

고추 종합 예찰방제 중 탄저병 예찰 타당성 포장 평가

김성택 · 안문일 · 윤성철*
선문대학교 의생명과학과

Evaluation of Anthracnose Forecaster of an Integrated Pest Management System on Hot Pepper in the Fields

Sung Taek Kim, Mun Il Ahn and Sung-Chul Yun*

Department of Biomedical Sciences, Sun Moon University, Asan 336-708, Korea

(Received on February 26, 2010)

Field trials were conducted in Suwon, Andong, Bongwha and Taean to evaluate an anthracnose forecaster in the integrated pest management system (IPM) including anthracnose, *Phytophthora* blight and tobacco budworm for hot pepper in 2008-2009. Percentage of diseased fruits by pepper anthracnose and yield were compared among three treatments, no-fungicide, forecaster and conventional. The incidence and yield of the forecaster at Bongwha on two varieties were 3.1-3.5% and 30-33 kg/40 plants. These were little less than those of the conventional's 0.3-0.8% and 35-36 kg/40 plants and much higher than those of the no-fungicide's 23-27% and 18-24 kg/40 plants. The number of spray at the forecaster was 5 times, whereas those at the conventional was 11-19 times depending on the farmers. In addition, the results of an anthracnose forecaster at the other three field trials allowed in protecting hot pepper from anthracnose while reducing the amount of pesticides used and the total cost of the pathogen control. However, it is needed to improve for anthracnose forecaster when anthracnose pressure was high such as Taean where 60-80% of the incidence. Because the control values of the forecaster at Taean were between those of no-pesticide and conventional treatment at best. If anthracnose is severe early in the season, additional preventive control should be considered when the fruits were fully grown yet.

Keywords : Anthracnose, Disease forecaster, Hot pepper, IPM, Field validation

우리나라 노지 고추 재배는 연작으로 인한 역병, 탄저병 등 병해 발생이 심각하여, 오랜 재배 경험을 갖고 있는 농가라 할지라도 생육 기간 내내 정기적으로 예방용 살균제를 살포하고 있다(권과 이, 2002; Kang 등, 2009). 특히 탄저병은 과실이 익어감에 따라 급격히 발생하여 생고추 수량 감소가 심각한 병해(권과 이, 2002; Ahn과 Yun, 2009)인데 열매가 달린 7월 이후에 방제가 집중되어 작기당 10회 이상 살포함으로써 친환경 고추 생산에 걸림돌이 되고 있다(안, 2009). 탄저병에 감염된 열매는 생육 초기 방제적기를 놓치면 생육 후기에 발병이 급증하는데, 이는 탄저병 적기 방제 시기를 놓쳤기 때문이다. 포장에

서 심각한 탄저병 병징을 육안으로 확인한 이후 살균제의 집중적 살포는 방제 효과가 떨어짐에도 불구하고 실제 농가에서는 과도하게 살포하는 경우도 많다. 따라서 탄저병은 예찰에 의한 방제가 매우 중요하다.

본 연구팀에서 개발한 고추 탄저병 살균제 적기 방제 시스템은 예찰을 통해 탄저병 감염 시기를 추정하여, 감염 발생 즉시 치료용 살균제를 초기 방제하는 저농약 실천 방안이다(Ahn 등, 2008). 탄저병 예찰방제는 감염 예측을 통해 화학농약 살포를 작기당 3-5회 이내로 줄이는 것이 목표이다. 이를 위해서는 감염 예측에 필요한 환경요인을 포장에서 실시간 모니터링하여 탄저병 감염 위험도를 계산하고(Kim 등, 2006; Wilson 등, 1990), 발병 경보 발령 즉시 치료용 농약을 살포하도록 하는 적기방제 체계가 구축되어야 한다. 고추 탄저병 예찰은 탄저병 감염 위험 모델(Kang 등, 2010)과, 탄저병 예찰 모델의 타

*Corresponding author
Phone) +82-41-530-2282, Fax) +82-41-530-2939
Email) scyun@sunmoon.ac.kr

당성 검정(Ahn 등, 2008)을 통하여 개발된 것이다.

그런데, 실제 고추 농가에서 예찰 방제를 실용화하려면 탄저병뿐만 아니라 다른 주요 고추 병해충 방제를 동시에 고려하는 종합적인 방제 시스템(IPM)이 필요하다. 종합 예찰방제는 대상 병해충 특성을 모두 고려하되(안, 2009) 약제 방제를 단순화하고 여러 약제를 혼합살포하는 전략이 필요하며, 이를 포장에서 검증해야 한다(Bounds 등, 2006). 현재 본 연구팀에서 구축한 고추 병해충 예찰 시스템은 역병과 담배나방 예찰을 포함하는 것인데, 세 예찰모형으로부터 예측된 병해충 발생 경보에 따라 예찰 방제를 모두 실행한다면, 오히려 관행방제보다 더 빈번히 약제를 살포할 수도 있다.

