

Etofenprox에 대한 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)의 저항성과 감수성 개체군의 생명표와 섭식행동 비교

조창욱 · 박초롱 · 윤규식 · 강민아 · 권혜리 · 강은진 · 서미자 · 유용만, 운영남*
충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Comparison of Life Table and Feeding Behavior of Resistance and Susceptible Population of the Green Peach Aphid, *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) against Etofenprox

Chang Wook Jo, Cho Rong Park, Kyu Sik Yoon, Min A Kang, Hae Ri Kwon, Eun Jin Kang, Mi Ja Seo, Yong Man Yu and Young Nam Youn*

Dept. Applied Biology, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon, 305-764

ABSTRACT : For the comparing of mortality of the resistance and susceptible population of *Myzus persicae*, etofenprox was treated in the recommended concentration of 200ppm. Mortalities of resistance population were 16.7 and 36.7%, and susceptible population were 86.7 and 86.7% after 24 and 48 hours treatment, respectively. For the detect of cross resistance to other pyrethroids, 6 pyrethroids were examined. Mortalities of susceptible and resistance populations were 90 and 31% to deltamethrin, 92 and 23% to lambda cyhalothrin, 81 and 14% to cypermethrin, 70 and 20% to α -cypermethrin, 29 and 28% to fenpropathrin, 84 and 29% to fenvalerate, respectively. It was showed that resistance populations were generally resistive to other pyrethroids. On the other hands, for recognized ecological characteristic of *M. persicae* susceptible and resistance populations life table was tested on the pepper leaves in the petri dish and on the plant in the pot. This results were showed that intrinsic rate of increase (r_m), net reproduction number (R_0) and generation time in day (T_c) were significantly different between two population in both tested. However, life span and reproduction period were slightly different between them. Otherwise, feeding behaviors were tested using EPG technique with non- and treated etofenprox. First potential drop time of susceptible and resistance population was 73.5 and 257.9 sec with non-treated and 93.3 and 1076.2 sec after treated, respectively. Electrical probing signals were 8.2 and 48.8 times with susceptible and resistance individuals after treated etofenprox, respectively. It was supposed that the resistance is more probings than susceptible population. After treated, total feeding time have more 6,728.9 sec on resistance than 965.5 sec on susceptible population. So, total non penetration time of susceptible population was 3,000 sec longer than resistance population.

KEY WORDS : *Myzus persicae*, EPG, etofenprox, pyrethroid, resistance, susceptible

초 록 : Etofenprox에 대해 저항성과 감수성을 나타내는 복숭아혹진딧물의 개체군간의 살충율을 비교하기 위하여 추천농도(200ppm)로 처리한 결과, 24시간 후 저항성 개체군은 16.7%, 48시간 후는 36.7%의 살충활성을 보여주었고, 감수성 개체군은 24시간 후와 48시간 후에 86.7%로 두 개체군간 살충율은 큰 차이를 나타내었다. 또한 다른 합성 피레스로이드계 살충제의 교차저항성의 발달 여부

*Corresponding author. E-mail: youngnam@cnu.ac.kr

를 알아보려고 6종의 살충제를 선발하여 추천농도로 살포하고 처리구당 10마리씩 10반복을 수행한 결과, 감수성 개체군과 저항성 개체군은 각각 deltamethrin에서 90%와 31%, lambda cyhalothrin에서 92%와 23%, cypermethrin에서 81%와 14%, α -cypermethrin에서 70%와 20%, fenpropathrin에서 29%와 28%, fenvalerate에서 84%와 29%로 나타나 저항성 개체군이 전반적으로 피레스로이드계열 살충제에 대해 높은 저항성을 띠는 것으로 나타났다. 생태적 특성을 알아보기 위한 생명표 실험에서, 페트리 디쉬와 포트 실험에서 감수성 개체군의 내적자연증가율(r_m), 순증가율(R_0), 평균세대기간(T_c)이 두 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다. EPG를 이용한 두 개체군간의 약제처리 전후의 섭식행동에서 첫 potential drop이 나타난 시간은 살충제 처리 전 감수성 개체가 평균 73.5초로 저항성 개체의 257.9초 보다 더 빨랐고, 처리 후에도 93.3 초로 저항성의 1,076.2초 보다 빨랐다. 처리된 약제에 반응하여 섭식을 중단했다가 섭식을 재개하려는 전기적 접촉신호 빈도수에서는 감수성 개체는 8.2회, 저항성 개체는 48.8회로 저항성개체가 기주탐색 및 섭식을 재개하려는 시도가 더 많이 이루어진 것을 확인할 수 있었고, 처리 후에 총 섭식시간은 저항성 개체가 6,728.9초로 감수성 개체의 965.5초 보다 섭식 시간이 훨씬 길었으며, 총 구침을 빼고 있는 시간도 처리 후 감수성 개체가 저항성 개체보다 3,000초 이상 긴 것으로 나타났다.

검색어 : 복숭아혹진딧물, EPG, etofenprox, 합성피레스로이드, 저항성, 감수성

복숭아혹진딧물(*Myzus persicae* Sulzer)은 전세계적으로 분포하고 있는 주요 농업해충으로, 잎, 줄기, 꽃이나 열매를 가해하여 많은 피해를 주고, 직접적인 가해로 인해 시들음과 생장저해를 유발할 뿐만 아니라 감로 배설로 인한 그을음병 유발 및 바이러스를 매개하는 매개자로서 간접적인 피해를 주고 있기 때문에 이를 방제하고자 하는 노력이 계속되고 있다. 이러한 복숭아혹진딧물의 기주식물은 총 66과 300여종이 기록되어 있는 만큼(Shim *et al.*, 1977; Seo *et al.*, 2005) 매우 다양한 기주범위를 가지기 때문에 피해가 상당하다.

기존엔 복숭아혹진딧물 방제를 위해 화학적 방제방법을 주로 의존해왔으나, 최근엔 생물학적, 화학적, 경종적, 재배적, 물리적 방법을 모두 고려하여 효과적으로 해충을 방제하는 종합적 해충관리방법과 동시에 환경 친화적인 해충방제를 위해 화학적 방제방법에 있어서도 인축에 거의 독성이 적거나 없는 신규약제의 개발이나 이용가능성이 확대되고 있다(Hans-Juergen and Lange, 2003).

