

2014년과 2015년 잎 도열병 발생 분포 및 레이스 분포 현황

Distribution of Rice Blast Disease and Pathotype Analysis in 2014 and 2015 in Korea

김양선 · 고재덕 · 강인정 · 심형권 · 신동범 · 허성기 · 노재환*

농촌진흥청 국립식량과학원 재배환경과

*Corresponding author

Tel: +82-31-695-0666

Fax: +82-31-695-0095

E-mail: rojh@korea.kr

Yangseon Kim, Jaeduk Go, In Jeong Kang, Hyeong-Kwon Shim, Dong Bum Shin, Sunggi Heu, and Jae-Hwan Roh*

Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16429, Korea

The nursery test against rice blast in Korea from 2014 to 2015 was analyzed. The average of disease severity of leaf blast in 12 sites showed 3.7 ± 2.1 in 2014 and 4.4 ± 2.1 in 2015. Disease severity of leaf blast in Icheon and Cheolwon was increased ranging from 2.8 ± 2.2 in 2014 to 6.3 ± 1.8 in 2015. Using a designation system, a total of 588 isolates collected those years were categorized into 34 races in 2014 and 51 races in 2015 based on the reaction pattern of Korean differential varieties. The blast isolates of 2015 were more diverse than those in 2014. The ratios of KI race to KJ race were 54:46 in 2014 and 70:30 in 2015; however, the predominant race population was KJ-301 as 16%, and KI-101 as 15% in 2014 and 2015, respectively. These results indicate that the distribution of the blast races is getting more diverse in Korea, therefore, this research would provide the possibility to predict race distribution and change to prevent the outbreak of rice blast and will also serve as a useful information for breeding of resistant rice cultivar against blast.

Keywords: Differential varieties, Disease severity, Leaf blast, Race, Race distribution

Received October 25, 2016

Revised October 31, 2016

Accepted November 2, 2016

서론

벼는 쌀을 주식으로 하는 아시아 및 여러 국가에서 가장 중요한 작물이다. 이러한 쌀의 생산량에 가장 큰 영향을 미치는 병해는 벼 도열병으로, 벼의 전 생육기에 걸쳐 발생하며 환경요인에 따라 피해 수준이 심각하게 늘어가는 것으로 알려져 있다. 병 발생에 관여하는 환경요인으로 기상요인, 비료관리, 토양 그리고 약제방제 등을 들 수 있다. 최근의 기상 조건 및 비료관리는 벼 도열병 발생에 부적합하였다. 특

히, 지구 온난화에 의한 생육기간 중 기온 상승 및 7월 장마가 사라지는 현상(Lee 등, 2010), 그리고 질소 비료를 적게 사용하는 재배기술 보급이 잎 도열병이 감소하는 주요 원인으로 생각되고 있다. 또한, 1960년대부터 시작된 벼 도열병 저항성 품종의 육성 및 보급은 벼 도열병의 감소에 가장 크게 기여한 것으로 여겨진다(Cho 등, 2007).

그러나 매년 새로운 벼 도열병 저항성 품종을 보급하고 있음에도 불구하고, 몇 년 이내에 저항성 품종이 감수성 품종으로 바뀌어 병이 발생하는 사례들이 다수 보고되어 왔다(Han 등, 1995). 이러한 저항성 역전 현상은 주로 벼 도열병균의 유전적 변이 및 친화성 균주 집단의 급격한 증가에 의해 일어난다(Han 등, 2001). 이에 대비하여 국립식량과학원에

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

©The Korean Society of Plant Pathology

©This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서는 매년 전국적으로 벼 도열병균 집단의 특성을 조사하고 있다.

국내의 벼 도열병균의 레이스 분화에 대한 조사는 1962년부터 시작되었으며(Ahn과 Chung, 1962; Lee 등, 1987), 각 지역에 분포된 레이스의 종류 및 특성을 파악하여 벼 품종의 병 저항성을 지속시키는 데 목적이 있다. 이러한 레이스 분화 연구는 1977년, 1978년 벼 도열병 대발생의 원인은 본래 소수였던 도열병균 레이스 집단이 통일벼의 보급에 맞추어 급격히 증가했기 때문이라는 것을 규명하였다(Han 등, 1998, 2001; Lee와 Park, 1979; Ryu 등, 1987). 지금까지 우리나라에서 사용되어온 8개의 판별품종에 의한 병원균의 레이스를 구분하는 연구는 각 지역과 시대에 따른 벼 도열병균의 레이스 변화 추이를 관찰할 수 있는 중요한 수단이 될 수 있을 것이다. 이후 현재까지 도열병균 집단 분석이 꾸준히 이루어지고 있으며, 이 또한 우리나라의 주요 식량자원인 벼를 보호하는 데 매우 중요한 기초 정보를 제공할 것이다.