따라서 본 연구는 실제 농가포장에서 고추 병해충 종합 방제 실용화를 목표로 시험포장 및 농가포장에서 고추 탄저병 뿐만 아니라 역병, 담배나방을 동시에 고려한 고추 종합 예찰방제를 실시하고, 이들 중 탄저병 부분의 타당성을 평가하였다. 정기방제 혹은 농민의 경험적 판단에 따른 관행방제에 비해 종합 예찰방제가 살균제 살포 횟수를 현저히 줄이면서도 이에 버금가는 발병억제와 수확량을 달성하는지를 알아보고자 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

2008년 시험포장 실험. 고추 종합 병해충 예찰 시스템 타당성 평가는 경기도 화성시 경기도 농업 기술원과 경상북도 안동시 안동대학교 시험포장에서 실시하였다. 수원에는 5월 6일에 부자 품종을, 안동에서는 5월 1일에 왕대박 품종을 정식하였다. 재식방법은 두 포장 모두 고랑 간격 1 m, 재식거리는 40 cm로 하였다. 수원포장은 잡초 방제를 위해 이랑에 부직포를 덮은 반면, 안동포장에는 덮지 않았다. 수원과 안동 포장 실험의 세 처리는 (i) 살균제를 살포하지 않은 '무방제' 처리, (ii) 역병, 탄저병, 담배나방 세 가지 예찰 모형이 동시에 고려된 '예찰방제' 처리, (iii) 역병, 탄저병, 담배나방의 방제 약제를 혼합하여 7-10일 간격으로 살포하는 '정기방제' 처리였다. 고추 역병 모델의 경우 초발일을 예측하여 발병 예측보다 7-14일 앞당겨 두 번 방제하는 것이므로 보통 5-6월에 방제가 이루어지며, 담배나방은 세대별 방제로서 7-8월에 예찰방제가 이루어진다. 따라서 종합 예찰방제 중 탄저병 방제 전략은 생육 초기부터 6월 말까지 역병 초발일 예찰 경보에 따라 1-2회 역병과 탄저병 약제를 혼용 방제하고, 7월 이후에는 탄저병 예찰 경보가 발령되는 즉시 약제를 살포하는 예찰에 의한 방제를 하는 것이었다. 또한 7월말 경에는 담배나방 예찰에 의한 방제시 탄

저병 약제를 살충제와 1-2회 혼용살포 하였다. 예찰방제에 사용된 탄저병 약제는 azoxystrobin과 tebuconazole이었으며, 정기방제에 사용된 약제는 azoxystrobin, chlorothalonil, dithianon, tebuconazole이었다. 수원포장과 안동포장은 난괴법 4반복으로 집구(block)를 나누고 각 집구별로 세 처리가 포함되는 총 12개 시험구를 설치하였고, 각 시험구는 최소 40주 이상의 고추를 심었다. 병 조사는 수원포장만 7월 4일부터 7월-10일 간격으로 시험구 당 무작위로 식물체 10주를 선정하여 총 열매 개수 중 이병열매의 개수의 백분율(이병과율)을 조사하였다. 수확은 고추 10주를 무작위로 선발하여, 붉은 열매 생중량을 조사하였다. 수원은 8월 27일, 안동은 8월 20일에 수확하였다.

2009년 농가포장 시험. 고추 종합 예찰 시스템 모형의 농가 적용을 위해 고추를 연작하는 경상북도 봉화군 봉성면 다섯 농가 포장과 충청남도 태안군 안면읍 세 농가 포장에서 실시하였다. 재식 품종은 봉화에서는 상감과 부르미, 태안은 엄청난과 무한질주를 사용하였다. 이들 중 상감만 역병 감수성 품종이며 나머지 세 품종은 저항성 품종이었다. 봉화 다섯 농가 포장은 모두 5월 5일에 정식했고, 태안 세 농가 포장은 각각 4월 13일, 4월 18일, 4월 20일에 정식하였다. 태안은 5월 말까지 터널식 재배를 하였으나, 봉화는 실시하지 않았다. 잡초방제, 시비 등은 화학방제를 제외한 포장 관리는 각 농가 관행재배에 의해서 수행되었다. 농가 포장시험의 처리는 (i) 살균제를 살포하지 않은 '무방제' 처리, (ii) 역병, 탄저병, 담배나방 세 가지 예찰 모형이 동시에 고려된 '예찰방제' 처리, (iii) 농가의 판단에 따라 살균제 살포 시기를 결정하는 '관행방제' 등 세 가지 처리였다. 예찰방제에 사용한 약제는 azoxystrobin과 tebuconazole이며 관행방제는 농가에서 사용하던 azoxystrobin, carbendazim-kasugamycin, chlorotahlomil copper sulfate basic, fluazinam, iminoctadinetriacetate, kasugamycin-copper oxychloride, kasugamycin-thiophanate-methyl, mancozeb, propineb, pyrachlostrobin, tebuconazole, trifloxystrobin 등이었다. 여덟 농가는 최소 300평에서 1,500평까지 다양하였는데, 각 포장은 세 처리를 모두 포함하는 하나의 집구로 포장 설계하였고, 봉화와 태안 두 지역에서 두 품종으로 각각 나누어 봉화 5반복, 태안 3반복의 난괴법으로 분석하였다. 봉화에서 병 조사와 수확은 8월 11일, 9월 4일, 19일, 10월 10일 4차례 수행하였으며 태안에서 병 조사는 7월 23일, 30일, 8월 6일, 13일, 20일, 27일 수확은 7월30일, 8월 13일, 26일에 수행하였다. 시험구 당 고추 40주를 무작위로 선정하여 수확한 붉은 고추 중에서 총 열매 개수 중 이병열매의 개수 백분율인 발병과율과 붉은 열매의 생중량을 조사 분석하였다.

