연계재배와 발못자리 검정을 통한 도열병 내구저항성 비교평가

김양선 · 강인정 · 심형권 · 신동범 · 원용재 · 조영찬 · 이지윤 · 송유천 · 허성기 · 노재환*

농촌진흥청 국립식량과학원

Comparative Analysis of Durable Resistance between Sequential Planting and Nursery Screening to Rice Blast

Yangseon Kim, In-Jeong Kang, Hyeong-Kwon Shim, Dong-Bum Shin, Yong-Jae Won, Young-Chan Cho, Ji-Yoon Lee, You-Chun Song, Sung-Gi Heu, and Jae-Hwan Roh*

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

Abstract : Blast resistance of 29 rice cultivars confirmed as a durable resistance in the evaluation of sequential planting from 2004 to 2006 was evaluated to nursery screening in 14 test sites during 11 years in Korea. The average disease severity (ADS) of 29 rice varieties against rice blast showed 3.5 degree; however, the difference of disease severity among the varieties was from 1.9 to 4.8. The 29 varieties were grouped into resistance less than 3.0 ADS degree including 12 varieties and moderate resistance over 3.1 ADS degree including 17 varieties. Among the 12 rice cultivars presented low ADS, 4 rice cultivars, Ungwang, Pungmi 1, Sinunbong 1, and Dasan 1 were constantly appeared high resistant reaction during 11 years in all test sites and the others were showed various diseases severity across the test years and the test sites. Twenty-one rice cultivars including Gopum were more variable among the test sites while the others were higher variable among the test years. These results indicated that durable resistance test against rice blast using sequential planting is a very efficient screening method to predict durability and nursery test for long periods and also useful method to predict indirectly durable resistance of rice cultivars.

Keywords : Rice blast, Durable resistance, Sequential planting, Nursery

서 언

벼 도열병은 벼를 재배하는 모든 지역에서 벼의 생육 초기부터 후기에 이르기까지 모든 생육시기에 걸쳐 발생하여 큰 피해를 주는 병이다. 도열병 피해를 줄이기 위한 방법은 저항성 품종 이용, 시비량 조절, 재식밀도 조절 등의 경종적 방제법과, 살균제를 살포하는 화학적인 방제법으로 대별할 수 있다. 도열병에 대한 피해를 줄이는 가장 경제적이고 효과적인 방법은 저항성 품종을 이용하는 것으로 알려져 있다(Cho et al. 2005).

지금까지 수많은 도열병 저항성 품종들이 육성 보급되어 왔으나, 많은 저항성 품종들이 농가에 보급되어 재배된 지 2~5년 이내에 도열병 저항성이 붕괴되는 사례들이 국내외를 통해 많이

보고되어 왔다 (Bonman et al. 1992; Han et al. 2001). 이러한 원인은 저항성 품종을 육성할 때 지역별 재배환경 및 기상환경의 차이가 고려되지 않았거나, 재배지역별 분포하는 도열병 레이스 변동에 적절히 대처하지 못한데 있다. 또한 새로운 품종이 보급되면서 기존에 소수로 분포하던 레이스들 중 새로 보급되는 품종과 친화성을 나타내는 레이스들이 급격히 증가하거나 새로운 친화성 레이스의 출현 등이 저항성 붕괴의 원인으로 생각 된다 (Han et al. 1995, Lee 1979, Miah et al. 2013).

최근 친환경 농산물에 대한 소비자들의 선호도가 증가함에 따라 쌀 생산 농가들도 밥맛이 좋은 몇몇 고품질 품종들을 선택하여 재배하고 있다. 이들 소수의 고품질 품종들의 재배면적이 확대되면서 벼의 유전적 변이가 단순화되어 병 발생에 의한 피해가 증가될 것으로 예견되면서 병해충 저항성 육종에 있어 다양한 저항성 유전자의 도입이 절실히 요구되고 있다 (Han et al. 2000, Hwang et al. 2004). 저항성품종의 효과적인 활용을

*Corresponding author (E-mail: rohjh@korea.kr, Tel: +82-31-695-4091, Fax: +82-31-695-4095)

(Received on September 12, 2016. Accepted on November 15, 2016.)

Table 1. Rice varieties of durable resistance to blast bred during 2004 to 2006 in Korea.

