

세균성벼알마름병 발병에 미치는 벼 출수기의 미기상 요인

이용환* · 고숙주 · 차광홍 · 최형국 · 이두구¹ · 노태환¹ · 이승돈² · 한광섭³
전남농업기술원, ¹작물과학원 호남농업연구소, ²농업과학기술원, ³충남농업기술원

Micro-Weather Factors during Rice Heading Period Influencing the Development of Rice Bacterial Grain Rot

Yong-Hwan Lee*, Sug-ju Ko, Kwang-Hong Cha, Hyeong-Gug Choi, Doo-Goo Lee¹,
Tae Hwan Noh¹, Seung Don Lee² and Kwang-Seop Han³

Jeonnam Agricultural Research and Extension Services, Naju 520-715, Korea

¹Honnam Agricultural Research Institute, NICS, Iksan 570-080, Korea²National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon 441-857, Korea³Chungnam Agricultural Research and Extension Services, Yesan 340-861, Korea

(Received on June 11, 2004)

To make the forecasting model of rice bacterial grain rot (RGBR) using the statistical procedures with SAS (Statistical Analysis System) based on micro-weather factors during heading period of rice, 21 rice varieties having the different heading time (40% panicles headed) were planted at 30 May and 15 June in Naju. Heading time and diseased panicles were investigated from July to August in 1998. RGBR mainly occurred on varieties headed from 29 July to 19 August, but not on varieties headed after 22 August. RGBR was highly correlated with diurnal temperature during 7 days ($r = -0.871^{**}$) and 10 days ($r = -0.867^{**}$) and minimum relative humidity during 15 days from 3 days before heading time. After examining the models with several ways (R^2 , Adjusted R^2 , MSE), one equations were selected: $Y = 92.83 - 2.43T_{avr} + 1.88T_{min} - 1.04RH_{avr} + 0.37RH_{min} + 0.43RD - 3.68WS$ ($R^2=0.824$) using six variables of average and minimum temperature (T_{avr} and T_{min}), average and minimum relative humidity (RH_{avr} and RH_{min}), rainy days (RD), and wind speed (WS) during 7 days from 3 days before to 3 days after heading time.

Keywords : *Burkholderia glumae*, forecasting, micro-weather factor, rice bacterial grain rot

세균성벼알마름병은 1986년에 국내에서 처음 보고(茂木와 金, 1987)된 이후 1994년에 8,549 ha, 1998년에 5,435 ha, 2000년에는 16,609 ha가 발생하여 점차 그 피해가 확산되고 있는 병해로(차 등, 2001), 벼에 이 병이 감염되면 심각하게 수량이 감소된다(Tsushima 등, 1995b). 이 병의 주요한 발병요인은 출수기의 고온과 잦은 강우인데(차 등, 2001; 차 등, 1994; 横山와 中山, 1986), 출수기의 최저기온이 23°C 이상으로 높고 강우일수가 많으며 병원세균을 전파시킬 수 있는 약한 강우(30 mm/일 이하)와 바람이 병 발생을 조장한다(横山와 奥原, 1986; 後藤,

1983). 특히 이 병은 출수 후 개화기에만 감염되어 출수 2, 3주 내에 발병 정도가 결정되기 때문에 일단 병징이 나타난 후에는 방제가 거의 불가능하다(Tsushima 등, 1995a). 따라서 출수 후 7일 이내에 약제를 살포하여야만 방제 효과를 볼 수 있기 때문에(對馬, 1991), 출수기 안에 방제 여부를 결정할 수 있는 예찰모델의 개발이 꼭 필요하다 하겠다. 일본에서는 수잉기에 지엽엽초에서 병원균 밀도를 측정하는 방법으로 예찰가능성을 제시하였고(Tsushima 등, 1996), 출수 초기에 심하게 발병한 이삭을 이용하여 병 진전과 수량감수를 예측하는 모델을 개발하였다(Tsushima 등, 1995b). 또한 출수기의 기상자료를 이용하여 발병을 예측하는 방법 등이 연구되었지만 출수 후 15일 동안의 기상자료를 이용하였기 때문에(吉村 등, 1987) 방제여부를 결정하기 위한 예찰모델로서는 부적합한 면이 있다.

*Corresponding author

Phone)+82-61-330-2683, Fax)+82-61-336-4076

E-mail)lceyh@jares.go.kr

본 연구에서는 세균성벼알마름병에 대한 저항성 품종이 없고(對馬, 1991) 출수기의 환경조건에 의해 발병이 좌우된다는 점(茂木와 對馬, 1984)과 병원균이 발병지의 논물에서도 검출된다는 점(小原 등, 2004)에 착안하여, 상습발병지인 전남농업기술원의 시험포장에서 동일 품종이라도 출수기를 다르게 하기 위하여 출수기가 서로 다른 21개 품종을 1, 2모작으로 나누어 심어 각 품종의 출수기와 병 발생을 조사하고 시험포장에 설치된 자동기상장비(AWS)를 이용해 측정된 미기상 자료들의 수집을 통해 세균성벼알마름병 예찰모델 개발을 위한 미기상 요인들을 비교 분석하였다.

