

## 주요 벼 해충에 대한 약제저항성 모니터링

이시우\* · 최병렬 · 박형만 · 유재기

농업과학기술원 농업해충과

**요약** : 현재 우리나라 주요 벼 해충은 벼멸구(*Nilaparvata lugens*), 애멸구(*Laodelphax striatellus*), 끝동매미충(*Nephotetix cincticeps*) 등 멸구류와 벼물바구미(*Lissorhoptrus oryzophilus*) 등이며, 약제에 대한 위 해충들의 약제 감수성을 모니터링한 결과 이미다클로프리드에 대해서만 일부 지역에서 68배의 높은 저항성을 보이고 있으며, 다른 약제에 대해서는 1979년 이래 지역에 따라 0~20배 정도의 같은 감수성을 보이고 있어 저항성의 지속적인 발달은 없었다. 끝동매미충은 기존 carbamates, organophosphorus, pyrethroid 계통의 살충제에 대해서는 1976년 이래 감수성 저하가 없어 저항성 발달을 인정할 수 없었으나, 벼물바구미의 대표적 약제인 fipronil 과 imidacloprid에 대해서는 두드러진 감수성 저하를 보였다. 벼물바구미는 1999년에는 조사지역에서 높은 감수성을 보여 carbofuran, ethofenprox, fipronil, imidacloprid 등 시험약제 모두는 지역 계통에 관계없이 기준 약량의 4분의1 농도에서도 높은 살충력을 보였으나, 2002년에는 수원지역 계통이 carbofuran에 대해 현저한 감수성 저하 현상을 보였다. (2005년 11월 16일 접수, 2005년 12월 20일 수리)

**색인어** : 모니터링, 벼멸구, 벼물바구미, 살충제, 애멸구, 저항성, 끝동매미충.

### 서 론

해충 방제를 위하여 사용되고 있는 살충제는 매년 사용량이 증가되어 2003년 현재 유효성분으로 약 9.3천 톤에 이르고 있다(Anonymous, 2004). 국내에서 사용되는 농약은 합성피레스로이드계, 유기인계, 카바메이트 등 30 여 가지의 계통으로 분류할 수 있으며, 그 중 유기인계와 카바메이트계는 60~70년대부터 사용되어 왔다. 그러나 이러한 기존 농약들은 저항성해충의 발생과 인축에 대한 독성, 환경오염, 잔류 등의 부작용으로(Brown과 Pal, 1971) 사용이 점차 제한되고 있다. 특히 저항성 발달로 말미암아 약효에 대한 의구심이 증대되어 일부 농가에서는 약효 저하에 따른 해충 방제의 어려움을 호소하고 있으며, 교차저항성으로 인하여 사용할 수 있는 살충제의 종류가 적어지고 있는 실정이다. 또한 환경이나 인축에 대한 안전성 문제로 새로운 살충제의 개발속도는 점차 늦어지고 있는 상황에서 해충의 약제저항성 문제는 농작물의 보호 수단을 무력화한다는 점에서 점차 중요성을 더해가고 있다. 더욱이 한 약제에 대한 저항성 발달은 다른 약제에 대한 저항성을 유발하고 있어(Kudamatsu 등, 1983) 농약에 의존하는 농산물 생산 방식에 큰 위협이 되고 있다. 또한 최근 농약 등록법

이 바뀌어 일정기간이 지난 후 재등록이 필요한 상황에서 해충의 저항성 발달에 의한 약효의 저하는 재등록을 결정하는 가장 큰 요인 중의 하나가 되었다. 따라서 해충을 방제할 때 우선적으로 고려해야 할 것이 해충의 농약에 대한 감수성 정보인데도 불구하고 모니터링에 대한 자료 부족으로 이를 농약사용 전에 검토하기 어려운 실정이다.

논에서 방제해야 할 주요 해충은 시대적으로 변해왔다. 과거에는 이화명나방이 최대의 벼 피해 해충이었지만 작물 재배형태의 변화로 지금 현재 논에서 약제로 방제해야 할 주요한 해충으로는 벼멸구(*Nilaparvata lugens*), 애멸구(*Laodelphax striatellus*), 흰등멸구(*Sogatella furcifera*), 끝동매미충(*Nephotetix cincticeps*) 등 멸구류와 벼물바구미(*Lissorhoptrus oryzophilus*), 흑명나방(*Cnaphalocrosis medinalis*) 등이다. 특히 벼멸구와 흰등멸구, 흑명나방은 중국으로부터 비래하여 피해를 주는 해충으로 우리나라의 살충제 사용과 관계없이 중국으로부터 저항성 해충이 비래하여 올 가능성이 있으므로 항상 주의가 요구된다(Kisimoto, 1971, 1972; 엄 등, 1989). 또한 벼물바구미는 초기 방제를 실시하지 않을 경우 수량에 막대한 영향을 미치는 외래 해충으로 알려져 있으며(渡辺, 1976; 엄 등, 1989; 김 등, 1990ab) 현재 완전히 정착하여 벼농사에서 대표적인 해충이 되었다(김 등,

\*연락처

1990ab). 논에서의 이러한 해충의 약제에 대한 저항성의 발달은 해충에 의한 농작물의 직접적 피해뿐만 아니라 해충 방제를 위한 농약의 사용량 증가로 인해 농약으로 인한 폐해를 가중시켜, 요즈음 문제가 되고 있는 농산물의 안전성과 환경 보호에 커다란 위협을 주는 요인의 하나로 작용하고 있다. 또한 작물 보호를 위한 농약 값의 증가는 생산비를 높여 직접적인 농가 소득의 감소로 나타나기도 한다. 따라서 저항성 해충의 관리는 환경 보호와 농민의 생산비 절감이라는 두 가지의 효과를 기대할 수 있다.