Cultivars	Line no.	Maturity	Specialty	Years released
Haepyeongchal	Youngdeuk36	Medium	Glutinous	2004
Hanmaeum	Iksan467	Mid-late	High Yield	"
Pungmi	Youngdeuk34	Medium	High quality	"
Cheongho	Gyehwa23	Mid-late	High quality	"
Josaengheugchal	Milyang194	Early	Colored	"
Ungwang	Unbong30	Early	High quality	"
Gopum	Suwon479	Medium	High quality	"
Hanam	Milyang198	Mid-late	High quality	2005
Pungmi 1	Milyang196	Medium	High quality	"
Onnuri	Iksan469	Mid-late	High quality	"
Sinunbong 1	Unbong32	Early	High quality	"
Seoan 1	Namyang31	Medium	High quality	"
Baegjinju	Suwon491	Mid-late	Special	"
Manna	Iksan472	Earlr	High quality	"
Dongjin 2	Iksan471	Mid-late	High quality	"
Keumo 3	Milyang201	Early	High quality	"
Hwanggeumnuri	Iksan479	Mid-late	High quality	2006
Hopum	Iksan480	Mid-late	High quality	"
Haechanmoolgyeul	Gyehwa25	Medium	High quality	"
Hangangchal 1	Milyang167	Medium	Glutinous	"
Keunseom	Milyang202	Medium	High Yield	"
Junamjoseang	Milyang208	Medium	High quality	"
Sandewljinmi	Sangju32	Early	High quality	"
Malgmi	Milyang205	Mid-late	High quality	"
Donghaejinmi	Youngdeuk41	Mid-late	High quality	"
Dasan 1	Suwon499	Medium	High Yield	"
Dami	Iksan481	Mid-late	High quality	"
Nunbora	Iksan482	Medium	Special	"
Gangbaeg	Iksan478	Medium	High quality	"

위하여 지금까지 품종육성 과정에서 발못자리검정, 온실 유묘접종 검정, 포장저항성 검정이 수행되고 있다. 그 중 연계검정법은 품종들이 농가에 보급되어 얼마나 오랜 기간 저항성을 유지할 수 있는지를 단기간내에 실험하여 예측할 수 있는 효과적인 방법이다 (Kim et al. 2004). 본 연구에서는 2004년부터 2006년 사이에 국내에서 육성된 벼 품종들 가운데 연계검정법을 통해 선별된 도열병에 대한 내구저항성을 나타낸 29개 품종들에 대하여, 잎도열병 발병 양상을 도열병 발못자리 검정 결과와 내구저항성 검정 결과로 비교 분석하였다. 이 결과를 통해 앞으로 농가포장 재배에서 도열병에 대한 저항성 발현양상을 예측하고자 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료

2004년부터 2006년까지 벼 도열병 연계재배 검정을 통해 도열병 내구저항성 품종으로 평가된 29개 벼 품종을 공시하였다 (Table 1). 이들 품종들은 양질미 품종 호품 등 21품종, 찰벼 해평, 한강찰1호 조생흑찰(유색미) 등 3품종, 특수미 눈보라, 백진주 등 2품종, 초다수성 품종 한마음, 큰섬, 다산1호 등이다. 생태형으로는 조생종이 운광벼 등 6품종, 중생종이 해평찰 등 13품종, 그리고 중만생종은 다미 등 10품종 이었다.

Table 2. Average disease severity of leaf blast of durable resistance rice cultivars for 11 years from 2003 to 2014.