재료 및 방법

품종별 출수기 및 세균성벼알마름병 발생조사. 전남 나주시 산포면에 위치한 전남농업기술원 시험포장의 세균성벼알마름병 상습발생 논을 시험포장으로 선정하였다. 오대벼 등 21개 품종을 대상으로 프로라츠 유제를 이용하여 종자 소독을 하고, 보온절충못자리에서 30일 동안 육묘하여 14cm×30cm 간격으로 품종 당 540주(6주×90주)씩 난괴법 3반복으로 1모작은 5월 30일에 2모작은 6월 15일에 각각 손으로 이앙하였다. 이 후 살균제는 전혀 살포하지 않았고 살충제만 표준방제 기준에 따라 살포하고 기타 재배관리는 표준재배법에 준하여 관리하였다.

출수기 조사는 7월 26일부터 품종별로 매일 조사하였고, 이삭이 40% 정도 출수되었을 때를 출수기로 정하였다. 세균성벼알마름병 조사는 품종별로 출수 2~3주 사이에 1회 하였다. 조사기준은 30% 이상 발병된 이삭에 대해 시험구별로 전수 조사를 하였고, 품종별로 20주의 이삭을 세어 평균값을 전체 540주에 곱한 전체이삭에 대한 발병이삭의 이병수율(%)을 계산하였다.

기상자료수집. 전남농업기술원내 논 시험포장에 설치된 무인기상관측장치(Automated weather station, AWS)에서 서울대 식물병 예찰정보 시스템(<http://epilab.snu.ac.kr/rice/>)으로 전송되어 일 단위로 정리된 자료 중 일중 기온, 상대습도, 강수량, 풍속, 엽면수분지속시간 등 5개의 기상요소를 수집하였다. AWS는 Campbell사의 CR10X 기종을 이용하였다.

세균성벼알마름병 발병과 포장 미기상과의 관계. 기상환경요인은 Tsushima 등의 보고(1995a)를 참고하여 출수기를 기준으로 출수기 3일전부터 7일, 10일, 15일(전7일, 전10일, 전15일로 표기) 동안의 하루값을 평균하였고 이 기간동안의 평균기온(T_{avr}), 최고기온(T_{max}), 최저기온(T_{min}), 일교차(DR), 평균상대습도(RH_{avr}), 최저상대습도

(RH_{min}), 강수량(Pre), 강우일수(RD, 0.1 mm 이상), 풍속(WD)의 평균값을 통계분석에 이용하였다. 세균성벼알마름병 이병수율은 자연로그값으로 치환하여 종속변수로 하고 각 기상환경요인들을 독립변수로 하여 상관관계를 분석하였다. 통계적모형의 독립변수 선택은 독립변수들의 모든 조합에 대한 결정계수(R^2)와 수정된 결정계수(R^2_{adj}), 잔차평균제곱(MSE)을 계산하여 가장 작은 MSE 값과 가장 높은 R^2_{adj} 값을 구하여 최적 회귀를 위한 변수들을 선택하였다(김, 2002). 세균성벼알마름병 발병율과 기상요인들 간의 상관 및 회귀분석을 위하여 SAS(Statistical Analysis System) 프로그램을 이용하였다.

결 과

벼 출수기에 따른 세균성벼알마름병 발생. 오대벼 등 21개 품종을 2모작으로 나누어 심어 벼 출수기를 조사한 결과, 1모작의 운봉벼가 7월 29일로 가장 빨랐고 2모작의 화남벼 등 6개 품종이 8월 25일로 가장 늦었다. 조생종 품종은 1모작에서 7월 29일에서 8월 3일까지, 2모작에서는 8월 10~12일까지 분포하였고, 중생종 품종의 1모작은 8월 8~10일, 2모작은 8월 17~19일까지 분포하였으며 중만생종은 1모작이 8월 14~19일, 2모작은 8월 22~25일 사이에 분포하였다. 세균성벼알마름병은 출수기가 7월 29일부터 8월 19일 사이인 품종에서 대부분 발생하였고 특히 출수기가 8월 11일인 2모작의 삼천벼가 69.2%로 가장 높은 이병수율을 보였던 반면, 8월 22일 이후에 출수한 품종들에서는 전혀 발병하지 않았다. 조생종인 오대벼, 운봉벼, 삼천벼의 경우에는 1모작과 2모작에서 모두 병이 발생하였으나, 화남벼 등 출수기가 늦은 중만생종의 경우에는 1모작에서는 13개 품종 중 화남벼 등 8개 품종에서 병이 발생하였고 2모작에서는 전혀 발병하지 않았다. 또한 중생종인 화성벼, 신선찰벼, 금호벼 1호의 경우에는 1모작과 2모작의 출수기가 각각 8월 10일과 8월 19일로 같았으나, 1모작에서는 이들 3품종의 이병수율이 각각 36.6%, 12.8%, 23.6%로 모두 발병한 반면에 2모작에서는 신선찰벼만 6.3%의 이병수율을 나타냈다(Table 1).

