

## 호평벼와 남평벼의 혼합재배에 의한 도열병 방제와 레이스 다양성의 변화

오인석\* · 민지영 · 조명길 · 노재환 · 신동범 · 송진<sup>1</sup> · 김명기<sup>2</sup> · 조영찬<sup>2</sup> · 김병련<sup>3</sup> · 한성숙<sup>4</sup>

농촌진흥청 국립식량과학원 작물환경과, <sup>1</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 기능성식품과,

<sup>2</sup>농촌진흥청 국립식량과학원 답작과, <sup>3</sup>충남농업기술원 생물환경과, <sup>4</sup>농촌진흥청 국립농업과학원 농업미생물과

### Rice Blast Control and Race Diversity by Mixed-Planting of Two Cultivars (‘Hopyeongbyeo’/‘Nampyeongbyeo’) with Different Susceptibility to *Magnaporthe oryzae*

In-Seok Oh\*, Ji-Young Min, Myung-Gil Cho, Jae-Hwan Roh, Dong-Bum Shin, Jin Song<sup>1</sup>,  
Myeong-Ki Kim<sup>2</sup>, Young-Chan Cho<sup>2</sup>, Byung-Ryun Kim<sup>3</sup> and Seong-Sook Han<sup>4</sup>

Crop Environment Research Div., National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

<sup>1</sup>Agriproduct Processing Div., National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

<sup>2</sup>Rice Research Div., National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 441-857, Korea

<sup>3</sup>Chungcheong Nam-Do Agricultural Research & Extension Services, Yesan 340-861, Korea

<sup>4</sup>Applied Microbiology Div., National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon 441-707, Korea

(Received on September 1, 2008)

Mixed-planting of two rice cultivars, HP (‘Hopyeongbyeo’) and NP (‘Nampyeongbyeo’), having a dissimilar susceptibility to rice blast was practiced for chemical-free control of rice blast in the field. The HP/NP combination was selected for applying under mechanized agricultural conditions. Because they have similar genetic characteristics such as seed germination and heading time, culm length, rice quality and size of rice grains except susceptibility to blast. Incidence of panicle blast was reduced 50.4% compare with supposed blast incidence by HP/NP mixed-planting when the seeds of two cultivars were combined 1 to 1 as weight. Supposed blast incidence was estimated from reduction of rice blast caused by addition of a resistant cultivar NP. Race diversity of *Magnaporthe oryzae* was examined for correlation with control effect of HP/NP mixed-planting on rice blast. The population of dominant race KJ-101 was diminished and replaced with various co-existing races and eleven new races were appeared in mixed-planting plot. Total number of race isolated from mixed-planting plot was not largely different from mono-culture. However, detection frequency of the new race was increased and variation of the population size of each race was decreased in mixed-planting plots. It was shown that a biased community with a dominant race (KJ-101 or KI-181) was altered to a balanced one of co-existing races. From these results, it was supposed that the balanced diversity among co-existing races within a community might be correlated to control effect by HP/NP mixed-planting on rice blast. Further more, it should be studied that genetic characteristics of the individual race including a virulence on cv. HP and NP was examined for verifying a correlation of mixed-planting effect and race diversity.

**Keywords :** Mixed-planting, Race diversity, Rice blast

단일 작물을 대규모 재배하는 집약적인 현대농업은 재  
배의 편리와 생산량의 증가라는 이점과 더불어 이을 위

해 과도하게 사용되는 농약과 비료 등으로 인해 환경에  
부정적인 영향을 가져왔다. 오늘날 이의 보안을 위한 환  
경친화적인 농법에 대한 연구가 요구되어지고 있으며, 일  
부 분야에서 그 가능성이 검토되고 있다(Matson, 1997;  
Tilman, 1998). 수량과 품질에 관한 형질을 목적으로 한  
육종은 그 외의 형질에 대한 작물의 유전적 다양성을 단

\*Corresponding author

Phone) +82-31-290-6780, Fax) +82-31-290-6773

E-mail) ohinseok@rda.go.kr

일화시킨 주된 원인으로 생각되고 있으며, 특히 벼 도열병에 있어서 이러한 유전형질의 단일화는 때때로 특정 레이스에 의한 대규모 병 발생(boom and burst)을 일으키기도 한다(Bonman 등, 1992). 일반적으로, 작물의 유전적 다양성이 식물의 병을 감소시키는 효과가 있다고 알려져 있으며 이를 이용한 식물병의 방제가 벼와 밀, 보리 등에서 시도되었다. 이러한 연구에서는 병원균 레이스에 대한 저항성이 서로 다른 유전자를 지닌 품종의 혼합재배를 통해 병 발생이 감소하는 효과를 보았으며 일부는 성공적으로 사용되어지고 있다(Mundt, 1994; Wolfe, 1985, 1992; Zhu 등, 2000). Zhu 등(2000)은 도열병에 감수성인 찰벼 품종과 저항성인 hybrid 품종을 혼합재배 함으로써 감수성 품종을 단일 재배했을 때 보다 수확량을 89% 이상 증가시키고 도열병 발생은 94%나 감소하여 재배하는 2년 동안 약제방제 없이도 도열병 방제가 가능하였다고 보고하였다(Zhu 등 2000). 작물의 유전적 다양성에 의한 병 발생의 감소효과에 대한 기작으로는 유전형질이 다른 품종을 혼합재배 함으로써 식재된 감수성 식물체 간의 거리가 멀어짐에 따라 특정 품종과 친화적인 레이스의 전염원이 희석된다는 점과 저항성의 유도 혹은 경쟁과 같은 병원균 레이스간의 상호작용 그리고 저항성 식물체의 장벽으로 인해 친화적 레이스가 감수성 식물체 사이에서 포자 전반이 불가능하게 되는 것 등으로 설명되고 있다(Burdon, 1978; Mundt와 Browning, 1985; Lannou 등, 2005). 특히 보리 흰가루병의 경우 감수성 식물체의 식재 거리는 병 발생 감소에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되어 있다(Chin과 Wolfe, 1984). 혼합재배에 의한 식물병 방제 효과는 작물의 크기와 병원균의 전방형태에 따라 각각 다양하게 나타나지만 일반적으로 벼, 밀, 보리와 같이 GUA(genotype unit area)가 작고 녹병, 흰가루병, 도열병 처럼 공기 전파하는 병원균에 의한 식물병에 효과가 크고 소규모 면적의 재배보다는 대규모 재배의 경우 더욱 효과적인 것으로 보고되어 있다(Garrett와 Mundt, 1999). 따라서 본 연구에서는 벼 품종의 유전적 다양성을 이용해 친환경 쌀 생산 시스템을 개발하고자 도열병에 대한 저항성 정도가 서로 다른 품종의 혼합재배를 실시하여 무농약 재배 시 도열병 발생 억제 효과가 있는지, 그리고 벼의 유전적 다양성이 병원균 레이스의 변화와 다양성에 미치는 영향은 어떠한지를 조사하고 혼합재배로 인한 쌀 생산량과 품질에 미치는 효과를 검토하였다.

