韓應昆誌 46(3): 401~408 (2007)
Korean J. Appl. Entomol.

3종의 살충제에 대한 담배가루이 Biotype B와 Q의 섭식행동 비교

서미자 · 양정오 · 윤창만 · 윤영남[1] · 김길하*
충북대학교 농업생명환경대학 식물의학과, [1]충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Differentiation in Feeding Behaviour of Biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) against Three Insecticides

Mi Ja Seo, Jeong Oh Yang, Changmann Yoon, Young Nam Youn[1] and Gil Hah Kim*
Dept. of Plant Medicine, College of Agriculture, Life, and Environment, Chungbuk National University, Cheongju, 361-763
[1]Dept. Applied Biology, College of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejon, 305-764

ABSTRACT : The feeding behaviors of 2 biotypes (type B and Q) of tobacco whitefly, *Bemisia tabaci*, were monitored using EPG technique on tomato and pepper plants treated 3 insecticides for controlling whiteflies, for examples, acetamiprid, spinosad and thiamethoxam. After treatment of three insecticides with recommended concentrations to tomato and pepper plants, EPG waveforms were recorded during 6 hours. The characteristic patterns of feeding behaviors investigated were as follows; time consumed by withdrawal of proboscis, total non-penetration time, total stylet pathway pattern time and total phloem feeding time. There was somewhat difference among 3 insecticides tested. As a result of investigation of total duration showed the stylet pathway activity due to the reaction against all tested insecticides, the Q biotype showed fewer time than those from the B biotype. The B biotype showed more frequent stylet pathway activity patterns during whole recording time and a shorter phloem ingestion time than those from the Q biotype. In result of prior np (non-penetration) time representing the reaction against the insecticide treated, the time of B biotype was more faster than that of the Q biotype, so it was considered that the B biotype was more sensitive to the tested insecticides. Therefore, our results revealed a clear difference in feeding behaviour between the B and Q biotypes of *B. tabaci*. Also, it was investigated that B biotype was susceptible to the 3 insecticides.

KEY WORDS : *Bemisia tabaci*, Biotypes, EPG, Feeding behavior

초 록 : Acetamiprid, spinosad, thiamethoxam 3종류의 살충제에 대해 담배가루이 biotype B와 Q 타입간의 섭식행동을 EPG기법으로 분석하였다. 3종류의 살충제를 추천농도로 처리한 후 6시간동안 기록한 EPG waveform을 가지고 약제에 반응하여 최초로 구침을 빼기까지 소요된 시간, 전체 기록시간동안의 구침을 빼고 있는 시간, 구침활성이 일어나는 시간, 직접적인 섭식행동인 체관부 섭식시간 등을 조사, 비교분석하여 타입별 살충제에 대한 영향을 평가하였다. 살충제간 약간의 차이를 보였으나, 3가지 살충제 모두 기록 시작 후 살충제에 반응하여 구침의 활성에 변화를 보이는 전체시간을 측정한 결과, B biotype이 Q biotype에 비해 구침의 활성시간이 높게 나타났으며, 체관부를 흡즙하는 시간은 반대로 적게 나타났다. 살충제에 반응하여 구침을 빼기까지 소요된 시간은 B타입이 Q타입보다 빨리 나타났는데, 이는 살충제에 좀 더 빠르게 반응한 것으로 보인다. 결과적으로 담배가루이 biotype B는 Q 타입보다 식물체에 처리된

*Corresponding author. E-mail: khkim@chungbuk.ac.kr

살충제를 빠르게 감지하며 섭식을 덜 함으로써 3가지 살충제에 대해 감수성 경향을 보이는 것으로 확인되었다.

검색어 : 담배가루이, 생태형, EPG, 흡즙행동

담배가루이는 열대와 아열대 지역에 넓게 분포하여 많은 농작물에 경제적 손실을 주는 전 세계적으로 심각한 농업해충이다. 이들은 섭식하는 동안 식물의 광합성 산물을 흡즙함으로 식물에 피해를 주며, 잎이나 과실표면에 그을음을 유발하는 다량의 감로를 분비하고, 바이러스를 매개하여 작물의 수량감소를 일으키는 것으로 알려져 있다(Mound and Harsey, 1978). 담배가루이는 지금까지 500종 이상의 기주범위를 가지고 있는 것으로 보고되어 있는데, 이들이 기주식물의 범위나 피해양상, 바이러스 전반능력에 있어 차이를 보임으로 여러 biotype으로 나뉘어 있고, 2001년까지 24개 이상의 biotype이 보고되어 있다(Chu *et al.*, 2004).