최근 많은 농가들이 병 저항성 품종보다 밥맛이 좋은 품종을 선호하기 때문에 병에 의한 피해가 증가될 가능성이 크다. 따라서 농가에 주로 보급되는 품종들을 대상으로 다양한 저항성 유전자의 도입하여 피해를 예방하는 것이 바람직하다(Hwang 등, 2004). 본 연구는 벼 도열병의 대발생을 미리 예측하기 위해 2014년부터 2015년 사이 12개 발못자리 시험지에서 벼 도열병 발생 정도를 조사하였고, 병반으로부터 분리된 588균주에 대한 레이스 분포 변화를 분석하였다. 지역별 우점 레이스와 새로이 출현한 레이스를 보고함으로써 벼 육종의 주요 자료로 이용하고자 한다.

재료 및 방법

도열병 발못자리 검정. 2014년과 2015년에 전국 12개 지역(이천, 수원, 철원, 진부, 익산, 운봉, 계화, 밀양, 상주, 영덕, 예산, 나주)에서 발못자리 검정을 수행하였다. 각 발못자리마다 우리나라 육성 벼 주요품종 및 참고품종 358개 종류가 심겨졌으며, 품종당 20 cm 길이로 품종 간 간격은 10 cm로 정하였다. 파종은 6월 하순경에 실시하였고 시비량은 10 a당 질소 24 kg과 인산 9 kg, 염화加里 9 kg이 사용되었다. 공시품종 주위에 이병성 품종(낙동, 호평)을 spreader로 파종하고 파종 후 약 30일 후에 발못자리 표준 검정법에 준하여 발병 정도(0-9)를 조사하였다. 벼 도열병의 발병 정도는 0-9로 나타내는데, 0-3은 저항성, 4-6은 중도 저항성, 7-9는 감수성으로 본다(IRRI, 1988).

병원균 분리. 2014년부터 2015년까지 전국의 농가포장과 도열병 검정용 발못자리로부터 수집된 벼 잎도열병과 이삭·목도열병 이병식물로부터 병원균 총 588균주를 분리하였다. 병원균의 분리는 병반이 형성된 잎을 물한천배지(water agar)에 올려놓은 뒤, 26°C의 항온기에서 1-2일간 습실 처리하여 포자형성을 유도한 뒤 광학현미경 아래에서 도열병균 포자를 떼어 물한천배지에 접종하였다. 접종 후 1일간 26°C에서 배양하였다. 배양된 균사의 말단 부위를 해부현미경 50배율하에서 분리한 뒤 감자한천배지(potato dextrose agar)에 옮겨 순수 분리하였다.

판별품종을 이용한 레이스 검정. 레이스 판별을 위해 8개의 한국형 판별품종(Tetep, 태백, 통일, 유신, 관동, 농백, 진흥, 낙동)을 사용하였다. 3엽기의 유묘에 전착제 Tween 20을 1,000배로 희석한 증류수로 수집한 벼 도열병균 포자 현탁액(포자농도 5×10^5 개/ml)을 20 ml씩 진공 압축기(compressor)를 이용한 스프레이로 분무 접종하였다. 접종된 벼는 26°C 포화습도 접종상에 넣어 24시간 동안 암조건에서 습실 처리한 후, 온실에 옮겨 7일간 발병시켜 잎에 형성된 병반 정도를 조사하였고, 병 발생 여부에 따라 레이스를 분류하였다(Han 등, 2001).

