

EPG를 이용한 복숭아혹진딧물 (*Myzus persicae*, Aphididae, Homoptera)의 기주 식물체별 조직내 섭식행동

서미자 · 장진경 · 강은진 · 강명기 · 김남성¹ · 유용만 · 윤영남*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과, ¹(주)영일케미칼

Feeding Behavior in the Plant Tissues with Green Peach Aphid (*Myzus persicae*, Aphididae; Homoptera) Using EPG Technique

Seo M. J., J. K. Jang, E. J. Kang, M. K. Kang, N. S. Kim¹, Y. M. Yu and Y. N. Youn*

¹Young-Il Chemical Ltd., Daejeon, 360-801

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

ABSTRACT : To investigate feeding behaviour of the greenpeach aphid (*Myzus persicae*) on several plants, DC electrical penetration graph (EPG) technique was used. We chose 5 plants including pepper, melon, cabbage, radish, and eggplant which were known as major host plants of this species. This study was focused whether feeding patterns of the aphid were different and which plants would be the most preferable among 5 host plants. The time from initial proboscis contact with a each leaf until the first electrical contact, as a measure of the time taken for the stylet penetration, the time from electrical contact to the first potential drop as a time consumed until intracellular sampling, the number of potential drops per an hour during periods of regular intercellular pathway probing, and the time from electrical contact to the first phloem specific pattern indicating the time taken to reach and attempt to feed upon the phloem were analysed. As a result, except the number of potential drop, there was no significant differency of feeding patterns among 5 plants. However, the feeding patterns related on host acceptability were observed more frequently from pepper, radish, and eggplant than melon and cabbage.

KEY WORDS : Feeding behavior, *Myzus persicae*, EPG, Electrical penetration graph, Host acceptability

초 록 : 복숭아혹진딧물의 섭식행동을 관찰하기 위해, 고추, 무, 배추, 가지, 참외 등 5종류의 기주식물에서 EPG기술을 이용하였다. 복숭아혹진딧물의 구침이 식물체 표면에 접촉된 후 전기적 연결이 일어나기까지 소요되는 시간과 맨 처음 potential drop이 일어나기까지 소요된 시간, 구침의 세포간극 내에서의 활동에 의하여 일어나는 potential drop의 수, 전기적 연결신호가 나타난 시점부터 체관부를 섭식하는 순간까지 소요된 시간 등을 조사한 결과 Potential drop 수에서는 기주들 사이에 유의성 있는 차이를 나타내었다. 그러나 나머지 요인에서는 기주식물들 사이에 큰 차이를 보이지 않았지만, 참외나 배추보다는 고추, 무, 가지에서 좀 더 기주선호성과 관련된 섭식패턴들을 확인할 수 있었다.

검색어 : 섭식행동, 복숭아혹진딧물, EPG, 기주적합성

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

복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*)은 전 세계적으로 분포하고 있는 주요 농업해충으로, 잎이나 줄기는 물론 꽃이나 열매 등에도 흡즙하여 식물체의 양분이 소실되고 잎이 오그라지거나 말리는 현상이 나타나며, 감로를 분비하여 작물의 그을음병을 유발하는 피해를 주는 것으로 잘 알려져 있다. 특히 이들은 흡즙에 의한 직접적인 피해뿐만 아니라 바이러스를 매개하여 작물을 고사시키는 간접적인 피해까지 주기 때문에 이를 방제하고자 하는 노력이 계속되고 있으며, 프랑스의 과수육종연구소에서는 복숭아혹진딧물에 저항성인 작물을 선발하여 이들에 의한 직·간접적인 피해를 줄이기 위한 프로그램을 만드는 등 이 곤충에 의한 피해는 심각하다고 볼 수 있다(Kervella *et al.*, 1998; Sauge, 1998).

이러한 복숭아혹진딧물의 기주식물은 총 66과 300여종이 기록되어 있어(Shim *et al.*, 1977) 매우 다양하며, 참외, 호박, 마늘, 무, 배추, 양배추, 감자, 고추, 가지, 토마토 등 각종 농작물에 있어 이 진딧물에 의한 피해는 상당하다. 진딧물류 곤충들은 그들의 긴 구침을 이용해 기주식물의 조직을 찔러 체관부를 섭식하는 것으로 알려져 있으며(Powell & Hardie, 2000; Tosh *et al.*, 2002), 이들의 이러한 섭식행동이 기주와 관련된 행동측면에서 다양한 구침의 행동양상으로 보일 수 있기 때문에 기주식물의 적합성을 판별할 수 있는 기술을 이용하여 이를 규명할 수 있다(Wilkinson & Douglas, 1998; Caillaud, 1999).

