

## Fenobucarb와 Imidacloprid의 벼 뿌리 침지시간에 따른 벼멸구의 살충활성과 섭식행동비교

양정오 · 조선란 · 권윤희 · 윤창만 · 김길하\*

충북대학교 농업생명환경대학 식물외학과

(2010년 5월 15일 접수, 2010년 5월 27일 수리)

### Comparison of Insecticidal Activity and Feeding Behavior of *Nilaparvata lugens* by Root Uptake Times against Fenobucarb and Imidacloprid

Jeong-Oh Yang, Sun-Ran Cho, Yun-Hee Kwon, Changmann Yoon and Gil Hah Kim\*

Dept. of Plant Medicine, College of Agriculture, Life, and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

#### Abstract

Two insecticides, fenobucarb (36, 12 ppm) and imidacloprid (0.7, 0.4 ppm) were treated on rice seedling roots by root uptake method with different dipping time (1, 4, 8, 12, 16, 20, 24 hrs). This study was performed to elucidate the correlation between insecticidal activity and feeding behavior of *Nilaparvata lugens* using EPG (electrical penetration graph). EPG waveforms are recorded for 4 hours and classified into six waveforms. In the correlation between root uptake and corrected mortality, both insecticides showed higher corrected mortality as higher doses and as longer root uptake times. In the analysis of waveforms, *N. lugens* showed longer non-probe time but shorter phloem feeding time at a higher dose. It was also showed the same result as longer the root uptake times. Therefore, it showed the correlation between insecticidal activity by root uptake time and both EPG waveforms (non-probing time and phloem feeding time).

**Key words** *Nilaparvata lugens*, Feeding behavior, EPG (Electrical Penetration Graph), Correlation

#### 서 론

벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)는 벼의 체관을 직접적으로 흡즙하여 피해를 야기할 뿐만 아니라 집중고사현상인 ‘hopper burn’을 일으켜 경제적인 피해를 주는 해충이다(Bae and Pathak, 1970; Shepard *et al.*, 1991; Qiu *et al.*, 2004). 또한, 간접적으로도 grassy stunt virus와 ragged stunt virus를 매개하여 벼에 손실을 입히는 것으로 알려져 있다(Sogawa, 1982; Velusamy and Heinrichs, 1986).

매미목 곤충을 포함하여 흡즙으로 섭식을 하는 곤충의 구침 행동은 육안으로 관찰하기가 어려워, 전기적인 장치를 이용하여 흡즙행동을 이해하고 있다(McLean & Kinsey, 1967; Tjallingii, 1978). 섭식측정장치인 EPG(electrical penetration graph)는 구침이 식물의 표피내부로 침입했을 때와 같이 직접적으로 관찰을 할 수 없는 구침행동을 연구하는데 있어 매우 유용한 장치이며(Spiller, 1988), McLean and Kinsey (1967)가 Alternating Current 기록계를 이용하여 진딧물의 구침행동을 규명한 이후, Direct Current를 이용한 방법이 Tjallingii에 의해 발전되어 현재까지 주로 사용되고 있다(Tjallingii, 1978; 1985). EPG를 이용하여 지금까지 진딧물, 벼멸

\*연락처 : Tel. +82-43-261-2555, Fax. +82-43-271-4414  
E-mail: khkim@chungbuk.ac.kr

구, 가루이류와 같은 흡즙형 구기를 가진 곤충의 섭식행동에 관해 많은 연구가 이루어졌다(Khan and Saxena, 1985; Kimmins, 1989; Youn, 1992; Lei *et al.*, 1996; Jiang *et al.*, 1999; Seo *et al.*, 2009).

벼멸구의 섭식행동은 많은 연구자들에 의해 보고되었다. Velusamy and Heinrichs(1986)는 처음으로 EPG를 이용하여 내충성 품종과 감수성 품종 간 차이를 보고하였고, 이후 다른 연구자들이 여러 품종 간 섭식행동 차이에 대한 연구를 많이 수행하였다(Cook *et al.*, 1987; Hattori, 2001; Kim *et al.*, 2005). 또한 규소(Silicon)의 토양과 엽면 처리 후 반응에 대한 연구에도 EPG가 이용되었다(Goussain *et al.*, 2005). 그러나 벼멸구에서 침투이행성에 따른 약제의 농도와 침투 시간에 따른 살충제의 영향에 대해서는 연구하고 보고된 바가 거의 없다. 다만 살충제의 영향에 대해서 담배가루이(Seo *et al.*, 2007)와 복숭아혹진딧물(Nauen, 1995; Seo *et al.*, 2009) 등에서 EPG를 이용하여 섭식저해 정도를 비교하기도 하였다. Kwon *et al.* (2008)은 Emamectin benzoate와 Pyridaben의 잔효성에 따른 담배가루이의 섭식행동 변화를 보고한 바 있다.