결과 및 고찰

잎 도열병 발생 정도. 전국 12개 도열병 발못자리 시험지에서 358품종에 대해 잎 도열병 발생 정도를 조사하였다(Table 1). 2014년에는 이천, 수원, 철원, 진부, 예산 등 중부 5개 지역(3.2 ± 2.3 , $n=1,790$)에 비해 익산, 운봉, 계화, 밀양, 상주, 영덕, 나주 등 7개 남부지역의 병 발생 정도(3.9 ± 2.0 , $n=2,506$)가 다른 지역에 비해 높게 나타났는데(t -test, $P < 0.0001$), 지역에 따라서는 2배 이상의 차이를 보이기도 했다. 조사가 진행된 기간 동안 남부지역의 온도나 강수량이 중부지역에 비해 큰 차이가 나지 않았기 때문에(기상연보), 이러한 병 발생 정도의 차이는 기주나 환경의 영향보다는 병원균에 더 의존적인 것으로 여겨진다. 남부지역에 분포하는 도열병균 집단이 발못자리 시험지에 식재된 품종들에 대해 병원성에 있어서 상대적으로 친화적(compatible)일 것으로 판단된다.

반대로 2015년에는 중부지역이 4.9 ± 1.9 , 남부지역이 4.0 ± 1.5 로서 병이 더 심하게 나타났다(t -test, $P < 0.0001$). 특히 이천과 철원의 경우 2014년에 비해 2015년에 2배 이상 높은 병 발생 정도를 보였다(Table 1). 이천과 철원의 2015년 7월의 평균기온은 2014년 7월의 평균 기온에 비해 각각 0.3°C 와

Table 1. Disease severity of leaf blast in Korea

Experimental regions* (province)	Year	
	2014	2015
Icheon (Gyeonggi)	2.9±2.3 ^{B†}	6.0±1.3 ^G
Suwon (Gyeonggi)	2.5±2.1 ^{AB}	3.6±1.5 ^{BC}
Cheolwon (Gyeonggi)	2.6±2.0 ^{AB}	6.6±2.3 ^H
Jinbu (Gangwon)	4.0±1.7 ^{DE}	4.8±2.1 ^E
Iksan (Jeonbuk)	4.7±1.8 ^F	3.8±1.4 ^{CD}
Unbong (Jeonbuk)	4.9±1.7 ^F	3.9±1.4 ^{CD}
Gyehwa (Jeonbuk)	4.1±1.7 ^E	3.8±1.2 ^{CD}
Milyang (Gyeongnam)	4.6±2.0 ^F	5.6±1.6 ^F
Sangju (Gyeongbuk)	3.7±2.1 ^{CD}	5.2±1.3 ^E
Yeongdeok (Gyeongbuk)	3.6±3.7 ^C	4.1±1.8 ^D
Yesan (Chungnam)	4.7±3.2 ^E	3.4±2.1 ^B
Naju (Jeonnam)	2.3±2.2 ^A	1.7±1.7 ^A

*Each region contains 358 cultivars of rice and 10 samples per each cultivar were analyzed for evaluation of disease severity. Data were presented as mean±standard deviation from different cultivars. Range of disease severity of leaf blast: resistance (0–3), moderately resistance (4–6), and susceptibility (7–9).

†Tukey's test was used to determine significance at the 95% probability level. The same letters in column showed no significant difference.

0.7°C 낮았으며, 강수량은 이천의 경우 1,081 mm에서 2,055 mm로 철원은 1,867 mm에서 4,680 mm로 각각 크게 증가했다(기상연보). 잎 도열병 침입 및 발병의 호적기는 6월 하순 및 7월 상순이며, 이때의 강수량, 일조시간 및 일사량이 잎 도열병 발생과 상관관계가 높은 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2010). 따라서, 이천과 철원에서 관찰된 2015년 잎 도열병의 증가는 급격히 늘어난 강수량의 영향을 많이 받은 것으로 예상할 수 있다.

벼 도열병 발생에 좋은 기상조건하에서도 질소 시비량 감비 등의 경종적 재배법에 의해 잎 도열병의 발병을 감소시킬 수 있다(Han 등, 2001). 또한, 2014년 남부지역의 농가에서 목 도열병이 대발생하였는데(data not shown), 이 지역에서 재배된 품종은 호평, 신동진, 새누리, 그리고 일미 등으로 벼 도열병에 저항성이 낮은 품종들이었다. 이러한 결과는 벼 도열병의 발생을 예방하기 위해 경종적 방제와 더불어 저항성 품종의 재배가 필요함을 다시 한번 부각시켰다.