따라서 본 연구는 논에서 가장 문제가 되는 멸구매미충류와 벼물바구미의 농약에 대한 저항성 정도를 조사하여, 이들 해충 관리에 대한 기초 자료로 제공코자 실시되었다.

## 재료 및 방법

저항성 모니터링을 위한 대상 해충은 벼멸구, 애멸구, 끝동매미충 등 멸구류와 벼물바구미이며 대상 살충제로서는 대상해충의 방제에 등록된 약제 중 많이 쓰이고 있으며, 상대적으로 새로이 개발된 약제로 앞으로 계속 사용될 가능성이 높은 약제를 중심으로 선정하였다.

### 가. 멸구류(벼멸구, 끝동매미충, 애멸구)

벼멸구는 전라남도, 경상남도 등 벼멸구 상습발생지에서 벼멸구를 채집하여 실내에서 한 세대 증식 후 시험에 충분한 개체 수를 얻어 시험을 실시하였다. 1999년도는 벼멸구의 발생이 적어 한 지역(해남, 남해)에서 채집하여 증식하였으며, 2002년에는 3 지역(완도, 고성, 해남) 중 1 지역에서 증식되지 않아 2 지역에서만 저항성 정도를 조사하였다. 벼멸구의 생물검정은 원제를 아세톤으로 적당한 농도로 희석하여 한 농도 당 우화 후 3-5일 된 암컷 20마리를 마이크로시린지 어플리케이션기로 마리 당 0.2  $\mu$ l를 처리한 후 24시간 후에 사충수를 조사하였다. 애멸구는 익산, 부안, 김제, 해남, 고흥, 보성 등지의 논둑에서, 끝동매미충은 김포, 청도, 성도, 태안, 홍성, 밀양 등지의 논둑에서 5-6월에 직경 30 cm의 포충망으로 스위핑하여 채집, 시험에 이용하였다. 애멸구와 끝동매미충의 시험 방법은 벼멸구와 동일하나 애멸구는 각 농도 별로 마리 당 0.1  $\mu$ l를 우화 후 1-3일 된 20 마리의 성충 암컷에 처리하였으며, 끝동매미충은 4-5령충 20 마리에 약제를 농도별로 마리당 0.2  $\mu$ l를 처리하였다.

Imidacloprid와 같은 섭식저해 효과가 있는 살충제는 3일, 또는 5일 후에 사충율을 조사하였다. 모든 자료는 Probit 분석을 실시하여 그 결과로 감수성 정도를 추정하였다.

### 나. 벼물바구미

벼물바구미는 우리나라에서 최초로 발생이 추정된 3곳(하동, 광양, 인천)에서 가까운 대발생 지역을 택하여 채집 후 성충은 벼물바구미 약제 원제를 적정 농도로 아세톤에 희석 후 미량국소처리기로 마리 당 0.2  $\mu$ l씩 처리하여 24시간 후 사충수를 조사하여 감수성을 비교하였으며, 유충은 성충 10마리를 이양 후 15일 된 벼 포트에 접종(5반복), 2일 후 농도 별로 약제를 살포(6월16일)한 후 약 30일 후(7월 18일) 포트에서 벼를 제거, 벼 뿌리에 붙은 벼물바구미 유충의 수를 흐르는 물에서 체로 걸러 가며 유충이 들어 있는 진흙 구에서 유충을 확인 후 계수하여 무처리와 비교, 약제에 대한 감수성 정도를 조사하였다.

## 결과 및 고찰

### 가. 멸구류

#### 1) 벼멸구(*Nilaparvata lugens*)

1999년도와 3년 뒤인 2002년에 벼멸구의 약제에 대한 감수성 정도를 조사하여 감수성과 비교하여 본 결과는 다음 표 1, 2와 같다.

Table 1. Susceptibility of brown planthopper to insecticides (1999)

Insecticides	LD <sub>50</sub> ( $\mu$ g per insect)	
	Namhae	Susceptible <sup>a)</sup>
Diazinon	0.15 (19) <sup>b)</sup> (0.12-0.18) <sup>c)</sup>	0.0079 (0.0059-0.0091)
BPMC	0.03 (9) (0.02-0.04)	0.0034 (0.0022-0.0042)
Carbofuran	0.0015 (2.4) (0.0012-0.0018)	0.00061 (0.00051-0.00070)
Imidacloprid	0.0002 (6.7) (0.0001-0.0003)	0.00003 (0.00002-0.00004)

<sup>a)</sup>Cited from Ph. D. thesis(1998)

<sup>b)</sup>Resistance Ratio; LD<sub>50</sub> of local strain/LD<sub>50</sub> of susceptible strain

<sup>c)</sup>95 % fiducial limit

벼물바구미의 지역은 발생이 적어 채집에 어려움이 많았다. 더욱이 예전에 사용되어 오던 약제의 일부가 생산되지 않아 저항성 추정에 제한적일 수밖에 없었다.

