

벼 키다리병 저항성 검정을 위한 기내 유묘 검정법 개발

이용환 · 이명지¹ · 최효원¹ · 김성택¹ · 박진우¹ · 명인식¹ · 박경석¹ · 이세원^{1*}

농촌진흥청 기획조정관실, ¹국립농업과학원 농업생물부

Development of *In Vitro* Seedling Screening Method for Selection of Resistant Rice Against Bakanae Disease

Yong Hwan Lee, Myeong-Ji Lee¹, Hyo-Won Choi¹, Sung-Taek Kim¹, Jin-Woo Park¹, Inn-Shik Myung¹, Kyungseok Park¹ and Se-Weon Lee^{1*}

Knowledge and Information Officer Division, Rural Development Administration, Suwon 441-707, Korea
¹Department of Agricultural Biology, National Academy of Agricultural Science, Development Administration, Suwon 441-707, Korea

(Received on November 16, 2011; Revised on November 24, 2011; Accepted on November 28, 2011)

Rice bakanae disease, caused by the fungus *Fusarium fujikuroi*, is one of the most important rice diseases and distributed widely in Asia. Resistance screening system in rice field had been established. However, the evaluation results of the system vary according to the environmental conditions when the test is conducted. To develop precise and rapid evaluation method of disease resistance of rice to bakanae disease, *in vitro* screening system was attempted in this study. The six cultivars namely, 'Nampyeongbyeo', 'Junambyeo', 'Chucheongbyeo', 'Samcheonbyeo', 'Odaebyeo' and 'Hwasinbyeo' were tested. They were planted onto MS agar medium (10 ml) in test tube (450 mm × φ30 mm) and incubated at 25°C and 28°C in growth chamber under 12 hr light condition. Symptoms of over growth appeared a few days after seeding and then seedling were withered 2-3 weeks after over growth. The disease symptoms such as leaf dryness on top of rice were appeared in the 'Nampyeongbyeo' from 28 days at the concentration of 10⁵ spores/ml culturing at 28°C and then withered completely 35 days after seeding. Whereas the other varieties withered entirely 19-23 days after seeding. Using the *in vitro* seedling screening method, 72 rice varieties were investigated to select resistant cultivar. Finally, two resistant cultivars ('Nampyeongbyeo' and 'Inwolbyeo') and seven moderately resistant cultivars ('Hwadongbyeo', 'Seokjeongbyeo', 'Samgwangbyeo', 'Sampyeongbyeo', 'Nonghobyeo', 'Heukjinbyeo' and 'Joanbyeo') were selected. If *in vitro* seedling screening method was used for evaluation of bakanae disease resistance, it would be completed within 35 days after sowing of rice seed.

Keywords : *Fusarium fujikuroi*, Rice, Resistance, Cultivar

서 론

벼 키다리병은 *Fusarium fujikuroi*에 의해 발생하는 대표적인 종자전염성병으로 일본에서 1898년 Hori에 의해 처음 보고되었다(Kim, 1981). 우리나라에서는 1960년대 일부 농가에 심하게 발생하여 문제가 되었고 최근에 그 발병이 급격히 증가하고 있는데(Han, 2007), 종자 내부의

심한 감염(Park 등, 2008)과 약제 저항성균 출현(Lee 등, 2010) 등에 의한 발병 증가 원인들이 보고되었다. 키다리병을 효과적으로 방제하기 위하여 기작이 다른 약제를 혼용하는 방법(Park 등, 2009)과 hexaconazole, tebuconazole 같은 새로운 종자소독제들이 개발 보급되고(Korea Crop Protection Association, 2011) 있으나 이들 방법도 약제 저항성균의 출현이 우려되고 있는 실정이다(Lee 등, 2010). 따라서, 이런 문제를 근본적으로 해결하기 위해서는 저항성 품종의 재배가 필요하다.

