

누대도태에 의한 벼멸구의 품종적응성의 변화

황인철 · 김진호 · 송유한*

경남 진주시 가좌동 경상대학교 농과대학 식물자원환경학부

Changes in the Fitness of Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) to Several Resistant Rice Varieties after Multi-generational Selection

In-chol Hwang, Jin-ho Kim and Yoo-han Song*

Division of Plant Resource and Environmental Sciences, College of Agriculture, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Republic of Korea

ABSTRACT : This study investigated the changes in the fitness of brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, to several rice varieties with different resistance background, after multi-generational selection on a resistant rice variety. A susceptible strain of brown planthopper (Dongjin-S) had been reared on the Chungchungbyeo with *Bph1* resistance gene for three generations (Chungchung-G3) and six generations (Chungchung-G6), then the fitness change was evaluated by measuring their longevity, fecundity, preferences, and survivorships on the varieties with various background of resistance. After being selected three to six generations on Chungchungbyeo, feeding preference, adult longevity, and fecundity increased, where as nymphal period reduced when they were reared on various varieties with *Bph1* gene. The egg periods were not much different among the varieties fed on, except for the Chungchung-G6 on the rice varieties of Milyang63 (*bph2* gene) and Gayabyeo (*Bph1*+*bph2* gene). These results suggest that the susceptible Dongjin-S (Biotype-1) can be easily converted to a resistant biotype-2 capable of overcoming the resistant varieties with *Bph1* gene.

KEY WORDS : Biotype, *Nilaparvata lugens*, Rice variety, Resistance, Brown planthopper

초 록 : 벼멸구를 저항성 품종에서 도태시켰을 때 새로운 생태형으로 발전되는 속도와 벼멸구의 생태형과 벼의 품종저항성 간에 유전적으로 대응하고 있는지를 알아보려고, 감수성품종(동진벼)으로 사육하던 벼멸구를 *Bph1* gene을 가진 저항성품종(청청벼)으로 각각 3세대 및 6세대 도태시킨 후, 같은 *Bph1* gene을 가진 4개 품종(Mudgo, IR26, IR64, 청청벼)과, 다른 *bph2* gene을 가진 2개 품종(밀양63호 및 가야벼) 및 저항성이 없는 2개 품종(동진벼, TN-1)을 공시하여 각 계통의 벼멸구의 산란 및 섭식선호성, 수명, 발육기간, 사충율, 산란수 등을 조사하였다. 그 결과 감수성 벼멸구(생태형-1)를 저항성 *Bph1* 유전자를 갖는 청청벼에서 3세대(청청3세대계) 및 6세대(청청6세대계)로 도태시켰을 때, 사육세대가 많아질수록 청청벼에서의 성충의 수명은 길어지고, 산란수는 많아지며, 또한 약충의 우화율이 높아지고, 약충기간이 짧아지는 등 빠르게 저항성을 극복하였다. 청청3세대계 및 6세대계 벼멸구는 청청벼와 같은 *Bph1* 저항성 유전자를 가진 다른 품종들(Mudgo, IR26, IR64)에 대해서도 도태세대수가 많아지면서 선호성이 점점 높아지는 경향이였다. 성충의 수명과 산란수에 있어서도 청청3세대계, 청청6세대계 등으로 도태세대가 많아질수록 같은 저항성 *Bph1* 유전자를 가진 Mudgo, IR26, IR64 등에서 수명이 길어지고 산란수도 많아졌다. 벼멸구의 약충기간은 품종과 벼멸구 도태계통간에 큰 차이가 없었다. 그러나, 약충기간 중 사망률은 도태가 진행되면서 역시 *Bph1* 저항성 gene의 4개 품종 모두에서 낮아졌고, 죽은 개체의 수명도 길어졌다.

*Corresponding author. E-mail: yhsong@nongae.gsu.ac.kr

밀양 63호(*bph2* gene)와 가야벼(*Bph1 + bph2* gene) 등 2개 품종에서는 벼멸구의 3개 계통 모두 우화하지 못했다.

검색어 : 벼멸구, 생태형, 품종, 저항성, 벼, *Nilaparvata lugens*

서 론

해충방제의 궁극적인 목표는 작물의 피해를 사전에 방지하거나 그 피해를 경감시키는데 있다(Kim and Kim, 1986; Kim and Youn, 1987). 해충방제를 위하여 저항성품종을 이용하는 것은 대상해충의 밀도를 저하시키고 매개곤충에 의한 바이러스병 매개를 경감시킬 수 있을 뿐 아니라 화학적 방제에서 오는 약제 저항성해충의 발생, 유용생물의 감소, 잠재해충의 해충화, 잔류독성, 생태계의 균형 파괴, 해충의 밀도회복현상(Resurgence) 및 환경오염 등 여러 부작용을 해소할 수 있는 장점이 있다(Song *et al.*, 1972; Bae *et al.*, 1987; Kim, 1993).

벼멸구는 중국을 비롯한 동남아시아 벼 재배 지역에서 매우 중요한 해충으로 매년 여름 한국으로 비래하여 가을 수확기까지 2-3세대 경과하면서 벼에 큰 피해를 주고 있다(Kim *et al.*, 1985; Saxena and Barrion, 1985; Zhou *et al.*, 1992; Cuong *et al.*, 1997). 이 해충의 방제를 위해 저항성 품종을 이용하는 것은 종합적 방제의 한 방편으로 관심이 집중되고 있다(Kim and Youn, 1987; Cuong *et al.*, 1997). 그러나 저항성 품종이 지속적으로 보급됨에 따라 해충 개체군 또한 이들 품종에 적응하기 위해 생태적 및 생물학적으로 변화-적응하게 되었으며(Kim *et al.*, 1985; Saxena and Barrion, 1985), 특히, 벼멸구는 고유의 특징 즉, 크기가 작고, 세대기간이 짧으며, 번식력이 높고, 분포범위가 넓다는 유리한 점을 바탕으로 짧은 시간 안에 저항성 품종을 가해할 수 있는 새로운 개체군인 생태형(Bio-type)을 쉽게 형성하고 있다(Park and Song, 1988b). 이러한 현상은 해충 문제를 단순히 저항성품종의 육종과 보급을 통하여 해결하고자 하는데서 기인되며, 농업생태계에서 해충의 능동적인 적응에 의하여 새로운 생태형을 촉진, 다양화시키는 또 다른 문제를 파생시킬 수 있다. 특히, 벼멸구와 같이 한 종의 숙주에만 기생하거나 환경조건이 다양한 넓은 지역에 분포되어 있는 해충은 새로운 생태형으로 더욱 빠르게 발달될 수 있는 가능성이 더욱 높아질 전망이다(Kim and

Kim, 1986).