벼 출수기의 미기상과 세균성벼알마름병 발생 분석. 벼 출수기간 동안의 기상은 병이 주로 발생하였던 7월 26일부터 8월 19일까지 대부분 23°C 이상이었으나 7월 28일, 8월 11일, 13일, 18일, 19일은 21°C 정도이었다. 이 기간동안 4일간의 연속강우는 3회(7월 31일부터, 8월 6일부터, 8월 10일부터), 3일간의 연속강우는 8월 16일부터 1회가 있었다. 또한 연속강우가 있던 기간의 최저온도는 높은 반면 최고온도가 낮아 일교차가 7°C 이내를 나타냈

Table 1. Occurrence of rice bacterial grain rot and heading times of rice varieties with different planting dates in 1998

Maturing	Varieties	30 May			15 Jun		
		Heading time ^a	Diseased panicle		Heading time	Diseased panicle	
			%	ln(x+1)		%	ln(x+1)
Early	Unbongbyeo	29 Jul	36.8	3.63	10 Aug	45.9	3.85
	Samchonbyeo	2 Aug	18.3	2.96	11 Aug	69.2	4.25
	Odaebyeo	3 Aug	37.8	3.66	12 Aug	53.9	4.01
Middle	Ganchebyeo	8 Aug	21.7	3.12	17 Aug	9.5	2.35
	Keumhobyeo 2 ho	9 Aug	17.8	2.93	18 Aug	0.0	0.00
	Hwaseongbyeo	10 Aug	36.6	3.63	19 Aug	0.0	0.00
	Shinseonchalbyeo	10 Aug	12.8	2.62	19 Aug	6.3	1.99
	Keumhobyeo 1 ho	10 Aug	23.6	3.20	19 Aug	0.0	0.00
Middle and late	Aryangyangchalbyeo	14 Aug	37.6	3.65	22 Aug	0.0	0.00
	Keumnambyeo	16 Aug	9.0	2.30	24 Aug	0.0	0.00
	Yangjobyeo	16 Aug	11.0	2.48	24 Aug	0.0	0.00
	Hwanambyeo	17 Aug	40.4	3.72	25 Aug	0.0	0.00
	Donganbyeo	17 Aug	20.1	3.05	24 Aug	0.0	0.00
	Kyehwabyeo	17 Aug	3.8	1.57	25 Aug	0.0	0.00
	Mankeumbyeo	17 Aug	3.9	1.59	24 Aug	0.0	0.00
	Heuknambyeo	17 Aug	0.0	0.00	23 Aug	0.0	0.00
	Hwashinbyeo	18 Aug	0.0	0.00	25 Aug	0.0	0.00
	Daesanbyeo	19 Aug	5.6	1.89	25 Aug	0.0	0.00
	Yeongnambyeo	19 Aug	0.0	0.00	25 Aug	0.0	0.00
	Ilmibyeo	19 Aug	0.0	0.00	25 Aug	0.0	0.00
	Namgangbyeo	19 Aug	0.0	0.00	24 Aug	0.0	0.00

^aDate of 40% panicles headed.

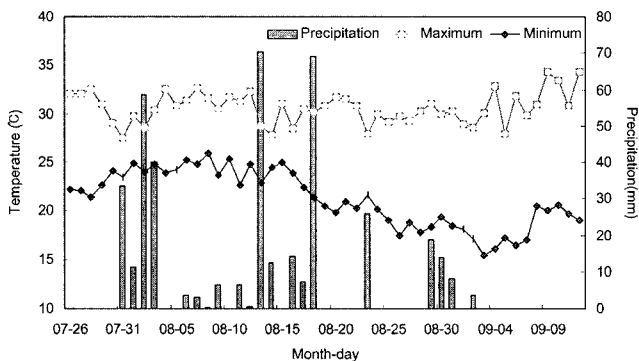


Fig. 1. Precipitation, maximum and minimum temperature during the rice heading period in Naju in 1998.

다(Fig. 1). 미기상 자료를 토대로 하여 벼 출수기를 기준으로 출수기 3일 전부터 7일, 10일, 15일 동안(전7일, 전10일, 전15일)의 일 평균값의 미기상과 병 발생과의 상관관계를 분석한 결과 대부분의 기상요소와 높은 상관을 나타냈다. 특히 평균기온, 최저기온, 최저상대습도와는 고도의 정의 상관을 일교차와는 고도의 부의 상관을 보였다. 이 중에서도 전7일과 전10일의 일교차와는 -0.871^{**} 와 -0.863^{**} 의 상관계수 값을, 전15일의 최저상대습도와는 0.871^{**} 의 상관계수 값을 보였다. 특히 최저온도의 경우

에는 전7일(0.861^{**}), 전10일(0.857^{**}), 전15일(0.859^{**})로 분석 기간에 따라 상관계수 값의 차이가 없었지만, 강수량이나 풍속의 경우에는 각각 전7일(0.478^{**}), 전10일(0.666^{**}), 전15일(0.780^{**})과 전7일(0.613^{**}), 전10일(0.663^{**}), 전15일(0.761^{**})로 분석기간이 길어질수록 상관계수 값이 커지는 경향을 보였다. 반면에 강우일수의 경우에는 전7일(0.812^{**}), 전10일(0.721^{**}), 전15일(0.311^{*})로 분석기간이 길어질수록 상관계수 값이 작아지는 경향이 있었다(Table 2).

