

〈Original article〉

벼멸구 저항성 품종벼에서 벼멸구의 생명표 분석

최낙중* · 정인홍¹ · 권덕호² · 최만영 · 백채훈³

국립식량과학원 작물기초기반과, ¹국립농업과학원 작물보호과,
²서울대학교 농업생명과학연구원, ³국립식량과학원 기획조정과

Life Table Analysis of the Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae) on Rice of Resistant Cultivars

Nak Jung Choi*, In-Hong Jeong¹, Deok Ho Kwon², Man-Young Choi and Chai-Hun Baik³

Crop Foundation Division, National Institute of Crop Science, Wanju 55365, Republic of Korea

¹Division of Crop Protection, National Institute of Agricultural Science, Wanju 55365, Republic of Korea

²Research Institute of Agriculture and Life Science, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

³Planning and Coordination Division, National Institute of Crop Science, Jeonju 55365, Republic of Korea

Abstract - Development, survival, and reproduction of brown planthopper (BPH) *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae), were studied in laboratory at $25 \pm 2^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\%$ RH and a 16L : 8D hours photoperiodism on five rice cultivars of: Dongjin 1ho, Chungchungbyeo, Jangseongbyeo, Chinnongbyeo and Jungmo 1045. BPH nymphs successfully survived on all rice cultivars, although survival rate was lowest on Jangseongbyeo (36.0%). Developmental time of immature stages ranged from 11.7 ± 0.59 d on Jungmo 1045 to 12.8 ± 0.59 d on Chinnongbyeo. Reproductive period and female longevity were longest on Dongjin 1ho, Chinnongbyeo and Jungmo 1045 while highest fecundity of *N. lugens* being observed on these three rice cultivars. Highest and lowest net reproductive rates were calculated on rice cultivars, Jungmo 1045 and Jangseongbyeo, respectively. Mean generation time was the longest on rice cultivar Dongjin 1ho. Respective descending order of intrinsic rates of population increase were on Jungmo 1045, Chinnongbyeo, Dongjin 1ho, Chungchungbyeo and Jangseongbyeo. These population parameters showed that *N. lugens* can successfully survive and reproduce on Chinnongbyeo and Jungmo 1045.

Keywords : developmental period, life table, *Nilaparvata lugens* Stål, resistant rice variety, survival rate

서 론

벼멸구(*Nilaparvata lugens* Stål)는 국내를 포함하여 아시아 전역과 오스트레일리아 북부, 남태평양군도 등 벼 재배지에 광범위하게 분포하고 있으며 (Hinckley 1963; Abraham

* Corresponding author: Nak Jung Choi, Tel. 063-238-5345,
Fax. 063-238-5305, E-mail. njchoi@korea.kr

et al. 1975; Fernando 1975; Chen and Cheng 1979), 열대지방에서는 연중 발생하지만 월동이 불가능한 한국과 일본에서는 중국 남부 및 동남아시아 등지에서 저기압 기류를 타고 비래하는 벼의 주요한 흡즙성 해충이다(Park *et al.* 1975; Dyck *et al.* 1979; Kiritani 1979).

벼멸구는 벼를 흡즙하여 직접적인 피해를 주며(Sogawa and Cheng 1979) 대발생할 경우 “hopperburn”을 유발시킬 뿐만 아니라(Bae and Pathak 1970), ragged stunt virus와 grassy stunt virus를 매개하여(Ling 1972; Hibino *et al.* 1985; Cabauatan *et al.* 2009) 간접적인 피해를 주는 벼의 주요해충이다.

벼멸구의 비래시기와 양은 해마다 차이가 있지만, 일반적으로 6월 중·하순경부터 비래하여 벼 포장에서 2~3세대 증식하여 9월 초순경에 큰 피해를 주는데(Kim *et al.* 1985; Saxena and Barrion 1985), 포장에서의 벼멸구의 증식 상황 파악이 쉽지 않기 때문에 방제대책을 수립하기가 매우 어려워 벼멸구가 대량으로 발견되는 시점에서 방제는 최적방제시기를 놓쳐 방제 노력에 비해 좋은 방제 효과를 얻기 힘들다(Park and Lee 1976).

