

작물체내로의 dinotefuran 유입농도에 따른 복숭아혹진딧물 (*Myzus persicae*) (Hemiptera: Aphididae)의 섭식행동서미자 · 강명기¹ · 석희봉 · 조창욱 · 최진석² · 장 철² · 황인천² · 유용만 · 윤영남*충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학전공, ¹동부하이텍, ²(주)경농 중앙연구소Characteristics of Feeding Behaviors of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) Depending on Inflow Concentrations of DinotefuranMi Ja Seo, Myong Ki Kang¹, Hee Bong Seok, Chang Wook Jo, Jin Surk Choi², Cheul Jang², In Cheon Hwang², Yong Man Yu and Young Nam Youn*

Department of Applied Biology, College of Agriculture and Life Sciences, Chungnam National University, Daejeon, 305-764

¹Dongbu HiTek, Daejeon; ²Central Research Institute, Kyung-Nong, Kyungbuk, Korea

ABSTRACT : The changes of feeding pattern and the amount of insecticide penetrated into the leaf were monitored for 420 min after treatment of three concentrations of dinotefuran. At about 30 min after treatment of insecticide, the overall feeding pattern in EPG (Electrical Penetration Graph) monitoring was started to change, and there was significant difference in proportions of NP (non-penetration), PA (pathway activity), and phloem-feeding patterns among the different concentrations of dinotefuran treatment. Especially, as the amount of insecticide penetrated into a leaf increased, the reactive behaviors against this insecticide such as withdrawal of proboscis and movements of stylet of aphid were more quickly exhibited. And also, total time at which the proboscis of the aphids did not penetrate the plant was getting longer. The amount of dinotefuran penetrated into a leaf was monitored with HPLC. When the recommended concentration (100 mg/L) of the insecticide was treated, 5.24~7.24 mg/L of the insecticide was detected from the leaf, and the proboscis of the aphids was apparently withdrawn from the leaf at approximately 60 minutes after treatment of this insecticide.

KEY WORDS : EPG, HPLC, Inflow concentration, *Myzus persicae*, Dinotefuran

초 록 : Dinotefuran을 농도 별로 처리하여 420분 동안 복숭아혹진딧물의 섭식행동의 변화와 식물체로 이행된 살충제의 농도를 측정하였다. 약제처리 후 30분부터는 섭식패턴의 변화를 나타내기 시작하며 구침을 빼는 행동과 구침의 활성이 일어나는 패턴, 체관부를 섭식하는 패턴에 있어 농도별 차이를 보였다. 특히 식물체에 유입된 dinotefuran의 농도가 높아질수록 구침을 빼거나 구침의 활성이 일어나는 약제에 대한 반응시간이 빨리 나타났으며, 구침을 빼고 있는 총 시간이 길게 나타났다. HPLC를 이용하여 잎에 잔류한 dinotefuran의 농도를 측정한 결과, 추천농도인 100 mg/L로 2시간 동안 처리시 5.24~7.24 mg/L로 잔류하였으며, 복숭아혹진딧물은 약제처리 후 약 60분 경과 후부터 살충제를 감지하고 약제에 대한 반응을 개시하는 것을 확인하였다.

검색어 : EPG, HPLC, 침투이행농도, 복숭아혹진딧물, Dinotefuran

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

복숭아혹진딧물은 식물바이러스를 매개하는 벡터로서 경제적으로 중요한 다양한 작물에 직간접적으로 피해를 주고 있는 전세계적으로 주요 해충이다(Foster *et al.*, 2000). 이들은 주로 작물의 전생활사를 걸쳐 즙액을 흡즙하여, 유묘를 고사시키고, 잎을 말리거나 시들게 하여 심각한 수확량 손실을 주는데, 이러한 복숭아혹진딧물 방제를 위해 네오니코티노이드계 살충제의 사용이 빈번히 이루어지고 있다. 네오니코티노이드 살충제는 1990년대 초부터 사용되기 시작하여, 흡즙성 곤충의 방제에 주로 사용되고 있는 살충제 중의 하나로서, imidacloprid, dinotefuran, thiamethoxam, acetamiprid 등 다양한 살충제가 이 그룹에 속한다. 또한 이 그룹의 살충제들은 오이 이리응애나 칠레이리응애와 같은 포식성응애류와 무당 벌레와 같은 포식성 천적류에 비교적 안전한 것으로 알려져 다양한 작물의 해충방제에 광범위하게 이용되고 있다(Mizell and Sconyers, 1992; Leicht, 1993; Kim *et al.*, 2005; Youn *et al.*, 2003). 그 중에서도 dinotefuran은 1998년에 개발되어 광범위한 흡즙성 해충 방제에 이용되어 온 살충제로 포유동물과 환경에 독성이 낮고 안전하며, 시냅스 연결 후막의 아세틸콜린 수용체와 결합하여 신경 전달을 저해하여 해충을 치사시키는 우수한 살충기작을 보인다. 하지만, 이 약제 처리 후 일시적인 마비증상이나 녀다운 증상 이후 다시 생존한 개체들이 정상적인 섭식 행동을 재개함으로써 다시금 작물체에 피해를 주게 되는 경우를 볼 수 있고, 이에 따라 해충밀도를 감소시키기 위해 살충제의 반복적인 투입이 빈번하게 이루어짐으로 인한 저항성 문제의 대두로 인해 해충방제에 어려움이 있는데, 실질적으로 아무리 좋은 특성을 가진 농약이라도 사용량이 증가되면 도태압이 높아져 저항성 발달 가능성이 높아 농약사용량이 증가되고, 농약 수명이 단축될 가능성이 높기 때문에, 저항성 발달에 대한 도태압을 낮추기 위해 약제 살포량을 줄이는 것이 해결방안의 하나가 될 수도 있다고 보고했다(Choi *et al.*, 2005). 또한 실제 추천농도로 농약을 살포하여도 작물체내에 침투이행된 약제의 농도는 충분히 낮아질 수 있기 때문에 작물체내에 유입된 살충제의 농도에 따른 해충의 반응양상을 조사함으로써 약제저항성 해충의 효과적인 관리방안을 강구 할 수도 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 복숭아혹진딧물의 섭식도중 작물체내로 약액을 침투이행시킨 후 EPG 기술을 이용해 기록하였으며, 작물체내에 유입된 약액의 농도를 HPLC로 측정하여, 작물체내에 유입된 농도에 따른 복숭아혹진딧물의 섭식행동양상에 있어서의 변화와 특징을 확인하고자 하였다.

