벼멸구 저항성 유전자의 유묘기 저항성 반응

김우재* · 박현수 · 김현순 · 하기용 · 조영찬 · 이점호 · 김보경

농촌진흥청 국립식량과학원

Response to Brown Planthopper Resistance Genes at Rice Seedling Stage

Woo-Jae Kim*, Hyun-Su Park, Hyeon-Soon Kim, Ki-Yong Ha, Yeong-Chan Cho,

Jeom-Ho Lee, and Bo-Kyeong Kim

National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

Abstract : This experiments were carried out to know the response to Brown Planthopper(BPH) resistance genes at rice seedling stage using Biotype 1 for development of resistant cultivars. Varieties with *Bph1*, *Bph3* and *Bph18* genes showed a very strong resistance response, *Bph2*, *Bph6*, *bph7* and *Bph9* genes exhibited moderate resistance. *bph5* and *bph8* gene retention varieties and Nampyeongbyeon showed a very weak sensitivity in response to BPH. After 72 hours, Nampyeong(no gene) and IR72(*Bph3* gene) were showed a feed-preference 690% and 0%, respectively. Results of Antixenosis and seedling resistance response to BPH were grouped into similar by specific resistance genes. Ten days after inoculation, BPH survival rate of varieties with resistance genes were below 30%, whereas Nampyeongbyeon was more than 70%. The results showed that *Bph3* and *Bph18* genes are highly resistant response against BPH, these genes are very useful for improve the rice cultivars with various resistance genes

Keywords : BPH, *Bph3*, *Bph18*, Resistance gene, Biotype 1, Antixenosis

서 언

벼멸구는 벼에 있어 경제적으로 매우 위험한 해충이다(Denno & Perfect 1994, Dupo & Barrion 2009). 벼의 줄기를 흡즙하여 수량을 감소시키고 통그로병, 오갈병 등을 일으키는 바이러스 매개체로 활동한다(Abo & Sy 1997, Hibino 1996). 1970년대 이전 벼멸구의 발생 피해는 한국, 일본, 중국에서 제한적이었지만 녹색혁명 이후 쌀 생산량을 급격히 떨어뜨리는 해충이 되었다. 한국에서는 1990년대 초 벼멸구의 발생이 정체를 보이다 1998년, 2005년, 2013년에 대발생하여 큰 피해를 가져왔다. 벼멸구의 흡즙 피해와 바이러스 전염을 줄이기 위한 수단으로 저항성 품종의 개발이 중요하다(Brar et al. 2009). 1970대 이후 저항성 벼품종개발은 국제미작연구소(IRRI, International Rice Research Institute)를 중심으로 각국에서 진행되었다(Heinrichs, 1986). 국제미작연구

소에서는 1973년 Mudgo에서 유래한 *Bph1* 유전자를 가진 IR26, ADS7에서 유래한 *bph2* 유전자를 가진 IR36을 개발하였으나 모두 이 유전자에 적응하는 벼멸구의 출현으로 이병화 되었다(Alam & Cohen 1998). 이후 PTB33(*Bph3*)와 Babawee(*bph4*)에서 유래된 저항성품종을 개발하였다(Alam & Cohen 1998, Brar et al. 2009, Jena & Kim 2010, Khush & Virk 2005). 한국에서는 1977년 밀양30호를 시작으로 1986년 *bph2* 유전자를 가진 자포니카형 ‘화청’ 등 현재까지 모두 23개의 벼멸구 저항성 벼를 개발하였다. 그 중 15개는 통일형, 8개는 자포니카형이며 *Bph18* 유전자를 가진 ‘안미’를 제외하고는 *Bph1*, *bph2* 유전자를 가진다(RDA 2014). 현재까지 벼멸구 저항성 유전자는 28개가 보고되었는데(Fujita et al. 2013) 이들 유전자 중 대부분 *Bph1*, *bph2*, *Bph3*를 가진 품종들이 동남아시아를 중심으로 재배되고 있다. 재배되는 품종 중 *Bph3* 유전자를 가진 IR62 등이 *Bph1*, *bph2* 유전자를 가진 품종보다 벼멸구 저항성을 가진다고 보고 있다(FG Horgan, unpublished). 아직까지 국내에서는 *Bph3* 유전자를 비롯하여 다양한 벼멸구 저항성 유전자를 가진 품종이 없는

*Corresponding author (E-mail: suwonman@korea.kr, Tel: +82-63-238-5235, Fax: +82-63-238-5205)

(Received on September 21, 2015. Accepted on December 7, 2015.)