Fenobucarb와 Imidacloprid는 국내 수도해충의 방제약제로 등록 되어있다(KCPA, 2009). Fenobucarb은 카바메이트계 약제로서 강한 접촉독성과 속효성이 있어 식물에 뿌린 약제에 접촉하여 죽는다. 곤충체내로 들어가면 신경자극전달에 영향을 주는 콜린에스터라아제 효소를 저해하여 살충효과를 나타낸다. Neonicotinoid계 약제인 Imidacloprid는 다른 농약과 달리 물에 잘 녹고 침투이행성이 좋아 작물에 흡수이행되어, 특히 흡즙성 해충이 흡즙할 때 높은 방제효과가 있는 것으로 알려져 있다(Minamita *et al.*, 1993). 곤충체내로 들어가면 신경 전달을 방해하여 섭식저해를 일으켜 치사에 이르게 하며(Nauen and Elbert, 1994; 1997), 또한 아세틸콜린 수용체를 저해하여 살충효과를 나타낸다(Methfessel, 1992; Tomizawa, 1994; Tomizawa *et al.*, 1995a, b). 두 약제는 침투성이 좋은 약제로서 벼멸구를 비롯한 멸구류와 수도해충의 방제에 사용되고 있는 약제들이다.

본 연구는 서로 다른 작용기작을 가진 두약제인 Fenobucarb와 Imidacloprid를 뿌리 침지 시간에 따른 벼멸구의 살충활성과 섭식측정장치(EPG)를 이용하여 체관부를 찌르는 섭식행동의 상관관계를 밝히고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

### 시험곤충

본 시험에 사용된 벼멸구(*Nilaparvata lugens*)는 농촌진흥청 농업과학기술원 해충과에서 1993년도에 분양 받아 누대사육중인 것을 사용하였다. 벼멸구는 3주 동안 재배한 추청벼(*Oryza sativa* cultivar *Chucheong*) 유묘를 기주로 플라스틱 사육용기(25×30×45 cm)를 이용하여 약제 노출없이 누대사육 하였으며, 실내 사육조건은 온도 25 ± 1°C, 광주기 16L : 8D, 상대습도 50~60%를 유지하였다.

### 시험약제

시험에 사용된 약제는 벼멸구 방제용으로 시판되고 있는 상품인 Fenobucarb (50%, EC; 2-sec-butylphenyl methylcarbamate (BPMC)) 0.7 ppm, 0.4 ppm과 Imidacloprid (8%, SC; 1-[6-chloro-3-pyridinyl)methyl]-N-nitro-2-imidazolidinimine) 36 ppm, 12 ppm을 조제하여 시험에 사용하였다.

### 침투이행성 실험

침투이행성 실험은 2엽기 벼 유묘 뿌리의 흙을 씻어 제거한 후 2종의 살충제를 아치사농도로 증류수에 희석한 용액 - Fenobucarb (0.7, 0.4 ppm), Imidacloprid (36, 12 ppm)에 벼 유묘의 뿌리를 1, 4, 8, 12, 16, 20, 24시간 동안 침지시간을 달리하여 침지하였다. 약제에 침지 후 뿌리는 흐르는 물로 뿌리에 묻어 남아있을 수 있는 약제를 씻어내었고, 유묘 다섯 주씩 뿌리를 솜에 말아 유리시험관(Ø5×15 cm)에 넣고 증류수를 채웠다. 벼멸구의 섭식행동은 약제를 처리한 24시간 후에 시간별 침투이행성 효과를 조사하였다. 시험관 당 벼멸구 암컷 성충을 10마리씩 접종하였고 3반복으로 수행하였으며, 무처리는 벼 유묘에 증류수만 처리하였다.

### 섭식 측정 장치(EPG)를 이용한 섭식파형 분석

벼멸구 구침의 탐침행동과 섭식행동을 Tjallingii(1978, 1985)의 DC 시스템을 일부 변경한 방법으로 회로를 연결하고 그 결과를 분석하였다. 회로의 연결은 직경 18 µm인 금선(Goodfellow, UK)을 3-4cm로 벼멸구 등쪽 가슴 중앙에 전도성 있는 페인트(Silver conductive paint, RS, 101-5621, UK)를 발라 부착하였고 벼멸구에 연결한 금선은 Giga-8 DC EPG amplifier에 연결하였다. 다른 한쪽은 식물의 뿌리쪽 흙에 연결하여 벼멸구가 구침활동을 할 때 회로가 연결되어 파형이 기록되도록 하였다. Amplifier의 진폭은 50배로 설정하

였고 노이즈를 최소화하기 위해 구리망으로 차단한 Faraday cage 안에서 수행하였다. 침투이행성과 잔효성 실험은 약제를 처리한 후 벼멸구를 벼 잎에 올려놓아 섭식행동을 하도록 하고 4시간 동안 기록하였다. 실험에서 나온 전기적인 파형은 PROBE 3.0 소프트웨어(Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands)를 사용하여 파형의 모양 및 주파수 분류는 Seo *et al.* (2009)의 방법을 응용하여 각각의 파형 발생 시간을 측정하였다(Fig. 1). 모든 EPG data는 실험 시작 후 4시간 동안 측정된 결과를 가지고 분석하였다.

