

과제구분	어젠다	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
현장에로 식물 임상진단 및 병해발생 실태조사		농업환경	'17~'24	환경농업연구과 식물병해충팀	이현주
기후변화에 따른 병해 발생 실태조사 및 영향요인 분석 연구		〃	'20~'23	환경농업연구과 식물병해충팀	유주형
색인용어	병해충, 진단, 방제, 기후변화, 바이러스				

ABSTRACT

This study investigated the impact of climate change on plant diseases and aimed to establish long-term measures considering the changes and influencing factors of disease occurrence. The research focused on the occurrence and influencing factors of rice bakanae disease (*Fusarium fujikuroi*), pear scab (*Venturia nashicola*), pepper anthracnose (*Colletotrichum* sp.), and rice blast (*Pyricularia grisea*). Surveys of disease occurrence in regions such as Pyeongtaek, Hwaseong, Yicheon, and Yeosu were conducted, along with the analysis of meteorological and NCPMS (National Crop Pest Management System) data. The results indicated that weather conditions such as rainfall amount, number of rainy days, and temperature directly affected the occurrence of crop diseases. Particularly, periods with high rainfall amount and rainy days showed increased disease occurrence rates, emphasizing the importance of meteorological factors in plant disease occurrence. For rice bakanae disease, the mid-summer weather conditions with minimal before and after harvest (late July to mid-August) were identified as the most significant influencing factors. Pear black spot disease increased with spring rainfall, while pepper anthracnose showed a high correlation with cumulative rainfall from June to September. Lastly, rice blast occurrence was mainly influenced by temperature and rainfall. This study provides essential foundational data for understanding changes in crop disease occurrence due to climate change and aids in the development of effective management strategies.

Key words: Climate change, NCPMS, effective management strategies

1. 연구목표

지난 30년 동안 기후변화에 따른 세계 농업 생산량은 10년마다 1~5% 감소하고 있는 것으로 추정되고(Porter 등, 2014), 병원균과 해충으로 인한 연간 작물 손실액은 2조 7,040억원으로 추산된다. 이는 식량 안보 및 기타 사회 경제적 측면에도 직접적인 영향을 미치고 있다(Chakraborty et al., 2011).

기후 조건은 작물생육에 중요할 뿐만 아니라 농업생태계의 변화를 초래하므로(Lee et al., 2008) 기후변화에 따른 작물 생산량, 재배지, 개화시기 변화에 대한 예측 연구는 전 세계적으로 활발히 수행되어 왔다(Kim et al., 2007). 식물 병 발생을 예측하는데 있어서 주요 과제는 이러한 병원균이 여러 질병 요인과 어떻게 상호 작용하고 반응하는지, 그리고 그들이 기후변화에 어떻게 대응하는지 이해하는 것이다. 기후변화에 따른 농업 환경 변화로 인하여 농작물 병해충 발생 패턴이 달라지고, 병해충 발생 예측의 불확실성이 증가하고 있다. 따라서 향후 기후변화를 감안한 병해충 모니터링 및 예측 시스템 기술을 개발하는 것이 요구된다(Boonekamp, 2012). 국내 선행연구 중 신정욱, 윤성철(2011)은 고추를 대상으로 탄저병 모델을 통해 기후변화 자료를 활용하여 탄저병 발병위험도를 계산함으로써 탄저병 변동을 예측하였다. 또 정학균 외 2인(2014)은 실제 관측데이터를 기반으로 기후변화가 벼와 관련된 병해충의 피해면적에 어떤 영향을 미치는지 연구를 진행하여 기후변화가 병해충 피해면적 발생에 미치는 영향을 분석하고 병해는 기온의 영향을 받고 해충은 강수량의 영향을 받는 결과를 제시하였다. 미래 기후변화에 따른 식물생육에 대한 예측 연구는 활발하지만, 심각한 수량손실을 초래하는 식물병 발생에 대한 예측 연구는 미미한 실정이다(Kim et al., 2017).

이에 농림축산식품부에서는 농어업·농어촌 및 식품산업기본법 제47조 2항에 따라 농업·농촌분야의 기후변화 실태조사 및 영향·취약성 평가를 추진하여 기후변화가 농업·농촌에 미치는 영향에 대하여 조사·평가를 진행하고 정책수립의 기초자료로 활용하도록 하였다. 따라서 본 연구는 기후변화에 따른 경기지역 돌발병해의 발생 실태를 조사하고 영향 평가를 실시하였다.

2. 재료 및 방법

병해 발생 실태조사 방법은 모두 육안 달관조사를 기준으로 표 1과 같이 실시하였으며 NCPMS 경기지역 자료를 같이 활용하였다.

표 1. 경기지역 병해 발생 실태조사

대상병해	조사년도	조사지역	조사시기 및 조사방법	조사대상
벼 키다리병	'20~'21	평택, 이천, 여주, 화성	이앙 전, 이앙 30일, 60일, 90일 후 각 1회	발병주율
배 검은별무늬병	'20~'21	평택, 화성	5~7월 월 2회, 8월 이후 월 1회	발병엽률
고추 탄저병	'22~'23	안성, 평택	6월 중순부터 9월 중순까지 월 2회	발병과율
벼 도열병	'22~'23	여주, 안성	6월에서 8월 중순 월 2회(있도열병) 6월에서 8월 중순 월 1회(이삭도열병)	병무늬면적률 병든이삭률