매미목 곤충의 섭식행동에 관한 연구는 곤충 구기의 침입과 그것과 관련된 식물의 세포조직내에서 이루어지는 타액분비와 흡즙 등의 행동과 병행하여 이루어져야 하기 때문에 매우 어렵다(McLean & Kinsey, 1964; Triplehorn *et al.*, 1984). 이러한 섭식행동의 연구를 위해 Tjallingii(1978, 1985)는 DC를 사용한 전기적인 기록방법을 고안하였으며, 그 후 Youn(1992)을 포함한 많은 학자들에 의해 더욱 발전되었다. DC system은 이전의 AC system(McLean & Kinsey, 1967)보다 구침의 조직내에서의 이동을 더욱 정밀하게 측정할 수 있으며, 특히 구침이 삽입된 후에 식물체내에서의 구침의 이동에 따른 전기적인 신호를 잘 감지할 수 있는 장점이 있다. Tjallingii(1985)는 이러한 전기적 신호를 기록한 것을 Electrical Penetration Graph(EPG)라고 명명하였는데, 이러한 EPG기술은 곤충과 기주식물을 하나의 전기적인 회로로 연결시키고 진딧물이나 멸구류와 같은 흡즙성 곤충이 기주식물의 즙액을 흡즙할 때 회로의 완성이 이루어짐으로 구침의 이동에 따른 전기저항의 변화를 확인할 수 있게 할 수 있다는 특징이 있다. 또한 이러한 전기저항의 변화는 전압의 변화를 일으켜 우리가 육안으로 확인이 가능하

도록 신호를 증폭해서 기록함으로써, 신호패턴의 분석을 통해 곤충의 섭식행동을 분석할 수 있는 유용한 기술이다(Spiller, 1988).

따라서 본 연구에서는 EPG기술을 이용하여, 복숭아혹진딧물 기주로 알려져 있는 기주 가운데서 5가지 식물을 선발하여 이들 기주에서의 서로 다른 EPG패턴을 확인하고 비교하였다.

재료 및 방법

실험곤충 및 기주식물

본 실험에 사용한 복숭아혹진딧물은 2005년 대전시 유성구 고추포장에서 채집하여 고추를 기주식물로 사육실 조건인 25±3°C와 광주기 16L:8D에서 누대사육하였다. 누대사육중인 복숭아혹진딧물 중 무시형 성충을 대상으로 EPG실험에 이용하였으며, 한번 사용한 진딧물은 다시 사용하지 않았다. 기주식물로는 복숭아혹진딧물 기주로 알려진 식물 중 8종류(가지, 고추, 당근, 무, 배추, 수박, 오이, 참외)를 선발하여 실험에 이용하였으나, 당근, 수박, 오이는 EPG측정이 잘 이루어지지 않아서 고추, 참외, 배추, 무, 가지 등 5종류의 기주를 가지고 실험하였다. 기주식물은 파종 후 5~6주 경과된 후 6-7엽의 잎을 이용하였다.

EPG 기록장치

EPG 기록에 이용할 기주 잎을 엽병까지 자른 후 옆으로 가지가 달린 250 ml 삼각플라스크에 물을 채우고 탈지면을 지지대로 하여 세웠다. 플라스크 가지쪽으로 안에 기준전극봉을 넣고 한쪽 끝을 pre-amplifier의 G2 terminal에 연결하였다. 채집한 복숭아혹진딧물은 신속한 섭식패턴 조사를 위해 사알레 안에서 20분간 굶긴 후 해부현미경하에서 conductive silver paint(RS. 101-5621, UK)를 이용해 지름이 25 μm인 금선(Goodfellow, UK)을 진딧물의 등판에 부착시키고, 부착시킨 전극은 기록전극으로 사용되어 pre-amplifier의 G1 terminal에 연결하였다. 복숭아혹진딧물의 구침이 기주식물의 잎에 접촉하거나 조직내에 삽입될 때 형성되는 전압의 차이를 pre-amplifier(MOD. P122, GRASS Ins. Astro-Med Inc., USA)를 통해 증폭하고, 이러한 증폭결과를 Real chart recorder(Dash IV, Astro Med)로 기록을 하였으며, 기록지는 분당 5mm의 속도로

실시간 기록하였다. 모든 실험은 신호개시 후 7시간동안 기록한 결과를 가지고 분석하였다.