1980년대 중반에 미국 남서부에서 관상용작물에 심각한 피해를 주는 새로운 담배가루이가 발견되었는데, 이는 형태적으로 기존의 담배가루이와 매우 유사해서, 이 종을 biotype B로 동정하였다(Bharathan *et al.*, 1990). Bellow 등(1994)은 담배가루이의 형태적 차이와 allozyme의 특성의 차이에 근거하여 이 Biotype B의 담배가루이를 *Bemisia argentifolii*라는 새로운 종으로 분류하기도 하였다. 하지만 아직까지 논의 대상이며, 최근엔 Rosell등(1997)에 의해 *B. tabaci*와 *B. argentifolii*를 고도로 유사한 자매종으로 보고 있다. 일부 학자들은 biotype B가 실제로 non-B타입과 생물학적인 특성이나 기주와 관련된 특성에서 차이가 있다고 보고 있다.

또한 담배가루이가 살충제에 광범위하게 노출된 결과, 기존에 주로 사용되어왔던 유기인계나 피레스로이드계 살충제와는 다른 새로운 작용기작을 가진 살충제 개발을 요구하게 되었고, imidacloprid가 시장에 도입된 이후로 화훼류나 농작물에 발생한 담배가루이의 방제를 위해 많이 이용되어 왔다(Liu and Casida, 1993; Nauen *et al.*, 2001). 최근에는 동일 neonicotinoid계열의 acetamiprid나 thiamethoxam과 같은 살충제들이 가루이류를 비롯한 흡즙형 곤충에 방제효과가 탁월하였지만, 담배가루이 biotype Q의 imidacloprid에 대한 저항성과 acetamiprid와 thiamethoxam에 대한 교차저항성이 보고되었다(Nauen *et al.*, 2002). 따라서 biotype B와 Q의 양쪽에 모두 사용하는 대부분의 살충제에 대해 저항성을 나타내는 것으로 밝혀지고 있는데, 특히 neonicotinoid계 살충제와 일부 곤충생장조절제에 대해 저항성을 보이는 것으로 나타났다(Horowitz *et al.*, 2003; Rauch and Nauen, 2003).

가루이류는 성충이나 미성숙 약충 모두 체관부를 섭식하는 곤충으로 알려져 있다. 이들은 구침을 이용해 식물조직을 뚫고 세포간극에서 많은 시간을 구침을 이용해 먹이탐색을 하다가 식물세포주변이나 세포간극에서 구침이 움직이면서 구침이 체관부에 도달하게 되면 구침을 꽂고 즙액을 섭식하기 시작한다(Walker and Perring, 1994). EPG는 이러한 가루이류를 포함한 매미목곤충의 구침 침투에 관한 좀 더 정확한 연구를 하는데 유용한 기술로, Jassen등(1989)에 의해 온실가루이 성충의 EPG 연구결과를 보고한 것이 처음이고 이후로, 온실가루이뿐만 아니라 *Bemisia* 속에 속하는 가루이류의 연구를 하는데 많이 이용되고 있으며, 이러한 연구를 통해 가루이류 성충의 섭식행동과 기주식물선발, 기주 식물 저항성, 바이러스 전반에 관한 많은 정보들을 밝혀내는 기초자료로 제시하고 있다(Jiang and Walker, 2003).

본 연구에서는 가루이류 방제에 주로 사용되는 acetamiprid, spinosad, thiamethoxam 3종의 살충제에 대해 담배가루이 biotype B와 Q의 살충효과에 차이가 있는지를 조사하고, 이러한 3종의 살충제에 대한 이들의 biotype간 흡즙행동에 차이가 있는지 EPG 파형을 조사하여 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

기주식물과 실험곤충

충북진천지역에서 채집한 담배가루이 Biotype B와 경남 밀양에서 채집한 Biotype Q 두 타입의 개체들을 각각 실험실에서 따로 격리하여 Q타입은 고추에서 B타입은

토마토에서 온도조건 25±2℃, 상대습도 50~60%, 광주기 16L:8D로 플라스틱 사육용기에서 누대사육하였다. 채집한 담배가루이 두 타입 모두 기록하기 일주일 전부터 각각의 실험기주에서 사육하여 기주에 따른 차이를 줄이고자 하였다.

EPG 기록

Tjallingii (1988)의 DC 시스템을 이용해 담배가루이 성충의 구침의 탐침행동과 섭식행동을 조사하였다. 담배가루이가 미소곤충이기 때문에 해부현미경하에서 회로를 만들기 위한 금선연결작업을 진행하였다. 직경 10 μm인 금선(Goodfellow, UK)을 2-4 cm로 담배가루이 등쪽가슴 중앙에 전도성 있는 페인트(Silver conductive paint, RS, 101-5621, UK)로 부착하여 연결하였다. 금선을 연결한 담배가루이는 Giga-8 DC EPG amplifier에 연결하고 식물체 잎에 올려놓고 6시간동안 기록하였다. 모든 실험은 노이즈를 최소화하기 위해 구리망으로 차단한 Faraday cage안에서 수행하였다.