## 재료 및 방법

**벼 품종과 재식방법.** 본 실험은 충남 홍성군 홍동읍

문당리 친환경 재배단지에서 2005년부터 3년간 수행되었으며 완전임의배치 3반복으로 반복당 시험구 크기는 15×16 m<sup>2</sup> 내외로 하였다. 사용된 벼 품종 조합은 재배 생력화를 통한 벼 이앙, 수확을 고려하여 도열병에 대한 감수성 정도만 서로 다르고 그 외 유전형질 즉, 육묘기간, 숙기, 벼알의 크기, 품질 등은 유사한 품종으로 구성하였다. 선발된 품종조합은 감수성/저항성 순으로 ‘일품벼’/‘삼광벼’, ‘호평벼’/‘남평벼’, ‘삼덕벼’/‘고품벼’ 등 3개 조합이었다. 재식방법 선발을 위해 각 품종을 별도로 상자육묘한 다음 감수성(2줄)과 저항성(6줄) 품종을 번갈아 이앙한 줄재배와 감수성/저항성 품종 비율을 1:2, 1:3, 1:1, 2:1 등으로 종자를 혼합하여 상자 육묘 후 이앙한 혼합재배를 실시하였다(Fig. 1). 재식방법에 따른 도열병 발생 억제효과를 측정하기 위해 대조구로서 각 품종을 단독 재배한 단일구를 배치하였다.

**도열병 발생 조사.** 벼 재배 포장에서의 도열병 발생은 반복 당 20주의 식물체를 조사하였으며 잎도열병의 경우 병반면적율을, 이삭도열병은 이병수율을 각각 8월과 9월에 조사하였다(농촌진흥청 작물피해조사기준). 혼합재배에 의한 병 발생 억제효과의 산정을 위해 사용된 혼합재배 시 예상되는 도열병 발생량의 추정은 다음과 같다.

예상발병률=(감수성 단일재배구 발병률(호평벼)×호평벼 투입량(%))+(저항성 단일재배구 발병률(남평벼)×남평벼 투입량(%))

**쌀 품질조사.** 줄재배 혹은 혼합재배가 수확된 벼의 품질에 미치는 영향을 알아보기 위해 쌀의 수확량, 품위, 도정특성과 이화학특성을 조사하였다. 제현율은 실험실용 현미기로 탈부한 후 1.6 mm 줄체로 쳐서 체위에 남은 현미량을 사용한 벼에 대한 백분율로 표시하였고, 현백율은 도정이 끝난 현미를 실험실용 정미기로 도정 후 1.4 mm 그물체로 싸라기를 제거한 후 백미량을 사용한 현미량에 대한 백분율로 표시하였다. 쌀 품위 중 백미 완전립율은 쌀의 모양이 완전한 것과 깨어진 크기가 평균쌀알길이의 3/4이상인 쌀로 하였고, 분상질립은 체적의 1/2이상이 분상질 상태인 낱알로 하였다. 품질조사를 위해 아밀로스 함량은 Juliano의 방법으로 조단백질은 micro-kjeldahl 법으로 분해 후 증류하여 질소계수 5.95를 곱하여 환산하였다(Juliano, 1971).

**병원균 분리와 레이스검정.** 혼합재배에 의한 도열병 발생 감소의 원인을 밝히고자 처리당 50주의 이병주로부터 진전형 병반이 형성된 잎을 채취하여 병원균을 분리한 다음 레이스 검정을 수행하였고 품종판별 마커를 이용하여 병원균이 분리된 벼 품종을 판별하였다. 병반이

형성된 잎을 습실처리 한 다음 25도의 광/암이 교호되는 배양기에 3일간 배양하여 포자형성을 유도하고 광학현미경 아래에서 도열병균 포자를 떼어 한천배지(WA)에 접종한 다음 여기서 자란 단 균사의 끝을 감자한천배지(PDA)에 옮겨 순수 분리하였다. 레이스 검정은 8개의 벼 판별품종('Tetep', '태백', '통일', '유신', '관동51', '농백', '진흥', '낙동')의 2~3엽기의 유묘에 포자농도  $5 \times 10^5$ 개/ml의 병원균 포자를 접종하여 25°C의 암상태에서 24시간 동안 습실을 유지한 다음 온실로 옮겨 7일 후 잎에 형성된 병반 정도를 조사하였고 레이스 판별법에 따라 분류하였다(Table 1, Han 등, 2001). '호평벼'와 '남평벼'의 혼합비를 따른 레이스의 변화를 보기 위해 처리에 따른 레이스의 종류와 수 그리고 특정 레이스가 차지하는 비율 등을 조사하였다.

**병원균이 분리된 이병엽의 품종판별.** 종자 혼합처리구에서 '호평벼'와 '남평벼'의 도열병에 대한 반응을 조사하고자 병원균이 분리된 이병엽의 품종판별을 실시하였다. 벼잎의 gDNA 추출은 i-genomic Plant DNA Mini-prep Kit(Kiagen Co., Korea)를 이용하였으며 벼 품종판별은 자포니카 품종구분이 가능한 SSR 마커중 RM7076를 이용

하여 호평벼와 '남평벼'를 구분하였다(작물과학원 2006). SSR-PCR은 gDNA(5 ng/ul) 6  $\mu$ l에 PCR mixture 14  $\mu$ l (10 mM primer 1  $\mu$ l, 10 mM dNTPs 2  $\mu$ l, 10 $\times$ buffer 2  $\mu$ l, Taq polymerase 1 unit, SDW 7.8  $\mu$ l)를 더한 다음, DNA 변성을 94°C에 5분 동안 1회하고 DNA 증폭은 cycle당 DNA 변성 94°C 1분, 프라이머 annealing 55°C 1분 및 DNA 증폭 72°C 2분으로 35회하고, 최종적으로 72°C 10분간 실시하였다. PCR 증폭산물은 3% agarose gel에서 전기영동하고 EtBr로 염색하여 UV 상에서 확인하였다. 품종판별은 도열병균이 분리된 이병 벼잎에서 증폭된 PCR 밴드와 표준품종 '호평벼'와 '남평벼'에서 증폭된 PCR 밴드의 크기를 비교하여 품종을 판별하였다(Fig. 2).