저항성 품종을 가해할 수 있는 새로운 벼멸구의 생태형은 벼 품종의 안정된 저항성을 지속시키지 못하게 하여 벼멸구 방제를 어렵게 하고 있다(Kim and Youn, 1987). 또한, 생태형은 품종이 지닌 저항성유전자와 품종에 대한 반응을 기준으로 판정하고 있으나 그 형성속도가 빠르고 판별품종의 종류에 따라 달라지는 등, 혼동을 초래하고 있다(Saxena and Barrion, 1985). Park and Song (1988a)은 생태형이 발달되는데 걸리는 시간이 불과 3-10세대만 경과되어도 변화될 수 있다는 연구보고를 인용하면서, 한국에서는 생태형-3을 유발하는 *bph2*를 가진 품종이 많이 재배되고 있지 않으므로, 벼멸구가 비래 당시에 생태형-3이라도 포장경과도중 생태형-2 또는 생태형-1로 변화할 가능성이 있다고 하였다.

따라서 본 연구의 목적은, 첫째로 감수성품종으로 사육하던 벼멸구를 저항성품종으로 사육하였을 때, 몇 세대가 경과하면 벼멸구가 저항성품종을 가해할 수 있는지를 조사함으로써 벼멸구의 생태형의 형성 속도를 알아보고자 하였으며, 둘째로, 동일한 저항성 유전자를 가진 것으로 알려진 품종들이 벼멸구에 대해 같은 반응을 보이는지의 여부를 조사함으로써, 저항성이 단순히 유전자에 의해서만 나타나는 gene for gene의 가설이 성립하는지 아니면 저항성 유전자의 역할보다는 벼멸구의 품종에 대한 일시적 적응에 의해 생태형이 나타나는지를 알아보고자 하였다.

본 연구를 지원해 주신 경상대학교 농업생명과학연구원에 감사 드린다.

재료 및 방법

실험에 쓰인 벼멸구는 동진, 청청3세대, 청청6세대 계통을 사용하였다. 동진계 벼멸구는 1997년 7월 남해 설천에서 채집하여 경상대학교 곤충사육실(27±1°C)에서 동진벼를 이용하여 1998년 12월까지 누대사육한 계통이며, 청청3세대와 청청6세대 계통 벼멸구는 동진벼에서 약 20세대 정도 경과한 것으로 추정되는

Table 1. Eight rice varieties and their genetic backgrounds of resistance to *Nilaparvata lugens*

| Varieties | Resistant gene ^{a)} | Other varieties with same gene |
|-----------------|------------------------------|---|
| TN1 | none | Hwajinbyeo, Chuchungbyeo, Pungsanbyeo, IR20, IR22 |
| Dongjinbyeo | none | IR24 |
| Mudgo | <i>Bph1</i> | IR28, IR29, IR30, IR34, IR46 Sangangbyeo |
| IR26 | <i>Bph1</i> | |
| IR64 | <i>Bph1</i> | |
| Chungchungbyeo | <i>Bph1</i> | |
| M63 (Milyang63) | <i>bph2</i> | ASD7, IR36, IR42, MTU15, IR54, IR74, Cisadane |
| Gayabyeo | <i>Bph1</i> + <i>bph2</i> | |

^{a)}Data were collected by Sogawa (1982, 1997)

동진계 벼멸구를 98년 12월에 청청벼를 이용하여 각기 3세대 및 6세대동안 사육한 벼멸구 계통들이다.

본 연구에 쓰인 품종은 감수성품종인 TN1과 동진벼, *Bph1* 유전자를 가진 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼, *bph2* 유전자를 가진 M63 (밀양63호), 그리고 *Bph1*과 *bph2* 유전자를 모두 가진 가야벼 등 8개 품종이었다 (Table 1).

동진벼, 청청벼, M63, 가야벼 등은 영남농업시험장에서 1998년에 수확한 종자를 사용하였으며, TN1, Mudgo, IR26, IR64 등은 국제미작연구소로부터 1998년 12월에 분양을 받아 사용하였다.

품종별 3개 벼멸구 계통의 섭식선호성 및 산란선호성 조사

가로 50 cm, 세로 45 cm, 깊이 3 cm의 플라스틱 그릇에 흙을 채우고 최아시킨 종자를 각 품종당 5반복으로 일정 간격으로 완전임의배치법으로 파종하였다. 벼가 3엽기 정도 자랐을 때 우화 1일 이내의 벼멸구 각 계통의 성충 암수(50:50) 100마리를 접종한 후, 가로 55 cm 세로 50 cm, 높이 30 cm의 망사 케이지를 덮어씌웠다. 벼멸구를 접종 한 후 6시간, 12시간, 24시간, 48시간 후에 각각 식물체에 부착한 벼멸구를 조사하여 섭식선호성을 비교하였다. 섭식선호성 실험이 끝난 후(접종 48시간 후) 케이지 안에 남은 벼멸구를 제거하고, 벼멸구가 벼에 산란한 알의 수를 해부현미경으로 조사하여 벼멸구 계통간, 품종간 산란선호성을 비교하였다.

벼멸구 성충의 수명, 총산란수, 난기간, 약충의 발육정도 조사

시험관(높이 20 cm × 직경 2.2 cm)에 1%의 한천을 끓여서 3 cm 깊이(약 20 cc)로 부어 넣고 식힌 다음, 48 시간 정도 침중하여 최아시킨 공시 품종의 종자를 1 개씩 심었다. 벼가 시험관 내에서 2 cm 가량 자랐을 때, 시험관 별로 갖 우화한 성충 한 쌍씩 접종하였다. 접종 후 24시간마다 준비된 다음 시험관으로 벼멸구를 옮겨주며, 벼멸구가 모두 죽을 때까지 계속 조사를 수행하였다. 매일 일정시간에 벼멸구를 옮기면서 생사 여부를 확인하여 성충의 수명을 조사하였고, 벼멸구를 옮기고 난 다음 각 품종별로 총 10개의 반복 중 9개는 그날 산란한 알의 수를 조사하여 성충의 일별 산란패턴과 총 산란수를 조사하였다. 10개 시험관 중 나머지 1개는 계속 실온(27±1°C)에서 보관하며 매일 벼멸구 약충이 부화하는 수를 조사하면서 난기간을 조사하였다. 산란 후 20일이 경과된 벼 유묘는 해부하여 부화하지 못한 개체수를 조사하여 부화율계산에 사용하였다.