탄저병 예찰 프로그램 구동 및 통계분석. 실험이 수행된 고추 포장 내에서 온도, 강우량, 지온, 고추 엽면 수분 존재시간, 풍향, 풍속, 일사량 등의 기상자료를 자동기상 관측장비로 매시간 측정, 모뎀을 통해 서울대 역학 실험실 메인서버에 저장하였다. 고추 포장내 기상관측 장비 운용은 2008년에는 수원(37° 13' 17.30"N, 127° 2' 18.80"E) 과 안동(36° 29' 26.6"N, 128° 55' 39.5"E) 두 시험포장 내에 설치하였고, 2009년에는 봉화 1개 포장(36° 50' 51.6"N, 128° 48' 31.8"E), 태안 1개 포장(36° 59' 43.8"N, 126° 34' 28.2"E)에만 설치하였는데 관측장비로부터 인근 5포장과 3포장들의 거리는 반경 3 km 이내였다. 시간별로 전송받은 기상자료 중에서 시간별 기온, 강우량, 엽면수분존재 시간을 입력변수로 탄저병 예찰 모형 프로그램(Pepper anthracnose 1.73)을 구동하였다(Ahn 등, 2008).

2008년 두 시험포장 실험에서는 누적감염위험도가 3 이상일 때 예찰 살포 경보가 울리도록 허용한계 기준(threshold)을 정하였으나, 2009년 농가포장 시험에서는 농민들의 탄저병 피해를 더 줄이기 위해 허용한계 기준을 2.7로 낮추고, 발병 경보가 울리는 즉시 각 농가가 직접 예찰방제를 수행하였다. 예찰방제 후 7일 이내에 다시 감염 경보가 울릴 경우, 살균제 약효가 기주에 지속되므로 다시 방제하지 않았다.

수확한 고추 열매의 탄저병 발생과 처리별 수량은 난

괴법 이원분산분석으로 집구 효과를 제외한 세 처리간 차이를 분석하였다. 분산분석후 1) 무방제와 두 방제처리들 차이, 2) 예찰과 관행방제 차이 등 두 가지 관심있는 비교를 t-test를 이용하여 분석하였다.

결 과

2008년도 검정포장 시험. 수원포장에서 예찰에 의한 탄저병 예찰방제는 누적감염위험도가 허용한계인 3.0을 넘었던 2회를 포함한 총 4회였다(Fig. 1A). 6월에 살포한 2회 예찰방제는 역병 초발일 경보때 탄저병 약제를 역병 약제와 혼용 살포한 것이었다. 탄저병 정기방제는 11회였다(Fig. 1A). 안동에서 탄저병 예찰방제는 총 3회였다(Fig. 1B). 누적감염위험도 그래프에서 허용한계인 3.0을 넘었던 때는 7월 19일, 23-25일 등 7월말에 약 4-5일이었으나, 이 경보에 따라 탄저병 방제를 적기에 하지 못했다. 안동에서 탄저병 정기방제는 9회 살포하였다(Fig. 1B).

수원포장의 최초 탄저병 발병일은 8월 3일 이후에 세 처리 모두 발생했는데, 무방제구에서 발병이 처음부터 줄곧 가장 높게 나타나 수확시에는 무방제 49%, 예찰방제 27%, 정기방제 7%였다(Table 1). 수확시 조사된 안동포장의 이 병과율은 무방제와 예찰방제가 각각 24.1%, 21.6%로 비슷하였으며, 정기방제는 8.1%였다. 무방제구의 발병