Table 2. Susceptibility of regional brown planthopper strain to insecticides (2002)

Insecticides	LD <sub>50</sub> (μg per Insect)		
	Wando	Koseong	Susceptible <sup>a)</sup>
Chlorpyrifos	0.051 0.04-0.07 <sup>b)</sup> (13) <sup>c)</sup>	0.066 0.043-0.109 (16)	0.0040 0.002-0.012
Diazinon	0.19 0.14-0.24 (1.4)	0.59 0.4-2.88 (4.6)	0.13 0.08-0.2
Fenitrothion	0.026 0.02-0.04 (5.4)	0.033 0.024-0.043 (3.9)	0.0048 0.0026-0.0082
Fenthion	0.028 0.02-0.04 (5.7)	0.057 0.035-0.099 (11.6)	0.0049 0.0032-0.0073
BPMC	0.0022 0.001-0.003 (22)	0.0023 0.001-0.004 (22)	0.0001 0.00009-0.0003
Carbaryl	0.0022 0.001-0.003 (3.1)	0.025 0.017-0.037 (35)	0.0007 0.0005-0.0011
Carbofuran	0.0013 0.0008-0.002 (1.0)	0.0015 0.0009-0.0025(1.1)	0.0014 0.0009-0.0022
Furathiocarb	0.0015 0.0008-0.002 (7.4)	0.0058 0.0035-0.0092(29)	0.0002 0.00006-0.00034
Cyfluthrin	0.067 0.05-0.1 (0.8)	0.025 0.014-0.038 (0.3)	0.084 0.035-2.281
Ethofenprox	0.00090 0.0006-0.0014 (11)	0.00065 0.00044-0.00089(8.1)	0.00008 0.00004-0.00017
Silafluofen	0.00077 0.0006-0.001 (9.6)	0.00090 0.0006-0.0014 (11)	0.00008 0.00004-0.00013
Fipronil	0.000040 0.00002-0.00006(2.0)	0.000060 0.00004-0.00009(3.0)	0.00002 0.00001-0.00003
Imidacloprid	0.000030 0.00002-0.00004(30)	0.000068 0.00003-0.00011(68)	0.000001 0.0000009-0.000001

<sup>a)</sup>Susceptible : Lab strain

<sup>b)</sup>95 % fiducial limit

<sup>c)</sup>Resistance Ratio; LD<sub>50</sub> of local strain/LD<sub>50</sub> of susceptible strain.

표 1 과 2에서 보듯이 벼멸구의 벼멸구 약제에 대한 감수성 정도는 그 동안 계속적인 추적은 없어 그 변화 추세를 알 수 없지만 약제와 지역에 따라 대부분 20배 이내의 감수성 저하를 보이고 있으나 실제 방제에서는 우려할 만한 수준은 아니다. 최(1999)는 벼멸구에 대한 imidacloprid의 반수치사약량이 완도와 같은 0.00003 μg, BPMC가 고성과 같은 0.002 μg로 보고하고 있어 2002년 필자가 보고한 자료와 유사한 수준이며, 감수성 대조와 비교하면 30-60배 정도의 감수성 저하가 보이고 있어 이 약제에 대한 저항성 발달

을 예고하고 있다고 할 수 있다. 이 등(1979ab)의 보고에 의하면 벼멸구에 대한 BPMC의 반수치사농도는 암컷 벼멸구(약 g 당 500 마리) 당 0.004, carbaryl은 0.0053, diazinon은 0.21, carbofuran은 0.0008 μg으로 본 연구의 결과와 비슷한 것으로 보아, 저항성 발달 속도는 전혀 우려할 만한 수준은 아니라고 판단된다. 따라서 2002년도의 결과를 실질적 저항성 발달로 보기 어렵다. 최 (1998)도 문헌 조사 결과 같은 결론을 내리고 있다. 다만 2002년도 고성에서 채집한 벼멸구는 imidacloprid에 대하여 약 68배의 저항성 비를 보이

고 있으나, 추천 농도에서의 imidacloprid의 효과는 아직까지 매우 좋아 저항성 발달에 대한 농민들의 어려움을 호소하는 예는 아직까지 없어 저항성에 대한 문제는 당분간 없을 것으로 생각된다. 이는 imidacloprid (수정)가 벼멸구에 대해 독성이 아주 강해 매우 낮은 농도에서도 효과가 탁월하기 때문에 약간의 저항성 발달에 대해서도 상대적으로 높은 저항성 비를 보이는 것으로 판단된다.

벼멸구는 우리나라의 주요 벼 해충으로 이른 여름에 장마 전선인 저기압 전선을 타고 중국에서 이동해와 (Kisimoto, 1971, 1972; 엄 등, 1988, 최 1998; Zhu 등, 2000) 이후 우리나라에서 3세대 증식하여 막대한 피해를 주며 월동이 불가능한 것으로 되어있다(박 과

이, 1975). 따라서 우리나라에서 벼멸구가 3세대 증식하는 동안 많아야 2회-3회의 약제처리로 저항성이 발달했다고 보기는 어려우며, 더욱이 월동을 하지 못하므로 저항성이 발달한 벼멸구는 모두 죽게 됨으로 우리나라에서의 저항성 발달은 더더욱 생각하기 힘들다. 벼멸구는 이미 중국에서 이동하여 오기 전에 저항성을 가지고 있다고 보아야 할 것이다. 이는 중국에서 벼멸구의 방제를 위해 많은 살충제를 사용하고 있다는 것을 역으로 증명하는 것이다. 그러므로 우리나라에서 벼멸구의 약제에 대한 저항성을 관리하기 위해서는 중국의 저항성 정도를 모니터링하는 것이 필수적으로 중국과의 공동연구가 매우 중요하리라 판단된다.