부화한 약충은 다시 위와 같은 방법으로 준비한 시험관에 같은 날 부화한 약충 3-4마리를 같이 접종하고 성충이 될 때까지 매일 생존수를 조사하여 약충기간과 우화율 그리고 우화하지 못하고 사망한 개체의 수명을 조사하였다.

집단유묘검정법에 의한 각 벼멸구 계통에 대한 벼의 피해수준 조사

가로 50 cm, 세로 45 cm, 깊이 3 cm의 플라스틱 그릇에 흙을 채우고 벼를 5립씩 두 줄로 각 품종당 10 주를 심어, 벼멸구 약충(2-3령)을 주당 3마리 정도가 되도록 접종한 후 선호성 실험에서와 같이 망사 케이지를 씌웠다. 벼멸구가 벼에 입히는 피해수준을 IRRI (국제미작연구소)가 추천한 저항성등급기준에 의거하여 아래의 6단계로 나누어 TN1이 완전고사 할 때까지 조사하였다.

- 0: 식물체가 전혀 반응이 없는 것
- 1: 제 1엽의 끝이 황갈색으로 변한 것
- 3: 제 1엽과 제 2엽의 끝이 황갈색으로 변한 것
- 5: 식물체가 위축되고 잎이 뚜렷하게 황갈색으로 변한 것
- 7: 식물체가 위축되고 거의 고사상태에 있는 것
- 9: 식물체가 완전히 고사한 것

위의 6단계 중 0-3까지는 저항성(R: Resistant), 5의 단계에 해당하는 것은 중도저항성(M: Moderate Resistant), 7에 해당하는 것은 감수성(S: Susceptible), 9에 해당하는 것은 고도감수성(HS: Highly Susceptible)로 구분하였다.

결과 및 고찰

벼멸구성충의 섭식선호성 및 산란선호성

3개 벼멸구 계통 성충의 각 품종에 대한 섭식선호성을 알아보기 위해 각 조사시간별 주당 부착충수를 조사한 결과는 Table 2와 같다.

동진계 벼멸구는 TN1과 동진벼에서 접종 후 시간이 경과함에 따라 높은 섭식선호성을 보였으나, *Bph1* 저항성 유전자를 가진 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼에서는 시간이 지나면서 점점 선호성이 낮아지는 경향이었으며, *bph2* 유전자를 가진 밀양63 및 두 유전자 모두를 가진 가야벼에서도 같은 경향을 나타내었다. 그러나 청청벼에서 3세대 사육한 청청3세대와 6세대 사육한 청청6세대 계통은 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼에

대한 선호성이 동진벼에서와 같은 수준으로 높아졌고, 밀양63호, 가야벼의 경우 동진계, 청청3세대, 청청6세대의 세 계통의 벼멸구에서 모두 시간경과에 변함 없이 낮은 선호성을 보였다.

Mudgo, IR26, IR64, 청청벼 등 내 품종은 동일한 *Bph1* 유전자를 가지고 있지만 벼멸구는 접종 24시간 후에 청청벼를 가장 많이 선호하였고, 다음으로 Mudgo, IR64, IR26의 순이었다. 그 이유는 비록 같은 저항성 유전자 *Bph1*을 가진 품종이라 해도 벼멸구는 청청벼로 사육하였기 때문에 청청벼에 먼저 적응하여 청청벼를 가장 선호하였다고 생각된다. 특기할 만한 사실은, 동진벼와 같이 저항성 유전자가 없는 것으로 알려진 TN1에서도 청청벼에서 도태된 벼멸구(G3 및 G6)의 선호성이 동진벼에 비해 낮아졌다는 점이다. 이러한 결과 또한 같은 감수성 품종군에 있다 하더라도 섭식시킨 품종이 다르면 선호성에서 차이가 날 수 있음을 시사하는 것으로서, 저항성과 생태형의 구분이 판별품종의 선택에 따라 차이가 날 수 있음을 시사하는 것이라고 하겠다.

또한 산란선호성을 알아보기 위해 48시간 후 벼에 붙어 있는 벼멸구 성충을 제거한 후 벼잎집에 산란되

Table 2. Feeding preference in three strains of *Nilaparvata lugens*, fed on eight rice varieties with different resistant gene

| BPH strains ^{a)} | Varieties | No. of BPH after hours/5 hills ^{b)} | | | | | No. of egg after 48 hrs |
|---------------------------|----------------|--|-------|--------|--------|--------|-------------------------|
| | | 3 hrs | 6 hrs | 12 hrs | 24 hrs | 48 hrs | |
| Dongjin strain | TN1 | 12 | 6 | 13 | 14 | 11 | 68 |
| | Dongjinbyeo | 7 | 12 | 19 | 22 | 14 | 63 |
| | Mudgo | 14 | 13 | 5 | 5 | 3 | 87 |
| | IR26 | 13 | 10 | 7 | 4 | 1 | 81 |
| | IR64 | 6 | 3 | 3 | 2 | 0 | 34 |
| | Chungchungbyeo | 18 | 8 | 15 | 9 | 8 | 70 |
| | Miryang 63 | 4 | 12 | 5 | 0 | 2 | 33 |
| | Gayabyeo | 8 | 4 | 1 | 4 | 1 | 79 |
| Chungchung G3 strain | TN1 | 11 | 22 | 16 | 20 | 8 | 42 |
| | Dongjinbyeo | 7 | 10 | 12 | 16 | 13 | 44 |
| | Mudgo | 12 | 13 | 12 | 11 | 10 | 66 |
| | IR26 | 7 | 7 | 9 | 7 | 6 | 52 |
| | IR64 | 12 | 8 | 11 | 9 | 12 | 47 |
| | Chungchungbyeo | 17 | 16 | 12 | 11 | 10 | 93 |
| | Miryang 63 | 7 | 11 | 6 | 1 | 4 | 98 |
| | Gayabyeo | 10 | 3 | 10 | 3 | 5 | 56 |
| Chungchung G6 strain | TN1 | 10 | 9 | 6 | 10 | 7 | 66 |
| | Dongjinbyeo | 15 | 17 | 16 | 13 | 13 | 64 |
| | Mudgo | 13 | 10 | 18 | 18 | 16 | 150 |
| | IR26 | 16 | 15 | 12 | 10 | 5 | 106 |
| | IR64 | 14 | 12 | 15 | 4 | 6 | 90 |
| | Chungchungbyeo | 17 | 12 | 14 | 21 | 10 | 137 |
| | Miryang 63 | 8 | 11 | 9 | 4 | 5 | 85 |
| | Gayabyeo | 4 | 5 | 4 | 2 | 3 | 44 |