살충제 처리와 EPG 기록분석

담배가루이 두 타입간 처리된 살충제에 대한 반응의 차이를 분석하기 위해 다음과 같은 섭식행동패턴의 정량적인 분석을 수행하였다. 우선 토마토와 고추 유묘에 3종의 살충제를 각각 추천농도로 희석하여 엽면살포방법으로 처리하고 1시간 후부터 EPG 기록을 시작하였다. 살충제에 최초로 반응하여 구침을 빼기까지 소요된 시간과, 섭식도중 살충제를 감지하여 구침의 활성에 있어 변화를 보이는 총 시간, 그리고 6시간 동안 체관부를 섭식한 총 시간을 측정하여 비교하였다. 담배가루이 biotype B와 Q 두 집단간 섭식행동의 차이는 SPSS (version 12.0)을 이용해 biotype간 차이는 Mann-Whitney U-검정방법으로 유의수준 0.05%에서 비교하였으며, 일원배치분산분석방법을 수행하여 0.05% 유의수준에서 유의확률과 Scheffe의 사후검정분석을 실시하여 3종의 살충제간에 섭식행동시간에 있어 차이여부를 조사하였다. 고추에서는 담배가루이 biotype B개체들이 정상적인 섭식행동을 나타내지 않았기 때문에 조사할 수 없었으며, 따라서 토마토에서의 실험결과를 가지고 biotype간 섭식시간에 차이가 있는지의 여부와 Biotype B개체들의 결과를 가지고 실험기주에 따른 섭식시간의 차이를 조사하였다.

결과 및 고찰

담배가루이의 구침을 찌르는 탐침행동이나 섭식행동은 다양한 모니터링 기법을 이용해서 많은 연구자들이 연구하고 있지만, 이들의 biotype간 살충제를 처리한 후 EPG를 이용해 흡즙행동을 관찰한 연구결과는 아직까지 보고되지 않았다. 본 연구에서는 이들의 주요 방제 약제로 사용되는 acetamiprid, spinosad, thiamethoxam 3종의 살충제를 추천농도로 엽면살포한 후 1시간이 경과한 토마토와 고추유묘에서 담배가루이 두 biotype의 섭식행동에 어떠한 차이가 있는지를 조사하여 3종의 살충제에 대한 타입간의 차이를 밝히고자 6시간 동안 기록된 EPG 패턴을 비교하였다.

본 실험에 이용된 이 3종의 살충제는 가루이류 방제를 위해 시판되는 약제로, 추천농도로 알, 약충, 성충 각각에 처리하고 이들 살충제 처리에 의한 살충율을 biotype별로 비교하여 살충제에 의한 담배가루이 biotype간에 차이가 있는지를 조사하였다. 3종의 살충제 모두 전반적으로 알보다는 약충과 성충에서 좀 더 높은 살충효과를 나타내었다. 대체로 담배가루이 모든 발육단계에서 biotype B가 Q 타입보다 살충율이 높게 나타나 세 약제에 대한 감수성이 더 큰 경향을 나타난 것을 확인할 수 있었다. 약충의 경우, 세 약제 모두에서 biotype B의 경우 100% 살충율을 보여주었지만, biotype Q의 경우 spinosad만 90% 이상의 살충율을 나타내었다. 우리가 실험한 담배가루이 성충은 3종의 살충제 모두에서 B타입이 Q 타입보다 높은 사망율을 보여주며, 3종의 살충제에 대해 감수성 경향을 나타내었다(Table 1). 일부 문헌에서는 담배가루이 biotype B의 약충과 성충이 acetamiprid, abamectin, imidacloprid에 대해 높은 살충효과를 나타낸다고 보고하였는데, 이와 같은 결과는 본 실험결과를 뒷받침해주고 있다고 볼 수 있다 (Lin *et al.*, 2005).