Table 1. List of tested rice varieties to Brown planthopper (BPH)

Eco-Type	Variety	Cross	R-gene	Origin
Indica	Mudgo	-	<i>Bph1</i>	India
	ASD7	KARSAMBA RED	<i>Bph2</i>	India
	IR72	IR19661-9-2-3/IR15795-199-3-3//IR9129-209-2-2-1	<i>Bph3</i>	IRRI
	ARC10550	-	<i>Bph5</i>	India
	Swarnalata	-	<i>Bph6</i>	Bangladesh
	T12	DEE GEO WOO GEN/TSAI-YUAN-CHAN	<i>bph7</i>	India
	Chinsaba	-	<i>bph8</i>	Myanmar
	Pokkali	-	<i>Bph9</i>	India
Japonica	Anmi	Junam/IR65482-7-216-1-2//3*Junam	<i>Bph18</i>	Korea
	Nampyeong	Iri390/Milyang95	<i>none</i>	Korea

데 그 큰 이유중의 하나는 이들이 모두 인디카에서 유래된 유전자이기 때문이다(Brar & Khush 1997, Ishii et al. 1994, Yang et al. 2004). 자포니카 품종을 개발하기 위해서는 저항성 인디카와의 교잡으로 유전자의 도입이 필요한데 이때 많은 linkage drag의 발생에 따라 농업적 열악형질이 수반되어 실용품종을 육성하는데 많은 어려움이 생긴다(Kaneda 1984, Shin et al. 1990, Yeo & Sohn 1995).

벼멸구는 우리나라에서 월동하지 못하고 동남아시아에서 비래하는 것으로 알려져 있다(RDA 1997). 단일 저항성 품종을 먹이로 계속해서 길러진 벼멸구 집단이 10~20 세대를 거치면 그 저항성 품종을 이병화 시킨다(Alam & Cohen 1998, Ketipearachchi et al. 1998, Pathak & Heinrichs 1982). 이러한 이유로 벼멸구를 생태형으로 구분하였는데 생태형 1은 *Bph1*, *bph2* 유전자를 가진 품종에 가해를 못하는 그룹을 말한다. 국내상황은 1980년대에 생태형 1이 우점하고 있었고 생태형 2와 3은 80년대 말까지 서서히 증가하고 있었는데 1987년에 생태형 2와 3은 4.3~6% 수준이었다(Goh et al. 1988, Lee et al. 1984, Park & Song 1988). 하지만 1990년대부터 생태형 조사를 위한 벼멸구 수집을 거의 하지 않아 정확한 통계는 없는 상태이다(Claridge & den Hollander 1983). 본 실험에서 생태형 1을 사용한 이유는 기본이 되는 생태형 1에서 분화되어 다른 생태형이 되는 만큼 저항성 유전자별 반응 조사의 기초 자료로서의 기준이 되기 때문이라 생각한다. 하지만 국내 저항성 품종에 강한 벼멸구가 비래 해 오거나 아열대화로 벼멸구의 세대번식이 빨라질 수 있는 만큼 생태형에 대응하는 다양한 유전자를 가진 저항성 품종을 개발하는 것이 중요하다.

