

우리나라 남부지방에서의 2014년 벼 이삭도열병 대발생

Outbreak of Rice Panicle Blast in Southern Provinces of Korea in 2014

***Corresponding author**

Tel: +82-63-238-3313

Fax: +82-63-238-3838

E-mail: leeyhlee@korea.kr

강위수¹ · 서명철² · 홍성준³ · 이경재³ · 이용환^{1*}¹농촌진흥청 국립농업과학원 작물보호과,²농촌진흥청 국립식량과학원 작물재배생리과,³농촌진흥청 농촌지원국 재해대응과**Wee Soo Kang¹, Myung-Chul Seo², Seong Jun Hong³, Kyong Jae Lee³, and Yong Hwan Lee^{1*}**¹Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea²Crop Production & Physiology Division, National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea³Disaster Management Division, Extension Service Bureau, Rural Development Administration, Jeonju 54875, Korea

Rice panicle blast occurred severely in southern provinces of Korea in 2014. The proportion of panicle blast incidence area to cultivated area of rice were 11.0% and 14.6% in Jeollanam-do and Gyeongsangnam-do, respectively. To identify the causal factors of the outbreak, we investigated weather conditions in August, amount of cultivated area of mainly grown cultivars, and nitrogen contents in plants with different disease incidences in 2014. 'Saenuri,' 'Ilmibyeo,' 'Unkwang,' 'Dongjin 1 ho,' 'Nampyeongbyeo,' and 'Hwangkeumnuri' were mainly grown cultivars. Monthly average of daily air temperature in August 2014 was 3.2°C and 3.1°C less than 2018 in Haenam and Miryang, respectively. Rainfall in August 2014 was 70.0% and 42.0% greater than 2018 in Haenam and Miryang, respectively. The numbers of blast warning days in August calculated nationwide using a forecast model for blast infection were higher in 2014 than in 2018, and they were in high level throughout the country in 2014. Nitrogen contents in plant samples from high-incidence plots were significantly higher than those from low-incidence plots. Consequently, excessive use of nitrogen fertilizers was the main factor for the disease outbreak at the level of specific farms, in addition to the collective cultivation of susceptible cultivar, low temperatures and frequent rainfalls in August.

Keywords: Nitrogen fertilizers, Outbreak, Rice cultivar, Rice panicle blast, Weather factors

Received November 30, 2019

Revised December 19, 2019

Accepted December 20, 2019

서론

1970년대에 통일계 벼 품종이 재배되기 시작한 이후 1975년

과 1978-1980년에 잎도열병과 이삭도열병이 전국적으로 대발생하였다(Lee와 Park, 1979). 그 이후 1999년과 2000년(Han 등, 2001), 2003년에 이삭도열병이 비교적 심하게 발생한 사례가 있다(Lee 등, 2010).

이삭도열병은 출수기부터 호숙기에 이르는 기간의 기상 조건에 따라서 불규칙하게 발생하고, 병 발생에 적합한 기상, 시기,

Research in Plant Disease

pISSN 1598-2262, eISSN 2233-9191

www.online-rpd.org

품종, 병원균 등의 조건이 갖추어지면 대발생하여 쌀의 수량과 품질이 크게 저하될 수 있기에 발생하기 전에 예방하는 것이 중요하다(Lee 등, 2010). 잎도열병과 더불어 이삭도열병의 발병은 질소시비량과 높은 정의 상관관계를 보이는데(Lee 등, 1973), 질소시비량이 20 kg/10a인 수준까지는 발병율이 고도로 유의한 증가를 보인다고 한다(Ahn 등, 1985). Baek (1970)은 품종 간에 도열병 저항성의 차이와 벼 체내 성분의 관계를 분석한 결과로 저항성 품종이 감수성 품종보다 질소함량이 적고 당의 함량은 많아서 C/N율이 높다고 보고하였다. 또한, 질소시비량을 증가시키면 벼 체내 질소함량은 높아지는데 저항성 품종에서는 그 증가율이 낮고, 당의 함량은 분얼 초기에 감소하고 분얼최성기에 증가하는데 저항성 품종에서의 그 감소율과 증가율이 감수성 품종에서보다 크다고 하였다.

도열병균의 레이스는 분리한 벼 품종, 채집한 지역 등에 따라서 종류와 비율이 다양하게 차이가 나고(Shim 등, 2012), 새로운 레이스가 출현하고 그 비율이 증가할 수 있다(Han 등, 1998). 1970년대 후반에 통일형 품종들의 재배가 확대되면서 이 품종을 침해할 수 있는 레이스가 출현하고 급격히 증가하여 도열병이 대발생하였다(Han, 1995).

이처럼 이삭도열병의 발생은 시기에 따른 기상 조건, 벼 품종의 저항성 또는 감수성 정도, 질소시비 수준, 도열병균의 레이스 분포가 주요 인자인 것으로 알려져 있다. Lee와 Park (1979)은 1978년 통일형 품종 벼의 목도열병 대발생의 원인을 출수기 전후의 고온다습, 높은 강우빈도, 많은 강우량, 적은 일조시수와 일조량 등의 기상 조건과, 과다한 질소질 비료 사용으로 벼 체내 질소 함량이 높아서 도열병균의 침입이 용이해졌고, 기주의 단순한 유전적 구성으로 특정한 도열병균 레이스가 급증한 것 등으로 분석하여 보고하였다. 본 연구에서는 2014년도에 전남과 경남의 일부 지역에서 이삭도열병이 대발생한 것에 대하여, 이와 같은 기상 조건, 감수성 품종의 재배면적비율, 벼 체내 질소함량 등의 인자들을 분석함으로써 특정 지역에 많이 발생한 주요 원인을 구명하였다.

