

EPG를 이용한 벼 재배품종별 벼멸구의 섭식행동특성

김남성 · 서미자 · 윤영남*

충남대학교 농업생명과학대학 응용생물학과

Characteristics of Feeding Behavior of the Rice Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens*, Using Electrical Penetration Graph (EPG) Technique on Different Rice Varieties

N. S. Kim, M. J. Seo and Y. N. Youn*

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

ABSTRACT : For the comparison of feeding behavior of *Nilaparvata lugens* among different rice varieties, electrical penetration graph (EPG) technique was used. Ten rice varieties were selected from national-widely recommended rice varieties cultivating in Chungnam province. The correlation between feeding duration and honeydew amount excreted was investigated, and the types of EPG pattern were analyzed among rice varieties. The EPG patterns divided into 6 types according to electrical specific feature, respectively. Type 1 pattern was a searching feeding sites, resting or wandering on a rice plant. Type 2 pattern was appeared when the insect untaken from phloem sieve element. Type 3 pattern was observed when the insect piercing into the rice plant. Type 4 pattern was observed when the insect salivating in rice plant. Type 5 pattern was observed when the insect ingesting from the xylem. Type 6 pattern was observed when the stylet moving in cell. Feeding duration time on Gum-nam was significantly shorter than Dong-jin, Dae-ahn, Dong-ahn, Dae-san. Also, on Gun-nam, it was shown that the brown planthopper did not penetrate the cuticle for a long time. The total number of excreted honeydew droplets by the brown planthopper was the greatest in Dong-jin variety and the least in Gum-nam variety. In proportion to phloem feeding time, the number of honeydew droplets had been increased. According to the results of EPG patterns and honeydew droplets analysis, *N. lugens* seems to prefer Dong-jin, Dong-ahn, Dae-san, and Dae-ahn to Gum-nam, Da-san, and Nam-chun rice plant variety.

KEY WORDS : Feeding behavior, Rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, Electrical penetration graph, EPG, Rice

초 록 : 충남지방에서 많이 재배되고 10개의 벼 품종을 대상으로 벼멸구(*Nilaparvata lugens*)의 섭식행동을 EPG 패턴으로 분석하였다. 또한 벼의 섭식시간과 감로분비량의 관계를 알아보고 측정된 EPG 패턴을 비교분석하였다. 벼멸구의 각 EPG type을 전기적인 특성에 따라 1-6까지의 6가지로 분류하였다. 이 중 Type 1은 구침을 꽂지 않고 쉬거나 돌아다닐 때 나타나는 패턴이고 Type 2는 체관을 흡즙할 때 나타나는 패턴이고 Type 3은 처음으로 구침을 꽂을 때, Type 4는 타액 분비시, Type 5는 물관의 흡즙시, Type 6은 구침의 세포내 이동시 나타난다. 벼멸구의 각 품종에 대한 섭식시간은 금남벼에서는 짧은 시간동안 이루어졌고 동진벼, 대안벼, 동안벼, 대산벼에서는 오랜 시간 흡즙을 하였다. 또한 금남벼에서는 장시간 구침을 삽입하지 않는 시간이 길었다. 감로의 분비량은 동진벼에서 가장 많았고 금남벼에서 가장 적은 감로를 분비했다. 이 감로의 분비량은 체관의 흡즙시간과 비례하여 나타났다. EPG type과 감로의 분비량을 분석한 결과 벼멸구가 선호하는 품종은 동진벼, 동안벼, 대산벼, 대안벼 등이었고 그렇지 않은 품종은 금남벼, 다산벼, 남천벼 등이었다.

검색어 : 섭식행동, 벼멸구, EPG, 벼

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

서론

벼멸구(*Nilaparvata lugens*)는 벼를 섭식하는 곤충 중 가장 많은 피해를 주는 해충종의 하나로서 벼를 섭식함으로써 인한 직접적인 피해(Sogawa and Cheng, 1979)뿐만 아니라, grassy stunt virus와 ragged stunt virus를 매개하여(Rivera *et al.*, 1966) 간접적인 피해를 준다. 벼멸구의 직접적인 피해는 흡즙에 의해 나타나며, 흡즙행동에 대한 연구는 벼의 내충성 정도를 판단하는데 결정적인 기준을 제시할 수 있다.

매미목 곤충의 섭식행동에 관한 연구는 곤충 구기의 침입과 그것과 관련된 식물의 세포조직 내에서 이루어지는 타액분비와 흡즙 등의 행동과 병행하여 이루어져야 하기 때문에 매우 어렵다(McLean and Kinsey, 1964; Triplehorn *et al.*, 1984). 벼멸구의 섭식행동은 Velusamy and Heinrichs(1986)가 내충성인 벼와 감수성 품종의 벼에서 처음으로 관찰하였으며, AC기록계를 사용하여 McLean and Kinsey(1967)가 진딧물에서 발견한 signal에 기초하여 설명하였다.

매미목 곤충의 섭식행동에 대해 DC를 사용한 전기적인 기록 방법은 Tjallingii에 의해 발전되었으며(Tjallingii, 1978, 1985), 그 후 Youn(1992)을 포함한 많은 사람들에 의해서 더욱 발전되었다. DC system은 이전의 AC system(McLean & Kinsey, 1967)보다 구침의 조직내에서의 이동을 더욱 정밀하게 측정할 수 있다. 특히 구침이 삽입된 후에 식물체내에서의 구침의 이동에 따른 전기적인 신호를 잘 감지할 수 있는 장점이 있다. 한편 Tjallingii(1985)는 이러한 전기적 신호를 기록으로 나타낸 것을 Electrical Penetration Graph(EPG)라고 명명하였다. Velusamy and Heinrichs (1986)는 AC 기록법을 사용하여 내충성인 품종에서 벼멸구가 반복적인 탐침행동을 보이고 오랜 시간 동안 타액분비를 하며 매우 짧은 시간동안만 체관을 섭식한다는 것을 알아냈다. 또한, Kimmins(1989)는 Tjallingii의 DC system을 이용한 방법을 사용하여 내충성인 벼 품종과 감수성인 벼 품종에서의 벼멸구의 섭식행동을 실험하였다. 이러한 EPG 기술은 곤충과 기주식물을 하나의 전기적인 회로로 연결시키고 흡즙성 곤충이 기주식물의 즙액을 흡즙할 때 회로의 완성이 이루어져서 구침의 이동에 따른 전기저항의 변화가 일어나게 된다. 이러한 저항의 변화에 따라서 일정한 전류가 흐르게 되면 전압의 변화가 나타나는데 이러한 전압의 변화를 기록해서 나온 신호를 증폭시키고 그 신호의 패턴을 타액분비나 흡즙과 같은 곤충의 섭식활동과 연관시켜 분석을 하게 된다. 처음의

연구는 진딧물과에서 시작이 되었지만 그것이 더욱 발전하여 매미충과(Crane, 1970; Chang, 1978 ; Kawabe and McLean, 1980 ; Khan and Saxena, 1985 ; Youn, 1992)와 멸구과(Khan and Saxena, 1984 ; Velusamy and Heinrichs, 1986; Youn, 1992; Youn and Chang, 1993)까지도 연구가 되고 있다. 이러한 방법은 식물의 표피내부로의 곤충의 구침의 침입과 같이 직접적으로 관찰을 할 수 없는 것을 연구하는데 있어 매우 유용한 것이며(Spiller, 1988), 벼를 가해하는 벼멸구에 대한 벼의 내충성 기작의 연구에 적용되고 있다(Kimmins *et al.*, 1987 ; Kimmins, 1989 ; Padgham and Woodhead, 1988).