벼 도열병균 레이스 판별 결과 분석. 2014년과 2015년에 분리한 도열병균 588균주에 대해 한국형 판별시스템을 이용하여 레이스를 분석하였다(Lee 등, 1987). 판별시스템

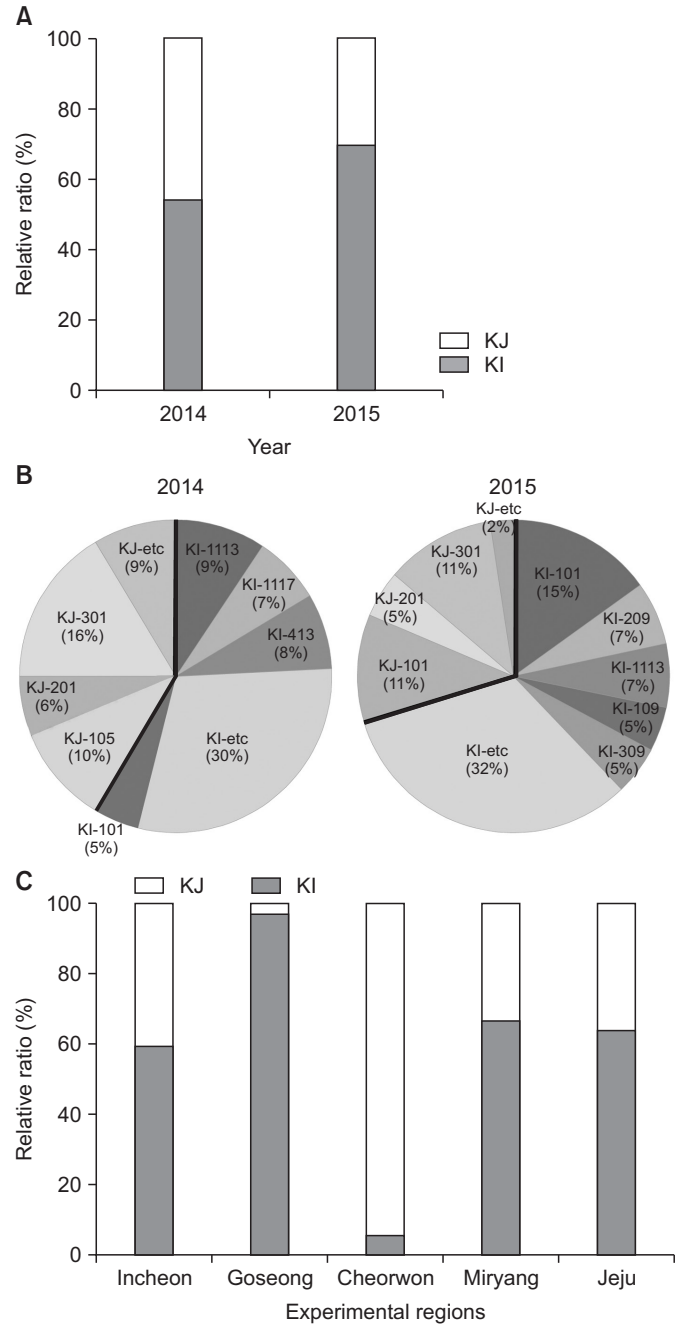


Fig. 1. Race distribution of leaf blast. (A) Ratio of KI/KJ races in 2014 (KI:KJ=69:59, n=128) and 2015 (KI:KJ=321:139, n=460). (B) Dominant races in 2014 and 2015. (C) Ratio of KI/KJ races at five representative regions in 2015.

에 사용되는 벼 품종은 한 개의 인디카 품종(Tetep), 3개의 통일계 품종(태백, 통일, 유신)과 4개의 자포니카 품종(관동51, 농백, 진흥, 낙동)이다. 2014년에 분리한 벼 도열병균들의 KI와 KI 레이스의 비율은 46:54로 나타났고, 2015년에 분리한 균의 비율을 30:70을 보였다(Fig. 1A). 두 해의 레이스 분포 비율을 비교하면, KJ 레이스는 9종에서 8종으로 비슷한 수준이