## 결과 및 고찰

**혼합재배에 의한 벼 도열병의 발생 감소 효과.** 도열병에 대한 감수성을 달리하는 두 품종의 혼합재배에 의한 도열병 발생 억제 효과는 재식방법에 따라 줄재배 보다 혼합재배에서, 도열병 발생 부위별로는 잎도열병 보다는 이삭도열병에서 더 효과적인 것으로 나타났다(Table 2와

**Table 1.** Race discrimination of *Magnaporthe oryzae* isolates from virulence on eight standard rice cultivars

Race	Tetep	Taebaegybeo	Tongil	Yushin	Kanto51	Nongbaeg	Jinheung	Nagdongbyeo
KI-101	1 <sup>a</sup>	1	1	1	1	1	1	1
KI-165	1	0	1	1	1	1	1	1
KI-181	1	0	1	0	1	1	1	1
KI-197	1	0	0	1	1	1	1	1
KI-1113	1	0	0	0	1	1	1	1
KI-201	0	1	1	1	1	1	1	1
KI-209	0	1	1	1	0	1	1	1
KI-301	0	0	1	1	1	1	1	1
KI-317	0	0	1	0	1	1	1	1
KI-325	0	0	1	0	0	1	1	1
KI-401	0	0	0	1	1	1	1	1
KI-409	0	0	0	1	0	1	1	1
KJ-101	0	0	0	0	1	1	1	1
KJ-102	0	0	0	0	1	1	1	0
KJ-103	0	0	0	0	1	1	0	1
KJ-104	0	0	0	0	1	1	0	0
KJ-105	0	0	0	0	1	0	1	1
KJ-106	0	0	0	0	1	0	1	0
KJ-107	0	0	0	0	1	0	0	1
KJ-108	0	0	0	0	1	0	0	0
KJ-201	0	0	0	0	0	1	1	1
KJ-203	0	0	0	0	0	1	0	1

<sup>a</sup>0: no lesion or resistant response, 1: susceptible response.

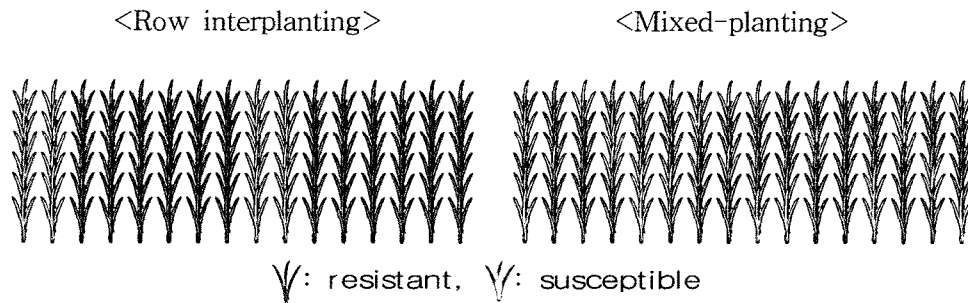


Fig. 1. The planting features of two rice cultivars having different susceptibility to rice blast.

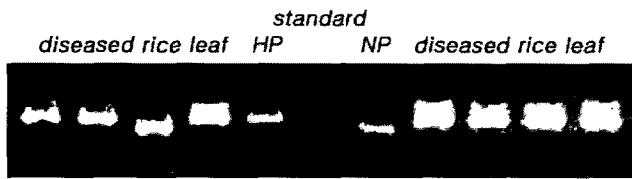


Fig. 2. PCR profile using SSR marker RM7076 for diseased leaves collected in the field. HP: 'Hopyeongbyeo'; NP: 'Nampyeongbyeo'.

의 병 발생 감소효과를 보인 반면 잎도열병은 재식방법에 관계없이 7~40배 이상으로 병 발생이 증가하였다. 벼의 재식방법에 따라 줄재배의 경우 '일품벼'와 '호평벼'에서 이삭도열병의 발생이 24.8%와 25.7%가 감소된 것에 반해 혼합재배의 경우는 저항성 품종의 투입에 따른 예측된 병 발생률 보다 58.5%와 57.8%의 병 발생 감소를 보여 줄재배 보다 혼합재배가 효과적이었다. 특히 줄재배 방법은 감수성인 '호평벼'의 균락을 따라 이삭목도열병이 집중적으로 발생하였고(Fig. 3A) 내도복성이 약한 '삼광벼'는 심한 도복현상을 보였다(Fig. 3B). 그러나

3, Fig. 4). 이삭도열병은 두 품종을 1:3(감수성벼:저항성벼)의 비율로 줄재배 혹은 혼합재배를 한 경우 24.8~58.5%

Table 2. Rice blast incidence by interplanting or mixed-planting of two cultivars with different susceptibility to rice blast in 'Ipumbyeo'/'Samkwangbyeo' (IP/SK) or 'Hopyeongbyeo'/'Nampyeongbyeo' (HP/NP) combination (2005)

Culture type	Rice blast incidence (%) <sup>a</sup>				Control value (%) in panicle blast
	on leaves		on panicles		
	IP(S) <sup>b</sup>	SK(R)	IP(S)	SK(R)	IP(S)
Monoculture	0.14	0	67.3	9.0	-
Interplanting (S:R=2:6)	5.60	0.08	<b>50.6</b>	9.0	<b>24.8</b>
Mixed-planting (S:R=1:3)	0.55 (0.04) <sup>c</sup>		<b>9.8 (23.6)</b>		<b>58.5</b>
	HP(S)	NP(R)	HP(S)	NP(R)	HP(S)
Monoculture	1.45	0.29	93.5	48.7	-
Interplanting (S:R=2:6)	10.4	1.29	<b>69.5</b>	5.0	<b>25.7</b>
Mixed-planting (S:R=1:3)	6.21 (0.58)		<b>25.3 (59.9)</b>		<b>57.8</b>

<sup>a</sup>Rice blast incidence was calculated from lesion area on leaves of the whole and No. of diseased rice panicles.

