

흡습성 및 저작성 해충과 거미류에 대한 imidacloprid의 살충효과

최병렬^{*} · 이시우 · 송유한¹ · 유재기

농업과학기술원 작물보호부 농업해충과, ¹경성대학교 농과대학 농생물학과

요약 : 흡습성 해충과 저작성 해충 및 천적에 대한 imidacloprid의 살충력을 처리방법별로 조사하였다. 흡습성 해충인 벼멸구에 대하여 imidacloprid의 미량국소처리에 의한 LD₅₀은 0.015 µg/g (48시간)이었으며, 유묘침지와 근부처리시의 LC₅₀은 각각 21.5 와 18.1 ppm을 보였으며, 처리간의 살충력 차이는 보이지 않았다. Imidacloprid 액제를 근부처리를 하였을 경우 20 ppm에서도 살란효과가 93%을 보였으며, 반수살란농도는 6.8 ppm이었다. 복숭아혹진딧물에 대한 imidacloprid의 LD₅₀은 0.4 µg/g(48시간)이었으며, 엽침지처리와 근부처리 48시간 후 LC₅₀은 각각 1.9과, 13.7ppm으로 엽침지처리에 의한 살충효과가 높았다. 저작성 해충인 담배거세미나방과 파밤나방에 대한 imidacloprid의 LD₅₀은 1492.5이상과 312.5 µg/g으로 살충력이 낮았으며, 엽침지처리에 의한 LC₅₀은 각각 4803.3과 5000 ppm 이상을 보여 imidacloprid는 흡습성 해충보다 저작성 해충에 대해 살충력이 낮았다. 배회성거미인 황산적거미(*Pirata subpiraticus*)와 턱거미(*Pachygnata clercki*)에 대한 LD₅₀이 각각 294.1과 2976.3 µg/g 이상으로 독성이 매우 낮았으며, 조망성거미인 등줄가슴애접시거미(*Ummeliata insecticeps*)에 대한 LD₅₀은 357.1 µg/g로 역시 독성이 낮았다. Imidacloprid의 거미류와 벼멸구간 선택독성은 각각 196,000 이상과 198,000이상 및 23,800이상으로서 독성이 벼멸구에는 높은 반면 거미류에는 낮았다.(1999년 9월 6일 접수, 1999년 9월 30일 수리)

Key words : imidacloprid, *Nilaparvata lugens*, *Myzus persicae*, spiders, selective toxicity.

서론

제2차 세계대전 이후 유기합성 살충제의 출현은 인류역사상 농업해충의 방제에 의한 농작물의 증수와 인축에 질병을 매개하는 위생해충의 구제에 의한 인간의 보건향상이라고 하는 두 가지 측면에서 획기적인 전기가 되었으며, 오늘날도 농약의 시대라고 해도 과언이 아닐 정도로 농약의 생산과 사용량은 매년 증가하고 있다(농약공업협회, 1977).

우리 나라에서도 해충방제를 위하여 사용되고 있는 살충제는 매년 사용량이 증가되어 '96년 현재 유효성분량으로 약 24천톤에 이르고 있으며, 국내에서 사용되는 농약은 합성피레스로이드계, 유기인계 등 5가지 계통으로 분류할 수 있으며, 그 중 유기인계와 카바메이트계는 60~70년대 부터 사용되어 전체사용량의 90%를 차지하고 있다(농약공업협회, 1997). 그러나 이러한 기존 농약들은 저항성해충의 발생과 인축에 대한 독성, 환경오염, 잔류성 등의 부작용으로 사용이 점차 제한되고 있는 실정이다(Brown과 Pal, 1971).

따라서 기존 농약의 사용으로 인하여 발생된 저항성해충에 대하여 상이한 작용 기작으로 교차저항성을 보이지 않고 환경오염과 인축에 대한 독성이 낮으며, 천적에 안전

한 새로운 농약 개발이 요구됨에 따라 imidazolidin계 농약이 1990년대 초·중반부터 개발되어 현재 전세계 60여 개 국가에서 사용되고 있다(Leicht, 1996). 우리 나라에서도 1992년에 등록되어 그 사용량이 1997년에는 약 62톤으로 '93년보다 35배나 증가되었으며 앞으로도 같은 계통의 농약이 등록될 전망이어서 사용량은 더욱 늘어날 것으로 생각된다. 그러나 이런 우수한 특성을 가지고 있는 약제라 하더라도 사용량이나 사용횟수가 많아지면 해충에 대한 도태압이 높아져 저항성 해충의 발생은 필연적이라고 할 수 있다. 따라서 해충방제를 위한 약제의 사용은 살충력과 작용특성에 대한 정확한 정보를 토대로 하여야 한다.

본 시험은 흡습성 해충인 벼멸구, 복숭아혹진딧물과 저작성 해충인 담배거세미나방과 파밤나방에 대하여 imidacloprid의 처리방법별 살충력을 조사하여 정확한 살충특성을 구명하여 적절한 약량으로 사용기간을 연장하고자 하였으며, 포식성 천적인 논거미류에 대하여 독성 조사에 의한 해충과 천적간 선택독성 구명하여 환경친화적인 종합적 방제 약제로 사용여부를 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

실험곤충

벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)는 1985년에 포장에서 채집하여 약제에 노출시키지 않고 추청벼(*Oryza sativa* L.)