그 중에서도 합성피레스로이드계 살충제의 성분인 pyrethrin은 제충국(*Chrysanthemum cinerariaefolium*)이라는 식물추출물 유래 물질로, 1949년부터 환경에 비교적 안정적이고 살충효과를 향상시킨 합성살충제로 사용하고 있는데, 적절한 용량을 사용하면 가수분해가 신속하게 이루어지므로 환경에 잔류하거나 생체 내에 축적 되지 않으며, 기준량을 초과하여 사용하

지 않는다면 사람에게는 그다지 큰 영향을 주지 않는 것으로 보고되고 있다(Kim *et al.*, 2007).

복숭아혹진딧물의 살충제 저항성 발달에 대해서는 국내외적으로 많이 알려져 있으며, 특히 carboxylesterase가 유기인계 살충제의 저항성과 관련된 효소라고 밝혀진 이후 유기인계 살충제의 저항성 발달 정도를 효소의 질적 차이에 따라 구분하기도 하였다(Devonshire 1973). 또한, 일부 연구에서는 저항성 진딧물과 감수성계통의 체벽투과율과 대사적 해독작용에 의한 배설 정도의 차이로 인하여 약제에 대해 각기 다른 반응을 보이기도 한다고 제시하였다(Khan *et al.*, 1973). Song and Motoyama(1993)은 진딧물의 살충제 저항성에 있어 6월에 채집한 개체군이 11월에 채집한 개체군에 비해서 유기인계 살충제에 대한 감수성 정도가 높았다고 보고하기도 하였다.

EPG 기술은 복숭아혹진딧물과 같은 매미목 곤충, 즉 흡즙형의 구기를 가진 곤충의 섭식행동 관찰을 위해 쓰이는 유용한 기술로 진딧물류의 섭식행동을 관찰하는데 주로 이용하였으며(Mclean and Kinsey, 1967; Tjallingii, 1978, 1988), 그 외 다른 흡즙형 구기를 가진 멸구류(Youn, 1992; Youn and Chang, 1993; Kim *et al.*, 2005), 담배가루이(Janssen *et al.*, 1989; Lei *et al.*, 1996; Seo *et al.*, 2007)등의 곤충에도 활용되고 있다. 더욱이 EPG기술은 구침이 삽입된 후에 식물체내에서 구침의 이동에 따른 전기적인 신호를 감지하여 눈에 보이지 않는 식물체 내부의 행동을 육안으로 볼

수 있도록 증폭하여 기록함으로써 신호 패턴의 분석을 통해 곤충의 섭식행동을 분석할 수 있는 유용한 기술이다(Spiller, 1988). 이러한 흡즙형 해충의 섭식 행동과 관련된 기주식물의 저항성과 감수성 품종의 섭식 비교와 기주식물에 매개하는 바이러스 전반에 관한 많은 정보들을 밝혀내는 기초자료로 제시하고 있다. 네오니코티노이드계 침투이행성 살충제인 imidacloprid와 dinotefuran을 작물체내에 침투이행시킨 후 작물체로 유입된 약제의 농도에 따른 복숭아혹진딧물의 섭식행동의 변화를 EPG기록결과를 통해 관찰한 연구결과에는 있으나 (Seo et al., 2008, 2009), 접촉독을 나타내는 피레스로이드계 살충제에 대한 복숭아혹진딧물의 섭식행동에 관한 연구는 현재까지 보고되지 않았으며 실질적으로 충체에 노출된 살충제에 의해 접촉독이 일어난 후, 진딧물이 살충제에 반응하여 섭식행동에 어떠한 변화가 일어나는지 관찰하는 일은 좀 더 흥미로운 결과를 보여줄 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 etofenprox에 대한 복숭아혹진딧물 감수성과 저항성 개체군의 살충제에 대한 살충활성 차이를 비교하고, 복숭아혹진딧물 성충의 발육, 수명, 산자수 등을 동일한 실험실 환경조건하에서 조사하고 생명표를 작성하여 살충제에 대해 각기 다른 반응을 나타내는 두 개체군의 생태학적 측면에서의 차이를 확인하고자 하였다. 또한 EPG 기술을 이용하여 기록된 파형을 비교함으로써 etofenprox약제에 대해 다르게 반응하는 두 개체군간의 섭식행동을 비교하고, 섭식이 이루어지는 동안 약액에 노출되었을 때 반응하는 정도를 확인함으로써 섭식행동의 생리적 특성을 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

실험곤충과 식물

실험에 사용된 복숭아혹진딧물 저항성 개체군은 대전시 유성구 고추 포장에서 채집한 개체군을 실험실 내에서 누대 사육하였고, 개체군을 etofenprox를 처리하여 효과를 검증하였다. 야외에서 채집한 복숭아혹진딧물에 대한 생물검정을 통해 실내개체군과의 반수치 사능도가 30배 이상 차이가 나타나 저항성 개체군으로 분리하여 누대사육하며 실험에 이용하였으며, 감수성 개체군은 동부하이텍(주)에서 살충제에 노출되지

않고 누대사육한 개체를 분양받아 실험에 사용하였다. 복숭아혹진딧물을 파종 후 4주 경과된 고추(한빛, 흥농씨앗)를 아크릴 사육용기에(40×44×50cm) 넣어 접종하여 온도조건 25±1℃, 상대습도 50~60%, 광주기 16L:8D에서 누대 사육하였다. 모든 실험은 위와 동일한 조건으로 사육하였으며, 복숭아혹진딧물은 무시형 성충을 사용하였다.

Etofenprox 처리

복숭아혹진딧물에 대한 살충효과를 검증하기 위해, 추천농도(1,000배)로 각 처리구당 10마리씩 접종하여 etofenprox를 처리하였다. 분무 방법은 Insect breeding dish(지름 10×4cm, SPL)에 agar 배지를 만들어 그 위에 고추 잎을 놓아 잎 디스크를 만든 후 10마리씩 저항성과 감수성 복숭아혹진딧물을 접종한 후 잎 디스크에 1시간동안 정착시킨 후, spray tower를 이용하여 1ml씩 분무하였고, 24시간과 48시간 후까지 처리된 농도에 따른 살충율을 조사하였다.