재료 및 방법

시도별 이삭도열병 발생면적 및 벼 품종별 재배면적 조사. 이삭도열병 발생면적은 농촌진흥청에서 주관하여 전국의 각 시군 농업기술센터에서 농작물 병해충 예찰 방제 요강(Rural Development Administration, 2013)에 따라 조사하는 벼 관찰포 조사 결과를 활용하였다. 벼 관찰포 조사는 전국 136개 시군을 대상으로 시군별 재배면적에 따라 일반 재배 필지 중에서 3-9개의 표본 필지를 선정하고 이삭도열병은

8월 16일과 30일, 9월 16일에 조사한다. 이삭도열병 발생면적은 각 시군의 조사대상 필지별로 이삭도열병 병든이삭을 조사하여 발생 정도 기준(소, 1-5%; 중, 6-10%; 다, 11-20%; 심, ≥21%)에 따라 구분하고 다음의 계산식(Eq. 1)에 따라 시군별 발생면적을 추산하고 각 도의 시군별 발생면적을 합산하여 시도별 발생면적을 구한다(Rural Development Administration, 2013).

$$\text{시군별 발생면적 (ha)} = \sum_{\text{발생정도=소}}^{\text{심}} \frac{\text{발생 정도별 발생 필지 면적 (ha)}}{\text{발생 정도별 조사 필지 면적 (ha)}} \times \text{총 논면적 (ha)} \quad (1)$$

2014년 전국 각 시도에서 재배된 벼 품종들의 재배면적은 농촌진흥청 농촌지원국 주관으로 전국의 8개 도농업기술원과 136개 시군 농업기술센터에서 조사한 결과를 활용하였다. 각 시도에서 재배 면적이 10,000 ha 이상인 품종들에 대하여 품종별 도열병 저항성 정보를 수집하였다.

이삭도열병 발생에 영향을 미치는 기상 요인 분석. 출수기 동안의 기상 특성을 확인하기 위하여 일별 종관기상관측자료와 일별 평년기후자료를 기상청에서 운영하는 기상자료개방포털(<http://data.kma.go.kr>)로부터 수집하였다. 2014년에 병이 많이 발생한 남부지방의 시군 가운데 전남 해남과 경남 밀양에서 관측된 기상 자료로부터 8월 한 달 동안의 일평균기온의 평균값(°C), 총 강수량(mm), 강우일수(day), 평균일조시간(hr/day)을 구해서 대발생한 해(2014년), 소발생한 해(2018년), 평년(1981-2010년) 기후자료 간에 서로 비교하였다. 또한, 이삭도열병 발생에 영향을 미치는 기상 요인을 전국 단위로 비교 분석하기 위하여 도열병 감염 위험도 예측 모형(Park 등, 2012)을 다음과 같이 활용하였다. 이삭도열병이 대발생한 해(2014년)와 소발생한 해(2018년)에 대하여 기상청의 일별 종관기상관측자료로부터 거리제곱역산가중법(inverse squared distance weighting)이라는 공간 내삽법을 적용하고, 특히 기온의 경우에는 고도 보정 방법을 추가로 적용하여 전국에 대하여 1 km×1 km 격자해상도로 일평균기온(°C), 일강수량(mm), 일평균상대습도(%)의 상세 기후 지도를 작성하였다(Yun 등, 1999). 일최저기온이 13°C 이상인 날이 3일 이상 지속될 때 그 첫날을 이상일로 추정하여 이상일 지도와 일별 상세 기후지도를 이용하여 도열병 감염 위험도 예측 모형을 계산하여 1 km×1 km 격자해상도로 연도별 도열병 감염 경보 발생일수 지도를 작성하였다. 도열병 감염 위험도 예측 모형은 일평균기온, 일평균상대습도, 일강수량을 이용하여 기온, 상대습도, 강우 각각에 의한 감염 위험도를 종합하여 일별 감염 위험도를 계산하고, 이 값이 특정 수준(본 연구에

서는 위험도의 최대치인 4로 설정함) 이상이 되면 일별 감염 경보를 내 보낸다(Park 등, 2012). 일별 정보가 해당 연도의 8월 중 발생한 횟수를 이용하여 도열병 감염 경보 발생일수 지도를 작성하였다.

이삭도열병 발생 정도에 따른 식물체 내 총질소 함량 및 C/N율 조사. 식물체내 질소함량이 이삭도열병 발생에 미치는 영향을 분석하기 위하여 2014년에 병이 심하게 발생한 전남 해남과 나주, 경남 밀양에서, 동일한 품종을 재배하는 인접 필지들 중에서 병이 심하게 발생한 필지(병든이삭률 \geq 60%)와 적게 발생한 필지(병든이삭률 \leq 10%)를 선정하였는데, 조사 품종이 해남은 히토메보레, 나주는 일미벼, 해남은 동진1호였다. 각 필지별로 필지를 대각선으로 나누고 대각선상에서 3개 지점을 선정하여 지점별로 20주씩 병든이삭률을 조사하고, 주 전체를 채집하여 잎을 포함한 줄기부분과 이삭으로 구분하여 총질소 함량과 C/N율을 조사하였다.