재료 및 방법

기주식물 및 실험곤충

기주식물은 파종 후 5~7주된 무(*Raphanus sativus* var. *longipinnatus*)의 엽병을 잘라 사용하였으며, 실험에 사용한 복숭아혹진딧물은 대전시 유성구 고추재배하우스에서 채집하여 실험실로 가지고 와서 무를 기주로 하여 실험실조건(온도 $23 \pm 2^\circ\text{C}$, 상대습도 50~65%, 광주기 16:8(L:D))에서 누대사육한 것을 이용하였다. 주로 무시형 성충을 EPG실험에 이용하였으며, 섭식행동 관찰을 위해 사용한 개체는 반복적으로 사용하지 않았다.

EPG 기록

엽병까지 자른 무 잎을 가지달린 250 ml 삼각플라스크에 물을 채우고 탈지면을 지지대로 하여 세웠다. 플라스크 가지쪽으로 기준 전극봉을 넣고 한쪽 끝을 amplifier의 G2 terminal에 연결하였다. 채집한 복숭아혹진딧물은 해부현미경하에서 conductive silver paint(RS, 101-5621, UK)를 이용해 지름이 $25 \mu\text{m}$ 인 금선(Goodfellow, UK)을 3~4 cm 길이로 잘라 등판에 부착시키고, 부착시킨 전극은 기록전극으로 사용되어 amplifier G1 terminal에 연결하였다. 복숭아혹진딧물의 구침이 기주식물의 잎에 접촉하거나 조직내에 삽입될 때 형성되는 전압의 차이를 amplifier(MOD. P122, GRASS Ins. Astro-Med Inc., USA)를 통해 증폭하고 이러한 증폭결과를 Real Chart Recorder(DASH IV, Astro-Med. Inc.)로 실시간 기록하였다. 실험전에 금선을 연결한 복숭아혹진딧물을 1시간 동안 굶겨 빠른 섭식행동의 유도를 꾀하였다. 모든 실험은 신호개시 후 7시간 동안 기록한 결과를 분석하였다.

dinotefuran 처리와 섭식행동의 EPG 관찰

복숭아혹진딧물의 섭식행동이 시작된 후부터 1시간 경과 후, 삼각플라스크 가지쪽으로 dinotefuran 약액을 흘려넣었다. 약액은 삼각플라스크에 담긴 물의 양을 고려하여 추천농도(100 mg/L), 추천농도의 1/5배 희석액(20 mg/L), 추천농도 5배 농도인 500 mg/L 세 가지 농도로 처리하여 시간의 경과에 따른 작물체내로 유입된 약액의 농도와 유입된 살충제의 농도에 따른 복숭아혹진딧물의 섭식행동의 변화를 관찰하였다. dinotefuran 살충제 처리에 따른 진딧물의 섭식행동의 관찰은 진딧물 구침의 식물체의 접촉이나 탐침에 있어 변화를 통해

나타나며, 정상적인 섭식행동 중 약액을 감지한 구침의 활성의 변화나 구침을 빼기까지 소요된 시간을 측정함으로써 이루어졌다. 모든 전기적 신호는 7시간 동안 기록되었으며, 조사된 섭식행동의 특징적인 양상은 다음과 같다. 1) 전체 비탐침시간(구침을 빼고 있는 전체시간), 2) 체관부를 섭식한 전체시간, 3) 물관부를 섭식한 전체시간, 4) 구침의 활성이 나타나는 전체시간, 5) 약제처리 후 약액에 반응하여 구침의 활성에 변화가 나타나거나, 구침을 빼서 전기적 신호가 끊어지거나 전기적 신호의 변화가 나타나기까지 소요된 시간을 측정하였다. 약제처리 후 섭식을 재개하기 위해 반복적으로 탐침행동을 하는 전기적연결신호의 횟수 또한 조사되어, 복숭아혹진딧물의 약액에 대한 반응정도를 확인하였다.