실제 섭식을 하는지 알아보기 위하여 벼멸구의 감로분비를 확인하였다. 벼멸구는 사용 전 1시간 굶긴 후 실험에 사용하였고, 감로의 분비 확인은 filterpaper에 2% ninhydrin을 아세톤에 녹여 1 ml을 도포하였고, 준비된 filterpaper를 벼 줄기의 아랫부분에 끼워 놓고 감로가 떨어진 시간과 EPG recording time의 시점을 확인하였다. 앞에서 언급했던 EPG setting과정에서 벼 아랫부분은 젖은 탈지면에 둘러싸이게 되

므로 그 위에 filterpaper를 바로 올려 놓으면 모두 젖어버리기 때문에 그 전에 은박지를 끼워 놓았다. 이 방법은 감로 성분 중 아미노산을 검출해 내는 방법인 Rosen (1957)의 Ninhydrin method를 응용하였다. Ninhydrin은 아미노산과 반응하면 청자색이 되기 때문에 filterpaper에 감로가 떨어진 후 발색(청자색)여부 확인하였다.

### Data의 분석

EPG를 이용한 기록은 벼멸구를 벼 유묘에서 각 시험구별로 12시간 후부터 시작하였으며, 각 시험구별로 10회 반복하였다. 그 실험에서 나온 전기적인 패턴을 전기적인 특징에 따라 분류를 한 뒤 각각의 파형 발생시간을 측정하였고, 모든 data는 실험 시작 후 4시간 동안 측정된 것을 가지고 분석하였다(Fig. 1). 벼멸구의 섭식행동의 차이는 EPG파형의 총 기간과 빈도, 처음으로 N4-a파형과 N4-b파형에 도달하기 까지 걸린 시간의 평균을 DMRT검정방법으로 유의수준 0.05% 이하에서 비교하였다. N4-a파형 또는 N4-b파형이 나타나지

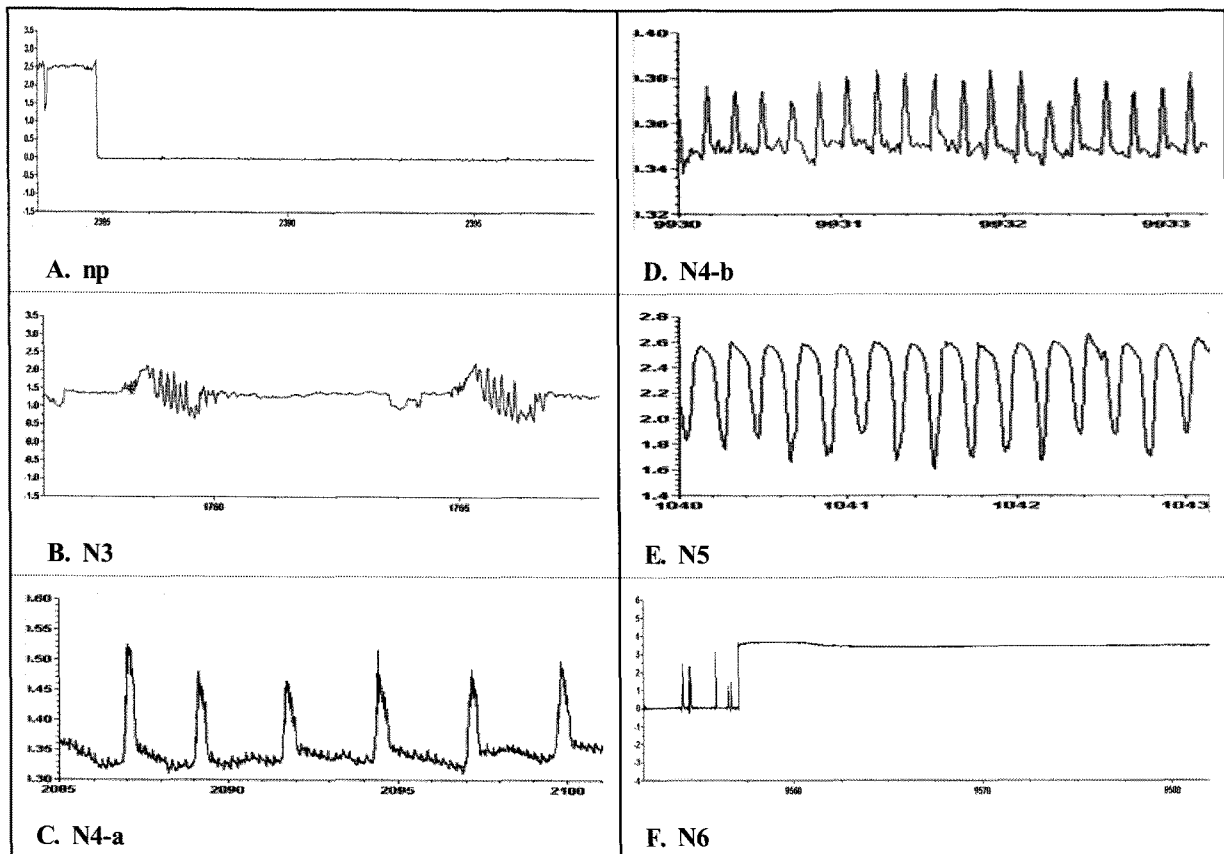


Fig. 1. EPG waveforms of *Nilaparvata lugens* on rice seedling.