Table 3. Susceptibility of rice leafhopper to insecticides (2002)

Insecticides	LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}/\text{insect}$ )					
	Kimpo	Cheongdo	Seongdo	Taahn	Hongseong	Milyang
Diazinon	0.43 0.001-31.6 <sup>a)</sup> (1.2) <sup>b)</sup>	0.14 0.03-0.28 (0.4)	0.069 0.04-0.14 (0.9)	0.29 0.24-0.36 (0.9)	0.36 0.24-0.51 (1.0)	0.37 0.1-94300 -
Fenthion	0.23 0.13-0.43 (1.5)	0.30 0.01-2.7E+32 (2.0)	0.22 0.07-4.31 (1.4)	0.33 0.27-0.45 (2.1)	0.084 0.19-0.48 (0.5)	0.16 0.09-0.25 -
Phenthoate	0.048 0.025-0.097 (2.2)	-	-	0.061 0.041-0.088 (2.8)	0.025 0.017-0.035 (1.1)	0.022 0.01-0.05 -
BPMC	0.048 0.033-0.069 (1.3)	0.003 (0.1)	-	0.052 0.036-0.078 (1.4)	0.048 0.024-0.3 (1.3)	0.038 0.018-0.215 -
Carbaryl	0.061 0.035-0.104 (2.8)	0.037 0.01-0.08 (1.7)	0.010 0.002-0.003 (0.5)	0.091 0.062-0.014 (4.2)	0.049 0.027-0.087 (2.2)	0.022 0.01-0.05 -
Carbofuran	0.014 0.009-0.029 (1.0)	0.016 0.004-0.037 (0.5)	0.0096 0.005-0.017 (0.7)	0.015 0.011-0.021 (1.1)	0.037 0.023-0.058 (2.6)	0.014 0.007-0.021 -
Furathiocarb	0.081 0.045-0.172 (2.7)	-	0.0058 0.002-0.014 (0.2)	0.081 0.052-0.138 (2.7)	0.051 0.034-0.074 (1.7)	0.030 0.02-0.05 -
Cyfluthrin	0.020 0.00001-1.25 (2.5)	-	0.010 0.003-0.024 (1.3)	0.019 0.012-0.034 (2.4)	0.009 0.006-0.015 (1.1)	0.008 0.004-0.026 -
Ethofenprox	0.0001 0.00007-0.0003 (3.3)	-	-	0.0002 0.00019-0.0003 (6.7)	0.001 0.0004-0.0011 (33)	0.00003 0.000001-20.7 -
Silafluofen	0.0004 0.00001-1.25 (0.4)	0.0004 0.0002-0.0012 (0.4)	0.0011 0.0005-0.0033 (1.2)	0.0018 -	0.002 0.001-0.003 (2.2)	0.0009 0.0006-0.0014 -
Fipronil	0.0034 0.0017-0.0058 (1.7)	0.004 0.002-0.007 (2)	0.001 0.001-0.004 (0.9)	0.0052 0.0031-0.0091 (2.6)	0.035 0.02-0.12 (18)	0.002 0.001-0.003 -
Imidacloprid	0.00001 0.000001-0.00001 (0.5)	0.00001 0.000001-0.00002 (0.5)	0.00004 0.00002-0.00006 (2)	0.00002 0.00001-0.00003 (1)	0.00002 0.00001-0.00003 (1)	0.00002 0.00001-0.00004 -

<sup>a)</sup>95 % fiducial limit

<sup>b)</sup>Resistance Ratio: LD<sub>50</sub> of local strain / LD<sub>50</sub> of Milyang strain

현재 우리나라에서는 이 해충의 발생이 적어, 점차 경계대상의 해충에서 벗어나고 있다. 벼멸구의 비래량이 줄어든 이유로는 중국의 벼멸구에 대한 내충성 품종의 지속적인 보급으로 벼멸구의 발생이 현저히 줄었기 때문으로 생각된다. (Lu 등, 2002) 그러나 앞으로 벼멸구의 비래량이 다시 증가할 것으로 예상되며, 이는 주로 내충성을 이겨낸 벼멸구가 약제에 대한 저항성을 갖고 올 가능성이 있으므로 이에 대한 각별한 주의가 필요하다.

### 2) 끝동매미충(*Nephotetix cincticeps*)

끝동매미충의 약제에 대한 저항성은 흥성 지역계통의 ethofenprox(저항성비 : 33) 와 fipronil(저항성비 : 18)에 대해 저항성을 보이는 것을 제외한 나머지 지역, 전 약제에 대해서 감수성이었다(표 3).

물론 감수성 대조 계통이 없어 채집된 지역 중 가장 감수성을 보이는 지역 계통을 대조로 하여 저항성 비를 계산 하였다. 송 등(1976)은 끝동매미충의 약제에 대한 감수성 보고에서 지역에 따라 diazinon, fenitrothion, carbaryl, BPMC의 반수치사약량이 각각 3.8-9.0, 63-790, 5.3-14, 3.1-17  $\mu\text{g/g}$ 으로 보고하고 있다. 이를 그 당시 감수성 대조인 수원계통과 비교하면, 각각 최고 지역의 저항성이 7배, 170배, 25배, 10배로 보고하고 있다. 끝동매미충의 무게를 g당 400마리 정도로 환산하면 diazinon, fenitrothion, carbaryl, BPMC의 반수치사약량이 각각 0.010-0.023, 0.16-2.0, 0.013-0.035, 0.008-0.043  $\mu\text{g per insect}$ 이 되어 diazinon 만이 현재 약 7-19배 정도의 저항성이 발달 것을 제외하면 1976년 이후 25여 년 간 저항성의 발달은 없었던 것으로 판단된다. 이 등(1979ab)도 송 등(1976)과 같은 결과를 보였다. 이는 diazinon을 제외하면 논에서 위의 약제가 1976년 이후 거의 살포되지 않은 것을 의미한다.