따라서 본 연구는 곤충-기주식물간의 상호작용에 초점을 맞추어 더욱 다양한 벼멸구에 대한 문제를 이해하기 위한 기초로 벼멸구와 벼 사이의 특이적인 상호관계를 알아보기 위하여 실시되었으며, 특히 국내의 벼품종 가운데서 오대벼, 동진벼, 동안벼, 남천벼, 금남벼, 다산벼, 일미벼, 화삼벼, 대안벼, 대산벼등 10품종을 선발하여 실험에 사용하였다. 연구결과는 각 벼 품종에 대한 벼멸구의 EPG 패턴과 섭식행동간의 관계와 벼멸구의 품종 선호도, 내충성 정도에 대한 기초 자료를 제공할 것이다.

재료 및 방법

공시충과 기주식물

벼멸구(*Nilaparvata lugens*)는 실험실의 28℃, 16L:8D의 조건의 사육상에서 누대사육하였으며, 본 실험에서는 우화한지 2-4일이 경과한 단시형 성충 암컷만을 사용하였다. 기주식물로는 국내 벼 품종 중에서 10품종(오대벼, 동진벼, 동안벼, 남천벼, 금남벼, 다산벼, 일미벼, 화삼벼, 대안벼, 대산벼)을 택하여 실험하였다. 각 품종을 3-4일간 물에 담가 놓은 후 파종을 하고 발아한지 6-8주가 지난 벼를 실험에 사용하였다. 모든 실험은 5회 반복 실험을 수행하였다.

기록장치

Fig. 1은 벼멸구의 EPG 패턴을 관찰하기 위한 장치를 그림으로 나타낸 것이다. 사용된 기주는 발아 후 6-8주된 벼를 뿌리가 상하지 않도록 잘 씻은 후 100 ml 삼각플라스크에 물을 채우고 탈지면을 지지대로 하여 세운다. 그 안에 전극봉을 넣고 그 한 쪽을 Amplifier의 G2 terminal

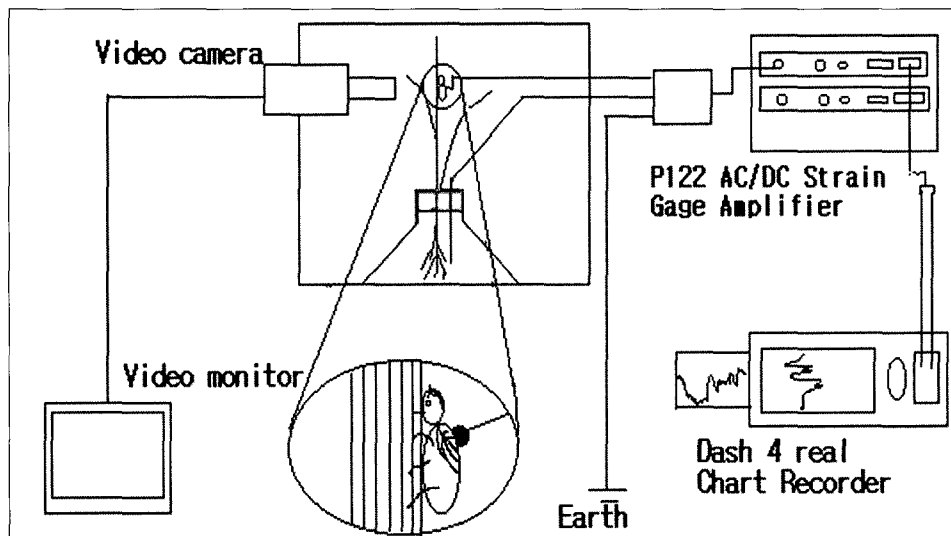


Fig. 1. Diagram of video and electronic recording equipment.

에 연결을 한다. 벼멸구는 흡충관으로 채집한 후 약 1시간 동안 굶긴 후에 CO₂ gas를 사용하여 마취시키고 Conductive silver paint를 사용하여 지름이 25 μm인 금선을 벼멸구의 등판에 부착을 시킨다. 그 등판에 부착시킨 전극은 Amplifier의 G1 terminal에 연결을 한다. 그런 후 소량의 일정한 전류를 흘려주면서 벼멸구 구침의 벼 조직 내에서의 이동에 따라 저항이 다른 조직들을 이동하게 되어 전압의 차이를 나타나게 되는데, 이는 전기학적으로 $V=IR$ 이기 때문에 I가 고정되어 있는 조건에서 R이 변화하면 결과적으로 V가 변화하게 되는 원리에 따른 것이다. 따라서, 이러한 미세한 전압의 차이를 Amplifier를 통해서 증폭하여 Real chart recorder (Dash IV, Astro Med, chart speed: 5 mm/m)로 실시간으로 기록하였다. 또한 벼멸구의 행동을 관찰하기 위하여 32배 확대되는 video camera로 근접촬영을 하였다.

Honeydew recording(감로양의 측정)

벼멸구가 섭식 후 배출하는 감로의 양을 측정하기 위하여 Ninhydrin method(Rosen, 1957)를 사용하였다. 그 방법은 벼멸구의 감로 성분 중 아미노산을 검출해 내는 방법으로서 지름 9 cm의 여과지에 아세톤에 녹인 1% ninhydrin을 흡수시킨 후 100℃에서 약 2분간 말린 후에 벼의 아랫부분에 놓아두면 벼멸구의 감로가 떨어진 부분이 보라색으로 색깔이 변한다. 이러한 방법으로 각 품종별로 벼멸구의 흡즙 후 배설되어 여과지에 떨어진 감로의 수를 측정을 하였다.

Data의 분석

각 품종별로 5회 반복 실험을 수행하였고, 그 실험에서 나온 전기적인 패턴을 전기적인 특징에 따라 분류를 한 뒤 각각의 Type 발생시간을 측정하였고 모든 data는 실험 시작 후 8시간 동안 측정된 것을 가지고 분석하였다. 각 Type의 발생시간은 SAS program(The SAS system for Windows v. 8.02)을 이용하여 DUNCAN 분석을 실시하고 각 품종간의 유의차를 확인하였다.

결 과

Electro Penetration Graphs

벼멸구가 벼를 흡즙할 때 발생하는 전압의 차이를 기록으로 나타내는 EPG 패턴을 그 전기적 특징에 따라 Type 1-6까지의 6가지로 나누었다(Fig. 2). 벼멸구는 기주식물에 아랫입술로 탐색을 한 후 구침으로 식물의 표피를 뚫고 흡즙을 하게 된다. 이 과정에서 전압의 급격한 변화가 생기며 이것은 벼멸구의 구침의 위치와 구침의 운동 그리고 식물체 내에서의 흡즙량의 정도에 따라 서로 다른 type의 EPG 패턴을 보이게 된다. 각각의 Type의 특성을 보면 Type 1은 벼멸구가 기주식물에 구침을 삽입하지 상태에서 흡즙을 하지 않고 쉬고 있거나 돌아다닐 때 나타나는 신호이다. 이때에는 기주식물과 벼멸구간의 전기적인 회로가 연결되지 않기 때문에 전압은 계속 일정한 상태로 유지가 된다. Type 2는 벼멸구가 기주식물에 구침을 채관