본 연구는 각각의 단일 벼멸구 저항성 유전자를 가진 품종

및 계통이 국내에서 사육된 벼멸구에 대해 저항성 정도를 조사하여 저항성 품종 개발에 기초자료로 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

공시재료

검정에 사용한 벼는 각각 서로 다른 단일 벼멸구 저항성 유전자를 가진 9 품종과 감수성 비교품종 남평벼(저항성 유전자 없음)를 사용하였다(Table 1). 공시충은 국립식량과학원 벼백류부 병해충연구실에서 분양 받아 격리된 사육실에서 남평벼를 먹이로 10세대 이상 누대사육한 생태형 1 벼멸구를 사용하였다.

유묘저항성 검정

벼멸구 유묘기 저항성 반응은 기계이양용 육묘상자(60 × 30 × 3 cm)에 상토를 넣고 40칸으로 구획한 후 최아된 검정종자를 품종별로 10~15립을 4반복 파종하였다. 복토 후 스텐인리스बाट에 물을 얇게 채우고 파종한 육묘상자를 이동하였다. 벼멸구 접종은 4~5엽기에 유묘 개체 당 2~3령의 벼멸구 유충을 10마리씩 접종하였다. 충 접종 후 감수성 품종인 남평벼가 완전히 고사한 시점에 검정재료의 저항성 정도를 전 개체 중 0~20% 고사하면 강(R), 30~50% 고사하면 중강(MR), 60~70% 고사하면 중약(MS), 80~100% 고사하면 약(S)으로 조사 판정하였다.

식이선호성 및 생존율 검정

식이선호성 검정은 공시품종을 상토를 담은 사각포트(120 × 60 × 30 cm)에 1립씩 품종 당 간격을 7 cm로 주고 원형으

Mudgo Pokkali Anmi ASD7 IR72 Swarnalata. T12 ARC10550 Chinsaba Nampyeong

Fig. 1. Response to BPH at seedling stage in tested rice varieties

로 파종하였다. 파종 14일 후 사각포트를 방충망으로 씌운 다음 우화 5일 된 벼멸구 성충을 식물 개체당 10마리씩 접종하였으며 3반복하였다. 조사는 접종 후 24시간, 48시간, 72시간에 식물체에 붙어있는 품종 별 벼멸구 수의 관찰하였다.

생존율 검정은 직경 30 cm 원형 포트 당 1개의 공시품종을 10립씩 파종하였으며 파종 후 3~4엽기에 상태가 좋으며 균일한 성장을 가진 3개의 유묘를 사용하였다. 각 품종 당 우화 5일 된 벼멸구 성충을 10마리씩 접종하고 매일 살아남은 벼멸구 수를 10일까지 조사하였다. 모든 실험은 6회 반복 조사하였다. 품종간의 식이선호성과 생존율 비교는 “R”(v.3.2.2) 프로그램으로 던컨다중검정을 실행하여 분석하였다.

결과 및 고찰

벼멸구 유묘저항성 반응 검정에서 각각 *Bph1*, *Bph3*, *Bph18* 유전자를 가진 ‘Mudgo’, ‘IR72’, ‘안미’가 매우 강한

저항성 반응을 보였다(Table 2, Fig. 1). *Bph1* 유전자를 가진 품종은 일본 및 동남아시아에서는 감수성 반응을 나타낸다고 한다(Alam & Cohen 1998). 동남아시아에는 *Bph1* 유전자 보유 품종이 많이 재배되고 있고 겨울이 없는 만큼 벼멸구가 세대진전에 따라 저항성을 무너트린 것으로 보고 있다(Alam & Cohen 1998, Ketipearachchi et al. 1998, Pathak & Heinrichs 1982). 하지만 본 실험에 사용한 저항성 유전자가 없는 ‘남평벼’를 먹이로 사육된 생태형 1에는 *Bph1* 유전자의 저항성은 발현한다. 하지만 동남아시아에서 비래하여 국내 벼 포장에 떨어진 벼멸구를 채집하여 검정을 진행하면 다른 반응이 나올 수 있다는 결과가 있는 만큼 추후 연구가 필요하다(Seo et al. 2009). *Bph3* 유전자 보유 품종도 동남아시아에 많이 재배되고 있지만 아직까지 일부 품종은 저항성을 가지고 있다는 결과가 있다(Cruz et al. 2011). *Bph18* 유전자를 가진 품종은 현재 국내에서 육성된 ‘안미’가 유일하다. 벼멸구 유묘검정시 실험은 접종시기에 따라 자포니카와 인디카의 유묘저항성 반응

