

고위도 북한 접경지역과 국내 벼도열병균 레이스 분포 분석

Analysis of the Distribution of Rice Blast Pathogens in High-Altitude North Korea Border Areas and Domestic Rice Cultivars

*Corresponding author

Tel: +82-31-695-0651

Fax: +82-31-695-0095

E-mail: hg369732@korea.kr

ORCID

<https://orcid.org/0000-0002-1547-8918>

<https://orcid.org/0000-0001-6689-0024>

<https://orcid.org/0000-0001-7258-6977>

양정욱^{1*}  · 김은영¹ · 정진교¹ · 강인정¹  · 김울호¹ · 김병주¹ · 양운호¹ · 허성기² · 정현정³ 

¹국립식량과학원 중부작물부 재배환경과, ²서울대학교 농업생명과학대학 농림생물자원학부,

³국립식량과학원 작물기초기반과

Jung Wook Yang^{1*} , Eun Young Kim¹, Jin Kyo Jung¹, In Jeong Kang¹ , Yul Ho Kim¹,
Boyoung Joo Kim¹, Un Ho Yang¹, Sunggi Heu², and Hyunjung Chung³ 

¹Crop Cultivation & Environment Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Suwon 16613, Korea

²Department of Agriculture, Forestry, and Bioresources, Seoul National University, Seoul 08826, Korea

³Crop Foundation Research Division, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea

To explore the distribution and the resistance reaction of rice blast pathogens that may occur in North Korea, rice blast pathogens in the North Korean border regions of Dandong and Yeon-gil in China and the North Korean border region of Cheorwon in South Korea were analyzed. In addition, comparative analysis was conducted with rice blast pathogen in Suwon and Jeonju, inland regions of South Korea. Resistance reactions above average were observed in monogenic rice lines (IRBLzt-T, IRBL9-W, IRBL20-IR24, and IRBLta-CP1) in Jeonju, Suwon, and Cheorwon from 2018 to 2020. In Dandong and Yeon-gil, the monogenic lines IRBLz5-CA, IRBL12-M, and IRBL19-A consistently showed resistance reactions for three years. Notably, IRBL19-A exhibited strong resistance. Race distribution analysis in South Korea indicated a shift from KI to KJ dominance from 2018 to 2020, while in the North Korean border regions of Dandong and Yeon-gil, the KI race was dominant in 2021 and 2022. The race distribution of rice blast pathogens in China's North Korean border regions differed significantly from that in South Korea.

Keywords: Blast disease, Distribution, North Korea, Race, Rice

Received June 8, 2023

Revised August 9, 2023

Accepted August 11, 2023

서론

벼 도열병은 벼 재배에 있어 가장 문제가 되는 병 중 하나로 ascomycetes류에 속하는 *Magnaporthe oryzae*라는 곰팡이 병

원균에 의해 발생한다. 전 세계 벼를 재배하는 모든 지역에서 발생하는 병으로 유묘기부터 수확기에 이르기까지 벼의 전 생육기에 걸쳐 발생한다. 벼 도열병은 발생 부위에 따라 잎도열병, 목도열병, 이삭도열병 등으로 구분되며, 병 발생으로 인한 손실은 전 세계적으로 10%–30%까지 이르고 감수성 품종의 경우 최대 65%까지 벼 생산량이 감소한다(Li 등, 2007).

벼 도열병 방제에 있어 경제적이고 친환경적인 방법으로 권장되는 것은 바로 저항성 품종을 이용하는 것이다. 그러나 저

Research in Plant Disease

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.

항성 품종의 벼 도열병에 의한 저항성 붕괴는 빈번히 일어났다. 한국에서는 한국에서는 1970년대 통일계 벼 품종이 재배되기 시작한 이후 1977-1978년 통일계 품종(Yamada와 Lee, 1978), 1980년 진주벼(Ryu 등, 1987), 1983-1984년 영풍미와 풍산벼(Ryu 등, 1987), 1993년 일품벼와 진미벼(Han 등, 1998), 2014년 동진1호와 일미벼 등 다양한 품종에서 벼 도열병이 발생하였고(Kang 등, 2019) 2020년 여주에서는 진상벼에서 병이 심하게 발생하였다(Chung 등, 2022). 벼도열병균은 레이스 분화가 지역에 따라 크기 때문에 같은 품종을 재배하더라도 지역에 따라 발병 정도에 차이가 있으며(Roh 등, 2007), 기존에 저항성 품종이더라도 병원균의 변이에 의해 감수성으로 전환될 수 있다(Park, 1993). 1970-1990년대에는 대부분 단일 지역에서 유사 품종을 넓은 면적에 재배하여 저항성이 무너지는 현상이 발생했으나, 최근에는 과거와 달리 지역별로 품종이 다양화되고 감수성 품종일지라도 농법의 진화와 적기 방제로 전국단위 대발생하는 경향은 감소하는 추세이다. 그럼에도 효과적이고 안정적인 병 방제를 위해서는 지역별로 분포하는 병원균의 레이스를 파악하고 저항성 품종을 육성하는 것이 중요하다. 이를 위해 각 지역에서 발생하는 벼도열병균의 레이스를 파악하고 병원균의 비병원성 유전자 및 벼의 저항성 유전자 연구가 필요하다.