HPLC 분석

dinotefuran을 세 가지 농도(20, 100, 500 mg/L)로 희석한 약액을 준비하여 엽병을 자른 무잎을 각각 1, 2, 3, 4시간 동안 침지 후 약액이 직접 닿았던 부위는 절단하고 분석시료로 준비하였다. 침지한 시간과 처리된 농도에 따른 dinotefuran 살충제의 무잎에 유입된 농도를 측정하기 위해 HPLC를 이용하였다. 100 ml의 아세톤 용액에 위의 방법으로 준비된 시료인 잎조각 5g을 넣고 1시간 동안 흔들어진 후 dichloromethane을 넣은 다음, sodium sulfate를 이용해서 탈수과정을 반복하였다. Column 온도는 30°C로 고정하여, UV검출기가 장착된 Agilent 1100 HPLC로 검출파장 270 nm에서 분석하였다. Column은 Shiseido column을 사용하였고 용매조성은 water/acetonitrile(75/25)로 하였다.

데이터통계분석

dinotefuran 살충제의 처리농도에 따른 섭식행동의 차이를 확인하기 위해 조사한 EPG 분석데이터는 모두 SPSS(version 12.0)의 일원배치분산분석방법을 이용하여 분석하였으며, 0.05% 유의수준에서 유의확률과 Duncan의 사후검정분석을 통해 처리된 농도간 차이를 확인하고자 하였다.

결 과

살충제에 반응하여 나타나는 EPG파형은 크게 두 가지로 볼 수 있는데, 흡즙하는 도중 식물체에 탐침된 구

기가 침투이행된 살충제를 감지하고 순간적으로 섭식행동을 중단한 후 다른 장소로 이동하는 경우로, 이때에는 구침이 완전히 식물체로부터 떨어지기 때문에 어떠한 파형도 나타나지 않는 NP패턴이 나타나게 되는 경우다. 만약 다시 섭식행동을 재개하기 시작하면 전기적 연결신호가 나타나고 그때부터 파형을 관찰할 수 있게 된다. 다른 하나는 살충제를 감지한 후 섭식을 중단하지는 않지만 구침이 식물체로부터 완전히 빠져나오지 않고 식물세포 사이를 이동하며, 다른 섭식부위를 찾는 구침의 활성패턴이 나타나는 경우이다(Seo *et al.*, 2007). 이런 경우, 파형의 변화를 통해 살충제를 감지한 복숭아혹진딧물의 반응양상을 확인할 수 있는데, 본 실험에서 살충제를 처리하고 난 후 약제에 대한 섭식행동의 변화를 확인하기 위해, 앞에서 언급한 것과 같이 처리된 약액에 대한 적극적인 반응인 구침을 빼고 있는 시간(NP), 실질적인 섭식행동인 체관부(Phloem)와 물관부(Xylem) 섭식시간, 먹이적합성이나 탐색행동을 나타내는 구침의 활성패턴(PA), 즉 네 가지 반응패턴으로 나누어 분석하였다. Fig. 1은 EPG기록시작부터 dinotefuran 각각의 농도를 처리하기까지 120분 동안 네 가지 섭식행동을 조사한 결과로, 약액을 처리하기 전과, 처리 후 30분까지, 처리 후 30분 후부터 30분 동안의 세 단계의 시간 동안 4가지 패턴이 나타난 비율을 기록한 결과이다. 기록 시작 후 초기엔 거의 네 가지 패턴들을 모두 확인할 수 있었는데, 구침의 활성이 일어난 이후에 물관부와 체관부 섭식패턴이 주로 관찰되었으며, 약제를 처리하기 전까지는 처리된 농도에 따른 섭식행동패턴의 차이는 확인되지 않았다(NP: d.f.=3, F=0.310, P=0.818; PA: d.f.=3, F=0.695, P=0.560; Xylem: d.f.=3, F=0.731, P=0.539; Phloem: d.f.=3, F=1.300, P=0.285). 하지만 약제처리 후부터 30분 동안의 섭식행동을 조사한 결과를 보면(recording 60 min ~ 90 min.), 구침을 빼는 행동(NP)과 구침의 활성을 일으키는 패턴(PA), 그리고 체관부를 섭식하는 패턴에 있어 농도별 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다(NP: d.f.=3, F=1.571, P=0.209; PA: d.f.=3, F=3.932, P=0.014; Phloem: d.f.=3, F=3.074, P=0.036). 약액이 처리되고 나서 잎에 유입된 살충제를 복숭아혹진딧물이 감지하게 되는 약제처리 후 30분 후부터 30분 동안의 네 가지 섭식패턴의 비율을 살펴보면, 구침을 빼는 행동과 구침의 활성패턴이 차지하는 비율이 농도에 따른 차이를 보이고 있는 것을 볼 수 있다(NP: d.f.=3, F=2.249, P=0.095; PA: d.f.=3, F=2.939,

P=0.042; Xylem: d.f.=3, F=1.457, P=0.238, Phloem: d.f.=3, F=1.965, P=0.132).