Data 분석

고추, 참외, 배추, 무, 가지 등 5종류의 기주를 각각 10회 반복하여 recording하였다. 모든 EPG기록시간은 전기적 신호가 나타나기 시작한 시점부터 총 7시간을 기록한 데이터를 가지고 분석하였으며, 통계분석은 SPSS를 이용하여 일원배치분산분석(One way ANOVA)을 수행하여 5% 신뢰한계구간에서의 유의확률과 DUNCAN의 다중범위 검정분석을 실시하여 기주간 섭식행동의 차이여부를 조사하였다.

결과 및 고찰

복숭아혹진딧물을 고추, 참외, 배추, 무, 가지 등 5종류의 기주식물에서 각각 섭식하게 한 후 기록한 EPG패턴은

작물에 따라 다소 차이를 보였다. 고추와 무, 가지에서 볼 수 있는 EPG패턴과 참외와 배추에서 볼 수 있는 패턴은 매우 다른 양상을 보여주고 있었다(Fig. 1). 고추와 무, 가지에서 볼 수 있는 패턴은 electrical potential drop 현상이 아주 뚜렷하게 나타나고 있지만, 참외와 배추에서는 electrical potential drop 현상이 뚜렷하게 나타나고 있지 않다. 이는 이들 식물체의 잎의 구조적 특징에 기인하고 있는 것으로 생각된다. 고추와 무, 가지에서 보여주는 EPG패턴에서 살펴보면, 구침이 세포간과 세포내에서의 활성을 가지고 침투이동을 나타내는 potential drop 패턴과 복숭아혹진딧물의 구침이 체관부분에 접촉이 되어 식물체의 식물즙을 섭식할 때 나타나는 패턴을 보여주고 있다. 이때는 기주식물의 내부로 복숭아혹진딧물의 구침이 일시적으로 삽입이 되므로 급격한 전압의 하락이 나타나게 되는 것을 확인할 수 있다. 위의 두 가지 섭식패턴은 복숭아혹진딧물의 기주탐색행동과 섭식행동을 나타내는 대표적인 패턴으로, 이러한 패턴양상을 바탕으로 본 실험에서는 복숭아혹진딧물의 섭식행동을 크게 4가지로 분석하였다. 첫 번째는 복숭아혹진딧물의 주둥이나