^{a)}Dongjin strain: reared for 30 generations on Dongjinbyeo; Chungchung-G3: reared for 3 generation on Chungchungbyeo; G6: reared for 6 generations on Chungchungbyeo

^{b)}Number of *Nilaparvata lugens*, stayed on each rice variety after different times of infestation

어 있는 알을 해부현미경으로 조사하였는데, 그 결과는 Table 2에서와 같이 청청6세대 계통의 경우, Mudgo, IR26, IR64, 청청벼에서 각각 150개, 106개, 90개, 137개로 동진계 벼멸구의 87개, 81개, 34개, 70개보다 현저히 많은 산란수를 보였다. 단 청청3세대 계통은 동진계 벼멸구와 뚜렷한 차이가 없는 산란수를 보였다.

이러한 결과는 Cohen et al. (1997)의 벼멸구 계통에 따라서 벼 품종에 대한 섭식선호성 및 산란선호성이 다르며, 벼멸구에 대한 저항성 품종에서는 계통에 상관없이 섭식과 산란을 저해하는 효과가 있다고 보고한 결과와 유사한 결과를 보였다.

이 실험의 결과로 미루어 볼 때 같은 *Bph1* 유전자를 가진 청청벼, Mudgo, IR64, IR26 등에서도 섭식선호성이 품종에 따라 다르게 나타난 것은 매우 흥미로운 사실이다. 또한 벼에 붙어 있는 벼멸구의 수가 많을수록 즉, 섭식선호성이 높을수록 각 품종의 산란수는 많아져 시간이 지날수록 산란선호성 또한 선호성, 비선호성에 있어서 더욱 뚜렷한 차이를 보였는데, 벼멸구가 품종에 적응해 가는 것은 단순히 저항성 유전자에만 지배를 받지 않고 다른 부차적 인자로부터도 영향을 받는 적응현상이 있는 것으로 생각된다.

Table 2에서 나타난 또 한가지의 특이한 결과는 청청3세대(G3) 및 청청6세대(G6) 도태계통의 밀양63호(*bph2* gene 보유)에 대한 산란선호성이 높아졌다는 사실이며, 이 품종에 대한 G3 및 G6의 섭식선호성이 매우 낮은 점을 고려할 때 그 증가는 더욱 뚜렷하였는데, 이러한 현상이 나타나게 된 이유에 대해서는 추후 더 연구해 보아야 할 것으로 생각이 된다.

벼멸구성충의 수명

각 계통 벼멸구의 성충을 공시 품종에서 사육하였을 때, 그 수명을 조사한 결과는 Table 3과 같다.

본 실험의 결과를 보면, 밀양63호나 가야벼 등 *bph2* 유전자를 가진 저항성 품종에서는 동진계, 청청3세대, 청청6세대 등 3개 계통 모두 큰 차이가 없이 감수성인 TN1, 동진벼 등에서 보다 수명이 짧아졌다.

한편 *Bph1* 유전자를 가진 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼 등의 품종에서 각 벼멸구 계통의 반응을 살펴보면, 동진계통의 경우, 위 각각의 품종에서 암컷의 수명이 10.9일, 8.3일, 10.7일, 10.4일이었으나, 청청벼에서 3세대 도태시킨 청청3세대 계통의 수명은 각각 13.1일,

11.5일, 13.1일, 14.4일이었고, 6세대 도태시킨 청청6세대 계통은 15.7일, 12.6일, 14.2일, 14.2일로 나타나, 청청벼에서 도태세대가 많을수록 이들 품종에서 수명이 대체로 길어지는 경향을 보였다. 이러한 현상은 수컷에도 같은 경향이였다.

흥미로운 것은, 같은 *Bph1* 유전자를 가진 품종이라도 도태에 사용된 청청벼에서 수명이 길어지는 현상이 더 크게 나타났는데, 이는 섭식선호성의 결과와도 유사한 해석, 즉 벼멸구가 품종에 적응해 가는 요인으로서의 부가적 인자의 존재를 암시하는 것이 아닌가 추측된다. 또한 청청벼(*Bph1* gene 보유)에서 3-6세대만 도태하여도 이 저항성 유전자에 대하여 적응력이 커지는 것이 아닌가 생각된다.

Cheng and Wang (1977)은 벼멸구는 단일 저항성 품종이 넓은 지역에 재배되고 있을 경우 불과 3-10세대만 경과되어도 그 품종에 적응한 생태형이 발달된다고 하였으며, Park and Song (1988b)은 우리나라에서는 생태형-3을 유발하는 *bph2* 유전자를 가진 품종이 많이 재배되고 있지 않으므로, 벼멸구가 비래 당시에 생태형-3이라도 포장경과도중 생태형-2 또는 생태형-1

Table 3. Longevity of three strains of *Nilaparvata lugens*, reared on rice varieties with different resistant gene

| BPH strains | Varieties | Longevity (day) ^{a)} ± SE | |
|----------------------|------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| | | Female | Male |
| Dongjin strain | TN1 | 13.7 ± 1.24 a | 15.1 ± 1.51 a |
| | Dongjinbyeo | 13.2 ± 0.95 a | 15.9 ± 1.07 a |
| | Mudgo | 10.9 ± 0.99 b | 11.4 ± 1.43 b |
| | IR26 | 8.3 ± 0.90 c | 10.6 ± 0.79 b |
| | IR64 | 10.7 ± 0.91 b | 10.8 ± 1.44 b |
| | Chungchungbyeo | 10.4 ± 0.64 b | 9.4 ± 1.30 c |
| | Miryang 63 Gayabyeo | 6.7 ± 0.79 d 8.0 ± 0.86 c | 9.7 ± 1.27 bc 11.2 ± 0.87 b |
| Chungchung G3 strain | TN1 | 12.1 ± 1.10 bc | 13.2 ± 1.48 b |
| | Dongjinbyeo | 14.8 ± 0.73 a | 13.6 ± 1.66 b |
| | Mudgo | 13.1 ± 0.71 b | 17.3 ± 0.98 a |
| | IR26 | 11.5 ± 0.81 c | 14.7 ± 1.25 b |
| | IR64 | 13.1 ± 0.71 b | 12.9 ± 1.61 bc |
| | Chungchungbyeo | 14.4 ± 1.02 a | 13.0 ± 1.44 b |
| | Miryang 63 Gayabyeo | 8.3 ± 1.28 d 9.3 ± 1.37 d | 11.4 ± 1.04 bc 10.3 ± 1.65 c |
| Chungchung G6 strain | TN1 | 13.0 ± 0.93 cd | 15.1 ± 1.18 ab |
| | Dongjinbyeo | 13.9 ± 0.92 bc | 16.0 ± 1.20 a |
| | Mudgo | 15.7 ± 1.31 a | 16.9 ± 1.30 a |
| | IR26 | 12.6 ± 0.52 c | 13.9 ± 1.06 b |
| | IR64 | 14.2 ± 0.87 b | 13.8 ± 1.26 b |
| | Chungchungbyeo | 14.2 ± 0.51 b | 16.0 ± 0.67 a |
| | Miryang 63 Gayabyeo | 8.1 ± 0.77 d 7.6 ± 1.07 d | 9.8 ± 0.75 c 8.4 ± 0.67 c |

