

Imidacloprid의 아치사랑이 벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)의 생물적 특성에 미치는 영향

최병렬* · 이시우 · 송유한¹ · 한만중 · 유재기

농업과학기술원 작물보호부 농업해충과, ¹경상대학교 농과대학 농생물학과

요약 : Imidacloprid의 아치사랑 처리에 의한 벼멸구의 배설량, 수명, 산란력 및 기피작용 등의 생물학적 특성에 미치는 영향을 조사하였다. Imidacloprid를 LD₁₀, LD₅₀ 약량으로 미량국소처리 한 후 벼멸구의 사충율은 처리후 3일부터 사충율이 증가되기 시작하여 4일경에는 90%이상의 사충율을 보였다. LD₁₀으로 국소처리를 하였을 경우에 벼멸구의 수명은 16일로 무처리의 16.9일과 차이가 없었으나, LD₃₀에서는 13.5일로 수명이 짧아졌다. 일일산란수와 총산란수도 아치사랑량 처리시 무처리 보다 40%이상 감소하는 경향을 보였으며, 부화율도 감소하였다. 관주처리의 경우에는 LC₃₀농도에서 성충수명이 무처리보다 50% 줄었으며, 총산란력도 40%이상 감소하였으나, 일일산란수는 무처리와 유의성을 보이지 않았다. 반수산란일(NO₅₀)은 LC₁₀, LC₃₀에서 각각 7.6일, 5.9일로 산란기간 중 후기에 산란하는 양상을 보였다. 또한 약제처리에 의하여 알의 부화율이 무처리 보다 낮았다. LD₁₀으로 미량국소처리 한 후의 벼멸구의 배설량은 105.6 mm²로 무처리의 110.2 mm²와 통계적 유의차는 보이지 않았으나, LD₃₀ 처리에서는 81.0 mm²로 무처리와 유의차를 보였으며, 배설억제율은 26.5%이었다. LC₁₀, LC₃₀으로 유묘침지처리를 하였을 경우에는 무처리 대비 배설억제율이 각각 96.4, 98.0%을 보였다. LC₁₀, LC₃₀의 농도로 관주처리하였을 경우는 배설억제율이 79.5, 96.6%로 강한 흡즙저해작용을 보여 미량국소처리에 의한 접촉독 영향 보다는 흡즙에 의한 약액 섭취가 섭식저해작용에 더 많이 영향을 주는 것으로 나타났다. 농도나 약량이 많을수록 배설량이 적어 흡즙저해작용이 큰 것으로 나타났다. Imidacloprid를 유묘침지처리 후 기피작용을 조사한 결과, 벼멸구의 기피작용은 적었으나 관주처리에서는 처리 후 시간의 변화와 관계없이 LC₅, LC₁₀, LC₃₀ 처리에서 모두 약 20%의 기피율을 보였다.(2000년 5월 15일 접수, 2000년 6월 25일 수리)

Key Words : Sublethal dose, Imidacloprid, biological, Characteristic, *Nilaparvata lugens* Stål, Excretion.

서론

1960년대 이후 유기합성 농약의 사용에 의한 농작물 해충의 방제는 식량 증산에 획기적인 기여를 하였으나 농약 사용 증가에 따른 인축독성, 환경오염, 잔류독성, 해충의 약제저항성 발달, resurgence 등의 부작용이 야기되었다. 이러한 부작용을 줄이기 위해 imidazolidine계 농약이 1980년대 중반에 개발이 시작되어 1990년대 초에 상용화되었다(Yamamoto, 1999). 우리나라에도 imidacloprid가 1992년부터 수입되어 진딧물과 벼멸구 등 흡즙성 해충의 방제에 이용되고 있다 (Anonymous, 1993).

Imidacloprid는 imidazolidine계 농약의 하나이며 적은 약량에서 기피효과를 나타내고, 수용성으로 작물체에 흡수 이행되며, 특히 흡즙성 해충 (진딧물류, 멸구류)에 대해 방제효과가 높은 것으로 알려져 있다. Imidazolidine계 살충제는 신경전달물질인 acetylcholine 수용체와 결합, 신경전달을 저해하여, 자극전달을 차단함으로써 해충을 치사시키는 작용을 하여, 기존 농약에 저항성을 보이는 해충에 대해서도 방제효과가 우수하다고 보고되어 있으며, nicotine과 비