### 3) 애멸구(*Laodelphax striatellus*)

애멸구에 대한 모니터링 결과는 표 4와 같다.

애멸구에 대해서도 송 등(1976), 유 등(1977), 이 등(1977ab)이 지역 간에 약간의 차이를 보이지만 같은 결과를 보고하고 있다. 애멸구를 g당 950여 마리로 환산하면, diazinon은 0.0027~0.056, fenitrothion은 0.0012~0.018, carbaryl은 0.0018~0.0059, BPMC는 0.0041~0.027  $\mu\text{g per insect}$ 로 현재의 애멸구에 대한 지역 간 반수치사약량과 크게 다르지 않다. 이 역시 앞의 끝동매미충과 같은 경향이다. 지금 현재 애멸구는 imidacloprid와 ethofenprox, fipronil을 제외하면 (해

남, 고흥, 보성에서 저항성이 발달함) 저항성 발달을 인정할 수 없었다(표 4). 이는 매우 재미있는 현상으로 기존에 사용되었던 유기인계나 카바메이트계 살충제에 대해서는 저항성을 보이지 않고 있으나 최근 물바구미의 방제 약제로 쓰이는 약제에 대해서 저항성을 보이는 현상이다. 위 두 해충은 벼멸구와는 달리 국내에서 월동하는 해충으로 벼멸구 방제를 위한 약제에 대한 저항성을 보였으나 1990년도 이후에는 벼멸구의 발생이 적어 방제를 하지 않은 결과 저항성이 감소된 것으로 추정되며, 오히려 벼물바구미 방제 약제가 토속해충인 끝동매미충의 도태에 영향을 준 것으로 판단되며, 이러한 현상은 앞으로도 계속되리라 생각된다.

이 두 해충은 벼에 대한 직접적인 피해는 적으며, 벼의 바이러스 병을 매개하는 해충으로 알려져 있으나 발생량이 적어 약제 방제를 잘 실시하지 않고 있다. 이러한 이유로 예전에 사용되었던 유기인계나 카바메이트계 살충제에 저항성을 보이지 않았을 것으로 생각된다. 다만 ethofenprox, fipronil, imidacloprid 등에서 저항성 발달을 보이고 있는 것은 매년 발생이 심한 벼물바구미 방제를 위해 논에 벼 이앙시 모판에 항상 살포되고 있는 이들 약제의 영향으로 판단된다. 만일 위 두 해충의 방제를 위해서는 벼물바구미 방제로 모판에 투입되는 ethofenprox, imidacloprid, carbofuran, fipronil 등 이외의 약제를 추천하는 것이 바람직하다고 본다.

### 나. 벼물바구미(*Lissorhoptrus oryzophilus*)

벼물바구미는 약 17년 전인 1988년에 최초로 발생이 보고된 후 우리나라의 벼 해충 중 벼멸구 다음으로 중요한 해충이 되었다(엄 등, 1989). 현재 우리나라에서 사용되는 약제에 대한 저항성이 보고된 바는 없지만 15년 간 방제를 위해 계속 농약이 사용되어 왔고, 사용되고 있는 약제가 주로 입제로 한 번 살포하여 약효가 10일 이상 지속되어, 해충이 약제에 접촉 시간이 길어져 저항성이 발달되었을 가능성이 있다. 다음 표 5, 6은 벼물바구미 성충의 약제에 대한 반수 치사량을 조사한 결과로 대체로 채집 장소에 따른 감수성의 차이가 없었다.

이는 현재 사용되고 있는 벼멸구 약제가 이미 십수 년 사용되어 왔지만 일년에 한 번 사용되고, 동기가 야생잡초로 감수성과 저항성 해충이 함께 모여, 다음 해 봄에 유전자 교환이 일어나므로 저항성 발달이 저조할 것으로 판단된다 (김 등, 1990ab). 또한 살

Table 4. Susceptibility of small brown planthopper to insecticides (2002)