벼 키다리병 저항성 품종을 선발하기 위한 연구는 1931년 (Ito 와 Kimura)에 일본에서 시작된 이후로 다양한 방법

*Corresponding author

Phone) +82-31-290-0488, Fax) +82-31-290-0406

Email) leesewon@korea.kr

에 대한 연구가 보고되었다. Hashioka(1952)는 병원균 포자 배양액에 벼 종자를 침지한 후 육묘상에 파종하여 균계에 따른 도장과 고사 증상을 품종별로 비교하는 방법을 제안하였고, Rajagopalan(1961)는 토양-귀리 배지에서 배양한 병원균을 살균 토양과 혼합한 상태에 종자를 파종하여 육묘상에서 키다리병 발병을 조사하는 방법을 사용하였다. 우리나라에서는 Yeh 등(2005)이 Rajagopalan(1961)의 방법과 이를 포장에 이양하여 저항성 여부를 결정하였다. 이와 같은 보고들을 토대로 국내에서 개발 보급된 품종에 대해 저항성 검정을 실시한 결과 시험 시기 등 환경에 따라 서로 다른 결과들이 도출되었고(자료 미제시), 포장저항성 검정의 경우 많은 시간과 공간이 요구되는 문제점으로 대량의 품종을 검정하는데 그 실효성이 낮았다. 따라서 본 연구에서는 기내에서 환경의 영향을 받지 않고 비교적 단시간 내에 키다리병에 대한 저항성을 검정할 수 있는 방법을 개발하고자 저항성 검정에 적합한 병원균 접종농도, 육묘온도조건 등을 구명하고 기존에 보고된 품종에 대한 포장저항성 결과와 비교 분석하였다.

재료 및 방법

시험종자. 본 시험에 사용한 벼 품종은 키다리병균의 공기전염을 차단하기 위하여 2010년 수원에 소재한 국립농업과학원 격리온실에서 재배하여 수확한 건전종자를 사용하였다. 우리나라의 주요 품종 72개를 선정하였고, 건전한 종자 생산을 위하여 벼 종자를 60°C 물에 10분간 온탕침지소독을 하고 프로크로라즈(유제)와 플루디옥소닐(종액수)의 2000배 희석액에 30°C, 48시간동안 처리하여 파종하여 25일간 온실에서 육묘하였다. 육묘한 묘를 와그너 포트에 이식한 후 키다리병 발병 시 즉시 제거하여 키다리병의 감염을 예방하였고 수확한 벼 종자에서 키다리병균 감염여부를 조사하여 건전종자임을 확인한 후 시험에 사용하였다.

접종원. 병원성이 강한 *Fusarium fujikuroi* CF283 균주를 공시하여 Potato Dextrose Agar(PDA) 배지에서 6일 동안 28°C로 배양하였다. 배양한 CF283 균주에 15% glycerol 2.5 ml을 넣고 포자를 현탁하였다. 회수한 포자는 장기보존용 튜브에 담아 -70°C에 보관하면서 다음 실험에 사용하였다. *F. fujikuroi* CF283 포자현탁액 5 µl을 PDA 배지에서 6일간 배양한 균체에 20 ml 살균수를 첨가하여 멸균된 도말봉으로 긁어 포자를 모으고 2겹의 거즈로 걸러 포자만을 회수하였다. 접종원으로 사용할 포자 농도는 혈구계를 이용하여 1.0×10^3 , 1.0×10^4 , 1.0×10^5 포자/ml

로 조정하였다.

접종방법. 벼 종자를 60°C에 10분간 온탕소독을 한 후 프로크로라즈 유제(2000배액)와 플루디옥소닐 종자처리액 상수화제(2000배)를 혼합한 용액에 30°C에서 48시간 침지한 후 살균수로 몇 차례 씻어내어 유효성분을 제거하였다. 종자는 최아직전 1.0×10^3 , 1.0×10^4 , 1.0×10^5 포자/ml 농도로 30°C에서 24시간 동안 침지시켜 접종하였다.

기내육묘검정법. 키다리병 저항성 품종 선별을 위한 기내 육묘검정체계를 확립하기 위하여 저항성으로 알려진 '남평벼'와 감수성으로 알려진 '주남벼' 등 6품종을 공시하였다. 병원균을 접종한 종자를 MS배지가 10 ml 씩 담겨 있는 직경 30 mm, 길이 450 mm 시험관에 벼 종자 3립씩 파종 후 25°C와 28°C 항온기에 치상하고 하루 12시간 광주건조로 배양하였다. 각 처리별로 3반복씩 처리하였는데 치상 후 1-3일 간격으로 초장 및 발병지수(0, 정상: 1, 잎끝 마름증상: 2, 줄기 전체의 연녹색 시들음 증상: 3, 완전고사)를 측정하였다.

포장검정. 기내육묘검정을 통해 판별된 저항성품종과 감수성품종을 포장저항성과 비교하기 위해 7가지 품종을 공시하였다. 공시된 종자는 1.0×10^5 포자/ml 농도로 침지 접종하여 30.5 cm × 23 cm × 12 cm 의 직사각형 포트에 각 품종별로 파종하였으며 유리온실에서 25일 동안 육묘하였다. 2011년 5월 27일 경기도 이천에 소재한 국립농업과학원 시험포장에 육묘한 벼를 각 1본씩, 벼 품종 당 100주를 손으로 이양하였다. 병 조사는 이양 후, 12일째부터 17-19일 간격으로 수행하여 발병률(%)을 조사하였다.