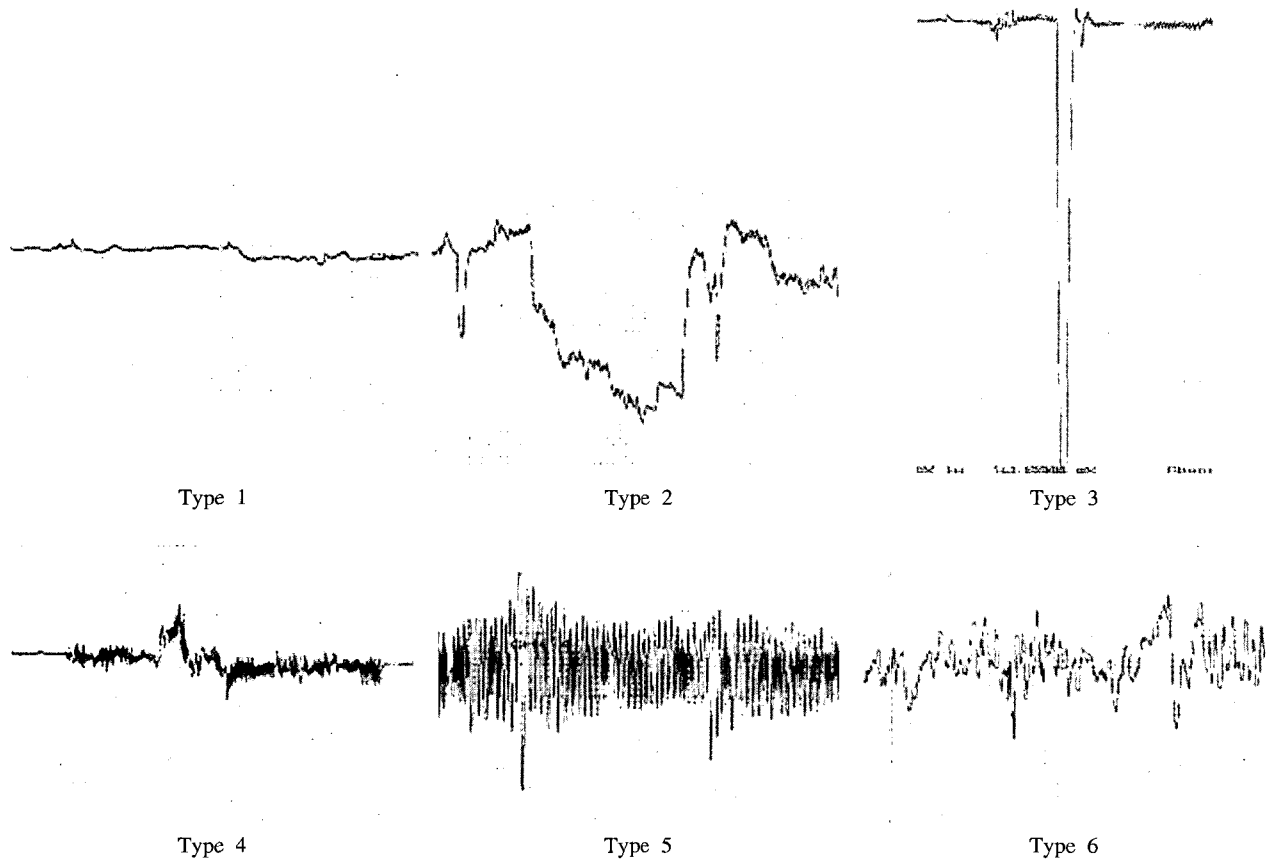


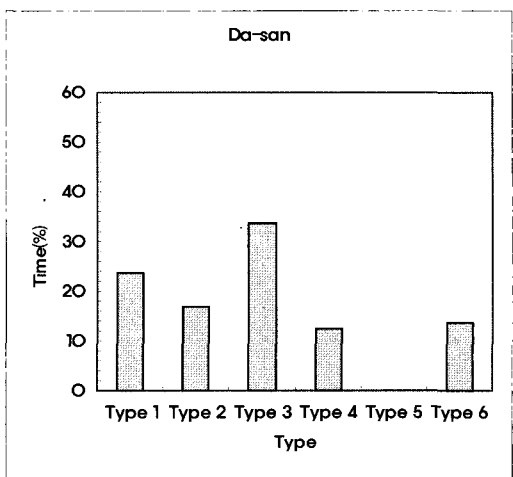
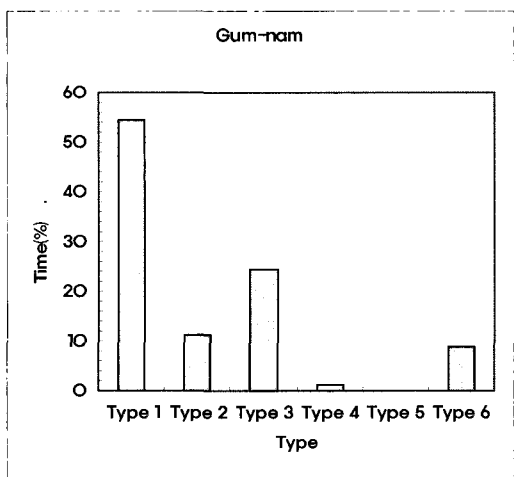
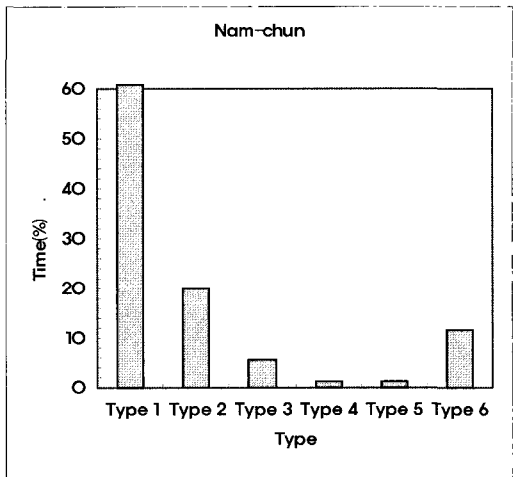
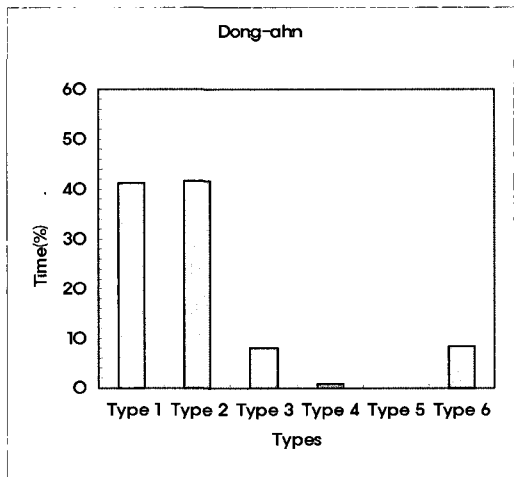
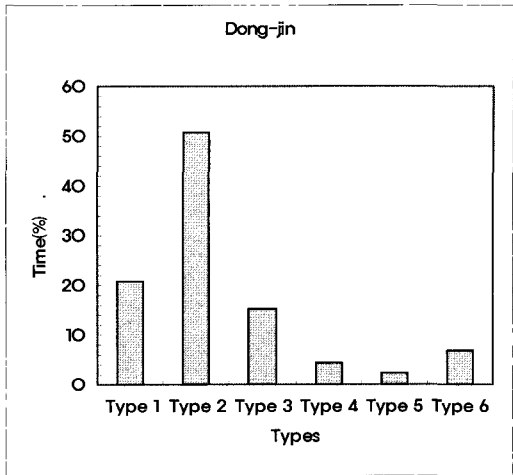
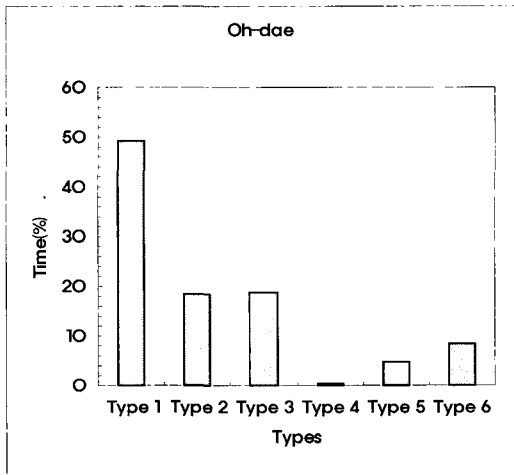
Fig. 2. Electrical penetration graphs (EPGs) of a Nilaparvata lugens on rice (Horizontal bar: time scale 1min., Vertical bar: voltage level (1mv).