벼 키다리병은 평택과 화성지역을 조사하였으나 2020년 조사지역의 병 발생이 적어 이천 친환경재배 논과 여주 관행재배 논을 추가하여 이앙 전, 이앙 30일, 60일, 90일 후 병 발생 실태를 조사하였다. 배 검은별무늬병은 평택의 관행재배, 친환경재배 과수원을 선정 후 발생최성기인 5월에서 7월은 월 2회, 8월 이후 월 1회 병 발생실태를 조사하였다. 고추 탄저병은 안성, 평택의 관행재배 포장을 선정하여 6월 중순부터 9월 중순까지 월 2회 병 발생실태를 조사하였다. 벼 도열병은 여주, 안성의 관행재배 논을 선정 후 벼 있도열병은 6월에서 8월 중순까지 벼 이삭도열병은 9월 상순부터 하순까지 3회 병 발생실태를 조사하였다. 병 발생 영향요인 분석을 위하여 각 병해들의 병 발생 실태 조사 값과 병 발생에 영향을 미칠 수 있는 기상요인을 분석하여 조사년도별로 비교하였으며, 각 기상요인별 평년값(1981년~2010년)을 비교하여 기상요인 영향을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 벼 키다리병 발생 실태조사 및 영향요인 분석

벼 키다리병 발생은 2021년 평택시의 관행재배 중 진상품종 재배지에서 이앙 후 60일, 이앙 후 90일에는 각각 0.7%, 1.4%의 발병묘율을 보였고, 그 외 평택, 여주, 화성지역의 관행재배 농가에서는 벼 키다리병 발생이 확인되지 않았다. 반면, 평택시 친환경재배 지역에서 이앙 전부터 키다리병의 발생이 1.0% 확인되었으며, 이앙 후 30일에는 최대 2.9%의 발병주율을 보였고, 이앙 후 90일까지 지속적으로 발생이 확인되었으나 2020년의 이앙 후 60일 발병률인 7.4%보다는 발생량이 적었다(표 2). 키다리병의 발생 정도는 재배품종, 정식시기, 종자소독방법의 차이 등 재배환경에 따른 관리방법의 차이가 원인이 되므로 향후 병 발생 실태조사 시 농가 포장 재배이력에 대한 자세한 조사가 함께 수행되어야 할 것으로 생각된다.

표 2. 2021년 조사지역 및 품종별 벼 키다리병 발생 현황

조사지역	품 종	발병률(%)				'20년 발병률*	출수율** (%)
		이양 전	이양 후 (30일)	이양 후 (60일)	이양 후 (90일)		
평택	A 고시히카리	0	0	0	0	0	100
	B 진 상	0	0	0.7	1.4	-	50
	C 추 청	0	0	0	0	0	0
	삼 광	0	0	0	0	0	10
	D 대 안 맛드림	0	0	0	0	0	80 100
E 참드림(친환경)	1.0	2.9	1.8	0.5	7.4	20~30	
이천	A 해들(친환경)	0.1	0	0.5	0	-	0
	B 후미(친환경)	0	0	0	0	-	0
여주	A 고시히카리	0	0	0	0	0	100
	참드림	0	0	0	0	0	1~10
화성	A 추청, 참드림	0	0	0	0	0	-
	B 삼 광	0	0	0	0	0	-
	C 참드림(친환경)	0	0	0	0	0	-

* 키다리병 제거 ** 출수율(%): 8월 10일 조사

2020년과 2021년의 벼 키다리병 발생 현황을 비교한 결과, 2020년 대비 2021년에는 키다리병의 발생이 이양 후 30일 2.9%에서 이양 60일 후 1.8%로 발병요율이 감소하였다.

벼 키다리병의 병 발생 변동요인 분석을 위해 2020년과 2021년 기상요인을 벼 이양 시기인 5월부터 이양 후 60일인 7월까지의 평균기온, 최고기온, 최저기온을 분석한 결과, 2020년 대비 2021년이 이양시기인 5월의 평균기온은 1.3℃ 낮았으며, 평년과 비교했을 때 2.6℃ 낮았다. 또한, 최고기온과 최저기온도 2020년 대비 각각 1.6℃, 1.2℃ 낮은 것으로 나타났다. 벼 키다리병발생은 전년도 8.0% 대비 2021년은 2.9%로 낮은 발생률을 보였으며, 이는 이양 직후 낮은 기온이 병 발생의 감소에 영향을 준 것으로 생각된다(표 3). 평택지역의 2021년 강우조건을 분석한 결과, 5월 강우량과 강우일수는 전년 및 평년과 비교하여 많았으나, 6월과 7월은 강우일수의 2020년과 유사하였고, 강우량은 전년과 평년에 비해서 적은 것으로 조사되었으며, 6월과 7월의 적은 강우량이 이양 이후 키다리병 발생 감소에 온도와 함께 일부 영향을 준 것으로 생각된다(표 4). 또한 출수기 전, 후(7월 하순~8월 중순)의 강우일수와 강우량이 많았던 2020년의 발병률이 2021년 1.8% 대비 7.4%로 높게 유지되는 것을 확인하였다(표 5).

표 3. 벼 키다리병 발생 변동 분석을 위한 월별 기온 및 변화량(평택) (단위: °C)

구 분	5월			6월			7월		
	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저
2021년(a)	15.8	21.0	11.4	21.9	27.5	17.6	26.4	31.6	22.4
2020년(b)	17.1	22.6	12.6	22.3	27.7	18.4	22.6	26.6	19.4
변화량(a-b)	-1.3	-1.6	-1.2	-0.4	-0.2	-0.8	3.8	5.0	3.0
평년(c)	18.4	24.5	12.8	22.8	28.3	18.3	25.7	30.2	22.2
변화량(a-c)	-2.6	-3.5	-1.4	-0.9	-0.8	-0.7	0.7	1.4	0.2

표 4. 벼 키다리병 발생 변동 분석을 위한 월별 누적강우량 및 강우일수(평택)