총질소 함량 분석은 켈달법을 사용하였는데, 풍건한 식물체 0.1 g을 켈달플라스크에 넣고 황산(H_2SO_4) 5 ml를 가하여 분해한 후 NaOH 용액 50 ml를 넣고 증류한 후 얻어진 용액을 H_2SO_4 표준용액으로 적정하여 총질소 함량을 산출하였다. 식물체의 탄소(C) 함량은 CN 원소분석기를 이용하여 분석한 후 총질소 함량으로 나누어 C/N율을 구하였다(National Institute of Agricultural Sciences, 2010).

벼 예찰포에서의 이삭도열병 발병 환경 분석. 기상과 질소 시비량이 이삭도열병 발생에 미치는 영향을 분석하기 위하여 농업기술센터에서 운영하는 벼 예찰포 중 병이 많이 발생하였던 동진1호 품종을 재배한 창원을 포함하여 밀양, 의령, 함안, 창녕, 산청에서의 조사 결과를 활용하였다. 벼 예찰포는 농작물 병해충 예찰방제 요강(Rural Development Administration, 2013)에 따라 표준시비구와 배량시비구로 구분하여 표준시비구에서는 지역의 표준 질소시비량을, 배량시비구에서는 표준시비량 대비 배량 이상의 질소질 비료를 사용하고, 지역에 적합한 방법에 따라 관리하면서 이삭도열병을 10일 간격으로 조사한다. 대상 시군별로 벼 출수기와 질소시비량(kg/10a), 이삭도열병 병든이삭률(%)을 조사하고, 해당 지역의 기상청 종관기상관측자료를 활용하여 출수기 5일 전부터 5일 후까지 총 11일 동안의 일평균기온의 평균값($^{\circ}C$), 총 강우량(mm), 강우일수(day), 평균일조시간(hr/day)을 구하였다. 일평균기온의 평균값, 강우량, 강우일수, 평균일조시간과 질소시비량은 다음의 계산식(Eq. 2)으로 표준화하였다.

$$X' = \frac{X - \bar{X}}{s}$$

X' : 조사값을 표준화한 결과
 X : 조사값
 \bar{X} : 조사값의 평균
 s : 조사값의 표준편차

(2)

병든이삭률은 다음의 계산식(Eq. 3)으로 로그값을 취한 후, 표준화한 일평균기온의 평균값, 강우량, 강우일수, 평균일조시간, 질소시비량과의 상관분석을 실시하였다.

$$S' = \log(S+1)$$

S' : 병든 이삭률에 로그를 취한 값
 S : 병든 이삭률(%)

(3)

결 과

시도별 이삭도열병 발생면적 및 벼 품종별 재배면적 비교. 벼 관찰포 조사에 의한 2014년도의 시도별 이삭도열병 발생면적은 Table 1과 같다. 전국적으로 재배면적의 4.0%에 발생하였고, 특히 전남이 11.0%, 경남이 14.6%로 대발생하였고, 9.0%에 달한 광주광역시를 제외한 나머지 시군들은 모두 2% 미만의 면적에서 발생하여 지역 간에 큰 차이를 보였다. 2014년의 각 시도별 주요 재배 품종 중 재배면적이 10,000 ha 이상이 되는 품종들의 재배면적과 도열병 저항성 정도를 조사한 결과는 Table 2와 같다. 경기는 도열병에 감수성인 충청벼(재배면적비율 55.8%)가, 충북도 충청벼(40.0%)가, 강원은 중도저항성인 오대벼(42.6%)가 주 재배 품종이었다. 충남은 새누리(36.3%), 삼광(16.4%), 황금누리(12.2%), 황금노들(9.0%)이 주 재배 품종이었고 모두 중도저항성 품종이다. 전북은 신동진(41.9%), 새누리(19.0%), 황금누리(11.4%), 동진찰(8.4%)이 주 재배 품종이었고 신동진과 동진찰이 감수성 품종이다. 전남은 새누리(35.3%), 일미벼(13.5%), 황금누리(12.7%), 운광(7.8%)이 주 재배 품종이었고 일미벼는 감수성이고 운광은 저항성 품종이다. 경북은 일품벼(41.4%), 삼덕(9.4%), 삼광(9.4%), 운광(9.2%)이 주 재배 품종이었고 일품벼가 감수성이고 삼덕과 삼광이 중도저항성 품종이다. 경남은 동진1호(23.4%), 일미벼(15.6%), 남평벼(13.6%)가 주 재배 품종이었고 동진1호와 남평벼는 중도저항성 품종이다.