부에 삽입하여 그 체관부에서 즙액을 흡즙할 때 나타나는 신호이다. 이때에는 전압의 하락이 나타나게 되는데 이는 벼멸구와 기주식물간의 회로가 연결되면서 저항이 급격히 감소하기 때문이다. 또한 이 전압의 차이는 벼멸구가 흡즙하는 즙액의 양의 많고 적음에 따라 차이가 나게 된다. 즉 많은 양을 흡즙할 때는 적은 양을 흡즙했을 때보다 더 낮은 전압을 나타나게 된다. Type 3은 벼의 내부로 벼멸구의 구침이 처음으로 삽입되었을 때 나타나는 신호이다. 즉 벼멸구가 흡즙을 하기 위해 구침을 일시적으로 삽입을 했을 때 나타나는 신호이다. 이때에는 구침이 식물 조직 내부로 침입함에 따라 급격한 전압의 하락이 나타나게 된다. Type 4는 벼멸구의 구침이 세포내로 삽입되어 타액을 분비할 때 나타나는 신호이다. 벼멸구 구침을 삽입한 후에 그 기주의 즙액을 흡즙하기 위해 먼저 타액을 분비하고 그 후에 흡즙을 하게 되는데 그 때 나타나는 신호이다. Type 5는 벼멸구가 구침을 물관에 삽입하여 수분을 흡수할 때 나타나는 신호이다. 매우 규칙적이고

조밀한 전압의 변화를 나타낸다. Type 6은 세포사이에서 구침이 이동할 때 나타나는 신호로서 매우 불규칙적인 진동을 나타낸다.

벼품종별 EPG type의 발생정도

각각의 10품종의 벼에서 벼멸구가 섭식할 때 발생하는 Type 1-6 까지의 EPG type의 발생정도를 알아보았다. 각각의 품종마다 서로 다른 EPG pattern을 나타냈는데 이를 분석하여 벼멸구의 품종별 선호도를 알아볼 수가 있다. 즉, 각 EPG type의 발생정도에 따라 각 품종에서 벼멸구가 어느 정도 체관 또는 물관을 섭식하는지, 그리고 얼마나 많은 시간동안 기주탐색 활동을 보이는지 등의 전반적인 섭식활동에 대하여 분석해 볼 수가 있다. 특히 벼멸구가 체관에 구침을 삽입하여 흡즙을 함으로써 나타나는 Type 2의 빈도에 중점을 두고 관찰하였다. Fig. 3은 본 실험에 사용한 10종의 벼 품종에 따른 벼멸구 EPG



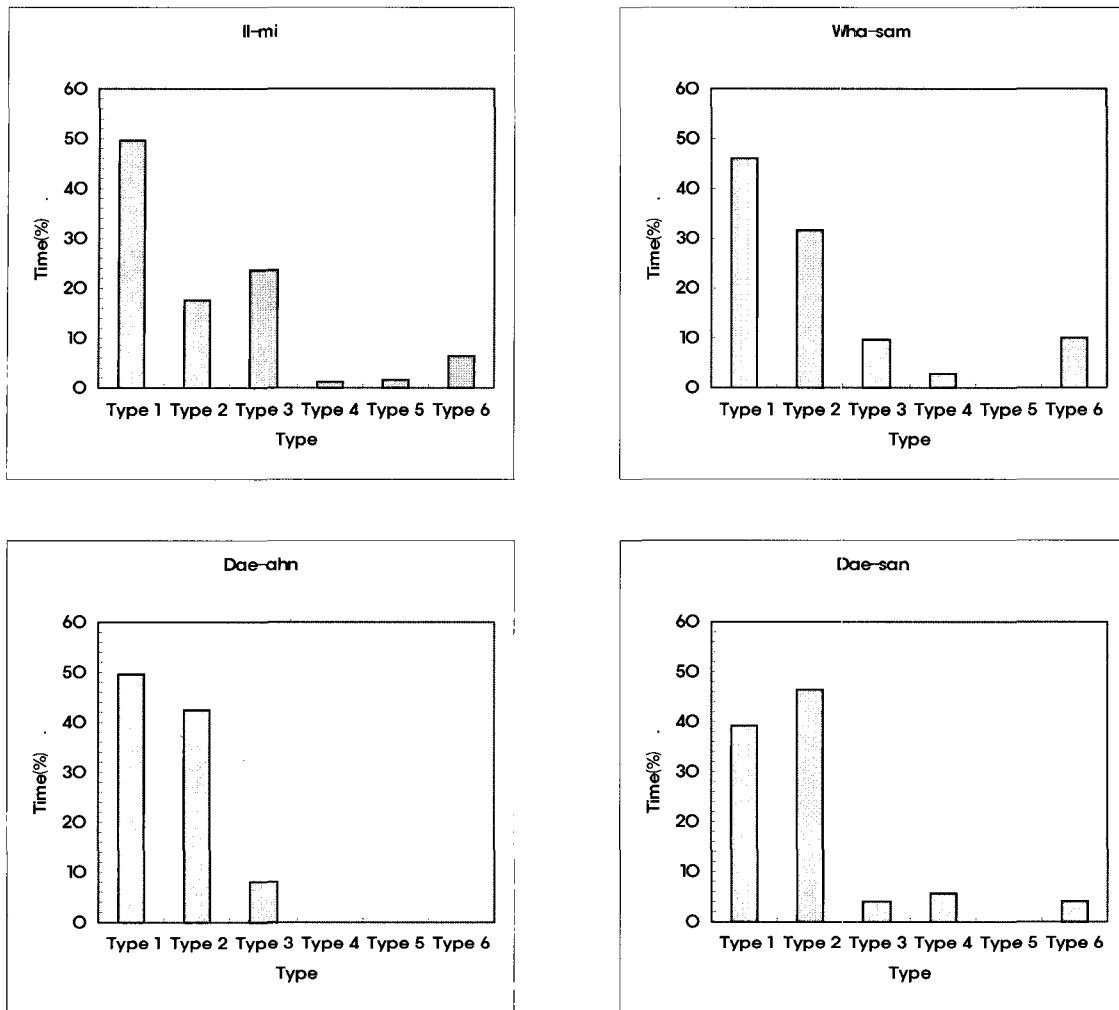


Fig. 3. Mean time (%) of each EPG type of *Nilaparvata lugens* on Oh-dae, Dong-jin, Dong-ahn, Nam-chun, Gum-nam, Da-san, Il-mi, Wha-sam, Dae-ahn and Dae-san rice varieties for 8 hrs recordings.

type을 각각 type별 경과시간을 분석한 것이다.