Table 2. Response to BPH at seedling stage in tested rice varieties

Response to BPH ^y	Variety	R-genes
R ^z	Mudgo	<i>Bph1</i>
	IR72	<i>Bph3</i>
	Anmi	<i>Bph18</i>
MR	ASD7	<i>bph2</i>
	Swarnalata	<i>Bph6</i>
	T12	<i>Bph7</i>
	Pokkali	<i>Bph9</i>
MS	ARC10550	<i>bph5</i>
	Chinsaba	<i>Bph8</i>
S	Nampyeong	<i>none</i>

^zR : Resistant, MR : Moderate Resistant, MS: Moderate Susceptible S : Susceptible

^yBPH : Brown planthopper

Table 3. Feeding preference and survival rate of BPH to tested rice varieties

Varieties(R-gene)	Hours after infestation			
	0	24	48	72
	Feeding preference(%)			
Nampyeong(no gene)	100	260a ^z	470a	690a
Mudgo(<i>Bph1</i>)		80bc	50de	20ef
ASD7(<i>bph2</i>)		80bc	60cd	30de
IR72(<i>Bph3</i>)		70c	30f	0g
ARC10550(<i>bph5</i>)		90b	70bc	50bc
Swarnalata(<i>Bph6</i>)		80bc	70bc	40cd
T12(<i>bph7</i>)		90b	80b	50bc
Chinsaba(<i>bph8</i>)		90b	70bc	60b
Pokkali(<i>Bph9</i>)		80bc	60cd	50bc
Anmi(<i>Bph18</i>)		80bc	40ef	10fg

^zMeans with the same letter are not significantly different at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT)

은 다르다(Kim et al. 1998). *Bph1*, *bph2* 보유 벼멸구 저항성 자포니카 품종은 1~2엽기의 어린모 일때 감수성 반응을 보이 나 인디카 품종은 유묘기 시기와 상관없이 저항성 반응을 나타낸다(Cho et al. 1988, Shin et al. 1990, Yeo & Sohn 1995). 따라서 본 실험은 4~5엽기에 벼멸구를 접종하여 진행 하였으며 *Bph3*과 *Bph18* 유전자는 시기에 상관없이 강한 저항성을 발현하였다(Seo et al. 2011, Kim et al. 2014).

중도저항성 반응은 각각 *bph2*, *Bph6*, *bph7*, *Bph9* 유전자를 가진 ‘ASD7’, ‘Swarnalata’, ‘T12’, ‘Pokkali’ 에서 나타났다. 국내 자포니카 벼멸구 저항성 8개 품종 중에 ‘안미(*Bph18*)’, 중모1006호(*Bph1*)을 제외하고 모두 *bph2* 보유 품종이다. *Bph2* 유전자의 저항성은 중강이다. 감수성 품종인 ‘남평벼’가 고사한 시점엔 검정 개체 중 절반 이상은 살아있지만 시간이 흐를수록 *Bph3*와 *Bph18* 유전자를 가진 품종은 계속해서 강한 것에 반해 전부 고사하는 반응을 보인다. 이들 유전자는 포장에서 저항성 품종과 감수성 품종이 혼재하여 재식 돼 있을 경우 벼멸구를 회피할 수 있는 능력은 있으나 감수성 품종이 모두 고사 됐을 경우 피해를 입을 것으로 생각된다. 가장 약한 반응은 *bph5*와 *bph8* 유전자를 가진 ‘ARC10550’과 ‘Chinsaba’이다. ‘남평벼’가 완전 고사하였을 때 살아있는 부분이 30% 정도였다. 이들 유전자는 단독으로 사용하기 보다는 강한 저항성 유전자와 집적하여 활용하는 것이 효율적이라 본다.