생명표 작성 및 통계분석

파종 후 4주가 지난 고추묘와 엽디스크에 복숭아혹진딧물 1령 약충을 각각 포트와 페트리디쉬에 1마리씩 접종하여 약충발육기간, 사망률, 성충수명, 산자수 등을 조사하고, Meyer et al.(1986)가 제안한 계산법과 Jackknife방법을 이용하여 감수성과 저항성 개체군의 수명, R_0 (순증가율), r_m (내적자연증가율), T_c (평균세대기간) 등을 계산하였다. 또한 SPSS(version14.0)에서 t-test를 이용해 $p>0.05$ 범위에서 유의성 검정을 수행하였다. 페트리디쉬 실험에서는 지름 2.5cm의 페트리디쉬에 물에 적신 탈지면을 넣고 고추 본 엽 1개를 윗면을 탈지면과 닿게 넣어준 후, 복숭아혹진딧물 1령 약충을 넣어 위와 동일한 반복수 및 조사를 실시하였다. 이 실험의 경우, 기주가 시들면 새잎을 넣어 기존에 있던 진딧물을 다시 접종하여 실험을 진행하였다.

피레스로이드계 살충제 처리

Etofenprox에 저항성인 복숭아혹진딧물 개체군의 살충활성을 확인하기 위해, 진딧물류 방제약제로 등록된 살충제 6종(deltamethrin, lambda cyhalothrin, cypermethrine, α -cypermethrine, fenpropathrin, fenvalerate)에 대한 살

충활성을 확인하였다.

6종의 살충제 모두 진딧물류 방제에 등록된 피레스로이드계 살충제를 선발하여 추천농도로 etofenprox 처리와 같은 방법으로 spray tower를 이용하여 처리하였고, 살충제당 10반복을 수행하고 살충율을 조사하여 두 개체군을 비교하였다.

EPG 기록과 통계분석

EPG(Electrical Penetration Graph) 기록은 Tjallingii (1988)가 고안한 방법을 이용하여 실험에 이용할 고추를 삼각플라스크(pyrex, 250ml, US)에 탈지면으로 감싸 물을 채운 삼각플라스크에 뿌리부분을 넣고 무시형 성충 복숭아혹진딧물을 1시간 굽긴 뒤, 해부현미경을 이용하여 지름이 25 μ m인 금선(Goodfellow, UK)을 약 4 cm 길이로 잘라 전도성이 있는 Silver conductive paint(RS. 101-5621, UK)를 이용하여 작은 볼을 만들어 진딧물의 등판에 부착시켜 GIGA-4 DC EPG amplifier에 연결하고, 금선이 연결된 진딧물을 고추에 올려놓아 총 5시간 동안 기록하였다. 기록이 시작된 후 1시간 동안 섭식 반응을 관찰하고 1시간 후에 4,000배로 희석한 etofenprox를 소형 분무기로 0.5 ml를 진딧물에 처리하였다. EPG 신호는 PC에 저장하여 STYLET 3.8 program으로 분석하였고, 전기적 신호 기록을 위한 노이즈를 최소화하기 위하여 구리망으로 감싼 Faraday cage 안에서 수행하였다. EPG기록결과 역시 감수성 개체군과 저항성 개체군 두 그룹간의 차이는 SPSS의 t-test를 통해 5% 신뢰한계구간에서 유의성 여부를 확인하였다.

결과 및 고찰

Etofenprox에 대해 감수성과 저항성을 나타내는 복숭아혹진딧물의 개체군간의 살충율을 비교하기 위하여 추천농도(200 ppm)로 처리한 결과, 24시간 후 저항

성 개체군은 16.7%, 48시간 후는 36.7%의 살충활성을 보여주었고, 감수성 개체군은 24시간 후와 48시간 후에 86.7%로 두 개체군간 살충율은 큰 차이를 나타내었다. 또한 반수치사농도에 있어서도 두 개체군 간에 각각 66.15와 2,195.10 ppm으로 33배 이상의 차이를 나타내었다. 또한 야외 고추포장에서 채집한 복숭아혹진딧물의 약제 추천농도에 대한 95% 이상의 치사농도(LC₉₅)의 상대적 내성비를 구하여 etofenprox에 대한 약제감수성을 두 개체군 간에 비교한 결과, 야외 고추포장에서 채집한 복숭아혹진딧물 개체군의 상대적 내성비가 359.55로 높게 나타나 이 약제에 대해 감수성이 현저히 낮은 것을 확인할 수 있었다(Table 1).

Pyrethroid 계열 살충제 처리

진딧물류 방제에 등록된 피레스로이드계열의 살충제에 대한 살충활성검증을 통해 교차저항성의 발달 여부를 알아보고자 6종의 살충제를 선발하여 추천농도로 살포하고 처리구당 10마리씩 10반복을 수행한 후 48시간에 조사한 결과, 감수성 개체군은 deltamethrin에서 90%, lambda cyhalothrin에서 92%, cypermethrin에서 81%, α -cypermethrin에서 70%, fenpropathrin에서 29%, fenvalerate에서 84%로 나타났고(Fig. 1), 저항성 개체군이 deltamethrin에서 31%, lambda cyhalothrin에서 23%, cypermethrin에서 14%, α -cypermethrin에서 20%, fenpropathrin에서 28%, fenvalerate에서 29%로 나타났고(Fig. 3). 저항성 개체군은 전반적으로 시험에 사용된 6종의 피레스로이드 계열의 살충제에 대한 살충율이 낮게 나타났으며, 감수성 개체군은 fenpropathrin에는 살충효과가 크지 않은 것으로 나타났지만 deltamethrin, lambda cyhalothrin, cypermethrin, α -cypermethrin, fenvalerate에 대해서는 살충 활성이 높은 것으로 나타났다. 이로 보아 야외 고추포장에서 채집한 etofenprox에 저항성을 보이는 복숭아혹진딧물 개체군은 다른 피레스로이드 계열의 살충제에 대해서도 저항성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 실제로 복숭아혹진딧

Table 1. Mortality (%) in recommended concentration, median lethal concentration (LC₅₀) and tolerance rate of 95% lethal concentration (LC₉₅) in susceptible and resistance populations of *M. persicae* against etofenprox

Populations	Mortality (%) in RC ^a	LC ₅₀ (ppm)	Slope \pm SE	df	X ²	TR ^b
Susceptible	86.7	66.15	2.35 \pm 0.04	16	77.94	1.67
Resistant	36.7	2195.10	1.09 \pm 0.01	19	13.44	359.55

^aRC: Recommended concentration; ^bTR (Tolerance rate)=LC₉₅/RC of insecticide.