^{a)}Average of 10 replications. In each group of the three strains of *Nilaparvata lugens*, the values followed by a common letter are not significantly different at the 5% level (DMRT).

로 변화할 가능성 있다고 하였다.

또한, Cohen *et al.*(1997)과 Alam and Cohen(1998)은 IR26과 IR64는 같은 유전자인 *Bph1*을 가지고 있는데도 불구하고 IR26보다는 IR64에서 더 저항성으로 나타내었다고 보고하였는데, 이들은 그 이유를 IR64에는 *Bph1* gene 이외에 다른 소수의 minor gene이 부가적으로 작용하고 있는 것으로 해석하였다. 본 연구결과에서도 IR64에서 섭식선호성이나 성충의 수명에서도 청청 도태 벼멸구의 적응력이 청청벼에 비해 낮은 것은 이와 같은 원인에 기인한 것이 아닌가 생각된다.

본 실험결과에서는 대체로 벼멸구 수컷이 암컷보다 더 오래 산 것으로 나타났다. 일반적으로 벼멸구는 암컷이 수컷보다 오래 사는 것으로 알려져 있지만(Kim and Kim, 1986), 본 연구에서 상반된 결과를 보인 것은 실험방법에서 다소 차이를 보인 것으로 생각된다. 즉 Kim and Kim (1986)은 80일 성묘를 이용하였으나, 본 실험에서는 3엽기 정도의 유묘를 이용하였으며 24시간마다 다른 시험관으로 옮기는 과정에서 암컷이 더 큰 스트레스를 받은 것이 아닌가 생각된다.

Table 4. Egg periods and hatchabilities of three strains of *Nilaparvata lugens*, reared on rice varieties with different background of resistance

| BPH strains | Varieties | Egg period ^{a)} (day ± SE) | Percent hatching ^{b)} (%) |
|----------------------|----------------|--|---------------------------------------|
| Dongjin strain | TN1 | 8.08 ± 0.34 bc | 42.1 |
| | Dongjinbyeo | 8.24 ± 0.19 abc | 39.5 |
| | Mudgo | 8.47 ± 0.41 ab | 55.9 |
| | IR26 | 8.43 ± 0.42 ab | 36.8 |
| | IR64 | 8.21 ± 0.26 abc | 34.0 |
| | Chungchungbyeo | 8.60 ± 0.33 a | 39.5 |
| | Miryang 63 | 7.89 ± 0.42 c | 48.0 |
| | Gayabyeo | 8.25 ± 0.10 abc | 37.5 |
| Chungchung G3 strain | TN1 | 8.50 ± 0.41 ab | 40.0 |
| | Dongjinbyeo | 8.50 ± 0.31 ab | 38.9 |
| | Mudgo | 8.70 ± 0.43 ab | 75.0 |
| | IR26 | 7.90 ± 0.25 b | 51.4 |
| | IR64 | 8.55 ± 0.40 ab | 28.9 |
| | Chungchungbyeo | 7.95 ± 0.45 b | 68.8 |
| | Miryang 63 | 8.10 ± 0.21 b | 37.0 |
| | Gayabyeo | 10.00 ± 1.45 a | 55.6 |
| Chungchung G6 strain | TN1 | 8.56 ± 0.40 d | 40.0 |
| | Dongjinbyeo | 9.00 ± 0.45 c | 25.9 |
| | Mudgo | 8.79 ± 0.42 cd | 41.9 |
| | IR26 | 8.73 ± 0.44 cd | 33.9 |
| | IR64 | 8.83 ± 0.31 cd | 25.0 |
| | Chungchungbyeo | 8.50 ± 0.30 d | 46.2 |
| | Miryang 63 | 11.20 ± 0.55 b | 16.7 |
| | Gayabyeo | 12.00 ± 0.33 a | 26.3 |

^{a)}Average of 10 replications. In each group of the three strains of *Nilaparvata lugens*, the values followed by a common letter are not significantly different at the 5% level (DMRT).

^{b)}Percentage hatching in each varieties.

난기간 및 부화율

각 품종에서의 벼멸구 각 계통의 난기간과 부화율을 조사한 결과는 Table 4에 나타내었다. 대체로 품종이나 벼멸구의 계통에 상관없이 난기간이 8-9일 정도로 나타났으나, 다만 청청3세대 계통은 가야벼에서 10일, 청청6세대 계통은 밀양63호에서 11.2일, 가야벼에서 12일로 유의성있는 차이를 보였다.

그리고 동진계 벼멸구는 밀양63호에서 7.89일, 가야벼에서 8.25일로 청청3세대와 청청6세대 계통보다 오히려 짧게 나타났다. 이는 동진계(생태형-1) 벼멸구의 난기간이 밀양23호(no gene), 청청벼, 밀양63호, 가야벼에서 각각 8.63일, 9.05일, 9.18일, 9.54일로 나타났다는 Park and Song (1988a)의 보고와 다소 차이를 보였으며, 이러한 차이는 실험상의 조건 특히 본 연구에서의 사육온도가 1-2도 높았던 데에 기인한 것으로 보인다.

본 실험결과와 청청3세대 계통이 가야벼에서, 그리고 청청6세대 계통이 밀양63호와 가야벼에서 난기간이 유의성 있게 길게 나타난 것은 매우 흥미있는 사실로서, 이는 밀양63호나 가야벼가 가지고 있는 저항성 유전형질이 각 생태형의 발육에 미치는 인자에 관하여 앞으로 더 심도있게 추구해야 할 과제라고 생각된다. 한편 동진계통은 저항성 및 감수성 품종에서 난기간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 이 결과는 Park and Song (1988a)의 연구 등 대부분의 곤충에서 흔히 보이는 연구결과와 일치하였다.