*연락처

유묘로 온도 $27 \pm 1^\circ\text{C}$, 광 주기 16L : 8D 조건의 사육실에서 누대사육 하였다. 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae* Sulzer, GPA)은 1996년에 한국화학연구소에서 감수성계통을 분양 받아 배추(*Brassica campestris* Makino)를 기주로 하여 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 광주기 16L : 8D, 상대습도 40-60%의 조건으로 약제에 노출시키지 않고 누대 사육 하였다. 담배거세미나방(*Spodoptera litura* Fabricius)은 1993년에 경남 함안의 콩밭에 서식하는 유충을 채집하였으며, 파밤나방(*Spodoptera exigua* Hübner)은 충남 인주의 파밭에서 채집한 유충을 실내에서 농약에 노출시키지 않고, 인공사육실($25 \pm 1^\circ\text{C}$, 16L : 8D)에서 인공사료로 누대사육 중인 것을 사용하였다. 포식성 천적인 황산적거미(*Pirata subpiraticus*), 턱거미(*Pachygnata clercki*), 등줄가슴애접시거미(*Ummeliata insecticeps*)의 성충을 10월 초순경 수원시 당수동에 있는 농업과학기술원 시험포장에서 채집하여 24시간 동안 실내에서 개체별로 순응시켜 실험에 사용하였다.

실험약제

공시충에 미량국소처리를 위해 imidacloprid(93%)원제와 대조약제로 BPMC(92%), pirimicarb(90%), chlorfenapyr(92%) 원제를 사용하였다. 공시충에 관주처리와 유묘침지처리를 위해 imidacloprid 4% 액제, imidacloprid 10% 수화제를 증류수에 희석하여 사용하였으며, 대조약제로 BPMC 50%유제, pirimicarb 25% 수화제, chlorfenapyr 4% 액상수화제를 사용하였다.

미량국소처리(topical application)

Imidacloprid, BPMC 원제를 소정약량으로 아세톤에 희석하여 미량국소처리기(Burcard Scientific, Serial No. HMA 92(72))로 우화 후 3일된 벼멸구 암컷성충을 CO_2 로 20초간 마취하여 흉복부에 총당 $0.2 \mu\text{l}$ 씩 처리하였다. 처리 48시간 후에 사충율을 조사하였으며, 실험충수는 처리약량 당 20마리 3반복으로 하였다. 실험에 사용한 벼멸구 암컷성충의 평균무게는 0.00196 g 이었다.

복숭아혹진딧물은 우화한지 2일된 무시형 성충을 CO_2 로 10초간 마취하여 희석된 약제를 미량국소처리기로 흉복부에 총당 $0.1 \mu\text{l}$ 씩 처리하였다. 처리된 진딧물은 증류수로 적신 여지(Whatman, No. 3)를 깔고 배추잎(직경 6cm)을 넣은 샐레(직경 6cm)에 보관하였다. 처리 24, 48시간 후에 진딧물을 붓으로 건드려서 움직이지 않는 것은 죽은 것으로 간주하였다. 실험충수는 처리약량 당 20마리 3반복으로 하였고, 실험에 사용된 진딧물 1마리의 평균무게는 0.000508 g 이었다.

담배거세미나방과 파밤나방은 3령충을 $0.5 \mu\text{l}$ 씩 처리하여 배추잎이 들어 있는 샐레(직경 9cm)에 접종하였으며, 처리 24, 48시간 후에 사충율을 조사하였다. 실험에 사용한 나

방들의 유충은 처리약량 당 10마리 3반복으로 하였고, 공시충의 평균무게는 $0.013\text{g}/3\text{령 TCW}$, $0.043\text{g}/3\text{령 BAW}$ 이었다.

황산적거미(0.0170 g)와 턱거미(0.0168 g)는 소정약량을 총체 당 $0.5 \mu\text{l}$ 씩 흉복부에 처리하였으며, 등줄가슴애접시거미(평균무게 0.0028 g)는 $0.2 \mu\text{l}$ 씩 처리하여 1마리씩 증류수로 적신 솜이 들어있는 3 ml용량의 vial에 넣고 24, 48시간 후에 사충수를 조사하였다. 반수치사약량(LD_{50})은 Finney(1963)의 probit 분석법에 따라 산출하였다.

근부처리(root treatment)

imidacloprid 4% 액제와 BPMC 50% 유제를 소정농도로 희석하여 20 ml씩 넣은 시험관($2.8 \times 18 \text{ cm}$)에 유묘(5일묘)의 뿌리부분을 탈지면으로 말아서 넣고 탈지면 부분만 약액에 적셨다. 우화 3일된 벼멸구 암컷성충을 시험관 당 10마리씩 5반복으로 접종하고 24, 48시간 후 벼멸구의 사충율을 조사하였다.

