농약과학회지 (Korean J. Pestic. Sci.)
Vol. 21, No. 2, pp. 198-213 (2017)
Open Access https://doi.org/10.7585/kjps.2017.21.2.198
ORIGINAL ARTICLES

Online ISSN 2287-2051
Print ISSN 1226-6183

# EPG 기술을 이용한 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)의 몇 가지 살충제에 대한 섭식행동

민지현 · 윤 헌 · 권혜리 · 유용만 · 윤영남*
충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

# Feeding Behavior of the Green Peach Aphid, *Myzus persicae*, against Several Insecticides Using Electrical Penetration Graph Techniques

**Ji-Hyun Min, Heon Yoon, Hay-Ri Kwon, Yong-Man Yu and Young-Nam Youn***
Department of Agricultural Biology, Graduate School, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

(Received on May 26, 2017. Revised on June 28, 2017. Accepted on June 28, 2017)

**Abstract** Change of feeding behavior of three different populations (Iwol, Noeun and Lab population) of the green peach aphid, *Myzus persicae*, were recorded and analyzed with an electrical penetration graph (EPG) against 10 insecticides. Generally, green peach aphids do tend to feed at phloem rather than xylem in pepper plant with untreated insecticides using by EPG technique. It is meaned that the green peach is phloem feeder like other aphids. Treatments of insecticides changed the feeding behavior pattern and also different feeding pattern between registered and unregistered insecticides to the green peach aphid using by EPG. In case of acetamiprid treatment, non-probing period were more increased 64, 29 and 3.2 times at standard treatment than half-concentration treatment with Iwol, Noeun and Lab population, respectively. Total period of probing behavior with standard treatment is longer than half-concentration treatment at most of treated insecticide except in the case of cyantraniliprol treatment. The total period of saliva secretion of the green peach in the phloem sheath was significantly different at half-concentration treatment of cyantraniliprol as Noeun > Lab > Iwol population. The total of phloem feeding time taken at treatment plot is significantly shorter than non-treatment. At the cyantraniliprol half-treatment, Iwol population is shorter than any other population. However, there no significantly different at xylem feeding time taken among 3 populations.

**Key words** EPG, feeding behavior, green peach aphid, insecticide, *Myzus persicae*

## 서 론

복숭아혹진딧물(*Myzus persicae* Sulzer)은 노린재목(Hemiptera) 진딧물과(Aphididae)에 속하며, 전 세계적으로 많은 작물에 경제적으로 많은 피해를 주는 진딧물이다(Van Emden and Harrington, 2007). 복숭아혹진딧물의 피해상은 크게 두 가지로 나뉘는데, 식물의 관다발조직을 섭식하여 수분부족 및 잎 말림과 생장저해와 같은 직접적인 피해를 주는 경우와, 여러 종류의 식물 바이러스의 매개체로서 작물에 바이러스병을 전파함으로서 간접적 피해를 주게 된다 (Van Emden and Harrington, 2007). 또한 감로를 배설하여 그을음병을 유발시켜 작물의 광합성을 저해하기도 한다 (Frants et al., 2004).

흡즙형 곤충의 탐침 및 섭식행동은 직접적으로 관찰할 수는 없지만, Electrical electrical penetration graphs (EPGs) 기술을 통해 관찰할 수 있다. 이 방법은 McLean and Kinsey (1964)에 의해 처음으로 사용되었다. EPG 기술은 흡즙형 구기를 갖는 곤충의 구침이 식물체에 삽입되면 구침의 이동에 따른 전기적 저항의 차이로 전압이 변화되면 이를 증폭시킨 변화신호를 기록한 것이며, 처음 개발한 McLean과 Kinsey (1964)는 교류방식(AC system)을 사용하였고, 이후 Tjallingii (1978)에 의해 직류방식(DC system)으로 발전되어 사용되고 있다. 이러한 기술은 대부분 진딧물

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

류(Mclean and Kinsey, 1964, 1965, 1967; Tjallingii, 1978, 1985a, b, 1988), 멸구류(Khan and Saxena, 1984; Velusamy and Heinrichs, 1986; Kimmins, 1989; Youn and Chang, 1993; Kim et al., 2005, Seo et al., 2009a), 매미충류(Chang, 1978; Kawabe and Mclean, 1978; Khan and Saxena, 1985; Youn, 1998), 가루이류(Jassen et al., 1989; Lei et al., 1996; Seo et al., 2007, Yang et al., 2009, Kwon and Youn, 2014), 나무이류(Bonani et al., 2010; Civolani et al., 2011; Youn et al., 2011) 등 흡즙형 곤충의 섭식행동을 관찰하는데 이용되었다. EPG 기술은 곤충의 섭식행동 및 식물의 상호작용을 반영하는 것으로 첫째, 흡즙성 곤충에 대한 기주식물의 저항성 측정과 특징을 정의할 수 있고(Helden and Tjallingii, 1993; Alvarez et al., 2013); 둘째, 바이러스 매개체로써 식물병의 전이 메커니즘을 이해할 수 있으며(Nault and Gyrisco, 1966; Powell, 1991; Fereres and Moreno, 2009), 마지막으로, 한정된 범위 내의 살충제의 작용기작을 이해할 수 있을 것이다(Harrewijn and Kayser, 1997; Costa et al., 2011).

본 연구는 복숭아혹진딧물 세 개체군내에서의 EPG 패턴을 통해 섭식행동을 분석하고, 작용기작이 다른 총 10 가지의 약제에 대한 각 개체군 별 섭식행동반응을 비교 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 공시충 및 기주

2013-14년 충북지역에서 재배하는 오이에 발생하는 질병조사 결과, 진천 지역일대에서 진딧물에 의해 전염되는 CMV, WMV2, ZYMV 등의 바이러스병이 만연된 것이 관찰되어(Lee et al., 2015). 이를 토대로 충북 진천군 이월면 소재의 배추밭에서 복숭아혹진딧물을 2016년에 채집하여 이월 개체군으로 사용하였다. 또한 매년 진딧물 방제를 위해 살충제를 살포하고 있는 대전 유성구 노은동 소재 배추밭에서 채집한 개체군은 노은개체군으로, 실내사육실에서 장기간 누대사육한 개체군을 실험실 개체군으로 하여 3가지 종류의 복숭아혹진딧물 개체군을 실험에 사용하였다. 이들 각 개체군은 실험실에서 누대사육하면서 실험에 사용하였으며, 고추(품종: 금빛)를 포트(ϕ6.5 × 6.5 cm)에 파종하여 5-6주가 경과된 유묘에 접종하여 아크릴케이지(30x30x50cm)에서 계대사육 하였고, 온도 25 ± 1°C, 상대습도 50-60%, 광주기 16L:8D의 곤충사육실 조건하에서 유지하였다.

### Electrical Penetration Graph (EPG)

EPG 기록을 할 때에 사용한 고추는 포트에 파종한 후 약 4주가 경과된 고추유묘를 사용하였다. 고춧잎은 Garzo (2016)의 방법을 참고하여 신초에서 3-4번째 잎 위에 복숭아혹진딧물을 올려두었다. 복숭아혹진딧물은 사육케이지에서 작은 붓을 이용하여 무시성충만을 골라, Ullman and Mclean (1988)과 Jiang et al. (1999)의 방법을 참고하여 약 30분을 굶긴 후 기록을 실시하였다. 한편, 진딧물은 지름이 12.7 μm인 금선(Alfa Aesar, US)을 약 5 cm 길이로 자른 후 약 3 cm의 구리 못에 감은 구리선 끝에 xylene을 용매로 silver conductive paint (CANS, ELCOAT P-100, KOREA)를 녹여 금선의 약 1 cm 정도 부착시키고, 금선의 다른 한 쪽 끝에 silver conductive paint 용액을 연속적으로 찍어 발라 충체에 부착할 크기의 방울을 만들어 준비해 놓은 것을 복숭아혹진딧물의 등판에 부착하였다. 복숭아혹진딧물에 금선을 부착한 후에 다른 끝에 달린 구리못을 GIGA-8 DC EPG amplifier (Wageningen University, Netherland)에 연결하였다(Fig. 1). 기록하는 동안 발생하는 전기적 잡음을 제거하기 위해 Faraday cage안에서 실시하였으며, 그 안에 접지된 구리 망을 둘러 씌워 전기적 잡음을 완전히 제거하였

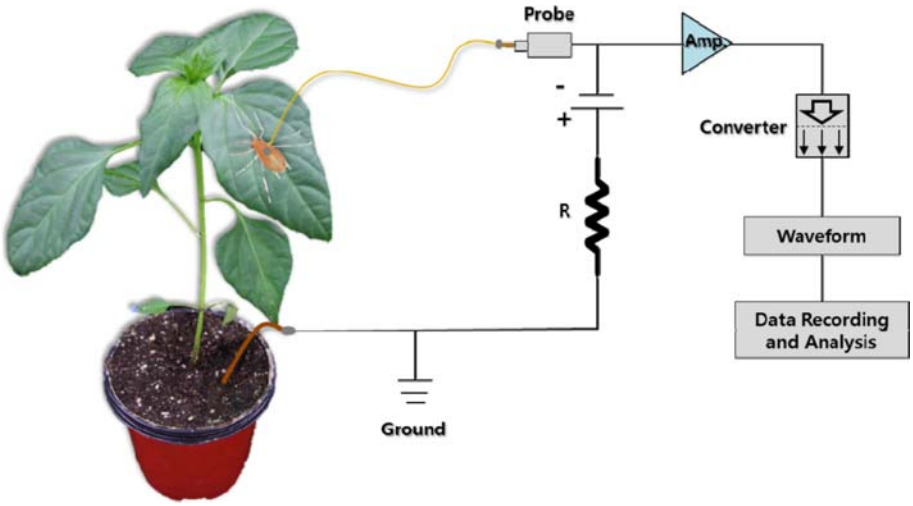


**Fig. 1.** The primary circuit for EPG recording and ground net covered with copper.

**Table 1.** Characterization of treated insecticide in experiments

| Category | Insecticide | Chemical group | Formulation, A.I. (%) | Mode of action | Systemic action |
|---|---|---|---|---|---|
| Registered for *M. persicae* | Acetamiprid | neonicotinoids | WP, 8% | Nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) competitive modulators | O |
| | Cyantraniliprole | diamides | DC, 5% | Ryanodine receptor modulators | X |
| | Pymetrozine | pyridine azomethine | WP, 25% | Chordotonal Organ TRPV Channel Modulators | O |
| | Pyrifluquinazon | pyridine azomethine | SC, 6.5% | Chordotonal Organ TRPV Channel Modulators | X |
| | Spirotetramat | tetramic acid | SC, 22% | Inhibitors of acetyl CoA carboxylase | O |
| Unregistered for *M. persicae* | Chlorfenapyr | pyrazole | EC, 5% | Uncouplers of oxidative phosphorylation via disruption of the proton gradient | X |
| | Dinotefuran | neonicotinoids | SG, 50% | Nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) competitive modulators | O |
| | Gamma-cyhalothrin | pyrethroids | CS, 1.4% | Sodium channel modulators | X |
| | Novaluron | benzoylureas | SC, 10% | Inhibitors of chitin biosynthesis, type 0 (IGR) | X |
| | Spinosad | spinosyns | WG, 10% | Nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) allosteric modulators | X |

다. 이러한 EPG 시스템에서 복숭아혹진딧물의 섭식행동은 총 6시간 동안 기록하였다. EPG waveform은 EPG data acquisition (daq) (W.F. Tjallingii, Wageningen University, The Netherlands)을 통하여 IBM personal computer에 저장되었으며, 저장된 자료는 EPG signal analysis (ana) (W.F. Tjallingii, Wageningen University, The Netherlands)로 분석하였다. 그리고 EPG 매개변수는 Sarria et al. (2009)에 의해 개발된 EPG-Exel Data Workbook을 이용하여 파형 별 소요시간 및 횟수를 파악하였다.