Insecticides	LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}/\text{insect}$ )						
	Iksan	Buan	Kimje	Haenam	Koheung	Boseong	Sus.
Chlorpyrifos	0.014 0.008-0.023 <sup>a)</sup> (2.3) <sup>b)</sup>	0.011 0.007-0.021 (1.8)	0.014 0.008-0.027 (2.3)	0.004 0.003-0.006 (0.6)	0.008 0.006-0.009 (1.2)	0.010 0.009-0.012 (1.6)	0.006
Diazinon	0.118 0.08-0.2 (1.3)	0.106 0.07-0.2 (1.2)	0.014 0.02-0.06 (0.1)	0.011 0.008-0.016 (0.1)	0.013 0.011-0.015 (0.1)	0.065 0.055-0.074 (0.7)	0.091
Fenitrothion	0.005 0.003-0.008 (1.7)	0.008 0.005-0.012 (2.7)	0.007 0.005-0.01 (2.5)	0.029 0.024-0.035 (10.4)	0.006 0.004-0.007 (2.0)	0.010 0.009-0.012 (3.7)	0.003
Fenthion	0.009 0.006-0.02 (4.5)	0.014 0.009-0.021 (7.0)	0.012 0.008-0.018 (5.8)	0.005 0.004-0.006 (2.4)	0.006 0.005-0.008 (3.4)	0.003 0.002-0.004 (1.7)	0.002
BPMC	0.003 0.002-0.005 (0.1)	0.015 0.008-0.03 (0.4)	0.026 0.016-0.044 (0.8)	0.005 0.003-0.006 (0.1)	0.006 0.005-0.008 (0.2)	0.022 0.019-0.025 (0.6)	0.034
Carbaryl	0.002 0.0009-0.003 (0.3)	0.007 0.005-0.011 (1.1)	0.012 0.007-0.019 (2.0)	0.005 0.003-0.006 (0.8)	0.007 0.006-0.008 (1.2)	0.009 0.007-0.01 (1.5)	0.006
Carbofuran	0.001 0.0009-0.002 (0.5)	0.004 0.002-0.006 (2.0)	0.003 0.002-0.005 (1.5)	0.004 0.003-0.005 (1.9)	0.004 0.003-0.005 (1.6)	0.002 0.0017-0.003 (1.0)	0.002
Furathiocarb	0.002 0.001-0.003 (0.7)	0.003 0.002-0.004 (1.0)	-	-	0.002 0.0015-0.003 (0.7)	0.002 0.0015-0.003 (0.7)	0.003
Ethofenprox	0.0009 0.0005-0.002 (2.3)	0.0008 0.0004-0.0011 (2.0)	0.004 0.0024-0.0059 (9.3)	0.008 0.007-0.009 (20)	0.004 0.003-0.005 (10.8)	0.004 0.003-0.007 (10.8)	0.0004
Silafluofen	0.0005 0.0003-0.0008 (0.1)	0.0013 0.0009-0.002 (0.4)	0.0016 0.001-0.002 (0.4)	0.009 0.008-0.011 (2.6)	0.0005 0.00001-0.2 (0.1)	0.009 0.008-0.01 (2.5)	0.0036
Fipronil	0.00009 0.00004-0.00014 (0.1)	0.00008 0.00005-0.00012 (0.1)	0.00005 0.00003-0.00009 (0.1)	0.005 0.004-0.006 (17.3)	0.004 0.003-0.005 (13.3)	0.002 0.0017-0.003 (8)	0.0003
Imidacloprid	0.00006 0.00003-0.0002 (0.1)	0.00006 0.00003-0.0002 (0.1)	0.00023 0.00013-0.00035 (2.3)	0.002 0.0017-0.003 (23)	0.002 0.0018-0.003 (24)	0.009 0.007-0.01 (90)	0.0001

<sup>a)</sup>95 % fiducial limit

<sup>b)</sup>LD<sub>50</sub> of local strain / LD<sub>50</sub> of Susceptible strain

충제의 방제 효과가 매우 좋으므로 저항성 유전자의 축적에 상당한 시간이 필요할 것으로 생각되어 당분간 저항성의 문제는 일어나지 않으리라 판단된다

표 7, 8은 벼물바구미의 유충에 대한 약제의 방제 효과를 나타낸 것이다. 시험 약제 모두 사용 추천 농도에서 약효가 매우 좋음을 알 수 있었다. 특히 약제를 사용 추천 농도의 4분의 1 수준으로 살포하여도 모든 약제가 90%이상의 살충 효과를 보여주었다. 이는 현재 사용되고 있는 벼물바구미 방제약제가 필요 이상으로 많이 투여되고 있지 않나 생각되는 부분이다. 약제가 침투성이 있어 고농도로 살포할 경우 해당 군집의 해충을 전멸, 또는 극히 밀도를 낮춤으로

써 저항성 발달을 억제할 수도 있지만 결국 저항성 해충의 발달은 사용 약량에 비례한다고 볼 수 있어 해충의 저항성 발달이 이 농도의 한계를 넘어서면 그 다음부터는 발달 속도가 빨라지게 되어 저항성 관리에 어려움을 겪을 수 있다. 이를 방지하기 위해서 약제의 적정 사용량을 다시 검토할 필요가 있을 것으로 사료된다. 3년 뒤 2002년도에 실시한 벼물바구미 방제 시험에서는 지역에 따라 벼물바구미에 대한 방제 약제의 약효가 떨어지는 것을 볼 수 있었다(표 6, 8).

아직 일부 지역의 일부 약제이기는 하지만 앞으로 저항성 문제가 대두될 소지가 많다. 화성지역의 carbofuran, 산청의 fenthion, 산청의 furathiocarb, 하동

Table 5. Susceptibility of rice water weevil to insecticides (1999)

Insecticides	LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}/\text{insect}$ )			
	Milyang	Suwon	Jangsu	Sancheong
Fenthion	378 (322-456) <sup>a)</sup>	446 (320-584)	224 (129-318)	-
Chlorpyrifos-methyl	330 (214-457)	310 (221-421)	-	-
Furathiocarb	40.4 (29.8-55.6)	52.7 (45.1-65.5)	-	46.2 (32.5-69.9)
Carbofuran	31.5 (19.6-45.8)	55.3 (41.3-69.9)	20.5 (11.5-31.3)	30.2 (21.8-39.5)
Cycloprothrin	66.3 (48.4-81.1)	114 (85.3-132)	40.2 (30.0-52.6)	79.5 (56.3-92.7)
Ethofenprox	23.1 (11.3-33.9)	19.1 (10.1-30.8)	11.7 (10.5-20.5)	24.9 (11.9-36.7)
Imidacloprid	70.4 (55.1-84.3)	67.4 (55.2-81.8)	59.4 (50.7-70.8)	-
Fipronil	14.8 (8.8-20.2)	27.7 (21.7-35.2)	14.8 (9.0-19.5)	14.7 (8.1-20.9)