<sup>b</sup>S: susceptible, R: resistant cultivar to rice blast.

<sup>c</sup>Supposed rice blast incidence in mixed-planted plot.



Fig. 3. Occurrence of panicle blast on 'Hopyeongbyeo' (HP) in HP/NP ('Nampyeongbyeo') combination (A) and collapsed plant of 'Samkwangbyeo' (SK) in IP ('Ipumbyeo')/SK (B) combination of the inter-planted plot and healthy feature of IP/SK in mixed-planting plot (C).

**Table 3.** Rice blast incidence by mixed-planting of different mixed volume of resistant cultivar to rice blast (2006)

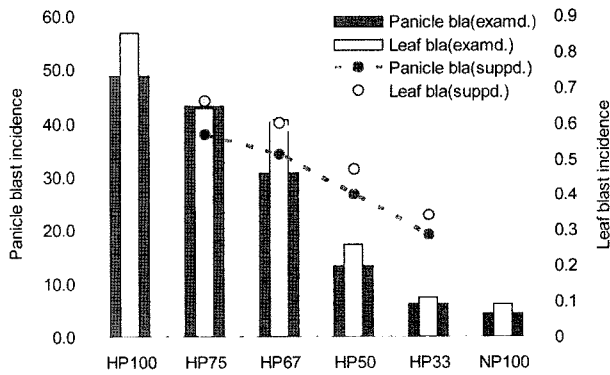
Rice blast <sup>a</sup>	Monoculture		Mixed-planting (SD:GP=S:R) <sup>b</sup>			
	SD(S)	GP(R)	3 : 1	2 : 1	1 : 1	1 : 2
on leaf (%)	0.1	0	0.15 <sup>c</sup>	0.13	0.10	0.07
			0 <sup>d</sup>	0	0	0
on panicle (%)	6.1	1.0	7.0	6.4	4.1	3.0
			0	0	0	0
Rice blast <sup>a</sup>	Monoculture		Mixed-planting (HP:NP)			
	HP(S)	NP(R)	3 : 1	2 : 1	1 : 1	1 : 2
on leaf (%)	1.87	0.11	1.42	1.54	0.73	1.04
			43.6	0	26.3	0
on panicle (%)	72.0	6.6	64.8	60.9	<b>37.0</b>	<b>27.5</b>
			0	0	<b>5.9</b>	<b>2.5</b>

<sup>a</sup> Rice blast incidence was calculated from lesion area on leaves of the whole and No. of diseased rice panicles.

<sup>b</sup> SD: Samdukbyeo, GP: Gopumbyeo, HP: Hopyeongbyeo, NP: Nampyeongbyeo, S: susceptible, R: resistant cultivar to rice blast.

<sup>c</sup> Rice blast incidence in mixed-planted plot.

<sup>d</sup> Control value = (1 - rice blast incidence/supposed rice blast incidence) × 100.



**Fig. 4.** Decrease of rice blast incidence according to increasing mixed seed volume of resistant cultivar NP in mixed-planting of 'Hopyeongbyeo' (HP, susceptible) and 'Nampyeongbyeo' (NP, resistant) (2007). abbreviations: HP100/NP100 (monoculture of cv. HP or NP), HP75 (HP: NP=3:1), HP67(2:1), HP50(1:1), HP33(1:2).

이러한 문제점들은 혼합재배를 함으로써 보완할 수 있었다(Fig. 3C). 본 실험에서는 Zhu 등(2000)의 보고와 달리 줄재배에서 도열병 발생억제 효과를 볼 수 없었는데 이는 중국과 한국의 재배환경이 다름에서 기인한 것으로 판단된다. Zhu 등(2000)의 실험에서는 손이앙 방법을 이용하여 저항성인 hybrid 벼를 4줄 식재한 다음 그 사이에 감수성인 찰벼를 1줄로 재배하였다. 그러나 국내의 경우 재배의 생력화를 위해 손이앙 방법은 현장 적용이 불가능하다고 판단되며 기계이앙이 가능한 감수성벼의 최소량은 2줄 이상이었다. 하지만 감수성 품종의 2줄 재배는 도열병 발생을 더욱 조장하는 결과를 보여(Fig. 3A) 국내 사정을 감안할 때 감수성벼와 저항성벼의 종자를 혼합한

혼합재배가 더 효과적인 것으로 생각되며 또한 이삭도열병에 있어서는 줄재배 방법도 25% 내외의 발병감소 효과를 보여(Table 2) 벼의 유전적 다양성을 이용한 도열병 방제방법은 친환경 무농약 방제를 위해서는 효과적인 방제법인 것으로 판단되었다.

**저항성 품종의 투입량에 따른 벼 도열병 발생 억제 효과.** 감수성벼와 저항성벼 종자의 혼합재배방법이 도열병 발생을 효과적으로 억제시킴에 따라 저항성벼의 혼합비율을 달리하여 이에 따른 병 발생 감소 효과를 조사하였다. 저항성 품종('고품벼'와 '남평벼')의 혼합비율이 높아짐에 따라 병발생이 감소하여 저항성 품종의 양을 50% 까지 늘려 혼합재배 하였을 때(S:R=1:1) 감수성 품종의 단일재배시보다 낮은 병 발생률을 보였다(Table 3). 호평/남평 조합은 도열병 발생 억제에 더욱 효과적이어서 저항성 품종인 '남평벼'를 25%만 혼합하여도(S:R=3:1) 잎과 이삭에서 도열병 발생이 감소하는 것으로 나타났다(Table 3). 그러나 저항성 벼의 투입량이 증가함에 따라 상대적인 감수성 벼의 비율이 낮아지고 이에 따른 병 발생의 감소는 지극히 당연한 결과로 예상되는 바이다. 따라서 저항성 벼와 감수성 벼의 혼합재배시 순수한 병 발생 억제효과는 저항성 벼의 투입 비율에 따른 병 발생 감소효과를 고려하여 추산되어야 할 것이다. 저항성 벼와 감수성 벼의 혼합비에 따라 추정된 예상 발병률과 실제 병 발생률을 비교해 본 결과 '호평벼'와 '남평벼' 조합에서 저항성벼가 50% 이상 혼합되어진 처리구에서만 병발생 억제 효과가 인정되었으나 그 효과는 저항성 벼가 75% 투입된 처리구보다 매우 낮았다(Table 2와 3). 그러나 2007