출수기 분석기간 중 전7일의 기상요소별로 상관계수가 가장 높은 일교차(DR)와 최저기온(Tmin), 평균기온(Tavr), 강우일수(RD), 최저상대습도(RHMin), 풍속(WS)과 병 발생과의 단순회귀를 분석한 결과 $Y = -0.93DR + 9.34(R^2 = 0.76^{**})$, $Y = 0.76Tmin - 15.10(R^2 = 0.74^{**})$, $Y = 1.06Tavr - 25.51(R^2 = 0.68^{**})$, $Y = 0.86RD - 1.61(R^2 = 0.66^{**})$, $Y = 0.23RHmin - 14.97(R^2 = 0.64^{**})$ 의 1차 회귀식과 $Y = -14.00WS^2 + 38.12WS - 21.35(R^2 = 0.65^{**})$ 의 2차 회귀식을 구할 수 있었다(Fig. 2). 하지만 강수량($R^2 = 0.23$), 최고온도($R^2 = 0.20$), 평균상대습도($R^2 = 0.19$)와 병 발생과의 회귀식은 낮은 결정계수 값을 보였다(자료 미제시). 이들 회귀식과 이들 값의 분포를 비교해본 결과, 일교차는 $9^{\circ}C$ 이하에서, 최저온도는 $21^{\circ}C$ 이상, 최저상대습도는 67%

Table 2. Correlation coefficients (*r*) between the diseased panicles^a of rice bacterial grain rot and average weather factors during different days from 3 days before rice heading time^b in 1998

Analyzing period	Weather factors ^c								
	Tavr	Tmax	Tmin	DR	RHavr	RHmin	RD	Pre	WS
7 days from 3 day before heading time	0.825 ^{***d}	0.447 ^{**}	0.861 ^{**}	-0.871 ^{**}	0.434 ^{**}	0.800 ^{**}	0.812 ^{**}	0.478 ^{**}	0.613 ^{**}
10 days from 3 day before heading time	0.839 ^{**}	0.701 ^{**}	0.857 ^{**}	-0.863 ^{**}	0.689 ^{**}	0.854 ^{**}	0.721 ^{**}	0.666 ^{**}	0.663 ^{**}
15 days from 3 day before heading time	0.815 ^{**}	0.664 ^{**}	0.859 ^{**}	-0.861 ^{**}	0.743 ^{**}	0.871 ^{**}	0.311 [*]	0.780 ^{**}	0.761 ^{**}

^aln(diseased panicles(%) + 1), ^bDate of 40% panicles headed.

^cTavr: Average temperature (°C), Tmax: Maximum temperature (5°C), Tmin: Minimum temperature (°C), DR: Diurnal range (°C), RHavr: Average relative temperature (%), RHmin: Minimum relative humidity (%), RD: Rainfall days, Pre: Precipitation (mm), WS; Wind speed (m/s), ^d* and **: Significant at *p* = 0.05 and *p* = 0.01, respectively.

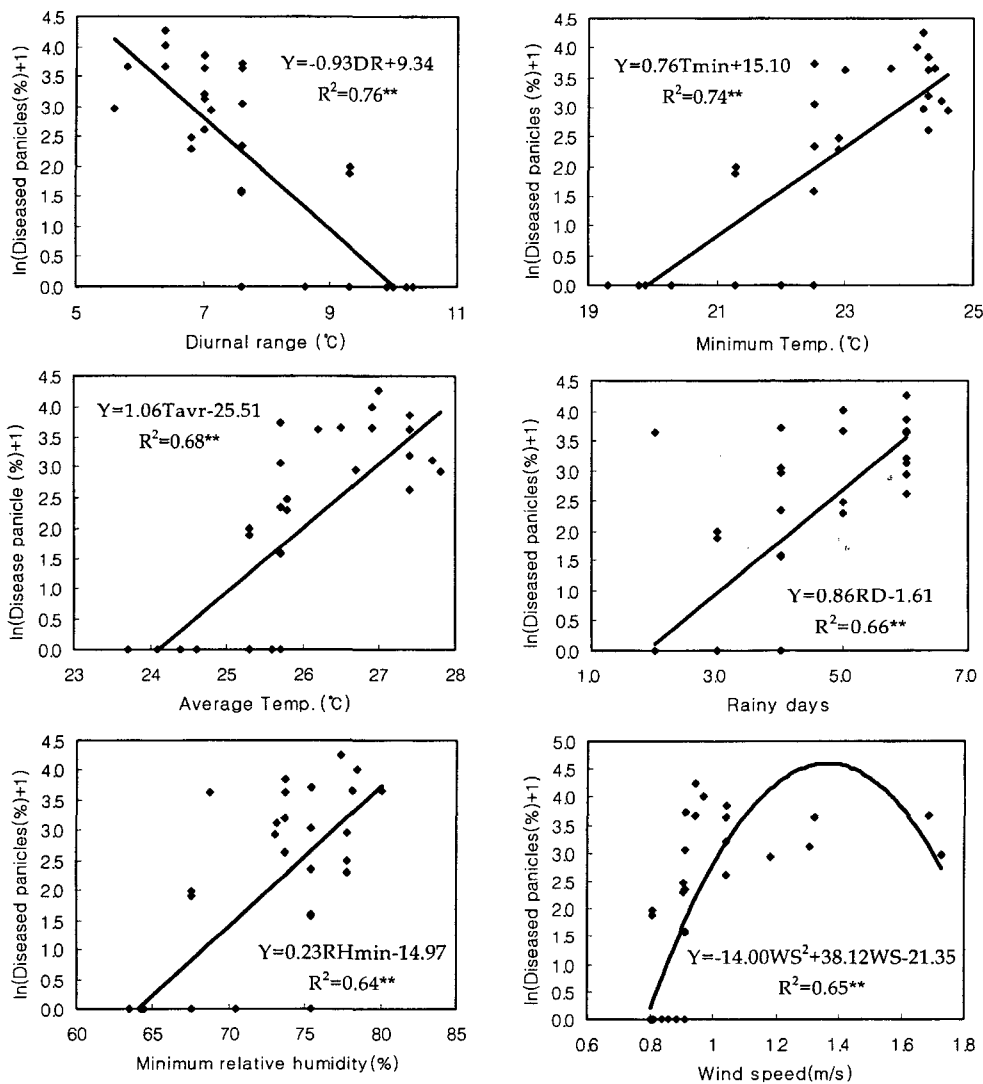


Fig. 2. Regression equations of diseased panicles (%) of rice bacterial grain rot with weather factors, diurnal range (DR), minimum temperature (Tmin), average temperature (Tavr), rainy days (RD), minimum relative humidity (RHmin), and wind speed (WS) during 7 days, from 3 days before to 3 days after heading time of rice (**: significant at *p* = 0.01).