Fig. 2는 약제처리 후 120분부터 EPG 기록 전체시간인 420분까지의 네 가지 섭식행동을 조사한 결과이다. 30분 동안의 네 가지 행동패턴의 발생비율을 살펴보면, NP 패턴발생비율의 지속적인 증가와 함께, 농도별 차이를 보이고 있으며, 구침의 활성이 활발히 이루어진 후 물관부의 섭식행동패턴의 발생비율에 있어 다소 농도별 차이를 보이고 있는 것을 볼 수 있다(NP: d.f.=3, F=3.329, P=0.027; PA: d.f.=3, F=0.455, P=0.715; Xylem: d.f.=3, F=2.568, P=0.065; Phloem: d.f.=3, F=0.491, P=0.690). 약제처리 후 150분에서 180분 시간

에는, 고농도인 500 ppm 처리에서는, 구침을 빼는 행동의 비율이 급격히 증가하여 섭식저해를 일으키는 것을 확인할 수 있었다(NP: d.f.=3, F=8.673, P= 0.000; PA: d.f.=3, F=0.600, P=0.618; Xylem:d.f.=3, F=1.965, P= 0.132; Phloem: d.f.=3, F=0.711, P=0.550). 약제처리 180분 후부터 기록끝까지의 네 가지 행동패턴을 조사해보면, 이 구간에서는 구침을 빼는 행동이 현저히 증가하고(d.f.=3, F=2.128, P=0.109), 이전 기간의 결과와 비교해보면, 물관부와 체관부의 섭식행동이 현저히 감소한 것을 확인할 수 있었으며 농도에 따른 약간의 차이는 있었다(Xylem: d.f.=3, F=2.394, P=0.080; Phloem: d.f.=3, F=2.362, P=0.083).

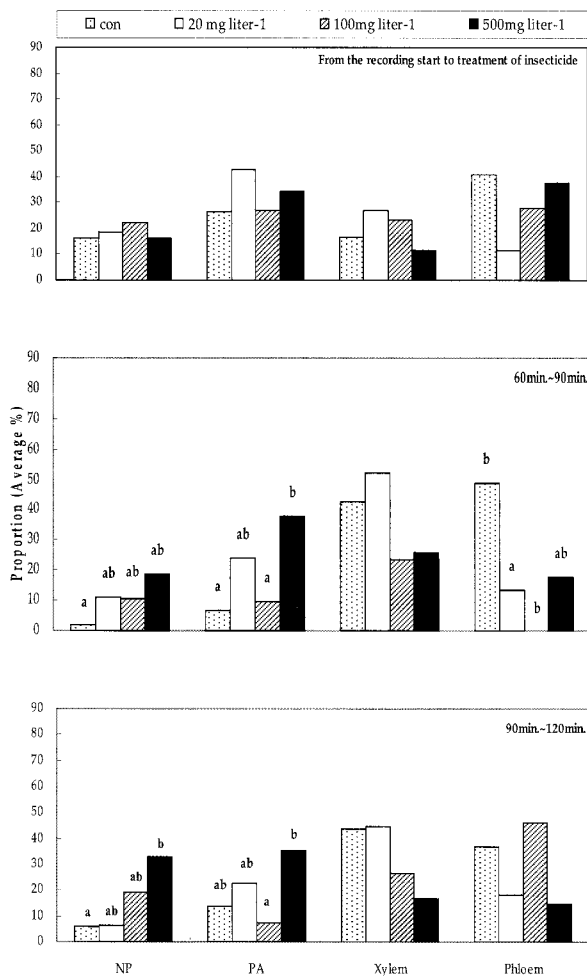


Fig. 1. Proportion (average percentage of duration) of feeding behaviors according to the treated concentrations from the recording start to 120 min. after the insecticide treatments had been applied. NP: Non-Penetration; PA: Pathway activity.