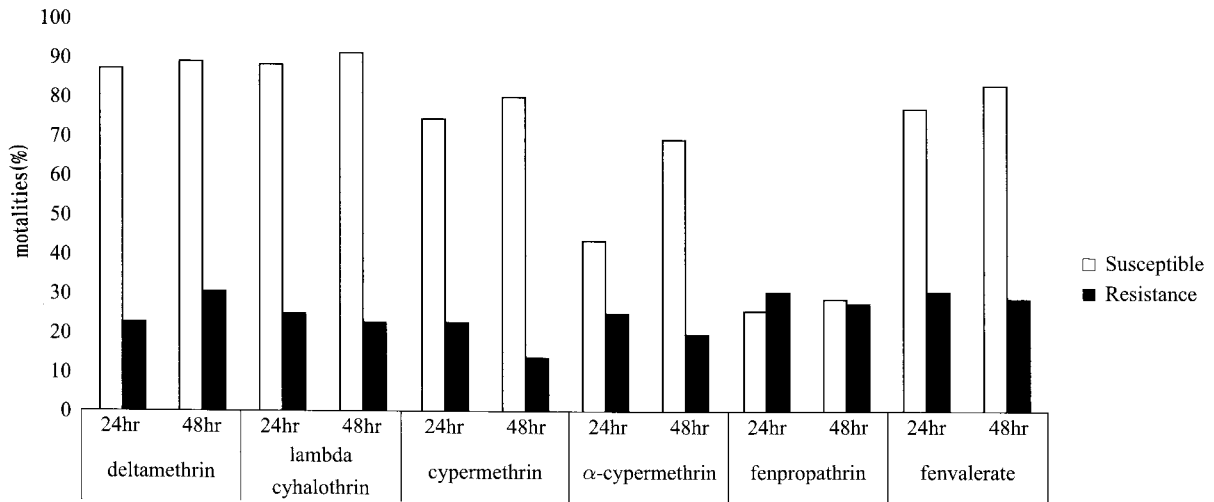


Fig. 1. Mortalities of susceptible and resistance *M. persicae* populations against pyrethroids insecticides for 24 and 48 hrs.

Table 2. Intrinsic rate of increase, net production number, generation time in day, first reproduction, life span, reproduction period and total fecundity of *M. persicae* with susceptible and resistance population that they are reared individually on the pepper leaf and plant in petri dish and pot, respectively

	Leaves in Petri dish (n=10)			Plants on the pot (n=10)		
	Susceptible	Resistant	P	Susceptible	Resistant	P
Intrinsic rate of increase (r_m)	0.337±0.00	0.393±0.00	**	0.309±0.00	0.300±0.00	**
Net reproduction number (R_0)	39.5±1.94	46.8±2.55	**	38.32±1.04	23.65±1.85	**
Generation time in day (T_c)	10.90±0.11	9.72±0.20	**	11.76±0.09	10.53±0.25	**
First reproduction (days)	7.30±0.48	6.20±0.42	**	7.30±0.48	6.80±1.47	NS
Life span (days)	16.4±3.20	15.1±3.41	NS	17.6±1.90	16.3±2.58	NS
Reproduction period (days)	11.0±3.65	9.8±3.19	NS	11.6±1.43	10±3.43	NS
Total fecundity (number)	39.6±17.57	44.6±23.84	NS	38.1±8.92	23.1±10.3	**

* P<0.05, ** P<0.01, NS: Statistically not significant; t-test in SPSS 17.0

물은 연간 발생세대수가 무려 20세대 이상이고 단위 생식을 통해 개체수를 늘리며 여러 농작물에서 기주 전환을 하기 때문에 해충방제를 위해 처리되는 살충제에 노출될 기회와 저항성 발달이 다른 해충들에 비해 빠르게 나타날 가능성이 많다(Choi & Kim, 1986). 본 실험결과에서도 야외에서 채집한 etofenprox 저항성 개체군이 동일한 계열의 피레스로이드 살충제 6종 모두에 대해 감수성 개체군에 비해 매우 낮은 살충율을 나타내어 교차저항성의 발달을 확인하였다.

생명표 작성

Etofenprox 동일약제에 대해 현저히 다른 반응양상을 보인 감수성과 저항성의 복숭아혹진딧물 두 개체군의 생태학적 특성을 비교하기 위해 실내에서 두 가

지 방법으로 약충 발육기간, 사망률, 성충수명, 산자수 등을 조사하여 생명표를 작성하였다. 두 개체군간의 정확한 생태학적 특성비교를 위해 포트와 페트리디쉬 두 공간상에서의 조사가 이루어졌으며, Table 2에서 보는 바와 같이, 페트리디쉬 실험에서는 감수성 개체군의 내적자연증가율(r_m)이 0.337로 저항성 개체군보다 낮았고, 순증가율(R_0)은 두 개체군이 각각 39.5와 46.8로 저항성 개체군이 증가율에 있어 높은 값을 나타내었다. 평균세대기간(T_c)은 감수성 개체군이 10.90일, 저항성은 9.72일로 감수성 개체군의 평균세대기간이 길었다. 생식 개시일은 저항성 개체군이 좀 더 빨랐으며, 이 두 그룹간의 차이는 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 수명이나 번식기간은 감수성 개체군이 높게 나타났지만 유의성은 없었으며, 번식력에 있어서는 저항성 개체군이 좀 더 높게 나타났지만 이 또한

통계학적으로 유의하지 않았다.