복숭아혹진딧물에 대한 관주처리는 imidacloprid 10% 수화제와 pirimicarb 25% 수화제를 200 ml 비이커에 증류수로 소정농도로 희석하고 정식 후 20일 된 배추잎을 잘라 각 약액에 3매씩 줄기 밑부분을 24시간 동안 침지하였다. 침지 한 배추잎을 약액이 묻지 않은 부분에 카터기로 지름 6cm 크기로 잘라서 증류수에 적신 여지(지름 6cm)가 들어 있는 샐레에 넣은 후 무시 성충 진딧물을 농도당 20마리 3반복으로 접종하여 48시간 후 사충수를 조사하였으며, 상기의 probit 분석법에 따라 LC_{50} 값을 산출하였다.

엽침지처리(leaf dipping)

imidacloprid 4% 액제와 BPMC 50% 유제를 소정농도로 희석하고 그 약액에 파종 후 5일된 유묘 전체를 30초간 침지하고, 통풍이 잘되는 음지에서 1~2시간 말린 후 우화 3일된 벼멸구 암컷성충을 시험관 당 10마리씩을 접종하였으며, 처리충수는 각 농도 당 50마리 이상으로 하였다.

복숭아혹진딧물은 FAO (1980)에서 제시한 진딧물저항성 검정법을 변형시킨 leaf-dipping법으로, imidacloprid 10% 수화제와 pirimicarb 25% 수화제를 증류수에 일정농도로 희석하고 그 약액에 정식 20일된 배추잎 중간부분을 지름 6 cm로 잘라 30초간 침지 한 후 1~2시간 동안 음건시켰으며, 직경 6 cm의 샐레에 증류수로 적신 여과지를 깔고 음건한 배추잎을 넣었다. 그 위에 진딧물 무시성충을 붓으로 20마리씩 3개의 샐레에 접종하였으며, 처리된 진딧물은 25°C 에서 광조건이 16L:8D로 조절된 향온기 내에 사육하였다.

담배거세미나방과 파밤나방에 대한 엽침지 처리방법은

Table 1. Insecticidal activity of imidacloprid to *N. lugens* female adults at 48 hrs after treatment

Application method	Insecticide	LD ₅₀ or LC ₅₀ ^{a)}	Slope±SE	95% FL ^{b)}	RT ^{c)}
Topical application	Imidacloprid	0.015	1.7±0.2	0.01~0.02	68
	BPMC	1.0	2.2±0.3	0.50~1.53	-
Leaf dipping	Imidacloprid	18.1	1.2±0.2	11.8~25.8	0.09
	BPMC	1.7	3.3±0.6	1.3~2.1	-
Root treatment	Imidacloprid	21.5	1.3±0.1	16.1~30.6	0.1
	BPMC	2.3	2.4±0.6	1.7~3.20	-

^{a)}Median lethal dose and concentration were expressed as $\mu\text{g/g}$ and ppm, respectively.

^{b)}Fiducial limit.

^{c)}Relative insecticidal activity (LD₅₀ or LC₅₀ of BPMC / LD₅₀ or LC₅₀ of imidacloprid).

배추잎을 지름 9 cm로 잘라 약액에 30초간 침지하고 1~2 시간 동안 음건 후 직경 9 cm 사래에 넣고, 3령 유충을 농도당 10마리씩 3반복으로 접종하였다.

처리된 실험곤충은 처리 24, 48시간 후에 사충수를 조사하고, 상기의 probit 분석법에 따라 반수치사농도(LC₅₀)을 산출하였다.

벼멸구에 대한 살란효과(ovicidal effect)

벼멸구 알에 대한 살란효과는 두가지 방법으로 조사하였다. 근부처리에 의한 방법은 imidacloprid 4% 액제를 320, 160, 80, 40, 20, 10, 5 ppm으로 희석하여 시험관(28 cm×18 cm)에 20 ml를 넣고 48시간 전 벼멸구를 접종하여 산란된 벼 유묘(5일묘)의 뿌리 부분을 솜에 싸서 약액이 들어 있는 시험관에 넣고 약액이 뿌리부분에 충분히 묻도록 하였다. 유묘침지처리 방법은 48시간 동안 벼멸구 산란한 유묘(5일묘)를 희석액에 30초간 침지하여 음건시킨 후, 10분씩 뿌리부분을 솜으로 싸서 시험관에 넣었다. 처리 6일 후부터 부화 약충수를 조사하였으며, 더 이상 부화 약충이 나오지 않는 유묘는 해부현미경하에서 해부하여 미부화 알의 비율을 구하였다.

결과 및 고찰

흡습성해충에 대한 imidacloprid의 살충효과

Imidacloprid의 처리방법별 벼멸구에 대한 접촉독과 침투이행(systemic)효과를 벼멸구 방제약제인 BPMC의 효과와 비교 검토하였다(표 1). Imidacloprid를 미량국소처리한 경우 LD₅₀이 0.015 $\mu\text{g/g}$ 이었으며, BPMC의 경우에는 1.0 $\mu\text{g/g}$ 으로 상대독성비는 67을 보여 BPMC보다 imidacloprid의 접촉독의 효과가 높았다. 반면 뿌리를 통하여 약액을 침투이행 시키는 근부처리와 유묘침지처리는 처리 48시간 후 LC₅₀값이 각각 21.5와 18.1 ppm을 보여 처리방법간에 살충력 차이는 없었다. 대조약제로 사용한 BPMC의 LC₅₀은 근부처리와 침지처리에서 각각 2.3과 1.7

ppm이었으며, imidacloprid /BPMC와의 상대독성비는 0.09와 0.1배로 대조약제의 살충력이 더 높았다. Imidacloprid의 벼멸구에 대한 침투이행효과를 유묘침지처리와 근부처리 방법에 의한 시간별 LC₅₀을 조사하였다(그림 1). 처리 24시간 후의 LC₅₀은 엽침지와 근부처리에서 각각 92.6과 98.7 ppm 이었으며, 시간이 지남에 따라 살충력이 커지는 경향을 보였는데, 특히 72시간후에는 0.2와 1.5 ppm으로서 처리 12시간, 24, 48시간 후 보다 살충력이 훨씬 높았다. 처리방법 간에 살충력의 차이는 보이지 않았다.