(A) np; Non-penetration, (B) N3; An extracellular activity near the phloem region, which always precedes N4-a pattern, (C) N4-a; An intracellular activity in phloem region, which is certainly necessary just prior to ingest phloem sap, (D) N4-b; Phloem sap ingestion, (E) N5; Stylet activity in xylem region, (F) N6; It is specific waveform to react insecticide.

않은 경우에는 총 기록시간(240분)을 결과 값에 포함시켜 파형의 도달 경과 시간을 계산하였다. 또한 기록시간 중 각 파형이 한번이라도 나타난 개체율을 백분율로 환산하여 약제간 섭식행동 시간의 차이를 비교하였다. 침지시간에 따른 약효와 EPG파형과의 관계는 Excel 2007 프로그램(Microsoft Corporation, USA)에서 회귀분석법을 이용하여 분석하였다.

## 결과 및 고찰

EPG를 이용하여 기주인 벼에서 벼멸구의 섭식행동을 연구한 보고는 국내에서도 많이 있다(Seo *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2005). 이러한 연구를 통해 벼멸구의 섭식파형에 대해서는 많이 알려져 있으나, 실제로 약제를 처리하였을 때 침투 이행성과 잔효성에 따라 벼멸구의 섭식행동을 조사한 연구는 보고된 바 없다.

본 실험에서는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 벼에서 벼멸구의 섭식행동에 따른 파형을 6개의 EPG 파형으로 구분하였다. Kim *et al.* (2005)은 섭식행동을 6개 파형으로 구분하였고, Seo *et al.* (2009)은 7개 파형으로 구분하였다. 본 실험에서는 Seo *et al.* (2009)의 연구에서 명시된 7개 파형(np, N1, N2, N3, N4-a, N4-b, N5)을 참조하여 분석하였지만, 약제의 효과에 초점을 두었기에 N1, N2 파형은 본 실험에서 따로 분리하지 않았다.

벼멸구의 섭식행동에 따른 파형에서 N3파형은 체관부 근처, N4-a, N4-b파형은 체관부에 도달하였을 시 나타나는 파형으로 N3, N4-a, N4-b파형은 체관부와 관련된 파형이라 판단되지만, 실질적인 섭식과 관련된 파형은 N4-b이다. N5파형은 물관부와 관련된 파형이다.

EPG는 벼멸구가 실제로 섭식을 하는지 하지 않는지를 판단하기 어렵다. 실제 섭식과 구침파형을 확인하기 위해서는 직접적으로 흡즙할 때 구침을 레이저로 자른 후 식물조직내 구침의 위치를 확인하고 그 때 나타난 파형을 구분하면 정확하게 판단할 수 있다 (Seo *et al.*, 2009). 하지만 본 실험에서와 같이 이러한 방법이 여의치 않을 때는 구침을 찌르지 않는 파형(np)으로 우선 판단하고, 기존에 분석/보고된 파형을 근거로 섭식파형을 판단하였다.

감로분비의 확인은 간단한 아미노산 검출 방법인 Rosen (1957)의 Ninhydrin method를 이용하여 실험중인 벼멸구가 체관부를 섭식하는지 확인을 병행하였다. 그 결과 체관부 섭식시간이 긴 대조구에서는 감로가 확인 되었지만, 약제 처리구에서는 감로의 분비가 확인되지 않았다.

분석된 섭식파형을 근거로, 침투이행성 약제를 두가지 처리농도에서, 침지시간을 달리하여(1, 4, 8, 12, 16, 20, 24시간) 처리한 후 보정살충율과 파형과의 관계를 비교 분석하였다. 벼 유묘를 Fenobucarb와 Imidacloprid의 처리농도와 침지시간에 따른 벼멸구의 np 파형과 보정사충율의 상관관계를 조사한 결과(Table 1), 두 약제간에 비슷한 경향을 보였으며,  $r^2$ 값을 보면 Fenobucarb 0.4 ppm, 0.7 ppm 처리 시 0.8133, 0.8770 그리고 Imidacloprid 12 ppm, 36 ppm 처리시 0.8394, 0.8394로 높은 상관관계를 나타내었다(Table 1). 살충력은 np 파형이 짧아질수록 낮게 나타나는 반면 np 파형이 길어지면 보정사충율은 높게 올라가는 경향을 보여주었다. 이러한 경향은 담배가루이(Seo *et al.*, 2007)와 복숭아혹진딧물(Nauen, 1995; Seo *et al.*, 2009) 에서도 비슷한 경향이 보고된 바 있다.