북한에서 벼 도열병은 벼열병이라 불리며 남한 및 주요 벼 재배 국가와 같이 흰잎마름병과 함께 가장 중요한 병 중에 하나로 알려져 있다(Chung 등, 2019). 비록 남과 북이 교류가 없어 북한의 벼도열병균의 분포가 어떻게 되어 있는지 알 수 없으나 1990년부터 지속적으로 수집되어 왔던 북한의 벼 유전자원을 대상으로 수행한 amplified fragment length polymorphism 분석에 의하면 남한의 유전자원과는 상당히 다르다고 보고되었다(Cho 등, 2002). 최근에 새롭게 도입된 북한 유전자원의 특성을 분석한 결과 벼 도열병에 대한 '중' 이상의 병 저항성을 나타내었다고 보고되었으나, 사용된 균주의 정보가 없어 저항성 품종이 어떠한 저항성원을 지니고 있는지 확인하지 못하였다(Hong 등, 2017). 이후 2019년 Chung 등에 의해 북한에서 육성된 품종 중 일부를 대상으로 벼 도열병 저항성 검정을 수행한 결과 길주 1호와 같은 북한 품종은 남한에 분포한 벼도열병균에 대해 강한 내성을 지녀 한국에 도입하여 활용할 가치가 우수한 것으로 판단되는 품종도 있었다(Chung 등, 2019). 비록 남과 북 사이에 비무장지대로 분리되어 있다 하더라도 남한의 벼도열병균이 북한으로 유입될 가능성이 있으며, 반대로 북한의 벼도열병균이 남한으로 유입될 가능성도 높다. 북한의 주요 벼 품종이 남한의 주요 벼도열병균에 대해 감수성을 보여 남한의 병원균이 북한으로 유입될 경우 벼 도열병 대발생으로 벼 재배에 심각한 피

해를 줘 식량난이 심화될 수 있다. 반대로 아직 북한에 분포하고 있는 벼도열병균의 정보를 알지 못하는 상황에서 북한의 병원균이 남한으로 유입될 경우 기존에 없던 레이스 출현 등으로 벼 도열병 발생이 심화될 가능성도 있다. 현재 북한 현지 방문을 통한 벼도열병 조사가 불가능한 상황으로 남한의 북한 접경 지역인 백령도, 고성 등에 분포한 벼도열병균을 분석함으로써 간접적으로 조사를 수행하였고 남한에 분포한 벼도열병균과 비교하였다(Chung 등, 2019). 그 결과 백령도와 고성에서 분리한 균주는 KJ/KI 레이스 비율이 99:1과 93:7 비율로 KJ 레이스가 우점하였고 전주의 경우 2:98로 KI 레이스가 우점하였다. 즉, 북한 접경지역과 남한 내륙의 벼도열병균 우점 race는 서로 차이가 있었고, 북한과 남한의 벼도열병균 분포와 race에 차이가 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 기존의 남한 내 북한 접경 지역에서 조사한 벼도열병균의 분포 조사 외에 고위도 지역인 중국의 북한 접경지역에서 벼도열병균에 대한 조사를 통해 북한에 존재 가능한 벼도열병균의 다양성과 그에 따른 저항성원을 확인하고자 하였다. 이를 통해 향후 발생하게 될 북한 유래 벼도열병균에 의한 병 발생을 최소화하고 저항성 품종 개발에 활용하고자 한다.

재료 및 방법

벼 품종 및 계통. 본 연구에서는 단인자 저항성 계통과 한국형 판별 품종을 사용했다. 단인자 저항성 계통은 국제미작연구소(International Rice Research Institute, IRRI)에서 중국 자포니카 도열병 감수성 품종인 Lijanxintuanheigu (LTH)에 단일 저항성 유전자를 도입하여 육성한 계통으로, 단일 저항성 유전자 24개를 도입한 31개 계통과 대조군인 LTH를 발못자리검정 시험에 이용했다. 한국형 판별품종은 1개 인디카 품종(Tetep), 3개 통일계 품종(태백, 통일, 유신), 4개 자포니카 품종(관동51, 농백, 진흥, 낙동)으로 레이스 판별을 위해 사용했다.

벼 도열병 발못자리 검정. 발못자리 검정은 북한 접경지역인 단둥과 연길에서 단인자 저항성 계통을 이용하여 수행했다. 파종은 5월 하순에서 7월 상순에 이뤄졌으며, 파종거리는 계통당 간격 10 cm×길이 20 cm로 했다. 시비량은 10 a당 질소 24 kg, 인산 9 kg, 염화加里 9 kg을 사용했다. 벼 도열병 발생 조사는 파종한 약 30일 후 IRBN 발못자리 표준 검정법에 준하여 발병 정도(0-9)를 조사했다. 0-3은 저항성, 4-6은 중도 저항성, 7-9는 감수성으로 구분했다(International Rice Research Institute, 1988).

벼도열병균 단포자 분리. 북한 접경지역 및 남한 내륙지역에 설치한 벼 도열병 검정용 발못자리로부터 잎도열병 이병 식물체를 수집하였고 병반에서 총 334균주를 단포자 분리했다. 단포자 분리를 위하여 벼 도열병 병반부를 물한천 배지(water agar; 한천 15 g, 증류수 1 liter)에 올려놓아 26°C 항온기에서 1-2일간 습실 처리하여 포자형성을 유도했다. 벼도열병균 포자가 형성된 병반으로부터 실체현미경 혹은 광학현미경 아래에서 백금선 루프를 이용하여 포자를 채취한 후 물 한천 배지에 산포시켜 1일간 26°C 항온기에서 배양했다. 배양한 포자를 해부현미경 50배율 아래에서 떼어 감자한천배지(potato dextrose agar)에 옮겨 순수 분리했다.