구 분	5월		6월		7월	
	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)
2021년(a)	154.0	18	45.8	8	122.4	24
2020년(b)	99.3	14	124.2	12	251.9	24
변화량(a-b)	54.7	4	-78.4	-4	-129.5	0
평년(c)	77.6	-	109.5	-	300.6	-
변화량(a-c)	76.4	-	-63.7	-	-178.2	-

표 5. 출수기 전, 후(7월 하순~8월 중순) 기상과 발병률(평택)

지 역	평균온도(°C)		강우일수(일)		강우량(mm)		발병률(%)	
	'21	'20	'21	'20	'21	'20	'21	'20
평 택 (친환경)	26.4	24.5	6	22	66.9	709.6	1.8	7.4

벼 키다리병 발생 변동요인 분석을 위해 품종별 종자 소독에 따른 병 발생유무를 조사한 결과, 약제소독을 실시한 관행재배에서는 키다리병의 발생이 확인되지 않았으나 비소독 종자의 경우 대안 2.8%, 정드림과 해들 품종에서 50%이상의 발병모율을 보였고 그 외 종자에서는 0.1~0.4%의 낮은 발병주율을 보였다. 이는 종자소독을 철저히 할 경우 벼 키다리병 발생을 충분히 예방할 수 있음을 알 수 있었다(표 6).

표 6. 벼 재배유형 및 품종별 종자 소독방법*에 따른 키다리병 발병률 (단위: %)

재배유형	지역	품종	비소독	소독
관행	평택	추청	0.1	0
		삼광	0.1	0
		맛드림	0.2	0
		대안	2.8	0
	여주	고시히카리	0.3	0
		참드림	0.2	0
	화성	추청	0.1	0
		참드림	0.1	0
		정드림	50 >	0
		맛드림	0.2	0
		고시히카리	0.2	0
	친환경	평택	참드림	0.4
이천		해들	50 >	0.6
화성		참드림	0.1	0

* 종자소독: 온탕소독(60℃, 10분 침중), 약제소독(1차: 이프코나졸 유제+페니트로티온 유제 30℃ 30시간 침중, 2차: 플루디옥소닐 액상수화제 30℃ 18시간 침중)

나. 배 검은별무늬병 발생 실태조사 및 영향요인 분석

배 검은별무늬병 발생 실태조사 결과 2020년 대비 2021년이 발병시기가 빨랐으며 발병엽률은 2021년 5월 초, 평택지역 친환경재배 농가에서 0.3%, 화성지역 친환경재배 농가에서는 2.0%로 발생이 시작되었다. 관행 농가는 두 지역 모두 5월 중순 발병이 확인되었고 최대 2.2%까지 발병하였다. 반면, 친환경재배 농가는 최대 11.3%로 2020년 최대 발병엽률인 3.1% 대비 검은별무늬병 발생이 증가하였으며, 발병엽률의 큰 차이를 보였다. 이는 농가마다 재배지 포장관리 방법과 약제살포의 유무에 따른 원인으로 생각된다(표 7, 8).

표 7. 조사지역 및 시기별 배 검은별무늬병 평균 발병엽률('20) (단위: %)

조사지역	조사시기(월. 일)									
	4.22	5. 7	5.20	6. 2	6.18	7. 8	7.16	9.11	9.25	
평택	관행	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	친환경	0	0	0.3	1.9	1.4	1.1	1.2	3.6	3.1
화성	관행	0	0	0	0	0	0	0	0.3	0.7
	친환경	0	0	0.7	1.0	2.0	2.6	2.5	3.8	1.8
NCPMS(경기)		0	0	0	0	0	0.09	0.02	0.05	0.04

표 8. 조사지역 및 시기별 배 검은별무늬병 평균 발병엽률('21) (단위: %)

조사지역	조사시기(월. 일)										
	4.21	5. 7	5.21	6. 4	6.21	7. 5	7.26	8.25	9. 8	10.13	
평택	관행	0	0	0.1	0.2	0.1	0	0	0	0.1	0.1
	친환경	0	0.3	2.6	5.3	4.3	3.2	4.4	5.1	3.9	9.8
화성	관행	0	0	0.2	0.5	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	2.2
	친환경	0	2.0	6.0	5.3	4.5	4.2	4.3	4.3	4.8	11.3
NCPMS(경기)		0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0

배 검은별무늬병의 병 발생 변동요인 분석을 위해 2020년과 2021년 기상요인을 분석한 결과, 2021년의 경우 평택과 화성지역 모두 전년에 비해 4월과 7월에는 온도가 높았으며, 평택지역의 경우 5월과 6월에 전년 대비 0.8℃, 0.5℃ 평년 대비 2.1℃, 0.4℃가 낮았다(표 9). 화성지역의 경우에도 거의 유사한 기온 경향치를 나타내었다(표 10). 병 발생과 밀접한 관련이 있는 강우량의 경우, 2021년의 봄철 강우량은 전년에 비해 4월 4.1~98.9mm, 5월 17.7~60.1mm 더 많은 것으로 나타났고, 여름철인 6월과 7월에는 반대로 강우량과 강우일수 모두 전년과 평년에 비해 현저히 낮은 것으로 조사되었다.(표 11, 12). 결과적으로 4월부터 5월의 강우량과 강우일수가 많고 기온이 낮은 경우 검은별무늬병의 발생이 높았던 것으로 생각된다.