슷한 구조에 같은 살충기작을 갖고 있기 때문에 neonicotinoid로 불리기도 한다(Nauen 등, 1994; Tomizawa, 1994; Tomizawa 등, 1995a,b). 특히 imidacloprid는 쥐와 진딧물간 독성비가 7300배로 높은 선택독성을 보여 포유동물에 독성이 낮은 좋은 특성을 갖고 있다(Leicht, 1996). 아무리 좋은 특성을 가진 농약이라도 사용량이 증가되면 도태압이 높아져 저항성이 발달할 가능성이 높아 농약 사용량이 증가되고, 농약 수명이 단축 될 가능성이 높다. 따라서 저항성 발달에 대한 도태압을 낮추기 위해서 약제 살포량을 낮추는 것이 최선의 방책이나 이럴 경우 아치사랑을 맞는 해충의 수가 늘어나게 되어 차세대 해충에 의한 피해가 우려된다. 실제 벼멸구의 경우 추천량의 농약을 살포하여도 벼의 울폐도에 의해 벼 기부에서 가해하는 벼멸구에 도달하는 약량이 아치사랑 수준으로 쉽게 낮아질 가능성이 높은 것으로 알려져 있다(Chelliah 등, 1980). 따라서 약제 살포 후 차세대를 형성하는 개체 즉 아치사랑을 맞고 살아남은 개체들의 생물학적 특성들을 조사하여 농약이 해충의 차세대 형성에 미치는 영향을 평가하는 것도 농약의 효과를 판단하는데 매우 중요한 기준이 되리라 생각된다.

본 실험에서는 Imidacloprid의 아치사랑 처리에 의한 벼멸구의 배설량, 수명, 산란력 및 기피작용 등 생물학적 특

*연락처

성 변화 등을 조사함으로써 약제가 벼멸구의 차세대 형성에 미치는 영향을 평가하여 사용 약량을 줄일 수 있는 가능성을 검토하고자 하였다.

재료 및 방법

실험곤충 및 약제 : 벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)는 1985년에 포장에서 채집하여 약제에 노출시키지 않고 추청벼(*Oryza sativa* L.) 유묘로 온도 27±1°C, 광 주기 16 L : 8 D 조건의 사육실에서 누대사육 하였다.

실험약제는 imidacloprid 액제(4%)를 증류수에 소정농도로 희석하여 사용하였으며, 원제는 아세톤으로 보관용액(stock solution, 10000 ppm)을 조제하여 4°C 저온저장고에 보관하고 아세톤에 희석하여 사용하였다.

아치사랑 효과 : 우화 3일된 벼멸구 암컷성충 흉복부에 미량국소처리기로 LD₁₀ (0.00001 µg/BPH), LD₃₀ (0.00003 µg/BPH)의 약량을 총체 당 0.2 µl씩 처리하여 6일된 유묘가 들어있는 시험관에 넣고 상온에 보관하였다. 처리 24시간 후 살아있는 벼멸구 암컷 1마리와 약제처리를 하지 않은 숫컷 성충 1마리 씩을 지름 1.8 cm, 높이 18 cm 되는 시험관(1.2% agar에 발아된 벼종자를 1개씩 심어서 6일된 묘)에 접종하여 생물학적 특성을 조사하였다.

관주처리에 의한 아치사랑 효과 조사는 imidacloprid를 LC₁₀ (2.36 ppm), LC₃₀ (8.71 ppm)의 농도로 증류수에 희석하여 시험관 (3 cm D×18 H cm)에 30 ml씩 넣은 후 5~6일된 유묘를 솜에 싸서 시험관에 넣고 약액에 뿌리가 적셔지도록 하였다. 약액이 충분히 침투되었을 24시간 후 우화 2일된 벼멸구를 접종하고 (5반복×20마리) 24시간 동안 상온에서 보관하여 벼멸구가 침투되어 있는 약액을 흡수하도록 하였다. 접종 48시간 후에 생존수를 조사하고 실험곤충이 살아 있을 때까지 2일 간격으로 새 유묘에 교체하였다. 접종 10일 후부터는 2일 간격으로 부화수를 조사하였고, 미부화수 조사는 접종후 20일된 유묘를 해부현미경 하에서 절단하여 조사하였다. LD₁₀, LD₃₀처리는 20반복으로 하였으며, 무처리기는 10반복으로 수행하였다. 통계처리는 SAS (SAS institute, 1997)로 분석하였다.