Imidacloprid는 타 약제에 비해 물에 쉽게 녹는 화학적 특성과 침투성이 있어서 물에 용해된 약액이 뿌리나 잎을 통하여 작물체내로 쉽게 침투할 수 있기 때문에 흡습성 해충 중 벼멸구에 대해 엽침지처리나 근부처리간에 비슷한 살충력을 보이는 것으로 추측된다(표 1). Imidacloprid가 BPMC 보다 침투이행 되어 살충력이 낮게 나타나는 이유는 대부분의 유기인계나 카바메이트계가 속효성으로 해충이 약액에 접촉된 후 치사작용이 빠르게 나타나지만 imidacloprid는 약효발현이 늦게 나타나는(그림 1) 특성 때문인 것으로 생각된다. 또한 잎이나 줄기를 통한 침투나

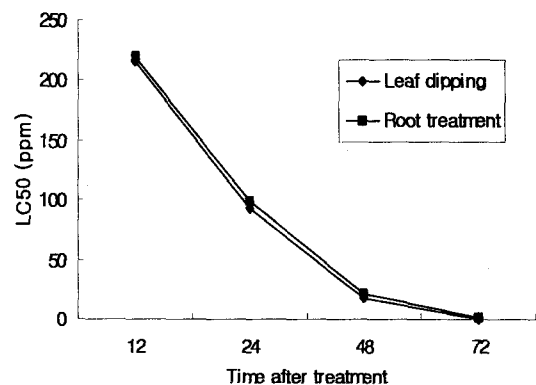


Fig. 1. LC₅₀ values of imidacloprid determined by leaf dipping and root treatment to *N. lugens* adults.

Table 2. Insecticidal activity of imidacloprid to *Myzus persicae* at 48 hrs after treatment

Application method	Insecticide	LD ₅₀ or LC ₅₀ ^{a)}	Slope±SE	95% FL ^{b)}	RT ^{c)}
Topical application	Imidacloprid	0.4	0.9±0.2	0.2~0.8	2.7
	Pirimicarb	1.1	0.7±0.1	0.5~2.0	-
Leaf dipping	Imidacloprid	1.9	2.4±0.3	1.6~2.3	8.6
	Pirimicarb	16.4	1.2±0.5	10.5~22.1	-
Root treatment	Imidacloprid	13.7	1.7±0.4	9.8~22.7	-

^{a)}Median lethal dose and concentration were expressed as µg/g and ppm, respectively.

^{b)}Fiducial limit.

^{c)}Relative toxicity (LD₅₀ or LC₅₀ of pirimicarb / LD₅₀ or LC₅₀ of imidacloprid).

뿌리를 통한 침투작용에 의해서도 시간이 경과됨에 따라 치사효과도 높아졌는데(그림 1), 이 경우에는 미랑국소처리와 접촉독에 의한 치사효과와 같은 경향을 보였다.

미랑국소처리와 엽침지, 근부처리의 세가지 방법으로 복숭아혹진딧물에 대한 imidacloprid의 살충효과를 pirimicarb와 비교·검토하였다(표 2).

미랑국소처리에 의한 imidacloprid의 LD₅₀은 0.4 µg/g 이었고, 대조약제로 사용한 pirimicarb는 1.1 µg/g으로서 imidacloprid가 pirimicarb보다 2.7배정도 독성이 높았다. 엽침지처리와 근부처리에 의한 imidacloprid의 복숭아혹진딧물에 대한 LC₅₀은 각각 1.9과, 13.7 ppm으로 엽침지처리에 의한 살충효과가 좋았으며, 엽침지처리에서 진딧물 방제약제인 pirimicarb보다 살충력이 8.6배나 높았다.

복숭아혹진딧물에 대한 미랑국소처리에서 imidacloprid가 pirimicarb 보다 2.7배의 독성을 보인 반면, 엽침지처리에서 8.6배나 높은 살충력을 보이는 것은 imidacloprid는 접촉독에 의한 살충력 보다 흡즙에 의한 살충력이 더 높게 나타나는 것으로 추정된다.

벼멸구 알이 산란되어 있는 유묘를 약액에 침지처리와 근부처리를 한 후 알의 부화율 정도에 따라 살란효과를 조사하였다(표 3). Imidacloprid 액제를 엽침지 하였을 경우 추천농도인 20 ppm에서 살란효과가 보이지 않았으며, 반수살란농도는 160 ppm 이상이었다. 벼 뿌리에 근부처리를 하였을 경우에 반수살란농도는 6.8 ppm이었으며, 포장 추천농도인 20 ppm에서도 살란효과가 93%을 보였다.