Cultivars	Test year											Mean $\pm$ STD
	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'14	
Haepyeongchal	4.1 [†]	3.4	3.4	3.5	2.8	2.9	3.2	3.6	2.8	2.9	2.3	3.2 $\pm$ 0.51
Hanmaeum	3.9	4.1	4.1	3.9	4.9	5.8	5.2	4.2	2.7	3.6	-	4.2 $\pm$ 0.87
Pungmi	3.7	3.4	4.3	4.5	3.9	4.3	4.5	4.0	3.6	3.0	5.7	4.1 $\pm$ 0.71
Cheongho	3.7	3.6	3.9	3.7	3.0	3.6	3.3	3.6	2.5	2.1	4.3	3.4 $\pm$ 0.64
Josaengheugchal	5.2	6.0	5.8	4.6	4.2	5.5	5.9	4.0	4.6	3.5	2.4	4.7 $\pm$ 1.13
Ungwang	2.6	2.3	3.3	2.5	3.0	3.2	3.5	3.4	2.7	2.4	4.5	3.0 $\pm$ 0.64
Gopum	-	3.0	2.6	3.0	2.1	3.1	2.9	2.6	2.5	2.1	2.3	2.6 $\pm$ 0.38
Hanam	3.3	4.4	4.5	3.9	3.9	4.9	5.1	4.3	4.1	2.6	3.8	4.1 $\pm$ 0.70
Pungmi 1	3.4	2.4	3.4	3.2	3.1	2.5	2.8	2.3	2.8	2.6	2.1	2.8 $\pm$ 0.44
Onnuri	4.3	4.2	4.2	4.9	4.3	6.3	5.9	4.1	4.0	3.5	5.2	4.6 $\pm$ 0.86
Sinunbong 1	2.5	2.7	2.8	2.0	1.6	2.0	1.9	2.1	1.7	2.1	2.2	2.1 $\pm$ 0.38
Seoan 1	5.6	5.4	5.4	3.6	3.7	4.5	4.3	3.6	2.4	2.7	2.6	4.0 $\pm$ 1.16
Baegjinju	3.7	2.8	3.3	2.8	1.7	2.9	3.1	2.6	1.9	2.7	3.8	2.8 $\pm$ 0.66
Manna	4.1	3.1	3.5	2.8	2.9	3.3	2.9	2.3	2.4	2.5	5.3	3.2 $\pm$ 0.88
Dongjin 2	5.2	4.5	4.3	4.9	4.9	5.7	5.9	4.8	2.7	4.1	2.0	4.5 $\pm$ 1.18
Keumo 3	1.6	1.9	1.6	1.2	1.9	5.8	1.3	1.8	1.8	1.4	2.0	2.0 $\pm$ 1.28
Hwanggeumnuri	-	4.5	5.0	5.2	4.7	3.2	6.4	5.4	4.8	3.8	1.7	4.5 $\pm$ 1.31
Hopum	-	3.9	4.4	5.2	4.7	5.8	6.3	5.3	4.7	4.0	2.3	4.7 $\pm$ 1.12
Haechanmoolgyeul	-	3.4	3.5	2.4	2.1	2.3	1.8	1.9	2.0	1.9	4.6	2.6 $\pm$ 0.93
Hangangchal 1	-		1.8	1.6	1.6	1.6	2.1	1.5	1.7	2.0	5.3	2.1 $\pm$ 1.20
Keunseom	1.6	1.6	2.1	1.3	1.6	1.8	1.9	1.9	1.7	1.8	4.7	2.0 $\pm$ 0.92
Junamjoseang	-	4.1	4.4	4.6	4.1	6.4	5.6	4.6	3.4	3.6	2.6	4.3 $\pm$ 1.08
Sandewljinmi	-	2.3	2.3	2.4	2.1	2.3	2.6	2.8	1.9	2.6	4.9	2.6 $\pm$ 0.85
Malgmi	-	3.6	3.9	4.1	3.7	4.1	4.0	3.9	3.6	3.5	3.9	3.8 $\pm$ 0.23
Donghaejinmi	-	4.6	3.9	4.5	4.0	4.4	4.9	4.3	3.5	4.1	3.7	4.2 $\pm$ 0.43
Dasan 1	-	2.2	2.1	1.0	1.6	2.3	2.0	2.4	1.8	2.0	2.6	2.0 $\pm$ 0.45
Dami	-	3.3	4.4	4.8	4.6	4.7	5.6	4.6	4.4	4.3	2.3	4.3 $\pm$ 0.90
Nunbora	-	3.1	3.1	3.9	3.3	4.2	4.2	3.9	3.3	4.0	2.0	3.5 $\pm$ 0.69
Gangbaeg	-	4.6	4.3	3.1	2.3	3.4	3.1	2.8	2.2	2.1	2.1	3.0 $\pm$ 0.89

†: Average disease severity in 14 test sites, ; 0-3; Resistant, 4-6; Medium resistant, 7-9; Susceptible

* The data in 2013 was missing

도열병 발못자리 검정

발못자리 검정은 경기 수원, 남양, 이천, 강원 철원, 진부,충북 제천, 충남 예산, 전북 익산, 계화, 운봉, 전남 나주, 경북 상주, 영덕, 그리고 경남 밀양 등 전국 14개 지역에서 2003년부터 2014년까지 11년간 실시하였다. 파종은 6월 하순경에 각 품종당 간격 10cm x 길이 20cm로 하였으며, 시비량은 10a당 성분량으로 질소 24kg, 인산 9kg, 염화加里 9kg을 사용하였다. 공식품종 주위에 이병성 품종인 낙동, 호평을 병 발생 유도를 위한 Spreader로 파종하였다. 잎도열병 발생조사는 파종 후 약 30일 후에 IRBN 발못자리 표준 검정법에 준하여 발병정도(0~9)를 조사하였다(IRRI 1988).

내구저항성 검정

벼 신품종개발공동연구 시험에 공시된 지적 3년차 계통에 대해 국내에서 개발한 연계재배 검정법을 이용하여 도열병에 대한 내구저항성을 평가하였다(Kim et al. 2004). 도열병 내구저항성을 평가하기 위하여 40 x 30 x 10cm 플라스틱 상자에 수도 육묘용 상토를 담고 직파하였으며, 2주 간격으로 7회차까지 파종, 육묘하였다. 1차 파종 육묘 상자는 국내 수집된 주요 도열병 원균 30종을 배양하여 1.5×10^5 spores/ml 농도의 혼합균주 현탁액을 만들어 분무접종을 실시하고 발병을 유도하였다. 발병된 상자 옆에 다음 회차의 육묘를 인접 치상하여, 앞서 파종한 발병상자로부터 자연감염을 유도하였으며, 자연감염이 유도되

Table 3. Leaf blast reaction of durable resistance rice cultivars in blast nursery across 14 test sites.