벼 유묘를 Fenobucarb와 Imidacloprid 약제에 처리농도와 침지시간에 따른 벼멸구의 섭식과 관련된 파형(N3, N4-a, N4-b)과 보정사충율의 상관관계를 조사한 결과(Table 1), 두 약제가 비슷한 경향을 보였으며,  $r^2$ 값은 Fenobucarb 0.4 ppm, 0.7 ppm 처리시 0.8864, 0.8361 그리고 Imidacloprid 12 ppm, 36 ppm 처리시 0.8342, 0.8139의 높은 상관관계를 나타내었다(Table 1). 체관부 섭식시간은 약제 침지시간이 길어질수록 짧아졌으며, 살충력은 증가함을 보였다. 벼멸구의 체관부 섭식에 관련된 파형 중 체관부 근처 파형인 N3 파형은 Fenobucarb 0.4 ppm에서 모든 침지시간대에서 파형을 확인할 수 있었지만, Fenobucarb 0.7 ppm에서 24시간 뿌리침지시간을 제외한 모든 침지시간대에서 파형을 확인할 수 있었다. 그러나 Imidacloprid 12 ppm으로 침지시간에 따라 처리 시 매우 짧은 시간 파형이 확인 되었고, 뿌리 침지 8시간 이후에는 파형을 확인할 수 없었다(Table 1). 또한 N4-a 파형은 Fenobucarb에서는 짧은 시간이지만 확인을 할 수 있었지만, Imidacloprid에서는 거의 확인을 할 수 없었다. 실질적인 섭식파형인 N4-b 파형은 Fenobucarb 0.4 ppm 처리 시에서만 파형을 확인 하였고, Fenobucarb 0.7 ppm, Imidacloprid 12 ppm, 36 ppm 에서는 확인할 수 없었다.

기존의 연구에서 Imidacloprid는 흡즙을 저해하는 약효 지속효과가 좋다고 보고되었다(Choi, 1998). 그리고 복숭아혹진딧물에 대해서 기존에 알려진 신경전달물질 수용체를 차단하여 섭식저해, 마비, 방황에 의해 치사시키는 살충제로서 작용하는 것 같다고 보고한 예가 있다(Nauen and Elbert, 1994; 1997). 본 실험에서 Imidacloprid를 처리한 시험구에서 EPG 파형 분석시 특이하게 N6 파형이 나타남을 확인할 수 있었는데(Fig. 1F), 이것은 벼멸구가 기주에 구침을 찌렀지만, 약제에 의해 마비가 되면서 구침을 찌른 상태가 유지되고 EPG

**Table 1.** Comparison of EPG waveforms by various root uptake times treated two insecticides against *Nilaparvata lugens*

Insecticides	Time (hrs)	Corrected Mortality (%)	Penetration phase (Min)								
			np	r2 <sup>(a)</sup>	N3	N4-a	N4-b	short sum <sup>(b)</sup>	r2 <sup>(c)</sup>	N5	r2 <sup>(d)</sup>
Fenobucarb (0.4 ppm)	1	0.0	144.9		10.9	2.2	1.9	15.0		36.8	
	4	3.3	137.8		7.3	1.8	1.3	10.4		39.5	
	8	13.3	132.2		10.5	1.7	1.0	13.2		39.1	
	12	26.7	143.0	0.8133	8.7	0.9	0.7	10.3	0.8864	32.5	0.8520
	16	33.3	153.2		5.4	0.0	0.2	5.6		20.3	
	20	56.7	176.6		2.5	0.2	0.1	2.8		17.2	
	24	74.5	226.6		0.7	0.0	0.0	0.7		15.7	
Fenobucarb (0.7 ppm)	1	0.0	110.2		2.0	0.2	0.0	2.2		59.8	
	4	10.3	133.6		2.3	0.0	0.0	2.3		45.2	
	8	6.7	164.5		1.4	0.2	0.0	1.6		8.1	
	12	33.3	170.6	0.8770	1.8	0.2	0.0	2.0	0.8361	5.6	0.4287
	16	41.1	197.4		1.2	0.3	0.0	1.5		5.0	
	20	56.7	222.8		0.7	0.0	0.0	0.7		3.2	
	24	93.3	244.7		0.0	0.0	0.0	0.0		4.0	
Imidacloprid (12 ppm)	1	13.3	126.1		1.3	0.9	0.0	2.2		25.1	
	4	20.3	159.9		1.3	1.0	0.0	2.3		3.5	
	8	36.7	170.8		0.1	0.0	0.0	0.1		0.6	
	12	46.7	189.1	0.8394	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8342	0.5	0.1718
	16	48.3	183.0		0.0	0.0	0.0	0.0		13.9	
	20	54.5	186.3		0.0	0.0	0.0	0.0		13.7	
	24	60.7	199.6		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	
Imidacloprid (36 ppm)	1	0.0	147.7		0.5	0.0	0.0	0.5		4.9	
	4	33.3	156.1		0.3	0.0	0.0	0.3		17.7	
	8	41.1	162.2		0.1	0.0	0.0	0.1		1.3	
	12	56.7	170.0	0.8394	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8139	0.0	0.2094
	16	61.1	193.1		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	
	20	58.9	186.9		0.0	0.0	0.0	0.0		0.3	
	24	83.3	227.3		0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	

<sup>(a)</sup>Correlation between corrected mortality and np (non penetration) time.

<sup>(b)</sup>Short sum is N3+(N4-a)+(N4-b) of Phloem phase.

<sup>(c)</sup>Correlation between corrected mortality and Short sum time.

<sup>(d)</sup>Correlation between corrected mortality and N5 (xylem waveform) relationship.

의 회로는 연결된 상태가 유지되기에 non-probing 파형과 비슷한 파형을 보여주는 것으로 확인했다.