배설량 측정 : 배설량을 측정하기 위하여 bromocresol green(3',3'',5',5''-tetra-bromo-m-cresolsulfone-phthalem)을 에탄올(0.5%)에 녹여 여과지(Whatman, NO 3, φ 9 cm)를 적시어 충분히 염색시킨 후 음건하였다. 30일된 유묘(추청벼)가 있는 컵(지름 7 cm, 높이 13 cm)위에 지름 1 cm 구멍이 뚫린 일회용 플라스틱 샤프레(지름 11 cm)를 끼우고 염색된 여과지를 올려놓았다. 벼멸구의 도망을 방지하기 위하여 지름 7 cm, 높이 10 cm되는 플라스틱컵을 중앙에 구멍을 뚫고 벼에 뒤집어 씌웠으며, 벼와 컵과의 틈새는 솜으로 막았다. 관주처리는 플라스틱컵 (8 cm×14 cm)에 1주씩 심어진 30일된 유묘에 LC₁₀ (2.36 ppm), LC₃₀ (8.71 ppm)

으로 희석된 imidacloprid를 관주하여 24시간 동안 벼가 충분히 흡수하도록 한 후 벼멸구의 암컷성충 5마리를 접종하여 24시간 후에 배설량을 측정하였다. 살포법은 소정농도(LC₁₀:1.54 ppm, LC₃₀:6.61 ppm)로 희석된 농약을 hand sprayer로 약액이 충분히 묻도록 살포하였고, 미량국소처리에서는 약제처리 후 48시간의 LD₁₀(0.00001 µg/ BPH), LD₃₀(0.00003 µg/BPH)의 약량으로 총체당 0.2 µl를 처리하고 1반복당 5마리씩 접종하였으며, 5반복으로 시험하였다.

기피율 : 침지처리에 의한 벼멸구의 기피율 조사는 이양 25일 된 벼에 아치사농도로 희석된 imidacloprid 약액을 붓으로 충분히 묻혀 음건하였으며, 관주처리는 12시간 동안 각 농도로 희석 된 약액을 벼에 관주하였다. 처리된 벼는 무처리 벼와 함께 포트 당(8 cm L×12 cm H)에 각각 1주씩 넣고, 아크릴케이지(7 cm D×20 cm H)를 씌운 후 벼멸구를 30마리씩 5반복으로 접종하였다. 접종 후 30분, 1, 3, 6, 24시간에 처리한 벼와 무처리 벼에 붙은 벼멸구수를 조사하여 기피율을 산출하였다.

결과

Imidacloprid의 작용기작은 해충의 신경전달 효소인 acetylcholine의 receptor에 작용, 신경 전달을 차단하여 살충 효과를 일으키는 것으로 알려져 있으며, 또한 이 약제는 강한 흡수 저해 효과를 갖고 있는 것으로 보고되어 있다(Nauen 등, 1994). 따라서 이러한 약제 특성에 의하여 약효가 늦게 나타날 가능성이 높아, 이를 확인하기 위하여 Imidacloprid를 LD₁₀, LD₅₀, LD₉₀의 약량으로 미량국소처리한 후 시간별로 벼멸구의 사충율을 조사한 바(그림 1) 약제 처리후 3일부터 LD₁₀, LD₅₀의 저 약량에서도 사충율이 증가되기 시작하여 4일경에는 90%이상의 사충율을 보였다.

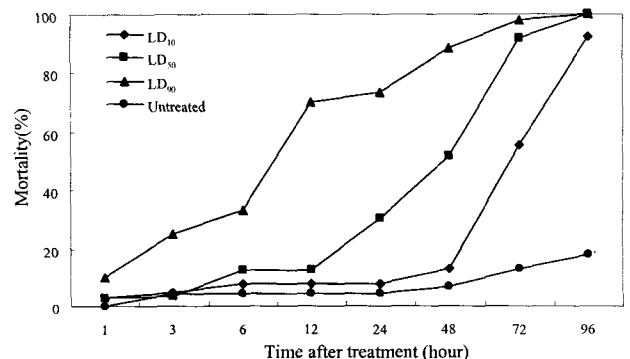


Fig. 1. Mortalities of *N. lugens* by topical application at each dose of imidacloprid.

표 1은 imidacloprid를 아치사농도(아치사농도)으로 벼멸구에 처리한 후 벼멸구의 산란력과 수명, 부화율 등 생물학적 특성을 조사하였다. LD₁₀으로 국소처리를 하였을 경우에 벼멸구의 수명은 16일로 무처리의 16.9일과 차이가 없었고, LD₃₀에서는 13.5일로 수명이 짧아졌으나 통계상의

Table 1. Effects of sublethal doses of imidacloprid on oviposition and longevity of *N. lugens*

Application method	Dose (con.)	Longevity (Days /female)	No. eggs female/day	No. eggs per female	NO ₅₀ ^{a)} (Days)	Fecundity ^{b)} inhibition (%)	Hatchability (%)
Topical	LD ₁₀	16.0±4.2 a ^{c)}	4.3 b	69.5 b	8.2	40.3	63.0
	LD ₃₀	13.5±4.6 a	4.9 b	66.5 b	9.2	43.0	53.2
Untreated	-	16.9±4.2 a	6.9 a	116.6 a	6.9	-	78.9
Systemic	LC ₁₀	13.6±2.2 a	7.3 a	99.0 a	7.6	15.1	55.5
	LC ₃₀	8.8±1.1 b	7.3 a	64.0 b	5.9	44.9	65.6
Untreated	-	16.9±4.2 a	6.9 a	116.6 a	6.9	-	78.9

^{a)}Number of days to 50% oviposition.