포트실험에서는 감수성 개체군의 내적자연증가율(r_m), 순증가율(R_0), 평균세대기간(T_c) 모두 저항성 개체군보다 다소 높게 나타났고, 생식개시일이나 수명, 번식기간 모두 감수성개체군이 높게 나타났지만, 이들 개체군간의 차이는 통계학적으로는 유의성이 없는 것으로 나타났다. 전 생활사 동안의 산자수에 있어서는 각각 38.1마리와 23.1마리로 감수성 개체군이 저항성 개체군보다 높게 나타나 페트리디쉬에서의 실험결과와는 다른 양상을 보여주었다. 이와 같이 같은 기주, 동일한 사육조건하에서도 특정 살충제에 대해 다른 반응을 보이는 두 개체군 간에도 생태학적 특성에 있어 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었는데, 실제로 Song and Motoyama(1996)는 복숭아혹진딧물의 malathion 저항성계통과 감수성계통의 산자수 비교에서 저항성 계통이 0.8마리와 감수성계통 3.4마리로 에스테라제 활성이 높은 계통이 감수성계통보다 산자수가 적게 나왔다고 보고하기도 했다. 본 실험의 포트실험결과에서도 전체 산자수에 있어 감수성개체군보다는 저항성 개체군의 산자수가 적게 나타나는 유사한 경향을 확인할 수 있었다.

EPG 기록

복숭아혹진딧물의 구침을 찌르는 탐침 행동이나 섭식행동은 다양한 모니터링 기법을 이용해서 많은 연구자들에 의해 수행되고 있다. 살충제에 대한 복숭아혹진딧물의 반응을 조사하고 치사농도를 조사하는 정도의 연구는 활발히 이루어지고 있지만, 행동학적인 측면에서의 살충제에 대한 반응정도를 조사한 연구결과는 그다지 많지 않았다. 특히나, 본 실험에서와 같이 특정 살충제에 대한 복숭아혹진딧물의 저항성과 감수성 개체의 섭식행동측면에서의 EPG 기술을 이용한 비교는 거의 전무한 실정이다. 본 연구에서는 etofenprox에 각기 다른 반응을 보이는 복숭아혹진딧물의 저항성과 감수성의 개체군간의 섭식행동에 살충제가 어떠한 영향을 미치는지 두 개체군간의 차이를 밝히고자 기주식물에 etofenprox를 처리하고 5시간 동안 섭식양상을 관찰하였다.

감수성과 저항성 두 개체군에서 각각 선발한 복숭아혹진딧물의 섭식행동을 EPG기술을 이용해 전기적 신호로 나타난 파형을 분석하였다. Fig. 2는 복숭아혹진딧물의 EPG 기록시에 나타난 파형의 형태를 보여주

는 것으로, Fig. 2A는 구침이 식물체로부터 떨어져있는 Np(Non penetration)패턴이 나타나다가 주둥이접촉과 탐침이 이루어지는 연결신호(contact signal)가 나타나는 형태를 보여주고 있다. Fig. 2B는 기주를 탐색하는 구침의 활성화와 물관부의 섭식이 이루어지다가 변화가 거의 없는 낮은 전압이 유지되는 체관부의 섭식 패턴으로 신호의 전환이 일어나는 패턴을 보여주고 있다. Fig. 2C는 섭식 하는 도중에 etofenprox 처리한 후 나타나는 파형의 변화를 보여준 것이다. Fig. 2에서 나타난 이러한 패턴들을 기초로 하여, etofenprox에 대해 각기 다른 반응을 나타내는 복숭아혹진딧물 두 개체군 간에 약제처리 후 조사된 EPG파형을 통해 살충제를 감지한 복숭아혹진딧물의 반응양상을 확인하고 비교하였다. 살충제에 반응하여 나타나는 EPG파형은 크게 두 가지로 볼 수 있는데, 흡즙하는 도중 식물체에 탐침된 구기가 침투이행된 살충제를 감지하고 순간적으로 섭식행동을 중단한 후 다른 장소로 이동하는 경우로, 이 때에는 구침이 완전히 식물체로부터 떨어지기 때문에 어떠한 파형도 나타나지 않는 NP패턴이 나타나게 되는 경우이다. 다른 하나는 살충제를 감지한 후 섭식을 중단하지는 않지만 구침이 식물체로부터 완전히 빠져나오지 않고 식물세포 사이를 이동하며, 다른 섭식부위를 찾는 구침의 활성화패턴이 나타나는 경우이다. 이런 경우, 파형의 변화를 통해 살충제를 감지한 복숭아혹진딧물의 개체군간 반응양상을 확인할 수 있다 (Seo *et al.*, 2007; Seo *et al.*, 2009). 본 실험에서 etofenprox에 다른 반응을 나타내는 감수성개체군과 저항성개체군간의 살충제에 대한 EPG 반응패턴에 차이를 확인하기 위해, 앞에서 언급한 것과 같이 처리된 살충제에 대한 적극적인 반응인 구침을 빼고 있는 시간(NP), 기주탐색 및 섭식을 시도하려는 반응인 전기적 연결신호 빈도 및 신호가 나타나기까지 소요된 시간, 물관부나 체관부의 섭식에 앞서 급격한 전압의 변화로 나타나는 potential drop(Pd)가 나타나기까지 소요된 시간을 조사하였다. 일반적인 복숭아혹진딧물의 EPG 패턴을 살펴보면, 반응 초기에는 NP(Non Penetration) 패턴으로 진행되다가 복숭아혹진딧물의 구기가 식물체에 닿는 순간 전기적 회로가 완성되고 전압의 증폭이 이루어지며, 진딧물과 식물이 유기적으로 연결되어 육안으로 확인할 수 있는 파형으로 기록된다. 이 때 진딧물의 구침의 활성화패턴인 pathway activity가 시작되면서 본격적인 기주탐색 행동에 들어가는데, 구침이 세포간과 세포내에서의 활성을 가지고