EPG 파형을 EPG signal analysis로 분석할 때에는 Tjallingii (1978)와 Prado와 Tjallingii (2007)에서 정의한 파형을 참고하여 8가지 매개변수를 기준으로 결과를 분석하였는데, 각 매개변수의 특징은 다음과 같다. ① 어떠한 탐침행동도 하지 않은 시간(total duration of non-probe time); ② 총 탐침 소요시간(total duration of pathway phase); ③ 체관부 섭식시간(total duration of feeding phloem); ④ 물관부 섭식시간(total duration of feeding xylem); ⑤ 섭식을 하다가 구침을 빼고 다음 섭식 때 까지 소요된 시간(total duration of derailed stylet); ⑥ 6시간 동안 구침을 식물체에 찔러 넣은 횟수(total number of probes); ⑦ EPG 셋팅 후 맨 처음 구침을 찔러 넣을 때까지 소요된 시간(time to the first probe); ⑧ EPG 셋팅 후 맨 처음 구침을 찔러 체관부 흡즙을 하기까지 소요되는 시간(time to first feeding phloem) 등이다. 또한, 복숭아혹진딧물의 섭식행동을 관찰한 EPG 기록은 복숭아혹진딧물이 EPG 시스템에서 이탈하거나 혹은 죽은 경우를 제외하고 정상적으로 6시간 동안 고추잎에서 흡즙을 하는 경우만 모아 3반복을 실시하였으며, 이러한 기록을 모아 통계분석 하였다.

### 시험약제

약제는 단일 유효성분으로 이루어져 있는 약제를 선택하였으며, 2016 작물보호제 지침서 (발행처: 한국작물보호협회)상에 복숭아혹진딧물이 적용병해충으로 등록되어있는 5가지 약제와 등록되어있지 않은 5가지 약제를 선택하였다. 등록 약제 선발기준은 작용기작 및 계통이 다른 성분 중에서 새로운 작용기작을 갖거나, 저항성 진딧물 방제에 효과를 갖는 약제를 임의로 선발하였으며, 비등록 약제 선발기준은 작용 기작 및 계통이 다른 성분 중에서 흡즙성 해충(총채벌레류, 노린재류, 가루이류 등)을 적용해충으로 갖는 약제를 임의로 선발하였다. 각 약제의 처리는 추천농도와 추천농도의 1/2배로 나누어 처리하였었다(Table 1).

### 약제처리

약제에 대한 반응 실험은 개체군 별 복숭아혹진딧물의 섭식행동에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해 진행하였다. 고추 유묘에 실험 농도의 각 약제를 hand spray (Furupla Co. LTD, Japan)에 담고, 일정 거리에서 포트 당 약 5번의 펌프를 통해 기주에 약제를 충분히 노출한 후 음지에서 약 30 분간 건조하여 EPG 기록에 이용하였으며, 3반복 수행 후 분석하였다.

### 통계분석

모든 약제를 각 농도별로 처리한 처리구와 무처리구는 총 6시간 동안 3회 반복 실험을 수행하였고, EPG 기록으로 분석한 결과는 SPSS (IBM SPSS Statistics 22.0) 일원배치분산분석(one way analysis of variance, ANOVA)을 통해 각 기록 결과 간 $P < 0.05$ 범위에서 유의성 검정을 수행하였으

**Table 2.** Summary of aphids waveforms

| EPG waveform | Tissue location of stylet tips | Activities |
|---|---|---|
| NP | Non probing surface | Walking and external salivation |
| Pathway phase (C) | Epidermis/mesophyll/ all tissue | Cuticle penetration/sheath salivation/Many activities during pathway |
| Potential drop (pd) | All living cells | Stylet puncture; salivation, ingestion |
| E1 | Sieve elements | Phloem salivation |
| E2 | Sieve elements | Phloem ingestion |
| G | Xylem | Xylem active ingestion |
| F | All tissues | Derailed stylet °Æpenetration difficulties°Ø |

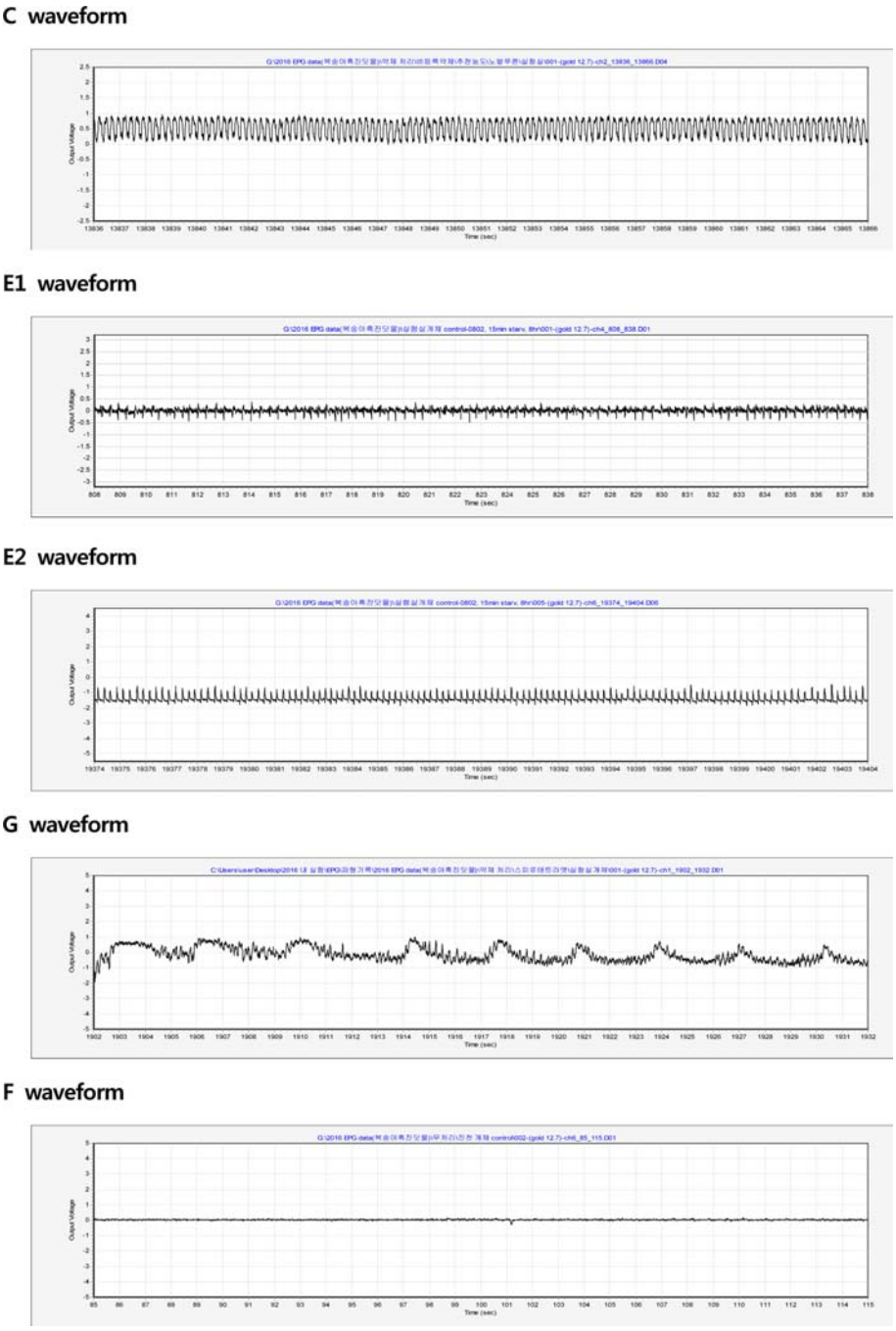


**Fig. 2.** Characteristics of EPG waveforms recorded from *Myzus persicae*.

며, 사후검정은 Duncan 분석을 통해 약제간의 유의차를 확인하였다.

## 결 과

### 복숭아혹진딧물의 약제별 섭식행동 비교

복숭아혹진딧물 세 개체군의 무처리구에서 6시간동안 섭식하는데 소요한 시간의 양상은 탐침하지 않는(NP) 시간보다는 탐침하는(C) 시간이 더 많았고, 물관부 섭식(G) 보다는 체관부를 섭식하는(E1, E2) 시간이 더 많은 것으로 확인하였다. 따라서 약제별 섭식행동을 비교할 때, 위의 양상과 달리 나타날 경우 섭식행동의 저해를 받은 것으로 판단하였다. 복숭아혹진딧물의 각 개체군 별 섭식행동을 비교하기에 앞서, 실험에서 얻은 복숭아혹진딧물 EPG 파형의 종류와 파형에 따른 섭식행동의 의미는 Table 2와 같다. 또한 Fig. 2는 총 6 시간동안 복숭아혹진딧물이 섭식할 때 나타나는 전형적인 패턴을 나타낸 것으로, 좀 더 자세한 각 파형은 Fig. 2와 같다.