이삭도열병 발생에 영향을 미치는 기상요인 분석. 이삭도열병이 대발생한 남부지방의 시군 중에서 해남과 밀양의 8월 기상을 분석한 결과는 Table 3과 같다. 일평균기온($^{\circ}C$)의 8월 평균값은 해남에서 2014년이 2018년보다 $3.2^{\circ}C$ 가 낮았고 평년보다는 $1.5^{\circ}C$ 가 낮았던 반면에, 2018년은 평년보다 $1.7^{\circ}C$ 가 높

Table 1. Occurrences of rice panicle blast in each province of Korea in 2014

Province	Rice cultivated area (ha)	Incidence area according to disease severity level ^a (ha)					Percent incidence area (%)
		Low	Medium	High	Severe	Total	
Gyeonggi-do	93,563	356.6	0.0	0.0	0.0	356.6	0.4
Gangwon-do	33,248	147.1	4.4	4.4	0.0	155.9	0.5
Chungcheongbuk-do	38,953	314.7	0.0	0.0	0.0	314.7	0.8
Chungcheongnam-do	151,200	73.4	0.0	0.0	0.0	73.4	0.1
Jeollabuk-do	124,250	482.7	0.0	0.0	0.0	482.7	0.4
Jeollanam-do	168,014	16,042.9	1,550.0	793.6	74.4	18,460.9	11.0
Gyeongsangbuk-do	113,507	1,182.1	226.5	0.0	0.0	1,408.6	1.2
Gyeongsangnam-do	78,862	9,230.9	2,138.8	86.4	43.2	11,499.3	14.6
Busan-si	3,346	37.6	0.0	0.0	0.0	37.6	1.1
Incheon-si	16,930	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gwangju-si	5,400	0.0	486.0	0.0	0.0	486.0	9.0
Daejeon-si	1,398	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ulsan-si	5,703	76.0	0.0	0.0	0.0	76.0	1.3
Total	837,111	27,944.0	4,405.7	884.5	117.6	33,351.8	4.0

^aDisease severity level (low, 1–5%; medium, 6–10%; high, 11–20%; severe, ≥21%).

았다. 밀양에서도 2014년은 2018년보다 3.1°C가 낮았고 평년보다는 1.3°C가 낮았던 반면에, 2018년은 평년보다 1.8°C가 높았다. 즉, 대발생한 해는 소발생한 해와 평년보다 뚜렷하게 저온이었고, 소발생한 해는 평년보다 뚜렷하게 고온이었다. 8월의 총 강우량(mm)은 해남에서 2014년이 2018년보다 70.0% 많았고 평년보다 40.1% 많았던 반면에, 2018년은 평년보다 17.6% 적었다. 밀양에서는 2014년이 2018년보다 42.0% 많았고 평년보다 128.7% 많았는데, 2018년은 평년보다 58.9% 많았다. 즉, 대발생한 해는 소발생한 해와 평년보다 뚜렷하게 많은 강우량을 보였다. 8월 중 강우일수는 해남에서 2014년이 2018년보다 10일이 많았고 평년보다 7.3일이 많았던 반면에, 2018년은 평년보다 2.7일이 적었다. 밀양에서는 2014년이 2018년보다 4일이 많았고 평년보다는 4.7일이 많았는데, 2018년은 평년보다 0.7일이 많았다. 즉, 대발생한 해는 소발생한 해와 평년보다 뚜렷하게 강우일수가 많았고, 소발생한 해는 평년보다 적거나 비슷했다. 8월의 평균일조시간은 해남에서 2014년이 2018년보다 3.86시간이 짧았고 평년보다 4.14시간이 짧아 두 경우 모두 절반에도 미치지 못하였고, 2018년은 평년보다 0.27시간 짧았다. 밀양에서는 2014년이 2018년보다 4.05시간 짧았고 평년보다 3.46시간 짧아 두 경우 모두 절반에도 미치지 못하였고, 2018년은 평년보다 0.59시간 길었다. 즉, 대발생한 해는 소발생한 해와 평년보다 일조시간이 절반

에도 미치지 못하게 짧았고, 소발생한 해는 평년과의 차이가 1시간 미만으로 비슷한 수준이었다.

8월 중의 도열병 감염 경보 발생일수를 지도에 표출해 보면, 2014년에는 전남의 목포 인근 해안, 충남과 전북의 경계지역 해안 등지에서 높은 경보 발생일수를 보였고, 2018년에는 제주 서귀포시, 충남의 홍성과 예산 등과 동해안 지역에서 높은 경보 발생일수를 보였는데, 2014년은 전국적으로 대부분 지역에서 10일 이상의 경보 발생일수를 나타냈다(Fig. 1).

이삭도열병 발생 정도에 따른 식물체 내 총질소 함량 및 C/N을 비교. 2014년에 해남, 밀양, 나주에서 이삭도열병 발생 정도에 따른 벼 체내 총질소 함량을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 히토메보레 품종을 재배한 해남에서는 다발생한 필지가 병든 이삭률이 67.9%, 소발생한 필지가 5.5%였고, 벼 체내 총질소 함량은 이삭과 가지에서 모두 다발생한 필지의 시료가 함량이 높았고 통계적으로 매우 유의한 차이였다($P < 0.01$). C/N율은 이삭과 가지에서 모두 소발생한 필지의 시료가 비율이 높았고 이삭에서는 통계적으로 유의하고($P < 0.05$) 줄기에서는 매우 유의한 차이였다. 동진1호 품종을 재배한 밀양에서는 다발생한 필지가 병든이삭률이 96.2%, 소발생한 필지가 4.6%였고, 총질소함량은 이삭과 가지에서 모두 다발생한 필지의 시료가 함량이 높았고 통계적으로 매우 유의한 차이였다. C/N율은 이삭과 가지에

Table 2. Mainly grown rice cultivars, their resistance to blast, and cultivated area in each province of Korea in 2014