접종원 준비. 벼도열병균 포자형성을 위하여 감자한천배지에서 약 10일간 배양한 균총 절편을 2 ml의 살균증류수에 떼어 넣고 살균한 봉으로 균사 절편을 마쇄한 후, 그 현탁액을 쌀겨배지(rice polish agar; 쌀겨 20 g, 설탕 20 g, 한천 20 g, 증류수 1 liter)에 접종했다. 접종한 배지는 26°C 항온기에서 7일간 배양하여 균사가 쌀겨배지 표면에 가득 자라도록 한 후, 살균된 고무브러시를 이용하여 기중 균사를 긁어 제거하고 페트리 디쉬 뚜껑을 열어 형광등 50 cm 하단에서 3일간 지속적으로 빛을 조사하여 분생포자 형성을 유도했다. 포자 현탁액은 분생포자가 형성된 쌀겨배지에 Tween 20 희석액(5,000 배액)을 부어 고무브러시를 이용하여 긁어낸 후 거즈에 걸러 준비했다. 포자 농도는 1×10^5 포자/ml로 조절했다(Goh 등, 2013).

판별품종을 이용한 레이스 검정. 벼도열병균의 레이스를 판별하기 위하여 한국형 판별품종 8개(Tetep, 태백, 통일, 유신, 관동, 농백, 진흥, 낙동) 병원균을 접종했다. 3-4엽기의 벼 유묘에 도열병균 포자 현탁액을 25 ml씩 진공압축기(compressor)를 이용하여 유리 스프레이로 분무 접종했다. 접종한 벼는 26°C 포화습도 접종상에 넣어 24시간 동안 암조건에서 습실 처리하고 온실에 옮겨 7일간 정치하여 발병시켰다. 발병 조사는 식물체 전체 잎에 형성된 병반형과 병반수를 IRRI 조사기준(Bandong과 Ou, 1966)에 따라 발병지수 0-5로 조사하였고, 0-2는 저항성, 3은 중도(저항성)감수성, 4-5는 감수성으로 구분했다. 레이스 판별은 Lee 등(1987)이 제안한 레이스 판별법에 따라 분류했다.

결과 및 고찰

중국 및 남한의 북한 접경지역 단인자 저항성 계통 발못자리 검정 반응 비교. 북한에서 발생 가능성이 있는 벼도열병의 발

생 분포와 효과가 있는 저항성원을 탐색하기 위해 북한 접경지역인 중국의 단둥과 연길, 남한의 철원, 그리고 북한 접경지역과의 비교를 위해 남한의 수원 및 전주에 벼 잎도열병 발못자리를 설치하였다. 감수성 품종인 LTH를 포함한 32개의 단인자 저항성 계통을 벼 잎도열병 발못자리 검정 포장에 파종하여 지역별로 자연적으로 발생하는 잎도열병에 대한 반응을 조사하였다. 남한에서 진행한 발못자리 검정은 2018년부터 2020년까지 전주, 수원, 철원에서 수행하였으며, 중국 단둥과 연길에서의 발못자리 검정은 2020년부터 2022년까지 수행하였다. 중국의 북한 접경지역과 남한의 접경지역의 벼도열병균을 함께 조사한 해는 2020년으로 한 해뿐이라 벼도열병균의 분포를 직접적으로 비교하기에 어려움이 있으나 북한의 벼도열병균 분포 다양성과 변화 추이를 간접적으로나마 분석하기 위해 수행한 검정 결과를 비교 분석하였다. 단인자 저항성 계통의 발못자리 검정 결과, 2018부터 2020년까지 수원, 전주, 철원에서 수행한 단인자 저항성 계통의 발못자리 검정 결과, 수원에서는 IRBLz5-CA, IRBL9-W, IRBL19-A, IRBL20-IR24 단인자 계통이 3년 연속 저항성 반응을 보였고, IRBLkh-K3, IRBLzt-T, IRBLta-K1, IRBLsh-S, IRBL12-M, IRBLkm-Ts, IRBLta2-PI, IRBLta-CP1, IRBLz5-CA-1 등의 단인자 저항성 계통은 2년 이상 벼도열병에 대한 저항성 반응을 보였다. 반면, IRBLa-A와 IRBLz-Fu 등은 3년 연속 감수성 반응을 보였다(Fig. 1).

전주에서는 수원에서보다 많은 단인자 저항성 계통이 벼도열병에 감수성 반응을 보였다. 3년 연속 감수성을 보인 계통은 IRBLa-A, IRBLi-F5, IRBLk-Ka, IRBLz-Fu, IRBLb-B, 그리고 IRBLta2-Re이었고, 3년 연속 저항성 반응을 보인 계통은 IRBLkm-Ts, IRBLta-CP1, IRBLz5-CA-1이었다. 2년 이상 저항성 반응을 보인 단인자 계통은 IRBLkh-K3, IRBLz5-CA, IRBLzt-T, IRBLt-K59, IRBLsh-B, IRBL9-W, IRBL12-M, IRBL19-A, IRBL20-IR24, IRBLta2-PI 등이었다. 수원, 전주와 달리 북한지역에 가장 근접한 철원에서는 3년 연속 저항성 반응을 보인 계통은 없었다. 다만 2년 이상 저항성 반응을 보이다 3년차인 2020년에 중도 이상의 병 발생을 보여 저항성이 붕괴되는 현상을 보였다. 2020년 저항성 반응이 붕괴된 단인자 계통은 IRBLkp-K60, IRBLz5-CA, IRBLzt-T, IRBLt-K59, IRBLsh-B, IRBL9-W, IRBL19-A, IRBL20-IR24, IRBLta-CP1, IRBLz5-CA-1 등이 있다. 도열병에 대한 저항성이 붕괴된 철원을 제외한 수원, 전주 2 지역에서 3년 동안 공통으로 지속적인 중도저항성 또는 저항성 반응을 보인 단인자 저항성 계통은 IRBLz5-CA, IRBLzt-T, IRBL9-W, IRBL19-A, IRBL20-IR24, IRBLkm-Ts, IRBLta2-PI, IRBLta-CP1, IRBLz5-CA-1으로, 이는 Piz-5, Piz-t, Pi9(t), Pi19(t), Pi20(t), Pik-m, Pita2, Pita가 철원 이하 권역의 분포한 벼도