오대벼를 기주로 하여 측정한 결과, Type 1-6까지의 패턴이 모두 나왔지만 대부분이 시간이 Type 1과 Type 2가 차지하고 있다. 특히 Type 1이 실험시간의 50%정도를 차지하고 Type 3의 패턴은 Type 2와 비슷한 비율로 발생을 했다. 오대벼에서는 벼멸구가 흡즙이나 구침을 찌르는 등의 직접적인 섭식과 관련된 행동을 잘 보이지 않았고 돌아다니거나 쉬는 시간이 많았으며 구침을 벼에 찌르고 체관에서 즙액을 흡즙하는 시간은 그리 길지 않은 것을 알 수 있다. 또한 세포내에서의 구침의 이동은 그리 많지 않았고 총 측정 기간중 구침이 물관에 삽입되어 수분을 흡수하는 시간 또한 극히 적었다. 오대벼에서는 벼멸구가 능동적인 섭식활동을 보이지 않았고 이것은 이 품종은 벼멸구가 그리 선호하는 품종이 아니라고 추정할 수 있다.

동진벼의 경우 Type 1이 25%를 넘지 않았고 반대로 Type 2의 비율이 45%를 넘고 있었다. 또한 Type 3의 비율이 Type 1의 비율과 비슷한 정도로 나타났다. Type 1의 비율이 낮다는 것은 그만큼 벼멸구가 그 기주에서 앉아있거나 쉬고 있는 시간이 적었다는 것을 말하고 또한 Type 2의 비율이 높은 것으로 보아 벼멸구가 동진벼에서는 체관에서 많은 시간동안 즙액을 흡즙했다는 것을 알 수 있다. 그리고 이 벼에서는 약간의 수분만을 흡수하였고 구침의 세포내 이동 또한 그리 많지 않은 것을 볼 수 있다. 따라서 동진벼에서는 벼멸구가 비교적 활발한 섭식활동을 한다는 것을 알 수 있다.

동안벼의 경우 Type 1과 Type 2의 비율이 거의 비슷하게 나타났다. Type 2의 경우는 동진벼와 비슷한 정도인 42% 정도였지만 구침이 기주식물을 찌를 때 발생하는

Type 3의 경우는 매우 적게 나타났다. 동안벼에서 벼멸구는 많은 시간의 휴식과 이동, 그리고 그와 비슷한 정도의 체관 흡즙을 보였다. 그리고 물관 내로 구침을 삽입한 Type 5 패턴이 나타나지 않았기 때문에 수분을 흡수하지 않았다고 추정되며 구침의 세포내 이동은 동진벼와 비슷한 수준으로 나타났다. 이것은 구침이 그리 많이 이동하지 않고 지속적으로 한 곳에서만 흡즙을 했다는 사실을 의미한다. 동진벼와 비슷한 정도의 흡즙시간을 나타냈지만 구침의 세포내 이동이 적었다는 것은 동진벼보다 동안벼를 더 선호한다고 추정할 수 있다.

남천벼에서는 Type 1의 비율이 매우 높게 나타났다. 총 실험시간의 60% 이상을 Type 1이 차지하고 있었다. 반면에 Type 2의 비율은 약 20% 정도를 나타냈으며 나머지의 Type들도 10%를 넘지 않았다. 벼멸구가 남천벼에서는 많은 섭식을 하지 않았다. Type 1의 비율이 매우 높고 나머지 벼멸구의 섭식과 관련된 Type들의 비율이 낮은 것으로 보아 일단 벼에 구침을 삽입하는 등의 직접적인 섭식활동을 하지 않는 경향을 나타냈으며 구침의 세포내 이동 또한 그리 많지 않았다. 그리고 구침이 물관에 삽입되어 수분을 흡수하는 비율은 극히 낮게 나타났음을 알 수가 있었다. 즉, 전반적으로 남천벼에서는 벼멸구의 섭식 활동이 미비한 것으로 나타났다.

금남벼에서는 Type 1의 비율이 50% 이상으로 가장 높았으며 Type 2의 비율은 약 10% 정도로 적게 나타났다. Type 3의 비율은 다른 품종에 비해 매우 높은 양상을 보였다. 금남벼에서 나타난 EPG type의 비율을 보면 벼멸구의 체관섭식이 그리 많이 이루어지지 않았고 계속해서 벼 위에서 돌아다니거나 쉬고 있는 시간이 많았다. 하지만 Type 3의 비율이 높은 것으로 보아 계속해서 섭식을 하기 위한 행동인 구침의 삽입이 이루어졌다고는 볼 수가 있으나, 그 구침의 삽입이 체관흡즙으로까지는 이어지지 않은 것으로 추정된다.

다산벼의 경우, Type 1과 Type 2의 비율이 낮은 반면 Type 3의 비율이 높았다. 다산벼의 경우 Type 3의 비율이 높는데 이는 계속해서 벼멸구가 구침으로 벼를 찔렀다는 것을 의미한다. 그럼에도 불구하고 Type 2의 비율이 낮은 것은 벼멸구가 비록 많은 시간동안 구침을 찔렀지만 구침을 찌르고 나서 흡즙을 하지 않았다고 추정할 수 있다. 또한 Type 4의 비율이 높은 것은 많은 양의 타액을 분비했다는 것을 뜻하고 Type 6의 비율이 다른 벼에 비해 비교적 높은 것은 구침이 세포내 이동이 그만큼 많았다는 것을 뜻한다. 다산벼에서의 이러한 EPG type이 나타내는 것은 벼멸구가 이 벼를 선호하지 않는다고 추정할 수 있

다. 즉 섭식에 적합한 품종이었다면 구침을 많이 찌른 만큼 섭식이 많이 이루어져야함에도 불구하고 섭식패턴의 비율이 낮은 것은 벼멸구가 별로 선호하지 않는 품종이라고 추정할 수 있다.

일미벼에서는 Type 1의 비율이 약 50%로 가장 높았고 Type 2와 Type 3의 비율이 비슷하게 나왔다. 일미벼에서는 오대벼와 남천벼의 경우와 마찬가지로 많은 벼멸구가 많은 흡즙을 하지 않았다. 하지만 구침의 식물체내 삽입은 20% 이상 이루어졌다. 일미벼에서는 벼멸구가 약간의 수분을 흡수했고 꽤 많은 시간동안 탐침활동을 한 것으로 추정된다. 이 품종은 벼멸구가 그리 선호하지 않는 품종으로 추정된다.

화삼벼에서의 경우 Type 1이 50%를 넘었으며, Type 2의 비율도 30%를 넘었고 Type 3과 Type 6은 10% 정도의 비슷한 비율을 나타냈다. 이것은 화삼벼에서는 벼멸구가 많은 시간동안 섭식 활동을 하지 않고 가만히 쉬고 있거나 돌아다니는 시간이 많다는 것을 의미할 수 있다. 하지만 그에 비해 Type 3의 비율은 매우 적지만 Type 2의 비율이 30% 정도를 차지하는 것으로 보아 구침의 삽입이 이루어진 후 계속해서 흡즙이 이루어졌다고 추정할 수 있다.

대안벼의 경우 Type 1의 비율이 거의 반을 차지했고 또 Type 2의 비율도 40% 이상을 차지했다. Type 3과 Type 4, Type 6의 패턴은 낮은 비율로 관찰되었고 이 품종에서 Type 5의 패턴은 관찰되지 않았다. 대안벼에서 벼멸구는 구침을 삽입하고 나서 바로 흡즙으로 이루어진 것으로 추정된다. Type 3의 비율이 낮은 대신 Type 2의 비율이 40%를 넘는다는 것은 구침의 삽입이후 바로 체관흡즙으로 이어진 것을 뜻한다. 이것은 위의 금남벼와 다산벼와는 반대의 양상을 보인다. 즉 구침의 삽입 시간은 적지만 체관부의 흡즙은 많았다. 또한 Type 6의 비율이 낮다는 것은 구침의 세포내 이동이 그리 많지 않다는 것을 뜻한다. 이런 결과로서 이 품종을 벼멸구는 어느 정도 선호한다고 추정할 수가 있다.