곤충의 발육, 생존, 생식 및 생명표의 매개변수는 기주의 영향을 받으며(Tsai and Wang 2001; Morgan *et al.* 2001; Kim and Lee 2002; Liu *et al.* 2004; Yaşar and Güngör 2005), 일부 곤충 중에서 유충의 성장과 발육기간 동안의 기주 상태는 성충의 번식력과 수정 능력에 영향을 미치는 중요한 결정 요인이다(Awmack and Leather 2002). 생존, 발육 및 생식율에 대해 조사할 경우 식물 종은 특정 곤충의 기주로서의 적합성이 달라질 수 있는데 곤충의 성장 시간이 짧고, 전체 생식 능력이 높은 것은 기주와의 관계가 적합하다는 것을 보여준다(van Lanteren and Noldus 1990). 성장률과 생식은 품종 저항성에 대한 중요한 단서가 될 수 있지만, 기주 식물에 대한 저항성에 관해서 정확한 판정을 내리기 전에 사망률과 같은 다른 매개변수와 연관성을 확인해야 한다(Liu *et al.* 2004). 기존 연구는 섭식과 산란 선호성, 발육기간 등 생물적 특성을 중심으로 저항성 여부를 판정하였으나, 본 연구는 생물적 특성을 기반으로 생명표를 작성하여 작물이나 품종에 따라 개체군 성장 분석에 다양하게 적용하여 저항성 판정에 있어서 기존 방법을 대체하고 나아가 보다 현실적인 대안으로 활용이 가능하다.

현재 해충 관리 기술은 합성 농약의 사용에 의존하고 있는데 화학 살충제의 사용은 살충제에 대한 내성(Haines 1977; Llanderal-Cazares *et al.* 1996; Naimov *et al.* 2003), 잔류 독성에 의한 인축 피해(Dikshit *et al.* 1985) 및 천적 집단의 감소(Shelton *et al.* 1981) 등의 부작용을 유발한다. 해충에 대한 작물의 저항성은 해충의 공격을 회피하거나(Tingey

1986) 회복이 가능하도록 하며, 살충제에 대한 의존도를 감소시켜 해충 방제의 대안이 될 수 있다(Mou and Liu 2004; Bandong and Litsinger 2005; Simmons *et al.* 2006).

본 연구는 벼 5 품종에 대한 벼멸구의 감수성 및 항충성의 차이를 조사하기 위해 수행하였으며 이 실험을 통하여 얻어진 벼 품종별 벼멸구의 생명표 매개변수를 항충성의 지표로 활용하고 데이터를 토대로 벼멸구의 가해능력을 검정하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 벼멸구 개체군의 사육

실험에 사용한 벼멸구는 2016년 경남 하동에서 채집한 개체군을 사용하였다. 벼멸구 개체군은 국립식량과학원 해충 사육실(25±2°C, 60±5% RH, L:D=16:8)에서 파종 후 14일 이상 경과한 2~3엽기 유묘(동진 1호)를 먹이로 공급하여 아크릴 사육 상자(가로 21.5 cm, 세로 41.5 cm, 높이 21 cm)에서 누대 사육하였다. 저항성 품종은 저항성 유전자(*Bph1*, *Bph2*, *Bph3* 등 총 28개)로 알려진 유전자(Fujita *et al.* 2013)를 인위적으로 삽입하여 육종된 품종이며 본 실험에서는 *Bph1* 유전자를 가진 청청벼(Tolgil-type)와 장성벼(Tolgil-type), *Bph2* 유전자를 가진 친농벼(Japonica) 그리고 *Bph18* 유전자를 가진 중모 1045(Japonica)의 4품종, 저항성 유전자가 없는 감수성 품종인 동진1호(Japonica) 등 총 5 품종을 사용하였다. 실험용 벼는 온탕침지법으로 소독한 뒤, 싹을 틔운 후 원예용 포트에 파종하여 온실에서 14일이 경과한 3~4엽기의 벼를 사용하였다. 벼멸구는 누대 사육중인 성충 암수 한 쌍을 3~4엽기 동진 1호의 벼 뿌리를 스펀지(높이 2 cm, 직경 3 cm)로 감싼 뒤 2 cm 높이로 물을 채운 시험관(높이 20 cm, 직경 3 cm)에 1본씩 이식하고, 품종별 50 반복 이상 접종하여 24시간 간격으로 채관하여 사용하였다.

2. 발육과 사망률

난 발육기간 조사는 동일한 날짜에 우화하고 24시간이 경과하지 않은 성충 한 쌍을 각 품종별로 3~4엽의 유묘를 1본씩 이식한 시험관(높이 20 cm, 직경 3 cm)에 접종하여 발육을 진행시켰다. 매일 성충을 옮겨주고 24시간 간격으로 부화한 1령 약충을 대상으로 조사하였으며, 난 발육기간은 접종일부터 1령 약충이 부화한 날까지로 계산하였다. 약충 발육기간 조사는 동일 날짜에 부화시킨 24시간이 경과하지 않은 1령 약충들을 사용하였다. 부화한 1령충을 각 품종별로 앞에서 기술한 시험관에 접종하여 발육을 진행시켰다. 약충 발육

조사는 각 품종별로 50마리씩 처리하였으며, 24시간 간격으로 탈피각 존재 여부를 확인하여 영기 변화를 기록하였다. 시험관 벼의 신선도를 유지하기 위해 새 시험관에 2~3일 간격으로 옮겨주었다. 사망률 및 발육기간은 모든 단계와 출현한 성충의 성별도 기록하였다. 감수성 품종과 저항성 품종별 사망률과 발육기간의 차이를 분석하여 저항성 적응여부를 판단하였다.