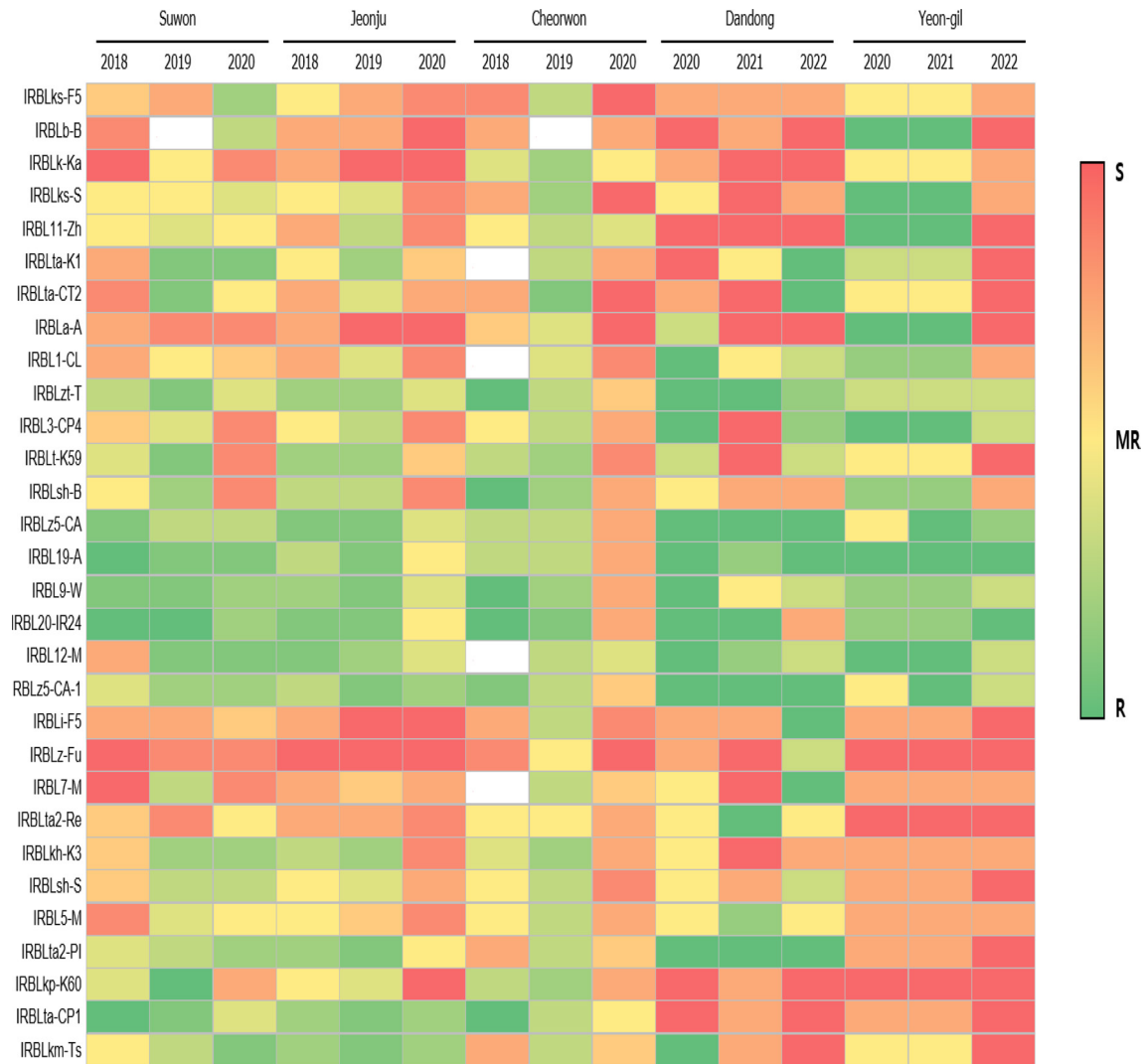


Fig. 1. The reaction of monogenic resistant lines against the border regions of North Korea in South Korea and China isolates in 2018 to 2022. Heatmap of resistant reactions of monogenic lines against the North Korea of border regions in South Korea isolates and China isolates.