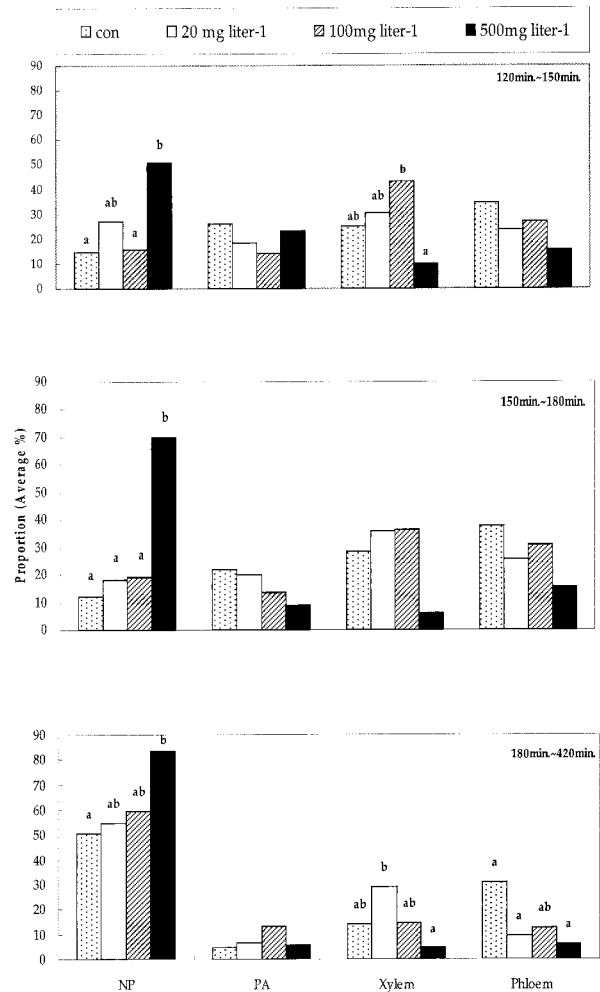


Fig. 2. Proportion (average percentage of duration) of feeding behaviors 120-420 min. after the insecticide treatments had been applied for 300 min. NP: Non-Penetration; PA: Pathway activity.

Table 1. EPG parameters recorded probing behavior of *Myzus persicae* on the radish leaf treated dinotefuran during 420 minutes (7 hrs)^a

EPG parameters	Dinotefuran concentrations (mg litre ⁻¹)				Significance level ^b
	500 n=15	100 n=15	20 n=12	Control N=10	
Duration of non penetration (min.)	261.5 ± 97.3b	176.2.4 ± 107.1a	162.58 ± 96.42a	141.8 ± 114.9a	0.023*
Total phloem ingestion time (min.)	56.8 ± 92.7a	93.7 ± 91.9ab	61.48 ± 76.37a	145.6 ± 114.9b	0.107 ^{NS}
Total xylem ingestion time (min.)	35.7 ± 36.6a	89.7 ± 81.7ab	135.8 ± 132.1b	85.3 ± 101.3ab	0.054 ^{NS}
Total pathway activity time (min.)	56.1 ± 36.0a	60.7 ± 76.0a	67.40 ± 40.51a	47.2 ± 37.0a	0.830 ^{NS}

^a Values represent mean ± SD. Different letters at values in rows show significant differences (One-way ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan) in SPSS Version 12.0.

^b * indicates $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, and ^{NS} $P > 0.05$

Table 2. First reaction time^a and the frequency of electrical contact signal^b after treatment of dinotefuran

EPG parameters	Dinotefuran concentrations (mg litre ⁻¹)				Significance level ^c
	500	100	20	Control	
First reaction time	37.4 ± 13.1a	109.0 ± 41.2b	120.6 ± 72.9b	-	0.000**
The frequency of electrical contact	6.1 ± 4.5a	4.7 ± 7.1a	12.3 ± 11.5b	0.5 ± 0.7a	0.043*

^a The time when stylet was withdrawn and proboscis of the aphid didn't penetrate the plant cuticle so that electrical circuit was not completed.

^b the frequency of electrical contact signal for renewing feeding behavior

^c Values represent mean ± SD. Different letters at values in rows show significant differences (completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan) in SPSS Version 12.0.

^c * indicates $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Dinotefuran의 농도별 처리와 관련하여, 전체 420분의 기록시간 동안 복숭아혹진딧물의 네 가지 섭식행동, 구침을 빼는 행동, 체관부와 물관부 섭식행동, 구침의 활성화 패턴을 조사하였다(Table 1). 일반적으로 진딧물이 침투 이행성 살충제가 처리된 잎에 노출되면 구침을 빼고 주둥이를 식물표피로부터 빼기 때문에 회로가 완성되지 않는 패턴이 나타나게 된다(Seo *et al.*, 2008). 조사한 네 가지 섭식행동패턴 중, 구침을 빼는 행동만이 농도에 따른 차이를 보였으며, 체관부와 물관부를 섭식하는 행동 패턴의 경우, 농도가 증가함에 따라 전체적인 섭식시간은 짧아졌으나 유의성은 없는 것으로 나타났다(Xylem: d.f. = 3, $F = 2.734$, $p = 0.054$; Phloem: d.f. = 3, $F = 2.143$, $p = 0.107$). 처리된 살충제의 농도가 높아짐에 따라 구침을 빼고 있는 시간이 증가했다(d.f. = 3, $F = 3.474$, $p = 0.023$). 하지만, 약제에 노출된 진딧물이 더 이상 섭식을 진행하지 않고 구침을 빼는 행동은 처리된 농도중 최고농도인 500 ppm을 제외하고는 나머지 두 농도는 무처리와 차이가 없었다. 전기적 연결 신호 후 일반적으로 빈도와 증

폭정도에 있어 다소 불규칙적인 pathway activity 패턴들이 나타나기 시작하는데, 이러한 패턴들은 여러 개의 다양한 파형들을 보이며 나타난다. 이때는 구침의 끝부분이 세포간극에서의 탐침양상을 보여주는 것으로 여러 개의 다양한 파형들은 세포내에서 탐침하는 구침의 끝부분이 어떤 특정조직에 위치하는지와 연관되는데(Jiang *et al.*, 1999 ; Jiang and Walker, 2003), 본 연구에서는 구침의 활성을 나타내는 섭식행동은 약제처리 후 30분 동안 주로 나타나는 것을 확인할 수 있었지만(PA2 : df=3, $F = 3.932$, $p = 0.014$), 전체 기록시간 동안 농도별 유의성은 없는 것으로 나타났다. 약제처리 후 30분 동안은 처리된 농도가 증가함에 따라 구침의 활성을 나타내는 시간이 많아지는 것을 볼 수 있다.