결 과

기내육묘검정법. 벼 키다리병균을 종자에 접종할 경우 파종 초기 웃자라는 증상이 나타나기 시작해서 2-4주 후에는 고사하는 증상을 보이게 되는데, 본 연구에서 수행한 초기 접종 농도와 온도 조건 중 10^5 포자/ml와 28°C 조건에서 '남평벼'는 파종 후 28일째부터 고사지수 1로 잎 끝이 마르는 증상을 보이기 시작하여 35일째에 고사지수 3으로 완전히 고사를 하는 반면 '삼천벼'는 17일째에 고사지수 1에서 23일째에 완전히 고사하였고 나머지 다른 품종들도 19일째에 모두 고사지수 3으로 완전히 고사하여 품종간의 확연한 차이를 나타냈다(Fig. 1A). 이는 Yeh 등(2005)에 의해 포장저항성 검정결과 저항성으로 보고된 바 있는 '남평벼'와 감수성으로 판별된 다른 품종들 사이에 고사 시작 시점은 11일-13일, 완전히 고사된 시점은 12일-19일의 차이를 보여 저항성 품종과 감수성 품종 사이에 확실한 구분이 가능하였다. 그러나 10^4 포자/ml

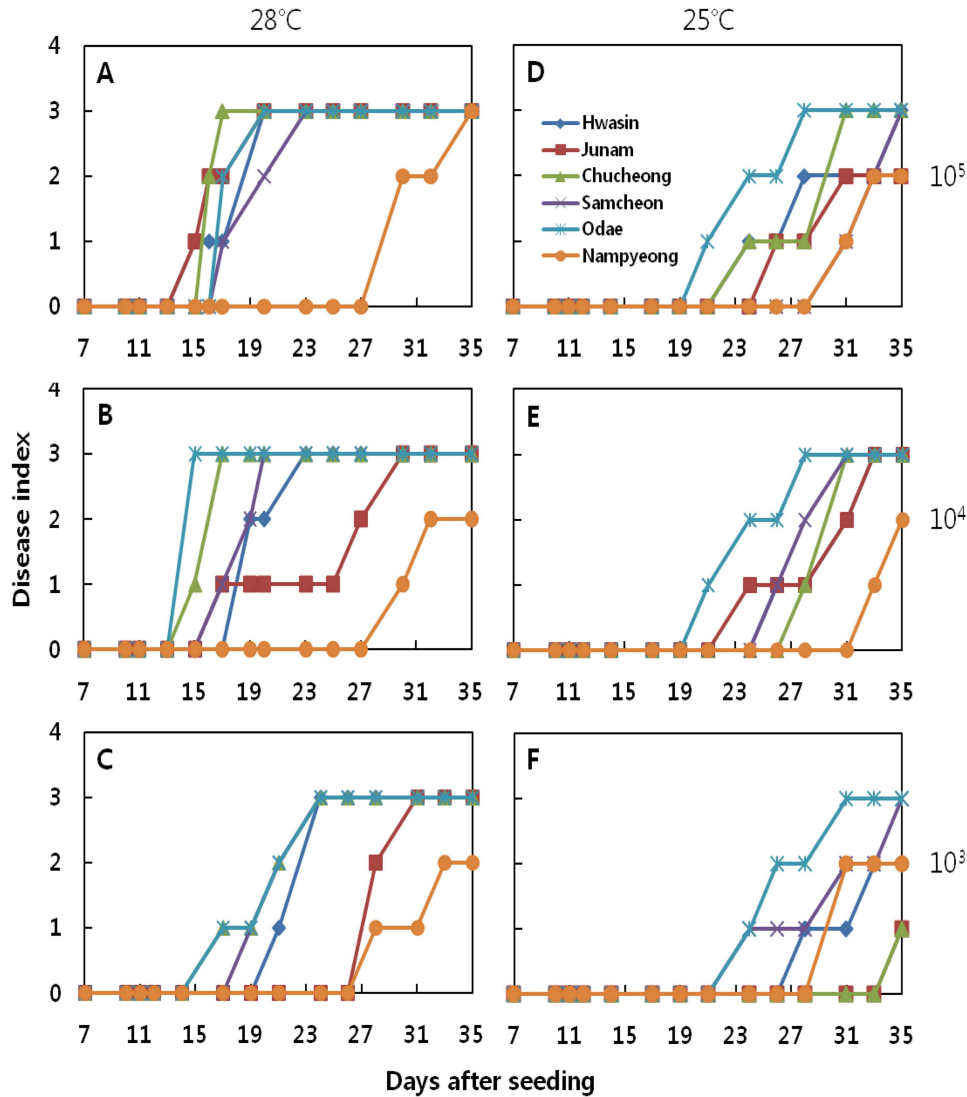


Fig. 1. Disease index shift of the rice varieties by *in vitro* seedling test according to the different inoculation concentrations (1.0×10^3 , 1.0×10^4 , 1.0×10^5 spores/ml) of the *Fusarium fujikuroi* and two different rice growth temperatures 28°C (A–C) and 25°C (D–F). Disease index scale ranging from 0 to 3 as follows; 0, no symptom; 1, blight symptom on leaf tip; 2, wilt and leaf color change to pale green; 3, dry the whole leaf.