열병에 효과가 있는 저항성 유전자라는 것을 의미하며 추후 저항성 벼 품종 육성에 활용 가능할 것으로 판단된다(Fig. 1, Supplementary Table 1). 2020년부터 2022년까지 중국의 북한 접경지역인 단둥과 연길에서 단일자 저항성 계통을 이용한 발목자리 검정 결과, 단둥에서는 IRBLz5-CA, IRBLzt-T, IRBL12-M, IRBL19-A, IRBLta2-Pi, IRBLz5-CA-1 등이 3년 연속 저항성 반응을 보였고 연길에서는 IRBLzt-T, IRBL3-CP4, IRBL9-W, IRBL12-M, IRBL19-A, IRBL20-IR24 단일자 계통이 3년 연속 저항성 반응을 보였다(Fig. 1). 단둥과 연길 두 지역에서 3년 동안 공통적으로 중도저항성 또는 저항성을 보인 단일자 저항성 계통은 IRBLz5-CA, IRBLzt-T, IRBL9-W, IRBL12-M, IRBL19-A 그리고 IRBLz5-CA-1으로, 특히 IRBL19-A는 3년 동안 아주 강한 저항성 반응을 보였다. 한편, 두 지역에서 상반

된 병 반응을 보인 단일자 저항성 계통도 발견되었다. IRBL5-M과 IRBLta2-Re, IRBLta2-PI는 단둥에서 연속적으로 저항성 반응을 보인 반면 연길에서는 감수성 반응을 보였다. 또한 IRBLa-A, IRBLsh-B, IRBLkm-Ts는 단둥에서 2020년 중도저항성 또는 저항성 반응을 보였지만 2021년부터 감수성 반응을 보였고, 연길에서는 IRBLa-A, IRBLks-F5, IRBLks-S, IRBLk-Ka, IRBLta-K1, IRBLta-CT2, IRBLb-B, IRBLt-K59, IRBLsh-B, IRBL1-CL, IRBL11-Zh, IRBLkm-Ts가 2020년과 2021년 중도저항성 또는 저항성 반응을 보이다 2022년 감수성 반응을 나타냈다(Fig. 1, Supplementary Table 2). 이는 각 저항성 유전자가 시간이 지남에 따라 붕괴되는 현상을 보이는 것으로 단둥과 비교하였을 때 연길에서 보다 많은 저항성 유전자가 붕괴된 것을 알 수 있었다.

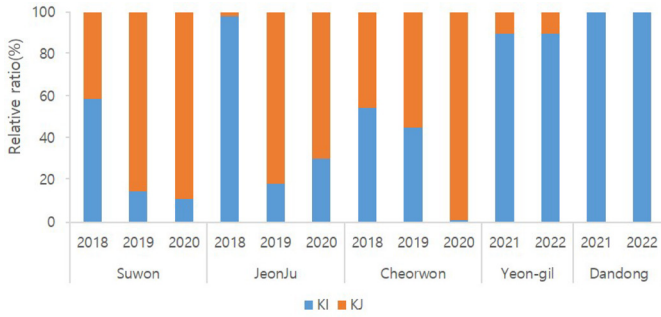


Fig. 2. Distribution ratio of KJ/KI races of rice blast isolated from Cheorwon, Suwon, and Jeonju from 2018 to 2020, and ratio of KJ/KI races of rice blast isolated from Dandong and Yeon-gil, border regions of North Korea within China, from 2020 to 2022.

연차별 및 지역별 주요 벼도열병균의 race 분포도. 2018년 한국에서의 벼도열병균 KJ/KI 레이스 분포 비율은 35:65로 KI 레이스가 높게 나타났다. 지역별로 분포하는 KJ/KI 레이스 비율은 수원과 전주가 각각 41:59와 2:98로 KI 레이스가 높게 분포하고 있었고, 철원은 46:54으로 KJ 레이스와 KI 레이스가 비슷한 수준으로 분포하고 있었다(Fig. 2). 한국에 분포한 벼도열병균의 KJ 레이스는 5종, KI 레이스는 30종으로 다양하였고(Fig. 3), 이 중 우점하는 레이스는 KI-101 (11.8%), KI-201 (6.1%), KJ-201 (11.8%), KJ-101 (10.5%), KJ-301 (6.6%)로 나타났다(Fig. 2). 지역별 우점 레이스 분석 결과 수원에서는 KI-101 (18.7%), KJ-101 (22.7%), KJ-201 (17.3%)가 높은 점유율을 보였으며, 전주에서

는 KI-101 (24%), KI-201 (18%), KI-301 (12%), KI-401 (14%)가 높은 점유율을 보였다. 철원에서는 KI-209 (14.6%), KI-409 (7.8%), KJ-101 (10.5%), KJ-201 (11.8%)가 높은 점유율을 나타내었다 (Table 1).

2019년 한국의 벼도열병균 KJ/KI 레이스 분포 비율은 75:25로 KJ 레이스가 높게 나타났다. 지역별로 분포하는 KJ/KI 레이스 비율은 수원과 전주가 각각 85:15와 83:17로 KJ 레이스가 높게 분포하고 있었고, 철원은 57:43으로 KJ 레이스와 KI 레이스가 비슷한 수준으로 분포하고 있었다(Fig. 2). 한국에 분포하고 있는 벼도열병균의 KJ 레이스는 11종, KI 레이스는 31종으로 다양하였고(Fig. 3), 이 중 우점 레이스는 KJ-201 (36%), KJ-101 (15%), KJ-301 (11%)로 나타났다(Table 1). 지역별 우점 레이스는 수원과 전주에서 KJ-201 (55%, 41%)과 KJ-101 (18%, 22%)으로 나타났고, 철원에서 KJ-301 (25%)과 KJ-201 (12%)으로 나타났다(Table 1).

2020년 한국에서 벼도열병균 KJ/KI 레이스 분포 비율은 84:16으로 KJ 레이스가 높게 나타났으며, 2019년(KJ:KI=75:25)에 비해 KJ 레이스 비율이 12% 더 증가하였다(Fig. 1). 지역별로 분포하는 KJ/KI 레이스 비율은 수원, 전주, 철원이 각각 89:11, 69:31, 99:1로 3개 지역 모두 KJ 레이스가 높게 나타났다(Fig. 1).