본 실험에서 조사한 살충제에 대한 반응패턴은, 섭식하다가 구침을 빼기까지 걸린 시간, 전체 기록시간동안 구침을 빼고 있었던 시간, 구침의 활성을 보이는 전체 시간, 마지막으로 전체 기록시간동안 체관부를 흡즙한 시간을 측정하여 반응의 정도에 있어 차이가 있는지를 확인하였다. 일반적인 담배가루이의 EPG기록결과를 살펴보면, 기록 초기엔 식물체에 올려진 이후, 불규칙한 형태의 높은 증폭정도를 보이는 파형이 나타나면서 담배가루이 구기와 식물조직간의 전기적 연결시작을 보인다. 전기적 연결신호 후 빈도와 증폭정도가 다소 불규칙적인 pathway activity 패턴들이 나타나기 시작하는데, 이 패턴들은 여러

Table 1. Comparative toxicity of 3 insecticides on biotype B and Q of *B. tabaci*

Insecticide	Biotype	Mortality (%)					
		n	Egg	n	Nymph	n	Adult
Acetamiprid	B	289	68.8±5.2[a]	92	100.0±0.0	90	97.0±2.6
	Q	129	32.7±9.6	114	74.4±10.9	97	70.6±13.0
	P[b]		0.0057**		0.0005**		0.0200 NS
Spinosad	B	108	72.3±7.9	128	100.0±0.0	100	100.0±0.0
	Q	99	11.4±10.3	97	97.4±3.7	90	89.9±2.6
	P		0.1286 NS		0.0084**		0.0002**
Thiamethoxam	B	106	73.5±9.2	115	100.0±0.0	93	95.0±4.6
	Q	98	34.4±10.1	142	45.5±6.4	98	82.6±6.6
	P		0.0092**		<0.0001**		0.0829 NS

[a] Values represent mean± SD.

[b] Asterisks indicate significant differences according to independent samples t-test at 95% significant level (SPSS 12.0). * Indicates $P<0.05$, ** $P<0.01$, and NS $P>0.05$

개의 다양한 파형들을 보이며 나타난다. 이때는 구침의 끝부분이 세포간극에서의 탐침양상을 보여주는 것으로 여러 개의 다양한 파형들은 세포내에서 탐침하는 구침의 끝부분이 어떤 특정조직에 위치하는지와 연관되는 것으로 볼 수 있다(Jiang *et al.*, 1999). 구침의 활성이 여러 차례 이루어진 후에 몇 차례의 potential drop이 나타났지만 본 실험에서는 그다지 많은 횟수로 나타나진 않았기 때문에 분석대상에서 제외하였다. 담배가루이는 체관부를 섭식하기에 앞서 세포간극의 식물즙액을 얻기 위해 세포를 찌르는 행동을 반복함으로써 먹이의 적합성을 판별하는 주된 행동패턴을보여주는 것으로 보인다. 담배가루이가 식물체에 이행된 살충제에 반응하여 나타나는 파형은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 첫 번째로 흡즙하는 도중 구기가 살충제를 감지하고 순간적으로 섭식행동을 중단한 후 다른 장소로 이동하는 경우에는 구침이 완전히 식물체로부터 떨어지기 때문에, 어떠한 파형도 나타나지 않는다. 다시금 섭식을 재개하기 시작하면 전기적 연결신호가 다시 나타나고 그때부터 파형을 관찰할 수 있게 된다. 다른 하나는 살충제를 감지한 후 섭식을 중단하지는 않지만 구침이 식물체로부터 완전히 빠져나오지 않고 식물세포사이를 이동하며, 다른 섭식부위를 찾는 구침의 활성패턴이 나타나게 된다. 본 실험에서도 살충제를 감지하고 나타내는 반응은 크게 두 가지로 나타났다. 본 실험에서 분석한 파형의 일부를 Fig. 1에 제시하였다. 살충제를 처리한 후 구침의 활성을 보이며 섭식하다가 구침을 빼고 전기적 연결신호가 끊어지는 신호를 나타내는 패턴이다(Fig. 1A). 처리한 살충제에 따라 구침을 빼기까지 소요된 시간은 각각 다르게 나타났는데, 이 파형의 경우,