^{b)}(Untreated-treated / Untreated)×100.

^{c)}The same letter in the same column means no significance at p=0.05 level(Scheffe's test).

유의성은 보이지 않았다. 일일산란수와 총산란수도 아치사약량 처리시 무처리 보다 40%이상 감소하는 경향을 보였으며, 총산란수의 반수를 산란하는 기간(NO₅₀)은 LD₁₀과 LD₃₀에서 각각 8.2일, 9.2일로 무처리 보다 늦어지는 경향을 보였다. 또한 약제처리 후 산란된 알의 부화율도 감소하는 경향을 보였다.

관주처리의 경우에는 LC₃₀에서 성충수명이 무처리보다 50% 줄어드는 현상을 보였으며, 총산란력도 40%이상 감소하였으나, 일일산란수는 무처리와 유의성을 보이지 않아 성충수명이 짧아졌기 때문에 산란수도 감소된 것으로 보이며, 성충기간중 산란수의 NO₅₀은 LC₁₀, LC₃₀에서 각각 7.6일, 5.9일로 성충기간 중 후기에 산란하는 양상을 보였다. 또한 약제처리에 의하여 알의 부화율이 무처리 보다 낮아졌다.

약제살포 후 벼멸구의 산란양상은 무처리에서는 산란기간 중 6일경에 산란 peak를 보인 반면 아치사량으로 처리된 벼멸구는 산란 전기간을 통하여 후기에 peak를 보이는 산란양상을 보였다 (그림 2).

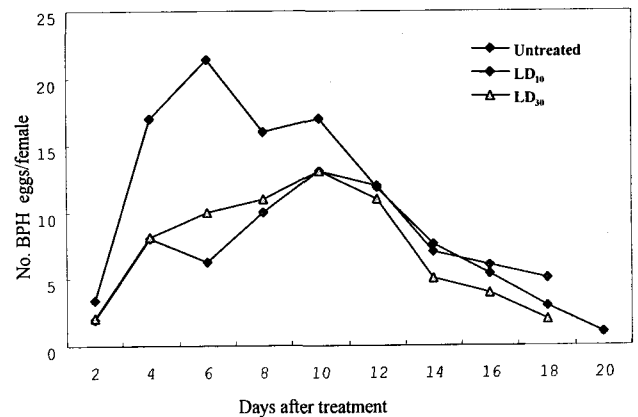


Fig. 2. Ovipositional pattern of *N. lugens* female adults at different sublethal doses of imidacloprid.

표 2는 벼멸구에 대하여 아치사약량 및 아치사농도 처리시 벼멸구의 섭식행동에 미치는 영향을 평가하기 위하여 흡즙량을 조사하기 위해 이와 밀접한 상관관계가 있는 배설량을 조사한 결과이다. LD₁₀으로 미량국소처리한 후의

Table 2. Honeydew excretion of *N. lugens* treated with sublethal doses of imidacloprid at 24 hours after treatment

Application method	Dose(Conc.)	Excretion amount(mm ² /5♀)	Growth suppression rate(%) ^{a)}
Topical	LD ₁₀	105.6±36.4 a ^{b)}	4.1
	LD ₃₀	81.0±25.2 b	26.5
	Untreated	110.2±16.0 a	-
Root treatment	LC ₁₀	4.0±2.0 b	96.4
	LC ₃₀	2.2±1.6 b	98.0
	Untreated	110.2±16.0 a	-
Leaf Dipping	LC ₁₀	22.6±10.1 b	79.5
	LC ₃₀	3.8±2.5 c	96.6
	Untreated	110.2±16.0 a	-

^{a)}(Untreated-treated / Untreated)×100.

^{b)}The same letter in the same column means no significance at p=0.05 level(Scheffe's test).

벼멸구의 배설량은 105.6 mm²로 무처리와 110.2 mm²와 통계상의 유의차를 보이지 않았으나, LD₃₀ 처리에서는 81.0 mm²로 무처리와 통계적 유의차를 보였으며 배설억제율은 26.5%이었다. LC₁₀, LC₃₀으로 유묘침지처리를 하였을 경우에는 무처리 대비 배설억제율이 각각 96.4, 98.0%였다. LC₁₀, LC₃₀의 관주처리에서는 배설 억제율이 79.5, 96.6%로 강한 흡즙 저해작용을 보였으며, 미량국소처리에 의한 접촉독 영향 보다는 흡즙에 의한 약액 섭취가 섭식저해작용에 더 많이 영향을 주는 것으로 나타났다. 또한 농도나 약량이 많을수록 배설량이 적어 약액이 벼멸구의 흡즙 저해에 직접 관여하는 것으로 보인다.