이상, 강우일수는 3일 이상에서 이병수율이 높았던 반면, 바람은 1.4 m/s까지는 증가하다가 그 이상에서는 발병이

감소하는 경향을 보였다(Fig. 2).

세균성벼알마름병 예측 모형. 출수기 미기상을 이용

한 예측모형을 구하기 위해 전7일, 전10일, 전15일 동안의 기상자료를 대상으로 결정계수(R^2)와 수정된 결정계수 (R^2_{adj}), 잔차평균제곱(MSE)을 계산한 결과, 전7일에는 평균기온, 최저기온, 평균상대습도, 최저상대습도, 강우일수,

Table 3. Optimum parameters analysed by R^2 , R^2_{adj} , and MSE methods for the multi-regression equation between the diseased panicles^a of rice bacterial grain rot and the weather factors collected in Naju-Exp. field during 7 days, from 3 days before to 3 days after heading time^b in 1998

Number in model	R^2	R^2_{adj}	MSE	Variables in model ^c
1	0.759	0.753	0.638	DR
:	:	:	:	:
2	0.793	0.783	0.562	DR, Pre
:	:	:	:	:
3	0.807	0.792	0.537	DR, RHavr, WS
:	:	:	:	:
4	0.814	0.793	0.533	Tmax, Tmin, RHavr, WS
:	:	:	:	:
5	0.818	0.793	0.535	Tmax, RHavr, RHmin, RD, WS
:	:	:	:	:
6	0.824	0.794	0.532	Tavr, Tmin, RHavr, RHmin, RD, WS
:	:	:	:	:
7	0.826	0.790	0.543	Tavr, Tmin, DR, RHavr, RHmin, RD, WS
:	:	:	:	:
8	0.826	0.784	0.556	Tavr, Tmax, Tmin, DR, RHavr, RH-min, RD, WS
:	:	:	:	:
9	0.827	0.778	0.574	Tavr, Tmax, Tmin, DR, RHavr, RHmin, RD, Pre, WS

^aln(diseased panicles(%) + 1), ^bDate of 40% panicles headed.

^cTavr : Average temperature (°C), Tmax : Maximun temperature (°C), Tmin : Minium temperaure (°C), RD : Rainy days, RHavr : Average relative humidity (%), RHmin : Minimum relative humidity (%), DR : Diurnal range (°C), Pre : Precipitation (mm), WS : Wind speed (m/sec).

Table 4. Optimum parameter analysed by R^2 , R^2_{adj} , and MSE methods for the multi-regression equation between the diseased panicles^a of rice bacterial grain rot and the weather factors collected in Naju-Exp. field during 10 days, from 3 days before to 6 days after heading time in 1998

Number in model	R^2	R^2_{adj}	MSE	Variables in model ^c
1	0.744	0.737	0.678	RD
:	:	:	:	:
2	0.794	0.783	0.559	Tavr, Tmin
:	:	:	:	:
3	0.811	0.797	0.526	Tavr, Tmin, WS
:	:	:	:	:
4	0.828	0.810	0.492	Tavr, Tmin, RD, WS
:	:	:	:	:
5	0.834	0.811	0.490	Tavr, Tmax, Tmin, RD, WS
:	:	:	:	:
6	0.834	0.806	0.502	Tavr, Tmax, Tmin, DR, RD, WS
:	:	:	:	:
7	0.834	0.800	0.517	Tavr, Tmax, Tmin, DR, RD, Pre, WS ₂ ^d
:	:	:	:	:
8	0.834	0.794	0.532	Tavr, Tmax, Tmin, DR, RHmin, RD, Pre, WS
:	:	:	:	:
9	0.834	0.788	0.549	Tavr, Tmax, Tmin, DR, RHavr, RHmin, RD, Pre, WS

^aln(diseased panicles(%) + 1), ^bDate of 40% panicles headed.

^cTavr : Average temperature (°C), Tmax : Maximun temperature (°C), Tmin : Minium temperaure (°C), RD : Rainy days, RHavr : Average relative humidity (%), RHmin : Minimum relative humidity (%), DR : Diurnal range (°C), Pre : Precipitation (mm), WS : Wind speed (m/sec).