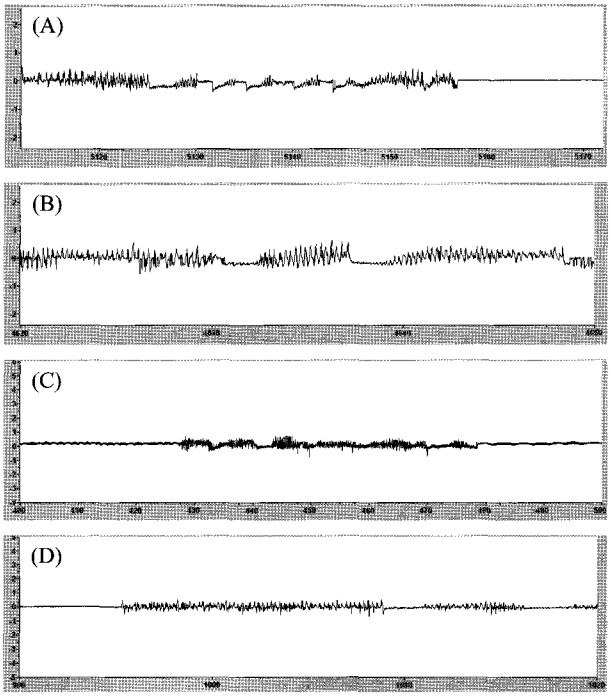

Fig. 1. EPG waveforms recorded from *B. tabaci*. (A) Transition of feeding pattern to non penetration pattern. (treatment of spinosad) (B) Stylet pathway patterns during the ingestion of phloem. (C) Transition of non penetration patterns to stylet pathway. (D) After stylet activity patterns, phloem phase presented.

spinosad를 처리한 경우 Biotype Q개체들 중의 하나의 파형으로 기록 후 평균 88.7분 정도가 경과한 후에 구침을 빼는 패턴들을 확인할 수 있었다. 구침의 활성을 나타내는 패턴들은 굉장히 다양한 양상으로 나타났는데, Fig. 1의 (B)는 섭식도중 구침의 활성을 보이는 패턴으로 살충제를

처리한 식물체에서 정상적으로 섭식하다가 구침을 빼기 이전에 구침의 활성패턴이 빈번하게 나타나는 경향이 세 약제 모두에서 나타났다. Fig. 1의 (C)는 섭식하다가 구침의 활성을 나타내는 패턴이고 (D)는 구침의 활성을 보이다가 체관부를 흡즙하기 전에 나타나는 신호로 살충제를 처리한 식물체에서 섭식행동을 분석한 결과에서는 거의 볼 수 없었던 패턴이다. 일반적으로 살충제에 의해 섭식에 저해를 받고 구침의 움직임이 활발히 이루어지다가 구침을 빼고 다른 섭식장소를 찾아 이동하는 경향이 많이 나타났다.

3종의 살충제를 토마토 유묘에 처리한 후 기록한 EPG 패턴을 분석한 결과, spinosad를 제외한 두 약제에 대해서는 두 타입간 구침의 활성시간과 체관부 섭식시간에 있어 차이를 보이는 것을 볼 수 있었다. 대체로 담배가루이 B biotype은 Q 타입보다 구침의 활성을 보이는 시간이 높게 나타났으며, 체관부를 섭식한 시간은 반대로 적게 나타났다. 이는 처리된 살충제가 담배가루이의 정상적인 섭식행동에 저해를 준 것으로 여겨지는데, 구침이 식물표면에 접촉된 후 흡즙행동이 이루어지고 본격적으로 섭식하다가 살충제를 감지한 담배가루이는 구침을 빼지 않고 다른 섭식장소를 탐색하기 위해 구침을 활발하게 움직임으로 살충제에 대한 반응을 나타낸 것으로 보인다. 첫 번째로 조사된 EPG패턴인 첫 번째 구침을 빼기까지 소요된 시간을 비교해보면, 대체적으로 B 타입이 Q 타입보다 좀 더 빨리 나타난 것을 볼 수 있는데, 이는 기주식물에 처리된 살충제를 B타입 개체들이 좀 더 빠르게 감지한다는 것을 의미한다. Q 타입보다 빠르게 살충제를 감지한 담배가루이 B 타입은 감지한 후 구침을 빼는 행동 이후에 다시 섭식하려고 재개하기 위해 구침을 꽂고 다시 활성을 보이는 패턴들을 더 많이 보이기 때문에, 구침의 활성패턴 시간이 높게 나타나게 되는 것이다. 하지만, 추천농도로 처리된 살충제에 대해 담배가루이 두 타입 모두 구침을 빼는 극단적인 행동보다는 빈번하게 탐침행동을 보이며 구침의 활성을 나타내는 형식으로 살충제를 감지하고 반응하는 것으로 보였다. Thiamethoxam을 제외한 두 살충제에 대해서는 구침의 활성패턴시간은 B 타입이 높게 나타났으며, 담배가루이 두 타입간 전체 구침을 뺀 시간을 비교한 결과에서는 평균시간상으로는 B 타입이 높게 나타났지만 두 타입간 차이는 유의성이 없는 것으로 확인되었다(Table 2).