**Table 4.** Effect of mixed-planting on rice yield and quality

Treatments	Yields (kg/10a)	Characteristics of milled rice (%)		Rice quality (%)		Characteristics of milling recovery (%)		
		Head rice	Chalky rice	Protein	Amylose	R.B.P. <sup>a</sup>	R.M.P. <sup>b</sup>	R.H.P. <sup>c</sup>
SD(S) <sup>d</sup>	741	86.6	0.5	6.0	17.9	82.5	89.2	73.6
GP(R)	651	88.5	0.5	5.8	19.2	83.9	91.1	76.4
SD+GP(2:1)	506	75.9	0.8	6.0	18.1	83.1	86.4	74.3
SD+GP(1:1)	575	82.0	0.6	6.0	18.6	83.4	87.9	73.3
SD+GP(1:2)	519	80.6	0.9	6.2	18.5	83.7	89.0	74.5
HP(S)	483	67.8	1.5	5.8	18.5	80.9	87.6	70.9
NP(R)	690	94.8	0.3	6.5	18.4	80.8	88.9	71.8
HP+NP(2:1)	478	77.4	1.3	5.9	18.3	81.2	88.0	71.4
HP+NP(1:1)	472	80.4	1.0	5.8	19.0	81.0	90.1	72.9
HP+NP(1:2)	564	85.5	1.0	6.3	18.8	80.5	89.6	72.1

<sup>a</sup>R.B.P. : Recovery of brown rice from paddy rice.

<sup>b</sup>R.M.P. : Recovery of milled rice from paddy rice.

<sup>c</sup>R.H.P. : Recovery of head rice from paddy rice.

<sup>d</sup>SD: 'Samdukbyeo', GP: 'Gopumbyeo', HP: 'Hopyeongbyeo', NP: 'Nampyeongbyeo', S: susceptible, R: resistant cultivar to rice blast.

년의 경우에는 '남평벼'(R)가 33% 혼합된 곳(HP67)에서도 이삭도열병 억제 효과가 나타났으며, '호평벼'와 '남평벼'가 1:1로 혼합된 처리구(HP50)에서는 잎과 이삭도열병 모두 병 발생이 크게 감소하였다(Fig. 4). '호평벼'와 '남평벼'의 혼합재배에 의한 이삭도열병 발생 억제 효과는 그해의 도열병 발생정도에 따라 차이를 보였으나 저항성 벼가 50% 투입된 HP50 처리구는 혼합재배가 시행된 2년 동안 안정적인 억제 효과를 보여(Table 3과 Fig. 4) '호평벼'의 비율을 최대한 보존하면서 무농약으로 도열병 발생을 억제시키는 효과적인 처리로 확인되었다.

**혼합재배가 쌀 품질에 미치는 영향.** 무농약 도열병 방제방법으로 효과를 보인 감수성 품종과 저항성 품종의 혼합재배 방법이 쌀의 품질에 미치는 영향을 조사하였다. 저항성 품종의 혼합비율을 33%에서 67%로 증가시켰을 때 '삼덕벼'와 '고품벼' 조합에서는 수량과 백미 품위 부분에서 두 품종의 단일재배 보다는 약간 떨어지는 것으로 나타났으나 '호평벼'와 '남평벼'의 조합에서는 수량, 백미품위, 미질, 도정수율 등에서 단일재배와 유사하거나 좀 더 우수한 것으로 조사되었다(Table 4). 혼합재배로 인

한 쌀의 품질에 대한 영향은 품종의 조합에 따라 약간의 차이가 있었으나 단일재배와 비교할 때 큰 영향은 없는 것으로 나타났다. 혼합재배를 위한 품종 조합의 선발에 있어서 도열병 방제 측면과 더불어 쌀 품질 보전 부분도 고려된다면 혼합재배방법이 더욱 효율적인 친환경 도열병 방제방법이 될 것으로 생각된다.

**혼합재배로 인한 도열병균 레이스의 질적 변화.** 유전형질이 서로 다른 품종을 혼합재배하였을 때 작물의 내구저항성이 증진되는 경향이 있는데 이는 작물의 저항성 유전자가 병원균에 노출될 확률이 줄어들어 따라 병원균의 분화가 느려지기 때문일 것으로 추정되며 또한 이 때 병원균의 집단이 훨씬 다양해지는 경향을 보인다. 이러한 점들이 병 발생 억제 효과와 관련이 있다고 알려져 있다(Dileone, 1994; Müller, 1996). 본 실험에서는 '호평벼'와 '남평벼'의 혼합재배에 의한 도열병 발생 감소와 병원균 집단 다양성의 변화에 대한 상관관계를 알아보하고자 혼합재배구와 단일재배구에서 레이스의 다양성을 조사하였다. 혼합재배구에서 분리된 143균주의 대다수가 감수성인 '호평벼'의 앞에서 분리되었으며 8개 균주만이 저항성

**Table 5.** Proportion of *Magnaporthe oryzae* isolates isolated from susceptible cv. HP or resistant cv. NP in HP/NP mixed-planted plots

Isolated cv.	HP 100	HP 75	HP 67	HP 50	HP 33	NP 100	Total
'Hopyeongbyeo'	37 <sup>a</sup> (100) <sup>b</sup>	39 (100)	29 (96.7)	37 (92.5)	30 (88.2)	0	172
'Nampyeongbyeo'	0	0	1 (3.3)	3 (7.5)	4 (11.8)	46 (100)	54

<sup>a</sup>No. of isolates.

<sup>b</sup> Isolates from cv. HP or NP on their each plot.

abbreviations: HP100/ NP100 (monoculture of cv. HP or NP), HP75 (HP: NP=3:1), HP67(2:1), HP50(1:1), HP33(1:2).