Table 2는 약제처리 후, 복숭아혹진딧물이 약제에 반응하여 구침을 빼고, 주둥이를 식물표피로부터 빼내어 전기적 신호가 끊어진 시간을 측정하고, 다시 섭식을 재개하려고 시도하는 횟수를 조사한 결과이다. 약제에 노출된 진딧물이 보여주는 대부분의 반응은 구침을 빼

Table 3. The mean time of the first reaction and the inflow concentration of dinotefuran in a leaf at each concentration

	500 mg/L	100 mg/L	20 mg/L
The first reaction(min.) ^b	37.4 ± 13.1a	109.0 ± 41.2b	120.6 ± 72.9b
The inflow concentration of dinotefuran in a leaf dipped during that time ^c	11.577 ~ 14.698 (1.0 hr)	5.235 ~ 7.242 (2.0 hrs)	1.953 ~ 4.605 (3.0 hrs)

^a Residue concentration was measured by HPLC

^b Letters (a, b and c) indicate significant differences (F=49.840; $p=0.000$: completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan).

^c Values in the parenthesis indicate the dipping time (hour) of petiole of a leaf tested.

어 내어, 전기적 회로가 끊어지게 되는 것이다. 우리는 이러한 행동패턴을 약제에 대한 첫 번째 반응이라고 규정하고 시간을 측정하였다. 약제에 최초로 반응하는 시간은 처리된 농도에 따라 다르게 나타났다(d.f.=2, F=12.912, P=0.000). 원래 진딧물이 살충제와 접촉하여 감지하게 되면 섭식행동을 중단하고 식물체로부터 구침을 빼게 되지만, 시간이 경과하면 다시 섭식을 하기 위해 살충제가 감지됨에도 불구하고 구침을 이곳저곳 찌르며 탐침행동을 하게 된다. 이러한 행동양상은 반복적으로 나타나고, 낮은 농도의 약제가 처리된 경우엔 더 이상 탐침행동저해를 가져올 수 없게 된다(Seo *et al.*, 2008). 저농도로 처리된 경우(20 mg/L)의 섭식시도를 알아보기 위한 전기적 연결신호의 횟수를 조사한 결과를 보면, 섭식에 영향을 덜 받고 계속 섭식하려 시도하는 것을 볼 수 있는데, 20 mg/L 농도처리 이후 섭식행동을 시도한 횟수를 조사한 결과를 보니, 약 12.3회 정도로 더 높은 처리농도인 100, 500 mg/L에서는 각각 4.7, 6.1회로 저농도에 비해 약액 감지 이후 섭식을 재개하려는 시도가 덜 나타나는 것을 확인할 수 있었지만, 처리농도간 유의차는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다(d.f.=2, F=3.402, P=0.043). 이러한 결과로 보아 진딧물의 섭식행동은 좀 더 낮은 농도의 약액에 거의 영향을 받지 않으며 섭식행동을 지속할 수 있었던 것으로 보인다.

Table 3은 잎 절편의 침지시간에 따른 잔류농도와 진딧물이 약제에 대해 반응한 첫 번째 반응시간을 조사한 결과이다. 침지한 약액의 농도에 따라 큰 차이를 보였으며, 대체로 침지시간에 따라 잎절편에 잔류한 살충제의 농도는 증가하는 것을 확인할 수 있었다. imidacloprid 처리 결과에서는 세 농도 모두에서 진딧물이 약제에 반응하여 구침을 빼는 첫 번째 반응은 잎절편에 유입된 살충제의 농도가 평균 약 0.32~0.35 mg/L였으며(Seo *et al.*, 2008), 약제에 대한 첫 번째 반응시간과 반응을 보이기 위한 농도가 유입되기 위한 침지시간에 있어 유사한

경향을 나타내었다. 그러나 Dinotefuran처리에 따른 결과에서는 imidacloprid와는 다소 다른 경향을 확인할 수 있었는데, 복숭아혹진딧물이 약제에 반응하는 시간은 전체적으로 세 농도 모두에서 imidacloprid보다는 반응을 보이기가 걸리는 시간이 긴 것으로 나타났다. 또한, 같은 시간대에 무 잎에 유입된 약제의 농도 또한 높은 것을 확인할 수 있었는데, imidacloprid와 dinotefuran 두 약제의 잎에 유입된 약량 수준 사이엔 상당한 차이가 있었다. 가장 저농도인 20 mg/L로 3시간 동안 침지한 경우에도 1.95~4.61 mg/L 농도로 유입된 것을 보여주고 있다. dinotefuran은 상대적으로 높은 농도로 잎에 유입되어야 진딧물의 섭식행동의 변화를 확인할 수 있었다. 하지만, 복숭아혹진딧물에 대한 살충 또는 기피, 섭식저해 효과는 imidacloprid가 dinotefuran보다 뚜렷하게 나타나는 것으로 생각된다.