대산벼의 경우, 다른 품종들과 비교했을 때 Type 2의 비율이 더 높았다. Type 3과 Type 4, Type 6의 패턴도 약간 나타났으며 다른 벼와 마찬가지로 Type 5의 패턴은 나타나지 않았다. 대산벼는 벼멸구가 선호하는 품종이라고 추정할 수가 있는데 이는 EPG type을 관찰했을 때 체관의 즙액을 흡즙할 때 나타나는 Type 2의 비율이 높았고 또한 Type 3의 비율이 낮은 것으로 보아 벼멸구가 구침을 삽입한 후 세포내에서 구침의 많은 이동이 발생하지 않고 바로 구침을 삽입하자마자 체관섭식에 들어간 것으로 추정할 수 있다.

벼 품종별 각 EPG type의 비교 분석

각 벼 품종들 사이에서 EPG type의 차이에 대하여 분석한 결과를 Table 1 에서 알 수 있다. Type 1의 시간차는 품종별로 최대 290분 이상, 최소 95분으로 약 3시간 이상의 차이를 보였다. 오대벼, 동안벼, 일미벼, 화삼벼, 대안벼, 대산벼가 같은 경향치를 나타냈고, 동진벼, 다산벼, 남천벼, 금남벼가 같은 경향치를 나타냈는데 남천벼와 금남벼 그리고 다산벼와 동진벼 사이에서는 많은 차이를 보였다. 이는 벼멸구가 남천벼와 금남벼에서 오랜 시간 돌아다니거나 휴식을 취하고 있었다는 것을 뜻하며 동진벼와 다산벼 등에서는 배회를 하거나 쉬는 행동을 보이는 대신 다른 활동을 하고 있었다고 추정할 수 있다. 그 외의 나머지 품종들에서는 그리 큰 차이를 나타내지 않았다. Type 2의 평균시간을 보면, 동진벼, 동안벼, 대산벼, 대안벼와 금남벼 사이에는 많은 차이를 나타냈다. 즉 동진벼, 동안벼, 대산벼, 대안벼에서는 많은 흡즙을 하였고 금남벼에서는 그와 반대로 매우 적은 시간동안만 흡즙을 했다는 것을 뜻한다. 그리고 화삼벼는 중·상정도의 흡즙을, 또한 남천벼, 오대벼, 일미벼, 다산벼는 중·하정도의 흡즙을 했다는 것을 나타낸다.

본 실험에서 가장 중점을 둔 것은 벼멸구의 품종별 선호도이다. 즉 이것은 벼멸구가 어느 품종을 더 잘 가해할 하여 흡즙을 하는지를 알아보는 것인데 이것을 나타내는 패턴이 바로 Type 2이다. 따라서 Type 2를 분석하면 벼멸구가 어느 품종에 대하여 어느 정도 선호성을 가지고 있는지 추정할 수가 있기 때문에 Type 2에 대한 내용을 세밀하게 분석하였다.

먼저 벼멸구가 벼 품종에 대하여 얼마 만에 적응을 하는지를 추정할 수 있는 사항으로서 처음으로 체관의 즙액을 흡즙하는데 경과되는 시간을 분석한 결과를 Table 2에서

Table 2. Mean time from start of EPG recording to first period of Type 2

Variety	Time(m)
Oh-dae	72.67±37.1cd*
Dong-jin	46±1.4cd
Dong-ahn	79±14.1cd
Nam-chun	128.33±36.7b
Gum-nam	15.33±3.5d
Da-san	59±16.9cd
Il-mi	206.75±64.8a
Wha-sam	36.67±11.5cd
Dae-ahn	34.33±2.2cd
Dae-san	84.67±21.9bc

* Means with the same letter are not significantly different (P=0.05, CV=14.83248, Duncan's multiple range test).

볼 수 있다. 기록을 시작한 후 처음으로 Type 2가 나올 때까지 걸린 시간은 남천벼, 일미벼 등에서 오랜 시간이 걸렸고 동진벼, 금남벼, 화삼벼, 대안벼에서는 약 30-40분 정도의 시간이 경과되었다.

또 Type 2가 나온 후에 이러한 패턴이 계속적으로 지속되는 시간을 측정한 결과 Fig. 4에서 보듯이, 오대벼, 동안벼, 남천벼, 금남벼, 화삼벼 등에서는 그 지속시간이 30-40분 정도였고, 동진벼, 다산벼, 일미벼, 대안벼, 대산벼에서는 모두 1시간 이상씩을 흡즙을 하였다. 동진벼와 대안벼의 경우에는 처음으로 Type 2가 나오는 시간도 짧았고 또 그 지속시간은 매우 길었다. 또한 총 Type 2의 시간은 위에서 보았듯이 동진벼, 동안벼, 대안벼, 대산벼에서 매우 길었고 반면에 금남벼, 다산벼, 일미벼 등에서는 그 시간이 매우 짧았다. 이와 같이 Type 2를 분석한 결과로는 동진벼와 대안벼에 대해 벼멸구가 어느 정도 섭식 선호성

Table 1. Mean time of EPG Type 1 to 6 on 10 rice varieties during 8 hours EPG recordings

Variety	Mean of recording time (Min)					
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5	Type 6
Oh-dae	227.8±30.4ab*	85.6±20.6bc*	86.2±12.4ab*	2±1.2b*	22.8±4.0a*	39±16.7a*
Dong-jin	95.6±50.0b	222.2±36.5a	91.2±31.2ab	18.4±2.7ab	10±4.2b	32±17.8a
Dong-ahn	200±56.1ab	199.4±3.1a	38±16.5b	3.6±1.2b	0d	40.4±4.6a
Nam-chun	290.4±55.7a	94.4±12.1bc	25.4±2.1b	6.2±1.1b	5±2.2b	53.8±14.6a
Gum-nam	242.6±75.9a	48.8±19.9c	106±33.0ab	5.2±3.1b	0d	38.6±12.6a
Da-san	100.6±9.6b	72±20.5bc	143.4±25.1a	53.0±19.5a	0d	58.2±14.1a
Il-mi	205.8±28.8ab	73.4±21.6bc	97.6±10.2ab	5±1.5b	6.6±0.6a	26.8±5.54a
Wha-sam	230.4±82.5ab	149.6±1.7ab	45±12.0b	13.6±11.4b	0d	47±8.2a
Dae-ahn	227.8±37.7ab	194.6±39.1a	36±13.9b	7.6±0.5b	0d	33±17.4a
Dae-san	165.6±72.1ab	196.2±59.5a	17.6±7.2b	24.4±15.6ab	0d	17.4±5.7a

* Means with the same letter are not significantly different (P=0.05, CV show last row. Duncan's multiple range test).

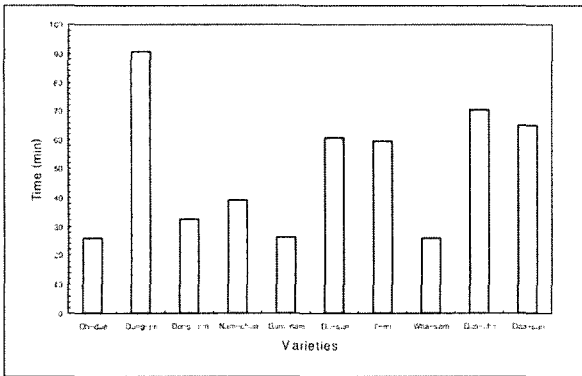


Fig. 4. Mean duration (min) of the first type 2 from 10 rice varieties.

을 갖고 있다고 추정할 수 있다.