표 9. 배 검은별무늬병 발생 변동 분석을 위한 월별 기온 및 변화량(평택) (단위: °C)

구 분	4월			5월			6월			7월		
	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저
2021년(a)	13.2	19.7	6.9	16.3	22.0	11.0	22.4	28.4	17.2	27.2	33.1	22.3
2020년(b)	9.3	16.0	2.5	17.1	22.6	12.6	22.9	28.7	18.1	23.1	27.8	19.1
변화량(a-b)	3.9	3.7	4.4	-0.8	-0.6	-1.6	-0.5	-0.3	-0.9	4.1	5.3	3.2
평년(c)	12.5	18.7	6.3	18.4	24.5	12.8	22.8	28.3	18.3	25.7	30.2	22.2
변화량(a-c)	0.7	1.0	0.6	-2.1	-2.5	-1.8	-0.4	0.1	-1.1	1.5	2.9	0.1

표 10. 배 검은별무늬병 발생 변동 분석을 위한 월별 기온 및 변화량(화성) (단위: °C)

구 분	4월			5월			6월			7월		
	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저
2021년(a)	11.9	17.9	6.5	15.3	20.5	11.0	21.2	26.8	17.0	25.1	31.1	20.2
2020년(b)	9.3	15.0	3.6	16.1	21.9	11.6	21.3	27.2	17.1	22.5	27.3	19.1
변화량(a-b)	2.6	2.9	2.9	-0.8	-1.4	-0.6	-0.1	-0.4	-0.1	2.6	3.8	1.1
평년(c)	11.5	17.4	6.4	17.0	23.1	12.0	21.6	27.0	17.3	24.8	28.9	21.7
변화량(a-c)	0.4	0.5	0.1	-1.7	-2.6	-1.0	-0.4	-0.2	-0.3	0.3	2.2	-1.5

표 11. 배 검은별무늬병 발생 변동 분석을 위한 월별 누적강우량 및 강우일수(평택)

구 분	4월		5월		6월		7월	
	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)
2021년(a)	4.6	7	123.2	16	64.3	11	104.9	10
2020년(b)	0.5	3	105.5	15	124.2	11	258.1	20
변화량(a-b)	4.1	4	17.7	1	-59.9	0	-153.2	-10
평년(c)	65.8	-	77.6	-	109.5	-	300.6	-
변화량(a-c)	-61.2	-	45.6	-	-45.2	-	-195.7	-

표 12. 배 검은별무늬병 발생 변동 분석을 위한 월별 누적강수량 및 강우일수(화성)

구 분	4월		5월		6월		7월	
	강수량 (mm)	일수 (일)	강수량 (mm)	일수 (일)	강수량 (mm)	일수 (일)	강수량 (mm)	일수 (일)
2021년(a)	115.5	8	150.9	15	41.6	10	92.9	7
2020년(b)	16.6	3	90.8	17	91.4	10	349.4	18
변화량(a-b)	98.9	5	60.1	-2	-49.8	0	-256.5	-11
평년(c)	63.3	-	72.2	-	102.0	-	327.3	-
변화량(a-c)	52.2	-	78.7	-	-60.4	-	-234.4	-

배 검은별무늬병의 병 발생 변동요인 분석을 위해 재배지역별 약제 살포현황을 조사한 결과, 관행재배의 경우 2021년에는 살균제를 13~22회 살포하였으며 2020년의 10~21회에 비해 살포횟수가 다소 증가하였다. 농가별 일부 차이는 있었으나 봄철 배 검은별무늬병 발생시기에 강우일수와 강우량이 증가함에 따라 약제 살포횟수도 증가한 것으로 생각된다(표 13).

표 13. 배 검은별무늬병 발생 변동 분석을 위한 살균제 살포횟수

조사지역	살균제 살포횟수('21)								'20	
	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	합계		
평 택	A	1	5	7	5	2	3	0	22	21
	관행 B	0	3	5	4	3	2	2	19	15
	C	0	6	4	3	2	1	1	17	18
	D	0	1	6	5	3	0	1	16	-
	친환경* E	0	4	6	5	0	2	1	17	-
	F	0	1	6	5	3	-	1	16	-
화 성	A	0	3	4	3	2	1	0	13	10
	관행 B	0	3	3	2	-	-	-	8	-
	C	1	6	4	3	2	2	-	17	24
	친환경 D	0	3	1	2	-	-	-	6	-

*친환경재배: 유행 살포횟수

다. 고추 탄저병 발생 실태조사 및 영향요인 분석

고추 탄저병은 안성지역에서 8월 상순부터 2022년 1.6%, 2023년 0.5%, 평택지역에서는 7월 중순부터 2022년 0.3%, 2023년 0.7% 발생이 확인되었고, 9월 상순에는 안성 2022년 평균 13.5%, 2023년 2.2% 평택 2022년 평균 25.3%, 2023년 10.9%의 발병과율을 보였으며, 조사지역 간 편차가 컸다. NCPMS의 경기지역 고추 탄저병 발생과 비교하였을 때, 8월 중순까지는 유사한 발생 경향이었고, 9월 상순 이후는 조사지역의 평균 발생율이 최대 25.3%로 NCPMS 평균 발생률 9.6~13.6%보다 발생이 높은 것으로 확인되었다(표 14).

표 14. 조사지역 및 시기별 고추 탄저병 평균 발병과율(경기)

(단위: %)

조사지역	연도	6월 중순	7월 상순	7월 중순	8월 상순	8월 중순	9월 상순	9월 중순
안 성	2022	0	0	0	1.6	5.5	13.5	11.5
	2023	0	0	0	0.5	0.5	2.2	1.9
평 택	2022	0	0	0.3	2.2	3.3	25.3	0.4
	2023	0	0	0.7	0	4.3	10.9	14.5
NCPMS (경기)	2022	0	0	0	2.4	6.4	9.6	-
	2023	0	0	0	3.2	6.0	13.6	-

경기지역 고추 탄저병의 발생 현황을 NCPMS 관찰포 데이터로 분석한 결과, 2021년에서 2023년은 8월 상순 발생 후 최대 7.6~13.6%로 유사한 발생양상을 보였고, 2021년을 기점으로 점차 증가하는 경향을 보였다(그림 1).