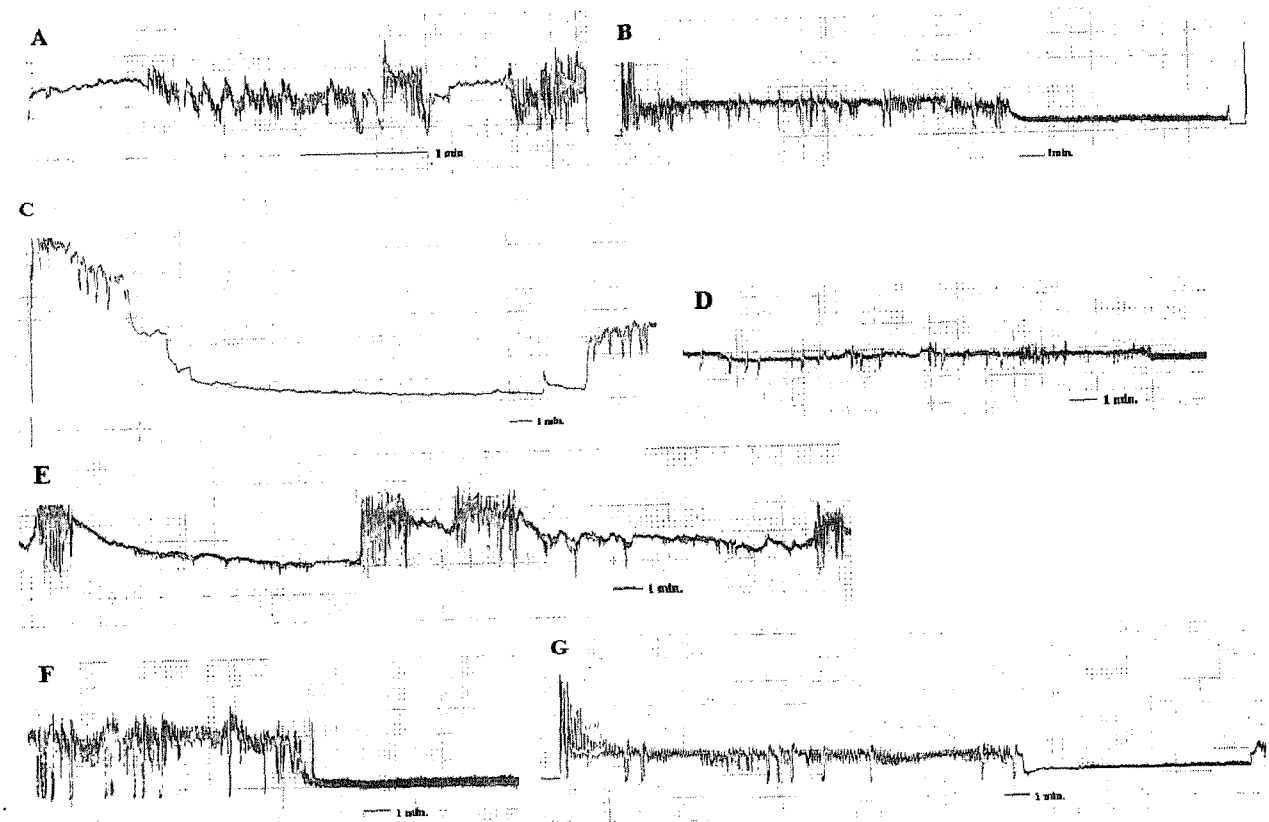


Fig. 1. EPG waveforms showing potential drops and phloem feedings by *M persicae* on pepper (A and B), melon (C), Chinese cabbage (D), radish (E and F) and eggplant (G).

구침이 식물체 표면에 접촉된 후 전기적 연결이 일어나기 까지 소요되는 시간을 측정하여 처음 기주식물을 인식하는 시간이 식물에 따라 차이가 있는지를 조사하였다. 두 번째로 실질적으로 전기적신호가 기록되기 시작된 시점으로부터 첫 번째 potential drop이 일어나기까지 소요된 시간을 측정한 결과로, 이 결과는 기주 적합성 기작이 체관부 섭식에 앞서 나타난다는 가정을 전제로 시간길이를 조사함으로써 기주간 비교가 이루어졌다. 세 번째로 조사한 것은 구침의 규칙적인 세포간극 내에서의 활성을 나타내는 한 시간 동안 일어나는 potential drop의 수를 측정하였으며, 마지막으로 처음 전기적 연결신호가 나타난 시점부터 체관부를 섭식하는데까지 소요된 시간을 조사하였다.

진딧물의 구침이 기주식물의 잎표면에 접촉된 후 전기적 연결이 일어나기까지 소요된 시간을 나타낸 결과를 보면(Fig. 2), 고추, 참외, 배추, 무, 가지 등 5종류의 기주 모두에서 50% 이상이 곤충회로를 연결하여 기주식물의 잎에 올려놓은 후 60초 이내에 전기적 연결신호가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 고추나 가지의 경우엔 각각 50%, 80% 정도의 실험곤충이 30초 이내에 구침을 기주식물의 표면에 접촉하므로써 섭식을 시도하거나 기주식물의 탐색행동이 시작됨을 볼 수 있었다. 하지만 일원배치분산분석을 실시해 비교한 결과, 5개의 기주별 차이는 없는 것으로 확인되었다($F=1.002; p=0.430$). 하지만, 섭식행동 초기에 나타날 수 있는 행동에 있어 기주별 차이가 없다는 것은 곤충이 기주식물의 적합성을 판단하는데 있어 다른 외적인 요인들이 작용했을 수도 있다는 것을 의미할 수도 있다. 일반적으로 곤충은 그들의 기주를 식별하는데 있어 식물체 표면의 물리·화학적 성질, 즉, 왁스물질이나 이

차대사산물, 영양물질과 같은 화학물질, 또는 엽조직의 물리적 특성에 의해서도 영향을 받을 수 있다고 알려져 있다(Niemeyer, 1990; Miles, 1987).