3. 품종별 성충 수명과 산자수

벼멸구의 벼 품종별 성충 수명과 산자수 조사는 약충 발육기간 조사를 통해 얻어진 것 우화된 24시간이 경과하지 않은 성충 한 쌍을 각 품종별로 3~4엽의 유묘를 1본씩 이식한 시험관(높이 20 cm, 직경 3 cm)에 접종하여 산란여부를 확인하였다. 시험관에 접종한 성충 한 쌍을 1일 간격으로 새로운 동일한 시험관에 옮겨주면서 시험관 당 20일 동안 관찰하였다. 성충의 수명은 시험관에 접종 후부터 암컷이 사망할 때까지의 기간으로 계산하였고, 산자수는 암컷이 죽을 때까지 출산한 산자를 1일 간격으로 계산하였으며, 중복 조사를 피하기 위해 조사한 모든 개체는 제거하였다. 위의 실험을 토대로 확보를 자료를 바탕으로 품종별 적응여부를 판단하였다.

4. 생명표 매개변수 및 통계분석

벼멸구의 생명표 통계량을 추정하기 위해 벼 품종별로 약충의 발육기간, 사충률, 성충수명, 산자수 등을 구하여 생명표를 작성하였으며 (Maia *et al.* 2000), 매개변수 추정은 Meyer *et al.* (1986)이 제시한 JackKnife 방법으로 각각의 생명표 통계량을 작성하였다. 생명표의 매개변수인 순증가율 (net reproductive rate, R_0 : 다음 세대에 미치는 암컷의 순 기여도로 전체 산란 기간 동안 암컷 당 총 암컷 자손의 수), 평균세대기간 (generation time, T : 출생부터 출산 시까지 경과

되는 기간), 내적자연증가율 (intrinsic rate of increase, r_m), 기간자연증가율 (finite rate of increase, λ : 일정 단위시간당 개체군의 증가율), 배수기간 (doubling time, DT : 개체군 밀도가 두배가 되는 때까지 요구되는 기간)을 구하였고, SAS (SAS Institution, 9.4)를 이용해 분산분석 (PROC GLM)과 Tukey's Studentized Range (HSD) Test를 이용한 유의성 검정을 하였다 (Maia *et al.* 2000).

결과 및 고찰

1. 벼멸구의 발육과 사망률

벼멸구의 벼 품종별 발육실험에서 난기간은 최저 9.3 ± 0.07 일, 최고 9.9 ± 0.16 일로 조사되었다. Park and Song (1988)의 결과에서는 벼멸구의 Biotype별 난기간이 25°C 에서 8.2일에서 9.5일 사이로 나타났으며, Hu *et al.* (2010)의 결과에서는 27°C 에서 7.4일에서 9.0일로 조사되어 본 실험의 결과와 유사하였으며, 저항성 및 감수성 품종에 상관없이 난기간은 통계적으로 차이가 없는 것으로 나타났다. 벼멸구의 영기별 발육기간은 5령이 다른 영기에 비해 길었으며 총 약충기간은 11.7 ± 0.59 일에서 12.8 ± 0.59 일로 조사되었다. Hwang *et al.* (2002)은 27°C 에서 약충기간은 동진벼에서 15.4 ± 0.19 일이었고, 청청벼는 16.0 ± 0.58 일로 나타났는데, 본 실험에서는 동진 1호 12.0 ± 0.56 일, 청청벼 11.9 ± 0.59 일로 조사되어 다소 차이를 보여 추가적인 온도발육실험이 필요하겠다. Saxena and Barrion (1985)은 저항성 품종에서 벼멸구의 섭식선호도가 낮아 유충의 발육에 지장이 있다고 보고하였는데, 본 실험에서 각 품종별 약충기간이 통계적으로 뚜렷한 차이를 보이지 않아 섭식선호도에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다 (Table 1).

벼멸구 발육단계별 우화율을 보면 친농벼, 중모 1045, 청청벼, 동진 1호, 장성벼 순이었으며 각각 70%, 54%, 52%,

Table 1. Mean developmental period (day \pm Standard Error) of immature stages of *N. lugens* on five rice varieties