3종의 살충제를 고추 유묘에 처리한 후 기록한 EPG패턴 분석 결과에서는, biotype B 개체들 대부분이 고추에서

Table 2. Comparison of EPG parameters between biotype B and Q of *B. tabaci* on tomato seedlings treated with each insecticide

Parameters (min.)	Biotype B	Biotype Q	P^b
Acetamiprid			
Mean time consumed by prior non-feeding	20.1±6.3[a]	32.4±16.0	0.038[NS]
Total duration of np pattern	63.4±28.0	58.7±31.7	0.684[NS]
Total duration of stylet pathway	184.3±48.9	78.7±12.4	0.000[**]
Total duration of phloem feeding	19.4±4.8	49.5±6.2	0.000[**]
Spinosad			
Mean time consumed by prior non-feeding	73.2±20.5	88.7±17.3	0.190[NS]
Total duration of np pattern	36.6±10.9	31.2±16.3	0.393[NS]
Total duration of stylet pathway	229.6±49.0	230.3±46.9	0.912[NS]
Total duration of phloem feeding	14.6±1.8	12.5±3.0	0.019[NS]
Thiamethoxam			
Mean time consumed by prior non-feeding	40.8±76.6	76.6±15.1	0.000[**]
Total duration of np pattern	84.9±17.7	25.7±11.5	0.000[**]
Total duration of stylet pathway	120.8±18.3	181.5±30.3	0.000[**]
Total duration of phloem feeding	19.6±4.7	30.8±6.5	0.000[**]
Control			
Total duration of non-feeding	56.7±22.8	41.2±10.7	0.019[NS]
Total duration of stylet pathway	60.0±8.1	48.9±11.8	0.052[*]
Total duration of phloem feeding	52.6±8.1	86.1±12.7	0.000[**]

[a] Values represent mean± SD.

[b] Asterisks indicate significant differences according to Mann-Whitney U-test at 95% significant level (SPSS 12.0). [*] Indicates $P<0.05$, [**] $P<0.01$, and [NS] $P>0.05$.

는 정상적인 섭식을 하지 않고 연결된 금선을 떼고 달아나거나, 붙어있다 하더라도 구기를 식물체에 수차례 접촉한 후 탐침하지 않고 다른 장소로 이동하는 경향을 많이 보임으로 인해 살충제 처리에 의한 섭식행동의 차이를 확인할 수 없었다. 결과에서는 제시하지 않았지만, biotype B는 고추에서 정착율이 저조하고 세대유지를 할 수 없을 정도로 번식하지 못하는 것으로 보아, 고추는 담배가루이 biotype B가 선호하는 기주식물이 아닌 것으로 생각되며, 따라서 본 실험결과에서 고추에서의 살충제 처리에 의한 biotype간 섭식행동의 차이는 제시할 수 없었다(Table 3). 살충제에 대해 곤충의 섭식행동이 어떻게 저해 받는지를 조사한 연구는 imidacloprid를 포함한 여러 종의 살충제에 대한 복숭아혹진딧물의 섭식행동을 EPG로 조사하여 보고한 연구결과가 주를 이루고 있다. 살충제를 처리한 잎에서는 처리하지 않은 잎보다 복숭아혹진딧물이 체관부를 섭식하는 시간이 좀 더 짧았고, 구침을 빼고 있는 시간이 현저히 큰 것을 확인할 수 있었는데, 처리된 농도에 따라 섭식행동의 저해정도가 다르게 나타났다. 하지만, 모든 살충제가 모든 진딧물이나 가루이류의 섭식행동을 저해하는 것은 아니었다. Primicarb은 저농도에서는 복숭아혹진딧물의 섭식행동에 어떠한 변화도 나타내지 못했다(Naeun *et al.*, 1995).

실험에 사용된 3종의 살충제를 처리한 후 타입과 상관없이 담배가루이의 체관부 섭식시간만을 비교한 결과를 보면, 일반적으로 평균 70.0분을 섭식하는데, acetamiprid와 thiamethoxam을 처리했을 때는 각각 약 31.6에서 35.8분 동안 체관부를 섭식했고, spinosad는 이보다 적은 평균 16.2분이 체관부 섭식에 소요되었다(Table 4). 실험에 사

Table 3. Comparison of EPG parameters between biotype B and Q of *B. tabaci* on pepper seedlings treated with each insecticide

Parameters (min.)	Biotype B	Biotype Q
Acetamiprid		
Mean time consumed by prior non-feeding	-[b]	40.0±17.0[a]
Total duration of np pattern	-	48.1±21.4
Total duration of stylet pathway	-	73.7±12.4
Total duration of phloem feeding	-	50.7±5.8
Spinosad		
Mean time consumed by prior non-feeding	-	109.1±20.5
Total duration of np pattern	-	33.3±12.0
Total duration of stylet pathway	-	126.0±40.6
Total duration of phloem feeding	-	57.5±9.5
Thiamethoxam		
Mean time consumed by prior non-feeding	-	83.8±9.8
Total duration of np pattern	-	31.1±10.7
Total duration of stylet pathway	-	100.0±20.3
Total duration of phloem feeding	-	57.5±9.5
Control		
Total duration of non-feeding	-	36.9±13.7
Total duration of stylet pathway	-	43.8±13.2
Total duration of phloem feeding	-	82.7±10.8

[a] Values represent mean± SD.
[b] Most individuals of *B. tabaci* biotype B didn't normally feed on pepper plants so we couldn't investigate.