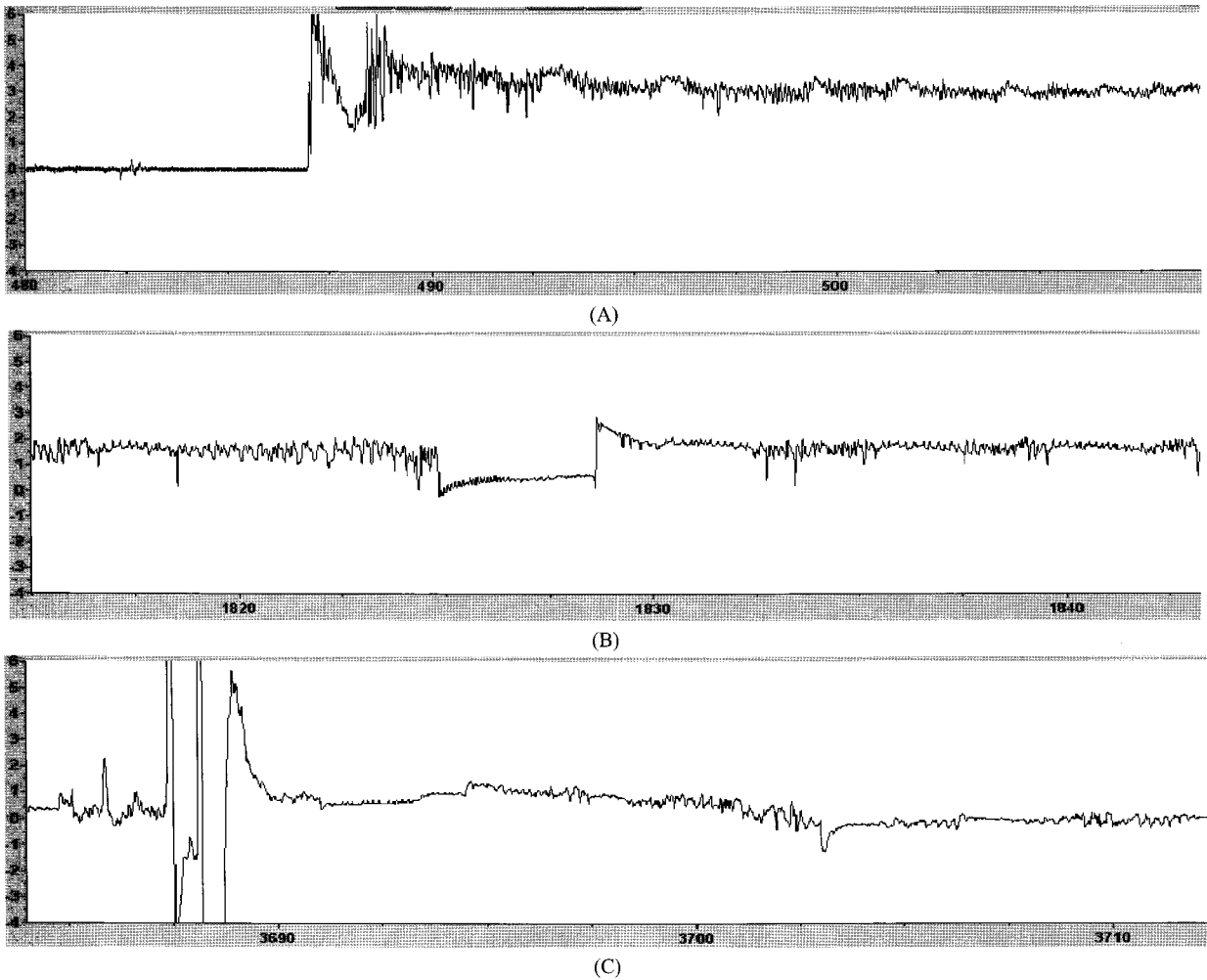


Fig. 2. EPG waveforms recorded from *M. persicae*. (A) Transition of feeding pattern from non-penetration (NP) to proboscis contact and feeding signals (B) Pathway activities phloem and xylem feeding patterns. (C) Pattern after treatment of etofenprox.

침투이동을 나타내는 electrical potential drop이 나타나기도 한다. 이후 불규칙적인 파형이 지속되다가 기주로서 적합하다는 판단 후에 본격적인 섭식행동인 일정한 전압에서 물관부/체관부의 비교적 규칙적인 패턴이 나오게 된다. 이것은 복숭아혹진딧물의 먹이탐색과 섭식을 위한 행동인 pathway activity가 나타나는 대표적인 패턴들로서 본 실험에서 수행된 etofenprox의 처리를 통하여 패턴을 비교 분석하였다.

Table 3은 두 개체군간의 약제 처리전과 처리후의 섭식행동특성에 있어 차이를 확인하기 위해, 첫 번째로 potential drop(First p.d)이 일어나기까지 소요된 시간과, 총 기록시간동안 전기적 연결신호(Contact s.f)가 몇 번 나타났는지의 빈도수를 측정하고, 총 섭식시간 및 섭식행동을 중단하고 구침을 식물체로부터 완전히 뺀 시간(Total n.p)을 측정하여 비교한 결과이다. 첫

potential drop이 나타난 시간은 살충제 처리 전 감수성 개체가 평균 73.5초로 저항성 개체의 257.9초 보다 더 빨랐고, etofenprox의 처리 후에도 마찬가지로 93.3초로 저항성의 1076.2초 보다 빨랐다. 처리된 약제에 반응하여 섭식을 중단했다가 다시금 섭식을 재개하려고 시도하는 전기적 접촉신호의 빈도수를 측정한 결과, 저항성 개체가 감수성 개체보다 기주탐색 및 섭식을 재개하려는 시도가 더 많이 이루어진 것을 확인할 수 있었는데, 전기적 접촉 신호 빈도수는 처리전은 감수성 개체가 9.4회, 저항성 개체가 13.9회로 저항성 개체가 더 높게 나타났고, 살충제 처리 후에서도 역시 감수성 개체는 8.2회, 저항성 개체는 48.8회로 살충제 처리 후 저항성 개체가 감수성 개체보다 더 많이 탐침행동을 시도한 것을 확인할 수 있었다. 원래 진딧물이 살충제와 접촉하여 감지하게 되면 섭식행동을 중단하

Table 3. EPG recorded probing behaviour of *Myzus persicae* on the pepper leaf treated etofenprox during 5 hours. Etofenprox is treated with 50ppm(1/4 RC^d) dissolved concentration after 1 hour from recording

	Non treatment (n=10)			Treatment (n=10)		
	Susceptible	Resistant	P	Susceptible	Resistant	P
First p-d ^a (sec)	73.5±75.4	257.9±471.3	NS	93.3±128.6	1076.2±1941.5	NS
Contact s-f ^b	9.4±6.3	13.9±9.3	NS	8.2±15.7	48.8±74.9	NS
Total feeding(sec)	1789.0±1127.9	2058.9±852.3	NS	965.5±2749.4	6728.9±4587.8	**
Total n-p ^c (sec)	1742.1±1091.7	1631.4±956.1	NS	12817.2±3473.2	7078.3±4562.5	**

*P<0.05, ** P<0.0001, NS statistically not significant; t-test in SPSS 17.0.