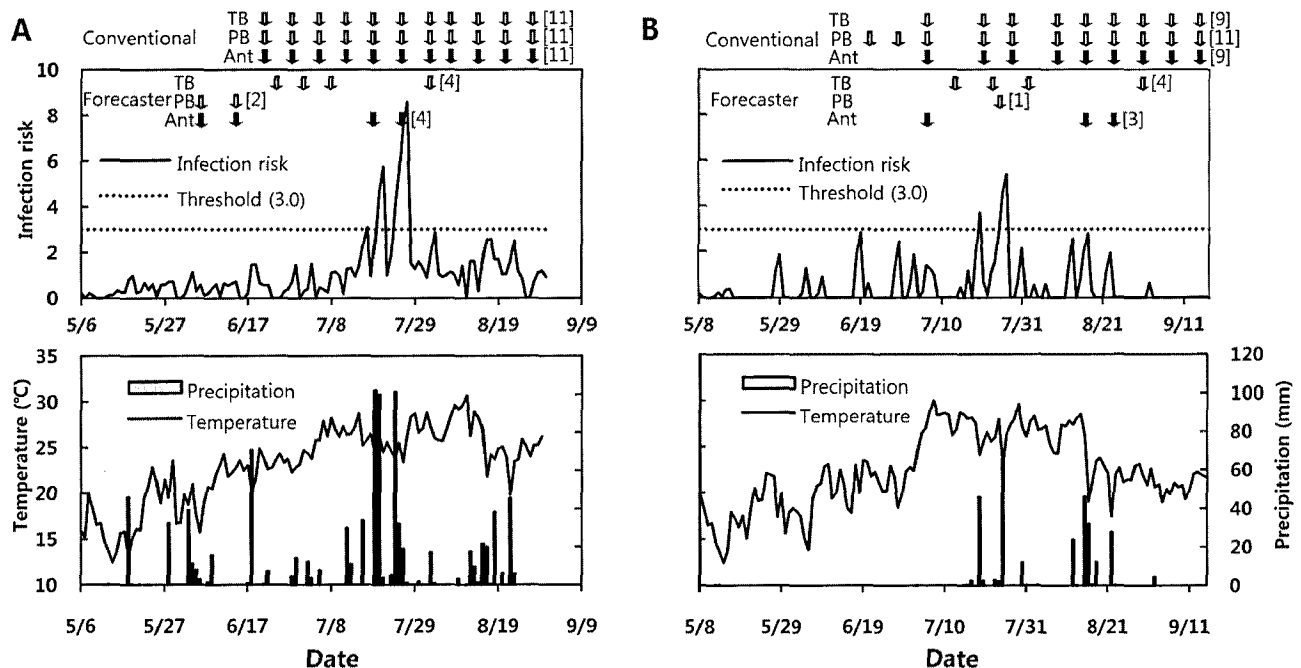


Fig. 1. Weather data, fungicide spray schedules and infection risk calculated from an anthracnose model in 2008. **A:** Suwon, Kyunggi, **B:** Andong, Kyungbuk. The arrows at the forecaster panels in each location were the timing of spray schedules for anthracnose (Ant), Phytophthora blight (PB) and tobacco budworm (TB), respectively. The arrows at the conventional panels in each location were the periodical spray schedules for the three pests.

Table 1. Comparisons of the fungicide spray schedules on the disease incidence (%) in the integrated pest management system for control of pepper anthracnose at the fields in 2008 and 2009 on six varieties

Year	2008		2009			
Location	Suwon	Andong	Bongwha		Taeon	
Variety	Buja	Wangdaebak	Burume	Sangkam	Muhanjilju	Umchungnan
No pesticide	49.9±30.9 ^a	24.1±10.7	26.6±30.8	22.9±25.3	58.5±37.6	80.4±24.7
Forecaster	27.2±19.0	21.6±27.9	3.5±3.0	3.1±2.5	39.6±41.7	51.6±42.6
Conventional	7.3±1.6	8.1±1.9	0.8±0.5	0.3±0.2	12.3±16.4	9.4±4.9
Treatment effect ^b	0.1145	0.4824	0.0839	0.0660	0.0797	0.0246
Block effect ^b	0.8195	0.6947	0.3591	0.3490	0.0346	0.0848
No spray vs. Spray ^c	0.0336	0.2287	0.0156	0.0121	0.0307	0.0101
Forecaster vs. Conventional ^c	0.1422	0.1758	0.4053	0.3784	0.0670	0.0259

^aThe numbers of the three treatments were means and standard deviation of anthracnose incidence.

Anthracnose incidence was the percent of diseased-fruit number among total number of the harvested red peppers.

^bTreatment and block effects were the p-values of two-way ANOVA from the randomized block design

^cThe comparisons of "No spray vs. Spray", "Forecaster vs. Conventional" were the p-values of post-ANOVA analyses by t-tests.

Table 2. Comparisons of the fungicide spray schedules on yields of red pepper in the integrated pest management system for control of pepper anthracnose at the fields in 2008 and 2009 on six varieties

Year	2008 ^a		2009 ^a			
Location	Suwon	Andong	Bongwha		Taeon	
Variety	Buja	Wangdaebak	Burume	Sangkam	Muhanjilju	Umchungnan
No pesticide	3.5±1.1	1.3±0.3	24.1±9.4	18.2±9.3	9.6±10.4	4.6±6.8
Forecaster	3.2±0.4	1.5±0.3	33.6±6.0	30.3±8.2	15.1±11.2	8.8±9.3
Conventional	3.5±1.1	1.7±0.3	34.5±6.7	35.6±6.0	17.7±7.3	16.7±4.2
Treatment effect ^b	0.8792	0.4381	0.0092	0.0007	0.1472	0.0128
Block effect ^b	0.9409	0.6572	0.0099	0.0077	0.0127	0.0092
No spray vs. Spray ^c	0.4138	0.1447	0.0015	0.0001	0.0367	0.0064
Forecaster vs. Conventional ^c	0.3309	0.2432	0.3806	0.0477	0.2389	0.0113

^aYields were the fresh weight (kg) of red pepper among 10 plants/plot in 2008 and 40 plants/plot.

^bTreatment and block effects were the p-values of two-way ANOVA from the randomized block design.

^cThe comparisons of "No spray vs. Spray", "Forecaster vs. Conventional" were the p-values of post-ANOVA analyses by t-tests.

를 정기방제와 비교하면 1/3-1/7 수준으로 대단히 낮았음에도 불구하고, 무방제구와 예찰방제구 반복들 간의 변이가 커서 변이계수가 50-60%였기 때문에 두 포장 모두 처리 효과의 통계적 차이는 없었다(Table 1). 관심있는 두 처리 발병률을 t-test로 비교한 결과 수원포장에서만 살균제를 살포한 두 처리 평균보다 무방제 시험구의 병 발생이 통계적으로(P=0.0336) 유의하게 컸다(Table 1).

고추 10주에서 수확한 2008년도 수원포장과 안동포장의 수확량 세 처리간 통계적인 차이는 없었다(Table 2). 또한 두 포장 수확량은 무방제 대비 살균제 방제효과, 예찰과 정기방제간의 통계적 차이가 없었다(Table 2).