Imidacloprid를 유묘침지처리 후 기피작용을 조사한 결과(표 3), 벼멸구의 기피작용은 적었으나 관주처리에서는 시간의 변화와 관계없이 LC₅, LC₁₀, LC₃₀의 농도를 감안할 때 모두 약 20%의 기피율을 보였다.

고 찰

그림 1에서 처리 3일부터 LD₁₀, LD₅₀ (처리후 48시간 기준)의 저약량에서도 사충율이 증가되기 시작하여 4일경에는 90%이상의 사충율을 보였다. 이는 본 약제의 특성상 접촉독에 의하여서도 치사작용은 일어나지만(약 48시간까지), 시간이 경과됨에 따라 약제의 체내침투가 증가하여 작용점인 nicotinic ACh 수용체와의 결합, 자극을 차단함으로써 일어나는 마비증세로 섭식활동이 이루어지지 않아 아사하기 때문(Nauen, 1994, 1995)에 저약량 처리에서도 사충율이 높아진 것으로 생각된다. 즉 저약량이라도 체벽을 침투하여 체내에 들어가면 신경전달을 저해, 마비시켜 섭식을 저해하는데 처음에는 약량이 적어 치사율이 낮지만 시간이 지나면서 아사로 인하여 치사작용이 높게 나타나는 것으로 설명된다. 이러한 섭식저해작용은 진딧물에서 이미 보고되고 있다 (Nauen, 1994, 1995).

해충에 대한 농약의 아치사량은 수명증감현상, 산란지연 및 축진현상, 부화율 감소 등 생물적 특성에 많은 영향을 미치는 것으로 보인다. 수명증감현상은 약제의 종류, 처리 약량, 해충의 종류 및 충태에 따라 달리 나타나고 있는데

Afifi 등(1956)과 Knutson (1955)은 집파리 성충에 Dieldrin을 처리하였을 때 처리구에서 17.1일, 무처리구에서 16.8일로 수명이 증가하였다고 하였으며, 초파리에서도 수명증가 현상이 보고되었다. 그러나 약제에 의한 수명감소 현상도 보고되고 있는데, Hunter 등(1958)은 집파리 성충에 DDT와 diazinon의 아치사량을 처리하였을 때, 수명이 DDT에서 3일, diazinon에서 1일정도 감소하였음을 보고하였고, Ouye와 Knutson (1957)은 집파리 유충에 malathion (2ppm)을 처리하였을 때 수명이 18% 감소하였음을 보고하였다.

이러한 현상은 약제에 대한 반응과 약제의 해독에 energy를 많이 소모한 결과 수명이 단축된 것으로 생각되는데, Dahm 등(1951)과 Kuenen(1958)은 집파리 성충에 DDT를 처리하여 6시간 동안 경련을 일으킨 결과 많은 energy가 소모되었음을 보고하였고, Ludwig(1964)는 DDT 아치사량을 왜콩풍뎡이(*Popillia japonica*) 성충과 유충에 처리하였을 때 근육활동의 증가로 인하여 산소의 호흡량이 증가하고 glycogen의 양이 감소하였다고 보고하였는데, 본 시험에서도 imidacloprid의 아치사량 처리시 벼멸구의 수명이 감축되는 현상을 보였다(표 1). 이는 생존을 위해 imidacloprid 해독에 energy를 과다소모하고 imidacloprid의 흡즙저해작용으로 영양분 섭취가 불가능하여 수명이 단축되는 것으로 추측된다. 벼멸구에 대하여 아치사량 및 농도 처리시 벼멸구의 섭식행동에 미치는 영향을 평가하기 위하여 흡즙량을 조사한 결과(표 2), LD₁₀의 약량으로 미량국소처리 후에는 무처리와 비교시 배설량의 차이는 보이지 않았으나 LD₃₀의 약량처리에서는 배설량이 적었다. 반면 약제침투효과를 볼 수 있는 유묘침지처리와 관주처리에서는 무처리와 비교시 배설량이 적어 강한 흡즙저해 작용을 유발시키는 것으로 보인다. 따라서 접촉독에 의한 것보다 흡즙에 의한 빠른 충체내 약액 침투가 섭식저해작용을 빠르게 일으키는 것으로 추측되며, 또한 농도나 약량이 많을수록 배설량이 적어 약제의 흡즙저해작용을 간접적으로 증명하고 있다. Lösel 등(1993)은 nitromethylene heterocycle 2-nitromethylene-1,3-thiazinan-3-yl-carbamaldehyde을 아치사량으로 벼멸구에 미량국소처리 하였을 경우에 섭