Stage	Rice varieties				
	Dongjin 1ho	Chungchung	Jangseong	Chinnong	Jungmo1045
Egg	$9.5 \pm 0.15^{a*}$	9.9 ± 0.16^a	9.8 ± 0.28^a	9.5 ± 0.16^a	9.3 ± 0.07^a
Nymph					
Instar I	3.1 ± 0.03^b	3.4 ± 0.12^a	3.2 ± 0.09^{ab}	3.1 ± 0.11^{ab}	3.2 ± 0.06^{ab}
Instar II	2.8 ± 0.11^b	2.8 ± 0.11^b	3.2 ± 0.12^a	2.7 ± 0.09^b	2.7 ± 0.12^b
Instar III	2.9 ± 0.12^a	2.8 ± 0.13^{ab}	2.6 ± 0.10^{ab}	2.5 ± 0.08^b	2.8 ± 0.23^{ab}
Instar IV	2.7 ± 0.09^b	2.9 ± 0.16^b	3.7 ± 0.18^a	2.8 ± 0.09^b	2.8 ± 0.08^b
Instar V	4.1 ± 0.23^b	3.9 ± 0.11^b	4.8 ± 0.32^a	3.9 ± 0.15^b	4.0 ± 0.20^b
Total Nymph	12.0 ± 0.56^a	11.9 ± 0.59^a	12.1 ± 0.81^a	12.8 ± 0.59^a	11.7 ± 0.59^a

*The values followed by a common letter are not significantly different at the 5% level (t-test).

Table 2. Survival rate (%) of various stages and instars of *N. lugens* on five rice varieties

Stage	Rice varieties				
	Dongjin 1ho	Chungchung	Jangseong	Chinnong	Jungmo1045
Egg	50.4	47.0	54.8	55.3	58.8
Nymph					
Instar I	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Instar II	96.0	92.0	92.0	94.0	92.0
Instar III	86.0	72.0	62.0	88.0	76.0
Instar IV	58.0	60.0	54.0	78.0	58.0
Instar V	56.0	58.0	48.0	74.0	58.0
Adult	50.0	52.0	36.0	70.0	54.0

Table 3. Oviposition period, adult longevity (days \pm SE) and fecundity (eggs per female) of *N. lugens* on five rice varieties

Stage	Rice varieties				
	Dongjin 1ho	Chungchung	Jangseong	Chinnong	Jungmo1045
Preovipositional period	1.8 \pm 0.13 ^{a*}	2.3 \pm 0.50 ^a	2.6 \pm 1.09 ^a	1.6 \pm 0.16 ^a	1.9 \pm 0.10 ^a
Reproductive period	23.1 \pm 2.88 ^a	13.7 \pm 2.67 ^b	4.7 \pm 1.46 ^c	19.3 \pm 2.26 ^{ab}	18.9 \pm 2.03 ^{ab}
Postreproductive period	1.8 \pm 0.25 ^b	2.2 \pm 0.33 ^b	3.3 \pm 0.42 ^a	2.6 \pm 0.31 ^{ab}	1.8 \pm 0.20 ^b
Female life span	26.7 \pm 2.99 ^a	18.2 \pm 2.19 ^a	9.2 \pm 1.22 ^b	23.5 \pm 2.46 ^a	22.6 \pm 1.92 ^a
Fecundity	225.6 \pm 32.17 ^{ab}	97.7 \pm 22.25 ^{bc}	32.7 \pm 13.96 ^c	291.8 \pm 71.37 ^a	274.4 \pm 55.68 ^a

*The values followed by a common letter are not significantly different at the 5% level (t-test).

50%, 36%로 나타났다. Hwang *et al.* (2002)의 결과에서 감수성 품종인 TN1과 동진벼의 우화율이 각각 54.0%, 51.2%로 나타났고 저항성 품종인 Mudgo, IR26, IR64, 청청벼에서 각각 26.3%, 23.8%, 21.1%, 16.0%로 조사되었다. 본 실험에서는 장성벼만이 감수성 품종과 우화율에서 차이가 있는 것으로 조사되었다. 또한 도태세대가 경과할수록 우화율이 상승하는 경향이 있는 것으로 보고하였는데 (Hwang *et al.* 2002), 본 실험결과에서는 장성벼를 제외한 저항성 품종에서 우화율이 높은 것으로 조사되어 벼멸구가 일부 저항성에 대하여 적응하고 있는 것으로 판단된다 (Table 2).

2. 벼 품종별 성충 수명 및 산자수

벼멸구의 생식과 관련되어 품종에 따라 영향이 미치는 요인을 분석하기 위해 산란전기, 산란기간, 산란후기, 암컷 수명, 산자수 등을 조사하였다. 산란전기는 품종 간 차이가 없는 것으로 조사되었으며, 산란기간은 동진 1호가 가장 길었고 친농벼와 중모 1045는 동진 1호와 유사하였다. 그에 비해 청청벼와 장성벼는 산란기간이 짧았으며, 특히 장성벼는 4.7일로 매우 짧은 것으로 조사되었다. 산란후기는 장성벼만 다른 품종에 비해 길게 나타났다. 암컷 수명은 동진 1호, 친농벼, 중모 1045 등 3 품종에서 유의하게 길게 나타났으며, 청청벼와 장성벼는 짧은 것으로 조사되었다. 산자수는 동진 1호, 친농벼, 중모 1045는 높은 수준이었으며, 산란기간과 암

컷 수명이 짧았던 청청벼와 장성벼는 낮은 것으로 조사되었다 (Table 3).