Cultivars	Test site														Mean $\pm$ STD
	SW [†]	CW	NY	JB	IC	IS	UB	GH	MY	YD	SJ	JC	YS	NJ	
Haepyeongchal	2.0	2.5	2.7	2.9	3.4	4.2	4.4	3.3	4.2	3.9	3.7	1.7	2.9	2.6	3.2 $\pm$ 0.83
Hanmaeum	2.7	2.8	3.3	3.5	5.4	4.7	5.6	4.1	5.6	6.1	4.3	2.6	5.4	3.7	4.3 $\pm$ 1.19
Pungmi	3.2	3.4	3.3	3.7	4.8	4.8	4.5	3.8	4.8	4.8	4.0	3.3	5.2	2.9	4.0 $\pm$ 0.76
Cheongho	2.5	2.5	3.0	3.0	3.8	3.9	4.8	3.9	3.9	4.0	3.4	2.4	4.3	1.8	3.4 $\pm$ 0.86
Josaengheugchal	4.5	3.7	3.9	4.3	5.9	5.1	4.8	5.8	6.3	4.2	5.5	2.4	5.3	4.9	4.8 $\pm$ 1.04
Ungwang	2.5	3.6	1.8	2.6	2.2	3.0	4.4	3.1	4.6	4.1	3.6	1.9	2.8	2.4	3.0 $\pm$ 0.90
Gopum	2.0	2.3	2.3	2.8	2.8	3.4	3.1	3.3	4.3	3.6	3.5	0.9	0.6	1.6	2.6 $\pm$ 1.06
Hanam	3.3	3.1	2.5	3.2	5.2	5.4	4.6	3.2	5.7	5.3	4.2	2.6	4.8	3.8	4.1 $\pm$ 1.10
Pungmi 1	1.9	2.4	1.8	2.5	4.1	3.5	3.7	3.1	3.7	3.0	2.9	1.3	2.9	1.9	2.8 $\pm$ 0.84
Onnuri	3.5	3.3	3.1	4.2	6.3	5.6	4.0	4.2	5.5	5.8	4.9	4.1	6.0	4.0	4.6 $\pm$ 1.07
Sinunbong 1	1.5	1.7	1.6	2.0	1.5	2.7	2.8	2.4	3.4	3.0	3.5	1.3	1.0	1.5	2.1 $\pm$ 0.81
Seoan 1	2.9	3.5	3.0	3.4	4.3	4.4	4.8	4.7	5.1	4.1	3.8	3.7	5.0	3.4	4.0 $\pm$ 0.73
Baegjinju	2.3	1.9	1.5	2.2	2.5	3.9	3.6	3.6	4.4	4.4	3.4	1.4	2.1	2.2	2.8 $\pm$ 1.03
Manna	1.9	4.2	2.2	4.5	2.9	3.1	3.0	4.2	4.2	4.5	4.1	0.9	2.5	1.7	3.1 $\pm$ 1.17
Dongjin 2	4.4	3.8	2.8	4.4	5.3	5.8	4.6	3.9	5.5	4.9	4.4	3.5	5.1	4.2	4.5 $\pm$ 0.82
Keumo 3	1.3	1.8	2.0	1.9	0.6	3.2	3.0	2.9	2.9	2.6	3.1	1.0	0.8	1.0	2.0 $\pm$ 0.94
Hwanggeumnuri	3.5	3.2	3.4	4.6	5.1	4.9	4.3	4.1	4.5	6.4	4.7	4.6	5.6	4.2	4.5 $\pm$ 0.85
Hopum	4.2	3.4	3.1	4.4	5.7	5.4	5.2	3.8	6.2	5.7	4.4	3.7	6.0	4.3	4.7 $\pm$ 1.01
Haechanmoolgyeul	1.6	1.5	1.2	2.3	1.1	3.4	3.2	3.7	4.0	3.9	3.9	1.2	1.9	2.6	2.5 $\pm$ 1.12
Hangangchal 1	2.2	1.7	0.9	2.1	1.8	2.7	3.7	3.0	2.1	2.1	2.4	0.6	1.4	2.3	2.1 $\pm$ 0.79
Keunseom	1.6	1.1	1.1	1.4	1.3	2.0	3.0	2.6	2.7	2.7	2.5	1.0	2.5	1.7	1.9 $\pm$ 0.71
Junamjoseang	3.4	2.8	3.1	4.2	5.0	4.7	4.4	3.7	6.3	5.8	4.5	3.0	5.8	4.1	4.3 $\pm$ 1.10
Sandewljinmi	1.3	2.2	2.4	2.3	1.6	3.2	3.9	3.3	4.5	3.8	3.1	1.3	1.8	1.2	2.6 $\pm$ 1.07
Malgmi	2.4	1.9	2.9	3.7	5.6	5.0	3.6	3.7	4.8	4.9	3.6	3.8	4.1	3.5	3.8 $\pm$ 1.02
Donghaejinmi	3.0	2.5	3.0	3.6	5.3	5.3	4.8	3.6	5.9	5.5	3.7	2.9	5.5	3.9	4.2 $\pm$ 1.16
Dasan 1	1.4	0.9	1.0	2.0	0.8	2.2	3.3	2.6	3.0	2.5	2.5	0.8	2.0	2.6	2.0 $\pm$ 0.85
Dami	2.9	2.8	2.3	3.8	5.7	5.4	5.1	3.9	6.0	4.9	4.1	3.3	5.8	4.0	4.3 $\pm$ 1.21
Nunbora	3.1	3.7	2.2	4.2	4.3	4.1	3.7	3.6	5.2	4.1	3.6	2.1	2.4	2.6	3.5 $\pm$ 0.90
Gangbaeg	3.2	2.0	2.2	2.0	3.3	3.1	2.9	3.9	5.7	3.4	4.3	1.3	1.6	2.9	3.0 $\pm$ 1.16

† : SW; Suwon, CW; Cheolwon, NY; Namyang, JB; Jinbu, IC; Icheon, IS; Iksan, UB; Unbong, GH; Gyeon, MY; Milyang, YD; Yeongdeok, SJ; Sangju, JC; Jaechon, YS; Yesan, NJ; Naju.