지역별 우점 레이스는 전주, 수원에서 KJ-201 (42%, 57%)과 KJ-101 (13%, 31%)로 나타났고, 철원에서 KJ-301 (88%)로 나타났다(Table 1).

2021년과 2022년에 중국 단둥과 연길에서 수집한 벼도열병균 중 일부를 대상으로 KJ/KI 레이스 판별을 진행하였다. 레이

Table 1. The major race of rice blast pathogens that isolated on North Korea border area in Korea and China and inland in Korea during 2018 to 2021 year

Year	Region	KJ race isolates	KI race isolates
2018	Suwon	KJ-101 (23%), KJ-201 (17%), KJ-ect (1%)	KI-101 (19%), KI-ect (40%)
	Jeonju	KJ-101 (2%)	KI-101 (24%), KI-201 (18%), KI-401 (14%), KI-301 (12%), KI-165 (10%), KI-ect (20%)
	Cheorwon	KJ-201 (14%), KJ-301 (14%), KJ-ect (18%)	KI-209 (14%), KI-409 (8%), KI-ect (32%)
2019	Suwon	KJ-201 (56%), KJ-101 (18%), KJ-ect (11%)	KI-401 (3%), KI-249 (3%), KI-ect (9%)
	Jeonju	KJ-301 (25%), KJ-201 (12%), KJ-ect (17%)	KI-101 (5%), KI-209 (5%), KI-ect (32%)
	Cheorwon	KJ-201 (40%), KJ-101 (22%), KJ-ect (20%)	KI-401 (3%), KI-ect (15%)
2020	Suwon	KJ-201 (57%), KJ-101 (31%), KJ-105 (1%)	KI-1113 (5%), KI-ect (6%)
	Jeonju	KJ-201 (42%), KJ-101 (12%), KJ-ect (15%)	KI-409 (8%), KI-ect (23%)
	Cheorwon	KJ-301 (88%), KJ-105 (5%), KJ-ect (6%)	KI-329 (1%)
	Dandong	-	KI-101 (14%), KI-1113 (7%)
	Yeon-gil	KJ-101 (7%)	KI-306 (14%), KI-201 (7%), KI-ect (62%)
2021	Dandong	-	KI-1113 (20%), KI-405 (20%), KI-ect (60%)
	Yeon-gil	KJ-101 (10%)	KI-306 (20%), KI-1113 (10%), KI-ect (70%)

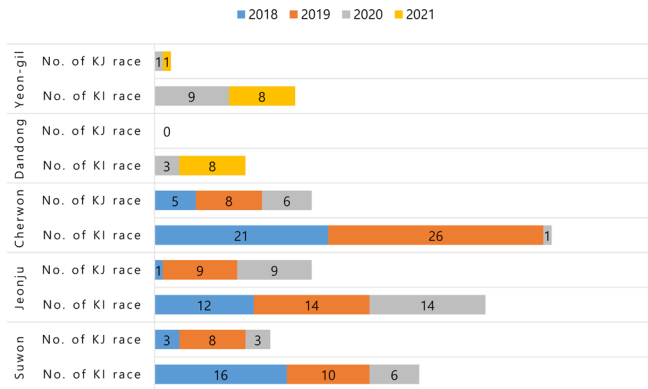


Fig. 3. The number of KI/KJ race types of rice blast pathogens separated from the inland areas of South Korea, Suwon and Jeonju, as well as the border areas of North Korea, Cheorwon, and the border areas of North Korea in China, Dandong and Yeon-gil.

스 분석에 사용한 균주의 수가 남한에서 분석한 균주에 비해 양이 적기 때문에 북한에 존재하는 벼도열병균의 레이스 분포를 대표할 수 없지만, 분포 경향을 파악하기 위해 분석을 진행하였다. 중국의 북한 접경지역 단둥과 연길에서 수집한 벼도열병균의 레이스를 확인해 본 결과 2021년, 2022년 모두 KJ/KI 레이스 분포 비율이 7:93, 5:95로 대부분이 KI 레이스로 분류되었다(Fig. 2). 단둥의 경우 오직 KI 계열의 레이스만 분류되었고, 2021년에 KI-101이, 2022년에는 KI-405, KI-1113이 가장 많이 분리되었다(Table 1). 연길에서는 KJ 레이스 중 오직 KJ-101만이 분류되었고 나머지는 모두 KI 레이스로 분류되었다(Fig. 3). KI-306은 2년 연속 높은 비율로 분리되어 우점하고 있는 레이스로 중 하나로 판단된다. 중국내 북한 접경지역과 남한내 북한 접경지역에서 분포하는 벼도열병균의 주요 레이스 분포를 비교한 결과 2018년부터 2020년까지 남한에서 분리한 균주의 대부분은 KJ 계열이 우점을 이뤘다면, 중국에서 분리한 주요 벼도열병균 레이스는 KI 계열이 우점하여 고위도 북한 접경지역과 국내 도열병균의 레이스 분포는 상이한 것으로 판단된다(Table 1, Fig. 2). 2020년 한해 중국의 단둥과 연길 그리고 한국내 북한

접경지역인 철원과 내륙지역인 수원과 전주의 주요 벼도열병균 race를 비교 분석해 보면 중국과 단둥의 우점 race는 KI 계열이나 한국의 철원, 수원, 전주의 경우 KJ 계열의 race가 우점이었다(Fig. 4). 남한과 중국내 북한 접경지역에서 분리된 도열병균의 유사점은 KI 계열의 도열병균 race의 다양성이 KJ보다 높았다(Fig. 3). 그러나, 중국내 북한 접경지역에서 분리한 KJ 레이스 중 KJ-101는 적은 수이지만 2년 연속 분리되었고, 남한에서 높은 비율로 존재하여 남북한 모두 KJ-101에 대한 저항성 품종 육성이 필요할 것으로 생각된다. KI-306의 경우 중국에서 우점으로 발견되며, 한국에서는 그 분포율이 낮아 북한 접경지역에서 해당 레이스에 속한 균주의 유입 가능성에 대해 대비해야 할 필요성이 있다.