었으나, KI 레이스의 종류는 25종에서 35종으로 더 다양해진 것으로 나타났다. 그러나 2015년에 분리된 개체가 3배가 넘는다는 점도 고려해야 할 것으로 보인다. 분리된 벼 도열병 균들 가운데 5% 이상을 점유한 레이스는 2014년에는 KJ-301 (16%), KJ-105 (10%), KI-1113 (9%), KI-1117 (7%), KI-413 (8%), KJ-201 (6%), KJ-101 (5%)로 KJ-301과 KJ-105가 우점하는 것으로 나타났다(Fig. 1B). 2015년에는 우점 레이스가 달라졌는데, KI-101 (15%), KJ-301 (12%), KJ-101 (10.9%), KI-1113 (6.5%), KI-209 (6.5%), KI-309 (5.0%)로서 KI-101과 KJ-301, KJ-101이 우점하는 것으로 나타났다. 2000년 이후 KI-101은 대체로 1% 미만의 낮은 분포를 보여 왔고 2014년에도 1.6%에 불과했으나, 2015년에는 15%로 급격히 증가하였다. KI-101은 레이스 검정에 사용된 모든 판별품종에 친화적인 균주이기 때문에, 앞으로도 KI-101의 우점이 계속된다면, KI-101이 보유한 비병원성 유전자를 탐색하고, 이에 대응하는 저항성 유전자를 탐색하여 저항성 품종 육성에 이용하는 것이 필요하다.

벼 도열병균 지역별 레이스 분포. 2015년에 분리된 벼 도열병균의 지역별 레이스 분포를 조사하였다(Fig. 1C). 이천의 분포도를 보면 KJ와 KI 레이스의 비율이 40:60을 보였고, 밀양과 제주에서도 비슷한 양상을 보였다. 반면에 고성과 철원에서는 극명한 차이를 보였는데, 고성에서는 KJ:KI가 3:97로 나타났고, 반대로 철원에서는 KJ:KI가 94:6의 비율을 보였다.

각 지역의 우점 레이스를 보면 각각 이천은 KJ-101 (26%), 고성은 KI-209 (19%), 철원은 KJ-301 (78%), 밀양 KI-1113 (13%), KJ-101 (13%), 제주는 KJ-101 (24%)로 나타났다. 2015년에 분리한 벼 도열병균 중에 KI 레이스 17종이 새롭게 발견되었으나, 비율로 볼 때 0.5% 미만이었다.

2015년에 분석된 51종의 레이스 분포 결과는 병원형이 계속 다양해지는 것을 보여주고 있어, 재배되는 품종의 수가 줄어들고 기후환경이 발병에 유리한 조건이 될 경우, 새로이 출현 및 급격히 증가하는 레이스에 의해 벼 도열병 대발생이 일어나 쌀 수확량 감소를 초래할 가능성이 높아질 수 있음을 의미한다. 저항성 품종을 육종할 때는 주동유전자와 더불어 미동유전자를 도입하여 품종의 내구성을 증진시키는 것이 병 방제를 효과적으로 할 수 있을 것이다(Goh 등, 2015; Kim 등, 2016; Suh 등, 2009).

요 약

2014년부터 2015년까지 12개의 발못자리 시험지에서

앞 도열병의 발병 정도를 조사하였다. 2014년 앞 도열병은 3.7 ± 2.1 , 2015년에는 4.4 ± 2.1 의 평균 발병 정도를 보였다. 특히, 2015년에는 이천과 철원에서 벼 도열병 발병률이 2014년에 비해 2배 이상 증가했다. 2014년과 2015년에 분리된 벼 도열병균 587종에 대해 한국형 판별품종 시스템으로 분석한 결과 2014년에는 34종, 2015년에는 51종의 레이스로 결정되어 병원균의 병원성 변화가 크다는 것을 알 수 있었다. KI 레이스 대 KJ 레이스의 비율은 2014년에는 54:46, 2015년에는 70:30으로 나타났다. 2014년의 우점 레이스는 KJ-301로 총 16%를 차지했고, 2015년에는 KI-101이 15%를 우점했다. 2015년 지역별 레이스 분포결과 고성에서는 KI 레이스가 97% 비율로 분포하였고, 철원에서는 KJ 레이스가 96%의 분포율을 보여 지역 간 차이가 크게 나타났다. 십여 년간 낮은 분포를 보이던 KI-101 레이스가 전국적으로 높은 비율로 확인된다는 점은, 이런 현상이 계속된다고 가정할 때, 도열병균 집단이 빠르게 변하고 있으며 이에 대한 대응이 필요하다는 것을 말해준다. 따라서 이 연구결과는 벼 도열병의 대발생을 막기 위한 벼 품종 육성에 기초자료로 이용할 수 있다.