벼멸구 암컷 성충의 기간 동안 생존곡선과 산자수와와의 관계를 살펴보면 성충의 최대 생존일수는 동진 1호에서 46일로 가장 긴 생존일수를 보였고, 장성에서 가장 짧은 15일로 조사되었다. 품종별로 성충의 생존율이 차이가 있었으며 50% 이상 생존한 기간은 동진 1호 24일, 청청벼 17일, 장성벼 7일, 친농벼 24일, 중모 1045 21일로 조사되었다. 전체 성충의 생존율이 높은 경우 산자의 생산량도 증가하는 것으로 나타났으며 (Fig. 1), 벼 품종에 따라 벼멸구의 생식능력에 차이가 있음을 확인하였다. 또한 Cohen *et al.* (1997)과 Alam and Cohen (1998)은 같은 저항성 유전자를 가지고 있더라도 품종에 따라 다른 소수의 유전자가 부가적으로 작용하여 저항성의 차이가 있다고 하였는데, 본 실험에서도 같은 *Bph1* 유전자를 가진 청청벼와 장성벼에서 우화율 (각각 52.0%, 36.0%), 산란기간 (각각 13.7일, 4.7일), 암컷 수명 (각각 18.2일, 9.2일), 산자수 (각각 97.7마리, 32.7마리) 등의 차이가 있는 것은 이와 같은 원인에 기인한 것으로 생각된다.

3. 생명표

벼멸구의 생명표 분석을 통해 얻어진 파라미터는 품종에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 품종별 순증가율 (R_0)은 중모 1045에서 가장 큰 64.5를 나타냈고, *Bph1* 유전자를 가