이전 연구인 2018년 백령도, 고성 등 남한내 북한 접경지역에서 분석한 벼도열병균 레이스(Chung 등, 2019)와 본 연구에서 분리한 중국의 북한 접경지역의 벼도열병균 레이스 분포를 비교하면, 2021년부터 2022년까지 중국의 북한 접경지역인 단둥과 연길에서는 KI 레이스 계열이 우점이었다. 반면, 2018년 백령도, 고성에서 분리한 균주들은 KJ 레이스 계열의 벼도열병균이 우점하였다. 또한, 2018년부터 2020년까지 조사한 남한 내 북한 접경지역인 철원 지역의 주요 레이스도 KJ계열로 중국내 북한 접경지역에서 분리한 레이스들과 차이가 있음이 확인되었다. 반면, 지역에 따른 도열병의 분포의 차이와 달리 단인자계통에 대한 저항성 반응에서 선별된 IRBL9-W, IRBLIR-24 같은 저항성 단인자 계통의 발견은 중국 및 남한내 북한 접경 지역 모두에서 저항성 반응을 보여 향후 저항성 자원으로써 활용도가 높을 것을 판단된다.

Chung 등(2019)에 따르면 북한 주요 벼 품종을 대상으로 남한의 주요 벼도열병균 18개 레이스에 대해 병 저항성 검정을 수행한 결과 길주1호는 남한의 대표 레이스에 대해 강한 저항성을 보였고, 평양21호, 평도5호는 거의 모든 레이스에 대해 감수성 반응을 나타내었다. 길주1호의 경우 자연에서 발생하는 벼도열병에 대해서도 강한 저항성 반응을 보여, 남한에서 발생한

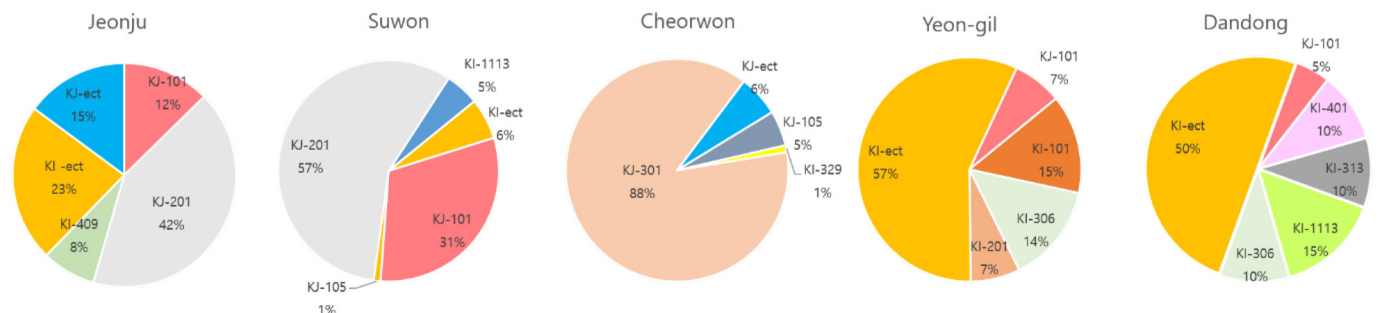


Fig. 4. The major race distribution ratios of rice blast pathogen separated from the inland areas of South Korea, Suwon and Jeonju, as well as the border areas of North Korea, Cheorwon, and the border areas of North Korea in China, Dandong and Yeon-gil in 2020.

벼도열병균에 강한 저항성 품종으로써 활용 가능성을 입증하였다. 반면 평도5호는 자연계에서 발생한 벼 도열병에 대해 감수성 반응 보여 남한의 벼도열병균이 북한으로 유입할 경우 벼도열병 발생에 의한 피해가 우려되는 품종으로 분석되었다. 또한 벼도열병균 레이스가 동일하더라도 균주마다 품종에 대한 병원성을 나타내고, 동일한 품종이라도 재배지역에 따라 다른 레이스 분포로 감수성 반응을 보일 수 있다. 따라서 벼도열병균의 레이스 분포 연구와 함께 유전자 정보를 기반한 병원성 특성에 대한 연구도 이루어져야 한다. 벼 도열병의 저항성 발현은 벼의 저항성 유전자와 병원균의 비병원성 유전자의 상호작용에 의해 나타나는 점을 감안하여 벼 재배지역에서 발생하는 벼도열병균의 병원성 관련 유전자 분포 다양성과 품종의 저항성 유전자 파악을 통한 병 저항성 증진 연구가 시급히 필요하다. 종합하자면 본 연구는 북한과 남한에서 발생하는 벼도열병균의 KJ/KI 레이스를 파악하고 지역별로 효과가 있는 저항성 유전자를 탐색하여 병 발생에 대비한 저항성 품종 육성에 중요한 기초 자료가 될 것이다.