Conflicts of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project title: Monitoring of race change of rice blast and analysis of genetic diversity program. Project No. PJ01119401)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ahn, C. J. and Chung, H. S. 1962. Studies on the physiologic races of rice blast fungus, *Pyricularia oryzae* in Korea. *Seoul Natl. Univ. J. Biol. Agric. Ser. B* 11: 77-83.
- Cho, Y. C., Kwon, S. W., Choi, I. S., Lee, S. K., Jeon, J. S., Oh, M. G., Roh, J. H., Hwang, H. G. and Kim, Y. G. 2007. Identification of major blast resistance genes in Korean rice varieties (*Oryza sativa* L.) using molecular markers. *J. Crop Sci. Biotech.* 10: 265-276.
- Goh, J., Kim, B. R., Shin, D. B., Kang, I. J., Lee, B. C., Kang, H. W. and Han, S. S. 2015. Evaluation of sequential planting method for

- screening of durable resistance against rice blast in rice breeding program. *Res. Plant Dis.* 21: 20-23.
- Han, S. S., Choi, S. H., Ra, D. S. and Eun, M. Y. 1998. Analysis of rapid increase of rice blast fungus race KI-409 in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 14: 705-709. (In Korean)
- Han, S. S., Ra, D. S. and Kim, C. K. 1995. Incidence of panicle blast, race distribution during 1993-1994 and pathogenicity of new races of *Pyricularia grisea* in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 11: 238-244. (In Korean)
- Han, S. S., Ryu, J. D., Shim, H. S., Lee, S. W., Hong, Y. K. and Cha, K. H. 2001. Breakdown of resistant cultivars by new race KI-1117a and race distribution of rice blast fungus during 1999-2000 in Korea. *Res. Plant Dis.* 7: 86-92. (In Korean)
- Hwang, H. G., Kwon, S. J., Cho, Y. C., Ahn, S. N., Suh, J. P. and Moon, H. P. 2004. Genetic diversity of high-quality rice cultivars based on SSR markers linked to blast resistance genes. *Korean J. Crop Sci.* 49: 251-255.
- [IRRI] International Rice Research Institute. 1988. Standard Evaluation System for Rice. 3rd ed. IRRI, Los Baños, Philippines.
- Kim, Y., Kang, I. J., Shim, H. W., Shin, D. B., Cho, Y. C., Heu, S. and Roh, J. H. 2016. Comparative analysis of durable blast resistance between sequential planting and nursery. *Korean J. Breed. Sci.* (In press)
- Lee, E. J., Ryu, J. D., Yeh, W. H., Han, S. S. and Lee, Y. H. 1987. Proposal of a new method for differentiating pathogenic races of *Pyricularia oryzae* Cavara in Korea. *Res. Rept. RDA (P.M. & U)* 29: 206-213. (In Korean)
- Lee, E. W. and Park, S. Z. 1979. Interpretation of the epidemic outbreak of rice blast disease in Korea, 1978. *J. Korean Soc. Crop Sci.* 24: 1-10.
- Lee, Y. H., Ra, D. S., Yeh, W. H., Choi, H. W., Myung, I. S., Lee, S. W., Lee, Y. H., Han, S. S. and Shim, H. S. 2010. Survey of major disease incidence of rice in Korea during 1999-2008. *Res. Plant Dis.* 16: 183-190. (In Korean)
- Ryu, J. D., Yeh, W. H., Han, S. S., Lee, Y. H. and Lee, E. J. 1987. Regional and annual fluctuation of races of *Pyricularia oryzae* during 1978-1985 in Korea. *Korean J. Plant Pathol.* 3: 174-179. (In Korean)
- Suh, J. P., Roh, J. H., Cho, Y. C., Han, S. S., Kim, Y. G. and Jena, K. K. 2009. The pi40 gene for durable resistance to rice blast and molecular analysis of pi40-advanced backcross breeding lines. *Phytopathology* 99: 243-250.