Imidacloprid 처리간의 벼멸구 알의 치사율 차이가 보이는 것은 벼멸구의 산란습성이 산란관을 벼 줄기속에 꽂아 산란하여 알이 외부로 노출되지 않아 외부로부터의 약

제살포에 의해서는 벼멸구 알과 약제와의 직접적인 접촉이 없어 엽면 살포시 imidacloprid의 살란효과가 낮은 것으로 추측되며, 근부처리시에는 약액이 도관을 통하여 침투행이 쉬워 알에 대한 치사효과가 높은 것(표 3)으로 추측된다.

농약이 해충의 알을 살란하는 작용기작은 농약종류, 사용량, 해충 종에 따라 달리 나타나는데, Smith와 Salkeld (1966)는 알의 배자막(embryonic membrane)이 화학물질에 대하여 저항성을 나타낸다고 하였으나, Beament (1949)는 친수성, 친유성 액제는 배자막을 투과, 흡수되어 난에 독성을 나타낸다고 하였다.

Fraenkel과 Blewatt (1944)는 α-tocopherol이나 sterol과 같은 지용성물질이 충의 발육에 필요하다고 하였는데, 안과 최(1980)는 BPMC와 diazinon은 벼멸구의 알껍질을 투과하여 알의 친유성 물질에 영향을 주므로 알의 부화에 영향을 미치는 것으로 추측하였다.

Smith와 Wagenknecht (1959)는 매미목(Homoptera)에서 cholinesterase (ChE)의 존재를 관찰하였는데 ChE가 배자 발육(embryonic development)의 중간 단계에서 나타나 부화가 될 때까지 증가하나 유기인계와 카바메이트계는 ChE를 저해하므로 acetylcholine이 축적되어 신경교란을 일으켜 독성을 나타낸다고 하였다.

Imidacloprid는 기존의 약제와 상이한 작용기작으로 살충력을 나타내는 특성을 보이지만 살란효과가 높은 것(표 4)은 신경전달물질에 영향을 미쳐 정상적인 발육을 억제하므로 치사율이 높은 것으로 추측되나 이 문제에 대해서는 보다 깊은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Table 3. Ovicidal activity of imidacloprid to *N. lugens* eggs by leaf dipping and root treatment

Application method	No. of treated egg	Slope±SE	LC ₅₀ (ppm)	95% FL ^{a)}
Leaf dipping	66	-	>160	-
Root treatment	248	2.3±0.8	6.8	3.8~15.2

^{a)}Fiducial limit.

Table 4. Insecticidal activity of imidacloprid to *Spodoptera litura* larvae at 48 hrs after treatment

Application method	Insecticide	LD ₅₀ or LC ₅₀ ^{a)}	Slope±SE	95% FL ^{b)}	RT ^{c)}
Topical application	Imidacloprid	>1492.5	-	-	0.004
	Chlorofenapyr	6.6	2.9±0.6	5.2~8.9	-
Leaf dipping	Imidacloprid	4803.3	1.2±0.3	2966.4~10110.6	0.0006
	Chlorofenapyr	2.9	2.3±0.5	1.9~4.3	-

^{a)}Median lethal dose and concentration were expressed as $\mu\text{g/g}$ and ppm, respectively.

^{b)}Fiducial limit.

^{c)}Relative insecticidal activity (LD₅₀ or LC₅₀ of chlorfenapyr / LD₅₀ or LC₅₀ of imidacloprid).

저작성해충에 대한 imidacloprid의 살충효과

담배거세미나방에 대한 imidacloprid의 살충력을 알아 보기 위하여 chlorfenapyr를 대조약제로 사용하여 실험하였다(표 4). 담배거세미나방에 대한 imidacloprid의 LD₅₀은 1492.5 $\mu\text{g/g}$ 이상으로 벼멸구와 복숭아혹진딧물의 LD₅₀(표 1와 3의 0.015 $\mu\text{g/g}$ 과 0.4 $\mu\text{g/g}$)과 비교시 상대독성(벼멸구와 복숭아혹진딧물에 대한 LD₅₀ / 담배거세미나방 LD₅₀) 비는 각각 0.00001과 0.00025배를 보여 imidacloprid는 흡즙성 해충보다 저작성 해충에 대해 매우 낮은 독성을 보였다. 또한 대조약제로 사용한 chlorfenapyr LD₅₀의 6.6 $\mu\text{g/g}$ 에 비해 0.004배에 불과하였다. 엽침지처리 방법에 의해서도 그 LC₅₀이 4803.3 ppm으로서 벼멸구(18.1 ppm)와 복숭아혹진딧물(1.9 ppm)과의 선택독성비율(벼멸구와 복숭아혹진딧물에 대한 LC₅₀ / 담배거세미나방 LC₅₀)이 각각 0.0038과 0.0004배를 보여 거세미나방에 대하여 독성이 낮았으며, 기존농약인 chlorfenapyr에 비해 독성이 0.0006배에 불과하였다.