요 약

한국은 오랫동안 벼 도열병 방제 연구를 진행해왔고 다양한 방제 체계를 구축하고 있으나 벼 도열병은 지속적으로 변이가 이뤄지기 때문에 항상 벼 도열병에 대한 예찰과 방제를 위한 연구가 필요하다. 북한은 남한으로의 벼 도열병 원인균이 유입될 수 있는 주요 경로 중 하나임으로 북한에서 발생하는 벼 도열병의 균주 분포와 다양성 연구는 한국에서 발생할 수 있는 벼도열병 방제 연구에 중요한 자료일 수밖에 없다. 2018년도 철원과 수원에서 분리한 균주는 KI와 KJ의 점유율이 유사한 수준이었으나 이후 진행된 연구 결과에서는 레이스 분포에 변화가 나타났다. 수원은 2018년 KI/KJ 레이스의 점유율이 유사했으나 2019년 2020년으로 갈수록 KJ레이스의 점유율이 높아졌고 전주의 경우 2019년 KJ/KI 레이스 점유율이 역전된 후 2020년까지 KJ 레이스의 점유율은 높게 유지되었다. 철원의 경우 2018년부터 2019년까지 KJ/KI 레이스 비율이 유사하였는데 2020년에는 거의 KJ 레이스만 분포하는 것을 발견하였다. 반면 고위도 지역인 중국 내 북한 접경지역인 단둥과 연길에서 분리한 도열병균의 레이스 분포를 비교 분석하면, 국내의 도열병 레이스 변화와 달리 2021년부터 2022년까지 중국의 북한 접경지역인 단둥과 연길에서는 KI 레이스가 우점이었다. 단일자 계통 저항성 검정 실험에서는 IRBL9-W, IRBLIR-24 계통이 국내와 고위도 북한 접경지역 모두 공통의 저항성원으로 분류되었다. 비록 남한 및 중국 내 북한 접경지역에서의 벼도열병균의 레이스 분석 연도

의 차이가 있어 직접적인 비교는 어려우나 중국의 접경지역과 남한의 벼도열병균 레이스의 지역간 비교는 도열병 방제 체계 구축에 중요한 자료로 판단된다.

Conflicts of Interest

No potential conflicts of interest relevant to this article were reported.

Acknowledgments

This study was carried out with the support of the Rural Development Administration's research project (Project No. RS-2020-RD009426).

Electronic Supplementary Material

Supplementary materials are available at Research in Plant Disease website (<http://www.online-rpd.org/>).

References

- Bandong, J. M. and Ou, S. H. 1966. The physiological races of *Pyricularia oryzae* Cav. in the Philippines. *Philipp. Agric.* 49: 655-667.
- Cho, Y. S., Song, M. T., Jeong, E. G., Jeong, O. Y., Kim, H. Y., Hwang, H. G. et al. 2002. Diversity of agronomic characteristics of North Korean rice cultivars. *Korean J. Breed. Sci.* 34: 316-321.
- Chung, H., Jeong, D. G., Lee, J.-H., Kang, I. J., Shim, H.-K., An, C. J. et al. 2022. Outbreak of rice blast disease at Yeosu of Korea in 2020. *Plant Pathol. J.* 38: 46-51.
- Chung, H., Roh, J.-H., Yang, J.-W., Shim, H.-K., Jeong, D. G., Kim, J. Y. et al. 2019. Rice blast populations isolated from the border area of North Korea. *Res. Plant Dis.* 25: 164-172. (In Korean)
- Goh, J., Kim, B.-R., Lee, S.-W., Roh, J.-H., Shin, D.-B., Jeung, J.-U. et al. 2013. Selection of representative *Magnaporthe oryzae* isolates and rice resistant gene types for screening of blast-resistant rice cultivar. *Res. Plant Dis.* 19: 243-253. (In Korean)
- 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)
- Hong, H. C., Jeong, K. H., Won, Y. J., Ahn, E. K., Hyun, U. J., Yang, C. I. et al. 2017. Comparison on agricultural characteristics of North Korean rice germplasm between central plain and mid-northern plain in Korea. *J. Korean Soc. Int. Agric.* 29: 433-438.
- International Rice Research Institute. 1988. Standard Evaluation System for Rice. 3rd ed. International Rice Research Institute, Los Baños, Philippines. 54 pp.

- Kang, W. S., Seo, M.-C., Hong, S. J., Lee, K. J. and Lee, Y. H. 2019. Outbreak of rice panicle blast in southern provinces of Korea in 2014. *Res. Plant Dis.* 25: 196-204.
- 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. Rep. RDA (PM & U)* 29: 206-213. (In Korean)
- Li, Y. B., Wu, C. J., Jiang, G. H., Wang, L. Q. and He, Y. Q. 2007. Dynamic analyses of rice blast resistance for the assessment of genetic and environmental effects. *Plant Breed.* 126: 541-547.
- Park, N. K. 1993. Classification of rice cultivars by the rice leaf blast reaction and its utilization for breeding. Ph.D. dissertation. Chungnam National University, Daejeon, Korea. 97 pp. (In Korean)
- Roh, J. H., Cho, Y. C., Kim, Y. G., Oh, I. S., Lee, J. Y. and Han, S. S. 2007. Blast resistance of high quality rice cultivars. *Korean J. Breed. Sci.* 39: 288-295. (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)
- Yamada, M. and Lee, E. J. 1978. Infection of rice blast disease in the uniform type of rice variety in Korea. *Plant Prot.* 36: 14-19. (In Japanese)