Province	Rice cultivar ^a	Resistance to rice blast ^b	Cultivated area (ha) of cultivar (%)	Rice cultivated area (ha)
Gyeonggi-do	Chucheongbyeo	S	52,191.1 (55.8)	93,563
Gangwon-do	Odaebyeo	MR	14,167.2 (42.6)	33,248
Chungcheongbuk-do	Chucheongbyeo	S	15,573.6 (40.0)	38,953
Chungcheongnam-do	Saenuri	MR	54,826.8 (36.3)	151,200
	Samkwang	MR	24,753.3 (16.4)	
	Hwangkeumnuri	MR	18,465.9 (12.2)	
	Hwanggeumnodeul	MR	13,619.7 (9.0)	
Jeollabuk-do	Sindongjin	S	52,090.4 (41.9)	124,250
	Saenuri	MR	23,651.8 (19.0)	
	Hwangkeumnuri	MR	14,136.9 (11.4)	
	Dongjinchal	S	10,378.9 (8.4)	
Jeollanam-do	Saenuri	MR	59,278.1 (35.3)	168,014
	Ilmibyeo	S	22,649.8 (13.5)	
	Hwangkeumnuri	MR	21,339.4 (12.7)	
	Unkwang	R	13,074.6 (7.8)	
Gyeongsangbuk-do	Ilpumbyeo	S	46,688.6 (41.4)	113,507
	Samdeog	MR	10,698.7 (9.4)	
	Samkwang	MR	10,689.0 (9.4)	
	Unkwang	R	10,448.3 (9.2)	
Gyeongsangnam-do	Dongjin 1 ho	S	18,420.5 (23.4)	78,862
	Ilmibyeo	S	12,310.6 (15.6)	
	Nampyeongbyeo	MR	10,707.6 (13.6)	

^aOnly cultivars having cultivated area of more than 10,000 ha were shown.

^bR, resistant; MR, moderate resistant; S, susceptible.

Table 3. Monthly weather characteristics in August in Haenam and Miryang

Monthly weather element	Haenam			Miryang		
	2014	2018	Climate normal	2014	2018	Climate normal
Average of daily air temperature (°C)	24.3	27.5	25.8	24.5	27.6	25.8
Total rainfall (mm)	347.2	204.2	247.8	528.7	372.3	234.3
Rainy days (day)	21	11	13.7	19	15	14.3
Average sunshine duration (hr/day)	3.05	6.91	7.18	2.51	6.56	5.97

서 모두 소발생한 필지의 시료가 비율이 높았고 통계적으로도 매우 유의한 차이였다. 일미벼 품종을 재배한 나주에서는 다발생한 필지가 병든이삭률이 77.7%, 소발생한 필지가 3.6%였고, 총질소함량은 이삭과 가지에서 모두 다발생한 필지의 시료가

함량이 높았으나 이삭에서만 통계적으로 매우 유의한 차이를 보였다. C/N율은 이삭과 가지에서 모두 소발생한 필지의 시료가 비율이 높았으나 이삭에서만 통계적으로 매우 유의한 차이를 보였다.

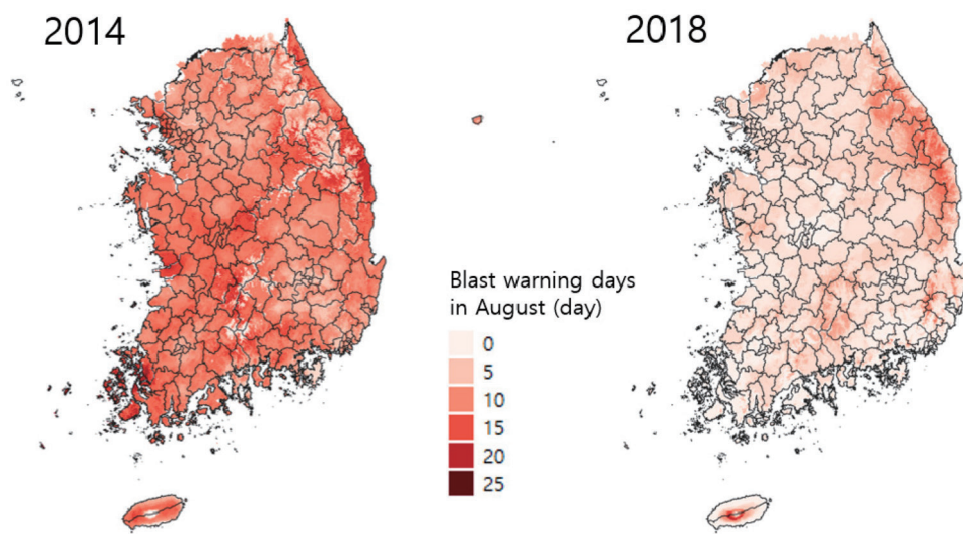


Fig. 1. Number of days with blast warnings in August in 2014 and 2018 calculated for each 1 km×1 km grid using the rice blast forecast model (Park et al., 2012).