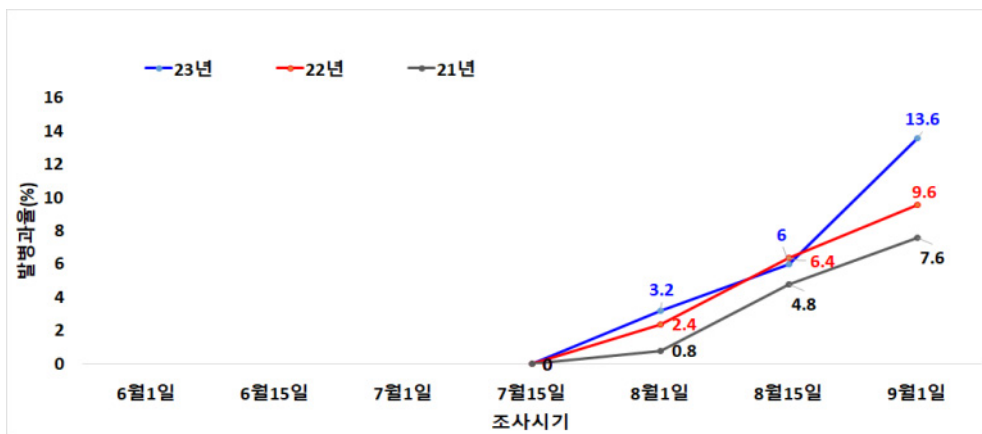


그림 1. 경기도 고추 탄저병 발생 현황(NCPMS 데이터)

고추 탄저병의 병 발생 변동요인 분석을 위해 2021년부터 2023년까지 기상요인을 분석하였다. NCPMS의 고추 탄저병 발생정도가 유사한 6, 7월 평균기온, 최고기온과 최저기온은 큰 차이가 없었다. 반면, 8월과 9월의 평균기온, 최고기온, 최저기온은 2023년 안성과 평택 두 지역 모두 2021년, 2022년은 평년에 비해 평균기온과 최고기온, 최저기온 모두 8월은 0.4~2.6℃ 높았으며, 9월은 0.2~3.7℃ 높았다(표 15, 16). 특히, 7월 강우량은 2023년의 경우 평년 안성 257.0mm, 평택 254.8mm보다 2배 이상의 높은 강우량을 보였고 이는 고추 탄저병의 발생에도 일부 영향을 주었을 것으로 생각된다(표 17, 18). 고추 탄저병 발생요인 분석으로 누적강우량, 강우일수, 기온과 방제횟수는 고추 탄저병 발생과 상관이 없었으나, 과실을 맺는 시기인 6월 상순부터 9월 상순까지 기간별 누적강우량과 높은 상관을 보였다(표 19). 기간별 누적강우량과 발병과율의 회귀분석 결과 통계적으로 유의하였고 0.86의 결정계수를 보였다(그림 2).

표 15. 고추 탄저병 발생 변동 분석을 위한 월별 기온 및 변화량(안성) (단위: °C)

구 분	6월			7월			8월			9월		
	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저
2023년(a)	23.0	28.3	18.1	26.0	30.7	22.6	26.6	31.6	22.8	22.7	27.6	18.8
2022년(b)	22.9	28.5	18.1	26.3	31.0	22.4	25.0	29.0	21.6	21.1	27.1	16.3
2021년(c)	22.2	27.9	17.2	26.9	32.3	22.4	24.8	29.7	21.0	21.4	26.5	17.2
평년(d)	22.6	27.4	16.9	25.6	28.8	20.7	25.6	30.1	20.9	20.8	26.2	15.1
변화량(a-b)	0.1	-0.2	0.0	-0.3	-0.3	0.2	1.6	2.6	1.2	1.6	0.5	2.5
변화량(a-c)	0.8	0.4	0.9	-0.9	-1.6	0.2	1.8	1.9	1.8	1.3	1.1	1.6
변화량(a-d)	0.4	0.9	1.2	0.4	1.9	1.9	1.0	1.5	1.9	1.9	1.4	3.7

표 16. 고추 탄저병 발생 변동 분석을 위한 월별 기온 및 변화량(평택) (단위: °C)

구 분	6월			7월			8월			9월		
	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저
2023년(a)	22.6	27.4	18.6	26.0	30.1	22.9	26.7	31.2	23.3	22.8	27.4	19.0
2022년(b)	22.8	27.6	18.9	26.4	30.2	22.3	25.1	28.7	22.1	21.3	27.2	16.4
2021년(c)	22.3	27.5	18.1	27.2	32.3	23.2	25.2	29.6	21.9	21.9	26.9	17.6
평년(d)	22.5	26.7	17.0	24.5	28.5	20.8	26.3	29.6	21.2	21.0	25.9	15.4
변화량(a-b)	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4	-0.1	0.6	1.6	2.5	1.2	1.5	0.2	2.6
변화량(a-c)	0.3	-0.1	0.5	-1.2	-2.2	-0.3	1.5	1.6	1.4	0.9	0.5	1.4
변화량(a-d)	0.1	0.7	1.6	1.5	1.6	2.1	0.4	1.6	2.1	1.8	1.5	3.6

표 17. 고추 탄저병 발생 변동 분석을 위한 월별 누적강우량 및 강우일수(안성)

구 분	6월		7월		8월		9월	
	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)
2023년(a)	120.5	10	516.0	18	213.0	12	169.0	12
2022년(b)	169.0	10	177.0	10	442.5	16	123.5	5
2021년(c)	48.5	7	104.5	10	130.5	14	252.0	11
평년(d)	82.5	-	257.0	-	254.1	-	107.5	-
변화량(a-b)	-48.5	0	339.0	8	-229.5	-4	45.5	7
변화량(a-c)	72.0	3	411.5	8	82.5	-2	-83.0	1
변화량(a-d)	38.0	-	259.0	-	-41.1	-	61.5	-