Table 4. Comparison of total feeding time of B. tabaci according to the tested insecticides

	Tested insecticides			Control	P
	Acetamiprid	Spinosad	Thiamethoxam		
Feeding time	35.8±15.3b	16.2±3.6a	31.6±17.0b	70.0±17.5c	0.000

Letters (a, b and c) indicate significant differences (d.f=3; F=97.638: Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, post hoc tests by Scheffe).

Table 5. Comparison of total feeding time of *B. tabaci* according to the biotypes and host plants

	Feeding time		P
Biotypes	B biotype	Q biotype	
(on tomato plants)	26.6±16.2	44.7±28.6	0.011
Host plants	Tomatoes	Peppers	
(biotype Q)	44.8±28.6	52.4±24.3	0.199

Significant differences were compared at 0.05 levels according to Mann-Whitney U-test (Biotypes) and independent samples t-test (Host plants) (SPSS version 12.0).

용한 살충제 중 spinosad는 담배가루이 성충 biotype B와 Q 모두에 대해 살충효과가 높게 나타났으며, 이에 따라 섭식행동에 있어 두 타입간의 차이가 크게 나타나지 않은 것으로 생각된다. 3종의 살충제 중에서는 spinosad가 담배가루이 성충 biotype B와 Q 모두에 있어 높은 살충효과를 보여주기도 했지만, 역시 섭식행동 조사에 있어서도 살충제에 의해 섭식시간이 짧아짐으로 섭식에 저해를 받고 있는 것을 확인할 수 있었다.

토마토 유묘에서는 살충제를 처리하지 않은 무처리에서도 섭식행동양상에 있어 두 타입간 차이를 확인할 수 있었는데, 이는 담배가루이의 타입간 기주에 따른 차이를 나타낸 것으로, 담배가루이 두 타입의 기주식물선호성에 대한 연구는 여러 학자들에 의해 보고되어 있다. Cohen (1992)은 biotype B는 알팔파, 브로콜리, 목화, 양상추, 멜론 등에서 유충의 생존율이 높았던 반면에, non-B 타입은 콩과 고구마에서 생존율이 좀 더 높았다고 밝혔다. Muniz와 Nombela (1997)는 토마토와 고추에서 biotype B와 Q의 기주선호성과 번식률에서의 차이를 밝히기도 했다. 본 실험결과에서는, biotype Q는 토마토에서 보다는 고추에서 체관부 섭식시간이 길게 나타나 고추를 좀 더 선호하는 경향을 보였으나, biotype B는 고추에서는 거의 섭식하지 않고 탈출하거나 이동하는 경향을 보임으로 담배가루이 두 타입간에 실험기주에 대한 선호성의 차이를 분명히 보여주었다. 토마토와 고추 두 기주에서 모두 정상적인 섭식을 한 biotype Q의 경우, 토마토에서보다는 고추에서 체관부 섭식시간이 길게 나타나면서 섭식하는 것을 좀 더 선호하는 경향을 보였다. 이는 살충제 처리와 상관없이 기주식물로 사용된 토마토와 고추에서의 차이를 보임으로 인해, 살충제 처리에 의한 EPG 패턴 양상의 차이인지 혼동되기도 하였다. 담배가루이 biotype B 개체들이 고추에서는 섭식을 거의 하지 않았기 때문에, 실험한 기주 중 토마토에서 실험한 결과만을 가지고 처리된 살충제와 상관없이 두 biotype간 체관부 섭식행동의 시간만을 비교한 결과를 보면, 총 6시간의 기록시간동안 B biotype이 평균 26.6분, Q biotype이 44.7분으로 평균적으로 약 18분 이상 Q biotype이 좀 더 섭식하는 것으로 나타나면서, biotype간 현저한 차이를 보여주었다. 또한 담배가루이 biotype Q 개체들의 기주식물간 차이를 보면 섭식시간은 토마토에서 평균 44.8분, 고추에서 52.4분으로 약간의 차이를 보였으나, biotype간의 차이에 비해 유의차가 그다지 크지 않은 것으로 나타났다(Table 5). 탐침행동과 흡즙행동의 차이는 가루이의 사육된 조건에 의해서도 나타날 수 있고, 유전적인 차이에 의해 나타날 수도 있기 때문에, EPG 실험 전에 이들의 유전적 차이여부를 확인하고, 동일한 사육조건에서 사육한 후에 실험해야 한다. 살충제에 대한 담배가루이 biotype B와 Q 타입간 섭식행동의 차이의 결과를 통해, 앞으로 이 해충을 효과적으로 방제하기 위해서는 재배작물에 어떠한 biotype의 담배가루이가 발생했는지 정확히 동정하여 확인한 후에 발생한 타입의 섭식행동에 저해를 보인 살충제를 선택하여 사용하는데 도움이 될 것으로 본다.