Table 4. Total nitrogen contents and C/N ratio of panicles and stems in rice samples from high-incidence plots (% diseased panicles≥60%) and low-incidence plots (% diseased panicles≤10%)

Location (cultivar)	Disease incidence level	Total nitrogen content (%)		C/N ratio (%)		Percent diseased panicles (%)
		Panicle	Stem	Panicle	Stem	
Haenam (Hitomebore)	Low	1.15±0.04	0.62±0.14	36.22±1.48	66.38±15.50	5.5±4.4
	High	1.25±0.13	0.94±0.24	33.56±3.04	44.29±10.62	67.9±16.5
	t-value	2.283 ^a	3.712 ^a	2.378 ^b	3.651 ^a	
Miryang (Dongjin 1 ho)	Low	1.14±0.06	0.67±0.23	36.29±1.91	66.92±23.73	4.6±3.4
	High	1.38±0.13	1.20±0.39	31.19±2.60	37.51±12.81	96.2±2.9
	t-value	4.777 ^a	3.511 ^a	4.905 ^a	3.308 ^a	
Naju (Ilmibyeo)	Low	1.21±0.08	0.75±0.31	34.93±2.23	64.62±30.47	3.6±1.7
	High	1.32±0.07	0.94±0.18	32.10±1.23	44.42±8.81	77.7±31.2
	t-value	3.182 ^a	1.712	2.911 ^a	1.916	

^aA highly significant difference between samples from high-incidence plots and low-incidence plots ($P<0.01$).

^bA significant difference between samples from high-incidence plots and low-incidence plots ($P<0.05$).

벼 예찰포에서의 이삭도열병 발병 환경 분석. 경남 6개 시군의 벼 예찰포에서 질소시비량과 기상 조건이 이삭도열병 발생에 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 5와 같다. 질소시비량에 따른 병든이삭률(%; 표준시비구/배량시비구)은 창원이 1.0/3.8, 의령이 0.0/16.0, 함안이 6.3/11.5, 창녕이 0.0/5.0, 산청이 1.6/2.1이었고 밀양이 6.8/68.8로 표준시비구보다 배량시비구에서 병든이삭률이 높았다. 각 시군의 질소시비량(kg/10a; 표준시비구/배량시비구)은 함안과 산청이 9.0/18.0, 의령이 10.0/18.0, 창녕이 10.0/19.0, 창원이 12.0/22.0, 밀양이 10.8/32.4

였다. 출수기 당일과 전후 5일씩을 포함하여 총 11일 동안의 기상을 분석한 결과 일평균기온(°C)의 평균값이 22.8°C (의령, 함안)부터 24.3°C (밀양)까지로 6개 시군이 거의 비슷하였다. 총 강수량(mm)은 235.5 mm (산청)부터 334.5 mm (의령)까지 분포하였고, 강우일수(day)는 창원과 밀양이 7일, 함안과 창녕이 8일, 의령과 산청이 9일이었다. 평균일조시간(hr/day)은 강우량이 가장 많았던 의령이 1.7시간으로 가장 짧았고, 강우일수가 가장 적었던 창원이 3.7시간으로 가장 길었다.

질소시비량 및 기상요소들과 이삭도열병 병든이삭률과의 상

Table 5. Percent blast diseased panicles of rice cultivar, 'Dongjin 1 ho' grown in plots with two levels of nitrogen application, and weather conditions during heading periods in rice diseases and pests monitoring fields in 2014

Location	Percent diseased panicles (%)		Amount of nitrogen application (kg/10a)		Heading date of rice	Weather conditions during 11 days starting from 5 days before heading date			
	Standard nitrogen ^a	Double nitrogen ^b	Standard nitrogen ^a	Double nitrogen ^b		Average air temperature (°C)	Rainfall (mm)	Rainy days (day)	Sunshine duration (hr/day)
Changwon	1.0	3.8	12.0	22.0	16 Aug	24.1	236.5	7	3.7
Miryang	6.8	68.8	10.8	32.4	20 Aug	24.3	271.5	7	2.6
Uiryong	0.0	16.0	10.0	18.0	22 Aug	22.8	334.5	9	1.7
Haman	6.3	11.5	9.0	18.0	20 Aug	22.8	291.5	8	2.2
Changnyeong	0.0	5.0	10.0	19.0	22 Aug	23.6	244.0	8	2.6
Sancheong	1.6	2.1	9.0	18.0	20 Aug	23.1	235.5	9	3.5

^aStandard amount of nitrogen application.

^bDouble amount of nitrogen application.

Table 6. Correlation coefficients between the amount of nitrogen application or weather factors during heading periods and percent blast diseased panicles in rice diseases and pests monitoring fields in 2014

Factor	Amount of nitrogen application	Weather factors			
		Average of daily air temperature	Total rainfall	Rainy days	Average sunshine duration
Correlation coefficients	0.74 ^{**a}	0.19 ^{ns}	0.23 ^{ns}	-0.32 ^{ns}	-0.23 ^{ns}

ns, no significant correlation between the weather factors during heading periods and percent blast diseased panicles ($P < 0.05$).

^aA highly significant correlation between the amount of nitrogen application and percent blast diseased panicles ($**P < 0.01$).

관관계를 분석한 결과 질소시비량과는 상관계수 0.74로 유의성이 있는 정의 상관을 보였지만 다른 기상요인과는 상관관계를 나타내지 않았다(Table 6).