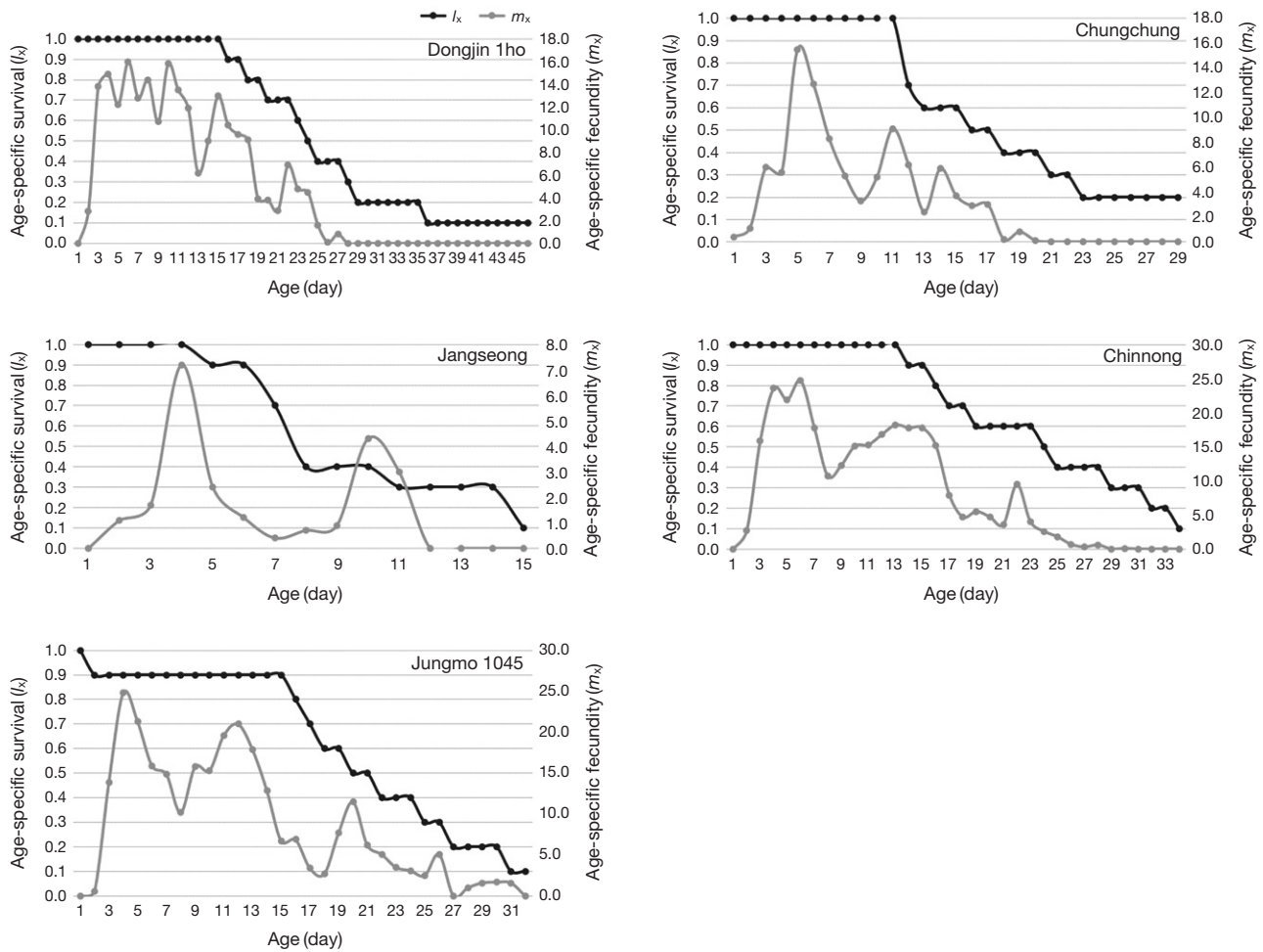


Fig. 1. Age-specific survivorship (l_x) and fecundity (m_x) of female adults of *N. lugens* on five rice varieties.

Table 4. Population growth parameters of *N. lugens* on five rice varieties

Parameter	Rice varieties				
	Dongjin 1ho	Chungchung	Jangseong	Chinnong	Jungmo1045
Intrinsic rate of increase (r_m)	43.25 ± 13.952 ^{a*}	11.02 ± 7.497 ^b	2.51 ± 2.620 ^c	51.61 ± 28.558 ^a	64.51 ± 25.414 ^a
Net reproduction rate (R_0)	0.172 ± 0.0179 ^{ab}	0.127 ± 0.0402 ^{ab}	0.048 ± 0.0582 ^d	0.181 ± 0.0246 ^{bc}	0.196 ± 0.0155 ^c
Mean generation time (T)	21.95 ± 2.409 ^a	18.94 ± 1.514 ^b	19.02 ± 1.779 ^b	21.82 ± 1.564 ^a	21.31 ± 3.249 ^{ab}
Finite rate of increase (λ)	1.19 ± 0.021 ^a	1.14 ± 0.045 ^c	1.05 ± 0.061 ^d	1.20 ± 0.029 ^{ab}	1.22 ± 0.019 ^b
Doubling time (DT)	4.04 ± 0.419 ^a	5.47 ± 1.856 ^a	14.33 ± 22.949 ^a	3.84 ± 0.533 ^a	3.55 ± 0.278 ^a

*The values followed by a common letter are not significantly different at the 5% level (t-test)

지며 통일계 품종인 청청벼와 장성벼에서 낮게 측정되었다. 내적자연증가율(r_m)은 장성벼에서 가장 작은 0.048이고, 중모 1045에서 가장 큰 0.196으로 조사되었다. 기간자연증가율(λ)은 순증가율과 같이 장성벼에서 가장 작은 값을 보였고, 동진 1호, 친농벼, 중모 1045에서 높은 값을 나타냈다. 평균세대기간(T)은 청청벼와 장성벼에서 짧은 경향을 보였다. 배수기간(DT)은 모든 품종에서 통계적으로 유의한 것으

로 나타났으나, 장성벼에서 14.3일로 가장 길게 조사되었다 (Table 4). Hu *et al.* (2010)의 실험에서 벼멸구의 품종별 순증가율은 감수성 품종인 TN1에서 144.77, 벼멸구 저항성 인자를 포함하고 있는 야생종인 *Oryza officinalis*와 *Oryza rufipogon*는 각각 0.10, 67.82로 조사되었고, 내적자연증가율은 각각 0.1340, -0.0616, 0.1096을 보였고, 평균세대기간은 37.2, 36.7, 38.6으로 조사되어 *O. rufipogon*과 TN1에서 번식

이 가능하다고 하였다. 따라서 본 실험의 생명표 결과에서는 저항성 유전자를 가지고 있지만 친농벼와 중모 1045는 벼멸구의 번식이 가능할 것으로 판단된다.