‡ : Average disease severity during 11 years from 2003 to 2014, ; 0-3; Resistant, 4-6; Medium resistant, 7-9; Susceptible

* The data in 2013 was missing

도록 저녁에는 비닐을 씌우고 건조한 주간에는 물을 자주 뿌려 습도를 유지하였다. 인접 치상한 파종상자에 충분히 감염이 된 후에 전 회차 파종상자를 제거하였으며, 각 파종 회차별 병반면적율(diseased leaf area; DLA)을 조사하였다. 품종별 내구성 정도는 병반면적율(DLA) 40%를 기준으로 1 회차부터 DLA 40% 이상은 7로, 연계재배 3 회차까지 DLA 40% 이하를 유지하면 4를, 7 회차까지 DLA 40% 이하를 유지하면 0을 부여하였다.

결과 및 고찰

밭모자리 도열병 검정

2004년부터 2006년 3년에 걸쳐 연계재배 검정을 통해 내구저항성으로 구분된 29개 벼 품종들의 2003년부터 2014년까지 11년간 전국 14개 검정지역에서 실시한 밭모자리 도열병 검정에서 앞 도열병 발병정도는 Table 2, 3과와 같다. 시험품종들의

11년간 잎도열병 평균 발병정도는 3.4로 저항성을 나타냈으며, 29개 품종의 평균 도열병 발병정도는 큰섬, 금오3호, 다산1호 등 3품종이 2.0으로 가장 낮았고 호품벼는 4.7로 가장 높은 발병정도를 보였다(Table 2).

잎도열병 평균 발병정도가 가장 낮았던 품종 가운데 다산1호는 시험기간 11년 동안 지속적으로 평균 발병정도가 3.0 이하를 나타냈고, 운봉을 제외한 모든 시험지역에서도 3.0 이하로 고도의 저항성을 나타냈다(Table 2, 3). 금오3호는 년차간 평균발병 정도 차이가 비교적 크게 나타났는데, 2006년에는 1.2, 2008년 5.8로 년차간 발병차이가 큰 것으로 나타났고(Table 2), 시험지역 익산, 운봉, 상주에서 3.0 이상의 발병정도를 나타내 지역간 발병차이 또한 큰 특징을 보였다(Table 3). 통일형 초다수성 품종인 큰섬과 다산1호는 지역 및 년차간 발병차이가 적었으나 큰섬이 2014년 평균 발병정도가 4.7로 중도저항성 반응을 나타냈다. 호품벼는 2014년 평균 발병정도가 2.3이었고, 2009년에는 6.3으로 감수성 반응을 나타냈다. 이 품종은 지역간 평균 발병정도 차이도 커서 남양에서 3.1이었고, 밀양에서는 6.3이어서 지역간, 년차간 발병차이가 큰 품종임을 알 수 있었다(Table 2, 3). 본 시험에서 많은 품종들이 시험 지역과 시험 년차간 발병 차이를 나타내었다. 황금누리가 시험 년차간 발병 차이가 가장 큰 품종이었고, 금오3호, 한강찰1호, 조생흑찰, 서안1호, 동진2호, 호품, 주남조생 등 7품종도 년차간 발병차이가 크게 나타났다. 한편 년차간 발병차이가 적었던 품종들은 말그미, 해평찰, 고품, 품미1호, 신운봉1호, 동해진미, 다산1호 등 7품종으로 나타났다 (Table 2). 또한, 시험 지역간 발병정도 차이가 큰 품종으로는 다미, 한마음, 만나, 해찬물결, 주남조생, 동해진미, 강백 등 7품종이었으며, 큰섬, 한강찰1호, 서안1호, 품미 등 4품종은 지역간 발병차이가 적게 나타났다(Table 3).