로 접종할 경우 ‘남평벼’는 파종 후 30일째에 고사지수 1을 보인 후에 35일까지 완전고사에 이르지 않았고, 대표적 감수성 품종인 ‘주남벼’는 파종 후 30일째에 완전고사를 보인 반면 다른 감수성 품종의 경우에는 12–23일째에 완전고사가 이루어진 것으로 보아 저항성 품종과 감수성 품종의 확실한 판별이 어려웠다(Fig. 1B). 10^3 포자/ml 조건에서는 감수성 품종의 경우에 파종 후 23일째부터 완전히 고사되었고 ‘주남벼’와 ‘남평벼’는 10^4 포자/ml 조건과 유사한 경향을 나타내어 이 조건 또한 저항성과 감수성 품종간의 차이를 구분할 수 없었다(Fig. 1C).

한편, 25°C 배양 조건에서는 접종농도에 관계없이 완전 고사 시점이 27일–35일 사이로 그 차이가 크지 않았고 품

종 사이에도 일정한 경향치가 나타나지 않았다(Fig. 1D, E, F).

키다리병에 의한 벼 도장의 차이가 저항성 검정의 기준으로 사용될 수 있는지 알아보기 위해 키다리병균 접종구와 무접종구의 벼 초장을 비교하였다. 저항성인 ‘남평벼’의 경우 파종 후 12일째부터 접종구가 무접종구에 비하여 초장이 증가하는 경향을 보였으나 감수성인 ‘오대벼’와 ‘주남벼’는 파종 후 6–7일 후부터 도장을 시작하여 무접종구와 차이를 나타냈다. 그러나 감수성 품종인 ‘추청벼’의 경우에는 접종구와 무접종구 사이에 초장 차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

포장저항성 검정과 기내유묘 검정 비교. 포장저항성

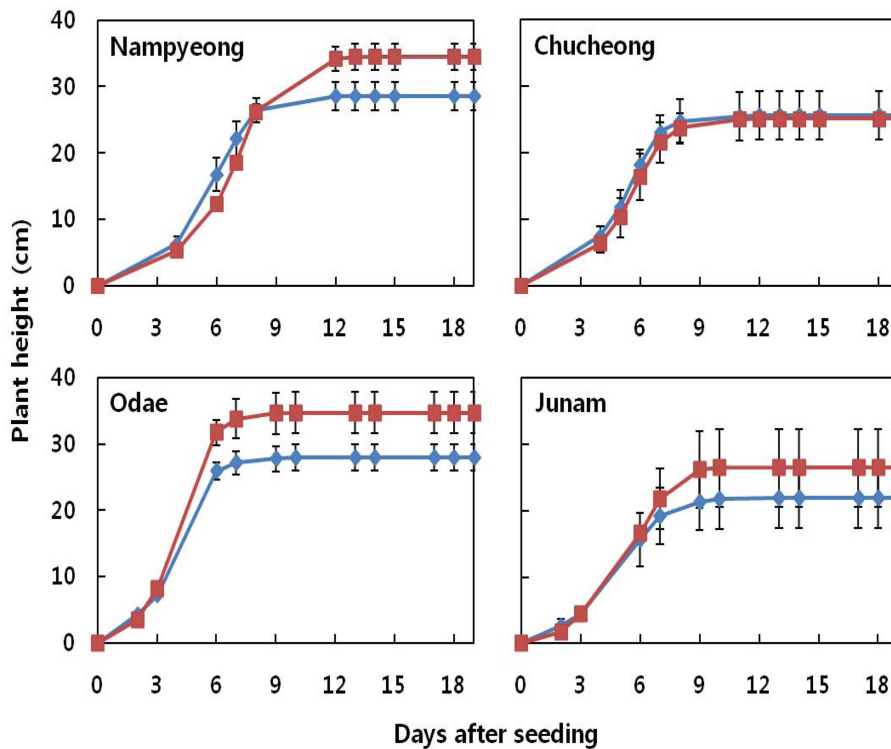


Fig. 2. Comparison of plant height changes between pathogen and mock inoculation. Red lines indicate *Fusarium fujikuroi* inoculation and blue lines represent mock inoculation.