고 찰

많은 연구자들이 여러 살충제에 대한 복숭아혹진딧물의 반응을 조사하고 이들의 치사농도를 조사하였지만, 행동학적인 측면에서의 연구는 그다지 많이 행해지지 않았다. 저농도의 imidacloprid는 복숭아혹진딧물의 감로분비량의 저하나, 무게의 저하, 섭식하지 않고 계속적으로 섭식장소를 찾아 움직이는 행동들을 관찰함으로써 처리된 살충제가 살충제로서의 역할보다는 상당한 항섭식성 특성을 지니는 것으로 보고 있다(Nauen, 1995). 일부 이와 유사한 연구 결과들이 imidacloprid의 처리에 의한 차이로 복숭아혹진딧물의 전체 탐침 시간이 처리하지 않은 잎에서보다 더 짧았다고 제시하고 있다. 이러한 결과를 놓고, imidacloprid가 복숭아혹진딧물에 대해 살충제라기보다는 기피제 또는 항섭식제로서 작용했다고 제안하기도 했다(Knaust and Poehling, 1994). 본 연구에서는 EPG기술을 이용해서 엽병을 자른 무잎에 잔류한 dinotefuran이 복숭아혹진딧물의 섭식행동을 실질적으로

변화시킨 것을 확인하였다. imidacloprid와 같은 그룹의 작용기작을 가지는 dinotefuran 처리에 의한 결과 역시 전체 비탐침시간(구침을 빼고 있는 시간)은 농도가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만, 구침을 빼는 행동을 제외한 나머지 세 가지 섭식행동의 비율은 농도별 차이를 보이고 있지 않았는데, 이는 체관부의 농도별 차이를 보인 imidacloprid의 결과와는 다른 것을 볼 수 있었다. 살충제 접촉 후 구침을 뺐다가 다시 섭식을 재개하려는 전기적 연결신호의 횟수에 있어서는 농도별 유의차가 없는 것으로 확인되었는데, 이는 일반적으로 농도가 감소할수록 횟수도 감소할 것이라는 예상과는 다르게, 저농도에서 더 섭식행동을 재개하려는 신호를 보였다. 이러한 결과는 복숭아혹진딧물이 imidacloprid에 비해 dinotefuran에 덜 민감하게 반응하는 것으로 간주할 수 있다. 또한 살충제가 치사효과에 도달하지 못하는 농도에서는 순간의 섭식저해는 보이지만, 결국은 다시 섭식을 시도하려는 노력을 하는 것으로 보아 섭식저해현상이 계속적으로 지속되는 것이 아닌 것을 확인하였다. 하지만 이러한 현상이 반복적으로 일어남으로 인해, 진딧물이 굶는 시간이 증가하게 되고 결국은 산란력이나 생존율에 영향을 미칠 수 있다는 것이다. Azinphosmethyl과 같은 다른 살충제의 경우 특정 농도에서 진딧물의 산란율이 증가했다고 보고했는데, 이와 반대로 imidacloprid는 낮은 농도에서도 복숭아혹진딧물의 약충생산을 저해하는 것으로 나타났다(Gorden and McEwen, 1984; Lowery and Sears, 1986). 따라서 일부에서는 imidacloprid의 아치사량 사용이 대상해충에 대해서는 낮은 치사작용을 보이지만 해충의 밀도를 낮게 유지시킬 수 있으며, 저약량 투입으로 환경과 인축에 대한 해를 줄일 수 있고, 상대적으로 천적에 안전하여 해충의 종합적 방제를 위한 방제수단으로 응용 가능성이 크다고 보고 있기도 하다(Seo et al., 2008).

우리는 또한 작물체내에 어떤 농도로 살충제가 잔류해야 복숭아혹진딧물이 반응하는가를 알아보기 위해, 잎 절편의 침지시간에 따른 잔류농도와 진딧물이 살충제에 반응한 첫 번째 반응시간을 조사하였다. 이 실험결과를 보면, 진딧물이 살충제에 반응하여 구침을 빼는 첫 번째 반응은 1.95~4.61 ppm농도로 식물체에 잔류할 때인 것으로 확인되었다. 추천농도인 100 ppm을 처리했을 때 처리 후 2시간이 경과해서 5.24~7.24 ppm정도로 식물체에 잔류하는 것을 관찰했는데, imidacloprid에 비해 dinotefuran이 위에 잔류되는 살충제의 농도가 높았지만, 약제에 대한 복숭아혹진딧물의 반응정도는 더딘 것으로