2009년도 농가포장 시험. 고추를 연작하는 경북 봉화와 충남 태안 총 8개 농가포장에서 예찰방제 횟수는 각각 5회였다. 봉화에서 초기 2회인 6월 26일과 7월 4일 예찰방제는 역병 예찰 경보때 탄저병 약제를 혼용살포한 것이고, 7월 14일과 8월 8일 방제는 탄저병 예찰 경보에 따른 방제였는데 감염위험도가 허용한계기준인 2.7일 넘었던 7월 13일과 8월 8일, 8월 11일 경보에 맞춰 적기에 방제가 실시되었다(Fig. 2A). 한편, 8월 17일 방제는 담배나방 2세대 예찰방제시 탄저병 약제를 혼용하여 살포한 종합예찰방제였다. 반면, 이 기간에 농가 관행 재배의 방제 횟수는 봉화지역 5개 포장에서 11회(포장 1과 4)부터 19

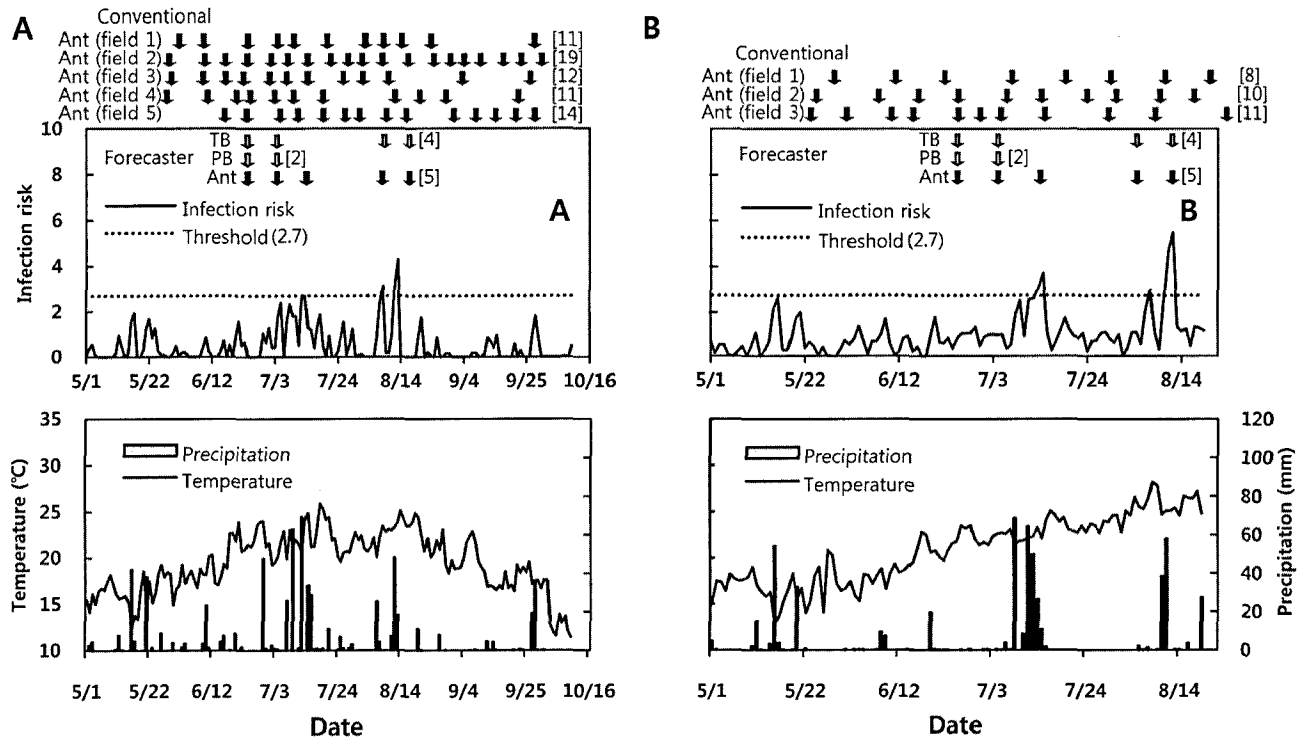


Fig. 2. Weather data, fungicide schedules and infection risk calculated from an anthracnose model in 2009. **A:** Bongwha, Kyungbuk, **B:** Taean, Chungnam. The arrows at the forecaster panels of the two locations were the timing of spray schedules for anthracnose (Ant), *Phytophthora blight* (PB) and tobacco budworm (TB), respectively. And the arrows at the conventional panels were the conventional spray schedules for anthracnose (Ant) in each location according to the owner.

회(포장 2)까지 다양하였다(Fig. 2A).

태안에서 실시된 포장시험에서는 5차례의 예찰방제 중 6월 23일과 30일 방제는 역병 예찰 경보에 따라 탄저병 약제를 혼용 살포하는 종합방제였다. 태안에서 감염위험도가 허용한계인 2.7을 넘었던 시기는 7월 10일, 8월 7일-10일이었는데(Fig. 2B), 예찰에 따른 방제 중 7월 10일은 탄저병 예찰 경보에 따라 약제 살포하였으며, 7월 30일과 8월 6일은 담배나방 2세대 예찰에 의한 방제시 탄저병 약제가 혼용살포된 것인데, 이 중 8월 6일 약제살포는 두 번째 경보에 때맞춰 탄저병 예찰방제가 적기에 이루어졌다. 태안의 세 농가에서 관행방제는 모든 농가가 각기 달랐는데 약제 살포 횟수는 8-11회였다(Fig. 2B).