검정 결과 ‘일미벼’와 ‘대야벼’는 발병주율이 86%, 98%로 가장 높았으며, ‘주남벼’와 ‘소비벼’는 각각 60%, 62%, ‘오대벼’와 ‘만호벼’는 30%의 발병주율을 나타낸 반면에 ‘남평벼’는 6%의 가장 낮은 발병주율을 나타냈다(Fig 3A). 이들 품종에 대해 기내유묘검정법으로 얻은 결과를 비교해 보면, ‘남평벼’는 파종 후 33일째에 완전고사가 이루어진 반면에 다른 품종은 파종 후 17일을 전후로 완전고사되어 포장저항성 검정과 유사한 결과를 나타내었다 (Fig. 3B).

기내유묘검정법을 이용한 벼 품종 대량 검정. ‘남평벼’

(저항성)와 ‘주남벼’(감수성)를 저항성 품종 판정 시 기준 지표로 사용할 표준 품종으로 선발하고 국내 외 72품종을 대상으로 유묘 검정법을 이용하여 벼 키다리병에 대한 저항성을 검정하였다. 파종 후 완전히 고사하는 일수를 ‘남평벼’를 기준으로 31일 이상이면 저항성, 24일 미만이면 감수성, 24일 이상 31일 미만이면 중도저항성으로 분류하였다. ‘남평벼’와 ‘인월벼’는 저항성을 나타내었고 ‘농호벼’, ‘삼광벼’, ‘삼평벼’, ‘석정벼’, ‘조안벼’, ‘화동벼’, ‘흑진주벼’는 중도저항성을 보였으며, 그 외 ‘주남벼’를 포함한 63품종은 감수성으로 나타났다(Table 1).

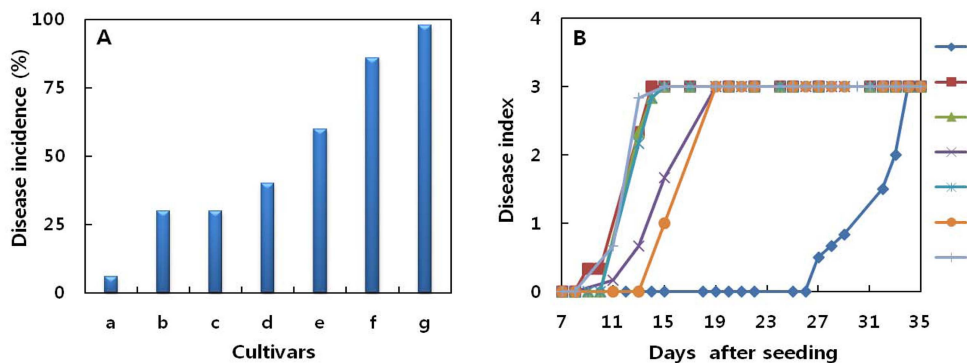


Fig. 3. Comparison of cultivar resistance between field test (A) and *in vitro* seedling test (B) to bakanae disease. a: Nampyeong, b: Odae, c: Manho, d: Chucheong, e: Junam, f: Ilmi, g: Daeya.

Table 1. Resistance evaluation of rice varieties against *Fusarium fujikuroi* using *in vitro* seedling test

Rice Cultivars	Resistant Reaction ^a	Rice Cultivars	Resistant Reaction	Rice Cultivars	Resistant Reaction
Anda	S	Heukgwang	S	Namil	S
Boseokchal	S	Heukjinju	MR	Nampyeong	R
Cheonga	S	Hojin	S	Namwon	S
Chucheong	S	Hwabong	S	Nongan	S
Daeam	S	Hwadong	MR	Nongho	MR
Daecheong	S	Hwamyeong	S	Obong	S
Daejin	S	Ilmi	S	Odae	S
Daepyeong	S	Ilpum	S	Onnuri	S
Daeya	S	Inwol	R	Palgong	S
Dasan	S	Jangseong	S	Samcheon	S
Donghae	S	Jinbong	S	Samdeok	S
Dongjin	S	Jinbuchal	S	Samgwang	MR
Dongjinchal	S	Jinbueul	S	Sampyeong	MR
Dunnae	S	Jinmi	S	Sandouljinmi	S
Gancheok	S	Joan	MR	Seokjeong	MR
Gangbaek	S	Jongnam	S	Sindongjin	S
Geumnam	S	Junam	S	Taebong	S
Geumo	S	Junghwa	S	Taeseong	S
Goami	S	Malgeumi	S	Tamjin	S
Goun	S	Manchu	S	Undu	S
Gwangan	S	Manho	S	Unjang	S
Haechanmulgyeol	S	Manpung	S	Wonhwang	S
Haepyeongchal	S	Nakdong	S	Yeongan	S
Hanareum	S	Namgang	S	Yongmun	S