Table 5. Optimum parameter analysed by R^2 , R^2_{adj} , and MSE methods for the multi-regression equation between the diseased panicles^a of rice bacterial grain rot and the weather factors collected in Naju-Exp. field during 15 day, from 3 days before to 11 days after heading time in 1998

Number in model	R^2	R^2_{adj}	MSE	Variables in model ^c
1	0.758	0.752	0.640	Tmin
:	:	:	:	:
2	0.767	0.755	0.632	Tmin, Pre
:	:	:	:	:
3	0.795	0.779	0.572	RHavr, RHmin, WS
:	:	:	:	:
4	0.807	0.786	0.553	RHavr, RHmin, RD, WS
:	:	:	:	:
5	0.828	0.804	0.506	Tmin, RHavr, RHmin, RD, WS
:	:	:	:	:
6	0.830	0.801	0.515	Tavr, Tmin, RHavr, RHmin, RD, WS
:	:	:	:	:
7	0.832	0.797	0.525	Tavr, Tmin, DR, RHavr, RHmin, RD, WS
:	:	:	:	:
8	0.834	0.793	0.534	Tmax, Tmin, DR, RHavr, RHmin, RD, Pre, WS
:	:	:	:	:
9	0.834	0.787	0.550	Tavr, Tmax, Tmin, DR, RHavr, RHmin, RD, Pre, WS

^a $\ln(\text{diseased panicles}(\%) + 1)$, ^bDate of 40% panicles headed.

^cTavr : Average temperature (°C), Tmax : Maximum temperature (°C), Tmin : Minimum temperature (°C), RD : Rainy days, RHavr : Average relative humidity (%), RHmin : Minimum relative humidity (%), DR : Diurnal range (°C), Pre : Precipitation (mm), WS : Wind speed (m/sec).

풍속의 6개 변수 이용 시 R^2 는 0.824, R^2_{adj} 는 0.794, MSE는 0.532를 나타내었고(Table 3), 전10일에는 평균기온, 최고기온, 최저기온, 강우일수, 풍속의 5개 변수 이용 시 R^2 는 0.834, R^2_{adj} 는 0.811, MSE는 0.490을 나타내었다(Table 4). 또한 전15일에는 최저기온, 평균상대습도, 최저상대습도, 강우일수, 풍속의 5개 변수를 이용시 R^2 는 0.828, R^2_{adj}

는 0.804, MSE는 0.506이었다(Table 5). MSE 값이 가장 작으면서 R^2_{adj} 가 가장 높고 이후 R^2 증가폭이 거의 없는 출수 전 3일부터 10일 동안의 미기상변수를 이용하여 $Y = 13.74 - 6.55Tavr + 1.19Tmax + 5.61Tmin - 0.32RD - 2.62WS$ ($R^2 = 0.834$)의 회귀식과 출수전 3일부터 7일 동안의 미기상변수를 이용한 $Y = 92.83 - 2.43Tavr + 1.88Tmin$

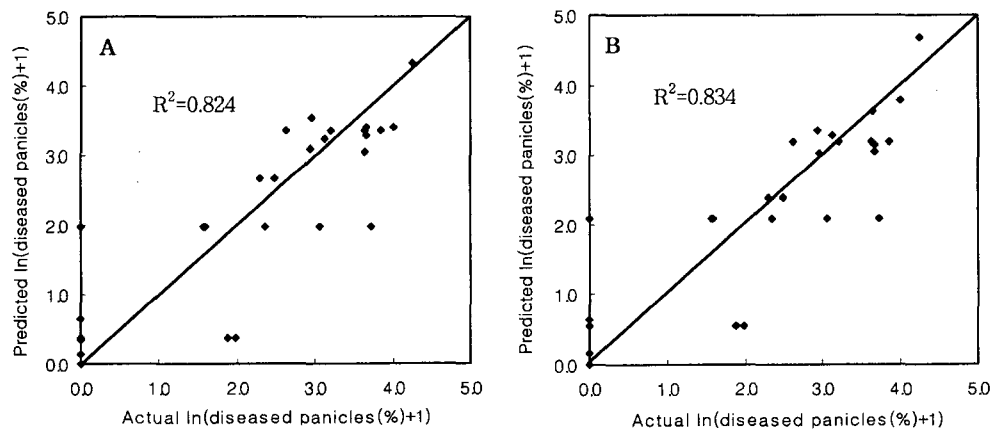


Fig. 3. Distribution of the points relating actual rice bacterial grain rot (RGR) incidence and predicted RGR incidence around the line with slope equal to 1 (perfect relationship) in 1998. Predicted RGR incidence values were estimated by the regression equation (A) $Y = 92.83 - 2.44Tavr + 1.88Tmin - 1.04RHavr + 0.37RHmin + 0.43RD - 3.68WS$, $R^2 = 0.824$ during 7 days, from 3 days before to 3 days after heading time and (B) $Y = 13.74 - 6.55Tavr + 1.19Tmax + 5.61Tmin - 0.32RD - 2.62WS$, $R^2 = 0.834$ during 10 days, from 3 days before to 6 days after heading time.

- 1.04RHavr + 0.37RHmin + 0.43RD - 3.68WS(R² = 0.824)의 회귀식을 구할 수 있었다. 이들 회귀식을 이용한 예측값과 실측값을 비교한 값들이 대부분 완전상관을 나타내는 기울기 선 주위에 분포하였다(Fig. 3).