현재 국내 자포니카 벼멸구 저항성 품종은 *Bph1*, *bph2*, *Bph18*로만 구성되어 있고 모두 12번 염색체에 위치해 있으

며 또한 *Bph18* 유전자는 *Bph1* 유전자를 포함하고 있다(Fujita et al. 2013). 벼멸구 저항성 유전자는 모두 인디카에서 유래하였으며 자포니카로의 도입과정에서 많은 열악형질이 발현한다. *Bph1*, *bph2*, *Bph18* 유전자를 도입한 자포니카 벼는 간장이 커진다고 하였다(Jena et al. 2006, Lee et al. 2005, Shin et al. 2011). ‘중모1006호(*Bph1*)’, ‘다청(*bph2*)’은 간장이 각각 90cm, 87cm로 매우 장간이다. ‘안미’는 단간 유전자를 가진 ‘주남벼’를 3번 여교배하여 간장을 크게 낮춘 품종(Seo et al. 2014)이지만 3절 간장이 길고 기저부분이 약해 비료성분이 많은 포장에서 생육 후반기에 도복 되는 경향이 있다(data not shown). 이러한 결과는 12번 염색체의 이들 유전자 주위에 장간유전자가 관여할 것이라고 유추해 볼 수 있다. 이와 같이 *Bph1*, *bph2*, *Bph18* 유전자 자포니카 벼 육성의 유의점은 열악한 간장 형질의 제거라 생각된다. 따라서 새로운 벼멸구 저항성 자포니카 벼 품종 육성의 유전자로 6번 염색체에 위치한 *Bph3*의 도입은 유용하리라 생각된다.

벼멸구의 최초의 정착은 저항성과 감수성 벼에 동등하게 발생하나 저항성 기작으로 2일 이상은 저항성 벼에 잘 머물지 않는다(Oya & Fukamachi, 1987). 일반적으로 벼멸구의 식이선호성은 저항성 품종에서 낮고 감수성 품종에서 높다고 하였다(Kim et al. 1998). 이에 따라 저항성 유전자별 벼멸구의 식이선호성을 살펴본 결과 전체적으로 시간이 흐름에 따라 감수성 품종과 저항성 품종간의 식이선호성이 뚜렷하게 나뉘지는 경향을 보였다(Table. 3). 접종 후 24시간 까지는 저항성 품종간의 차이는 크지 않았지만 48시간이 경과하면서

Fig. 2. Survival rate (mean±SE) of BPH on susceptible and resistant rice varieties (n=5). (A) Resistant group, (B) Moderate resistant group, (C) Moderate susceptible group. ^{z)}The same letter means that there were no significant differences at $p < 0.05$ (ANOVA followed by DMRT).

유묘검정에서 저항성 반응이 강했던 ‘Mudgo’, ‘IR72’, ‘Anmi’는 상대적으로 다른 품종보다 식이선호성이 낮음을 보였다. 72시간 후에는 *Bph3* 유전자를 가지는 ‘IR72’를 흡즙하는 벼멸구는 없었으나 유묘검정에서 중약을 보인 품종은 중강 이상의

의 품종보다 많은 수의 벼멸구가 남아있었다. 식이선호성 결과는 유묘검정에서의 저항성 반응 결과와 비슷한 그룹을 형성하였는데 *Bph1*, *Bph3*, *Bph18*을 가진 품종은 다른 품종보다 72시간 후 붙어있는 벼멸구가 적었다. 반면에 유묘검정에