한편, 전기적 신호가 기록되기 시작해서 첫 번째 potential drop이 일어나기까지 측정된 시간을 보면(Fig. 3), potential drop이 나타나기까지 짧게는 50초에서 길게는 7분 이상 소요되는 경우도 있었다. 그렇지만, 기주식물들 사이에 유의성은 없었다($F=1.595; p=0.215$). 사실상 potential drop은 진딧물의 섭식패턴에서 매우다양하게 나타나며, 실질적인 섭식이 이루어지기 전에 기주식별기작의 특징적인 구침의 활동으로 보고되고 있다. 일부 연구결과에서 보면, 첫 번째 potential drop까지 소요되는 시간이 비적합성 기주식물에서보다는 적합한 기주에서 좀 더 빠르게 나타난다는 보고가 있다. 또한 *Pemphigus bursarius* (lettuce root aphid)의 EPG실험에서도 저항성과 감수성 작물에 있어 위와 유사한 결과를 보여주고 있다(Cole et al., 1993).

Tjallingii & Gabrys(1999)는 진딧물에 의한 체관부 sieve element로의 반복적인 구침의 활성을 분석한 결과, potential drop 비율과 기주의 적합성이 정의 상관관계가 있다고 보고하였는데, 일반적으로 potential drop이 일어나는 동안 구침이 어디에 위치하느냐에 따라 해석이 달라질 수 있음을 동시에 지적하고 있다. 실제로 본 연구에서 구침의 세포간극 내에서 규칙적인 활성을 보이는 1시간 동안 몇 번의 potential drop이 행해지는지를 조사한 결과를 보면(Fig. 4), 고추에서 평균 183회가 이루어지는 것으로 가장 높게 나타났고, 그 다음으로 무와 가지에서 120회 이상 이루어지는 것으로 나타났으며, 나머지 두 기주식물인 참외와 배추에서는 100회 미만으로 potential drop패턴

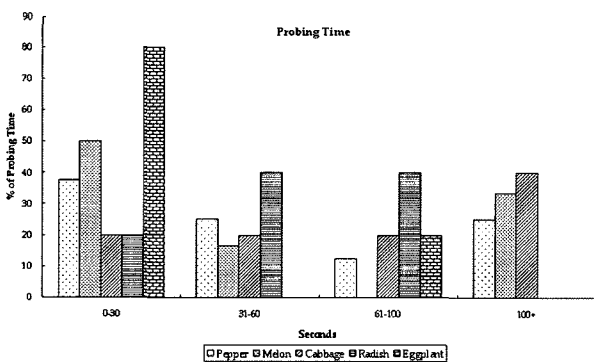


Fig. 2. Consumed time from contact of the proboscis plant surface to electrical contact in *M. persicae* on 5 plants including pepper, melon, cabbage, radish, and eggplant by EPG.

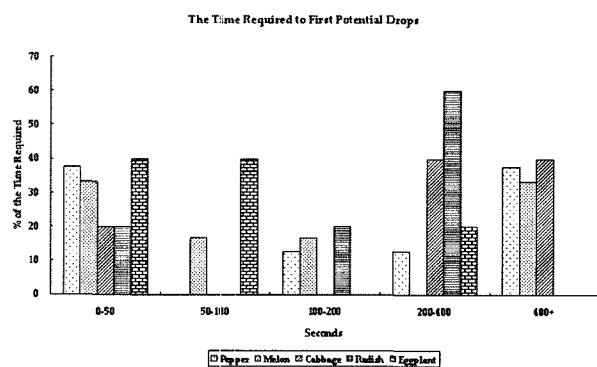


Fig. 3. Consumed time from electrical contact to the first potential drop in *M. persicae* on 5 plants including pepper, melon, cabbage, radish, and eggplant by EPG.

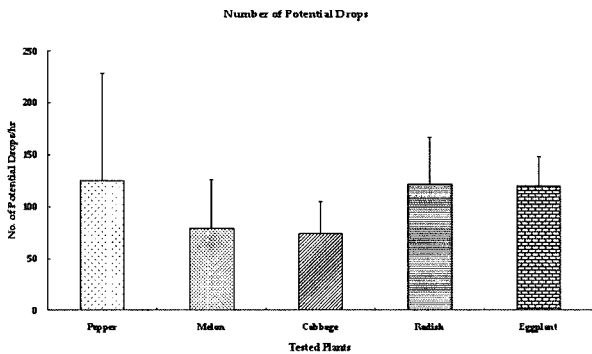


Fig. 4. Number of potential drops per hour on 5 plants including pepper, melon, cabbage, radish, and eggplant by EPG. Standard deviation was shown.