### 어떠한 탐침행동도 하지 않은 시간

탐침하지 않은 총 기간은 이월 개체군의 경우, 약제를 기준량으로 처리했을 때, 유의한 차이를 보였다(P=0.037). 등록된 약제 5가지를 기준량으로 처리했을 때, 기준량의 1/2배 처리구 보다 4-65배 정도 비탐침기간이 증가하였고, 등록되지 않은 약제 5가지를 기준량으로 처리했을 때, 기준량의 1/2배 처리구보다 2-11배 정도 감소하였다(Table 3). 또한 등록된 약제 5가지를 기준량의 1/2배 처리한 결과 무처리보다 더 적은 비탐침기간을 가졌으며, 대조적으로, 같은 조건에서 등록되지 않은 약제 5가지에서는 무처리보다 더 많은 비탐침기간을 가졌다. 노은 개체군의 경우 약제를 기준량의 1/2배 처리한 결과에서 매우 유의한 차이를 보였는데(P=0.002), pymetrozine과 pyrifluquinazon을 기준량의 1/2배 처리한 결과, 무처리보다 약 6배 더 많은 비탐침기간을 나타냈으며, 다른 약제들에 비해 가장 많은 비탐침기간을 가졌다. 실험실 개체군의 경우, 모든 약제를 기준량의 1/2배 처리한 결과 무처리보다 더 많은 비탐침기간을 가졌다.

**Table 3.** Average running seconds depending on total duration of non-probe (NP) time using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration of 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 124.1 ± 7.7a[a)] | 225.3 ± 235.7a | 901.6 ± 794.1a | 0.343 |
| | 1 | 7,996.4 ± 8,027.3ab | 6,640.0 ± 3,212.1ab | 2,971.5 ± 79.1a | 0.277 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 408.6 ± 403.5a | 1,528.7 ± 744.2a | 925.9 ± 243.6a | 0.236 |
| | 1 | 1,698.3 ± 1,744.3a | 4,242.5 ± 4,920.0a | 5,127.6 ± 84.0a | 0.564 |
| Pymetrozine | 1/2 | 1,226.5 ± 1,523.6a | 12,290.3 ± 5,734.3c | 6,729.7 ± 6,630.0a | 0.246 |
| | 1 | 5,941.5 ± 8,297.2ab | 11,933.6 ± 9,223.5ab | 4,830.5 ± 5,902.7a | 0.667 |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 1,049.1 ± 291.5a | 12,690.4 ± 1,878.5c | 7,639.3 ± 10,661.8a | 0.315 |
| | 1 | 12,150.5 ± 5,878.4b | 15,073.4 ± 569.8b | 3,773.5 ± 4,244.5a | 0.146 |
| Spirotetramat | 1/2 | 319.5 ± 14.6a | 473.4 ± 180.7a | 5,276.9 ± 2,801.3a | 0.089 |
| | 1 | 2,337.9 ± 138.2a | 9,379.4 ± 10,196.7ab | 5,648.5 ± 3,521.1a | 0.587 |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 10,012.4 ± 8,170.4b | 2,901.8 ± 3,674.0ab | 3,965.3 ± 3,385.6a | 0.308 |
| | 1 | 909.5 ± 1,020.3a(a)[b)] | 3,361.9 ± 1,762.3a(ab) | 4,767.5 ± 1,090.0a(b) | 0.032* |
| Dinotefuran | 1/2 | 3,965.3 ± 3,385.6ab | 7,983.5 ± 5,035.1bc | 3,717.2 ± 3,969.5a | 0.428 |
| | 1 | 1,498.5 ± 802.5a | 2,273.6 ± 2,598.7a | 2,267.0 ± 1,489.0a | 0.835 |
| Gamma-cyhalothrin | 1/2 | 5,035.1 ± 5,154.3ab | 3,881.8 ± 1,498.0ab | 2,439.9 ± 1,883.0a | 0.646 |
| | 1 | 2,591.4 ± 1,983.9a | 5,688.2 ± 8,291.7ab | 5,431.2 ± 7,011.4a | 0.810 |
| Novaluron | 1/2 | 5,460.8 ± 4,494.4ab | 4,480.5 ± 2,608.7ab | 6,179.2 ± 665.3a | 0.795 |
| | 1 | 3,927.3 ± 1,464.2a | 1,298.5 ± 282.9a | 1,887.4 ± 2,370.8a | 0.194 |
| Spinosad | 1/2 | 2,050.9 ± 524.0ab | 985.2 ± 556.2a | 2,449.8 ± 2,129.4a | 0.331 |
| | 1 | 816.8 ± 414.5a | 3,602.7 ± 3,105.1a | 3,057.9 ± 2,204.9a | 0.419 |
| Control | - | 1,912.1 ± 1,373.7aba | 1,874.1 ± 2,786.4aba | 561.3 ± 663.9aa | |
| P (1/2 fold)[ab] | | 0.186 | 0.002** | 0.468 | |
| P (1 fold)[ab] | | 0.037* | 0.130 | 0.752 | |

Conc.; Concentration. Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides; ( )[b)] indicates significantly different among populations.

Acetamiprid의 경우 기준량의 1/2배에서 보다 기준량을 처리했을 때, 세 개체군에서 비탐침기간이 64(이월), 29(노은), 3.2(실험실)배 정도 더 길게 나타났다. Cyantraniliprole의 경우도 마찬가지로, 기준량 처리시 세 개체군에서 각각 약 4(이월), 2(노은), 3(실험실)배 더 많이 나타났고, spirotetramat도 기준량에서 각각 7, 19, 1.1배 더 많이 나타났다. 이와 대조적으로, dinotefuran을 기준량 처리시 세 개체군에서 각각 약 2, 3, 1.6배 더 적게 나타났고, novaluron도 기준량 처리시 1.3, 3, 3배 더 적게 나타났다. Chlorfenapyr의 경우 기준량을 처리했을 때, 세 개체군 간에 유의한 차이를 나타냈는데(P=0.032) 실험실> 노은> 이월 개체군 순으로 비탐침기간을 가졌으며 실험실 개체군은 이월 개체군보다 약 5배 더 많은 비탐침기간을 나타냈다.

### 총 탐침 소요시간

탐침활동의 총 기간은 이월 개체군의 경우, 약제를 기준량으로 처리했을 때, 유의차를 보였다(P=0.039). 기준량의 1/2배를 처리하였을 때 gamma-cyhalothrin과 novaluron을 제외한 나머지 약제에서 무처리보다 더 적은 탐침활동을 보였지만, cyantraniliprol을 제외한 나머지 등록약제는 기준량을 처리했을 때, 탐침활동이 더욱 많이 나타나 무처리구와 차이를 보였다. 특히 acetamiprid, spirotetramat을 기준량으로 처리했을 때, 무처리보다 약 2배 많은 탐침활동을 가졌다. 비등록약제는 novaluron을 제외하고, 기준량을 처리했을 때, 탐침활동이 더 적게 나타났다. 노은 개체군의 경우, pymetrozine, novaluron, spinosad를 처리하였을 때, 위의 이월개체와 같이 탐침 활동은 기준량에서 더욱 많이 나타났지만, 나머지 약제에서는 기준량의 1/2배 처리구보다 적은 탐침 활동을 보였다. 실험실 개체군의 경우, 세 개체군 중에서 모든 약제에서 기준량 처리시 더 많은 구침활동을 하거나 기준량의 1/2배 처리구 결과와 비슷한 수준을 나타냈다. Pymetrozine은 기준량을 처리했을 때, 세 개체군에서 탐침활동은 5(이월), 1.6(노은), 1.4(실험실)배 더 많이 나타났다. 대조적으로 gamma-cyhalothrin은 각각 1.1, 1.8, 1.4배 더 적게 나타났다. Spirotetramat은 기준량의 1/2배 배 처리시 실험실> 노은> 이월 개체군 순의 탐침활동을, 기준량 처리

**Table 4.** Average running seconds depending on total duration of pathway phase (C) using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration of 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 1,736.2 ± 1,202.6a[a)] | 4,914.5 ± 2,675.6ab | 2,738.8 ± 1,229.8a | 0.342 |
| | 1 | 11,771.1 ± 6,884.4bc | 3,198.3 ± 306.6a | 10,281.8 ± 6,597.1ab | 0.375 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 4,218.2 ± 1,944.8ab | 12,279.5 ± 6,315.4b | 6,188.7 ± 478.1ab | 0.237 |
| | 1 | 1,390.2 ± 1,225.6a | 7,103.2 ± 4,300.3a | 12,032.9 ± 5,673.0b | 0.177 |
| Pymetrozine | 1/2 | 1,609.2 ± 943.0a(a)[b)] | 5,724.6 ± 1,201.2 ab(b) | 2,918.0 ± 1,365.1 a(ab) | 0.084 |
| | 1 | 9,608.9 ± 2,860.4bc | 9,416.0 ± 8,944.1a | 4,187.8 ± 3,146.7ab | 0.613 |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 5,309.4 ± 1,655.7ab | 7,175.3 ± 514.4ab | 3,459.1 ± 4,000.2a | 0.441 |
| | 1 | 7,993.0 ± 6,915.3abc | 5,567.9 ± 1,709.0a | 4,436.2 ± 5,049.6ab | 0.787 |
| Spirotetramat | 1/2 | 3,723.2 ± 1,005.3 ab(a) | 7,395.3 ± 1,208.3 ab(ab) | 11,698.5 ± 2,426.0b(b) | 0.039* |
| | 1 | 12,454.0 ± 3,368.5 c(a) | 3,759.6 ± 387.5a(b) | 11,598.7 ± 825.6b(a) | 0.040* |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 6,507.4 ± 2,001.1ab | 7,983.5 ± 5,526.8ab | 6,357.8 ± 4,824.3ab | 0.884 |
| | 1 | 4,332.6 ± 3,443.0ab | 6,234.9 ± 843.7a | 9,428.9 ± 3,601.2ab | 0.178 |
| Dinotefuran | 1/2 | 6,357.8 ± 4,824.3ab | 7,125.7 ± 3,146.5ab | 4,466.9 ± 2,333.3a | 0.665 |
| | 1 | 5,624.0 ± 740.5abc | 6,730.0 ± 2,939.9a | 5,457.2 ± 2,341.8ab | 0.756 |
| Gamma- cyhalothrin | 1/2 | 7,792.0 ± 2,660.8ab | 9,293.2 ± 1,574.8ab | 6,433.8 ± 4,443.1ab | 0.565 |
| | 1 | 7,183.5 ± 4,110.2abc | 4,929.3 ± 2,679.3a | 4,581.2 ± 2,961.1ab | 0.605 |
| Novaluron | 1/2 | 5,342.7 ± 4,316.9ab | 4,151.2 ± 2,306.3a | 7,554.2 ± 3,073.5ab | 0.491 |
| | 1 | 8,570.1 ± 4,222.8abc | 6,531.7 ± 3,255.5a | 8,959.8 ± 7,132.8ab | 0.829 |
| Spinosad | 1/2 | 9,557.0 ± 5,894.4b | 6,601.4 ± 4,249.0ab | 11,221.9 ± 3,459.2b | 0.466 |
| | 1 | 4,563.8 ± 807.1ab | 8,943.6 ± 6,388.9a | 8,223.9 ± 3,942.5ab | 0.508 |
| Control | - | 6,702.6 ± 2,048.8ab abc | 4,699.2 ± 4,928.3aba | 1,207.2 ± 908.1aa | |
| P(1/2fold)ab | | 0.333 | 0.526 | 0.026* | |
| P(1fold)ab | | 0.039* | 0.850 | 0.159 | |

Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides; ( )[b)] indicates significantly different among populations.