서 약한 반응을 보인 *bph5*, *bph8*을 가진 품종은 많은 벼멸구가 남아서 흡즙을 계속하고 있었다. 저항성 유전자를 가지는 품종간의 통계적 차이는 24시간 후 부터 유의한 차이를 보였다(Table 3). 벼멸구 생존율은 식이선호성 결과와 마찬가지로 감수성 품종인 ‘남평벼’와 저항성 유전자를 가지는 품종간에 많은 차이를 나타냈다. 4~5일째에 벼멸구 유묘검정 저항성 그룹(‘Mudgo’, ‘IR72’, ‘Anmi’)과 감수성 그룹(‘ARC10550’, ‘Chinsaba’)의 생존율 차이가 컸으나 중도저항성 그룹(‘ASD7’, ‘Swarnalata’, ‘T12’, ‘Pokkali’)은 완만한 감소를 보였다. 하지만 저항성 그룹과 달리 감수성 그룹은 5일 이후 벼멸구의 생존율 변화가 감수성 그룹보다 적었다. 특히, *Bph3* 유전자를 가진 ‘IR72’는 3일에서 5일 사이 50%의 생존율 감소를 보였으며 이후 10일까지 계속 다른 저항성 품종보다 가장 적은 생존율을 나타냈다. 이는 다른 저항성 유전자와 달리 *Bph3* 유전자와 관련되어 분비하는 항충성 물질이 매우 강력한 것으로 생각되며 추후 분석이 필요하리라 본다. 최종 10일 후에 생존율은 ‘남평벼’ 70%, 저항성 그룹 10~20%, 중도저항성과 감수성 그룹 20~30%를 보였다(Fig. 2).

벼의 저항성 기작은 크게 3가지 그룹으로 나누어 지는데, 첫째 식이성, 둘째 이차대사물질, 셋째 식물표면특성이다(Horgan 2009). 벼멸구의 흡즙(식이성)은 저항성 품종보다 감수성 품종에서 당 함유량을 더 낮추며(Loka et al. 2004), IR36(*bph2* gene)에서 추출한 ‘tricin’은 벼멸구의 흡즙을 방해한다(Bing et al. 2007). 식물줄기 표면특성에 따라 벼멸구 저항성 품종 ‘B5’는 감수성 품종 ‘MH63’보다 높은 위치에서 흡즙이 일어난다(Zhang et al 2004). 많은 연구를 통해 벼멸구 저항성에 관한 다양한 기작이 존재 하며 밝혀졌지만 현재 대부분의 벼멸구 저항성 품종은 식이성(흡즙)과 연관돼 있다. 박스를 이용한 유묘검정방법은 많은 수의 계통의 저항성을 판별하지만 식이성에 초점이 맞추어져 있어 다른 기작에 대한 선발에는 한계가 있다. 보다 오래 건디는 벼멸구 저항성 연구를 위해 식이성뿐만 아니라 이차대사물질과 식물표면특성을 결합한 벼멸구 저항성 품종의 육성은 새로운 스크리닝 방법이 요구 될 것이다.

본 연구를 통해 벼멸구 저항성 유전자별 저항성 정도를 밝혀 앞으로의 육종 재료에 대한 기초자료를 얻었다. 하지만 생태형1이 아닐 것이라 생각되는 비래 벼멸구에 대한 추가적인 연구가 필요할 것이다. 결과적으로 *Bph18*과 *Bph3* 유전자의 벼멸구 저항성 반응은 매우 뛰어났으며 아직 국내 자포니카 품종에 도입되지 않은 *Bph3* 유전자의 활용은 벼멸구 저항성

품종의 개발에 매우 유용하게 사용될 것이다.

적 요

본 연구는 생태형 1에 대해 각각의 단일 저항성 유전자를 가지고 있는 벼멸구 저항성 품종의 반응을 알아보고자 수행하였다. 실험에 사용한 벼멸구는 저항성 유전자가 없는 ‘남평벼’에서 10세대 이상을 키운 것을 사용하였다. 유묘저항성 검정은 4~5엽기에 개체 당 10마리의 벼멸구를 접종하였다. *Bph1*, *Bph3*, *Bph18* 유전자를 가진 품종은 매우 강한 저항성 반응을, *bph2*, *Bph6*, *bph7*, *Bph9*을 가진 품종은 중도저항성을 보였다. ‘남평벼’와 함께 *bph5*, *bph8*를 가진 품종은 매우 약한 반응을 보였다. 식이선호성은 전체 72시간동안 24시간마다 3반복 조사하였는데 72시간 후 ‘남평벼’와 ‘IR72’는 각각 690%, 0%를 나타냈다. 식이선호성과 유묘저항성 반응은 특정 유전자에 대해 비슷한 그룹을 형성하였다. 접종 10일후 벼멸구 생존율은 저항성 유전자를 가진 품종은 30% 이하 였지만 ‘남평벼’는 70% 였다. 본 실험 결과 *Bph3*와 *Bph18* 유전자는 벼멸구 저항성 품종을 육성하는데 매우 유용할 것으로 판단된다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(과제번호: PJ00871002)의 지원에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