Table 3. Feeding preference of *N. lugens* to sublethal doses of imidacloprid

Application method	Dose (Conc.)	Preference rate(%)				
		0.5hr	1hr	2hr	6hr	24hr
Leaf dipping	LC ₅	56 a ^{a)}	51 a	52 a	52 a	59 a
	LC ₁₀	69 a	59 a	59 a	65 a	51 a
	LC ₃₀	54 a	51 a	51 a	55 a	70 a
Root treatment	LC ₅	76 a	74 a	70 a	71 a	70 a
	LC ₁₀	58 a	62 a	63 a	63 a	76 a
	LC ₃₀	73 a	76 a	73 a	75 a	72 a

^{a)}The same letter in the same column means no significance at p=0.05 level (Scheffe's test).

식작용을 저해한다고 하였는데, 이는 버벌구가 체관에 구침하여 흡즙하는 것을 강하게 저해하기 때문이라고 하였으며, Nauen(1995, 1997)은 복숭아혹진딧물에 imidacloprid를 저약량으로 처리하였을 경우에 섭식을 저해한다고 하였는데, 이는 약제를 처리하지 않은 잎에서보다 처리잎에서 진딧물의 이동이 많아 흡즙하는 시간이 줄어들었기 때문이라고 하여 흡즙저해 작용에 섭식기피 작용이 있음을 암시하고 있다. 위의 고찰에서 imidacloprid의 아치사랑 처리는 버벌구의 흡즙작용을 강하게 저해함으로써 생존을 위한 영양원의 부족으로 인하여 치사효과가 높은 것으로 추측된다.

살충제가 산란에 미치는 영향에 관해서는 해충의 resurgence현상과 연관하여 많이 연구되어 있는데, 살충제의 종류, 처리 약량, 해충의 종류 및 층태 등에 따라서 산란수의 증감현상이 달리 나타나고 있다. 본 시험에서 imidacloprid의 아치사랑이 버벌구 성충의 산란에 미친 영향을 조사한 결과, 처리약량에 따라 산란수에서 현저한 차이를 보이고 있어(표 1) imidacloprid가 산란수에 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있다. 산란수 감소요인 중의 하나는 수명의 감소에 있다고 생각되는데 수명감소에 따라 산란기간이 짧아져 산란수가 적은 것으로 추측되며, Adikisson과 Wellso (1962)도 해충의 종은 다르지만 목화다래나방에 아치사랑을 처리하였을 때 수명 감소로 인하여 산란수가 감소하였음을 보고하여 본 시험 결과의 타당성을 뒷받침하고 있다. 또 산란수 감소요인으로 생식력의 저하를 들 수 있는데 Patton(1963)은 곤충의 생식은 hormone에 의하여 조절된다고 하였으며, Engelmann(1970)과 Yu와 Terriere(1974)에 의하면 유약호르몬(juvenile hormone)이 난소의 발육에 직접, 간접으로 영향을 미치는 동시에 마이크로솜효소(microsomal enzymes)의 활성을 촉진시킨다고 하였으나, imidacloprid가 유약호르몬 등의 생산과 작용에 미치는 영향에 대해서는 아직 알려진 바가 없어 산란수 감소요인을 imidacloprid에 의한 hormone 불균형에서 찾기는 어렵다고 생각된다. 그림 2에서 imidacloprid 아치사랑 처리 후 산란지연현상을 보였는데, Adikisson 등(1962)은 목화다래나방에 DDT의 아치사랑을 처리하였을 때 교배가 지연됨으로써 산란이 지연된다고 하는 보고가 있다. 그러나 이와는 반대로 살충제를 비롯한 여러 독성물질의 아치사랑이 대상 생물의 새로운 대사체계를 발달시켜 발육이나 산란력을 촉진시킨다는 hormoligosis 가설과(Lucky와 Stone, 1960; Luckey, 1968), Roan과 Hopkins(1961)가 제안한 아치사랑이 해당 해충의 생식력에 유리한 영향을 미치는 신경 hormone을 유도하여 신경활동을 자극, 촉진하기 때문에 산란촉진이 이루어진다는 가설도 있어 약제와 해충종에 따라 아치사랑 처리가 산란효과에 미치는 영향이 매우 다르게 나타남을 알 수 있었다. 해충의 수명과 산란작용 등에 미치는 약제의 영향은 약제의 특성과 해충종에 따라 달리 나타나므로 해충에 대한 방제약제를 선발할 때 세심한 주의할 필요가 있다.