표 18. 고추 탄저병 발생 변동 분석을 위한 월별 누적강우량 및 강우일수(평택)

구 분	6월		7월		8월		9월	
	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)
2023년(a)	109.5	7	462.5	16	227.0	11	161.0	12
2022년(b)	310.0	9	179.5	9	430.5	16	147.0	5
2021년(c)	35.0	7	118.5	10	435.4	15	163.0	11
평년(d)	73.5	-	254.8	-	334.2	-	128.4	-
변화량(a-b)	-200.5	-2	283.0	7	-203.5	-5	14.0	7
변화량(a-c)	74.5	0	344.0	6	-208.4	-4	-2.0	1
변화량(a-d)	36.0	-	207.7	-	-107.2	-	32.6	-

표 19. 경기도 탄저병 관찰포 기간별 누적강우량

연 도	기간별 누적강우량(mm)				
	7월 상순	7월 중순	8월 상순	8월 중순	9월 상순
2023	124.5	484.9	595.4	707.8	802.3
2022	238.8	362.0	445.1	839.6	925.0

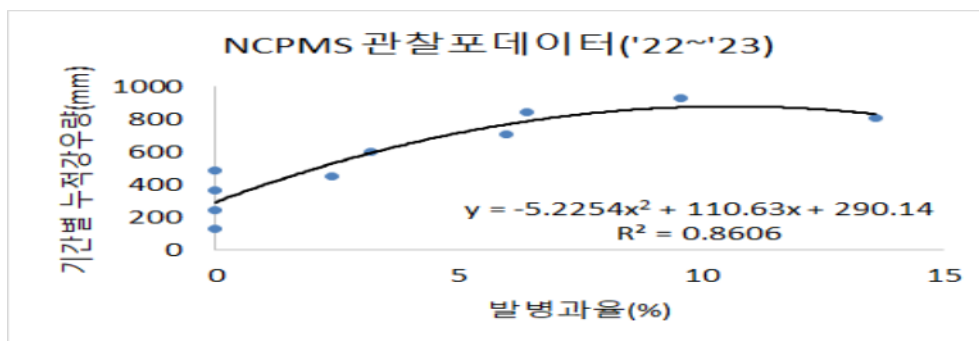


그림 2. 고추 관찰포 기간별 누적강우량과 발병과율 회귀분석

고추 탄저병의 발생 요인을 확인하기 위해 불칼라 등 5가지 품종을 대상으로 7월 중순 이후 탄저병 방제약제를 4회 방제한 처리구와 방제약제를 처리하지 않은 처리구의

탄저병 발생을 비교하였다. 탄저병을 방제한 처리구에서는 품종별로 8월 중순까지는 2022년에 고추 탄저병이 0.1% 이하로 낮은 발생률을 보였고 2023년 발생하지 않은 반면, 무방제 처리에서는 2022년 7월 하순에 탄저병의 발생이 확인된 이후 8월 중순에는 모든 처리구에서 발생하였으며 8월 하순에는 티탄아트를 제외한 불갈라 등 4품종에서 100%의 발생이 확인되었고, 2023년 또한 8월 중순에 불갈라 품종에서 1.7% 발생하며 8월 하순 티탄대박 품종을 제외하고 최대 70.3% 발병하였다. 고추 탄저병의 발생은 7월, 8월 강우량 등 기상요인이 주요한 영향을 주지만, 품종과 살균제 등 약제방제 여부 또한 큰 영향을 주는 요인으로 생각된다(표 20).

표 20. 탄저병 방제 유무에 따른 품종별 고추 탄저병 발병과율 (단위: %)

연 도	품 종	7월 하순		8월 중순		8월 하순	
		방제	무방제	방제	무방제	방제	무방제
2022	불갈라	0	0.1	0	0.7	19.0	100
	갈라탄	0	0	0.1	2.7	0.2	100
	칼탄패스	0	0	0.1	1.3	0.7	100
	케이스타	0	0.1	0.1	1.1	8.5	100
	티탄아트	0	0	0	3.2	0.1	12.7
2023	불갈라	0	0	0	1.7	0	70.3
	갈라탄	0	0	0	0	0	8.5
	칼탄패스	0	0	0	0	0	24.1
	케이스타	0	0.1	0	0	0	1.5
	티탄대박	0	0	0	0	0	0

*방제: 7월 중순 ~ 8월 중순 기간 탄저병 방제 4회

라. 벼 도열병 발생 실태조사 및 영향요인 분석

2022년 6월 상순부터 8월 중순까지 여주와 안성지역의 조사지점에서 벼 잎도열병의 발생은 확인되지 않았으나 2023년 여주지역에서 7월 상순부터 0.1%~0.2% 발생하였으며, 경기지역의 NCPMS 조사결과 2023년 8월 상순부터 0.1% 확인되었다(표 21).

표 21. 조사지역 및 시기별 벼 잎도열병 평균 병든엽률(경기) (단위: %)

조사지역	연도	6월 상순	6월 중순	7월 상순	7월 중순	8월 상순	8월 중순
안 성	2022	0	0	0	0	0	0
	2023	0	0	0	0	0	0
여 주	2022	0	0	0	0	0	0
	2023	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
NCPMS (경기)	2022	0	0	0	0	0	0
	2023	0	0	0	0	0.1	0.1

벼 이삭도열병의 발생은 9월 중순 이후 2022년에는 여주지역의 진상 품종에서 평균 3.7~6.0% 확인되었으며, 2023년에는 9월 상순부터 평균 4.8~8.5% 발생하여 전년 대비 병 발생시기가 빨라지고 발생량이 증가하였다. 안성지역은 2022년에 9월 중순 이후 이삭도열병이 확인되었으며 9월 하순까지 발생이 확산되었고 2023년은 거의 발생하지 않았다. 경기지역의 NCPMS의 조사결과 2022년은 도열병이 확인되지 않았으나 2023년은 최대 0.2% 발생하였다(표 22).