과밤나방에 imidacloprid를 미량국소처리를 하였을 때 LD₅₀은 312.5 $\mu\text{g/g}$ 이상으로서(표 5), 벼멸구와 복숭아혹진딧물에 대한 LD₅₀(각각 0.015와 0.4 μg)과 비교 하였을 경우 상대 살충력이 각각 0.00005와 0.0013배로 과밤나방에 낮은 독성을 보였다. 또한 기존의 과밤나방 방제약제인 chlorfenapyr에 비해서도 약 61배나 독성이 낮았다. 섭식에 의한 치사효과를 조사하기 위하여 엽침지처리를 한 경우에 LC₅₀은 5000 ppm이상으로 chlorfenapyr과 비교시 약 11,110배 이상 독성이 낮았다.

Imidacloprid의 저작성 해충에 대해 살충력 평가는 여러 연구자에 의해 수행 되었는데 Lagadic 등(1993)에 따르면 저작성 해충인 *Heliothis virescens*와 *Spodoptera littoralis*에 imidacloprid를 미량국소처리 하였을 경우에 LD₅₀이 7.7 μg , 36.7 μg 섭식처리 후에는 821 μg , 17.7 μg 으로 대조약제 cyfluthrin 보다 독성이 낮다고 하였다. 반면, Elbert 등(1991)은 *H. virescens*와 *S. frugiperda*의 알에 대해 살란효과는 높다고 하였으며, Nauen (1995)은 섭식행동을 하는 곤충 중에서 딱정벌레류와 미소나방류의 일부 종에 대해서는 치사효과가 있다고 하였다.

Metcalf(1972)와 Newson 등(1976)은 해충간의 선택독성 차이를 크게 생리적, 생태적인 선택독성으로 구분하였는데 생리적인 선택독성 작용기작은 동일 약제 처리 후 두 종간의 피부투과력, 배설, 효소에 의한 해독작용, 작용점의 비감수성 등으로 구분된다 하였다. Hung 등(1990)은 저작성해충(배추좀나방, *Ostrinia furnacalis*)과 흡즙성해충(벼멸구, 애멸구, 끝동매미충, *Hyadaphis erysimi*, 복숭아혹진딧물) 간의 해독효소 carboxylesterase의 활성이 벼멸구, 애멸구, 끝동매미충과 진딧물이 저작성 해충보다 10~30배 높았으며, microsomal monooxygenase의 활성은 저작성해충이 흡즙성해충 보다 50~100배나 높게 나타났다고 하였다. 흡즙성 해충에서 microsomal monooxygenase의 활성이 낮은 이유로는 식물즙액 속에 녹아있는 물질만 흡즙하기 때문이며 저작성 해충은 기주 가해 후 흡수조직에 많은 효소가 위치하고 있기 때문에 독성을 보이는 외부물질에 대하여 적응력이 높다고 하였다(Wilkinson, 1983).

Table 5. Insecticidal activity of imidacloprid to *Spodoptera exigua* larvae at 48 hrs after treatment

Application method	Insecticide	LD ₅₀ or LC ₅₀ ^{a)}	Slope±SE	95% FL ^{b)}	RT ^{c)}
Topical application	Imidacloprid	>312.5	-	-	0.016
	Chlorofenapyr	5.1	2.6±0.6	3.6~7.7	-
Leaf dipping	Imidacloprid	>5000	-	-	0.0009
	Chlorofenapyr	4.5	1.9±0.4	2.9~6.1	-

^{a)}Median lethal dose and concentration were expressed as $\mu\text{g/g}$ and ppm, respectively.

^{b)}Fiducial limit.

^{c)}Relative insecticidal activity (LD₅₀ of spider / LD₅₀ of *N. lugens*).

Table 6. Toxicity of imidacloprid to three species of predatory spiders, *Pirata subpiraticus*, *Pachygnata clercki* and *Ummeliata insecticeps* by topical application at 48 hrs after treatment

Species	LD ₅₀ (μg/g)	95% FL ^{a)}	Slope ±SE	RT ^{b)}
<i>Pirata subpiraticus</i>	>2941.1	-	-	>196073.3
<i>Pachygnata clercki</i>	>2976.2	-	-	>198413.3
<i>Ummeliata insecticeps</i>	357.1	142.8~3714.3	0.8±0.3	23806.7
<i>Nilaparvata lugens</i>	0.015	0.01~0.02	1.7±0.2	-

^{a)}Fiducial limit, ^{b)}Relative insecticidal activity (LD₅₀ of spiders / LD₅₀ of *N. lugens*).

Imidacloprid가 섭식 형태가 다른 해충에 대해 살충작용이 다른 이유는 이러한 해독효소의 활성 차이 때문인 것으로 추측되나, 차후 선택독성에 대한 기작 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

거미류에 대한 imidacloprid의 치사효과

논에서 우점하는 거미류에 대하여 imidacloprid의 독성을 조사하였다 (표 6). 배회성거미인 황산적거미(*Pirata subpiraticus*)와 턱거미(*Pachygnata clercki*)에 대하여 LD₅₀이 각각 294.1과 2976.3 μg/g 이상으로 독성이 매우 낮았으며, 조망성거미인 등줄가슴애집시거미(*Ummeliata insecticeps*)에 대한 LD₅₀은 357.1 μg/g로 역시 독성이 낮았다. Imidacloprid의 거미류와 벼멸구간의 선택독성은 각각 약 196,000이상, 198,000이상, 23,800이상으로서 독성이 벼멸구에는 높은 반면 거미류에는 낮았다.