조생종이면서 유색미인 조생흑찰은 2004년 평균 발병정도가 6.0으로 다른 해와 비교할 때 비교적 높게 나타냈는데, 이는 2004년 14개 시험지 가운데 특별히 이천, 익산, 상주 등 3개 지역에서 병 발생이 8.0 이상의 고도의 감수성 반응을 나타내었다(Table 2). 이러한 품종들은 환경의 영향을 크게 받는 품종으로 판단되며 재배지역의 기상조건이 도열병 발병에 유리하게 되면 언제든지 도열병이 많이 발생할 수 있는 품종이라고 추정된다. 지역간 년차간 평균 발병정도가 3.0 이하의 저항성을 보였던 운광 등 12 오랜 기간 동안 안정적인 저항성을 나타낼 것으로 생각되었다. 특정한 품종에서 시험 지역 및 시험 년차간 도열병 발생 차이가 나는 현상은 발묘자리 검정지역에 따라 분포하는 도열병균의 유전적 다양성에 기인한다. 필리핀 발벼와 논벼 재배

지역에서 수집한 균계에 대한 품종들의 반응을 검토하여 지역별로 다른 균계가 분포하고 있다는 내용과 일치하는 것으로 생각된다(Bonman et al. 1986). 또한 각 지역에 존재하는 병원균의 유전적 특성이 벼의 품종 변화와 재배환경에 따라 다양하게 진화한다는 보고(Fukuta et al. 2014, Huang et al. 2014, Park et al. 2008)와, 도열병 발생은 기주체인 벼의 저항성 유전자와 병을 일으키는 병원균의 비병원성 유전자간 밀접한 관계에 기인하지만(Flor 1971), 벼를 재배하는 환경의 영향도 매우 크게 작용한다. 도열병의 발병은 대한민국 각 지역의 6월 하순 및 7월 상순의 강수량과 매우 깊은 상관관계가 나타나므로(Lee et al. 2010), 병 발병정도 및 양상을 분석하기 위해서는 기상 및 환경요인도 함께 검토할 필요가 있다고 생각한다.

내구저항성 품종 저항성 분석

29개 시험품종들은 연계재배 검정법을 통하여 내구저항성이 있는 품종으로 판단되었는데, 혼합접종에 사용한 20~30개 군주에 대한 유묘접종 검정에서 품종별 친화성 군주 비율은 Table 4와 같다. 내구저항성 품종들의 친화성 군주비율은 차이가 크게 나타났는데 전체 시험품종의 친화성 군주비율 평균은 29.9%였다. 친화성 군주비율이 가장 높았던 품종은 하남과 서안1호로 두 품종 공히 접종에 사용한 20군주 가운데 65%인 13개 군주에 대해 친화성 반응을 나타냈다. 가장 적은 친화성 군주비율은 나타낸 품종은 산들진미로 29개 군주 중 단 1개의 군주에 대해서만 친화성 반응을 보였다. 내구저항성 품종에 대한 정의에 따르면 친화성 군주가 많으면서도 오랜 재배기간 동안 병 발생이 낮은 수준을 나타내는 품종을 최고의 내구저항성으로 평가하고 있다(Kim et al. 2004, Suh et al. 2009). 친화성비율이 낮았던 산들진미, 백진주, 운광, 금오3호와 같은 품종들은 앞으로 친화성 군주들이 발생될 경우 내구저항성을 유지할 수 있을지는 추후 검토가 필요할 것으로 생각된다. 서남, 서안1호, 산들진미 처럼 친화성군주 비율이 낮았던 품종들도 발묘자리 검정에서 시험 년차 및 시험 지역간 병 발생 차이가 나타났다. 그 원인은 내구저항성 품종으로 판단된 품종들도 다소간의 저항성 정도의 차이와, 검정 지역의 기상환경과 그 지역에 존재하는 도열병균 레이스 종류 및 분포비율 변화에 따른 것으로 추정된다. 또한 29개 품종에 대한 친화성 군주 실험 결과는 벼 저항성 유전자와 병원균의 비병원성 유전자의 상호관계를 연구하는데 있어 기초자료로 활용될 수 있다. 도열병 내구저항성은 10년 이상 극히 낮은 빈도의 고도 저항성 반응을 보이고, 평균 발병 정도가 5.0이하 그리고 비친화성 군주 반응이 60%이상일 것으로 정의하였다

Table 4. Ratio of compatible isolates in seedling inoculation test against 29 rice cultivars

Cultivars	No. of isolates inoculated†	No. of compatible isolates	Compatible isolates (%)
Haepyeongchal	30	7	23.3
Hanmaeum	30	10	33.3
Pungmi	30	11	36.7
Cheongho	30	9	30.0
Josaengheugchal	30	11	36.7
Ungwang	30	3	10.0
Gopum	30	6	20.0
Hanam	20	13	65.0
Pungmi 1	20	5	25.0
Onnuri	20	8	40.0
Sinunbong 1	20	7	35.0
Seoan 1	20	13	65.0
Baegjinju	20	2	10.0
Manna	20	6	30.0
Dongjin 2	20	12	60.0
Keumo 3	20	1	5.0
Hwanggeumnuri	29	10	34.5
Hopum	29	12	41.4
Haechanmoolgyeul	29	4	13.8
Hangangchal 1	29	3	10.3
Keunseom	29	5	17.2
Junamjoseang	29	12	41.4
Sandewljinmi	29	1	3.4
Malgmi	29	7	24.1
Donghaejinmi	29	11	37.9
Dasan 1	29	8	27.6
Dami	29	10	34.5
Nunbora	29	8	27.6
Gangbaeg	29	5	17.2