1. Abo ME, Sy AA. 1997. Rice virus diseases: epidemiology and management strategies. J. Sustain. Agr. 11: 113-134.
2. Alam SN, Cohen MB. 1998. Detection and analysis of QTLs for resistance to the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, in a doubled haploid rice population. Theor. Appl. Genet. 97: 1370-1379.
3. Bing L, Hongxia D, Maoxin Z, Di X, Jingshu W. 2007. Potential resistance of triclin in rice against brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). Acta Ecol. Sin. 27: 1300-1307.
4. Brar DS, Virk PS, Jena KK, Khush GS. 2009. Breeding for resistance planthoppers in rice. In: Planthoppers: New

- Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia, pp.401-409. Heong, K. L. and Hardy, B. Eds., International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
5. Cho CI, Kim DH, Yuh JH. 1988. Resistance aspects of tongil and japonica varieties to brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål.). Res. Rept. RDA(R) 30: 1-6.
 6. Claridge MF, Den Hollander J. 1983. The biotype concept and its application to insect pests of agriculture. Crop Prot. 2:85-95.
 7. Cruz AP, Arida A, Heong KL, Horgan FG. 2011. Aspects of brown planthopper adaptation to resistant rice varieties with the *Bph3* gene. Entomol. 141: 245-257.
 8. Denno RF, Perfect TJ. 1994. Planthoppers: Their Ecology and Management. Chapman and Hall, New York.
 9. Dupo ALB, Barrion AT. 2009. Taxonomy and general biology of delphacid planthoppers in rice agroecosystems. In: Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia, pp. 3-156. Heong, K. L. and Hardy, B. Eds., International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
 10. Fujita D, Kohli A, Horgan F. 2013. Rice resistance to planthoppers and leafhoppers. Critical Reviews in Plant Science. 32: 162-191.
 11. Goh HG, Kim YH, Lee YI. 1988. Study on host plant resistance. Res. Rept. Agri. Sci. Ins., RDA 606-613.
 12. Hibino H. 1996. Biology and epidemiology of rice viruses. Ann. Rev. Phytopathol. 34: 249-274.
 13. Horgan F. 2009. Mechanisms of resistance : a major gap in understanding planthopper-rice interactions. In: Planthoppers: New Threats to the Sustainability of Intensive Rice Production Systems in Asia, pp.281-302. Heong, K. L. and Hardy, B. Eds., International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines.
 14. Jena KK, Kim SK. 2010. Current status of brown planthopper (BPH) resistance and genetics. Rice 3: 161-171.
 15. Jena KK, Jeung JU, Lee JH, Choi HC, Brar DS. 2006. High-resolution mapping of a new brown planthopper resistance gene, *Bph18(t)*, and marker-assisted selection for BPH resistance in rice (*Oryza sativa* L.) Theor. Appl. Genet. 112: 288-297.
 16. Ketipearachchi Y, Kaneda C, Nakamura, C. 1998. Adaptation of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, to BPH resistant rice cultivars carrying *bph8* or *Bph9*. Applied Entomology and Zoology 33: 497-505.
 17. Khush GS, Virk PS. 2005. IR varieties and their impact. International Rice Research Institute. Los Baños, Philippines, p.163
 18. Kim MK, Cohen MB, Roh JH, Kim YH, Im DJ, Hur IB, Chung DH, Kim KH. 1998. Reactions of resistance to brown planthopper in Japonica rice cultivars. RDA. J. Crop Protec. 40: 10-15.
 19. Kim WJ, Back SH, Shin MS, Shin WC, Park HS, Ha KY, Park JH, Cho YC, Kim BK, Lee JH. 2013. Development of brown planthopper resistant lines carrying *Bph18* gene using marker-assisted selection in japonica rice (*Oryza sativa* L.). Korean J. Intl. Agri. 25: 1-7.
 20. Lee JH, Yeo US, Kwak DY, Park DS, Oh BG, Ku YC, Kim HY, Sohn JK. 2005. QTL analysis for ripening traits of BPH resistant backcross inbred in rice. Korean J. Breed. Sci. 37: 295-299.
 21. Lee JO, Goh HG, Kim YH, Park JS. 1984. Studies on the biotypes of brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) in Korea: 1. Distribution of brown planthopper biotypes. Res. Rept. ORD 26-2, 42-46(S·P·M·U)
 22. Loka RK, Pasalu IC, Sreenivasa RA, Reddy DDR. 2004. Biochemical basis of resistance in rice cultivars to brown planthopper *Nilaparvata lugens* (Stål). J. Entomol. Res. 28: 79-85.
 23. Ōya S, Fukamachi S. 1987. Arrest-detering effect of resistant parental lines of Japonica rice to immigrant brown planthopper, *Nilaparvata lugens* Stål (Hemiptera: Delphacidae), in the field. Appl. Entomol. Zool. 22: 237-239.
 24. Park YD, Song YH. 1988. Studies on the distribution of the brown planthopper (*Nilaparvata lugens* Stål) biotypes migrated in the southern regions of Korea. Korean J. Appl. Entomol. 27: 63-67.
 25. Pathak PK, Heinrichs EA. 1982. Selection of biotype populations 2 and 3 of *Nilaparvata lugens* by exposure to resistant rice varieties. Environmental Entomology 11: 85-90.
 26. Seo BY, Jung JK, Choi BR, Park HM, Lee BH. 2009. Resistance-breaking ability and feeding behavior of the brown planthopper, *Nilaparvata lugens*, recently collected in Korea. In: Planthoppers: New threats to the sustainability of intensive rice production systems in Asia, pp.303-314. International Rice Research Institute, Los