살충제가 부화에 미치는 영향에 대한 많은 연구에서, 살

충제의 종류, 처리약량, 해충의 종류에 따라서 부화율이 달리 나타나고 있다. Smith와 Wagenknecht(1959)는 매미목에서 cholinesterase (ChE)의 존재를 관찰하였는데, ChE가 배자발육(embryonic development)의 중간단계에서 나타나 부화가 될 때까지 증가하나 유기인제와 carbamate제는 ChE를 저해하므로 acetylcholine이 축적되어 신경교란을 일으켜 독성을 나타낸다고 하였으며, Yu 등(1974)은 집파리에 piperonyl butoxide(PBO)를 처리하였을 때 마이크로솜효소(microsomal enzyme)에 영향을 미쳐 부화에 차이가 남을 보고하였다. 또한, Adikisson과 Wellso (1962)는 목화다래나방에 DDT의 아치사랑을 처리하였을 때 부화율이 감소하였는데 그것은 산란된 알이 수정되지 않은데 그 원인이 있다고 하였으며, Kenaga (1965)는 triphenyl tin 성분이 집파리 성충을 불임화 시키는데 암컷이 수컷보다 낮은 농도에서 불임화 된다고 하였다. 본 시험에서는 약제 처리로 부화율이 낮아지는 경향을 보이고 있으나 그 원인은 아직 불분명하다.

Imidacloprid를 아치사랑으로 처리하였을 때 버벌구가 기피작용을 보였는데(표 3), 침지처리보다 관주처리에서 기피율이 높은 것은 수용성인 imidacloprid가 도관을 통해 이동되는 속도가 빠르고 실질적인 약제와의 접촉은 흡즙하면서 구기를 통해서 이루어지기 때문인 것으로 추측되나, 처리 농도에 따른 기피율에 차이가 없어 실제로 기피효과가 있는지 확실치 않다. Tatchell 등(1992)은 진딧물이 imidacloprid 약제처리 후 2-4시간 동안 휴식 없이 이동하는 행동을 보인다고 하였으며, Lösel 등(1993)도 유사계통인 농약에 대하여 버벌구의 기피작용을 일으키는 원인은 화학적인 인식 기능에 의하여 이동이 일어나는 것으로 보고하였는데, imidacloprid에 대해 버벌구가 기피 효과를 보이는지 확인하기 위해서는 전기 생리적인 연구가 추가로 수행되어야 할 것이다.

이상의 결과들을 종합하면, imidacloprid는 버벌구에 대하여 기피작용과 섭식저해작용을 보이고, 수명감소, 산란력 및 부화율의 감소, 산란지연 현상 등 뚜렷한 생물적인 효과를 보여 포장에서 저 약량을 사용하더라도 버벌구의 밀도억제효과가 높을 것으로 추측되므로 농약 사용량을 다소 줄일 수 있을 것으로 판단되며 이러한 감소 효과에 의해 보다 환경친화적 방제약제로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

인용문헌

- Adikisson, P. L., and S. G. Wellso (1962) Effect of DDT poisoning on the fecundity and longevity of the pink bollworm. *J. Econ. Ent.* 55:842~845.
- Afifi, Saad E. D., and H. Knutson (1956) Reproductive potential, longevity and weight of house flies which survived one insecticidal treatment. *J. Econ. Entomol.* 49:310~313.