^aPd is potential drop. ^bS-f is signal frequency. ^cN-p is non penetration.

^dRecommended concentration

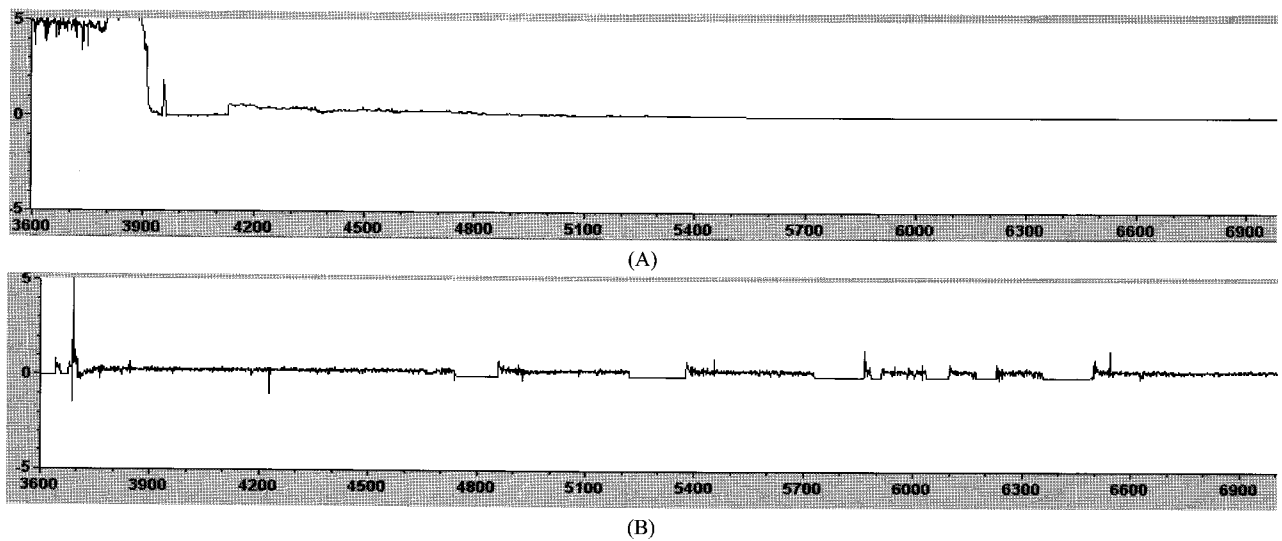


Fig. 3. Giga-4 EPG waveforms showing feeding by *M. persicae*. (A) EPG waveform of susceptible population and (B) resistant population waveforms. Arrows is treated etofenprox 4,000 concentration. After treatment, resistant *M. persicae* is continue feeding EPG waveforms after treated etofenprox but susceptible *M. persicae* is stopped.

고 식물체로부터 구침을 빼게 되지만, 시간이 경과하면 다시 섭식을 하기 위해 살충제가 감지됨에도 불구하고 구침을 이곳저곳 찌르며 탐침행동을 하게 된다. 이러한 반응은 약제에 대해 반응정도를 달리하는 저항성개체군과 감수성개체군간의 차이로 나타날 수 있으며, 본 실험결과에서도 저항성 개체군의 개체들에서 약제처리 후에도 섭식을 재개하려는 시도들이 좀 더 빈번히 일어난 것을 볼 수 있었지만 통계적으로 큰 유의성은 없는 것으로 나타났다. 그리고 두 개체군 간의 섭식 시간에 대한 차이를 알아보기 위해 총 섭식시간을 비교한 결과, 살충제 처리 전에는 두 개체의 차이가 거의 없었지만 처리 후에 저항성 개체가 6728.9초로 감수성 개체의 965.5초 보다 섭식 시간이 훨씬 길었으며, 총 구침을 빼고 있는 시간도 처리 후 감수성 개체가 저항성 개체보다 3,000초 이상 길었다. 이와

같은 결과는 etofenprox에 저항성을 보이는 저항성개체군의 개체가 실질적으로 섭식행동이 기록되는 동안 살충제에 노출 되었을 때, 약제에 덜 민감하게 반응하며 섭식행동을 지속했다는 것을 확인할 수 있는 결과이다. Fig. 3은 감수성과 저항성 개체가 etofenprox가 분무 되었을 때의 EPG 기록을 나타낸 것이다. Etofenprox의 처리 후에는 약간의 노이즈가 발생 하지만 이내 정상적인 섭식패턴을 다시 보여주게 되는데, Fig. 3A는 감수성 개체가 섭식이 중단되어 구침이 완전히 식물체로부터 빠져나와 전압이 제로인 상태를 보여주는 파형을 확인할 수 있고 Fig. 3B는 저항성 개체가 etofenprox 처리 후에도 섭식 및 구침의 활성이 활발하게 진행되는 것을 볼 수 있었다. 물론 기주의 선택과 섭식에 있어서의 개체군마다 차이는 있을 수도 있지만 실내에서 살충력 비교실험결과 etofenprox에 저항성을 나타