Metcalf(1972)와 Newson 등(1976)은 해충과 천적간의 높은 선택독성 차이에 대해 두 종간의 피부투과력, 배설, 효소에 의한 해독작용, 작용점의 비감수성 등으로 구분된다 하였다. Hagstrum(1970)은 거미(*Tarantula kochi*)가 먹이인 과실과리보다 carbaryl에 더 내성을 보였는데 이는 살충제의 피부투과력의 제한과 거미 체내에서 해독효소의 작용으로 배설이 촉진되었기 때문이라고 하였다. Zhuravskaya 등(1976)은 *Chrysoperlla carnea*의 성충 및 유충은 목화진딧물보다 phosmet에 대하여 49~190배의 내성을 보였는데 이는 해독작용과 약제의 피부투과력 차이에 의하여 일어난다고 하였다. Leicht (1996)는 imidacloprid가 벼멸구의 nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) 상에 작용하여 외부자극이 차단되므로 마비를 일으켜 한동안 움직이지 못하고, 먹이를 흡즙하지 못하여 아사되어 치사율이 높지만 거미류는 imidacloprid에 대하여 다양한 nAChR이 약화적인 반응을 보여 마비증상을 일으키지 않아 치사율이 낮은 것으로 보인다. 그 외 imidacloprid의 천적에 대한 독성평가 연구에서 Iwaya 등(1992)은 논에서 수면처리, 경엽처리시 논거미에 대해서 독성을 보이지 않았다고 하였으며, Cock 등(1996)은 포식성 천적인 *Podisus maculiventris* (노린재목: 노린재과)의 5령충과 성충에 대한 독성이 처리방법에 따라 차이가 있어 국소처리 > 섭식 > 잔

류접촉 순으로 높았으며, Leicht(1993)는 응애목에 대해서는 포장추천농도에서 살충력이 보이지 않았고, 특히 포식성 응애에 대해서 살충효과가 없다고 하였다. 또한 imidacloprid는 토양유기물, 녹조류, 물벼룩에 대하여 위험성이 없다고 하였으나, 방화성 곤충에는 위험하다고 하였다(Pflugger과 Schmuck, 1991). Baldson 등(1993)은 진달래방패벌레의 알기생봉인 *Anagrus takeyanu*의 밀도는 imidacloprid 처리의 영향을 받지 않았다고 하였다. 따라서 imidacloprid가 일부 천적에 대해 치사작용을 보이기도 하지만 대체적으로 포식성 천적에 대해서는 독성이 낮아 환경에 대해 상당히 안전한 약제임을 증명하고 있다.

이상의 결과로 imidacloprid는 흡즙성 해충인 벼멸구, 복숭아혹진딧물에 대해 근부처리나 엽면 살포시 적은 약량으로도 치사율이 높은 경향을 보였으며, 벼멸구의 알에 대해서도 근부처리시 치사효과가 높았다. 반면, 포식성 천적인 거미류에 대해 독성이 낮았다. 따라서 흡즙성해충의 방제를 위해 근부처리시 성충과 알을 동시에 죽일 수 있어 약제방제 횟수와 약량을 감소할 수 있을 것으로 추측되며, 또한 천적에 대해 선택독성이 높아 사용시 논 생태계 교란이 적어 환경친화적인 종합적방제 약제로 매우 유용하리라 생각된다.

인용문헌

Baldson, J. A., S. K. Braman, A. F. Pendley, and K. E. Espelie (1993) Potential for integration of chemical and natural enemy suppression of azalea lace bug(Hemiptera: Tingidae). J. Environ. Hortic. 11:153~156.

Brown, A. W. A, and R. Pal (1971) Insecticide resistance in arthropods. World Health Organization, Geneva.

Cock, A., De. P. Clercq, De. L. Tirry, D. Degheele, A. De-Cock and P. De-Clercq (1996) Toxicity of diafenthiuron and imidacloprid to the predatory bug, *Podisus maculiventris* (Hemiptera: Pentatomidae). Environ. Entomol. 25:476~480.

Elbert, A., B. Becker, J. Hartwig and C. Erdelen (1991)