봉화 포장에서 무방제구 탄저병 초발일은 8월 초순 이후이며, 9월 초순 첫 수확 시작 시점에서 예찰 및 관행방제 시험구에서 탄저병 발병은 적게 나타났다. 탄저병은 부르미 품종에서 더 많았고 두 품종 모두 9월 중순까지 발병이 증가하였다(Fig. 3). 병진전 곡선에서 보듯이 9월 중순이후 새로운 감염 및 발병은 없었다. 봉화 포장시험에서 다섯 포장 중 두 포장(포장 1과 3)만 탄저병이 발병되었다. 탄저병 발병률에 대한 통계 분석(Table 1) 결과 부르미와 상감 두 품종의 무방제구 발병률은 23-27%로

2008년 안동포장과 비슷하였던 반면, 예찰방제 발병률은 3-4%로 탄저병을 현저히 낮췄으나, 변이가 커서 처리효과($p=0.08-0.06$)는 통계적으로 유의하지 않았다. 하지만 약제 방제구와 무방제간의 처리효과는 통계적으로 유의하였다($p=0.016-0.012$). 예찰방제와 관행방제 발병은 통계적으로 차이가 없으므로 예찰방제는 탄저병 약제 살포 횟수를 1/2-1/3로 줄이면서도 관행과 비슷한 방제효과를 달성하였다(Table 1).

봉화 지역 5개 포장의 수확량은 부르미와 상감 모두에서 집구효과가 통계적으로 대단히 심각하여($p=0.01-0.008$), 포장별 수확량 차이가 컸다. 특히 두 품종 모두에서 세 처리간 차이가 통계적으로 대단히 유의하였고, 살균제 방제 효과도 대단히 컸다($p=0.002-0.0001$). 부르미는 예찰(33.6 kg)과 관행(34.5 kg) 차이가 거의($p=0.38$) 없었으나, 상감은 예찰(30.3 kg)과 관행(35.6 kg) 차이가 통계적으로 유의($p=0.047$)하였다(Table 2).

태안은 관행방제가 10% 이내에서 발병 역제가 되었던 반면 무처리구는 두 품종 모두 마지막 수확때까지 발병이 지속적으로 증가하였으며, 특히 엄청난 품종의 발병률이 높았다. 최초 발병 조사가 실시되었던 7월 23일보다 훨씬 이전부터 탄저병이 포장에서 발병하였고, 무처리와

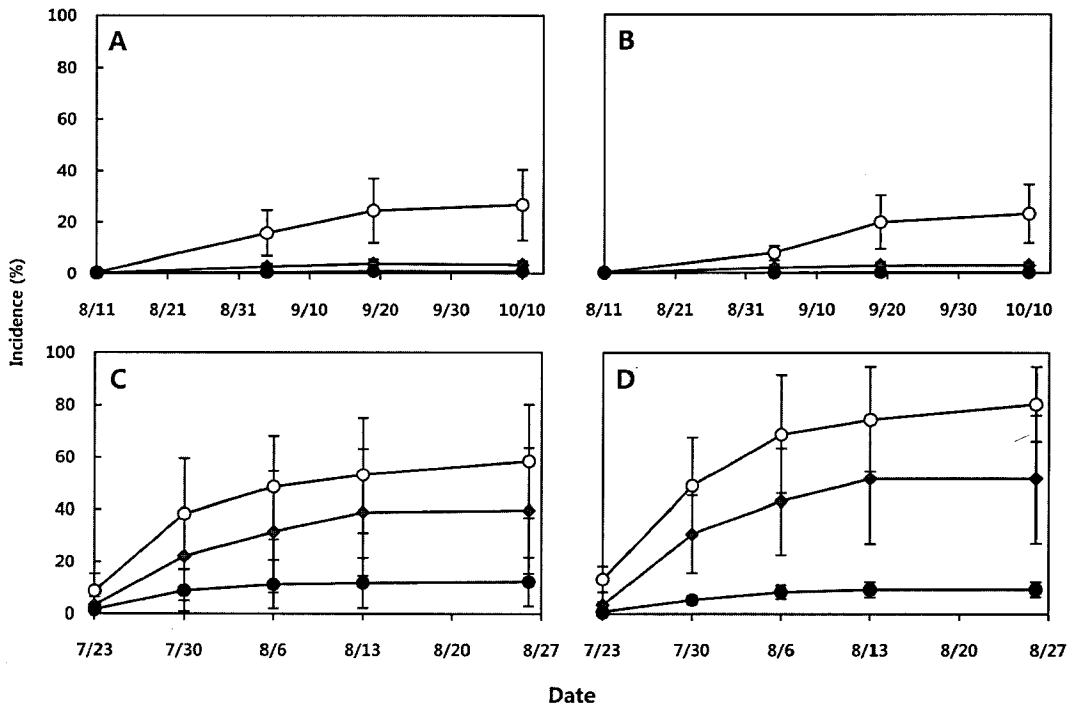


Fig. 3. Disease progress curves at Bongwha (A, B) and Taean (C, D), 2009. Each panel was pepper variety. A: Burume, B: Sangkam, C: Muhanjilju, D: Umchungnan. Three treatments were no pesticide (○), forecaster (◆) and conventional spray (●). Error bar were the standard errors of 5 replications at Bongwha and 3 replications at Taean.