시 이월> 실험실> 노은 개체군 순의 탐침활동으로 유의차를 보였다(Table 4).

### 체관부에서 섭식행동

체관부를 섭식할 때 두 가지의 다른 섭식행동(E1, E2)이 수반되는데, 첫 번째는 체관부로의 gelling 타액을 분비하여 구기를 고정시킬 수 있는 구기집 형성 후 watery 타액을 분비하여 세포내 구멍을 뚫고, 섭식 전까지 분비하는 행동과 두 번째는 반드시 E1 이후에 나타나는 것으로 체관부를 섭식(E2)하는 행동이 있다(Tjallingii, 2006; Prado and Tjallingii, 2007; Bos et al., 2010). E1는 독립적으로 발생할 수 있지만, E2는 독립적으로 발생할 수 없으므로 섭식행동분석 시 두 파형을 개별적으로 분석하였다.

### 체관부에서 타액분비 시간(E1)

체관부를 섭식하기 전 타액을 분비하는데 총 소요시간은 세 개체군에서 농도에 상관없이 유의한 차이는 나타나지 않았다(Table 5). 이월 개체군의 경우, 모든 약제를 기준량으로 처리했을 때 pyrifluquinazon, spinosad를 제외하고 체관부 타액분비기간을 더 많이 가졌다. 특히 spirotetramat, pymetrozine은 기준량으로 처리했을 때 무처리 대비 각각 6배, 5배 더 많이 나타났으며, 가장 많은 체관부 타액분비기간을 갖는다. 노은 개체군의 경우, 모든 약제를 기준량으로 처리했을 때 gamma-cyhalothrin, novaluron, spinosad를 제외하고 체관부 타액분비기간을 더 적게 가졌다. 그리고 기준량의 1/2배를 처리했을 때와 비교하여 기준량 처리시 gamma-cyhalothrin를 제외하고 모든 약제에서 무처리대비 체관부 타액분비가 감소한 것을 확인하였다. 특히 pymetrozine과 pyrifluquinazon을 기준량으로 처리했을 때, E1 파형은 나타나지 않았으며, 이는 체관부를 섭식하지 않았음을 나타내는 결과이다. 실험실 개체군은 모든 약제를 기준량으로 처리했을 때 cyantraniliprole에서 가장 많은 타액분비기간을 나타내었다.

복숭아혹진딧물의 구침을 체관부내에 침투하여 타액을 분비하는 총 소요 시간에서 약제 당 개체군 별 유의차는 cyantraniliprole을 기준량의 1/2배 처리하였을 때, 개체군 간

**Table 5.** Average running seconds depending on total duration of phloem salivation (E1) time using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration of 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 397.3 ± 523.3ab[a)] | 53.0 ± 14.7a | 166.7 ± 186.9a | 0.605 |
| | 1 | 750.0 ± 348.9abc | 50.0 ± 15.8a | 884.0 ± 560.6a | 0.209 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 59.6 ± 33.1a(a)[b)] | 1,807.7 ± 139.2b(b) | 79.4 ± 38.9a(a) | 0.000** |
| | 1 | 541.9 ± 725.5abc | 203.4 ± 235.9a | 2,948.8 ± 3,903.7b | 0.510 |
| Pymetrozine | 1/2 | 430.9 ± 146.3ab | 26.3 ± 37.2a | 423.1 ± 302.4a | 0.205 |
| | 1 | 1,130.8 ± 1,371.7bc | 0.0 ± 0.0a | 89.5 ± 126.6a | 0.403 |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 641.6 ± 558.7ab | 808.3 ± 1,143.1ab | 72.8 ± 4.3a | 0.625 |
| | 1 | 251.4 ± 309.8ab | 0.0 ± 0.0a | 88.8 ± 14.1a | 0.461 |
| Spirotetramat | 1/2 | 55.3 ± 4.2a | 1,223.6 ± 1,689.7ab | 249.9 ± 261.1a | 0.525 |
| | 1 | 1,489.7 ± 493.8c | 384.5 ± 491.6a | 384.9 ± 514.3a | 0.177 |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 16.5 ± 28.5a | 280.1 ± 293.2a | 267.4 ± 286.8a | 0.371 |
| | 1 | 70.8 ± 105.4a | 254.8 ± 386.0a | 558.1 ± 590.8a | 0.400 |
| Dinotefuran | 1/2 | 267.4 ± 286.8a | 652.0 ± 792.5ab | 177.8 ± 151.5a | 0.500 |
| | 1 | 275.9 ± 255.9ab | 29.5 ± 41.9a | 495.6 ± 393.1a | 0.191 |
| Gamma- cyhalothrin | 1/2 | 0.0 ± 0.0a(a) | 927.9 ± 473.2 ab(ab) | 918.8 ± 772.2a(b) | 0.118 |
| | 1 | 337.2 ± 329.6ab | 1,031.7 ± 1,711.8a | 119.3 ± 141.3a | 0.547 |
| Novaluron | 1/2 | 112.4 ± 130.3a(a) | 390.9 ± 309.6 ab(ab) | 670.4 ± 156.5a(b) | 0.051 |
| | 1 | 442.7 ± 339.1ab | 552.7 ± 540.5a | 204.5 ± 296.2a | 0.590 |
| Spinosad | 1/2 | 1,172.1 ± 966.2b | 135.4 ± 129.1a | 1,704.3 ± 2,778.5a | 0.550 |
| | 1 | 443.4 ± 345.0ab | 150.7 ± 197.9a | 562.5 ± 534.2a | 0.451 |
| Control | - | 213.7 ± 268.3aab | 628.6 ± 1,025.0aa | 313.9 ± 383.6aa | |
| P(1/2fold)[ab] | | 0.084 | 0.301 | 0.755 | |
| P(1fold)[ab] | | 0.171 | 0.842 | 0.304 | |

Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides; ( )[b)] indicates significantly different among populations.

에 노은> 실험실> 이월 개체군 순으로 유의차가 나타났다. Novaluron도 기준량의 1/2배 처리하였을 때, 개체군 간에 유의값에 가까운 차이를 나타냈는데 실험실> 노은> 이월 개체군 순으로 나타났다. Chlorfenapyr를 기준량의 1/2배 처리하였을 때, 무처리와 대비하여 세 개체군의 체관부 타액 분비기간이 모두 감소한 것을 확인하였다.

**체관부에서 섭식시간(E2)**

체관부를 섭식한 총 소요시간은 이월 개체군의 경우, 기준량의 약제를 처리하였을 때 유의차를 보였으며, 무처리구와 cyantraniliprole, dinotefuran, spinosad 기준량 처리구는 나머지 약제에 비해 많은 섭식시간을 나타냈다(Table 6). 등록약제 5가지를 기준량의 1/2배로 처리했을 때, 무처리 대비 모두 더 많은 시간을 나타냈으며, 대조적으로 비등록약제 5가지를 동일하게 처리했을 때는 더 적은 시간을 나타내며 유의차를 확인하였다. 노은 개체군은 약제를 기준량의 1/2배로 처리했을 때, spinosad를 제외하고 나머지 약제에서 무처리대비 더 적은 시간 동안 체관부를 섭식하였으며, 기준량으로 처리했을 때는 모든 약제에서 무처리 대비 체관부 섭식의 감소를 보였다. 그리고 앞서 E1 파형이 나타나지 않은 pymetrozine과 pyrifluquinazon의 경우 E2 역시 관찰할 수 없었다. 특히 pyrifluquinazon에서 가장 적은 E2 시간을 가졌다. Pyfluquinazon 기준량의 1/2배 처리구에서는 앞서 E1은 나타냈지만, E2는 관찰할 수 없었다. 실험실 개체군의 경우, spirotetramat을 기준량의 1/2배 처리하였을 때 나머지 개체군에 비해 4(이월), 6(노은)배 더 적은 체관부섭식을 보이며 유의차를 나타냈지만, 기준량을 처리하였을 때에는 나머지 개체군과 달리 체관부섭식의 감소가 나타나지 않고 오히려 증가하였다. 또 모든 약제에서 농도 관계없이 무처리구에 비해 적은 E2시간을 가졌다. E2 소요시간의 약제 당 개체군 별 유의차는 cyantraniliprole을 기준량 처리했을 때, 이월> 노은> 실험실 개체군 순으로 유의차를 나타냈고, spirotetramat을 기준량의 1/2배 처리했을 때, 이월> 노은> 실험실 개체군 순으로 유의차를 나타냈고, gamma-cyhalothrin을 기준량의 1/2배 처리하였을 때, 체관부 섭식소요시간은 실험실> 노은> 이월 개체군 순으로 유의차를 나타냈