Fenobucarb는 cabamate계에 속하는 살충제로서 AChE (acetylcholinesterase) 활성을 저해하여 치사시키는 살충제로 보고되었다(KCPA, 2009). Yoo *et al.* (2002)은 벼멸구가 갖는 저항성 기작으로서 acetylcholinesterase의 변경에 있다고 보고 하였고, Fenobucarb 약제를 많이 처리시 acetylcholinesterase가 바뀌고 세대가 지나면서 더 높은 저항성

을 보이게 된다고 보고하였다. 이런 문제를 최소화하기 위해서 벼멸구 방제 시에는 살충제 처리 양을 줄일 필요가 있다. 본 연구의 결과에서 보듯이 Fenobucarb 0.4 ppm 처리 시 구침을 찌르지 않는(np) 시간이 길게 나타남을 확인했듯이 살충제 처리 양을 줄여도 조금 늦지만, 방제가 가능할 것으로 판단되며, 살충제의 약을 줄임으로서 저항성 발달을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

결과에서 보듯이 모든 침지시간 모든 약제 처리구에서 구

침을 찌르지 않는 시간이 매우 길게 나타남을 보여주고 있다. 구침을 찌르지 않는 것은 기주가 섭식하기에 적당하지 않음을 보여주는 하나의 반응이다. 이런 결과는 살충제 처리에 따른 담배가루이의 섭식행동에 대한 비교(Seo *et al.*, 2007; Kwon *et al.*, 2008)에서도 같은 결과를 보여주고 있다.

EPG는 섭식저해 물질에 대한 연구에도 사용되어졌다. 식물 추출물로 인해 체관섭식 파형의 감소가 일어난 연구도 있다. 비적합 식물의 수용성 추출물 중 염기성 분액은 green leafhopper에서 높은 살충을 일으켰으며, 체관섭식파형 기간도 감소시켰다(Liu and Takahashi, 1991). Khan and Saxena (1984)의 연구결과에서는 저항성 품종에서 감수성 품종보다 *Sogatella furcifera*이 체관 섭식을 짧게 하고 salivation 기간은 길고 probe의 수는 2배정도 더 많게 나타났었다. 이와 같은 감수성과 저항성 기주에서 보이는 섭식행동의 비슷한 양상은 진딧물에서도 보고되었다(Campbell *et al.*, 1982). Kimmins (1989)도 벼멸구에 대한 감수성 품종과 저항성 품종에 대한 섭식 행동 분석에서 감수성 품종에서 더 많은 체관부 섭식을 보여주었다고 보고 하였다. 본 실험에서는 뿌리 침지에 따른 약제 처리 시 체관부 섭식자인 벼멸구의 체관부 섭식시간이 대조구에 비해 현저히 줄어드는 것을 확인하였다(Fig. 1D) 위에서 보고된 이전의 연구와 마찬가지로 비적합 식물이나 저항성 식물에 대해 체관부 섭식시간이 적어짐을 약제 처리 시에도 확인하였다. 이것은 약제처리에 따른 섭식 행동 연구 시 구침을 찌르지 않는 행동과 마찬가지로 실질적인 섭식행동이 약제 효과 판단에 중요하다는 것을 확인하였다. 또한, 살충제(40 ppm Cartap)를 뿌리 침투시킨 벼 유묘에 처리되었을 때 *Nephotettix cincticeps*는 체관 섭식이 불가능하다고 보고되었으며(Kono *et al.*, 1982), 살충제 처리에 따른 담배가루이의 섭식행동에 대한 비교에서도 대조구에 비해 처리구의 체관 섭식이 적음을 확인하였다(Seo *et al.*, 2007; Kwon *et al.*, 2008). 본 실험에서도 같은 결과를 확인할 수 있었다.

본 실험에서 체관부 가까이 섭식을 시도하려는 파형은 나오나(N3, N4-a), 실질적 섭식파형(N4-b)은 약제 처리 시 12시간 이후에는 모든 처리구에서 파형이 관찰되지 않았다. 그러나 물관부 파형은 각 시간대 각 처리구에서 관찰되었는데, 물관부 섭식 파형이 짧지만, 거의 모든 시간대에서 나타남을 확인할 수 있었다(Table 1). 이 결과는 Saxena and Khan (1985)는 감수성 벼에 neem oil을 처리하였을 때, *N. virescens*의 섭식이 체관에서 물관으로 바뀌는 것을 확인한 결과와 같음을 알 수 있었다. 기주의 상태가 섭식하기에 불가능 할 시 충은 구침을 찌르지 않거나(np), 기주 탐색을 많이 하거나(N2, N3;

본 실험에서는 분리하지 않음), 실질적인 섭식(N4-b)을 하지 않음을 보여주었다. 본 실험의 결과에서 보여주듯이 체관부 섭식자가 체관부를 섭식하지 않고, 물관부를 섭식하는 시간이 체관부 섭식시간보다 길다는 결과도 섭식 불가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