적 요

본 연구는 국내로 유입되어 벼를 가해하는 주요 해충인 벼멸구의 감수성 및 항충성의 차이를 조사하고자 품종별 발육기간, 성충 수명, 산자수, 생명표 등을 조사하였다. 벼 품종별 발육실험에서 난기간은 품종에 상관없이 9일 정도로 조사되었고, 전체 약충기간은 품종별로 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 발육단계별 우화율의 경우 *Bph1* 유전자를 가진 장성벼가 36%로 가장 낮은 수준으로 조사되었다. *Bph2* 유전자를 가진 친농벼의 경우 우화율이 70%로 가장 높았으며 감수성 품종인 동진 1호는 50%의 우화율을 나타냈다. 저항성 유전자를 가진 품종을 섭식한 벼멸구의 경우 발육기간과의 연관성은 낮지만, 탈피 과정에 영향을 미치는 것으로 추측된다. 벼멸구의 생식과 관련하여 품종에 따라 산란전기는 차이가 없는 것으로 조사되었으며, 산란기간은 23.1 ± 2.88 일로 동진 1호가 가장 길었고 *Bph2* 유전자를 가진 친농벼와 중모 1045는 각각 19.3 ± 2.26 일, 18.9 ± 2.03 일로 통계적으로 유사하였다. 그에 비해 *Bph1* 유전자를 가진 청청벼와 장성벼의 산란기간이 짧았으며, 특히 장성벼는 4.7 ± 1.46 일로 가장 짧았다. 암컷 수명과 산자수는 산란기간과 동일한 경향으로 조사되어 청청벼와 장성벼에서의 벼멸구의 생식능력이 다른 품종에 비해 낮음을 확인하였다. 생명표 분석을 통해 얻어진 데이터를 비교한 결과, 순증가율은 중모 1045 (64.51 ± 25.414), 친농벼 (51.61 ± 28.558), 동진 1호 (43.25 ± 13.952), 청청벼 (11.02 ± 7.497), 장성벼 (2.51 ± 3.620) 순으로 낮았고, 내적자연증가율은 중모 1045 (0.196 ± 0.0155), 친농벼 (0.181 ± 0.0246), 동진 1호 (0.172 ± 0.0179), 청청벼 (0.127 ± 0.0402), 장성벼 (0.048 ± 0.0582) 순이었다. 기간자연증가율은 순증가율과 같은 순서였고, 평균세대기간은 동진 1호, 친농벼, 중모 1045, 장성벼, 청청벼 순이었으며, 배수기간은 장성벼에서 가장 긴 것으로 조사되었으나 통계적으로 모든 품종에서 유의했다. 종합해 보면 장성벼의 경우 벼멸구가 번식하는 데 있어서 다른 품종에 비해 가장 불리하며, 저항성 유전자가 있지만 친농벼와 중모 1045는 벼멸구의 번식에 있어서 감수성 품종과 차이가 없는 것으로 조사되었다. 저항성 유전자를 포함한 품종 간에서도 벼멸구의 가해능력이 차이가 있는 것으로 보아, 벼멸구 방제를 위한 저항성 품종 육종에 있어서 다양한 요인을 고려하고, 저항성 유전자가 어떠한 기작을 통하여 저항성 반응을 나타내는지에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 아젠다과제(과제번호: PJ01091702)의 지원에 의해 이루어진 연구결과의 일부입니다.

REFERENCES

- Abraham CC and MRGK Nair. 1975. The brown planthopper outbreaks in Kerala, India. *Rice Entomol. Newsl.* 2:36.
- Alam SN and MB 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.
- Awmack CS and SR Leather. 2002. Host Plant Quality and Fecundity in Herbivorous Insects. *Annu. Rev. Entomol.* 47: 817-844.
- Bae SH and MD Pathak. 1970. Life history of *Nilaparvata lugens* (Homoptera: Delphacidae) and susceptibility of rice cultivars to its attacks. *Ann. Entomol. Soc. Am.* 63:149-155.
- Bandong JP and JA Litsinger. 2005. Rice crop stage susceptibility to the rice yellow stemborer *Scirpophaga incertulas* (Walker) (Lepidoptera: Pyralidae). *Int. J. Pest Manage.* 51: 37-43.
- Cabauatan PQ, RC Cabunagan and IR Choi. 2009. Rice viruses transmitted by the brown planthopper *Nilaparvata lugens* Stål. In *Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia*. (Heong KL and B Hardy eds.). *Int. Rice Res. Inst.*, Los Baños, Philippines. pp. 357-368.
- Chen CN and CC Cheng. 1979. Ecological physiology of rice plant attacked by brown planthopper. 1979: *Symp. on Rice Productivity*. pp. 135-146.
- Cohen MB, SN Alam, EB Medina and CC Bernal. 1997. Brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, resistance in rice cultivar IR64: mechanism and role in successful *N. lugens* management in Central Luzon, Philippines. *Entomol. Exp. Appl.* 85:221-229.
- Dikshit AK, SS Misra and L Lal. 1985. Persistence of chlorpyrifos residues in potatoes and the effect of processing. *Potato Res.* 28:461-468.
- Dyck VA, BC Misra, S Alam, CN Chen, CY Hsien and RS Rejesus. 1979. Brown Planthopper: Ecology of the brown planthopper in the topics. pp. 61-98.
- Fernando HE. 1975. The brown planthopper in Sri Lanka. *Rice Entomol. Newsl.* 2:34-36.
- Fujita D, A Kohli and F Horgan. 2013. Rice resistance to plan-