**Table 6.** Average running seconds depending on total duration of phloem ingestion (E2) time using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration of 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 16,165.5 ± 3,794.3b[a)] | 7,080.6 ± 3,247.2ab | 15,839.5 ± 523.8ab | 0.084 |
| | 1 | 1,051.3 ± 1,486.8ab | 10,329.2 ± 4,804.5a | 2,291.4 ± 208.4a | 0.089 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 16,897.9 ± 2,310.7b | 4,476.5 ± 6,330.8ab | 14,352.8 ± 713.8ab | 0.097 |
| | 1 | 17,948.7 ± 3,700.4b(b)[b)] | 5,121.5 ± 3,688.7a(a) | 162.4 ± 229.7a(a) | 0.021* |
| Pymetrozine | 1/2 | 18,309.6 ± 439.4b(b) | 3,264.2 ± 4,616.2ab(ab) | 11,499.7 ± 4,959.0ab(b) | 0.069 |
| | 1 | 4,847.5 ± 6,855.4ab | 0.0 ± 0.0a | 7,210.3 ± 10,196.9ab | 0.632 |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 14,566.5 ± 2,536.5b | 0.0 ± 0.0a | 10,364.9 ± 14,658.2ab | 0.349 |
| | 1 | 125.9 ± 130.1a | 0.0 ± 0.0a | 11,464.0 ± 11,848.8ab | 0.299 |
| Spirotetramat | 1/2 | 17,377.2 ± 852.4b(b) | 12,441.1 ± 3,080.5b(b) | 2,591.8 ± 2,175.6a(a) | 0.015* |
| | 1 | 1,775.3 ± 1,403.6a(a) | 5,093.8 ± 6,977.5 a(ab) | 3,728.7 ± 3,789.6a(b) | 0.079 |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 4,992.8 ± 8,647.7ab | 8,159.5 ± 7,223.4ab | 10,259.2 ± 8,908.6ab | 0.747 |
| | 1 | 10,893.8 ± 10,166.6ab | 3,801.4 ± 6,584.1a | 5,980.2 ± 5,294.2ab | 0.542 |
| Dinotefuran | 1/2 | 10,259.2 ± 8,908.6ab | 3,011.5 ± 5,216.0ab | 13,133.0 ± 6,329.2ab | 0.265 |
| | 1 | 12,629.2 ± 3,534.8ab | 4,729.0 ± 8,108.2a | 13,319.0 ± 3,615.9ab | 0.187 |
| Gamma- cyhalothrin | 1/2 | 0.0 ± 0.0a(a) | 5,757.7 ± 2,168.8ab(ab) | 11,351.1 ± 6,747.7ab(b) | 0.040* |
| | 1 | 8,429.1 ± 8,888.8ab | 9,205.4 ± 9,218.0a | 11,166.0 ± 9,819.0ab | 0.934 |
| Novaluron | 1/2 | 7,714.7 ± 10,120.0ab | 9,476.4 ± 4,124.3ab | 6,923.2 ± 3,134.8ab | 0.890 |
| | 1 | 5,267.3 ± 7,743.5ab | 10,663.8 ± 3,802.4a | 6,083.5 ± 10,536.9ab | 0.681 |
| Spinosad | 1/2 | 7,909.1 ± 6,184.7ab | 13,339.2 ± 3,647.6b | 4,870.9 ± 5,534.1a | 0.214 |
| | 1 | 15,179.9 ± 1,276.3b | 6,171.2 ± 8,393.2a | 8,768.3 ± 7,712.9ab | 0.268 |
| Control | - | 11,185.2 ± 4,211.6abab | 12,513 ± 8,127.5ba | 19,510.1 ± 1,983.6bb | |
| P(1/2fold)[ab] | | 0.068 | 0.131 | 0.203 | |
| P(1fold)[ab] | | 0.033* | 0.537 | 0.226 | |

Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides; ( )[b)] indicates significantly different among populations.

다. 노은 개체군에서 비등록약제 chlorfenapyr에 대한 결과는 등록약제와 마찬가지로 농도에 상관없이 무처리와 대비했을 때 모두 적은 E2 시간을 가졌으며, 농도가 높을 때, 약 2배 적은 체관부섭식 시간 나타냈다. Dinotefuran과 novaluron의 경우, 세 개체군에서 농도가 증가해도 각각 유사한 수준의 E2를 나타냈으며, spinosad는 노은 개체군에서만 농도 증가에 따른 체관부섭식의 감소를 나타냈다.

### 물관부에서 섭식시간(G)

물관부를 섭식할 때 나타나는 파형(G)은 세 개체군 내에서 약제별 유의차가 나타나지 않았으며, 약제에 따른 개체군별 분석결과도 유의차는 없었다(Table 7). 그러나 유의차에 가깝게 나타난 것은 실험실 개체군에서 약제를 기준량으로 처리하였을 때, novaluron의 경우 물관부 섭식 시간이 가장 많은 것으로 나타났다. 그리고 노은 개체군에 pyrifluquinazon을 처리하였을 때, 두 농도에 대한 물관부 섭식시간이 유사하게 나타났다. 대부분의 경우 무처리구와 같이 물관부 섭식이 거의 일어나지 않거나 짧게 일어나기 때문에 섭식행동의 저해 유무를 판단하기 어렵다.

### 관다발조직 이외에서 섭식시간(F)

진딧물의 구침이 정상적인 경로를 이탈하였을 때를 나타내는 파형(F)은 세 개체군 내에서 약제별 유의차가 나타나지 않았으며, 약제에 따른 개체군별 분석결과 pymetrozine을 기준량 처리하였을 때 실험실> 노은, 이월 개체군 순으로 유의차가 나타났다(Table 8). 본 파형의 경우 약제의 농도가 증가함에 따라 발생기간도 증가하는 경향을 보이는데, acetamiprid를 제외하고 각 개체군에서 살충효과를 보인 것으로 확인된 약제의 경우에서 그 수치가 증가하는 경향을 보였다.

**Table 7.** Average running seconds depending on total duration of feeding xylem (G) using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration of 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 0.0 ± 0.0a[a)] | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | - |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 1,023.2 ± 792.7a | 0.465 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 517.3 ± 686.3ab | 0.0 ± 0.0a | 0.429 |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 1,075.6 ± 1,521.1ab | 0.465 |
| Pymetrozine | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | - |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 60.9 ± 86.2a | 0.0 ± 0.0a | 0.465 |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 849.9 ± 1,201.9b | 0.0 ± 0.0a | 0.465 |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 853.3 ± 1,206.8a | 36.4 ± 51.5a | 0.477 |
| Spirotetramat | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 266.5 ± 376.9a | 0.465 |
| | 1 | 1,023.2 ± 792.7a | 0.0 ± 0.0a | 121.9 ± 172.4a | 0.465 |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 725.8 ± 1,257.0a | 0.422 |
| | 1 | 1,636.9 ± 2,835.2a | 1,817.4 ± 3,147.8a | 0.0 ± 0.0a | 0.628 |
| Dinotefuran | 1/2 | 725.8 ± 1,257.0a | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 0.422 |
| | 1 | 108.3 ± 187.5a | 2,049.8 ± 3,550.3a | 25.5 ± 38.5a | 0.443 |
| Gamma- cyhalothrin | 1/2 | 3,661.7 ± 6,308.8a | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 0.419 |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | - |
| Novaluron | 1/2 | 412.1 ± 713.8a | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 0.422 |
| | 1 | 952.0 ± 889.7a | 0.0 ± 0.0a | 2,382.5 ± 2,072.1b | 0.158 |
| Spinosad | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 485.3 ± 840.5a | 0.422 |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 197.4 ± 341.8a | 0.0 ± 0.0a | 0.422 |
| Control | - | 0.0 ± 0.0aa | 239.1 ± 414.1aba | 0.0 ± 0.0aa | |
| P(1/2fold)[ab] | | 0.706 | 0.305 | 0.752 | |
| P(1fold)[ab] | | 0.589 | 0.796 | 0.062 | |

Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides.

**Table 8.** Average running seconds depending on total duration of derailed stylet (F) using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 0.0 ± 0.0a[a)] | 9,296,7 ± 6,195.0b | 1,933.6 ± 2,734.5b | - |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 1,349.1 ± 1,907.9a | 4,271.8 ± 5,849.7ab | 0.542 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 690.4 ± 294.9a | 0.0 ± 0.0a | 0.429 |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 4,847.9 ± 5,801.5a | 175.8 ± 92.1a | 0.382 |
| Pymetrozine | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 96.0 ± 135.8a | 0.0 ± 0.0a | - |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a(a)[b)] | 135.0 ± 191.0a(a) | 5,181.0 ± 1,204.0b(b) | 0.008** |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 0.0 ± 0.0a | 32.4 ± 45.9a | 0.465 |
| | 1 | 1,054.7 ± 1,491.5a | 60.9 ± 86.2a | 1,779.3 ± 2,516.3ab | 0.639 |
| Spirotetramat | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 26.5 ± 37.4a | 1,470.9 ± 1,877.2ab | 0.465 |
| | 1 | 2,279.9 ± 3,224.3a | 2,919.5 ± 4,128.8a | 0.0 ± 0.0a | 0.542 |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 1,801.8 ± 3,032.2a | 0.0 ± 0.0a | 0.404 |
| | 1 | 3,750.3 ± 3,385.3a | 6,108.0 ± 5,347.4a | 826.8 ± 1,432.1a | 0.297 |
| Dinotefuran | 1/2 | 0.0 ± 0.0a | 2,651.5 ± 4,592.6a | 0.0 ± 0.0a | 0.422 |
| | 1 | 1,233.7 ± 2,136.8a | 5,773.9 ± 6,678.6a | 0.0 ± 0.0a | 0.261 |
| Gamma- cyhalothrin | 1/2 | 5,073.8 ± 8,788.1a | 1,696.4 ± 2,904.5a | 319.3 ± 553.0ab | 0.566 |
| | 1 | 2,902.7 ± 3,980.7a | 558.6 ± 967.5a | 21.0 ± 36.3a | 0.349 |
| Novaluron | 1/2 | 2,525.4 ± 4,374.2a | 3,064.5 ± 4,605.9a | 0.0 ± 0.0a | 0.580 |
| | 1 | 2,392.4 ± 3,426.7a | 2,354.8 ± 4,078.6a | 2,069.8 ± 3,431.9ab | 0.993 |
| Spinosad | 1/2 | 831.7 ± 720.3a | 490.7 ± 849.8a | 431.5 ± 747.4ab | 0.799 |
| | 1 | 0.0 ± 0.0a | 2,452.7 ± 4,160.5a | 768.2 ± 1,260.6a | 0.512 |
| Control | - | 1,547.3 ± 1,401.4aa | 1,618.9 ± 2,804.0aa | 0.0 ± 0.0aa | |
| P (1/2fold)[ab] | | 0.782 | 0.258 | 0.307 | |
| P (1fold)[ab] | | 0.570 | 0.697 | 0.165 | |

Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides; ( )[b)] indicates significantly different among populations.

### 총 탐침횟수

복숭아혹진딧물이 섭식을 시도한 총 횟수를 나타내는 (total number of probes) 결과는(Table 9), 무처리에서 나타난 횟수를 기준으로 많을 경우, 약제에 대한 반응으로 섭식에 적합하지 않을 때 계속해서 적합한 먹이를 찾고자 하는 시도로 해석된다. 노은 개체군에서 농도에 관계없이 약제간 차이를 확인할 수 있었지만, 나머지 개체군에서는 유의차를 확인할 수 없었다. 노은 개체군에서 탐침 수는 pymetrozine과 pyrifluquinazon에서 가장 많이 나타났다. 약제에 따른 개체군별 분석결과 pyrifluquinazon을 기준량으로 처리하였을 때 노은> 이월> 실험실 개체군 순으로 탐침 수의 유의차를 관찰할 수 있었으며, spirotetramat을 기준량의 1/2배로 처리하였을 때 실험실> 노은> 이월 개체군 순으로 탐침 수의 유의차가 나타났고, novaluron을 기준량의 1/2배로 처리하였을 때 실험실> 노은> 이월 개체군 순으로 세 개체군 간에 유의차를 확인할 수 있었는데 이는 novaluron에 대한 살충효력 시험 결과 실험실 개체군에서 60% 미만이지만 최대 방제가를 나타낸 것과 연관 지을 수 있을 것으로 보인다.