고 찰

2014년도에 이삭도열병이 전남의 나주, 해남, 영암, 고흥, 장흥 등과 경남의 밀양, 진주, 고성 등 일부 시군에서 특이하게 많이 발생하는 민원으로 본 조사를 수행하게 되었는데, 그 특징을 보면 한 시군 내에서도 전반적으로 발생이 심한 것이 아니라 극히 일부 포장에서만 병든이삭률이 40% 이상으로 심하게 발생한 경우가 주를 이루었다. 전국 관찰포 조사 결과에서도 병든이삭률 25% 이상의 발병 정도가 심한 면적은 전남은 74 ha, 경남은 43.2 ha로 그 면적이 크지 않았다(Table 1). 특히 심하게 발생한 포장의 품종은 경남의 경우 동진1호, 일미, 전남의 경우 일미벼, 새누리, 히토메보레, 황금누리, 동진찰벼, 하이아미 등의 고품질 벼로 감수성 또는 중도저항성 품

종이었다(자료 미제시). 전국적으로 재배되는 품종을 보면 대부분 도열병에 감수성이거나 중도저항성인 품종들이 주를 이루고 있었다(Table 2). 도열병균은 레이스 분화가 지역에 따라 크기 때문에 같은 품종이어도 지역에 따라 발병의 차이가 크고(Roh 등, 2007), 어떤 품종이 저항성이더라도 병원균의 변이에 의해 수년 만에 감수성이 될 수 있다(Park, 1993). 이번 조사에서도 동진1호는 중도저항성이지만 전남과 경남에서는 발병이 심했고, 추청벼나 새누리, 동진찰벼 같은 감수성 품종이 재배되는 다른 지역에서 병 발생이 적었던 것은 이런 도열병균의 레이스 분화 특성이 일부 영향을 준 것으로 사료되었다. 과거의 도열병 대발생은 단순한 유전적 저항성을 가진 품종이 대면적에 재배되면서 저항성이 무너질 때 발생하였는데(Lee와 Park, 1979), 이번 사례에서는, 전국적으로 다양한 품종들이 재배되면서 감수성 품종이라도 과거처럼 전국적으로 대발생이 되지는 않았는데 이런 현상들은 도열병균의 레이스 분화 특성과 연관이 있을 것으로 추정되기 때문에 이에 대한 보다 정밀한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

기상 요인을 보면 병이 많이 발생한 2014년과 병 발생이 거의 없었던 2018년과 평년을 비교해 보면 2014년이 상대적으로 낮은 기온과 잦은 강우, 적은 일조로 이삭도열병 발생에 좋은 조건이었던 것을 볼 수 있다(Table 3). 기상자료를 바탕으로 한 도열병 예측모형에 의한 감염 경보 발생일수를 비교해도 2014년도가 2018년도보다 그 값이 매우 크다는 것을 알 수 있다(Fig. 1). 또한, 경보일수를 전국적으로 놓고 보면 2014년의 기상은 다른 해에 비해 전반적으로 병 발생에 좋은 조건이었다는 것을 볼 수 있다(Fig. 1의 2014).

2014년에 발병이 심했던 필지에서와 이와 인접하면서 품종이 동일했지만 병이 적게 발생한 필지에서의 식물체 내 총질소 함량을 비교해 보면 병이 심했던 필지가 통계적으로 매우 유의하게 높았고, 반대로 C/N율은 낮았다(Table 4). 이는 병이 심했던 필지가 상대적으로 질소시비량이 많았다는 것을 간접적으로 보여주는 결과이고, 많은 질소시비량이 도열병 발생과 정의 상관성이 있다는 보고들(Ahn 등, 1985; Baek, 1970; Kim과 Park, 1979; Lee 등, 1973)과 일치하는 결과이다. 실제 현장에서 육안으로만 관찰해도 확연히 그 차이를 구분할 수 있을 정도로 병이 심하게 발생한 필지에서는 질소시비량이 많았다는 것을 알 수 있었다. 이 상황에서 이삭도열병에 대한 방제 여부의 차이도 의심할 수 있겠지만, 조사한 지역에서는 출수 전 동시에 항공방제를 했기 때문에 그 차이를 인정할 수 없었다.

농촌진흥청에서는 전국 143개소의 시군에 벼 예찰포를 운영하면서 질소시비량을 기준으로 표준시비구와 배량시비구를 설치하고 주기적으로 병해충 발생 상황을 조사하여 병해충 예찰 정보로 활용하고 있다. 이 벼 예찰포 가운데 동진1호를 재배한 6개 시군의 이삭도열병 발생과 질소시비량 및 기상 요인과의 상관관계를 분석한 결과 질소시비량에서만 정의 상관관을 보이고 기상요인에서는 상관관계를 보이지 않았다(Tables 5, 6). 지역이 다른 예찰포들의 동일 품종 재배 필지들에서 이삭도열병 감염 기간 동안의 기상 요인들과 이삭도열병 발생이 상관관계를 보이지 않았다는 것은, 도열병 감염 경보 발생일수 지도(Fig. 1)에서 볼 수 있듯이 2014년은 전국적으로 이삭도열병 발병에 좋은 기상 조건이었으므로 기상 요인이 지역별 병 발생 상황을 설명하지는 못한다는 것을 보여 주는 결과이다.