결론적으로, 본 실험에서는 약제반응을 EPG를 이용해서 약제 양에 따라 침투 시간을 달리하여 벼멸구의 섭식행동 변화를 분석해 보았다. 본 실험에서 뿌리 침지 시간과 EPG의 관계를 알 수 있었는데, 결과에서 보듯이 EPG 파형 분석 시 실질적인 섭식파형(N4-b)은 침지시간에 관계없이 파형이 매우 짧게 나타나거나 파형이 나타나지 않는 것을 확인했다. 구침을 찌르지 않는 파형(np)은 침지 시간이 길어질수록 섭식하지 않는 시간이 길어짐을 확인하였다. 이것은 실질적으로 섭식하지 않는 시간(N4-b)이 길어지고, 구침을 찌르지 않는 시간(np)이 길어질수록 살충력도 높아짐을 확인하였다. 따라서 벼멸구는 벼에 직접적으로 흡즙하여 피해를 야기하므로, 벼멸구의 흡즙행동을 이해한다면, 방제를 위해 처리한 약제의 효과를 정확하게 판단할 수 있으며, 약효의 중요한 기준을 제시할 수도 있을 것이다. 본 실험에서 약제별 작물체내 일정 농도 이상에서 섭식억제 효과 및 살충효과를 확인할 수 있었으며 잔효 및 지속효과에 대한 추가적인 연구를 통해 벼멸구의 체계적 방제 방법을 재수립 할 수 있을 것으로 사료된다.

## >> 인 / 용 / 문 / 헌

- Bae, S.H. and M.D. Pathak (1970) Life history of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and susceptibility of rice varieties to its attacks. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 63:149~155.
- Campbell, B.C., D.L. Mclean, M.G. Kinsey, K.C. Jones and D.L. Dreyer (1982) Probing behavior of the greenbug (*Schizaphis graminum*, biotype C) on resistant and susceptible varieties of sorghum. *Entomol. Exp. Appl.* 31:140~146.
- Choi, B.R. (1998) Characteristics of insecticidal action of imidacloprid and the resistance mechanisms on *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). Ph.D. Thesis, Gyeongsang National University pp. 123.
- Cook, A.G., S. Woodhead, V.F. Magalit and E.A. Heinrichs (1987) Variation in feeding behaviour of *Nilaparvata lugens* on resistant and susceptible rice varieties. *Entomol. Exp. Appl.* 43:227~235.
- Goussain, M.M., E. Prado and J.C. Moraes (2005) Effect of silicon applied to wheat plants on the biology and probing behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum* (Rond.)