사 사

이 논문은 농림부/농림기술관리센터 지정 포도연구사업단의 연구비 지원과 교육인적자원부 지원 제2단계 BK21 사업으로 수행되었다.

Literature Cited

Bellows, T.S.J., T.M. Perring, R.J. Gill and D.H. Headrick. 1994. Description of a species of *Bemisia* (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Ent. Soc. Am. 87: 195-206.

Bharathan, N.G., W.R. Graves, K.R. Narayanan, D.J. Schusted, H.H.Bryan and R.T. McMillan. 1990. Association of double-stranded RNA with whitefly-mediated sivering in squash. Plant Pathol. 39: 530-538.

Chu, D., Y.J. Zhang, B. Cong, B.Y. Xu and Q.J. Wu. 2004. The

invasive mechanism of a world important pest, *Bemisia tabaci* biotype B. Acta Ent. Sinica. 47: 400-406.

Cohen, S., J.E. Duffus and H.Y. Kim. 1992. A new *Bemisia tabaci* biotype in the southwestern United States and its role in silverleaf of squash and transmission to lettuce infectious yellow virus. Phytopathol. 82: 86-90.

Horowitz, A.R., Gorman, K., G. Ross and I. Denholm. 2003. Inheritance of pyriproxyfen resistance in the whitefly, *Bemisia tabaci* (Q biotype). Arch. Insect Biochem. Physiol. 54: 177-186.

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.

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 plants. J. Econ. Entomol. 92: 357-366.

Jiang, Y.X. and G.P. Walker. 2003. Electrical penetration graphs of the nymphal stage of *Bemisia argentifolii*. Ent. Exp. Appl. 109: 101-111.

Lin, F.C., T.T. Hsieh and C.L. Wang. 2005. Occurrence of whiteflies and their integrated management in Taiwan. Proc. Intern. Seminar Whitefly Management and Control Strategy. 241-255.

Liu, M.Y. and J.E. Casida. 1993. High affinity binding of [^{3}H] Imidacloprid labels high- and low-affinity nicotinic acetylcholine receptor-like binding sites in aphid *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae). Pestic. Biochem. Physiol. 62: 3-14.

Mound, L.A. and S.H. Halsey. 1978.Whiteflies of the world. A systemic catalogue of the Aleyrodidae (Homoptera) with host plant and natural enemy data. London: British Museum of Natural History. Wiley. New York.

Naeun, R. 1995. Behaviour modifying effects of low systemic concentrations of imidacloprid on *Myzus persicae* with special reference to an antifeeding response. Pest. Sci. 44: 145-153.

Nauen R., N. Stumpf and A. Elbert. 2002. Toxicological and mechanistic studies on neonicotinoid cross resistance in Q-type *Bemisia tabaci*. Pest Manag. Sci. 58: 868-875.

Muniz, M. and G. Nombela. 1997. Host preference, pupae production and sex ratio of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on three varieties of Capsicum annuum L., pp. 1-5. In A. Hanaf (eds.), Proceedings of international symposium on integrated production and protection in horticultural crops. Agadir. Morocco.

Rauch, N. and R. Nauen. 2003. Identification of biochemical markers linked to neonicotinoids cross resistance in *Bemisia tabaci*. Arch Insect Biochem. Physiol. 54: 165-176.

Rosell, R.C., I.D. Bedford, D.R. Frohlich, R.J. Gill, J.K. Brown and P.G. Markham. 1997. Analysis of morphological variation in distinct populations of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). Ann. Entomol. Soc. Am. 90: 575-589.

Tjallingii, W.F. 1988. Electrical recording of stylet penetration activities. Aphids, Their biology, Natural enemies and control, Vol. B (ed. By A.K. Minks and Harrewijn), pp. 98-108. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

Walker, G.P and T.M. Perring. 1994. Feeding and oviposition behaviour of whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) interpreted from AC electronic feeding monitor waveforms. Ann. Ent. Soc. Am. 87: 363-374.

(Received for publication November 28 2007;
accepted December 17 2007)