고 찰

吉村 등(1987)은 출수기 후 7일, 10일, 15일 동안의 기상을 분석하여 15일 동안의 최저습도와 최고기온을 이용한 발생예찰 회귀식을 작성하였고, Tsushima 등(1995a)은 병원균이 가장 감염이 잘 이루어지는 시기가 출수기 후 11일 동안이라고 보고하였다. 본 실험에서도 가장 작은 MSE 값과 큰 R²_{adj}를 나타내는 변수들을 이용한 방법으로 분석할 경우 전10일 동안의 평균기온 등 5개 변수를 이용한 모델이 MSE가 0.490으로 가장 작고 R²_{adj}가 0.810로 가장 크며, R²는 0.834로 이후 증가 정도가 미미하여 이를 이용한 모델이 예찰모델로서 가장 적합하였다(Table 4). 하지만 벼알마름병 방제는 출수 후 7일 이전에 이루어져야 하기 때문에(對馬, 1991), 본 시험에서는 전7일의 기상요소를 분석하였다. 각각의 기상요소 단요인을 이용하여 회귀식을 작성하였을 경우에는 일교차를 이용한 회귀식이 R² = 0.76**으로 가장 높은 결정계수를 보였고(Fig. 2), 단요인 중 결정계수가 높은 일교차, 최저기온, 평균기온, 강우일수, 최저상대습도, 풍속의 6개 요인을 이용한 다중회귀의 경우에는 R²는 0.802와 MSE는 0.601을 나타냈다(자료미제시). 그러나 가장 작은 MSE 값을 보이는 요인들의 조합을 분석한 결과 평균기온, 최저기온, 평균상대습도, 최저상대습도, 강우일수, 풍속 등 6개 변수를 이용한 다중회귀식이 MSE가 0.531로 가장 작고 R²_{adj}는 0.794로 가장 높을 뿐만 아니라 R²는 0.824로 전10일의 회귀식과 통계적 유의성이 없었기 때문에(Table 3), 최적기에 방제여부를 결정할 수 있는 예찰모델은 전7일 동안의 기상자료를 토대로 작성한 Y = 92.83 - 2.43Tavr + 1.88Tmin - 1.04RHavr + 0.37RHmin + 0.43RD - 3.68WS(R² = 0.824) 모델을 사용하는 것이 바람직할 것으로 생각되었다.

横山과 奥原(1986)은 출수기 전후 2일, 총 5일 동안의 기상자료를 분석하여 최저기온 평균이 23°C 이상이고 강우일수가 많을 때 발병이 심하였는데, 강수량이 5~30 mm 사이에서 병 발생이 많았으나 30 mm 이상에서는 적어진다고 보고하였다. 본 시험에서는 전 7일 동안의 각 기상요소별로 회귀식을 분석한 결과 최저기온이 21°C 이상, 일교차가 9°C 이하, 강우일수가 3일 이상, 최저습도가 65% 이상일 때 대부분 발병하였다(Fig. 2). 풍속의 경우에는 분석기간이 출수기 이후로 길어질수록 발병과 상관계수

값이 높아지는 경향을 보였는데(Table 2), 이는 이 병이 출수 초기에 발생하는 중증이삭에 의해 2차 감염이 이루어진다는 보고(Tsushima와 Naito, 1991)와 비교해 볼 때 바람에 의해 중증이삭에서 주위의 이삭으로 접촉에 의한 2차 감염을 유도한 것으로 생각되었다. 하지만 풍속이 1.4 m/s까지 병 발생이 증가하다가 그 이상이 되면 감소하는 경향을 보여(Fig. 2), 약한 바람이 발병을 조장한다는 後藤(1983)의 보고와 일치하였다. 또한 강수량의 경우도 분석기간이 길어질수록 발병과 높은 상관계수를 보여 중증 이삭에 대한 2차 감염 시 약한 바람과 더불어 강우가 중요한 역할을 하는 것으로 생각되었다(Table 2).

세균성벼알마름병균인 *Burkholderia glumae*는 종자에서 상온 상태로 3년간 생존 가능하고, 포장의 그루터기 등에서도 월동할 수 있다(十河, 1983). 또한 포장 조건의 종자에서 5개월까지 생존할 수 있고(對馬 등, 1989) 발병상습지의 논물에서도 검출이 가능할 뿐만 아니라(小原, 2004) 벼의 생육기간 동안 식물체내에 병원균이 존재하기 때문에(Hikichi, 1993; Tsushima 등, 1991; Tsushima 등, 1996), 감염시기인 벼 출수기에 고온·다습조건만 조성된다면 발병이 가능하다. 하지만 Tsushima 등(1991)은 벼알마름병균이 하위엽초에서 상위엽초로 이동하여 지엽엽초 내부의 이삭에서 병원균이 존재하여 전염원이 되지만 하위엽초에서 병원균 밀도가 높아도 모든 상위엽초에서 병원균이 검출되는 것은 아니기 때문에 각각의 이삭이 서로 다른 생태계를 이루고 있을 것으로 추정하였는데, 본 연구의 예찰모델을 이용한 예측값과 실제 관측값을 비교해 보면 일부 품종에서 예측값은 높게 나왔으나 실제 병은 발생하지 않았거나(Fig. 2), 실제로 한 포장내의 출수기가 같은 서로 다른 품종이거나 동일 품종이라도 반복에 따라 발병 정도의 차이가 심하였다(자료 미제시). 이는 발병환경은 조성이 되었지만 각각의 시험구별로 서로 다른 생태계를 이루어 이 생태계안에 병원균이 없거나 밀도가 낮았기 때문에 발생이 없었던 것으로 생각되었다. 따라서 정확한 예찰모델을 구현하기 위해서는 포장에서 이병 종자나 논물, 그루터기 등으로부터 벼 이삭까지 병원균이 이동하는 경로에 대한 기상조건 등 환경과의 생태를 구명하고, 출수전에 벼 식물체내에 존재하는 병원균 밀도를 쉽게 측정할 수 있는 방법을 개발하여, 이를 토대로 출수기 미기상을 이용한 예찰모델과 접목할 수 있는 보다 자세한 실험과 분석이 이루어져야 할 것으로 생각되었다.