†Isolates used for inoculation(No. isolate/ Code race) ; 97-325/KI-101, 90-008/KI-1113, 86-228/KI-1117, 97-277/KI-1119, 97-273/KI-1125, 93-033/KI-181, R93-093/KI-197, 87-138/KI-201, 97-268/KI-209, 90-002/KI-215, 97-260/KI-241, 86-311/KI-305, 87-108/KI-307, 97-254/KI-309, R88-002/KI-313, 84-419/KI-315, 85-242/KI-315, 97-247/KI-321, 02-129/KI-405, 93-456/KI-409, 97-208/KI-413, 88-073/KJ-101, R90-059/KJ-101, 93-072/KJ-103, 91-033/KJ-105, 96-204/KJ-107, 87-138/KJ-201, 90-089/KJ-201, R97-057/KJ-301, 89-010/KJ-401

(Ahn 1994). 또한 Kim(2004) 등은 이런 이론적 배경을 바탕으로 농가포장에서 오랜 기간 도열병에 대한 저항성을 나타낸 품종들을 이용하여 품종의 내구저항성을 간접적으로 예측할 수 있는 검정법을 확립하여 새로이 육성된 품종과 우량 계통에 대해 내구저항성 정도를 평가하였다. 국내 육성 98개 품종에 대한 도열병 저항성 유전자 분석 결과 52.8%가 *Pib* 유전자를 보유하

는(Cho et al. 2007) 등 저항성 관련 인자의 유전적 배경도 단순하여 소수의 고품질 벼 품종이 대면적 재배될 때 저항성 역전에 대한 우려가 항상 존재할 것으로 생각된다. 최근에는 벼 도열병 단일 저항성 유전자보다는 저항성이 낮지만, 레이스 비 친화적이며 넓은 범위의 저항성을 보이는 QTL을 이용하여 육종한 벼 품종이 고도의 내구저항성을 보이는 것으로 보고되었

다 (Fukuoka et al. 2015). 여러 개의 저항성 유전자를 포함하는 QTL을 이용하면, 저항성 품종의 지속적인 재배로 인한 저항성의 붕괴와 벼 도열병의 대발생을 억제할 수 있을 것이다. 또한 도열병에 대한 감수성 정도가 다른 두 품종의 혼합재배는 도열병 감소를 이끌었다(Oh et al. 2008). 혼합재배시 도열병의 레이스는 증가한 반면, 밀도는 감소하였고, 병원균 레이스 다양성의 변화와 레이스 밀도의 균형이 도열병의 감소와 깊은 관련이 있을 것으로 추정된다. 내구저항성으로 판단된 품종들이 도열병 발못자리 검정에서 때때로 감수성 수준의 병 발생을 보이는 단점을 보완하고, 이상기후 및 재배환경 변화에 따른 벼 품종들의 도열병 피해를 줄이기 위해서는 지속적으로 도열병 발생상황 모니터링이 필요하다. 벼 품종육성 과정에서도 도열병에 대한 내구저항성을 더욱 정밀하게 평가하기 위하여 가능한 한 전국에 분포하는 다양한 도열병균을 수집하여 연계재배 검정시 혼합 접종 균주로 이용하여야 할 것으로 생각된다. 또한 육성된 품종들의 저항성 반응을 추적하고 저항성 품종의 붕괴를 예방하기 위한 재배방법의 개발과 품종 육성을 위해서는 장기간 실시하고 있는 발못자리 검정이 매우 유용한 방법으로 생각된다.

적 요

본 연구는 연계재배 검정을 통해 도열병에 대한 내구저항성 품종으로 판단된 29개 벼 품종들의 11년간 14개소에서 발못자리 검정 결과를 이용하여 도열병에 대한 내구저항성 특성을 비교 분석한 결과이다. 29개 품종들의 발못자리 검정에서 평균 발병정도 3.4로 중도저항성을 보였고, 평균 발병정도의 범위는 최소 2.0에서 최대 6.1로 나타났다. 시험품종 가운데 12품종은 평균 발병정도가 3.0이하의 저항성을, 나머지 17개 품종들은 중도저항성 반응을 나타내었다. 저항성 반응을 보인 12개 품종 가운데, 운광벼, 품미1호, 신운봉1호, 다산1호 등 4 품종은 전 시험기간에 모든 시험지에서 발병정도 차이가 적었다. 고품벼를 포함한 21개 품종들은 시험 지역간 발병차이가 시험 연차간 차이보다 컸고, 동진2호 등 8개 품종은 시험 연차간 발병정도 차이가 컸다. 내구저항성 품종들은 발못자리 검정에서도 전 시험기간 동안 모든 시험지역에서 중도저항성 이상의 저항성 반응을 보여 이들 저항성이 오랜 기간 지속될 것으로 판단되었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제명: 벼 도열병균 레