Type 3의 경우는 각 품종들 사이에 큰 차이를 보이지 않았는데, 그 중에서도 다산벼에서는 다른 품종들에 비해 긴 시간을 나타냈다. 이것은 벼멸구가 다산벼에서 많은 시간 벼에 구침을 꽂는 행동을 했다는 것으로 추정할 수 있는데 그만큼 먹이를 찾는 탐침행동을 많이 했다는 것을 의미한다. 오대벼와 다산벼 금남벼, 그리고 일미벼에서도 비교적 긴 시간을 나타냈다. 그와는 반대로 대산벼와 대안벼, 남천벼, 동안벼, 화삼벼에서는 짧은 시간동안의 Type 3 패턴을 나타냈는데 위의 Type 2의 시간과 연결해서 추정을 해보면 섭식하기에 적당하지 않은 기주이기 때문에 계속적으로 섭식을 하기 위하여 먹이를 찾는 행동으로 추정할 수가 있다. Type 4의 경우에는 각 품종별로 큰 차이를 보이지 않았으나 다산벼만이 긴 시간을 나타냈다. 그 외 동진벼와 대산벼에서 비교적 긴 시간을 나타냈고 나머지의 다른 품종에서는 비슷한 수준으로 나타났다. Type 3과 연관해서 추정해 보았을 때 많은 시간동안 구침을 식물체내에 삽입하는 행동을 하였고 그에 비례하여 그 기주가 섭식하기에 적합한지를 알아보기 위해 타액을 그만큼 많이 분비하고 여러 번 흡즙을 시도한 것으로 추정할 수 있다. Type 5의 평균시간을 보면, 각 품종들 사이에 별 차이 없이 나타났다. 이 Type 5는 벼멸구의 구침이 물관에 삽입되어 수분을 흡수할 때 나타나는 패턴인데 각 품종마다 그 시간이 짧거나 없는 것은 벼멸구가 일반적으로 체관을 흡즙하는 phloem-feeder로서의 섭식특성에 의한 것으로 추정할 수 있다. Type 6 역시 각 품종간 큰 차이가 나타나지 않았다. 이는 모든 품종에서 벼멸구의 구침의 세포내 이동이 비슷한 정도로 이루어졌다고 추정할 수 있다. 하지만 단지 시간차이만으로 보았을 때는 다산벼, 남천벼와 동진벼, 대안벼 간에는 유의성 있는 시

간 차이가 났다. 동진, 대안벼보다 다산벼, 남천벼에서 구침이 세포내에서 더 많이 이동을 했다고 추정 할 수 있다.

감로의 분비

벼멸구는 벼의 체관을 흡즙을 하고 난 후에 감로를 분비하게 된다. 즉, 많은 시간 체관을 흡즙하면 그에 비례하여 많은 감로를 분비를 하고 적게 흡즙을 하면 그 반대의 경우가 나타난다. 8시간의 측정 기간 동안에 나온 각 품종별 감로의 분비량을 측정한 결과를 Fig. 5에서 볼 수 있다. 앞에서 언급한 Type 2의 패턴이 체관을 흡즙할 때 나오는 패턴이기 때문에 Type 2와 연관을 지어 추정해 볼 수가 있다. 8시간의 실험중 가장 오랜 시간의 Type 2를 나타낸 품종은 동진벼였다. 그리고 그와 반대로 가장 적은 시간을 나타낸 품종은 금남벼였다. 동진벼, 화삼벼, 대안벼, 대산벼에서 감로의 분비량이 다른 품종에 비해 많은 것을 알 수 있고 금남벼에서는 감로의 분비량이 매우 적다는 것을 볼 수 있다. 이것은 벼멸구가 흡즙하는 양과 그에 따른 감로의 분비량이 비례한다는 것을 나타낸다.

이러한 감로의 분비는 벼멸구의 섭식행동과 관련이 있다. 즉 벼멸구가 체관을 섭식한 후에 감로의 분비가 이루어진다는 것이다. 따라서 EPG type과 감로의 분비의 관찰이 동시에 이루어져야 한다. 즉 어떤 type이후에 감로가 발생하는지, 그리고 어떤 type이후에 가장 많은 감로가 분비가 되는지 등의 관찰을 해야한다. 본 실험에서는 벼멸구의 감로의 분비는 Type 2 이후에 대부분 발생하였고 어떤 다른 Type에서보다 더 많은 감로를 분비하였다. 벼멸구의 구침이 체관내로 침입했을 때 나타나는 EPG type

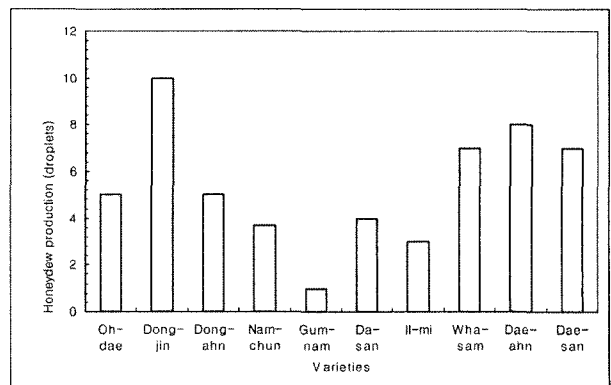


Fig. 5. Honeydew excretion of *N. lugens* on 10 rice varieties during 8h experiment.

과 실제로 체관에서 흡즙하고 있을 때의 차이는 그 흡즙하는 양에 따라서 달라지지만 진짜 흡즙을 하고 있는지 확실하지는 않다. 하지만 실제로 흡즙했을 때는 감로의 분비가 이루어지기 때문에 감로의 분비량을 측정하는 것이 실제적인 흡즙이 이루어졌는지의 판단에 도움을 줄 수 있을 것이다. Fig. 6은 감로를 흡즙할 때 발생하는 EPG pattern인 Type 2와 감로와의 관계에 대하여 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 흡즙시간이 길어질수록 감로의 분비량도 그에 따라 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 Type 2의 시간이 적을 때는, 그에 따라 감로의 분비량도 적은 것을 볼 수 있다.

고 찰

흡즙형 구기를 가진 곤충의 섭식행동을 연구하기 위한 방법인 EPG는 매우 쉽고 편리한 기술이며 또한 많은 다른 곤충에게도 적용할 수가 있다(Kimmins, 1989). 이 방법은 곤충과 기주식물을 하나의 전기적 회로로 연결을 하고 곤충의 구침의 활동에 따른 전압의 변화에 기초하여 분석을 하게 되며 전기적인 system에 기록된 각 type은 곤충이 식물에 구침을 삽입하는 것과 그 구침의 위치에 의해 관찰이 된다.

벼멸구를 실험곤충으로 하여 조사한 결과 진딧물을 가지고 실험한 것(Tjallingii, 1978, 1985; Kimmins and Tjallingii, 1985)과는 다른 pattern이 기록되었다. 진딧물의 경우 5가지의 type이 기록되었지만 벼멸구에서의 EPG type은 6가지가 기록되었다. 진딧물과 벼멸구의 섭식활동은 비슷하지만 이런 EPG type이 다른 것은 아마도 구별하기 어려운 미세한 차이에 의한 것으로 추정할 수 있다.

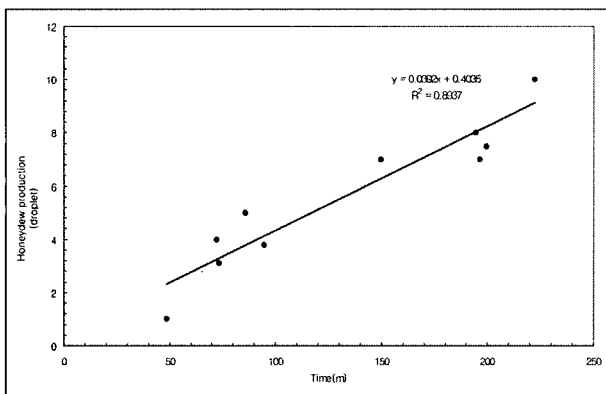


Fig. 6. Correlation between the number of secreted honeydew droplets and total time of Type 2 signal for 8 hours.