표 22. 조사지역 및 시기별 벼 이삭도열병 평균 병든이삭률(경기) (단위: %)

조사지역	연도	9월 상순	9월 중순	9월 하순
안 성	2022	0	1.6	9.9
	2023	0	0	0
여 주	2022	0	3.7	6.0
	2023	4.8	6.2	8.5
NCPMS (경기)	2022	0	0	0
	2023	0.1	0.2	0.2

경기지역 벼 도열병 발생현황을 NCPMS 데이터와 비교하여 분석한 결과, 2021년부터 2023년까지 잎도열병은 0.03~0.04% 발생 되었으며 유의한 차이를 보이지 않은 반면 벼 이삭도열병은 2023년 0.18% 발생하였다(그림 3). 벼 도열병이 발생한 2022년과 2023년의 여주지역 기상조건을 비교하면 2023년 7월 평균 강우량이 평년에 비해

200mm이상 많았고 2022년 8월 평균 강우량이 평년에 비해 250mm이상 많았다(표 23, 24). 기상조건(기온, 강우)과 잎도열병의 병무늬면적률의 상관분석 결과 평균기온, 최고기온, 최저기온은 상관이 있었고, 기간별 누적강우량은 강한 상관을 보였다(표 25, 26). 벼 도열병의 발생은 기온과 기간별 누적강우량 등 기상요인이 주요한 영향을 주는 것으로 판단된다.

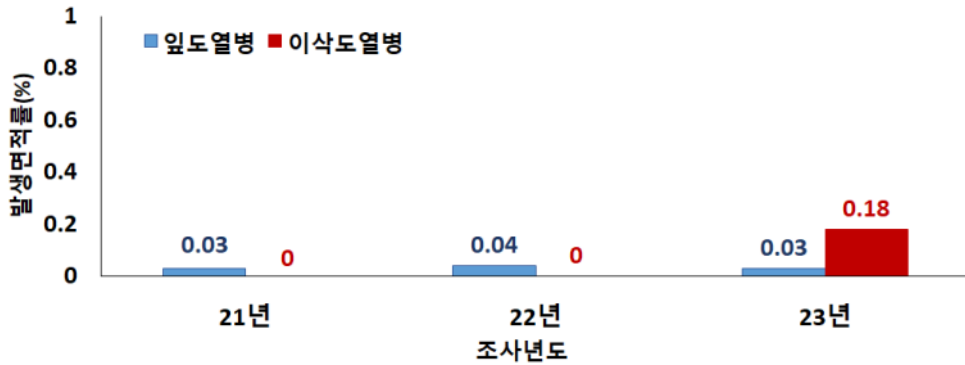


그림 3. 경기도 벼 도열병 발생 현황(NCPMS 데이터)

표 23. 벼 도열병 발생 변동 분석을 위한 월별 기온 및 변화량(여주) (단위: °C)

구 분	6월			7월			8월			9월		
	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저
2023년(a)	22.4	27.9	17.3	25.5	30.3	22.0	26.2	31.4	22.1	21.8	27.3	17.8
2022년(b)	22.0	27.4	16.9	25.7	30.5	21.8	24.4	28.4	21.3	19.8	26.8	14.5
2021년(c)	21.6	27.4	16.3	26.1	31.8	21.4	24.0	29.1	20.0	20.3	26.2	15.5
평년(d)	21.4	27.5	15.9	24.9	28.7	20.5	24.9	30.3	20.5	19.6	26.3	14.4
변화량(a-b)	0.4	0.5	0.4	-0.2	-0.2	0.2	1.8	3.0	0.8	2.0	0.5	3.3
변화량(a-c)	0.8	0.5	1.0	-0.6	-1.5	0.6	2.2	2.3	2.1	1.5	1.1	2.3
변화량(a-d)	1.0	0.4	1.4	0.6	1.6	1.5	1.3	1.1	1.6	2.2	1.0	3.4

표 24. 벼 도열병 발생 변동 분석을 위한 월별 누적강우량 및 강우일수(여주)

구 분	6월		7월		8월		9월	
	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)	강우량 (mm)	일수 (일)
2023년(a)	100.0	10	463.5	15	195.5	11	182.5	12
2022년(b)	207.5	10	192.0	14	506.0	16	194.0	6
2021년(c)	34.5	9	174.5	10	106.0	13	182.5	9
평년(d)	88.6	-	269.6	-	241.9	-	127.5	-
변화량(a-b)	-107.5	0	271.5	1	-310.5	-5	-11.5	6
변화량(a-c)	65.5	1	289.0	5	89.5	-2	0.0	3
변화량(a-d)	11.4	-	193.9	-	-46.4	-	55.0	-

표 25. 벼 도열병 발생 변동 분석을 위한 기간별 누적강우량(여주)

연 도	기간별 누적강우량(mm)					
	6월상순	6월중순	7월상순	7월중순	8월상순	8월중순
2023	13.5	100.0	489.0	563.5	651.0	759.0

표 26. 벼 도열병 발생 변동 분석을 위한 기상조건과 병무늬면적률 상관분석(여주)

구 분	평균기온	최고기온	최저기온	월별 누적강우량	기간별 누적강우량	잎도열병 (병무늬면적률)
평균기온	1					
최고기온	0.98	1				
최저기온	0.98	0.93	1			
월별 누적강우량	0.19	0.04	0.32	1		
기간별 누적강우량	0.85	0.82	0.89	0.27	1	
잎도열병 (병무늬면적률)	0.79	0.80	0.79	0.16	0.96	1

4. 적 요

기후변화에 따른 돌발병해에 대한 장기방안 수립을 위하여 2020년부터 2023년까지 4년간 경기지역의 병 발생 실태조사와 영향요인분석을 수행한 결과는 다음과 같다.