**Table 6.** Race diversity of *Magnaporthe oryzae* isolated from HP/NP mixed-planted field

Treatment	HP 100	HP 75	HP 67	HP 50	HP 33	NP 100
Isolated race of <i>M. oryzae</i>	KI-201	KI-201	KI-401	KJ-101(*)	KI-401	KI-401
	<u>KI-301</u>	KJ-101	KJ-101(*)	KJ-105	KI-317	KJ-101
	KI-401	KJ-201	KJ-203	KJ-107	KJ-101(*)	<u>KJ-102</u>
	KJ-101	KJ-105		KJ-203	KJ-201	<u>KJ-103</u>
	KJ-201	KJ-107	<i>KI-101</i>			KJ-203
	KI-317		<u>KJ-104</u>	<u>KJ-106</u>	<i>KI-101</i>	KJ-105
	KJ-105	<i>KI-101</i>	<i>KI-165</i>	<u>KJ-108</u>	<i>KI-181(*)</i>	KJ-107
	KJ-107	<i>KI-165</i>	<i>KI-181</i>	<u>KI-1113</u>	<u>KI-197</u>	
		<i>KI-181</i>	<i>KI-1113</i>		<i>KI-209(*)</i>	
		<i>KI-1113</i>			<u>KI-325</u>	
				<u>KI-409</u>		
No. of isolated race	8 (0)**	9 (4)	8 (5)	7 (3)	10 (6)	7 (0)
% of new race	12.5	44.4	62.5	42.8	60.0	28.5

(\*) Race isolated from cv. NP ('Nampyeongbyeo').

*italics*: race from mixed-planted field.

underline: treatment specific race.

\*\*(): No. of isolates only from HP ('Hopyeongbyeo')/NP mixed-planted field.

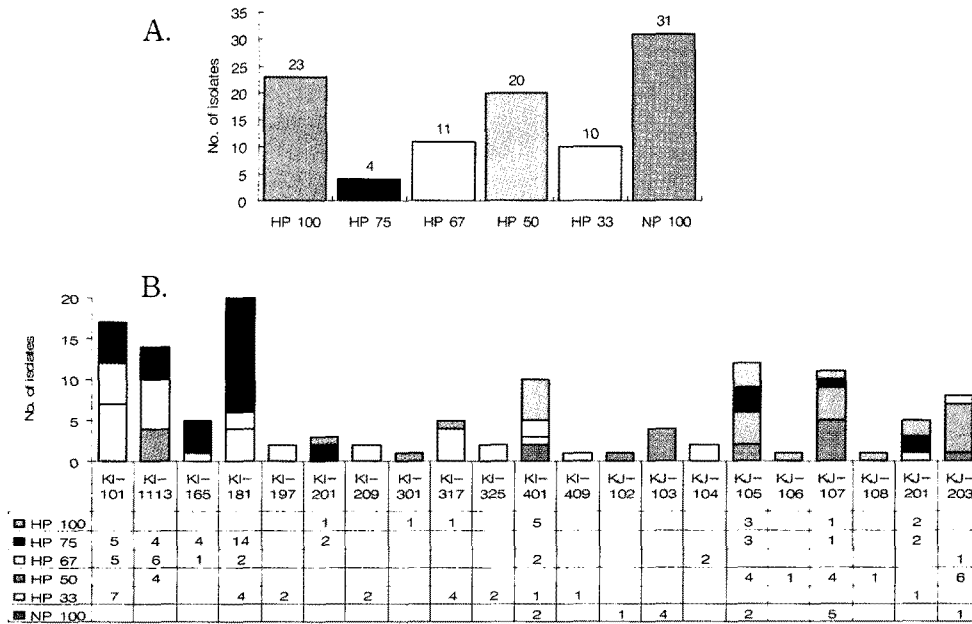
*abbreviations*: HP100/ NP100 (monoculture of cv. HP or NP), HP75 (HP: NP=3:1), HP67(2:1), HP50(1:1), HP33(1:2).

인 '납평벼' 앞에서 분리된 것이었다(Table 5). 분리된 균주의 레이스를 검정한 결과 KJ-101을 포함한 22개의 레이스가 분리되었고 처리별로는 7개에서 10개의 레이스가 분리되었다(Table 6). 세부적으로 살펴보면 KI-101과 같이 단일재배구에서 볼 수 없었던 11개의 새로운 레이스가 혼합재배시 출현하였고 반면 KI-301, KJ-102, 103 등 3개의 레이스는 혼합재배구에서는 분리되지 않았다. 특히, KI-301, KJ-102, 103 레이스 등은 단일재배구에서만 분리되어 처리구 특이적인 경향을 보였는데 이러한 경향은 혼합재배구에서도 보였다. KJ-104 등 6개의 레이스가 처리구 특이적으로 발생하였고 이들 레이스는 모두 '호평벼'의 앞에서 분리되었음에도 불구하고 저항성인 '납평벼'의 비율이 증가할수록 그 수가 증가하는 경향을 보였다(Table 6). 혼합재배시 대다수의 균주가 감수성벼('호평벼')에서 분리 되었음에도 불구하고 혼합재배에서 새로 발생하는 레이스의 비율을 살펴보면 각 처리구별로 전체 레이스 중 42.8~60% 이상이었는데 반해 단일재배에서는 각각 12.5%와 28.5%로 나타나 혼합재배시 발생하는 레이스의 수는 유사하지만 단일재배에서 우점 했던 레이스가 혼합재배시 사라지고 이들이 새로운 레이스로 대체됨으로써 레이스 종류의 다양성이 변화하는 양상을 보였다.

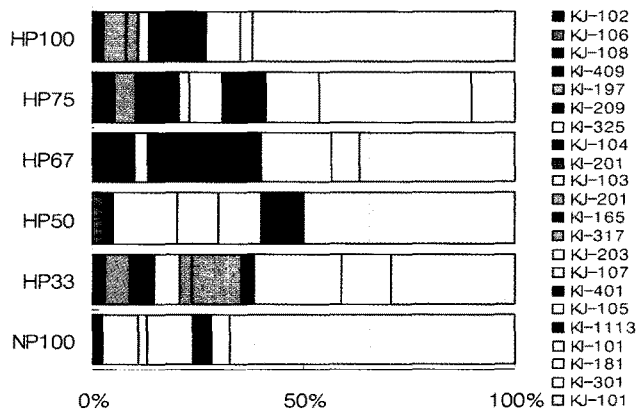
**혼합재배 시 레이스의 양적 변화.** 레이스 종류의 변화와 더불어 밀도의 변화를 살펴보면(Fig. 5) KJ-101 레이스는 모든 처리구에서 분리되었고 전체 분리균주(226균주)의 약 44%를 차지하였으며 혼합재배구의 '납평벼'에서 분리된 8개 균주 중 6개 균주가 KJ-101 레이스로 확인되어 생태 적응력이 높은 레이스로 생각되었다(Table 6,