^aR: resistant, MR: moderate resistant, S: susceptible

고찰

Ito와 Kimura(1931)에 의한 키다리병 저항성 벼 품종에 대한 연구 이후로 Thomas(1933), Reyes(1939), Rajagopalan (1961) 같은 연구자들에 의해 저항성 품종선발에 관련된 연구들이 이루어져왔는데, 이들의 검정방식은 키다리증상이나 고사 증상을 일으키는 발병묘율이나 본답에서 발병경율을 조사하여 품종간의 저항성 차이를 구분하는 것이었다. 이후에는 Haque 등(1979)이 좀 더 빠른 저항성검정법에 대한 시도가 있었지만 대부분 이전의 방식과 크게 다르지 않은 검정방법을 사용하였다(Gill 등, 1993; Khokhar 등, 2002; Yeh 등, 2005). 어린묘의 발병묘율이나 본답에서의 발병주율을 비교하는 방법은 많은 종자와 넓은 공간이 필요하고 시간이 많이 소요되는 단점을 가지고 있어서 대량으로 육종단계에서 이를 검정하는 것이 쉽지 않았다. 특히, 키다리병의 증상은 환경조건에 따라 다양하게 나타나

기 때문에(Ou, 1985), 본 연구에서는 항온·항습 조건을 유지하기 위하여 시험관에 벼를 육묘하는 방법을 선택하였다.

키다리병균은 *F. moniliforme* Sheldon(유성세대 *Gibberella fujikuroi* Sawada)(Snyder & Hansen 1945; Booth, 1971; Nirenberg, 1976)로 보고되었으나, 이 종은 여러 종이 혼재하는 중복합체임이 밝혀진 이후로 균의 형태적 특성과 더불어 분자계통학적 특성을 접목시켜 분류에 대한 재해석이 시도되었다(O'Donnell 등, 1998). 그 결과, 키다리병균은 *G. fujikuroi* MP-C(mating population C)인 *F. fujikuroi* Nirenberg로 사용되고 있다(Nirenberg, 1976). 최근 연구에 의하면 키다리병에는 *F. fujikuroi* 이외에 *G. fujikuroi* 중복합체에 속하는 *F. proliferatum* 등 몇 가지 종이 관여한다고 하였다(Amoah 등, 1995, 1996; Desjardins 등, 1997). 그러나 Mohd Zainudin 등(2008)은 키다리병에 직접적으로 병원성을 보이는 종은 *F. fujikuroi*가 유일하다고 보고하였고 이는 우리의 선행 연구에서도 유사한 결

과를 얻었다. Yamanaka와 Honkura(1978)는 키다리병균의 분리 균주에 따라 키다리병의 증상을 도장, 도장 후 고사, 고사 등 5가지로 구분하였고, Sung 등(1984)은 병징에 따른 4개의 strain으로 구분하였다. 그러나 이와 같은 증상은 이전에 *F. moniliforme*로 동정된 *G. fujikuroi* 중복합체에 속하는 다른 종에 의한 것(Mohd Zainudin 등, 2008)으로 판단되며 이에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 형태적 특성과 분자생물학적 특성을 분석하여 *F. fujikuroi*로 동정된 균주를 선발하였고, 병원성 검정에 의해 파종 직후 도장을 하다가 이후 서서히 말라죽게 되는 증상을 보이는 특징을 확인하여 실험에 사용하였다.

키다리병균에 종자 감염된 벼의 경우 파종 후 도장을 한 후에 고사하게 되는데 본 시험에서는 온도와 접종농도가 높을수록 빨리 고사하는 현상을 확인할 수 있었고 품종에 따라 그 차이가 확연히 크게 나타났다(Fig. 1). 키다리병에 걸린 벼는 심할 경우 이앙 전에 고사를 하게 되고 이앙 후에도 바로 고사를 하게 된다. 생육기에 발병할 경우에는 도장 후 출수 전에 줄기가 고사하거나 출수 후에 고사를 하여 수량 감소에 직접적인 영향을 주게 된다(Ou, 1985). 그러나 저항성 품종인 '남평벼'의 경우에는 고온의 농도 병원균 조건에서도 30일 이상 고사하지 않는 것을 확인할 수 있었는데(Fig. 1), 벼의 표준 분얼의 경우 4본엽이 출현할 때 1차 분얼경의 첫 번째 잎이 출현한다는 것을 고려해 보면(Katayama, 1951), 증묘의 경우에는 이앙 전에 이미 분얼을 시작하기 때문에 키다리병에 걸린 줄기가 흑시 죽는다 하더라도 분얼경이 생존하여 지속적으로 새로운 분얼을 하면서 생존할 수 있다는 것을 의미한다. 실제 포장에서도 '남평벼'의 경우에는 못자리에서 도장 증상을 보였지만 6%만 포장에서 고사한 후 출수기까지 더 이상 발병이 안 되는 것을 확인할 수 있었다(Fig 3A).