역시 확인되었다. Pymetrozine 살충제의 경우, 직접적인 접촉은 새로운 탐침의 시도를 방해하고, 저약량은 탐침 개시를 저해하지만 진딧물이 다시 엽맥으로 이동하여 정상적으로 섭식하는 것이 확인되었는데, 이는 섭식위치에서의 저해는 없는 것으로 보인다고 설명하고 있으며(Harrewijin & Kayer, 1997), Pirimicarb약제도 역시 저농도에서는 복숭아혹진딧물의 섭식행동에 있어 큰 변화를 보여주지 못한 것으로 보고되고 있다(Nauen, 1995). imidacloprid를 추천농도로 처리한 후, 진딧물은 전형적인 신경전달저해 증상을 보이는데, 비정상적인 움직임이나, 마비, 떠는 현상을 보인다(Leicht, 1993). 일부 학자들은 살충제가 이렇게 눈으로 확실히 관찰되는 신경저해증상 이외에 진딧물류의 행동에 영향을 준다고 보고하고 있다(Dewar and Read, 1990; Knaust and Poehling, 1994). 위의 실험결과로 우리는 살충제를 사용할 때 예상하지 못했던 살충제의 잔류농도와 해충의 약제에 대한 반응을 확인할 수 있었다. 작물체에 처리한 dinotefuran 살충제가 유입된 농도에 따라 복숭아혹진딧물이 약제에 반응하여 구침을 빼거나 섭식행동을 중단하는 적극적인 행동반응에 있어 상당한 차이를 보여주었는데, 이러한 행동이 반복적으로 일어남으로 인해 진딧물의 정상적인 섭식행동이 저해를 받아 개체군의 증가를 감소시켜 줌으로 진딧물류의 해충방제시 고농도 또는 빈번한 살충제의 사용을 조절하여 효과적으로 방제할 수 있을 것으로 사료되며, dinotefuran을 포함한 해충방제를 위해 사용되는 살충제들에 대한 대상해충의 행동학적인 특성조사를 통해서, 다양한 작물에 발생하는 해충에 대해 효과적인 작물보호를 할 수 있기를 기대할 수 있을 것으로 본다.

사 사

본 논문은 2009년 농림기술관리센터 농림기술개발사업 기획과제(수출연구사업단)인 수출과채류친환경적 안전생산 기반기술개발 과제를 수행하는 과정에서 얻은 결과를 바탕으로 작성되었습니다.

Literature Cited

- Choi, B.R., S.W. Lee, Y.H. Song, and J.K. Yoo. 2005. Effect of sublethal doses of imidacloprid on the green peach aphid, *Myzus persicae*. Kor. J. Pes. Sci. 9(4): 374-379.
- Dewar, A.M. and L.A. Read. 1990. Evaluation of an insecticidal

- seed treatment, imidacloprid, for controlling aphids on sugar beet, Proc. Bringtpn Crop Protect. Conf.-Pests and Diseases. 731-736.
- Foster, S.P., I. Denholm, and A.L. Devonshire. 2000. The ups and downs of insecticide resistance in peach-potato aphid (*Myzus persicae*) in the UK. Crop Protection, 19: 873-879.
- Gorden, P.L. and F.L. McEwen. 1984. Insecticide-stimulated reproduction of *Myzus persicae*, the greenpeach aphid (Homoptera: Aphididae). Can. Entomol. 116: 783-784.
- Harrewijn, P. and H. Kayser. 1997. Pymetrozine, a fast-acting and selected inhibitor of aphid feeding. *In-situ* studies with electronic monitoring of feeding behavior. Pestic. Sci. 49: 130-140.
- Jiang, Y.X., H. Lei, J.L. Collar, B. Martin, M. Muniz and A. Fereres. 1999. Probing and feeding behavior 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.
- Kim, S., S. Seo, J.D. Park, S.G. Kim, and D.I. Kim. 2005. Effects of selected the predatory mite, *Amblyseius cucumeris* (Acari Phytoseiidae). J. Entomol. Sci. 40:107-114.
- 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 OILB-SROP. 17: 89-100.
- Leicht, W. 1993. Imidacloprid-a chloronicotinyl insecticide. Pest Outlook. 4: 1724.
- Lowery, D.T. and M.K. Sears. 1986. Stimulation of reproduction of the greenpeach aphid (Homoptera: Aphididae) by azinphosmethyl applied to potatoes. J. Econ. Entomol. 79: 1530-1533.
- Mizell R.F. and M.C. Sconyer. 1992. Toxicity of imidacloprid to selected arthropod predators in the laboratory. Florida Entomol. 75: 277-280.
- 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.O. Yang, C. Yoon, Y.N. Youn, and G.H. Kim. 2007. Differentiation in feeding behavior of biotypes B and Q of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) against three insecticides. Kor. J. Appl. Entomol. 46(3): 401-408.
- Seo, M.J., M.K. Kang, B.H. Jo., I.C. Hwang, C. Jang, Y.M. Yu, and Y.N. Youn. 2008. Changes of feeding behaviors of *Myzus persicae* (Homoptera: Aphididae) depending on inflow concentrations of imidacloprid. Kor. J. Appl. Entomol. 47: 369-378.
- Youn, Y.N., M.J. Seo, J.G. Shin, C. Jang, and Y.M. Yu. 2003. Toxicity of greenhouse pesticides to multicolored Asian ladybeetle, *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae). Biol. Control 28: 164-170.

(Received for publication April 28 2009;
revised June 22 2009; accepted June 23 2009)