적 요

세균성벼알마름병(RGBR)의 발생예찰 모델을 만들기 위

하여 출수기가 다른 오대벼 등 21개 품종을 1998년 5월 30일과 6월 15일에 이앙하여 벼 출수기와 이병수율을 조사하고 출수기 전후의 미기상과 병 발생과의 관계를 SAS 프로그램을 이용하여 분석하였다. 세균성벼알뜸병은 출수기가 7월 29일부터 8월 19일 사이의 품종에서 대부분 발생하였고 8월 22일 이후에 출수한 품종에서는 전혀 발생하지 않았다. 벼 출수기를 기준으로 출수기 3일 전부터 7일($r = -0.871^{**}$), 10일($r = -0.863^{**}$)의 일교차와 15일($r = 0.8709^{**}$)과 출수기부터 7일($r = 0.862^{**}$), 10일($r = 0.860^{**}$), 15일($r = 0.844^{**}$) 동안의 상대습도와 높은 상관관계를 보였다. 결정계수(R^2)와 수정된 결정계수(R^2_{adj}), 잔차평균제곱(MSE)를 이용하여 예측모형을 구한 결과, 출수 전 3일부터 7일 동안의 평균기온, 최저기온, 평균상대습도(RHavr), 최저상대습도(RHmin), 강우일수, 풍속의 6개 변수를 이용한 $RGBR = 92.83 - 2.43T_{avr} + 1.88T_{min} - 1.04RH_{avr} + 0.37RH_{min} + 0.43RD - 3.68WS$ ($R^2 = 0.824$)의 회귀식을 구할 수 있었다.

감사의 글

농촌진흥청 산학연공동연구과제 연구비로 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 後藤孝雄. 1983. 이네모미枯細菌病의 발생生態と研究の現状. 植物防疫 37: 31-35.
- 橫山威, 中山武則. 1986. 이네모미枯細菌病의 발생에影響する出穂期前後の氣象要因. 日植病報 52: 107.
- 橫山威, 奥原國英. 1986. 이네모미枯細菌病의發病と氣象および品種. 九病蟲研會報 33: 4-8.
- 차광홍, 김영옥, 박인진. 1994. 세균성벼알마름병의 발병환경과 방제연구. 植物保護研究 8: 23-31.
- 차광홍, 이용환, 고숙주, 박서기, 박인진. 2001. 출수기 기상환경이 세균성벼알마름병 발생에 미치는 영향. 식물병연구 7(3): 150-154.
- 十河和博. 1983. 이네모미枯細菌病菌の圃場ごの越冬とイネへの傳染. 今月の農藥 27: 75-78.
- Hikichi, Y. 1993. Relationship between population dynamics of *Pseudomonas glumae* on rice plants and disease severity of bacterial grain rot of rice. *J. Pesticide Sci.* 18: 319-324.
- 김종덕. 2002. SAS를 이용한 선형 회귀분석. 자유아카데미. 서울. 353pp.
- 茂木靜夫, 對馬誠也. 1984. 最近のイネもみ枯細菌病 多發生と生態. 九州農試研報 20: 47-53.
- 茂木靜夫, 金章圭. 1987. 韓國におけるイネもみ枯細菌病の發生分布. 日植病報 53: 402.
- 小原達二, 澤田宏之, 畔上耕兒. 2004. メソプレソフィルターを利用した増菌PCR法による農業環境からのイネもみ枯細菌病の檢出. 日植病報 70: 115-122.
- 對馬誠也. 1991. 이네모미枯細菌病의生態と發生豫察. 農業技術 46(3): 10-16.
- 對馬誠也, 茂木靜夫, 内藤秀樹, 齊藤初男. 1989. 이네모미枯細菌病의種別での生存期間と種別洗淨液利用による汚染簡易檢定法. 九州農試研報 25: 261-270.
- Tsushima, S., Mogi, S., Naito, H. and Saito, H. 1991. Populations of *Pseudomonas glumae* on rice plants. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 57: 145-152.
- Tsushima, S. and Naito, H. 1991. Spatial distribution and dissemination of bacterial grain rot of rice caused by *Pseudomonas glumae*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 57: 180-187.
- Tsushima, S., Naito, H. and Koitabashi, M. 1995a. Change in panicle susceptibility associated with flowering rate of spikelets in bacterial grain rot of rice caused by *Pseudomonas glumae*. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 61: 109-113.
- Tsushima, S., Naito, H. and Koitabashi, M. 1995b. Forecast of yield loss suffered from bacterial grain rot of rice in paddy field severely diseased panicles. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 61: 419-424.
- Tsushima, S., Naito, H. and Koitabashi, M. 1996. Population dynamics of *Pseudomonas glumae*, the causal agent of bacterial grain rot of rice, on leaf sheaths of rice plant in relation to disease development in the field. *Ann. Phytopathol. Soc. Jpn.* 62: 108-113.
- 吉村大三郎, 吉田桂輔, 乙藤ま. 1987. 이네모미枯細菌病의發生と氣象要因. 九病蟲研會報 33: 9-12.