Fig. 5A). Dileone(1994)은 3개 품종의 밀 혼합재배에서 단일 품종을 침해하는 녹병균(*Puccinia striiformis*) 레이스의 밀도는 증가하는 반면에 3개 품종을 모두 침해하는 레이스의 경우는 그 밀도가 감소한다는 결과를 얻었고 이를 통해 혼합재배에서 발생하는 레이스의 밀도를 결정하는데 있어서 밀의 품종구성과 함께 레이스간의 상호작용과 더불어 병원력 같은 레이스의 유전적 특성이 관여할 것이라고 보고하였다. '호평벼'와 '납평벼' 두 품종 모두를 침해하는 KJ-101 레이스의 처리별 분리비율은 단일재배시 각각 62%(HP100)와 67%(NP100)에서 혼합재배시 50%~10%로 감소하였으며(Fig. 5A) KI-401과 KJ-107 등도 같은 경향을 보였다(Fig. 5B). 또한 '호평벼'(HP100; KI-201, KJ-201, KI-317) 혹은 '납평벼'(NP100; KJ-203)에서만 분리된 레이스의 경우 혼합재배구에서는 분리수가 증가하여 Dileone(1994)과 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 두 품종 모두에서 분리된 KJ-105의 경우는 혼합재배구에서 분리빈도가 증가하여 예외적 현상을 보이기도 하였다. 특히 레이스의 밀도를 결정하는데 있어 레이스간의 상호작용이 크게 관여 할 것으로 추측되는 결과가 HP50과 HP75 처리구에서 관찰되었다. HP75 처리구에서 혼합재배 시 가장 많이 분리된 KI-181 레이스는 집중적으로 분리된 반면 전체 우점레이스인 KJ-101은 가장 많이 분리된 반면 KI-181은 전혀 분리되지 않았다(Fig. 5). 또한 미약하지만 KI-101레이스 역시 KI-181레이스와 유사한 경향을 보였다.

**레이스의 다양성과 도열병 발생과의 관계.** 도열병에



**Fig. 5.** Race diversity of *Magnaporthe oryzae* in HP/NP mixed-planted field. (A) Distribution of universal race KJ-101, (B) distribution of co-existing race in each different mixed volume of resistant cv. Nampyeongbyeo. abbreviations: HP100/ NP100 (monoculture of cv. HP or NP), HP75 (HP: NP=3:1), HP67(2:1), HP50(1:1), HP33(1:2).



**Fig. 6.** Frequency of each race occurred in different HP/NP mixed-planted plot. abbreviations: HP100/ NP100 (monoculture of cv. HP or NP), HP75 (HP: NP=3:1), HP67(2:1), HP50(1:1), HP33(1:2).

대한 감수성이 서로 다른 두 품종을 혼합재배 함으로써 도열병균 레이스의 종류와 밀도가 변화하는 현상을 관찰 하였다. 레이스의 변화가 병 발생에 미치는 영향을 살펴 보기 위해 레이스 종류와 밀도의 변동 그리고 병 발생 감소정도를 Fig. 6과 Table 7에 정리하였다. 병 발생 감소 효과는 저항성 벼의 혼합비율에 따른 예상발병률과 포장에서 실제로 조사된 발병률의 차이를 순수한 혼합재배에 의한 병 방제 효과로 간주하였다. Table 7에서와 같이 이삭도열병의 발병 감소효과는 HP75를 제외한 모든 혼합재

배구에서 나타났으며 HP50과 HP33은 10 이상 병 발생이 감소하여 각각 50.4%와 67.8%의 병 방제 효과가 있었고 잎도열병은 44.7%와 67.7%의 방제 효과를 보였다. 발병 감소효과를 보인 혼합재배구에서 분리된 레이스의 수에는 다른 처리구와 큰 차이가 없었지만 앞서 언급한 바와 같이 레이스 종류와 밀도에는 변동이 큰 것으로 조사되었다 (Fig. 6). 단일재배구에서 최우점 레이스 KJ-101의 분리 비율은 62.2%와 67.4%를 차지하였는데 혼합재배구에서는 최우점 레이스(KJ-101 혹은 KI-181)를 제외한 그 외의 레이스들이 50~70.6%를 차지하였으며 이들의 평균 밀도는 7.8~9.0%로 단일재배구(5.4%)보다 높게 나타났다(Table 7). 또한 각 레이스 크기의 변화정도 역시 혼합재배 시 감소 하는 것을 볼 수 있었는데 단일재배구에서는 20.4%와 23.6%인 것이 16.4~8.8%로 감소하였다. 가장 높은 도열병 방제효과를 보인 HP33 처리구의 경우 가장 많은 수의 레이스가 분리되었고(10개) 이들의 종류도 다른 처리구에 비해 매우 다양하였으며(3개의 처리구 특이적 레이스발생, Table 6) 이들 레이스간의 밀도 역시 가장 낮은 차이를 보여(8.8) 병원균 레이스의 다양성이 도열병 발생 감소효과와 깊은 관련이 있을 것으로 추정되었다(Fig. 6과 Table 7). 그러나 HP33 처리구와 유사한 정도의 병 발생 감소효과가 나타난 HP50 처리구는 전혀 다른 양상을 보였다. 분리된 레이스의 수가 가장 적었고(7개) 혼합재배구 중 단일 우점레이스의 비율이 가장 높았다(50%). 하지만 HP50



**Table 7.** Relative frequency and divergence degree of *Magnaporthe oryzae* races isolated from HP/NP mixed-planted field (2007)

Specification	HP100	HP75	HP67	HP50	HP33	NP100
Reduction of panicle blast incidence (suppl.-examd.)	-	-6.1	2.6	12.3	11.6	-
Control value (%)						
Panicle blast	-	0	10.2	50.4	67.8	-
Leaf blast	-	3.0	0	44.7	67.7	-
No. of total race	8	9	8	7	10	7
Dominant race(%)						
KJ-101	62.2	10.3	36.7	50.0	29.4	67.4
Except KJ-101	13.5	35.9	20.0	15.0	20.6	10.9
	KI-401	KI-181	KI-1113	KJ-203	KI-101	KJ-107
Co-existing races (%) <sup>a</sup>						
Total	37.8	64.1	63.3	50.0	70.6	32.6
Average frequency	5.4	8.0	9.0	8.3	7.8	5.4
Population size variation (%) <sup>b</sup>	20.4	9.8	11.5	16.4	8.8	23.6

<sup>a</sup> All of races isolated from each plot except 1st dominant race KJ-101 or KI-181.