- thoppers and leafhoppers. *Crit. Rev. Plant Sci.* 32:162–191.
- Haines CP. 1977. The potato tuber moth, *Phthorimaea operculella* Zell: a bibliography of recent literature and a review of its biology and control on potatoes in the field and in store. Tropical Products Institute. London. United Kingdom.
- Hibino H, T Usugi, T Omura, T Tsuchizaki, K Shohara and M Iwasaki. 1985. Rice grassy stunt virus: a planthopper-borne circular filament. *Phytopathology* 75:894–899.
- Hinckley AD. 1963. Ecology and control of rice planthoppers in Fiji. *Bull. Entomol. Res.* 54:467–481.
- Hu LX, H Chi, J Zhang, Q Zhou and RJ Zhang. 2010. Life-Table Analysis of the Performance of *Nilaparvata lugens* (Hemiptera: Delphacidae) on Two Wild Rice Species. *J. Econ. Entomol.* 103:1628–1635.
- Hwang IC, JH Kim and YH Song. 2002. Changes in the Fitness of Brown Planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Homoptera: Delphacidae) to Several Resistant Rice Varieties after Multi-generational Selection. *Korean J. Entomol.* 41:113–121.
- Kim DS and JH Lee. 2002. Egg and Larval Survivorship of *Carposina sasakii* (Lepidoptera: Carposinidae) in Apple and Peach and Their Effects on Adult Population Dynamics in Orchards. *Environ. Entomol.* 31:686–692.
- Kim YH, JO Lee, HC Park and MS 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.
- Kiritani K. 1979. Pest-management in rice. *Ann. Rev. Entomol.* 24:279–312.
- Ling KC. 1972. Rice Virus Diseases. *Int. Rice Res. Inst., Manila, Philippines.*
- Liu Z, D Li, P Gong and K Wu. 2004. Life Table Studies of the Cotton Bollworm, *Helicoverpa armigera* (Hubner) (Lepidoptera: Noctuidae), on Different Host Plants. *Environ. Entomol.* 33:1570–1576.
- Llanderal-Cazares C, A Lagunes-Tejada, JL Carrillo-Sanchez, C Sosa-Moss, J Vera-Graziano and H Bravo-ojica. 1996. Susceptibility of *Phthorimaea operculella* (Zeller) to insecticides. *J. Entomol. Sci.* 31:420–426.
- Morgan D, KFA Walters and JN Aegerter. 2001. Effect of Temperature and Cultivar on Pea Aphid, *Acyrtosiphon pisum* (Hemiptera: Aphididae) Life History. *Bull. Entomol. Res.* 91:47–52.
- Mou BQ and YB Liu. 2004. Host plant resistance to leafminers in lettuce. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 129:383–388.
- Naimov S, S Dukijandjiev and R de Maagd. 2003. A hybrid *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin gives resistance against a coleopteran and a lepidopteran pest in transgenic potato. *Plant Biotechnol. J.* 1:51–57.
- Park JS and JO Lee. 1976. Studies on rice damage due to time migration of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens*) in Korea. *Rice Entomol. Newsl.* 4:17.
- Park JS, KT Park, KR Choi and JC Paik. 1975. Studies on the investigating method on migratory insects. *Ann. Rept. Inst. Agric. Sci.* 2:85–91.
- Park YD and YH Song. 1988. Preference, Development and Fecundity of Brown Planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) Biotypes Fed on Different Cultivars of Rice with Various Resistance Gene. *Korean J. Appl. Entomol.* 27:87–93.
- Saxena RC and AA Barrion. 1985. Biotypes of the Brown Planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål) and Strategies in Deployment of Host Plant Resistance. *Insect Sci. Applic.* 6:271–289.
- Shelton AM, JA Wyman and AJ Mayor. 1981. Effects of commonly used insecticides on the potato tuberworm and its associated parasites and predators in potatoes. *J. Econ. Entomol.* 74:303–308.
- Simmons AT, HI Nicol and GM Gurr. 2006. Resistance of wild *Lycopersicon species* to the potato moth, *Phthorimaea operculella* (Zeller) (Lepidoptera: Gelechiidae). *Aust. J. Entomol.* 45:81–86.
- Sogawa K and CH Cheng. 1979. Economic thresholds, nature of damage and losses caused by the brown planthopper. *IRRI.* pp. 125–142.
- Tingey WM. 1986. Techniques for evaluating plant resistance to insects. pp. 251–284. In *Insect-plant interactions*, vol. 9. (Miller JR, TA Miller and M Berenbaum eds.). Springer. New York.
- Tsai JH and JJ Wang. 2001. Effects of Host Plants on Biology and Life Table Parameters of *Aphid spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.* 30:45–50.
- Van Lanteren JC and LPJJ Noldus. 1990. Whitefly Plant Relationships, Behavioural and Ecological Aspects. pp. 47–89. In *White Flies: Their Bionomics, Pest Status and Management.* (Gerling D, Andover and Hamshire eds.). England.
- Yaşsar B and MA Güngör. 2005. Determination of Life Table and Biology of Colorado Potato Beetle, *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae), Feeding on Five Different Potato Varieties in Turkey. *Appl. Entomol. Zool.* 40:589–596.

Received: 11 October 2017

Revised: 20 November 2017

Revision accepted: 21 November 2017