. 그러나 이같은 기대는 오늘날 농약 등록상 반드시 수반되는 환경관련 시험이나 약효관련시험 등을 고려하면 해결하기 어려운 문제이다. 그럼에도 불구하고 이러한 문제는 식량문제를 해결하기 위해 반드시 해결해야 할 과제이다.

따라서 장기적인 관점에서 신농약의 개발비용과 시간을 단축시킬 수 있는 보다 효율적인 체계의 개선이 끊임없이 이루어져야 한다. 이와함께 개발에 따른 기초연구가 지속적이고 안정적으로 수행될 수 있도록 하여야 한다.

효율적 개발체계 가져야

이글에서는 이 분야에 대한 논의를 할만큼 지면이 넉넉하지 못하고 또한 관계 전문가와 정책 입안자에 의해서 효율적으로 수행되

**병해충 종합방제의 지속적인 추진
과 함께 천적자원의 보호를 고려한
약제선택 및 사용으로 저항성 발달
을 억제시키는 노력이 필요하다**



거북잎벌레의 어린벌레

고 있다고 본다. 다만 이와같은 기초연구가 지속적으로 수행되기 위해서는 현재 농민이 재배하고 있는 작물의 안정적인 생산이 뒷받침될 수 있도록 하는 것이 중요하다.

나. 단기적 대책

방제효과가 좋은 어떤 살충제는 그것이 연용되었던 일정기간을 두고 살포되었던 살충제 저항성이 나타나는 것은 그 약제가 해충방제를 위해 계속되는 한 필연적이다. 단지 살충제 저항성 발달을 최대한 지연시키면서 오랫동안 살충효력을 그대로 유지할 수 있는 몇가지 방법을 제시하고자 한다.

종합방제의 지속적 추진

병해충 방제를 위해 과거와 같이 병해충의 발생양상을 고려하지 않고 달력에 의거한 농약의 예방적

사용은 지양되어야 한다. 그 대신에 모든 방제조치 즉 법적, 유전적, 물리적, 경종적, 내충성품종 이용 및 생물적으로 이용 가능한 모든 수단을 동원하여 해충의 발생을 경제적 피해수준이하로 유지하도록 시도한 후에도 발생하는 해충은 가장 효율적이고 안전한 방법으로 사용하여 농약의 사용량을 줄임으로써 해충의 저항성 발달을 억제하는 방안이다.

살충제 저항성 천적의 이용

해충방제를 위해 사용한 살충제에 대하여 저항성을 나타내는 것은 해충뿐만이 아니고 천적도 포함된다. 따라서 기존의 살충제들 중에는 비록 해충에 대해서는 그 살충효력이 떨어진다고 하더라도 천적에 영향이 적은 약제가 있을 수 있다.

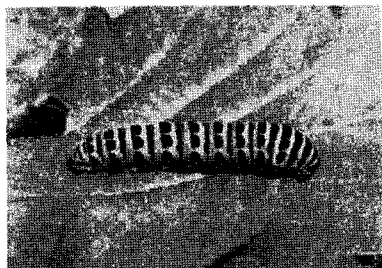
예로 영국의 사과원에서 사과용

애를 방제하기 위해 천적인 *Typhlodromus pyri* 용애를 도입하면서 살충제의 특성을 천적 파괴형, 천적 억제형, 중립형 및 치료적인 행동으로 분류하였다. 그들은 유기인제와 나크의 사용을 강조하였는데 이들은 해충과 천적에 그 영향이 적은 것으로 분류하였다. 그러나 천적을 파괴하거나 해충에 지나치게 효과가 좋은 약제는 바람직하지 않은 것으로 보았다. 그 이유는 해충이 대발생할 수 있는 조건을 제공하면 빈번한 농약살포나 살충제 저항성 발달로 귀착되기 때문이다.

저항성 해충의 감시체계 적용

사과, 배, 감귤 등의 과수원이나 시설채소 재배지 등에서 흔히 부딪치는 문제는 약종이 너무 많아서 결정을 어려운 때가 있다. 그렇다고 이들 모든 약제가 특정지역 특

산호랑나비 어린벌레



정농가에 까지 모두다 높은 방제효과를 기대하기는 어렵다. 왜냐하면 살충제의 해충에 대한 방제효과는 개개의 농가에서 지금까지 사용한 농약의 종류와 계열, 횟수 등에 따라서 교차저항성, 복합저항성, 천적의 밀도 등이 모두 다르기 때문이다.

따라서 개개 농가에서 방제하고자 하는 해충을 대상으로 가장 방제효과가 뚜렷한 약종을 선발하는 간단한 시험을 수행한 후 방제에 임하는 것이 바람직하다. 물론 정부나 업계에서 자율적으로 해충의 저항성 발달로 인한 약효감소를 조사·조절해오고 있으나 세세한 곳까지 손길이 미칠 수는 없는 노릇이다.

살충제의 혼용

살충제의 혼용은 ① 제초제, 살균제, 비료 등과 같이 성질이 다른

혼용에 의한 상승작용이 없거나 오히려 부작용이 더 크게 나타날 수도 있으므로 농약의 혼용은 연구성과에 바탕을 둔 신중한 접근이 요구된다



왕무당벌레붙이 어린벌레

화합물을 섞음으로써 노동력을 절감하거나 ② 살충제와 살충제나 살균제를 섞음으로써 대상병해충 방제의 적용범위를 넓히고 상승적 협력작용을 피하며 ③ 살충제에 협력제를 첨가함으로써 살충효력을 높여 저항성 해충을 방제하려는 것으로 요약할 수 있다.

그러나 ① 항은 저항성 대책이 될 수 없다. ② 항의 경우 실제로 농가에서 흔히 적용하고 있으나 대개의 경우 ▲약제혼용에 의한 상승작용이 없거나 ▲약제, 주성분의 과다살포로 환경오염을 일으킬 수도 있는 등 부작용이 오히려 더 크게 나타날 수 있다. 그러므로 농약혼용은 연구성과에 바탕을 둔 신중한 접근이 요망된다고 하겠다. 그리고 살충제에 협력제를 첨가하는 것은 아직 실용화되기에는 많은 어려움이 있으나 협력제 제

형의 안정성과 가격문제를 해결할 수 있다면 해충의 살충제 저항성 발달을 지연시킬 수 있다. 뿐만 아니라 농약 주성분의 양을 현저하게 줄일 수 있는 큰 장점이 있으므로 지속적인 연구성과가 기대된다. 또한 협력제가 관여하는 살충제 해독기작에 대한 연구는 신살충제 개발의 핵심 생리생화학적인 연구라는 측면에서 앞으로 그 기대가 크다고 하겠다.

농약의 교호살포

농약의 교호살포나 혼용은 두가지나 그 이상의 살충제에 대하여 동시에 저항성을 나타내는 저항성 유전인자의 비율이 한 약제에 비하여 현저히 적다는 가설에 근거를 두고 있다. 따라서 관여한 둘이나 그 이상의 살충제 작용기작이 상이한 약제를 선정하는 것이 중요하다. 국내에서 벼멸구와 응애에 대해서 일부 연구가 수행되었으나 약제의 교호살포를 통한 저항성 해충방제를 실용화시킬 수 있는 포장성적이 아직 없는 실정이다. 또 이에 대한 연구성과가 요망되지만 연구성과를 얻기까지 긴 시간이 소요되는 어려움이 있다.