- Baños, Philippines.
27. Suh JP, Jeung JU, Kim YG, Jena KK, Cho YC, Lee JH, Kim MK, Hong HC, Lee JH, Kim JJ, Choi IS, Jeong EG, Hwang HG, Oh SK, Yang CI, Shin MS. 2014. A brown planthopper resistant and high grain quality rice variety 'Anmi' developed by molecular breeding method. Korean J. Breed. Sci. 46: 152-159.
28. Seo JP, Yang SJ, Jeung JU, Pamplona A, Kim JJ, Lee JH, Hong HC, Yang CI, Kim YG, Jena KK. 2011. Development of elite breeding lines conferring *Bph18* gene derived resistance to brown planthopper by marker-assisted selection and genome-wide background analysis in japonica rice(*Oryza sativa* L.). Field Crops Research 120: 215-222.
29. Shin MS. 1990. Genetic analysis for resistance to bacterial blight and brown planthopper in japonica rice cultivars bred in Korea. Dep. Of Agr. Bio. Gradu. Sch. Chonnam Nat. Univ. Ph. D. Thesis Dissertation pp. 1-53.
30. Shin MS, Kim WJ, Shin WC, Park HS, Seo CS, Choi IB, Ha KY, Kang HJ, Ko JK. 2011. Effect of brown planthopper resistance gene, *Bph18* to yield components in rice. Korean J. Breed. Sci. 43: 56-61.
31. Yeo US, Sohn JK. 1995. Effective screening methods and inheritance of resistance to brown planthopper(*Nilaparvata lugens* Stal.) in rice. Korean J. Breed. Sci. 27: 372-379.
32. Zhang F, Zhu L, He G. 2004. Differential gene expression in response to brown plantopper feeding in rice. J. Plant Physiol. 161: 53-62.