- Imidacloprid - a new systemic insecticide. Pflanzenschutz- Nachrichten Bayer 44:113~136.
- FAO (1980) Methods for adult aphids-FAO Method No. 17. In recommended methods for measurement of pest resistance to pesticides. FAO Pl. Prod. and Prot. Paper 21 :103~106.
- Finney, D. J. (1963) Statistical methods in bioassays 2nd ed. London Griffin. p. 668.
- Fraenkel, G., and M. Blewett (1944) The vitamin B complex requirement of several insects. Biochem. Jour. 37:686~695.
- Hagstrum, D. W. 1970. Laboratory studies on the effect several insecticides on *Tarantula kochi*. J. Econ. Entomol. 63: 1844-1847
- Hung, C. F., C. H. Kao, C. C. Liu, J. G. Liu, and C. N. Sun. (1990) Detoxifying enzymes of selected insect species with chewing and sucking habits. J. Econ. Entomol. 83(2) : 361-365.
- Lagadic, L., L. Bernard and W. Leich (1993) Topical and oral activities of imidacloprid and cyfluthrin against susceptible laboratory strains of *Heliothis virescens* and *Spodoptera littoralis* (Lepidoptera: Noctuidae). Pestic. Sci., 38:328-338.
- Leicht, W. (1993) Imidacloprid - a chloronicotynyl insecticide. Pesticide Outlook 5: 17~21.
- Leicht, W. (1996) Imidacloprid - a chloronicotynyl insecticide biological activity and agricultural significance. Pflanzenschutz Nachrichten Bayer. English ed 49:71~84.
- Metcalf, R. L. 1972. Selective use of insecticides in pest management, pp. 72-91. In Implementing practical pest management strategies. Proc. Nat. Ext. Insect-Pest Mgmt. Workshop, March 14-16, Purdue Univ., Lafayette, IN.
- Nauen, R. (1995) Behaviour modifying effects of low systemic concentrations of imidacloprid on *Myzus persicae* with special reference to an antifeeding response. Pesti. Sci. 44:145~153.
- Newson, L. D., R. F. Smith and W. H. Whitcomb (1976) Selective pesticides and selective use of pesticides, pp.655~591. In Theory and practice of biological control.(ed. C. B. Huffaker and Messenger,P. S.), Academic Press, NY.
- Pflüger W. and R. Schmuck (1991) Ecotoxicological profile of imidacloprid. pflanzenschutz-Nachrichten Bayer. 44:145~157.
- Smith, E. H., and A. C. Wagenknech (1959) The ovicidal action of organophosphate insecticides. Can. J. Biochem. 37:1135~1144.
- Smith, E. H., and E. H. Salkeld (1966) The use of action of ovicides. Ann. Rev. Entomol. 11:331~368.
- Wilkinson, C. F. (1983) Role of mixed-function oxidases in insecticide resistance, pp. 175-205. In Pest Resistance to Pesticides. (ed. G. P. Georghiou and Saito, T.) Plenum, New York.
- Zhuravskaya, S. A., T. V. Bobyreva, S. A. Akramov and A. Mamatkazina (1976) Use of radioactive isotopes for studying the selective toxicity of phthalophos for the cotten (cucurbit) aphid and the common lacewing, Uzbekskii Biologicheskii Zhurnal 2:52~55.
- 농약공업협회 (1997) 농약연보 p.621.
- 안용준, 최승윤 (1980) BPMC와 diazinon의 아치사랑이 벼 멸구에 미치는 생물학적 영향. 서울대학교, 농학연구 5(2):33~50.

Insecticidal effect of imidacloprid to sucking, chewing insect pests, and predacious spiders

Byung-Ryul Choi, Si-Woo Lee, Yoo-Han Song,¹ and Jai-Ki Yoo(Division of Entomology National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, 441-707, Korea, ¹Department of Agricultural Biology, Gyungang National University)

Abstract : Insecticidal activities of imidacloprid to sucking type insect pests, brown planthopper (BPH, *Nilaparvata lugens*) and green peach aphid (GPA, *Myzus persicae*), to chewing type insect pests, tobacco cut worm (TCW, *Spodoptera litura*) and beet armyworm (BAW, *Spodoptera exigua*) and to spiders, *Pirata subpiraticus*, *Pachygnata clercki* and *Ummeliata insecticeps*, as natural enemies were investigated by several bioassay methods. LD₅₀ of the chemical by topical treatment to BPH was 0.015 $\mu\text{g/g}$ (48 hrs), while LC_{50s} by leaf dipping and root zone treatment were 18.1 and 21.5 ppm, respectively. There was no difference in insecticidal activities between leaf dipping and root zone treatment. Imidacloprid also showed ovicidal effect of root zone treatment and its LC₅₀ was 6.8ppm. LD₅₀ (48 hrs after treatment) of imidacloprid to GPA was 0.4 $\mu\text{g/g}$ in case of topical application and LC_{50s} by leaf dipping and root zone treatment were 1.9 ppm and 13.7 ppm, respectively. Leaf dipping was more effective than root zone treatment in GPA. At topical application LD₅₀ (48 hrs after treatment) of imidacloprid to chewing type insect pests, TCW and BAW, were greater than 1,492 and 312 $\mu\text{g/g}$ and LC₅₀ by leaf dipping method were 4,803 and greater than 5,000ppm, respectively. This means that imidacloprid has much less effect on chewing type insect pests, TCW and BAW. LD₅₀(48 hrs after treatment) of imidacloprid to wandering spiders, *Pirata subpiraticus* and *Pachygnata clercki* at topical application were greater than 2941 $\mu\text{g/g}$ and greater than 2,976 $\mu\text{g/g}$, respectively and that to webbing spider, *Ummeliata insecticeps*, was 357 $\mu\text{g/g}$. Imidacloprid showed very low toxicity to the spiders and its selective toxicity ratios between spiders and BPH were greater than 19,600, greater than 19,800 and 23,800, respectively.

*Corresponding author (FAX : +82-361-254-3835, E-mail : brchoi@hanmail.net)