- 가. 벼 키다리병은 평택, 화성, 이천과 여주지역을 대상으로 병 발생실태를 조사한 결과, 평택 친환경재배 논은 2020년에 비해 2021년에 키다리병의 발병묘율이 감소하였다.
- 나. 벼 키다리병 발생과 관련하여 기상조건을 분석한 결과, 출수기 전후(7월 하순~ 8월 중순)의 강우일수와 강우량이 많았던 2020년의 발병률이 높게 유지되는 것을 확인하였으며, 출수기 전후(7월 하순~ 8월 중순)의 강우일수와 강우량이 가장 큰 영향요인으로 판단된다.
- 다. 배 검은별무늬병은 평택과 화성지역을 대상으로 병 발생실태를 조사한 결과, 관행재배의 경우 2020년과 2021년도에 발병엽률이 0.5% 이하로 낮은 병 발생정도를 보였으나, 친환경재배의 경우 2021년이 2020년에 비해 발병엽률이 높았고 5월 초에서 5월 중순까지 병 발생율이 크게 증가한 후 발생율이 9월까지 지속되었다.
- 라. 배 검은별무늬병 발생과 관련하여 기상조건을 분석한 결과, 4~6월 강우량과 강우일수 및 약제살포가 가장 큰 영향요인으로 판단된다.
- 마. 고추 탄저병은 안성과 평택지역을 대상으로 병 발생실태를 조사한 결과, 2021년에서 2023년은 8월 상순 발생 후 최대 7.6~13.6%로 유사한 발생양상을 보였고, 2021년을 기점으로 점차 증가하는 경향을 보였다.
- 바. 고추 탄저병 발생과 관련하여 기상조건을 분석한 결과 고추 탄저병 발병률은 누적강우량, 강우일수, 기온과 방제횟수와는 상관이 없었으나, 과실이 맺히는 시기인 6월 상순부터 9월 상순까지의 기간별 누적강우량과 높은 상관을 보였고 회귀분석 결과 0.86의 결정계수를 보였다.
- 사. 벼 도열병은 여주와 안성지역을 대상으로 잎도열병과 이삭도열병의 발생실태를 조사한 결과, 2022년 두 지역 모두 잎도열병의 발생은 거의 확인되지 않았으나 2023년에는 여주지역에서 7월 상순부터 0.1~0.2% 발생하였다. 벼 이삭도열병은 9월 중순 이후 2022년에는 여주지역의 진상 품종에서 평균 3.7~6.0% 발생되었고, 2023년에는 9월 상순부터 4.8% 발생하여 전년 대비 증가하였다.
- 아. 벼 도열병 발생과 관련하여 기상요인을 분석한 결과 평균기온, 최고기온, 최저기온은 상관이 있었고, 기간별 누적강우량은 강한 상관을 보여 벼 도열병의 발생은 기온과 기간별 누적강우량 등 기상요인이 병 발생에 주요한 영향을 주는 것으로 판단된다.

5. 인용문헌

- 김관원, 김태영. 2017. 공간적 종속성을 고려한 기후변화가 벼 병해충 발생에 미치는 영향분석. 한국농식품정책학회 학술대회 논문집, 2(2017), 891-914.
- 김춘송 외 8인. 2007. 기후변화에 따른 영남지역의 벼 출수적기 평가. 한국농업기상학회지, 9(1), 17.
- 신정욱, 윤성철. 2011. 한국의 2011~2100년 기후변화가 고추 탄저병 살균제 살포에 미치는 영향. 한국농림기상학회지, 13(1), 10~19.
- 이승호, 허인혜, 이경미, 김선영, 권원태. 2008. 기후변화가 농업생태에 미치는 영향 -나주지역을 사례로-. 대한지리학회지, 43(1), 20-35.
- 정학균, 김창길, 문동현. 2014. 기후변화가 벼 병해충 피해면적 발생에 미치는 영향분석. 한국환경농학회지, 33(1), 52
- Park, E.W., Kang E.S., Kim H.S., Park S.G., and Kim H. 2012. Boonekamp, P.M. 2012. Are plant diseases too much ignored in the climate change debate? European Journal of Plant Pathology, 133, 291-294.
- Porter, J.R., Xie L., Challinor A.J., Cochrane K., Howden S.M., Iqbal M.M., Lobell D.B., and Travasso M.I. 2014. Food security and food production systems.

6. 연구결과 활용제목

- 경기도 벼 안정생산을 위한 기후변화에 따른 키다리병 영향취약성 평가(영농활용)
- 경기도 배 안정생산을 위한 기후변화에 따른 검은별무늬병 영향취약성 평가(영농활용)
- 경기도 고추 안정생산을 위한 기후변화에 따른 탄저병 영향취약성 평가(영농활용)
- 경기도 벼 안정생산을 위한 기후변화에 따른 도열병 영향취약성 평가(영농활용)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
						'21	'22	'23
기후변화에 따른 병해 발생 실태조사 및 영향요인 분석 연구	책임자	환경농업연구과	농업연구사	유주형	세부과제 총괄	-	-	○
	공동연구자	〃	농업연구사	이영수	데이터 정리	○	○	○
	〃	〃	〃	최종윤	데이터 정리	○	○	○
	〃	〃	〃	김소희	데이터 정리	○	○	○
	〃	〃	〃	이현주	시험성적 검토	○	○	○
	〃	〃	농업연구관	장정희	데이터 평가	-	-	○
	〃	〃	〃	박중수	연구 자문	-	○	○