무처리와 비교하여 벼가 도장하는 정도를 저항성 평가에 활용하고자 하였으나 '추청벼'의 경우 접종구와 무처리 사이에 초장의 차이가 거의 없고 접종구에서만 고사하는 결과를 보였다. 병원균을 접종한 '추청벼'는 본답에서 고사하는 비율이 30%이상으로 높았는데(Fig. 3A) 만일 무처리 대비 도장여부를 키다리병 저항성을 판단할 경우 오류를 범할 수 있는 가능성이 있음을 시사한다. 실제로 Ito와 Kimura(1931) 등은 파종 후 15일 이내에 무처리와 비교하여 도장묘율로 저항성 평가를 하였고 Thomas(1933)도 저항성 품종의 경우에도 실험에 따라 1-85%의 발병을 변이를 보인다고 보고했는데, 이를 토대로 수행한 실험 실험에서도 실험 시기에 따라 품종간의 발병 정도

의 차이가 심한 현상이 나타났다(자료 미 제시). 이는 '추청벼'와 같이 무처리와 접종구의 도장의 차이가 크게 없는 특성이나 키다리병 발병이 환경조건에 따라 그 차이가 심하기 때문에 나타난 결과라고 생각된다.

따라서 이와 같은 결과를 토대로 벼 키다리병 저항성 검정을 위해서는 동일한 환경에서 실험할 수 있는 조건을 설정하는 것이 필요하기 때문에 우리는 벼 키다리병 품종 저항성 기내유도검정법을 제시하고자 한다. 이 방법은 접종농도를 10^5 포자/ml로 하여 파종 전 종자를 침지 접종하고 길이 450 mm 이상의 시험관에 파종하여 이를 28°C의 배양기에 치상하고 하루 12시간 광주건으로 35일 동안 관찰한 후 고사일 수에 따라 '남평벼'(저항성)와 '주남벼'(감수성)를 대조 품종으로 하여 저항성 평가를 실시하는 것이다.

요 약

벼 키다리병은 매우 중요한 벼의 병 가운데 하나로 아시아 지역에서 넓게 발생하고 있다. 포장에서의 저항성 검정체계가 개발되어 있지만, 그 검정 결과가 환경조건에 따라 다르게 나타나는 문제점을 가지고 있다. 본 연구에서는 정확하고 빠른 키다리병 품종 저항성 검정을 위하여 기내에서 검정하는 시스템을 개발하였다. 병원균을 접종한 '남평벼', '주남벼', '추청벼', '삼천벼', '오대벼', '화신벼' 등 6개 품종의 종자를 MS배지가 10 ml 씩 담겨 있는 직경 30 mm, 길이 450 mm 시험관에 벼 종자 3립씩 파종 후 25°C와 28°C 항온기에 치상하고 하루 12시간 광주건으로 배양하였다. 키다리병 증상은 벼가 도장한 후에 2-3주 경과시점 부터 잎 끝이 마르기 시작하여 고사하게 된다. 10^5 포자/ml 농도와 28°C 조건에서 '남평벼'는 파종 후 28일째부터 잎 끝이 마르는 증상을 보이기 시작하여 35일째에 완전히 고사를 하는 반면 다른 품종들은 19-23 일째에 모두 고사하였다. 기내유도검정법을 이용하여 72 개 품종에 대해 저항성검정을 한 결과 '남평벼'와 '인월벼'를 저항성으로 '화동벼', '석정벼', '삼광벼', '삼평벼', '농호벼', '흑진주벼', '조안벼'를 중도저항성으로 선발하였다. 기내유도검정법을 이용할 경우 파종 후 35일 이내에 키다리병 품종저항성 검정을 완료할 수 있었다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ001938)," National Academy of Agricultural

Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Amoah, B. K., MacDonald, M. V., Rezanoor, H. N. and Nicholson, P. 1996. The use of random amplified polymorphic DNA technique to identify mating groups in the *Fusarium* Section Liseola. *Plant Pathol.* 45: 115–125.
- Amoah, B. K., Rezanoor, H. N., Nicholson, P. and MacDonald, M. V. 1995. Variation in the *Fusarium* Section Liseola: pathogenicity and genetic studies of isolates of *Fusarium moniliformae* Sheldon from different hosts in Ghana. *Plant Pathol.* 44: 563–572.
- Booth, C. 1971. The genus *Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, 221 pp.
- Desjardins, A. E., Plattner, R. D. and Nelson, P. E. 1997. Production of fumonisin B sub 1 and moniliformin by *Gibberella fujikuroi* from rice from various geographic areas. *Appl. Environ. Microbiol.* 63: 1838–1842.
- Gill, M. A., Yasin, S. I., Khan, T. Z., Ahsanullah, Q. and Butt, M. A. 1993. Evaluation of resistance to bakanae and foot rot disease. *Int. Rice Res. Notes* 18: 14–15.
- Han, S. 2007. Review of disease occurrence of major crops in Korea in 2007. *Proc. Annu. Fall Meeting Symposium KSPP.* pp. 19–20.
- Haque, M. A., Rahman, M. M. and Miah, S. A. 1979. A rapid method of screening rice varieties for resistance to bakanae disease in Bangladesh. *Int. Rice Commission Newsletter (FAO)* 28: 34–37.
- Hashioka, Y. 1952. Varietal resistance of rice to the ‘Bakanae’ disease. (Studies on pathological breeding of rice V.) *Jpn. J. Breeding* 1: 167–171.
- Ito, S. and Kimura, J. 1931. Studies on Bakanae disease of the rice plant. *Hokkaido Agri. Exp. Stn.* 27: 1–95.
- Katayama, T. 1951. Studies on tillering of rice and barley (*Inemugi no bungestsu kenkyu*). Yokendo, Tokyo.
- Khokhar, L. K. 2002. Identification of source of resistance against bakanae and foot rot disease in rice. *Pakistan J. Agric. Res.* 17: 176–177.
- Kim, C. 1981. Ecological studies of bakanae disease of rice, caused by *Gibberella fujikuroi*. *Korean J. Plant Prot.* 20: 146–151.
- Korea Crop Protection Association. 2011. Guideline for pesticide usage. pp. 288–292, 421.
- Lee, Y. H., Kim, S. Y., Choi H.-W., Lee, M.-J., Ra, D. S., Kim, I. S., Park, J. W. and Lee, S.-W. 2010. Fungicide resistance of *Fusarium fujikuroi* isolates isolated in Korea. *Korean J. Pest Sci.* 14: 427–432.
- Mohd Zainudin, N. A. I., Razak, A. A. and Salleh, B. 2008. Bakanae disease of rice in Malaysia and Indonesia: Etiology of the causal agent based on morphological, physiological and pathogenicity characteristics. *J. Plant Prot. Res.* 48: 475–485.
- Nirenberg, H. I. 1976. Untersuchungen über die morphologische und biologische differenzierung in *Fusarium*-Sektion Liseola. *Mitt. Biol. Vundesansi. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem* 169: 107–117.
- O'Donnell, K., Cigelnik, E. and Nirenberg, H. 1998. Molecular systematics and phylogeography of the *Gibberella fujikuroi* species complex. *Mycologia* 90: 465–493.
- Ou, S. H. 1985. Rice disease, 2nd ed. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, pp. 380.
- Park, W.-S., Choi, H.-W., Han, S.-S., Shin, D.-B., Shim, H.-K., Jung, E.-S., Lee, S.-W., Lim, C.-K. and Lee, Y. H. 2009. Control of Bakanae disease of rice by seed soaking into the mixed solution of prochloraz and fludioxonil. *Res. Plant Dis.* 15: 94–100. (In Korean)
- Park, W.-S., Yeh, Y.-H., Lee, S.-W., Han, S.-S., Lee, J.-S., Lim, C.-K. and Lee, Y. H. 2008. Electron microscopic study for the influence of soaking in hot water and prochloraz solution on spore and mycelium of *Fusarium fujikuroi* infected in rice seed. *Res. Plant Dis.* 14: 176–181. (In Korean)
- Rajagopalan, K. 1961. Screening of rice varieties for resistance to foot-rot disease. *Curr. Science* 30: 145–147.
- Reyes, G. M. 1939. Rice disease and methods of control. *Philippine J. Agric.* 10: 419–436.
- Snyder, W. C. and Hansen, H. N. 1945. The species concept in *Fusarium* with reference to Discolor and other sections. *Am. J. Bot.* 32: 657–666.
- Sung, J. M., Yang, S. S. and Lee, E. J. 1984. Pathogenicity in nursery box and symptom appearance and yield damage in paddy field by each strain of *Fusarium moniliforme*. *Korean J. Mycol.* 12: 65–73.
- Thomas, K. M. 1933. The ‘foot rot’ of paddy and its control. *Madras Agric. J.* 21: 263–272.
- Yamanaka, S. and Honkura, R. 1978. Symptoms on rice seedlings inoculated with ‘Bakanae’ disease fungus, *Fusarium moniliforme* Sheldon. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 44: 57–58.
- Yeh, W.-H., Choi, H.-W., Kim, S.-A., Shim, H.-S. and Kim, Y.-K. 2005. Studies on ecology and control of rice bakanae disease. Agricultural Biology Research, NIAST, Korea. pp. 490–508. (In Korean)