### 최초 탐침하는데 소요된 시간

복숭아혹진딧물의 첫 탐침 시간(time to first probe)은 먹이에 반응하는 진딧물의 행동을 보는 것으로, 섭식에 기피를 일으키는 약제의 경우 첫 탐침 시간이 지연되어 나타나기도 한다. 따라서 첫 탐침 까지 걸리는 시간이 길수록 섭식행동을 저해하는 것으로 판단하여 분석하였다. 그 결과 무처리구와 처리구간의 유의차를 확인할 수 없었지만 각 약제의 농도에 따른 반응을 통해 섭식행동의 변화를 살펴보았다 (Table 10). 각 개체군별로 살펴보면, 실험실 개체군의 경우 약제 농도가 증가했을 때, 모든 약제에 대한 반응은 무처리에 비해 첫 탐침 시간이 지연되었으며, 이월 개체군은

**Table 9.** Average number depending on total number of probes using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 6.0 ± 4.2a[a)] | 5.0 ± 4.2a | 13.0 ± 7.1a | 0.387 |
| | 1 | 44.5 ± 47.4a | 39.0 ± 12.7abc | 27.5 ± 12.0a | 0.846 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 10.5 ± 4.9a | 45.0 ± 26.9ab | 19.5 ± 4.9a | 0.230 |
| | 1 | 8.5 ± 4.9a | 19.5 ± 4.9a | 25.0 ± 14.1a | 0.148 |
| Pymetrozine | 1/2 | 14.5 ± 9.2a | 57.5 ± 27.6bc | 30.0 ± 7.1a | 0.181 |
| | 1 | 53.0 ± 62.2a | 79.5 ± 2.1c | 31.0 ± 35.4a | 0.567 |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 18.5 ± 6.4a | 95.0 ± 8.5c | 42.5 ± 57.3a | 0.213 |
| | 1 | 19.0 ± 7.1a(a)[b)] | 71.0 ± 1.4bc(b) | 7.5 ± 4.9a(a) | 0.002** |
| Spirotetramat | 1/2 | 7.0 ± 2.8a(a) | 16.0 ± 7.1ab(a) | 41.0 ± 2.8a(b) | 0.011* |
| | 1 | 30.0 ± 2.8a | 43.5 ± 6.4abc | 165.0 ± 162.6b | 0.402 |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 50.0 ± 44.5a | 18.7 ± 21.1ab | 35.3 ± 33.9a | 0.569 |
| | 1 | 10.0 ± 7.0a | 17.7 ± 4.0a | 46.3 ± 30.2a | 0.104 |
| Dinotefuran | 1/2 | 35.3 ± 33.9a | 44.3 ± 28.4ab | 21.0 ± 22.6a | 0.627 |
| | 1 | 18.0 ± 7.5a | 26.3 ± 13.2ab | 11.7 ± 4.0a | 0.220 |
| Gamma- cyhalothrin | 1/2 | 17.7 ± 15.0a | 32.3 ± 8.7ab | 23.0 ± 14.0a | 0.423 |
| | 1 | 36.0 ± 25.7a | 39.7 ± 46.1abc | 29.7 ± 23.7a | 0.934 |
| Novaluron | 1/2 | 17.0 ± 10.6a(a) | 18.7 ± 3.1ab(a) | 55.7 ± 20.0a(b) | 0,019* |
| | 1 | 60.7 ± 55.9a | 15.0 ± 2.6a | 22.0 ± 26.2a | 0.311 |
| Spinosad | 1/2 | 28.0 ± 7.5a | 15.3 ± 14.0ab | 25.7 ± 13.5a | 0.442 |
| | 1 | 27.7 ± 17.2a | 41.7 ± 22.5abc | 39.3 ± 20.0a | 0.675 |
| Control | - | 17.0 ± 9.2aa | 29.0 ± 34.7abab | 11.3 ± 11.8aa | |
| P (1/2fold)[ab] | | 0.447 | 0.014* | 0.504 | |
| P (1fold)[ab] | | 0.523 | 0.099 | 0.096 | |

Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides; ( )[b)] indicates significantly different among populations.

cyantraniliprole, spinosad를 제외하고 모두 지연되었고, 노은 개체군은 cyantraniliprole, chlorfenapyr, spinosad를 제외하고 모두 지연되었다. 각 약제별로 반응을 살펴보면 먼저, acetamiprid의 농도에 따른 각 개체군의 첫 탐침 시간은 노은 개체군에서는 큰 차이 없었지만 이월 개체군에서는 기준량 처리시 약 300초 더 늦게 나타났으며, 실험실 개체군에서는 오히려 약 290초 더 빠르게 나타났다. 그리고 실험실 개체군의 경우, acetamiprid을 기준량의 1/2배를 처리하였을 때 첫 탐침 까지 약 3-70초 미만으로 소요된 다른 약제에서와 달리 300초대에 이르며 유의값에 가까운 수치를 나타냈다. 살충효과가 나타나지 않은 cyantraniliprole의 경우, 세 개체군에서 두 농도에 따른 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 실험실개체군을 제외한 이월, 노은 개체군에서 무처리와 유사한 수치를 보였다. Pymetrozine을 기준량의 1/2배로 처리하였을 때에는 세 개체군간의 차이가 적게 나타났지만, 기준량에서 이월 개체군은 무처리와 유사한 첫 탐침을 보였으며 노은 개체군은 약20초 더 늦은 첫 탐침을 보였고, 실험실개체군은 농도에 따른 차이는 나타나지 않았다. Pyrifluquinazon의 경우, 모든 개체군에서 농도에 따른 첫 탐침 시간의 변화가 가장 뚜렷하게 나타났다. 기준량의 1/2배를 처리하였을 때와 비교해서 기준량을 처리했을 때, 이월 개체군의 경우 약 1,550초, 노은 개체군은 약 190초, 실험실 개체군은 약 180초 정도 첫 탐침행동이 많이 지연된 것을 관찰할 수 있었다. 2016 작물보호제 지침서에서 표기된 내용에 따르면, 약제저항성을 갖는 해충에 효과적으로 작용하며 빠른 섭식억제작용 및 약효지속이 길게 나타나는 약제특성을 가지며 이에 따라 섭식기피행동으로 나타난 것으로 볼 수 있다. 또한 기준량의 1/2배 처리하였을 때 이월> 실험실, 노은 개체군 순으로 첫 탐침 시간의 유의차를 관찰할 수 있었다. Chlorfenapyr는 노은 개체군을 제외하고 두 개체군에

**Table 10.** Average running seconds depending on Time to first probe using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 0.4 ± 0.1a[a)] | 13.3 ± 18.5a | 315.6 ± 338.7b | 0.327 |
| | 1 | 388.5 ± 478.6a | 12.6 ± 5.6a | 24.2 ± 1.2a | 0.415 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 16.6 ± 19.1a | 16.0 ± 3.3a | 33.1 ± 4.0a | 0.365 |
| | 1 | 1.8 ± 2.5a | 6.4 ± 8.7a | 36.4 ± 51.4a | 0.535 |
| Pymetrozine | 1/2 | 24.3 ± 27.2a | 33.1 ± 30.9a | 24.3 ± 27.2a | 0.940 |
| | 1 | 8.7 ± 12.3 | 51.5 ± 54.4ab | 21.5 ± 4.4a | 0.486 |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 43.1 ± 5.1a(b)[b)] | 0.9 ± 0.4a(a) | 3.5 ± 4.7a(a) | 0.003** |
| | 1 | 1,594.9 ± 2,067.0b | 193.7 ± 272.8b | 285.8 ± 401.3a | 0.521 |
| Spirotetramat | 1/2 | 55.2 ± 77.9a | 4.3 ± 5.5a | 16.3 ± 22.6a | 0.585 |
| | 1 | 226.1 ± 255.0a | 66.8 ± 64.2ab | 25.9 ± 35.1a | 0.478 |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 79.8 ± 26.3a | 179.9 ± 226.5b | 29.0 ± 26.8a | 0.420 |
| | 1 | 101.2 ± 156.9a | 8.1 ± 13.2a | 51.5 ± 7.0a | 0.497 |
| Dinotefuran | 1/2 | 29.0 ± 26.8a | 684.9 ± 782.9b | 68.5 ± 78.1a | 0.221 |
| | 1 | 36.7 ± 52.5a | 16.1 ± 27.0a | 32.5 ± 37.0a | 0.808 |
| Gamma- cyhalothrin | 1/2 | 213.9 ± 302.5a | 35.8 ± 41.5a | 14.6 ± 13.3a | 0.377 |
| | 1 | 33.2 ± 57.0a | 47.3 ± 47.3ab | 84.8 ± 116.7a | 0.728 |
| Novaluron | 1/2 | 114.0 ± 164.6a | 17.7 ± 24.5a | 52.0 ± 23.5a | 0.508 |
| | 1 | 17.9 ± 15.7a(a) | 49.0 ± 60.6ab(ab) | 116.0 ± 35.1a(b) | 0.067 |
| Spinosad | 1/2 | 35.9 ± 23.5a | 91.8 ± 145.7a | 6.9 ± 8.7a | 0.505 |
| | 1 | 5.0 ± 4.5a | 3.7 ± 2.4a | 174.5 ± 301.1a | 0.436 |
| Control | - | 5.8 ± 5.8aa | 8.6 ± 9.6aa | 6.3 ± 2.1aa | |
| P(1/2fold)[ab] | | 0.678 | 0.241 | 0.078 | |
| P(1fold)[ab] | | 0.162 | 0.383 | 0.685 | |

Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides; ( )[b)] indicates significantly different among populations.

서는 높은 농도일 수록 첫 탐침이 늦춰지는 것을 보였다. Dinotefuran은 노은 개체군에서 가장 늦은 탐침을 보였다. 그러나 추천농도에서는 이와 유의한 결과를 볼 수 없었다. Gamma-cyhalothrin은 이월개체군을 제외하고 두 개체군에서는 높은 농도일수록 첫 탐침이 늦춰지는 것을 보였다.