<sup>a)</sup>95 % fiducial limit

Table 6. Susceptibility of rice water weevil to insecticides (2002)

Insecticides	LD <sub>50</sub> ( $\mu\text{g}/\text{insect}$ )									
	Hwa seong	Kang hwa	Kong ju	Jang su	Ok cheon	Kyung ju	Young wol	Ha dong	San cheong	Naju
Fenthion	0.25 0.15-0.45 <sup>b)</sup> (25) <sup>c)</sup>	0.08 0.04-0.15 (7.7)	0.024 0.01-0.2 (2.4)	0.17 0.09-0.89 (16)	0.026 0.012-0.175 (2)	0.13 0.08-0.37 (13)	0.054 0.037-0.082 (5)	0.14 0.13-0.15 (14)	0.20 0.1-0.6 (20)	0.010 -
Carbofuran	0.081 0.044-0.23 (16.2)	-	0.008 0.004-0.015 (1.6)	0.011 0.007-0.018 (22)	0.005 0.002-0.013 (1)	0.012 0.006-0.049 (2.4)	0.008 0.004-0.025 (1.6)	0.007 0.005-0.008 (1.4)	0.022 0.01-0.06 (4.4)	0.005 -
Furathiocarb	0.025 0.016-0.035 (8.3)	0.022 0.012-0.04 (7.3)	0.011 0.005-0.046 (3.6)	0.011 0.007-0.018 (3.6)	0.004 0.002-0.01 (1.1)	0.006 0.003-0.011 (2)	0.016 0.01-0.051 (5.3)	0.013 0.006-0.03 (4.3)	0.034 0.031-0.037 (11)	0.003 -
Cyclofluthrin	0.009 0.006-0.014 (1.5)	0.002 0.0001-0.011 (0.3)	0.004 (0.7)	0.006 0.004-0.01 (1)	0.028 0.015-0.068 (4.6)	0.010 0.006-0.02 (1.7)	0.013 0.007-0.036 (2.1)	0.071 0.06-0.08 (12)	0.023 0.001-0.561 (3.8)	0.006 -
Ethofenprox	0.007 0.004-0.01 (0.6)	-	0.019 0.009-0.04 (1.9)	0.034 0.023-0.055 (3.4)	0.014 0.006-0.049 (1.4)	0.017 0.009-0.089 (1.7)	0.008 0.005-0.015 (0.5)	0.12 0.11-0.13 (10.7)	0.11 0.0003-34.1 (9.7)	0.011 -
Silaflufen	0.003 0.001-0.007	0.025 0.013-0.057	0.008 0.004-0.019	0.006 0.004-0.011	0.009 0.004-0.086	0.011 0.006-0.029	0.017 0.008-0.073	-	-	-
Imidacloprid <sup>a)</sup>	0.016 0.005-0.028 (1.7)	0.003 0.001-0.011 (0.3)	0.001 0.0001-0.0012 (0.1)	0.001 0.0007-0.002 (0.1)	0.001 0.0001-0.001 (0.1)	0.001 0.0004-0.0011 (0.1)	0.001 0.0003-0.0011 (0.1)	0.040 0.004-0.38 (4.4)	0.046 0.04-0.051 (5.1)	0.009 -
Fipronil	0.007 0.005-0.01 (3.5)	0.002 0.001-0.004 (1)	0.004 0.001-0.008 (2)	0.009 0.006-0.014 (4.5)	0.007 0.004-0.013 (3.5)	0.007 0.005-0.01 (3.5)	0.002 0.0016-0.004 (1)	0.008 0.001-0.053 (4.0)	0.009 0.001-0.18 (4.5)	0.002 -

<sup>a)</sup>Count the dead no. 48hrs after application

<sup>b)</sup>95 % fiducial limit

<sup>c)</sup>Local strain LD<sub>50</sub>/Milyang strain LD<sub>50</sub>

의 cyclofluthrin, ethofenprox, imidacloprid, fipronil 등 주로 최초로 벼물바구미가 발견된 지역에 근접한 지역에서 약제에 대한 감수성 저하가 두드러지게 나타나고 있다. 아직 문제가 되지 않지만 벼물바구미의 약제에 대한 저항성 문제를 사전에 극복하기 위해서

는 농가 별로 방제 약제를 선발, 사용할 것이 아니라 지형적인 지역을 고려하여, 약제를 공동으로 구입하여 해마다 교체 살포함으로써 저항성 발달 압력을 낮춰 저항성 발달을 억제하여야 할 것이다.

Table 7. Control effects of insecticides to rice water weevil larvae (1999)

Insecticides	Usage (kg/10a)	Jangsu		Milyang	
		alive No.	efficiency(%)	alive No.	efficiency(%)
Carbofuran Gr.	4	0	100	0	100
	2	0	100	2	99
	1	4	91	9	94
Imidacloprid Gr.	3	0	100	0	100
	1.5	1	98	0	100
	0.75	2	95	0	100
Fipronil Gr.	2	0	100	0	100
	1	1	98	1	99
	0.5	6	86	10	90
Ethofenprox Gr.	1	0	100	0	100
	0.5	0	100	0	100
	0.25	1	98	0	100
Untreated Control	-	43	-	140	-

Table 8. Control effects of insecticides to rice water weevil larvae (2002)

Insecticides	Usage (kg/10a)	Control efficacy(%)				
		Hwaseong	Jangsu	Youngwol	Okcheon	Kyungju
Carbofuran Gr.	4	96	100	100	100	100
	2	93	100	100	97	100
	1	46	100	92	84	95
Imidacloprid Gr.	1.5	100	96	100	100	100
	0.75	100	100	100	100	100
	0.37	100	96	100	100	100
Fipronil Gr.	1	100	93	100	100	100
	0.5	93	100	98	100	100
	0.25	86	86	92	100	100
Untreated Control	-	28	27	49	74	19