<sup>b</sup> Standard deviation(STDEV) between individual races in a treatment.

abbreviations: HP100/NP100 (monoculture of cv. HP or NP), HP75 (HP: NP=3:1), HP67(2:1), HP50(1:1), HP33(1:2).

에서 분리된 레이스의 종류를 살펴보면 NP100에서만 혹은 주로 분리되었던 KJ-203과 107의 비율이 높고 혼합재배 효과가 관찰되지 않은 HP75 처리구에서 우점을 보인 KI-181 레이스가 전혀 분리되지 않았으며(Fig. 6) 혼합재배 특이적인 레이스의 출현이 적고(KI-1113) 대신 2개의 처리구 특이적인 레이스가 분리되었는데(Table 6) 이러한 특징들이 병 발생 감소의 원인으로 추정된다. 그러나 HP75와 HP67은 위의 두 처리구에서와 유사한 레이스 다양성을 확보했음에도 불구하고 병 발생 억제효과를 볼 수 없었다. 따라서 이 두 처리구에서 주로 분리된 KI-101, 1113, 165, 181 레이스의 병원력과 전파능력 등 레이스 자체가 지닌 유전적 특성이 병 발생률과 관계가 있을 것으로 예상되며 이점이 검토되어야 할 것으로 생각된다. 이상의 결과로부터 혼합재배에서 관찰된 도열병 감소효과는 Dileone(1994)이 언급한 바와 같이 혼합재배에 따른 도열병균 레이스의 변화와 다양성의 유지, 그리고 레이스간의 상호작용에 의한 밀도 조절과 이와 더불어 그들의 병원력과 같은 유전적 특성 등이 깊은 관련이 있을 것으로 추정되며 좀 더 명확한 해석을 위해 특이적으로 발생하는 레이스들의 ‘호평벼’와 ‘남평벼’에 대한 병원력 등 유전적 특성이 조사되어야 할 것으로 판단된다.

## 적 요

도열병에 대한 감수성 정도가 다른 두 품종의 혼합재배에 의한 무농약 도열병 방제효과를 조사하였다. 재배

생력화를 위해 도열병 저항성을 제외한 품질을 비롯한 벼의 유전적 형질이 유사한 품종조합을 선발한 결과 ‘호평벼’와 ‘남평벼’의 조합을 1:1로 종자 혼합을 통한 혼합재배를 실시하였을 때 50.4%의 이삭도열병 방제효과가 있었다(2007). 단일재배시 최대 67.4%까지 우점을 보이던 KJ-101 레이스가 혼합재배구에서 최소 29.4%로 감소하였고 그 외의 기타 레이스들이 차지하는 비율은 5.4%에서 9.0%로 증가하였으며 11개의 새로운 레이스가 분리되었다. 단독 혹은 혼합재배에 관계없이 분리된 레이스의 수는 유사하였으나 혼합재배 시 새로운 레이스가 차지하는 비율이 12.5%에서 62.5%로 증가하였고 레이스 간 밀도의 차이는 23.6%에서 8.8%로 감소하였다. 이러한 병원균 레이스 다양성의 변화와 레이스 밀도의 균형이 혼합재배에 의한 도열병 발생의 감소와 깊은 관련이 있을 것으로 추정되며 이와 더불어 혼합재배 효과에 대한 좀 더 명확한 설명을 위해 병원력을 비롯한 레이스의 유전적 형질에 관한 연구가 추후 보완되어야 할 것이다.

## 참고문헌

- Bonman, J. M., Khush, G. S. and Nelson, R. J. 1992. Breeding for resistance to rice pests. *Ann. Rev. Phytopathol.* 30: 507-528.
- Dileone, J. A. and Mundt, C. C. 1994. Effect of wheat cultivar mixtures on populations of *Puccinia striiformis* races. *Plant Pathology* 43: 917-930.
- Garrett, K. A. and Mundt, C. C. 1999. Epidemiology in mixed host populations. *Phytopathology* 89: 984-990.

- Han, S. S., Ryu, J. D., Shim, H. S., Lee, S. W., Hong, Y. K. and Cha, K. H. 2001. Break down of resistance of rice cultivars by new race KI-1117a and race distribution of rice blast fungus during 1999-2000 in Korea. *Res. Plant Dis.* 7: 86-92.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science. Today* 16: 334.
- Lannou, C., Hubert, P. and Gimeno, C. 2005. Competition and interactions among stripe rust pathotypes in wheat-cultivar mixtures. *Plant Pathology* 54: 699-712.
- Matson, P. A., Parton, W. J., Power, A. G. and Swift, M. J. 1997. Agricultural intensification and ecosystem properties. *Science* 277: 504-509.
- Müller, K., McDermott, J. M., Wolfe, M. S. and Limpert, E. 1996. Analysis of diversity in populations of plant pathogens: the barley powdery mildew pathogen across Europe. *Eur. J. Plant Pathol.* 102: 385-395.
- Mündt, C. C. 1994. Use of host genetic diversity to control cereal diseases: Implications for rice blast. In: Zeigler R.S. *et al.* (ed.), Rice blast disease. CAB International, Wallingford, UK. 293-398.
- National Institute of Crop Science, RDA. 2006. Annual report of Rice Research. pp. 320-324.
- Tilman, D. 1998. The greening of the green revolution. *Nature* 396: 211-212.
- Wolfe, M. S. 1985. The current status and prospects of multiline cultivars and variety mixtures for disease resistance. *Ann. Rev. Phytopathol.* 23: 251-273.
- Wolfe, M. S. 1992. Barley diseases: Maintaining the value of our varieties. In: Munck, L. (ed.), Barley Genetics VI. Munksgaard International Publishers, Copenhagen, pp. 1055-1067.
- Zhu, Y., Chen, H., Fan, J., Wang, Y., Li, Y., Chen, J., Fan, J., Yang, S., Hu, L., Leung, H., Mew, T. W., Teng, P. S. Wang, Z. and Mundt, C. C. 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature* 406: 718-722.