### 체관부에서 처음으로 섭식하는데 소요된 시간

복숭아혹진딧물의 첫 체관부 섭식시간(Time to first feeding phloem)은 탐침활동을 거쳐 실제 섭식을 갖기 까지 걸리는 시간을 통해, 약제반응으로 인한 저해여부를 유추할 수 있다(Table 11). 모든 약제를 기준량의 1/2배로 처리하였을 때, 각 개체군별 반응으로 이월 개체군의 경우 chlorfenapyr, gamma-cyhalothrin, novalruon, spinosad를 제외한 약제에서 무처리보다 더 빠른 시간 내에 체관부를 섭식한 것으로 나타났다. 다음 노은 개체군은 동일한 농도에서 모든 약제에서 무처리에 비해 체관부 첫 섭식시간이 지연된 것으로 나타났으며, 마지막으로 실험실 개체군도 마찬가지로 나타났다. 또 모든 약제를 기준량으로 처리하였을 때에는, 이월 개체군에서 acetmiprid, pymetrozine, spirotetramat은 낮은 농도보다 더욱 지연된 섭식시간을 보였으며, 비등록약제의 경우 낮은 농도보다 더 빠른 섭식시간을 나타내며 유의한 결과는 없었다. 마찬가지로 노은 개체군에서 pymetrozine, chlorfenapyr, spinosad가 낮은 농도에서보다 더욱 지연된 섭식시간을 보였지만 나머지 약제에서는 모두 낮은 농도에서보다 더 빠른 섭식시간을 나타냈다. 그러나 실험실 개체군의 경우 pyrifluquinazon, dinotefuran을 제외하고 모든 약제에서 낮은 농도보다 더욱 지연된 섭식시간을 나타냈다. 특히 pymetrozine은 농도가 증가했을 때 모든 개체군에서 체관부 첫 섭식시간이 더욱 지연되는 것을 관찰하였고, 약제에 따른 개체군별 차이는 pyrifluquinazon을 기준량으로 처

**Table 11.** Average running seconds depending on Time to first feeding phloem using EPG techniques for *Myzus persicae* on pepper leaf treated 2 different concentration 10 different insecticides for 6 hours

| Insecticides | Conc. (fold) | Aphid Population | | | (P) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Iwol | Noeun | Laboratory | |
| Acetamiprid | 1/2 | 5,434.1 ± 3,794.2a[a)] | 14,506.1 ± 3,228.7ab | 4,186.7 ± 2,641.9a | 0.090 |
| | 1 | 14,420.3 ± 10,082.8a | 11,258.2 ± 4,810.1abc | 8,614.5 ± 7,799.4a | 0.778 |
| Cyantraniliprole | 1/2 | 4,020.0 ± 3,270.9a | 11,694.5 ± 13,982.6ab | 5,535.4 ± 1,656.3a | 0.662 |
| | 1 | 832.8 ± 285.6a | 7,870.8 ± 8,427.5abc | 13,951.0 ± 10,714.5a | 0.374 |
| Pymetrozine | 1/2 | 3,266.1 ± 466.5a | 11,854.1 ± 13,705.2 ab | 5,213.0 ± 1,945.4a | 0.589 |
| | 1 | 11,647.2 ± 14,050.7a | 21,548.5 ± 54.4c | 14,368.2 ± 10,192.5a | 0.639 |
| Pyrifluquinazon | 1/2 | 3,053.7 ± 3,036.1a | 21,599.1 ± 0.4b | 11,231.6 ± 14,662.9a | 0.247 |
| | 1 | 1,234.2 ± 208.3a(a)[b)] | 21,406.3 ± 272.8c(b) | 1,955.1 ± 1,084.7a(a) | 0.000** |
| Spirotetramat | 1/2 | 3,091.7 ± 2,451.8a | 9,154.6 ± 3,086.0ab | 10,309.1 ± 10,081.2a | 0.537 |
| | 1 | 3,550.6 ± 1,918.5a(a) | 2,484.7 ± 1,719.4 a(a) | 17,845.4 ± 3,824.7a(b) | 0.017* |
| Chlorfenapyr | 1/2 | 16,527.4 ± 8,673.9ab | 10,500.3 ± 9,831.9ab | 9,277.1 ± 10,879.0a | 0.648 |
| | 1 | 10,605.0 ± 10,017.6a | 17,790.6 ± 6,577.7bc | 11,444.8 ± 10,119.9a | 0.596 |
| Dinotefuran | 1/2 | 9,277.1 ± 10,879.0ab | 17,457.7 ± 5,475.0ab | 5,948.3 ± 2,428.1a | 0.210 |
| | 1 | 8,934.0 ± 3,557.9a | 13,033.7 ± 7,521.5abc | 4,821.1 ± 2,514.8a | 0.215 |
| Gamma- cyhalothrin | 1/2 | 21,386.1 ± 302.5b(a) | 12,718.1 ± 4,629.1 ab(b) | 7,086.6 ± 2,393.2a(b) | 0.003** |
| | 1 | 8,361.0 ± 10,280.9a | 9,695.6 ± 10,302.9abc | 10,349.2 ± 9,842.2a | 0.971 |
| Novaluron | 1/2 | 13,208.9 ± 9,555.5ab | 12,105.8 ± 4,101.7ab | 8,429.7 ± 5,442.4a | 0.681 |
| | 1 | 10,205.9 ± 10,079.3a | 10,571.3 ± 4,317.3abc | 15,400.6 ± 10,505.7a | 0.732 |
| Spinosad | 1/2 | 11,716.4 ± 6,439.8ab | 8,169.0 ± 3,785.8ab | 9,522.3 ± 10,461.2a | 0.844 |
| | 1 | 5,423.5 ± 1,956.5a | 11,477.2 ± 7,911.7abc | 9,903.9 ± 10,574.4a | 0.631 |
| Control | - | 9,612.2 ± 5,581.4aba | 13,342.9 ± 5,004.5aab | 9,239.7 ± 4,337.6aa | |
| P(1/2fold)[ab] | | 0.080 | 0.453 | 0.934 | |
| P(1fold)[ab] | | 0.583 | 0.095 | 0.474 | |

Values represent by means ± SD, *P<0.05, **P<0.01; Completely randomized one-way analysis of variance, ANOVA, Post Hoc Tests by Duncan in SPSS version 22.0. [a)] indicates significantly different among insecticides; ( )[b)] indicates significantly different among populations.

리하였을 때 노은 개체군에서 가장 늦게 나타났으며, 실험실 개체군, 이월 개체군 순으로 유의차를 나타냈다. Spirotetramat 역시 기준량으로 처리하였을 때 실험실 개체군에서 가장 늦게 나타났으며, 이월 개체군, 노은 개체군 순으로 유의차를 나타냈다. 또, Gamma-cyhalothrin을 기준량의 1/2배로 처리하였을 때 세 개체군 간에 유의차를 확인할 수 있었다.

## 고 찰

본 연구에서는 EPG 기술을 이용하여 복숭아혹진딧물에 작용기작이 다른 계통의 약제를 처리하였을 경우 살충효력과 함께 섭식행동에 미치는 영향을 알아보고자 하였다. Rawat et al. (2013)에 따르면, 복숭아혹진딧물의 저항성 발달에 맞춰 실험실 및 현장, 온실조건에서 진딧물에 대해 다른 그룹에 속한 몇 가지 새로운 화합물을 포함한 다양한 살충제의 효율성과 경제적 중요성이 보고되고 있지만, 이러한 살충제 대부분은 대상이 아닌 생물체에 높은 독성과 높은 잔류성 및 환경에 유해한 다른 영향 때문에 내성이 생기게 된다. 따라서 적은 잔류성, 안정성, 효율적인 방제방법의 대안책으로 진딧물에 대한 다른 살충제의 독성평가가 필요하다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는 복숭아혹진딧물의 체내 작용기작이 다른 8 계통의 10개 약제를 선발하였으며, 이 중에서 복숭아혹진딧물에 등록되어 있는 acetamiprid, cyantraniliprole, pymetrozine, pyrifluquinazon, spirotetramat와 비등록 약제인, chlorfenapyr, dinotefuran, gamma-cyhalothrin, novaluron, spinosad를 처리하였을 경우에 복숭아혹진딧물에 미치는 영향을 관찰하고자 하였다.

EPG 기술은 위의 다양한 살충제에 대한 복숭아혹진딧물의 반응을 관찰하기 위해 사용한 기술로, EPG기술을 활용

하여 관찰한 복숭아혹진딧물의 섭식행동 패턴은 6가지로 분류하였다. 섭식을 하지 않을 때 나타나는 파형인 Np, 섭식을 시작하여 구기가 기주식물에 닿고 식물체에 침투할 때 나타나는 파형인 C, 체관부에 섭식 시 타액을 분비할 때 나타나는 파형인 E1, 체관부 섭식할 때 나타나는 파형인 E2, 물관부를 섭식할 때 나타나는 G, 구기가 경로를 이탈하였을 때 나타나는 파형인 F를 포함하여 관찰하였다.

본 실험 결과, cyantraniliprole의 섭식행동변화는 실험실 개체군에서 농도 증가에 따른 섭식행동의 변화를 관찰했는데 첫 탐침시간의 지연, 총 탐침수의 증가, 총 탐침활동 증가, 비탐침활동 증가, 체관부 첫 섭식시간 지연, 체관부 섭식시간의 감소, 구침이탈시간의 증가를 확인하였으며, 이는 약제에 의한 반응으로 섭식행동의 저해작용을 확인한 것으로 볼 수 있다. 이를 뒷받침하는 Jacobson and Kennedy (2014)의 연구에 따르면, 복숭아혹진딧물에 대한 imidacloprid와 cyantraniliprole의 섭식행동의 저해효과를 비교하였으며 결과적으로 imidacloprid보다는 섭식행동의 저해효과가 늦게 나타나지만, 유의한 효과가 있는 것으로 결론지었다. Naeun (1995)이 보고한 바에 의하면 저농도의 pirimicarb가 섭식행동에 영향을 주지 않는다고 하였지만, 본 실험에서 사용한 약제를 기준량의 1/2배로 처리하였을 때 복숭아혹진딧물의 EPG 분석 결과 처리구와 무처리구 사이에 유의한 차이를 확인할 수 있었고, 기준량 농도 처리 시 더욱 뚜렷한 차이를 확인하였다. 이러한 기초적인 자료는 복숭아혹진딧물의 더욱 효과적이고 새로운 방제방법을 모색하기 위한 자료로서 사용될 것으로 사료된다.

## Literature Cited


Alvarez, A. E., V. G. Broglia, A. M. Alberti D'Amato, D. Wouters, E. van der Vossen, E. Garzo and B. Vosman (2013) Comparative analysis of *Solanum stoloniferum* responses to probing by the green peach aphid *Myzus persicae* and the potato aphid *Macrosiphum euphorbiae*. Insect Sci. 20(2):207-227.