벼멸구에 의한 벼의 흡즙에 의한 결과로 나온 EPG는 그것들의 전기적인 특성을 기초로 하여 pattern 1-6으로 나누었다(Kimmins, 1989). 벼멸구의 섭식 pattern에 대한 연구를 통해 벼멸구에 대하여 내충성인 벼 품종의 내충성 기작을 밝히기 위하여 더 많은 연구가 이루어지고 있다. 내충성인 품종에서 벼멸구는 적은 흡즙을 하고 따라서 적은 감로를 분비한다(Khan and Saxena, 1985; Cook et al., 1987). Khan and Saxena(1988)는 DC기록법을 사용하여 벼멸구가 내충성인 품종에서는 더 적은 섭식뿐 아니라 감로 또한 적게 분비한다는 것을 밝혔다. Kimmins(1989)는 벼멸구를 가지고 실험한 결과에서 감수성 품종에서보다 내충성 품종에서 체관의 흡즙과 관련된 섭식 패턴이 더 적다는 것을 알아냈으며 이것은 내충성 품종에서 체관의 흡즙을 방해하는 내충성 기작이 있다는 것을 뜻한다.

본 실험에서 가장 중점을 두고 관찰한 것은 벼멸구가 직접적으로 벼에 피해를 줄 수 있는 체관을 흡즙할 때 나타나는 Type 2였다. 10품종의 벼에서 Type 2를 분석한 결과 많은 차이가 나타났다. 이 Type 2의 분석에서 알 수 있는 것은 벼멸구가 어느 품종을 더 선호하느냐 하는 것이다. 즉 오랜 시간동안 Type 2가 관찰이 되면 오랫동안 흡즙을 했다는 것을 의미하기 때문이다. Khan & Saxena(1988)는 곤충이 식물을 섭식하지 못하는 것은 그 식물 자체에 그러한 섭식행동을 방해하는 능력이 있기 때문이라고 하였다. 내충성 품종과 감수성 품종을 가지고 실험을 했을 때 그들은 내충성 품종에서 곤충이 오랜 시간 탐색활동을 하고 반대로 적은 시간의 섭식을 한다고 하였다.

본 실험에서도 역시 그런 양상이 나타났는데 실험에 사용한 10가지 품종들 가운데 벼멸구에 대해서 내충성이라고 확신할 수는 없었다. 단지 흡즙 시간의 측정 결과 분석만으로는 그 품종이 내충성인지 감수성인지라고 단언할 수가 없기 때문이다. 일반적으로 식물의 내충성은 한 가지 요인에 의한 것이 아니라 여러 가지 요인, 즉 물리적, 화학적, 환경적 요인 등의 복합적인 요인작용에 의해 나타나기 때문에 단지 한가지의 실험만으로 결론을 내릴 수는 없다. 그러한 결론을 내리기 위해서는 실험실내에서의 실험만이 아닌 포장실험을 같이 수행해야 한다고 추정한다. 본 실험에서 나온 결과를 보았을 때 내충성이라는 말보다는 섭식선호성이 있는지 없는지의 결론을 내릴 수는 있었다. 어떤 품종이 벼멸구에 대해서 내충성인지 또는 감수성인지에 대하여 확실히 알기 위해서는 본 실험에서 수행한 것과 함께 병행해서 이루어져야 하는데 10가지 품종을 한 곳에서 키운 후 그 안에 일정한 수의 벼멸구를 넣고 각각의 벼와 벼멸구의 생리, 생태 실험 등이 함께 이루어

어셔야 하며, 그 결과를 비교, 분석해 보아야 할 것이다.

본 논문의 실험을 통해 벼멸구의 섭식선호도를 어느 정도 관찰할 수가 있었지만 너무 기초적인 범위의 실험만이 이루어졌다. 따라서 가능하다면 이 실험을 바탕으로 여러 다른 실험과 함께 품종별 내충성의 정도를 결정하고, 또한 살충제에 응용하여 실험을 한다면 본 기술의 적용은 연구에 많은 이점을 제공할 것이라 본다.

Literature Cited

- Chang, V. C. S. 1978. Feeding activities of the sugarcane leafhopper: Identification of electronically recorded waveforms. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 71(1): 31-36.
- Cook, A. G., S. Woodhead, V. F. Magalit and E. A. Heinrichs. 1987. Variation in feeding behaviour of *Nilaparvata lugens* on resistant and susceptible rice varieties. *Entomol. Exp. Appl.* 43: 227-235.
- Crane, P. S. 1970. The feeding behaviour of the blue-green sharpshooter *Hordnia circellata* (Baker) (Homoptera: Cicadellidae). Unpublished Ph. D. Dissertation, Univ. of California, Davis. 132 pp.
- Kawabe, S. and D. L. McLean. 1980. Electronic measurement of probing activities of the green leafhopper of rice. *Entomol. Exp. Appl.* 27: 77-82.
- 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. Ent.* 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.
- Khan, Z. R. and R. C. Saxena. 1988. Probing behavior of three biotypes of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) on different resistant and susceptible rice varieties. *J. Econ. Entomol.* 81(5): 1338-1345.
- Kimmins, F. M. 1989. Electrical penetration graphs from *Nilaparvata lugens* on resistant and susceptible rice varieties. *Entomol. Exp. Appl.* 50: 69-79.
- Kimmins, F. M. and W. F. Tjallingii. 1985. Ultrastructure of sieve element penetration by aphid stylets during electrical recording. *Entomol. exp. appl.* 39: 135-141.
- Kimmins, F. M., A. G. Cook and S. Woodhead. 1987. Resistance mechanism in rice to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stal. Proceedings of the sixth international symposium, Insect/plant relationships, pp. 283-288.
- McLean, D. L. and 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.
- Padgham, D. E. and S. Woodhead 1988. Variety-related feeding patterns in the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Stal) (Homoptera: Delphacidae), on its host, the rice plant. *Bull. Ent. Res.* 78: 339-349.
- Rivera, C. T., S. H. Ou, and T. T. Iida. 1966. Grassy stunt disease of rice and its transmitted by the planthopper *Nilaparvata lugens* Stal. *Plant Dis. Rep.* 50: 453-456.
- Rosen, H., 1957. A modified ninhydrin colorimetric analysis for amino acids. *Arch. Biochem. Biophys.* 67: 10-15.
- Sogawa, K. and C. H. Cheng. 1979. Economic thresholds, nature of damage and losses caused by the brown planthopper. See Ref. 14, pp. 125-142.
- 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.
- Triplehorn, B. W., L. R. Nault and D. J. Horn. 1984. Feeding behavior of *Graminella nigrifrons* (Forbes). *Ann. Entomol. Soc. Am.* 77: 102-107.
- 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.
- Youn, Y. N. 1992. Electrophysiological recordings of olfactory receptors, ultrastructure of compound eyes and electrical monitoring of feeding behaviour in *Nilaparvata lugens* (Stal) (Homoptera: Delphacidae). PhD. Thesis. University of London. England. 392pp.
- Youn, Y. N. and Y. D. Chang. 1993. Electrical feeding patterns and stylet movement of rice brown planthopper, *Nilaparvata lugens* (Homoptera), in the rice tissues. *Korean J. Appl. Entomol.* 32(2): 208-217.

(Received for publication 7 June 2005;
accepted 6 July 2005)