한편 부화율은 토태 세대수에 따라 큰 변화는 없었으나, Mudgo와 청청벼에서 특히 부화율이 높게 나타난 것은 흥미로운 사실로서, 이 두 품종이 부화율을 확실히 높이는지, 그렇다면 그 이유가 무엇인지를 알아보는 더 정밀한 연구가 있어야 할 것으로 보인다.

총산란수 및 일별산란수

우화 3일 이내의 벼멸구 성충을 각 품종에 접종시키고 성충이 사망하기까지 산란한 총 수 및 일별 산란수를 조사한 결과는 Table 5에 나타내었다.

동진계 벼멸구의 경우 TN1, 동진벼 두 품종에서 총산란수가 많았으나 다른 저항성품종에서는 적게 나타났다. 이는 이들 저항성 품종에서 일별 산란수가 적은 데서 가장 큰 영향을 받은 것으로 생각된다.

한편 청청3세대 및 6세대 도태계통의 경우 도태세

Table 5. Fecundity of three strains of *Nilaparvata lugens* reared on eight rice varieties with different resistance genes

| BPH strains | Varieties | No. eggs/ female | No. eggs/ female/day |
|-------------------------|----------------|----------------------------|-------------------------|
| Dongjin strain | TN1 | 53.3±6.26 ab ^{a)} | 4.81 |
| | Dongjinbyeo | 61.2±4.48 a | 5.12 |
| | Mudgo | 47.3±5.88 b | 4.34 |
| | IR26 | 33.6±6.14 c | 4.05 |
| | IR64 | 37.1±6.15 c | 3.46 |
| | Chungchungbyeo | 45.9±3.42 ab | 4.59 |
| | Miryang 63 | 15.5±3.62 d | 2.31 |
| | Gayabyeo | 13.6±4.16 d | 1.76 |
| Chungchung G3 strain | TN1 | 50.8±4.24 b | 4.72 |
| | Dongjinbyeo | 43.3±4.00 c | 3.94 |
| | Mudgo | 59.8±6.59 b | 4.98 |
| | IR26 | 37.4±5.38 c | 3.94 |
| | IR64 | 41.2±5.53 c | 3.76 |
| | Chungchungbyeo | 61.9±6.35 a | 6.19 |
| | Miryang 63 | 20.2±4.58 d | 2.43 |
| | Gayabyeo | 17.3±4.08 d | 1.86 |
| Chungchung G6 strain | TN1 | 48.7±4.77 bc | 4.63 |
| | Dongjinbyeo | 54.6±4.25 bc | 4.6 |
| | Mudgo | 61.3±7.81 ab | 5.11 |
| | IR26 | 52.8±6.23 c | 3.97 |
| | IR64 | 62.4±6.06 ab | 5.04 |
| | Chungchungbyeo | 67.4±6.45 a | 5.64 |
| | Miryang 63 | 18.3±2.39 d | 2.26 |
| | Gayabyeo | 14.9±2.70 d | 1.96 |

^{a)}Average of 10 replications. In each group of the three strains of *Nilaparvata lugens*, the values followed by a common letter are not significantly different at the 5% level (DMRT).

대가 진행될수록, 도태에 사용된 청청벼와 같은 *Bph1* gene을 가진 Mudgo, IR26, IR64 등에서 총 산란수가 증가하는 경향을 보였으며, 이 또한 주로 일별 산란수의 증가에 기인된 것으로 나타났다. 즉, 청청3세대 계통의 경우 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼 네 품종의 산란수가 각각 59.8개, 37.4개, 41.2개, 61.9개였는데 비해 청청6세대에서는 각각 61.3개, 52.8개, 62.4개, 67.4개로 세대가 경과할수록 산란수가 점점 많아지는 것을 볼 수 있었다. 이는 Kim (1993)의 결과와 일치하였으며, 또한 Park and Song (1988b)의 60일 된 성묘를 이용한 실험에서 나타난 각 계통별로 품종들의 산란경향과도 일치하는 경향이였다.

벼멸구의 총 산란수가 계통별로 각각의 품종에서 뚜렷한 차이를 보이는 이유는 벼멸구가 청청벼에서 세대가 경과할수록 청청벼는 물론 Mudgo, IR26, IR64 등의 청청벼와 같은 저항성 유전자를 가진 품종들에서도 수명이 길어져 산란기간이 길어졌으며 또한 이들 청청계통 벼멸구의 일별 산란수도 많아졌기 때문이라고 생각된다.

그러나, *bph2* gene을 가진 밀양63호와 가야벼에서는

도태세대의 경과로 인한 총 산란수 및 일별 산란수의 변화가 없이 3개 계통 모두에서 매우 적은 산란수를 보였는데, 이는 *Bph1* gene에 도태된 계통은 *bph2* gene에는 전혀 적응되지 않는 유전자 대응의 원리가 적용될 수 있는 것으로 보인다.

벼멸구의 약충기간, 우화율, 미우화 약충의 평균수명

각 저항성 품종에서의 벼멸구의 생육상황, 즉, 약충기간, 우화율, 미우화 약충의 평균수명 등을 조사하여 청청벼(*Bph1* gene)에서의 도태 벼멸구가 품종의 저항성에 적응해 가는 과정을 알아보려고 하였으며, 그 결과는 Table 6에 나타난 바와 같다.

Saxena and Barrion (1984)은 벼 유묘를 이용한 저항성 검정에서 벼멸구에 대해 감수성반응을 보인 품종에 비하여 저항성반응을 보인 품종에서 벼멸구의 섭식선호도가 현저히 낮아 유충의 발육에 지장이 있었으며, Medrano 등(1980)은 벼멸구 약충을 령기별로 벼에 접종한 결과 유령약충보다 노령약충이 더 저항성에 민감하게 반응하였다고 보고하였다.

본 실험결과, 우화에 성공한 약충의 기간을 살펴보면 저항성 품종인 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼에서 동진계 벼멸구의 약충기간은 각각 16.2일, 16.6일, 16.8일, 16일로 나타났으며, 청청3세대 계통은 14.2일, 15.4일, 14.6일, 14.5일로 통계적으로는 유의성이 없으나 도태가 진행됨에 따라 조금 짧아지는 경향이었고, 청청6세대 계통은 15일, 14.3일, 15.4일, 14.8일로 나타나 청청3세대와 뚜렷한 차이를 보이지 않는 것으로 조사되었다.