## 인용문헌

- Anonymous (2004) Agrochemical year book. Agricultural Chemicals Industrial Association, p.616.
- Brown, A. W. A. and R. Pal (1971) Insecticide resistance in arthropods, World Health Organ. Monograph, Ser. 38
- Hosoda, A. (1983) Decrease in susceptibility to organophosphorus and carbamate insecticides in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae), Jap. J. Appl. Ent. Zool. 27:55~62.
- Kisimoto, R. (1971) Long distance migration of planthoppers, *Sogatella furcifera* and *Nilaparvata lugens*, pp.201~216. In Proceedings, Rice Insects. Trop. Agric. Res. Cent, Jpn. Minist. Agric. Forest, Tokyo.
- Kisimoto, R. (1979) Brown planthopper migration, pp.113~124, In Brown planthopper: Threat to rice production in Asia, IRRI: Los Baños, Phil.
- Kudamatsu, A., A. Hayashi, and R. Kano (1983) Patterns of cross resistance to insecticides in the house fly in Japan, pp.411~420, In Pest resistance to pesticides (ed. G.P. Georghiou and T. Saito), Plenum Press, U.S.A.
- Lu, Z.-X., X.-P. Yu, L.-Y. Tao, G.-R. Wu, J.-M. Chen, X.-S. Zheng and H.-X. Xu (2002) Resistance evaluation of newly-bred rice varieties (lines) to brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål in China. 中國農業科學 編輯部. pp.225~229.
- Park, H. M. (1989) Studies on the resistance mechanisms of Brown Planthoppers (*Nilaparvata lugens*) to Fenobucarb, carbofuran and Diazinon. Seoul National University, Graduate School Ph.D. thesis.
- Zhu, M., Y. H. Song, K.-B. Uhm, R. W. Turner, J.-H. Lee and G. K. Roderick (2000) Simulation of the



- long term range migration of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*(Stål), by using boundary layer atmospheric model and the geographic information system. *J. Asia-Pacific Entomol.* 3(1):25~32.
- 渡辺直 (1976) 新發したイネミズゾウムシの生態 植物防疫 30(9):342~346.
- 김용현, 최용문, 임경성, 장영덕 (1990a) 월동처 잡초에서 벼물바구미 발생. 농사시험연구논문집. 32-3 (작물보호): 7~11.
- 김용현, 연기석, 박대균, 최귀문, 장영덕 (1990b) 한국에서의 벼물바구미 발생. 농사시험연구논문집 32-2 (작물보호):19~23.
- 박중수, 이정운 (1975) 벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)의 발생시기와 벼피해와의 관계. 한국식물보호학회지 14(1): 34.
- 송유한, 유재기, 유창영, 박인선 (1976) 벼 해충의 약제 저항성에 관한 연구. 농진청 농기연 시험연구보고서 (병.해충편) pp.164~169.
- 엄기백, 이영인, 김용현, 최귀문, 연기석. (1989) 벼물바구미 분포 및 발생 전망. 농사시험연구논문집 31-2(작물보호) pp.23~28.
- 유재기, 최승윤, 손준수, 박진화, 이형래. (1977) 농진청 농기연 시험연구보고서(병해충) pp.248~254.
- 이형래, 박중수, 최승윤 (1979a) 혼합제 선발에 관한 시험. 농진청 농기연 시험연구보고서(병해충·유전) pp.387~390.
- 이형래, 박중수, 최승윤 (1979b) 멸구 매미충류에 대한 약제저항성 시험. 농진청 농기연 시험연구보고서 (병해충·유전): pp.387~390.
- 최귀문 (1998) 벼멸구·흰등멸구의 발생과 방제자료집. 농촌진흥청 농업과학기술원 p.192.

#### Monitoring on Insecticide resistance of major insect pests in paddy field

Si-Woo Lee\*, Byeong-Ryeol Choi, Hyung-Man Park, Jai-Ki Yoo and Bu-Keun Chung<sup>1</sup>(*Div. of Entomology, NIAST. 249 Seodun-dong Suwon, Kyeonggi-do 441-707, Korea, <sup>1</sup>Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju, Gyeongsangnam-do 660-985* )

**Abstract** : This study was carried out for looking into the status of susceptibility of pest insects to insecticides. Each insect Brown planthopper(BPH), Green leaf hopper(GLH), Smaller brown plant hopper(SBPH), Rice water weevil(RWW), were captured at various areas where the host crops were being cultivated and the susceptibility level of each pest insect was investigated. The susceptibility of each pest insect varied by insect species and areas where they were caught. BPHs kept higher level of susceptibility comparing to susceptible reference strain except to most of tested insecticides except imidacloprid (Resistance ratio was 68). The susceptibilities of GLH and SBPH to most of insecticides for their control did not developed markedly since 1976 except fipronil and imidacloprid which is widely used for WRR control. The insecticides used for control of WRR were very effective even at the concentration of one fourth of recommending concentration , but in 2000 suwon strain of WRR showed markedly reduction of susceptibility to carbofuran..

**Key words** : brown planthopper, green leaf hopper, insecticide, resistance, monitoring, rice water weevil, smaller brown plant hopper

\*Corresponding Author (Fax : +82-31-290-0407, E-mail : siwlee@rda.go.kr)