이런 결과를 종합해 볼 때, 2014년에 이삭도열병이 대발생한 것은 병 발생에 호조적인 기상 요인이나 도열병 감수성 품종 재배 뿐만 아니라 질소시비량이 상대적으로 많았던 점이 특정 필지에서만 심하게 발생하게 한 지배적인 요인이었다는 것을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구는 최근 고품질 쌀이 선호됨에 따라 감수성 품종 재배를 피할 수 없는 상황에서 해당 품종의 권장 질소시비량만이라도 정확히 준수할 경우 기상 환경이 병 발생

에 좋은 조건이라 하더라도 이삭도열병을 충분히 예방할 수 있다는 것을 간접적으로 보여 주는 분석 사례이다.

요 약

지난 2014년에 전남의 나주, 해남, 영암, 고흥, 장흥 등과, 경남의 밀양, 진주, 고성 등에서 이삭도열병이 심하게 발생하여 벼의 재배면적 대비 발생면적 비율이 전남은 11.0%, 경남은 14.6%에 달하였다. 본 연구에서는 남부지방의 주된 발생지역들에 대하여 2014년 8월의 기상 환경, 품종별 재배 면적 차이, 식물체 질소함량에 따른 이삭도열병 발생 정도에 대하여 분석함으로써, 2014년 남부지방 이삭도열병 대발생의 원인을 구명하였다. 2014년에 각 시도 안에서 10,000 ha 이상 재배된 품종으로는 새누리, 일미벼, 황금누리, 운광, 동진1호, 남평벼 등이 있었다. 2014년의 8월 한 달 동안의 평균기온은 해남과 밀양에서 2018년보다 각각 3.2°C, 3.1°C 낮고 평년보다 1.5°C, 1.3°C 낮았다. 강수량은 해남과 밀양에서 2018년보다 각각 70.0%, 42.0% 많고 평년보다 40.1%, 125.7% 많았다. 도열병 감염 위험 예측모형에 의한 8월의 감염 경보 발생일수는 2014년이 2018년보다 많았고, 2014년은 전국적으로 발생일수가 많았다. 식물체의 질소함량은 병 발생이 심한 포장(병든이삭률 60% 이상)이 적은 포장(10% 이하)보다 유의하게 높았다. 결론적으로, 2014년에 특정 지역에서 이삭도열병이 대발생한 것은 감수성 품종이 재배되고 저온과 잦은 강우도 있었지만, 특히 질소질 비료가 다량으로 사용된 점이 특정 필지를 중심으로 다 발생하게 한 주요 원인이었다.

Conflicts of Interest

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

Acknowledgments

This study was carried out with the support of Cooperative Research Program (Project No. PJ012826012019) from Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Ahn, S.-B., Ahn, Y.-S., Lee, C.-S. and Huh, B.-L. 1985. Effects of levels of nitrogen fertilizer application and different application method on occurrence of leaf and neck blast. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 18:

- 386-391. (In Korean)
- Baek, S. B. 1970. Relationship between some chemical components in the rice plants and varietal reaction to blast disease. *Korean J. Plant Prot.* 9: 15-20. (In Korean)
- Han, S. S. 1995. Transition of rice blast fungus (*Pyricularia grisea*) races in relation to differential varieties in Korea. *Plant Dis. Agric.* 1: 9-17. (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)
- Han, S.-S., Ryu, J. D., Shim, H.-S., Lee, S.-W., Hong, Y.-K. and Cha, K.-H. 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: 86-92. (In Korean)
- Kim, H.-G. and Park, J.-S. 1979. Effect of different level of fertilizers on blast disease occurrence of Tongil-line of rice. *Res. Rep. Agric. Sci. Technol.* 6: 97-104. (In Korean)
- Lee, E. W. and Park, S. Z. 1979. Interpretation on the epidemic outbreak of rice blast disease in Korea, 1978. *J. Korean Soc. Crop. Sci.* 24: 1-10. (In Korean)
- Lee, K. H., Lee, E. J., Kim, K. S., Chu, W. J. and Kim, J. H. 1973. Effect of disease and pest control on rice yield in relation to various combinations of fertilizer application. *Korean J. Plant Prot.* 12: 33-39. (In Korean)
- Lee, Y. H., Ra, D.-S., Yeh, W.-H., Choi, H.-W., Myung, I.-S., Lee, S.-W. et al. 2010. Survey of major disease incidence of rice in Korea during 1999-2008. *Res. Plant Dis.* 16: 183-190. (In Korean)
- National Institute of Agricultural Sciences. 2010. Methods of Soil Chemical Analysis. National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Suwon, Korea. 319 pp. (In Korean)
- Park, E. W., Kang, W. S., Ahn, M. I. and Han, Y. K. 2012. A system and a method for forecasting infection risks of rice leaf blast. Korea Patent 10-1185071.
- 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)
- Rural Development Administration. 2013. Manual of Crop Diseases and Pests Monitoring and Control. Rural Development Administration, Suwon, Korea. 221 pp. (In Korean)
- Shim, H., Yeh, W.-H., Yoo, B.-J., Myung, I.-S., Hong, S.-K. and Lee, S. 2012. Pathogenic races of *Pyricularia oryzae* isolated from various rice cultivars on the blast nursery and paddy field in different locations. *Res. Plant Dis.* 18: 324-330. (In Korean)
- Yun, J. I., Yi, D. S., Choi, J. Y., Cho, S. I., Park, E. W. and Hwang, H. 1999. Elevation-corrected spatial interpolation for near-real time generation of meteorological surfaces from point observations. *AgroInformatics J.* 1: 28-33. (In Korean)