이스 변화 모니터링 및 유전적 다양성 변이 분석, 세부과제번호: PJ01119401)의 지원으로 수행된 결과의 일부입니다

REFERENCES

1. Ahn SW. 1994. International collaboration on breeding for resistance to rice blast. In "Rice Blast Disease" Zeigler RS, Leong SA, and Teng PS. (ed). CABI and International Rice Research Institute. Wallingford, UK, pp. 137-153.
2. Bonman JM, Vergel De Dios TI, and Khin MM. 1986. Physiologic specialization of *Pyricularia oryzae* in the Philippines. Plant Disease 70: 767-769.
3. Bonman JM, Khush GS, Nelson RJ. 1992. Breeding for resistance to rice pests. Ann Rev. Phytopathol. 30: 507-528.
4. Cho YC, Roh JH, Kim BR, Choi IS, Kim MK, Han SS, Fukuta Y, Hwang HG, Kim YG. 2005. Reaction of resistance genes of monogenic lines to rice blast (*Magnaporthe grisea*). Korean J Breed 37: 155-161.
5. Cho YC, Kwon SW, Choi IS, Lee SK, Jeon JS, Oh MG, Roh JH, Hwang HG and Kim YG. 2007. Identification of major blast resistance genes in Korean rice varieties (*Oryza sativa* L.) using molecular markers. J. Crop Sci. Biotech. 10: 265-276.
6. Flor HH. 1971. "Current status of the gene-for-gene concept". Annu. Rev. Phytopathol. 9: 275-296.
7. Fukuoka S, Saka N, Mizukami Y, Koga H, Yamanouchi U, Yoshioka Y, Hayashi N, Ebana K, Mizobuchi R, Yana M. 2015. Gene pyramiding enhances durable blast disease resistance in rice. Sci. Rep. 14:5.
8. Fukuta Y, Koga I, Ung T, Sathya K, Kawasaki-danaka A, Kobayashi N, Obara M, Yadana H, Hayashi N. 2014. Pathogenicity of rice blast (*Pyricularia oryzae* Cavara) isolates from Cambodia. JARQ 48: 155-166.
9. Han SS, Ra DS, Kim CK. 1995. Incidence of panicle blast, distribution of race and pathogenicity of new races of *Pyricularia grisea* during 1993-2004. Korean J. Plant Pathol. 11(3): 238-244.
10. Han SS, Ahn SW, Ryu JD, Choi HC, Leung H. 2000. Molecular and Pathological Characterization of Rice Blast Pathogen, *Pyricularia grisea* in Korea. Plant Path. J. 16(3): 67.
11. Han SS, Ryu JD, Shim HS, Lee SW, Hong YK, Cha KH.

2001. Breakdown 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(2): 86-92.
12. Huang J, Si W, Deng Q, Li P, Yang S. 2014. Rapid evolution of avirulence genes in rice blast fungus *Magnaporthe oryzae*. *BMC Genet.* 15: 45.
13. Hwang HG, Kwon SJ, Cho YC, Ahn SN, Suh JP, Moon HP. 2004. Genetic diversity of high-quality rice cultivars based on SSR markers linked to blast resistance genes. *Korean J Crop Sci.* 49: 251-255.
14. IRRI. 1988. Standard Evaluation System for Rice (SES). International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. *Ann. Rev. Phytopathol.* 22: 309-330.
15. Kim BR, Roh JH, Choi SH, Ahn SW, Han SS. 2004. Durability of rice cultivars to blast in Korea by sequential planting method. *Korean J. Breed.* 36(5): 350-356.
16. Lee EW, Park SS. 1979. Interpretation of the epidemic out break of rice blast disease in Korea. *Korean J. Crop Sci.* 24(1): 1-10.
17. Lee YH, Ra DS, Yeh WH, Choi HW, Myung IS, Lee SW, Lee YH, Han SS, Shim HS. 2010. Survey of major disease incidence of rice in Korea during 1999-2008. *Res. Plant Dis.* 16(2): 183-190.
18. Miah G, Rafii MY, Ismail MR, Puteh AB, Rahim HA, Asfaliza R, Latif MA. 2013. Blast resistance in rice: a review of conventional breeding to molecular approaches. *Mol. Biol. Rep.* 40: 2369-2388.
19. Oh IS, Min JY, Cho MG, Rho JH, Shin DB, Song J, Kim MK, Cho YC, Kim BR, Han SS. 2008. Rice blast control and race diversity by mixed-planting of two cultivars ('Hopyeongbyeo'/'Nampyeongbyeo') with different susceptibility to *Magnaporthe oryzae*. *Res. Plant Dis.* 14(3): 143-152.
20. Park SY, Milgroom MG, Han SS, Kang S, Lee YH. 2008. Genetic differentiation of *Magnaporthe oryzae* populations from scouting plots and commercial rice fields in Korea. *Phytopathology* 98(4): 436-442.
21. Suh JP, Rho JH, Cho YC, Han SS, Kim YG, Jena KK. 2009. The *Pi40* gene for durable resistance to rice blast and molecular analysis of *Pi40*-advanced backcross breeding lines. *Phytopathology* 99(3): 243-250.