- Anonymous (1993) 농약연보 p.621.
- Chelliah, S. and E. A. Heinrichs (1980) Factors affecting insecticides-induced resurgence of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, on rice. Environ. Entomol. 9:772~777.
- Dahm, R. A., and C. W. Kearns (1951) A study of certain metabolic intermediates in the normal and DDT poisoned house fly adult. Ann. Ent. Soc. Am. 44:573~580.
- Engelmann, F. (1970) The physiology of insect reproduction. Pergamon Press. Oxford.
- Kenaga, E. E. (1965) Triphenyl tin compounds as insect reproduction inhibitors. J. Econ. Entomol. 58:4~8.
- Knutson, K. (1955) Modifications in fecundity and life span of *Drosophila melanogaster* Meigen, following sublethal exposure to an insecticide. Ann. Ent. Soc. Am. 48:35~39.
- Kuenen, D. J. (1958) Influence of sublethal doses of DDT upon the multiplication rate of *Sitophilus granarius* (Coleoptera: Curculionidae). Ent. Exp. App. 1:147~152.
- Leicht, W. (1996) Imidacloprid a chornicotinyl insecticide biological activity and agricultrual significance. Pflanzenschutz Nachrichten Bayer. English ed 49:71~84.
- Luckey, T. D. (1968) Insceticide hormoligosis. J. Econ. Entomol. 61(1):7~12.
- Lucky, T. D. and P. C. Stone. (1960) Hormology in nutrition. Science 132:1891~1893.
- Ludwig, D. (1964) The effect of DDT on the metabolism of the Japanese beetles, *Popillia japonica* Newmen, Ann. Ent. Soc. Am. 39:496~509.
- Lösel, P. M. and L. J. Goodman (1993) Effects on the feeding behaviour of *Nilaparvata lugens* (Stal) of sublethal concentrations of the foliarly applied nitromethylene heterocycle 2-nitromethylene-1,3-thiazinan-3-yl-carbamaldehyde. Physiol. Entomol. 18:67~74.
- Hunter, P. E., L. K. Cutkomp, and A. M. Kolkaila (1958) Reproduction in DDT and diazinon-treated house flies. J. Econ. Entomol. 51:579~582.
- 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.
- Nauen, R. and A. Elbert (1994) Effect of imidacloprid on aphids after seed treatment of cotton in laboratory and greenhouse experiments. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer English ed 47:177~210.
- Nauen, R. and A. Elbert (1997) Apparent tolerance of a field-collected strain of *Myzus nicotianae* to imidacloprid due to strong antifeeding responses. Pesti. Sci. 49:252~258.
- Ouye, M., and H. Knutson (1957) Reproduction potential longevity and weight of house flies following treatments of larvae with malathion. J. Econ. Entomol. 50:490~493.
- Patton, R. L. (1963) Introductory Insect Physiology. Saunders. Philadelphia
- Roan, C. C., and T. V. Hopkins (1961) Mode of action of insecticides. Annu. Rev. Entomol. 6:333~346.
- SAS institute (1997) SAS user's guide : statistics. SAS Institute, Cary, N. C. version 6.12.
- Smith, E. H., and A. C. wagenknecht (1959) The ovicidal action of organophosphate insecticides. Can. J. Biochem. 37:1135~1144.
- Tatchell, G. M. (1992) Influence of imidacloprid on the behavior and mortality of aphids: vectors of barley yellow dwarf virus. Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer English ed 45:409~422.
- Tomizawa, M. (1994) Structure-activity relationships of nicotinoids and the related compounds. J. Pesti. Sci. 19:335~36.
- Tomizawa, M., H. Otsuka, T. Miyamoto, and I. Yamamoto (1995a) Pharmacological effects of imidacloprid and its related compounds on the nicotinic acetylcholine receptor with its ion channel from the torpedo electric organ. Journal of Pesticide Science. 20:49~56.
- Tomizawa, M., H. Otsuka, T. Miyamoto, M. E. Eldefrawi, and I. Yamamoto (1995b) Pharmacological characteristics of insect nicotinic acetylcholine receptor with its ion channel and the comparison of the effect of nicotinoids and neonicotinoids. J. Pesti. Sci. 20:57~64.
- Yu, S. J., and L. C. Terriere (1974) A possible role for microsomal oxidase in metamorphosis and reproduction in the house fly. J. Insect physiol. 20:1901~1912.
- Yamamoto, I. (1999) Nicotine to nicotinoids: 1962 to 1997. pp3~28, In Nicotinoid insecticides and the nicotinic acetylcholine receptor(ed. Izuru Yamamoto and J. E. Casida) Springer, Japan.

Effects of Sublethal Doses of Imidacloprid on the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae)

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

Abstract : Effects of sublethal dose of imidacloprid on biological characteristics, such as longevity, fecundity and excretions from brown planthopper (BPH) and its repellency to imidacloprid were examined. Topical application of imidacloprid to BPH at the dose of LD₁₀ and LD₃₀ (These values were determined at 48 hours after topical application of imidacloprid) was remarkably increased the mortality from 3 days after application and showed over 90% mortality on 4 days after application. Topical application of imidacloprid at dose of LD₁₀ (16 days) showed no difference compared to the control (16.9 days) in the longevity, while application of LD₃₀ was reduced the longevity of BPH to 13.5 days. Application of sublethal dose of imidacloprid to BPH adults reduced the number of eggs laid per day and for adult stage, and the hatchability of their eggs. By root zone application at the dose of LC₃₀, 50% longevity and 40% fecundity was reduced respectively, but showed no effect on number of eggs laid per day. The day on which BPH laid 50 % of eggs in number were 7.6 days at the LC₁₀ and 5.9 days the of LC₃₀ respectively. Hatchabilities of the groups treated with imidacloprid were lower than that of the control. Topical application to BPH at the dose of LD₁₀ did not reduce the amount of excretes, but application at the dose of LD₃₀ was reduced 26.5% of excretion compared to the control. Leaf dipping into the solution of concentration of LC₁₀ and LC₃₀ was reduced 96.4% and 98.0% of excretion, respectively. And root zone treatment at the concentration of LC₁₀ and LC₃₀ reduced 79.5% and 96.6% of excretion, respectively. Repellency rates of BPH to imidacloprid were 20% regardless of the dose of application.

*Corresponding author (FAX : +82-31-290-0479, E-mail : brchoi@niast.go.kr)