그러나 감수성 품종인 TN1에서는 동진계, 청청3세대계, 청청6세대계 등의 약충기간이 각각 13.7, 16.2, 16.8일로 도태세대가 경과되면서 오히려 길어지는 경향을 보였는데, 이는 벼멸구에 대한 도태압이 *Bph1* gene 쪽으로 가해지면 저항성이 없는 것으로 알려진 품종에 대해서도 역도태에 의해 적응력이 떨어질 수도 있다는 Heong (1997, personal comments)의 가설을 뒷받침 할 수도 있는 것으로 생각된다.

한편 벼멸구 약충의 우화율을 보면 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼에서 동진계 벼멸구는 각각 26.3%, 23.8%, 21.1%, 16%이다가 청청3세대계는 51.4%, 47.8%, 55.5%, 48.6%, 청청6세대계는 60%, 52.9%, 76.7%, 63.3%로 도태가 세대가 경과할수록 점점 높아지는 경향이였으며, *bph2* gene을 가진 밀양63호와 가야벼

Table 6. Nymphal period, emergence rate, duration of dead nymph of three strains of *Nilaparvata lugens*, reared on the varieties with different resistance gene

| BPH strains | Varieties | Nymphal ^{a)} period | Emergence rate | Duration of ^{a)} dead nymph |
|----------------------|----------------|------------------------------|----------------|--------------------------------------|
| Dongjin strain | TN1 | 13.7±0.37 d | 54.0 | 10.0±2.03 a |
| | Dongjinbyeo | 15.4±0.19 c | 51.2 | 6.6±1.34 bc |
| | Mudgo | 16.2±0.28 ab | 26.3 | 7.0±1.76 bc |
| | IR26 | 16.6±0.45 ab | 23.8 | 6.7±0.50 bc |
| | IR64 | 16.8±0.17 a | 21.1 | 4.6±0.84 c |
| | Chungchungbyeo | 16.0±0.58 bc | 16.0 | 6.5±0.50 bc |
| | Miryang 63 | — | 0 | 7.3±0.93 b |
| | Gayabyeo | — | 0 | 6.4±1.20 bc |
| Chungchung G3 strain | TN1 | 16.2±0.28 a | 45.7 | 7.0±0.94 cd |
| | Dongjinbyeo | 16.6±0.45 a | 48.5 | 10.0±0.63 a |
| | Mudgo | 14.2±0.15 c | 51.4 | 7.3±1.30 cd |
| | IR26 | 15.4±0.30 b | 47.8 | 9.6±1.30 a |
| | IR64 | 14.6±0.45 c | 55.5 | 6.8±0.66 cd |
| | Chungchungbyeo | 14.5±0.28 c | 48.6 | 9.3±1.19 ab |
| | Miryang 63 | — | 0 | 8.1±1.47 bc |
| | Gayabyeo | — | 0 | 6.4±1.02 d |
| Chungchung G6 strain | TN1 | 16.8±0.42 a | 43.3 | 11.4±0.94 a |
| | Dongjinbyeo | 14.2±0.44 c | 53.3 | 8.9±1.42 b |
| | Mudgo | 15.0±0.51 b | 60.0 | 8.4±1.03 bc |
| | IR26 | 14.3±0.51 c | 52.9 | 11.3±1.85 a |
| | IR64 | 15.4±1.41 b | 76.7 | 6.8±1.48 c |
| | Chungchungbyeo | 14.8±1.17 bc | 63.3 | 10.1±0.86 ab |
| | Miryang 63 | — | 0 | 4.5±1.18 d |
| | Gayabyeo | — | 0 | 3.8±0.5 d |

^{a)}Average of 10 replications. In each group of the three strains of *Nilaparvata lugens*, the values followed by a common letter are not significantly different at the 5% level(DMRT).

에서는 세 계통 모두가 우화되는 개체가 없었다. 이 결과는 청청벼로 도태시킨 벼멸구가 *Bph1* gene을 가진 다른 품종에도 적응해가는 현상을 극명하게 보여 주고 있으며, 도태압이 걸리지 않은 *bph2* gene의 밀양 63호와 가야벼에서는 100%의 사충율을 보이는 것과 대조를 이루고 있다.

또한 약충기간 중 사망한 개체의 수명도 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼 등의 품종에서 동진계 벼멸구는 각각 7일, 6.7일, 4.6일, 6.5일이었으나 청청3세대계는 7.3, 9.6, 6.8, 9.3일, 청청6세대계는 8.4일, 11.3일, 6.8일, 10.1일로 나타나 도태세대가 경과함에 따라서 조금씩 길어지는 경향을 보여 주었다.

집단유묘검정법에 의한 벼의 피해수준

벼멸구가 벼에 입히는 피해수준은 IRRI에서 추천한 국제유묘검정법의 저항성 판별기준에 의하여 동진계 벼멸구와 청청6세대를 비교하여 나타내었다. 그 결과 Table 7과 같이 나타냈다.

TN1 및 동진벼에서는 동진계, 청청계 벼멸구가 모두 높은 감수성 반응을 보였고, Mudgo, IR26, IR64, 청

Table 7. The reaction of eight rice varieties to two strains of *Nilaparvata lugens* selected by Dongjinbyeo with no resistant gene and Chungchungbyeo with *Bph1* gene

| Varieties | Damage degree | |
|----------------|-----------------------|----------------------|
| | Dongjin strain | Chungchung G6 strain |
| TN1 | S (8.7) ^{a)} | S (9) |
| Dongjinbyeo | S (9) | S (9) |
| Mudgo | MR (3.4) | S (7.2) |
| IR26 | R (2) | S (8.1) |
| IR64 | R (2.3) | S (9) |
| Chungchungbyeo | R (2) | S (9) |
| Miryang63 | R (1.2) | R (1) |
| Gayabyeo | R (1) | R (1) |

R: Resistant, MR: Moderate Resistant, S: Susceptible

^{a)}The numerals in parenthesis express degree of damage by INGER standard.

청벼에서 동진계 벼멸구는 각각 3.4, 2, 2.3, 2로 강한 저항성을 반응을 보였는데, 청청벼로 6세대 사육한 후에 반응을 보면 이들 네 품종의 반응정도는 7.2, 8.1, 9, 9로 TN1이나 동진벼와 같은 높은 감수성 반응을 보였다.