예찰방제구 모두에서 8월 13일까지 발병이 지속적으로 증가하였다(Fig. 3C, D). 탄저병 발병 양상은 무처리와 예찰처리구에서 예찰방제가 무처리의 2/3 수준을 유지하면서 거의 비슷하게 진전되어, 예찰은 탄저병 억제에 부분적으로 기여하였다.

태안 지역 발병률에서 세 처리에 따른 통계적 차이는 엄청난 품종에서만 유의($p=0.025$)하였다(Table 1). 무처리 대비 살균제 방제 효과는 두 품종 모두 유의하였고, 예찰과 관행방제의 차이 분석결과 관행방제가 예찰방제보다 통계적으로 유의하게 더 낮았다. 태안 포장에서의 고추 수확량은 Table 2와 같이 큰 차이를 보였다. 통계분석에서 처리효과 및 농약 살포구와 무처리구 간의 효과가 두 품종 모두에서 통계적으로 유의($p=0.013-0.009$)한 것으로 나타났다(Table 2).

고 찰

종합 예찰방제에 대한 타당성 평가는 무방제에 비해 발병률이나 수확량 손실을 최대한 줄이는 것과 동시에 관행적 방법에 비해 살균제 살포횟수를 줄이면서도 그에 버금가는 방제효과를 거두는데 목표가 있다(Estrada 등, 1996). 이러한 맥락에서 2008년 수원 포장 예찰방제는 무방제에

비해 발병률을 50% 이내로 낮추었으나 여전히 관행방제 보다는 발병률이 현저히 높아 예찰방제가 성공적이었다고 할 수 없다. 안동포장 실험은 처리 효과도 없었고, 무방제와 예찰방제 두 처리의 발병과 수확량도 비슷하여 적기를 놓친 3번의 예찰방제는 거의 무방제와 비슷했다. 이는 안동포장의 무인기상관측 장비 고장으로 7월말 2차래 탄저병 경보 발령을 할 수 없어 적기 방제를 못했기 때문인데, 7월 경보에 따른 두 번의 예찰방제 적기를 놓침으로서 생긴 방제 실패는 적기방제 중요성을 역설적으로 보여준다.

한편, 2009년 포장 면적이 확대된 실제 농가포장에서 예찰방제는 목표했던 방제 효과를 뚜렷이 보여주었다. 봉화는 무방제구가 평균 20-30%였지만, 예찰은 3% 내외, 정기방제는 1% 이내로 발병이 억제되었고, 무처리에 비해 약제 처리 효과는 있으면서 동시에 예찰과 관행방제 간의 처리간 효과는 보이지 않음으로써 예찰방제가 달성해야 할 목표를 이룰 수 있었다. 또한 봉화의 두 품종 수확량은 약제처리효과를 보이면서도 5회 예찰방제가 11-19회 관행방제의 수확에 버금가는 만족스러운 결과였다.

봉화에서 최초 탄저병 예찰방제가 실시된 6월 말 이전에 다섯 농가 모두에서 이미 2-4회 관행방제가 실시되었

고, 특히 마지막 예찰방제 이후에도 관행방제는 2-7회 더 실시되었다. 특히 포장 2의 경우 총 19회 관행살포는 거의 7일 간격으로 생육기간 내내 살포한 것이었다(Fig. 2A). 발병이 관찰된 두 포장의 발병률은 포장 1의 부르미에서 무방제 74.5%, 예찰방제 8.5%, 관행방제 0.3%였으며, 상감에서 무방제 60.5%, 예찰방제 7.3%, 관행방제 0%였다. 또한 포장 3의 부르미에서는 무방제 40.5%, 예찰방제 3.1%, 관행방제 1.1%였으며, 상감에서는 무방제 37.4%, 예찰방제 3.3%, 관행방제 0.5%였다. 각 포장별 수확량 자료는 발표하지 않았지만, 특히 역병 발병이 심각했던 포장 1과 3의 무방제구 수확량은 부르미 품종은 포장 1에서 9 kg, 포장 3에서 20.9 kg였던 반면, 상감 품종은 포장 1에서 2.5 kg, 포장 3에서 24.9 kg으로 역병 발병이 수확량 손실에 크게 영향을 미쳤다.

한 시험 포장을 4개의 집구로 나누어 실시한 2008년 수원과 안동의 시험포장 실험에서 정기방제 수확량은 40주로 환산하면 4-14 kg로 2009년 봉화의 관행방제 처리의 20-30 kg에 비해 수확량이 매우 낮았다. 또한 모든 처리구에서 변이계수가 너무 커 타당성 평가 분석시 처리 효과가 없었다. 또한 2008년 실험에서는 8-10회 이상 정기방제 시험구 탄저병 발병이 7-8%로 높았는데, 이는 인접 무처리구에서 2차 감염된 것으로 판단된다. 왜냐하면 무처리 발병률이 80-90%에 달했던 태안 포장 2, 3을 제외한 포장 1과 봉화의 다섯 포장의 정기방제 발병은 기껏해야 1-5%이다. 따라서 한 포장을 여러 집구로 쪼개 포장실험에서 발병률에 대한 타당성 평가는 한계가 있다.