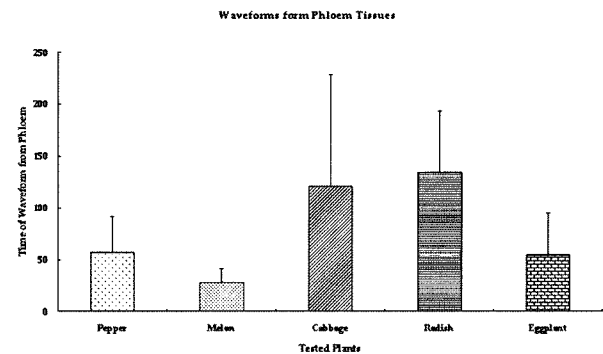


Fig. 5. Consumed time (min.) from electrical contact to the first phloem specific pattern in *M. persicae* on 5 plants including pepper, melon, cabbage, radish, and eggplant.

이 나타남을 볼 수 있었다. 일원배치분산분석결과, 기주식물들 사이에 potential drop의 수에 있어서 유의성 있는 차이를 보였다($F=3.495$; $p=0.026$). 따라서 이와 같은 결과로 배추와 참외는 고추, 가지, 무에 비해 복숭아혹진딧물이 섭식행동을 시도하는 빈도가 낮았다고 생각할 수 있다. 마지막으로 실질적인 섭식이 이루어지는 체관부를 섭식하기까지 걸리는 시간을 측정 한 결과는(Fig. 5), 고추, 참외, 가지에서는 전기적 연결신호가 나온 시점부터 체관부섭식패턴이 나오기까지 1시간이 채 안되어서 일어난 반면, 배추와 무에서는 체관부 섭식행동이 나타나기까지 1시간 이상이 소요된 것을 볼 수 있었으나, 기주식물들 사이에 차이는 유의성은 없는 것으로 나타났다($F=1.340$; $p=0.290$). 위의 potential drop의 결과와는 다르게 참외의 경우 체관부섭식에 소요된 시간이 상대적으로 짧은 것에 있어서는 복숭아혹진딧물이 기주로서 적합하지 않다 하더라도 구침을 찔러 체관부를 섭식하기 용이한 기주식물 잎의 물리적 특징에 의한 것일 수도 있다고 생각되며, 무에서의 경우도 마찬가지로 실제로 복숭아혹진딧물에 적합한 기주일지라도 잎의 표면에 잔털이나 가시 등 섭식에 앞서 물리적 요인에 의한 지연이 일어난 것일 수도 있을 것이다. Kligauf(1987)은 *Uroleucon ambrosiae* 진딧물을 두 가지 기주식물을 가지고 EPG 실험을 한 결과, 특이적으로 선호성을 보이는 *Ambrosia*속 식물에서는 체관부를 섭식하는데 까지 거의 한 시간 동안 반복적인 기주 탐침 행동 패턴이 계속적으로 나타나는 것을 확인하였고, 그 후 바로 체관부 섭식패턴이 나타남을 볼 수 있었다. 반면, *Heterotheca*속 식물에서는 체관부섭식이 일어나기까지 좀 더 많은 시간이 소요되는 것을 확인함으로써, 기주식물의 적합성을 판별할 수 있었음을 시사하였다.

본 연구결과에서도 네 가지 섭식패턴신호를 통해 고추,

가지, 무, 배추, 참외에서 어떠한 섭식양상을 보이며, 이들 간의 기주선호성이 있을지의 여부를 조사한 결과, 큰 유의성을 보이지 않았지만, 복숭아혹진딧물이 고추와 가지, 무를 참외나 배추에 비해 좀 더 선호하는 경향을 나타냄을 확인할 수 있었다. 물론 위의 실험결과만을 가지고 기주선호성을 거론하기엔 매우 부족하지만, 복숭아혹진딧물과 여러 기주식물간의 상호작용을 이해할 수 있는 기본적인 자료로 제공될 수 있을 것으로 생각되며, 위의 기주식물 내에서의 개체군 밀도변동이나 life table 조사를 통해 보완될 수 있을 것으로 생각한다.

사 사

이 논문은 2004년도 충남대학교 자체연구비의 지원에 의하여 연구되었음.