- (Hemiptera: Aphididae). *Neotrop. Entomol.* 34:807~813.
- Hattori, M. (2001) Probing behavior of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) on a non-host barnyard grass, and resistant and susceptible varieties of rice. *Appl. Entomol. Zool.* 36:83~89.
- Jiang Y.X., H. Lei, J.L. Collar, B. Martin, M. Muniz and A. Fereres (1999) Probing and feeding behaviour of two distinct biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato plant. *J. Econ. Entomol.* 92:357~366.
- KCPA (2009) User's Manual for Pesticides. pp.624, pp.543. Korea Crop Protection Association.
- Khan, Z.R. and R.C. Saxena (1984) Electronically recorded waveforms associated with the feeding behaviour of *Sogatella furcifera* (Homoptera: Delphacidae) on susceptible and resistant rice varieties. *J. Econ. Entomol.* 77:1479~1482.
- Khan, Z.R. and R.C. Saxena (1985) Mode of feeding and growth of *Nephotettix virescens* (Homoptera: Cicadellidae) on selected resistant and susceptible rice varieties. *J. Econ. Entomol.* 77:1479~1482.
- Kimmins, F.M. (1989) Electrical penetration graphs from *Nilaparvata lugens* on resistant and susceptible rice varieties. *Entomol. Exp. Appl.* 50:69~79.
- Kim, N.S., M.J. Seo and Y.N. Youn (2005) Characteristics of feeding behavior of the rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, using electrical penetration graph (EPG) technique on different rice varieties. *Kor. J. Appl. Entomol.* 44:177~187.
- Kono, Y., S. Kawabe, M. Sakai, Y. Sato and T. Suzuki (1982) Effect of cartap on sucking activity of the green rice leafhopper (Hemiptera: Deltocephalidae). *Jpn. J. Appl. Entomol. Zool.* 26:41~47 (in Japanese).
- Kwon, Y.H., J.O. Yang, J.H. Oh, D.J. Noh, C.M. Yoon and G.H. Kim (2008) Changes of feeding behavior of sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* correlated with the residual effect of emamectin benzoate and pyridaben. *Kor. J. Pestic. Sci.* 12:397~402.
- Lei, H., W.F. Tjallingii, J.C. van Lenteren and R.M. Xu (1996) Stylet penetration by larvae of the greenhouse whitefly on cucumber. *Entomol. Exp. Appl.* 79:77~84.
- Liu, J. and S. Takahashi (1991) Influence of plant extracts on survival and feeding behaviour of *Nephotettix* spp. (Homoptera: Deltocephalidae). *Appl. Entomol. Zool.* 26:523~533.
- McLean, D.L. and M.G. Kinsey (1967) Probing behavior of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. I. Definite correlations of electronically recorded waveforms with aphid probing activities. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 60:400~406.
- Methfessel, C. (1992) Effect of imidacloprid on the nicotinic acetylcholine receptor of rat muscle. *Flanzenschutz-Nachrichten Bayer* 45:369~380.
- Minamita, I., K. Iwanaga, T. Tabuchi, I. Aoki, T. Fusaka, H. Ishizuka and T. Okauch (1993) Synthesis and insecticidal activity of acyclic nitroethene compounds containing a heteroaryl amino group. *J. Pestic. Sci.* 18:41~48.
- Nauen, R. (1995) Behaviour modifying effects of low systemic concentrations of imidacloprid on *Myzus persicae* with special reference to an antifeeding response. *Pestic. 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* 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. *Pestic. Sci.* 49:252~258.
- Qiu, H.M., J.C. Wu, G.Q. Yang, B. Dong and D.H. Li (2004) Changes in the uptake function of the rice root to nitrogen, phosphorus and potassium under brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae) and pesticide stress, and effect of pesticides on rice-grain filling in field. *Crop Protec.* 23:1041~1048.
- Rosen, H. (1957) A modified ninhydrin colorimetric analysis for amino acids. *Arch. Biochem. Biophysics* 67:10~15.
- Saxena, R.C. and Z.R. Khan (1985) Electronically recorded disturbances in feeding behavior of *Nephotettix virescens* (Homoptera: Cicadellidae) on neem oil-treated rice plants. *J. Econ. Entomol.* 78:222~226.
- Seo, B.Y., Y.H. Kwon, J.K. Jung and G.H. Kim (2009) Electrical penetration graphic waveforms in relation to the actual positions of the stylet tips of *Nilaparvata lugens* in rice tissue. *J. Asia-Pacific Entomol.* 12:89~95.
- Seo, M.J., J.O. Yang, C.M. Yoon, Y.N. Youn and G.H. Kim (2007) Differentiation in feeding behaviour of biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) against three insecticides. *Kor. J. Appl. Entomol.* 46(3):401~408.
- Shepard, B.M., Z.R. Khan, M.D. Pathak and E.A. Heinrichs (1991) Management of insect pests of rice in Asia. In: Pimentel, D. (2nd Ed.), *Handbook of Pest Management in Agriculture*. CRC Press, pp. 225~278.
- Sogawa, K. (1982) The rice brown planthopper: Feeding physiology and host plant interactions. *Annu. Rev. Entomol.* 27: 49~73.
- Spiller, N.J. (1988) Electronic recording of plant penetration by the cereal aphids *Rhopalosiphum padi* and *Metopolophium dirhodum* on resistant and susceptible wheat seedlings. *Ann. Appl. Biol.* 112:471~478.
- Tjallingii, W.F. (1978) Electrical recording of plant penetration by aphids. *Entomol. Exp. Appl.* 24:521~530.
- Tjallingii, W.F. (1985) Electrical nature of recorded signals during stylet penetration by aphids. *Entomol. Exp. Appl.* 38: 177~186.
- Tomizawa, M. (1994) Structure-activity relationships of nicotinic and the related compounds. *J. Pestic. Sci.* 19: 335~336.
- 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. *J. Pestic. Sci.* 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. Pestic. Sci.* 20:57~64.
- Velusamy, R. and E.A. Heinrichs (1986) Electronic monitoring of feeding behavior of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) on resistant and susceptible rice cultivars. *Environ. Entomol.* 15:678~682.
- Yoo J.K., S.W. Lee, T. Nagata and T. Shono (2002) Altered acetylcholinesterase as a resistance mechanism in the brown planthopper (Homoptera: Delphacidae), *Nilaparvata lugens* (Stål). *Appl. Entomol. Zool.* 37:37~41.
- Youn, Y.N. (1992) Electrophysiological recordings of olfactory receptors, ultrastructure of compound eyes and electrical monitoring of feeding behaviour in *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). Ph.D. Thesis. University of London. England. pp. 392.

---

## Fenobucarb와 Imidacloprid의 벼 뿌리 침지시간에 따른 벼멸구의 살충활성과 섭식행동비교

양정오 · 조선란 · 권윤희 · 윤창만 · 김길하\*

충북대학교 농업생명환경대학 식물학과

**요 약** 벼멸구에 대한 Fenoburcarb(36, 12 ppm)와 Imidacloprid(0.7, 0.4 ppm)의 벼유묘 뿌리 침지 시간(1, 4, 8, 12, 16, 20, 24시간)에 따른 살충활성과 섭식행동의 상관관계를 조사하였다. EPG(electrical penetration graph)의 파형은 신호개시 후 4시간 동안 기록하여 분석하였다. 침투이행성과 살충력과의 상관관계는, 두 약제 모두 농도가 높을수록 높은 보정살충율을 보였고, 침지시간이 길수록 살충활성이 높았다. 파형에 있어서는 두 약제 모두 농도가 높아질수록 상대적으로 non-probe time은 길어졌고 체관을 찌르는 시간은 짧아졌다. 침지시간이 길어질때에도 같은 경향을 보였다. 따라서 침지시간에 따른 살충활성과 두 파형간에 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

**색인어** 벼멸구, 흡즙행동, 섭식측정장치(Electrical Penetration Graph), 상관관계

---