Lee *et al.* (1994)은 벼멸구를 저항성 품종에서 오래 사육하면 저항성품종에 대해 벼멸구가 감수성으로 바뀌는 이유는 벼멸구 개체군내 저항성 유전 자에 적응

하는 능력을 가진 개체들이 섞여 있기 때문이라고 하였으며, 매 개체군마다 한 종 이상의 저항성 유전자를 가진 벼에서 섭식하며 발육할 수 있는 능력을 지닌 벼멸구가 있기 때문이라고 보고하였다.

본 실험의 결과에서도 마찬가지로 동진계 벼멸구 개체군에 *Bph1* 유전자를 가진 품종을 가해할 수 있는 개체가 이미 존재하였으며, 이들 품종을 가해하지 못하는 개체는 도태되고 가해할 수 있는 개체들만 빠른 속도로 불어나서 벼에 가해하는 수준이 높아진 것으로 생각된다.

결론적으로, 본 연구의 두 가지 목적, 즉 벼멸구의 생태형의 형성 속도와 품종의 저항성이 벼멸구 생태형의 유전형질에 대응하여 일어나는지의 여부를 알아 본 연구의 결과, 벼멸구는 감수성 품종인 동진벼로 사육하다가 저항성품종인 청청벼로 불과 3-6세대만 경과하여도 저항성품종을 가해할 수 있는 능력이 생긴다는 것을 알 수 있었으며, 동일 저항성 gene을 가진 품종들에 대하여 벼멸구의 생태형이 보이는 반응이 유사하여 유전자 대응(gene for gene)의 논리가 성립되는 것으로 여겨졌다.

벼멸구 동진계통이 청청벼에서 selection 되는 과정에서 불과 3-6세대 후에 생태형-2로 변화되는 것으로 보아 역시 후적응설(post adaptive theory)에 근거하여 벼멸구의 개체군이 청청벼에서 세대가 경과되면서 청청벼를 가해하지 못하는 개체는 점점 도태되고, 청청벼를 가해할 수 있는 개체만 빠른 속도로 번식하여 청청벼를 가해할 수 있는 개체군(생태형-2)으로 바뀌었다고 생각된다.

실험에 이용된 벼멸구는 1997년 남해 실천에서 채집하여 2년 이상 동진벼로 사육한 개체군임에도 불구하고 불과 3-6세대만 경과하더라도 벼멸구 개체군이 저항성 품종을 가해할 수 있는 집단으로 바뀌는 것으로 보아, 벼멸구는 환경조건에 아주 빠르게 적응하는 해충이라고 하겠다.

또한 같은 저항성 유전자를 가진 품종이라 하더라도 품종간에 그리고 멸구계통간에 약간씩 차이를 보이는 것으로 보아, 벼멸구 방제를 위한 저항성 품종개발에 있어 저항성 유전자 이외의 다른 부차적 인자(minor genes)와 환경조건 등의 여러 가지 요인을 고려하여야 할 것으로 생각된다(Lee *et al.*, 1996). 하지만 *Bph1* 유전자, *bph2* 유전자 등이 과연 어느 염색체상에서 어떤 형질을 발현하고, 어떠한 기작으로 해서 저항성반응을 나타내는지는 더욱 자세한 연구가 있어야

할 것으로 생각된다.

Literature Cited

- Alam, S.N. and M.B. Cohen. 1998. Detection and analysis of QTLs for resistance to the planthopper, *Nilaparvata lugens*, in a doubled-haploid rice population. *Theor Appl Genet* 97: 1370~1379.
- Park, Y.D. and Y.H. Song. 1988a. Studies on the distribution of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) biotypes migrated in the southern regions of Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 27: 66~67.
- Park, Y.D. and Y.H. Song. 1988b. Preference, development and fecundity of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) biotypes fed on different cultivars of rice with various resistance gene. *Korean J. Appl. Entomol.* 27: 87~93.
- Bae, S.D., Y.H. Song and Y.D. Park. 1987. Effects of temperature conditions on the growth and oviposition of brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. *Korean j. Plant Prot.* 26: 13~23.
- Cheng, X.N. and H.K. Wang. 1997. Advance in studies on forecasting migrations outbreaks of Brown Planthopper *Nilaparvata lugens* in China. Department of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China. 5pp.
- Cohen, M.B., S.N. Alam, E.B. Medina and C.C. Bernal. 1997. Brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resistance in rice cultivar IR64: mechanism and role in successful *N. lugens* management in Central Luzon, Philippines. *Entomologia Experimentalis et Applicata* 85: 221~229.
- Cuong, N.L., P.T. Ben, L.T. Phung, L.M. Chau and M.B. Cohen. 1997. Effect of of host plant resistant and insecticide on brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) and predator population development in the Mekong Delta, Vietnam. *Crop Protection* 16: 707~715.
- Kim, Y.H., J.O. Lee, H.C. Park and M.S. Kim. 1985. Plant Damages and Yields of the Different Rice Cultivars to Brown Planthopper (*Nilaparvata lugens* S.) in Fields. *Korean J. Plant Prot.* 24: 79~83.
- Kim, D.H. 1993. Resistance mechanism, screening method and quali-quantitative damage analysis of rice genotypes to brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae). Ph.D. Thesis, Chung-buk University. 1993. 85pp.
- Kim, J.W. and D.H. Kim. 1986. Studies on the resistance of rice varieties to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. *Korean J. Plant Prot.* 24: 209~218.
- Kim, J.W. and S.W. Youn. 1987. Varietal resistance of rice to the BPH, *Nilaparvata lugens* Stål, biotypes 1, 2, 3 and their hybrid progenies. *Korean J. Plant Prot.* 26: 63~69.
- Lee, C., S.W. La and A.W. Sha. 1994. Ecology of the brown planthopper. *Bulletin of Agricultural Science in South Western China* 7 (3): 89~96.
- Lee, Y.B., K.H. Cheung and K.M. Heu. 1998. Integrated Management of the Brown Planthopper. Fuhuan University Publication, China. 331pp.
- Saxena, R.C. and A.A. Barrion. 1985. Biotypes of the Brown Planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) and Strategies in Deployment of Host Plant Resistance. *Insect Sci. Applic.* 6: 271~289.
- Song, Y.H., S.Y. Choi and J.S. Park. 1972. Studies on the varietal resistance of Tong-il variety to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål. *Korean J. Plant Prot.* 11: 61~68.
- Zhou, B.H., H.K. Wang and X.N. Cheng. 1992. Forecasting systems for migrant pests. 1. The Brown Planthopper *Nilaparvata lugens* in China. Dept. of Plant Protection, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014, China. 20pp.

(Received for publication 7 May 2002;
accepted 30 May 2002)