Literature Cited

- Caillaud, M.C. 1999. Behavioural correlates of genetic divergence due to host specialization in the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. Entomol. Exp. Appl. 91: 227~232.
- Cole, R.A., W. Riggall, & A. Morgan. 1993. Electronically monitored feeding behaviour of the lettuce root aphid (*Pemphigus bursarius*) on resistant and susceptible lettuce varieties. Entomol. Exp. Appl. 68: 179~186.
- Kervella, J., T. Pascal, F. Rfeiffer & E. Dirlexanger. 1998. Breeding for multiresistance in peach tree. Acta Horticult. 465: 177~184.
- Kim, N.S., M.J. Seo, & Y.N. Youn, 2005. Characteristics of feeding behavior of the rice brown planthopper *Nilaparvata lugens*, using electrical penetration graph (EPG) technique on

- different rice varieties. *Kor. J. Appl. Entomol.* 44(3): 177~187.
- Klingauf, F. 1987. Host plant finding and acceptance. In: A.K. Minks & P. Harrewijn (eds.), *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*. Vol. 2A in *World Crop Pests*. Elsevier. Amsterdam. 209~223.
- McLean, D.L. & M.G. Kinsey. 1964. A technique for electronically recording aphid feeding and salivation. *Nature (Lond.)*. 202: 1358~1359.
- McLean, D. L. and M. G. Kinsey. 1967. Probing behavior of the pea aphid, *Acyrtosiphon pisum*. I. Definite correlations of electronically recorded waveforms with aphid probing activities. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 60: 400~406.
- Miles, P. 1987. Feeding processes of Aphidoidea in relation to effects on their food plants. In: A.K. Minks & P. Harrewijn (eds.), *Aphids, Their Biology, Natural Enemies and Control*. Vol. 2A in *World Crop Pests*, Elsevier. Amsterdam. 321~327.
- Niemeyer, H.M. 1990. The role of secondary plant compounds in aphid-host interactions. In: R.K. Campbell & R.D. Eikenbary (eds.), *Aphid-Plant Genotype Interactions*. Elsevier. Amsterdam. 187~205.
- Powell, G. & J. Hardie. 2000. Host-selection behavior by genetically identical aphids with different plant preferences. *Physiol. Entomol.* 25: 54~62.
- Sauge, M.H. 1998. Analysis of the mechanisms of resistance to the green peach aphid in several *Prunus* genotypes. *Acta Horticul.* 465: 731~739.
- Shim, J.Y., J.S. Park, W.H. Paik & Y.B. Lee. 1977. Studies on the life history of green peach aphid, *Myzus persicae* (Homoptera). *Kor. J. Pl. Prot.* 16(3): 139~144.
- Spiller, N.J. 1988. Electronic recording of plant penetration by the cereal aphids *Rhopalosiphum padi* and *Metopolophium dirhodum* on resistant and susceptible wheat seedlings. *Ann. Appl. Biol.* 112: 471~478.
- Tjallingii, W. F. 1978. Electronic recording of plant penetration by aphids. *Entomol. Exp. Appl.* 24, 521~530.
- Tjallingii, W.F. 1985. Electrical nature of recorded signals during stylet penetration by aphids. *Entomol. Exp. Appl.* 38: 177~186.
- Tjallingii, W.F. & B. Gabrys. 1999. Anomalous stylet punctures of phloem sieve elements by aphids. In: Simpson, S.J., A.J. Mordeu, J. Hardie (eds.) *Insect-Plant Relationships*. Kluwer Academic. London. 97~103.
- Tosh, C.R., G. Powell & J. Hardie. 2002. Maternal reproductive decisions are independent of feeding in the black bean aphid, *Aphis fabae*. *J. Insect Physiol.* 48: 619~629.
- Triplehorn, B.W., L.R. Nault & D.J. Horn. 1984. Feeding behavior of *Graminella nigrifrons* (Forbes). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 102~107.
- Wilkinson, T. L. & A. E. Douglas, 1998. Plant penetration by pea aphid (*Acyrtosiphon pisum*) of different plant range. *Entomol. Exp. Appl.* 87: 43~50.
- Youn, Y.N., 1992. Electrophysiological recordings of olfactory receptors, ultrastructure of compound eyes and electrical monitorings of feeding behavior in *Nilaparvata lugens* (Stål) (Homoptera: Delphacidae). Ph.D. Thesis. University of London. England. 392pp.

(Received for publication 24 October 2005;
accepted 12 December 2005)