Bass, C., A. M. Puinean, C. T. Zimmer, I. Denholm, L. M. Field, S. P. Fosterand and M. S. Williamson (2014) The evolution of insecticide resistance in the peach potato aphid, *Myzus persicae*. Insect Biochem. Mol. Biol. 51:41-51.

Blackman, R. L. and V. F. Eastop (2000) Aphids on the world's crops an identification and information guide. New York: Willey and Son. pp. 466.

Bonani, J. P., A. Fereres, E. Garzo, M. P. Miranda, B. Appezzato-Da-Gloria and J. R. S. Lopes (2010) Characterization of electrical penetration graphs of the Asian citrus psyllid, *Diaphorina citi*, in sweet orange seedlings. Entomol. Exp. Appl. 134:35-49.

Bos, J. I., D. Prince, M. Pitino, M. E. Maffei, J. Win and S. A. Hogenhout (2010) A functional genomics approach identifies candidate effectors from the aphid species *Myzus persicae* (green peach aphid). PLoS Genet.6(11):e1001216.

Chang, V. C. S. (1978) Feeding activities of the sugarcane leafhopper: Identification of electronically recorded waveforms. Ann. Entomol. Soc. Am. 71:31-36.

Civolani, S., M. Leis, G. Grandi, E. Garzo, E. Pasqualini, S. Musacchi, M. Chicca, G. Castaldelli, R. Rossi and W. F. Tjallingii (2011) Stylet penetration of *Cacopsylla pyri*; an electrical penetration graph (EPG) study. J. Insect Physiol. 57:1407-1419.

Costa, R. R., J. C. Moraes and R. R. DaCosta (2011) Feeding behaviour of the greenbug *Schizaphis graminum*on wheat plants treated with imidacloprid and/or silicon. J. Appl. Entomol. 135(12):115-120.

Fereres, A. and A. Moreno (2009) Behavioural aspects influencing plant virus transmission by homopteran insects. Virus Res. 141(2):158-168.

Garzo, E., A. Moreno, S. Hernando, V. Mario, M. Torne, E. Santamaria and A. Fereres (2016) Electrical penetration-graph technique as a tool to monitor the early stages of aphid resistance to insecticides. Pest Manag. Sci. 72(4):707-718.

Gaspari, M., D. Lykouressis, D. Perdikis and M. Polissiou (2007) Nettle extract effects on the aphid *Myzus persicae* and its natural enemy, the predator *Macrolophus pygmaeus* (Hemiptera: Miridae). J. Appl. Entomol. 131:652 - 657.

Harrewijn, P. and H. Kayser (1997) Pymetrozine, a fastacting and selective inhibitor of aphid feeding. insitu studies with electronic monitoring of feeding behaviour. Pest. Sci. 49(2):130-140.

Helden, M. and W. F. Tjallingii (1993) Tissue localization of lettuce resistance to the aphid *Nasonovia ribisnigri* using electrical penetration graphs. Entomol. Exper. Appl. 68(3): 269-278.

Jacobson, A. L. and G. G. Kennedy (2014) Electrical penetration graph studies to investigate the effects of cyantraniliprole on feeding behavior of *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae) on *Capsicum annuum*. Pest Manag. Sci. 70(5):836-840.

Jassen, J. A. M., W. F. Tjallingii and J. C. van Lenteren (1989) Electrical recording and ultrastructure of stylet penetration by the greenhouse whitefly. Entomol. Exp. Appl. 52:69-81.

Jiang, Y. X., H. Lei, J. L. Collar, B. Martin, M. Muiz and A. Fereres (1999) Probing and feeding behavior of two distinct biotypes of *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) on tomato plants. J. Econ. Entomol. 92(2):357-366.

Kasprowicz, L., G. Malloch, J. Pickup and B. Fenton (2008) Spatial and temporal dynamics of *Myzus persicae* clones in fields and suction traps. Agricul. For. Entomol. 10:91-100.

Kawabe, S. and D. L. McLean (1978) Electronically recorded wave forms associated with salivation and ingestion behaviour of the Aster leafhopper, *Macrosteles fascifrons*

Stal (Homoptera: Cicadellidae). Appl. Entomol. Zool. 13:143-148.

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. 78:583-587.

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.

Kimmins, F. M. (1989) Electrical penetration graphs from *Nilaparvata lugens*on resistant and susceptible rice varieties. Entomol. Exp. Appl. 50:69-79.

Kwon, H. R. and Y. N. Youn (2014) Feeding behaviors of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Hemiptera: Aleyrodidae) and changing of feeding behaviors to cyantraniliprole. CNU J. Agricul. Sci. 41:119-124.

Lee, K. H., B. H. Yoon, M. W. Lee and W. B. Chang (2015) The Korean Society of Plant Pathology: M; field study: M-6; Occurrence of diseases in cucumber in Chungbuk province. Plant Dis. Res. 21(2):155.

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.

McLean, D. L. and M. G. Kinsey (1964) A technique for electronically recording aphid feeding and salivation. Nature 202:1358-1359.

Mclean, D. L. and M. G. Kinsey (1965) Identification of electrically recorded curve patterns associated with aphid salivation and ingestion. Nat. 205:1130-1131.

Mclean, D. L. and M. G. Kinsey (1967) Probing behavior of the pea aphid, *Acyrthosiphon pisum*. I. Definite correlations of electronically recorded waveforms with aphid probing activities. Ann. Entomol. Soc. Am. 60:400-405.

Nault, L. R. and G. G. Gyrisco (1966) Relation of the feeding process of the pea aphid to the inoculation of pea enation mosaic virus. Ann. Entomol. Soc. Am. 59(6):1185-1197.

Powell, G. (1991) Cell membrane punctures during epidermal penetrations by aphids: consequences for the transmission of two potyviruses. Ann. Appl. Biol. 119(2):313-321.

Prado, E. and W. F. Tjallingii (2007) Behavioral evidence for local reduction of aphid-induced resistance. J. Insect Sci. 7(1):48.

Rawat, N., R. Singh and P. L. Sharma (2013) Evaluation of some insecticides against the green peach aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). Indian J. Entomol. 75(2):113-117.

Sarria, E., M. Cid, E. Garzo and A. Fereres (2009) Excel workbook for automatic parameter calculation of EPG data. Comput. Electron. Agric. 67(1):35-42.

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-Pac. Entomol. 12:89-95.

Seo, M. J., Y. J. Oh, 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. 46:401-408.

Tjallingii, W. F. (1978) Electronic recording of penetration behaviour by aphids. Entomol. Exp. Appl. 24(3):721-730.

Tjallingii, W. F. (1985a) Electrical nature of recorded signals during stylet penetration by aphids. Entomol. Exp. Appl. 38:177-186.

Tjallingii, W. F. (1985b) Membrane potentials as an indication for plant cell penetration by aphids. Entomol. Exp. Appl. 38:187-193.

Tjallingii, W. F. (1988) Electrical recording of stylet penetration activities. In: Aphids: Their biology. Natural enemies and control. 2nd ed. Minks A. K, Harrewijn P. J. Eds: Amsterdam: Elsevier. pp. 95-108.

Tjallingii, W. F. (2006) Salivary secretions by aphids interacting with proteins of phloem wound responses. J. Exp. Bot. 57:739-745.

Ullman, D. E. and D. L. McLean (1988) The probing behavior of the summerform pear psylla. Entomol. Exp. Appl. 47(2):115-125.

Van Emden, H. F. and R. Harrington (2007) Aphids as crop pests. Eds. CAB International, Cambridge, Massachusetts, USA. pp 717.

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.

Yang, J. O., E. H. Kim, C. M. Yoon, K. S. Ahn and G. H. Kim (2009) Comparison of feeding behavior of B and Q biotypes of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) against red peeper and tomato varieties. Kor. J. Appl. Entomol. 48:179-188.

Youn, Y. N. (1998) Electrically recorded feeding behavior of *Nephotettix cincticeps*. J. Asia-Pacific Entomol. 1(2):147-161.

Youn, Y. N. and Y. D. Chang (1993) Electrical feeding patterns and stylet movement of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera), in the rice plant. Kor. J. Appl. Entomol. 32(2):208-217.

Youn, Y., E. A. Backus, R. H. Serikawa and L. L. Stelinski (2011) Correlation of an electrical penetration graph waveform with walking by Asian citrus psyllid, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Psyllidae). Fl. Entomol. 94(4):1084-1087.

# EPG 기술을 이용한 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)의 몇 가지 살충제에 대한 섭식행동

**민지현 · 윤 헌 · 권혜리 · 유용만 · 윤영남***

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

**요 약** 3곳의 지역에서 채집된 복숭아혹진딧물 세 개체군(이월, 노은, 실험실 개체군)의 EPG 패턴을 통해 섭식행동을 분석하고, 작용기작이 다른 총 10 가지의 약제에 대한 각 개체군 별 섭식행동반응을 비교 분석하였다. 약제를 처리하지 않은 무처리구에서 복숭아혹진딧물의 섭식행동 성향은 체관부에서 섭식하는 시간이 물관부에서 보다 더 길었다. 탐침하지 않은 총 기간은 Acetamiprid의 경우 반량처리보다 기준량을 처리했을 때, 3개의 개체군에서 비탐침 기간이 무처리구보다 이월개체군에서는 64배, 노은개체군에서는 29배, 실험실개체군에서는 3.2배 더 길게 나타났다. 탐침활동은 cyantraniliprol을 제외한 나머지 등록약제는 기준량을 처리했을 때 더욱 많이 나타났다. 복숭아혹진딧물의 구침을 체관부내에 침투하여 타액을 분비하는 총 소요 시간에서 약제 당 개체군 별 유의차는 cyantraniliprole을 기준량의 반량을 처리하였을 때, 노은> 실험실> 이월 개체군 순으로 유의차가 나타났다. 모든 약제 처리구에서 농도와 상관없이 무처리구에 비해 체관부에서 섭식하는 시간이 짧았으며, 특히 cyantraniliprole을 기준량 처리했을 때, 이월> 노은> 실험실 개체군 순으로 유의차를 나타냈었다. 물관부에서 섭식하는 시간은 세 개체군 모두 약제별 유의차가 나타나지 않았다. 따라서 각 약제별로 서로 다른 개체군에서의 감수성 차이를 확인하고 저항성 발달 여부살펴 저항성 관리를 수행해야 할 것으로 판단된다.

**색인어** 복숭아혹진딧물, EPG, 살충제, 섭식행동