내는 개체군과 감수성을 나타내는 개체군 간에 약제 처리 후 섭식행동에 있어서도 큰 차이를 보여주었다. 본 연구에서는 pyrethroid계 살충제인 etofenprox에 대한 복숭아혹진딧물의 살충제에 대한 반응과 섭식행동을 조사했다. 앞에서 언급했듯이, neonicotinoid계 살충제에서도 많은 연구가 진행되어 보고되고 있는데, Knaust and Poehling(1994)은 imidacloprid의 처리에 의한 차이로 복숭아혹진딧물의 전체 탐침 시간이 처리하지 않은 잎에서도 보다 짧았고, 낮은 농도 처리만으로도 복숭아혹진딧물의 섭식을 저해함으로써 살충제의 사용을 조절하며 복숭아혹진딧물을 효과적으로 방제할 수 있을 것이라고 하였다. 그렇지만, 또 다른 연구에서는 Primicarb은 저농도에서는 복숭아혹진딧물의 섭식행동에 어떠한 변화도 나타내지 못했다고 보고하고 있다(Naeun, 1995). 위와 같은 연구를 토대로 앞으로 복숭아혹진딧물의 etofenprox에 대한 저항성과 감수성 개체군의 생리·생태적인 특징 비교만이 아닌 저항성 개체군이 다른 살충제에도 교차저항성을 보이는지 여부를 섭식행동비교를 통해서도 판단할 수 있으며, 이에 덧붙여 분자유전학적인 방법을 토대로 개체군의 약제에 대한 저항성여부를 규명하는 연구가 더 진행되어야 할 것이다.

사 사

본 논문은 2009년 농림기술관리센터 농림기술개발사업 기획과제인 나노기술을 이용한 친환경자재개발 및 농약감소를 위한 서방형 나노제형의 개발 과제를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었습니다.

Literature Cited

- Choi, S.Y. and G.H. Kim. 1986. Studies of insecticide resistance, cross resistance, and esterase isozym. *Kor. J. Plant Prot.* 25(2): 99-105.
- Devonshire, A.L. 1973. The biochemical mechanisms of resistance to insecticides with especial reference to the housefly *Musca domestica* and *Myzus persicae*. *Pestic. Sci.* 4: 521-529.
- Hans-Juergen, T. and D. Lange. 2003. Greenhouse climate control: an approach for integrated pest management. *Computers and Electronics in Agriculture.* 40: 141-152.
- Janssen, J.A.M., W.F. Tjallingii and J.C. van Lenteren. 1989. Electrical recording and ultrastructure of stylet penetration by the greenhouse whitefly. *Ent. Exp. Appl.* 52: 69-81.
- Khan, M.A.Q., R.I. Morimoto, and J.T. Bederka. 1973. Control of microsomal mixed-function oxidase by Ox2 and Ox5 genes in housefly. *Biochem. Genet.* 10: 243-251.
- Kim A.J., K.H. Kim, J.S. Park, E.K. Eo, B.J. Oh, M.J. Lee, S.W. Lee, J.H. Suh and H.K. Roh., 2007. The study of pyrethroid intoxication: The basis of agrichemical intoxication survey in 2005. *Kor. J. Clin Toxicol.* 5(2): 99-105.
- 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(3): 177-187.
- Knaust, H.J. and H.M. Poehling. 1994. Studies on the action of imidacloprid on cereal aphids and their efficiency to transmit the BYD-virus. *Bulletin IILB-SROP.* 17: 89-100.
- 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.
- Meyer, J.S., C.G. Igersoll, L.L. Macdonald, and M.S. Boyee. 1986. Estimating uncertainty in population growth rates: jackknife vs bootstrap techniques. *Ecology* 67: 1156-1166.
- McClean, 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.
- Nauen, R. 1995. Behavior monitoring effects of low systemic concentrations of imidacloprid on *Myzus persicae* with special reference to an antifeeding response. *Pestic. Sci.* 44: 145-153.
- Seo M.J., J.K. Jang, E.J. Kang, M.K. Kang, N.S. Kim, Y.M. Yu and Y.N. Youn., 2005. Feeding behavior in the plant tissues with green peach aphid (*Myzus persicae*, Aphididae; Homoptera) using EPG technique. *Korean. J. Appl. Entomol.* 44(4): 271-276.
- Seo M.J., M.K. Kang, H.B. Seok, C.W. Jo, J.S. Choi, C. Jang, I.C. Hwang, Y.M. Yu and Y.N. Youn. 2009. Characteristics of feeding behaviors of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) depending on inflow concentrations of dinotefuran. *Kor. J. Appl. Entomol.* 48(2): 171-178.
- Seo M.J., Y.J. Oh, Y.C. Mann, 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. *Korean. J. Appl. Entomol.* 46(3): 401-408.
- Seo, M.J., M.K. Kang, B.H. Jo, I.C. Hwang, Jang, Y.M. Yu and Y.N. Youn. 2008. Changes of feeding behaviors of *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) depending on inflow concentrations of imidacloprid. *Korean J. Appl. Entomol.* 47(4): 369-378.
- Shim, J.Y., J.S. Park, W.H. Paik and Y.B. Lee. 1997. Studies on the life history of green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera). *Kor. J. Pl. Prot.* 16(3): 139-144.
- Song, S. S. and N. Motoyama. 1993. Seasonal fluctuation of susceptibility of the green peach aphid to insecticide in chinese cabbage field. *Korean. J. Appl. Entomol.* 32: 218-221.
- Song, S.S. and N. Motoyama. 1996. Effects of temperatures on the growth of susceptible and malathion resistant green peach aphid strains. *Korean J. Appl. Entomol.* 35: 297-301.
- 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. Electronic recording of plant penetration by aphids. Entomol. Exp. Appl. 24: 521-530.
- Tjallingii, W.F. 1988. Electrical recording of stylet penetration activities. pp. 98~108. In Aphids: their biology, natural enemies and control, World Crop Pests, Vol. 2B. eds. by A.K. Minks and P. Harrewijn. Elsevier, Amsterdam.
- Williamson, M.S., D.M. Torres, C.A. Hick and A.L. Devonshire. 1996. Identification of mutations in the housefly para-type sodium channel gene associated with knockdown resistance (kdr) to pyrethroid insecticides. Mol. Gen. Genet. 252: 51-60.
- Youn Y.N. 1992. Electrophysiological recordings of olfactory receptors, ultrastructure of compound eyes and electrical monitoring of feeding behaviour in *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae). PhD. Thesis. University of London. England. 392pp.
- Youn Y.N. and Y.D. Chang. 1993. Electrical feeding patterns and stylet movement of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera), in the rice tissues. Korean J. Appl. Entomol. 32: 208-217.

(Received for publication September 9 2009;
revised September 18 2009; accepted September 22 2009)