2009년 봉화지역 두 품종 포장 평가를 중심으로 탄저병 예찰방제를 평가하는 것이 가장 합리적이라 판단된다. 왜냐하면 관행방제 발병률이 1% 이내로 전국 평균과 비슷하며(명 등, 2006), 무처리구의 발병이 인접 관행방제에 영향을 미치지 않을 정도로 넓은 포장 면적에서 실험이 수행되었기 때문이다. 태안의 경우 각 포장의 규모는 봉화와 유사하였으나 발병압(disease pressure)이 심각한 포장 2, 3의 경우 두 품종 모두에서 탄저병 발병이 80-90%로 거의 수확이 없을 정도로 발병이 심했기 때문에 이 결과를 일반 농가에 적용하는 것은 무리가 있다. 병 발생이 낮았던 포장 1의 무방제구 발병률은 무한질주가 16.3%, 엄청난이 51.9%였던 반면 예찰 및 관행방제의 발병률은 대체로 2-5% 이었다. 하지만 포장 2와 3의 경우는 무방제가 대체로 70-95%였고, 예찰이 70-80%, 관행방제도 3-30%로 발병이 심각하였다.

본 발병예찰 프로그램에서 보완해야 할 점은 5월 정식 이후 7월 최초 감염 경보가 발생할 때까지 별도의 탄저병 방제 대책이 마련되어야 한다는 것이다. 특히 태안 포

장은 최초 병조사를 시작한 7월 23일보다 훨씬 이전부터 발병이 시작되었고 7월 말에 무처리구 발병이 40%를 육박하여 이후 2-3회 예찰방제만으로는 탄저병을 억제할 수 없을 정도로 발병이 심각했다. 태안 포장과 같이 초기부터 발병이 높을 경우는 예찰이 제시하는 방제보다는 차라리 3-5회 더 약제 살포한 관행방제가 더 성공적이었다. 이미 고추가 열매를 맺기 시작한 시점에서 포장내 발병이 20%를 넘으면 감염 경보에 따른 예찰방제는 의미가 없다. 오히려 빈번한 약제 살포는 고추에 과도한 농약잔류만을 초래한다. 매년 탄저병이 심각했던 포장은 초발일을 늦추는 6-7월 예방방제에 집중하는 것이 예찰방제보다 더 효과적이다.

2009년 두 지역에 각각 식재된 두 품종을 비교하면, 봉화는 부르미의 발병이 상감보다도 약간 높았으나, 오히려 무방제구 수확량은 상감보다도 더 많았다. 그 이유는 상감이 역병 감수성 품종이어서 심한 역병 발병 때문에 고추를 많이 수확할 수 없었기 때문이다. 태안은 엄청난 품종이 무한질주보다 더 발병도 심각하였고 예찰 처리 수확량도 매우 낮아 관행방법이 예찰방제보다 월등히 우수한 반면, 무한질주는 예찰방제 방법도 효과적이었다.

2005-6년 충남아산 및 수원 시험포장에서 실시된 탄저병 단독방제(Ahn 등, 2008)와 본 연구에서 실시한 종합방제를 비교해보면, 무방제구에서 탄저병 발병은 2005년 아산과 2008년 안동, 2009년 봉화가 모두 20-30%로 비슷하였는데, 예찰방제가 적기에 이루어진 2005 아산과 2009 봉화의 예찰방제 결과 각각 9%와 3%로 실제 농가 포장의 성적이 시험포장의 성적보다 좋았다. 반면 발병 압력이 심각한 2008년 수원과 2009년 태안 포장에서 예찰방제는 관행과 무방제의 중간 정도의 성적밖에 되지 않으므로 실제 포장에서 예찰 방법 적용에 있어 발병압이 어느 정도인지 파악하고 적용하여야 한다.

개발된 예찰방제를 사용해 실제 농가에서 저농약 재배를 실용화하려면 보다 많은 농가포장 적용 시험이 거듭되어야 할 뿐만 아니라, 주요 병해충 및 기타 병해충의 발병예찰을 포함하는 고추 종합 방제 시스템이 완성되어야 한다. 특히 2005-09년의 포장 적용 실험에서 나타났듯이 탄저병 예찰에는 실제 고추 포장에서 엽면수분준재시간 측정이 반드시 필요하며, 측정된 자료는 즉시 예찰 모형에 적용하여 발병 위험도 정보가 농가에 배포되어야 한다. 따라서 고추 포장에서 미세기후 실시간 모니터링과 감염 위험 판단 그리고 발병 경보 배포라는 체계적 시스템이 필요하다. 특히 웹기반 시스템과 지리정보시스템이 융합된 정보통신 기술의 활용으로 포장에서 발생하는 감염 정보를 신속히 방제에 활용할 수 있도록 접목되어야 할 것이다.

요 약

2008년 수원과 안동 시험포장과 2009년 경북 봉화와 충남 태안 농가포장에서 역병, 담배나방, 탄저병의 병충해를 관리하는 고추 종합 예찰 방제 타당성 평가를 실시하였다. 이병과율과 수확량이 무방제, 예찰방제, 관행방제 등 세 처리 간에 비교평가 하였다. 2009년 봉화의 두 품종은 예찰방제 처리의 이병과율과 수확량이 각각 3.1-3.5%와 30-33 kg/40주였다. 이는 관행방제의 0.3-0.8%와 35-36 kg/40주와 비슷하면서도 무방제의 23-27%와 18-24 kg/40주보다 월등한 방제였다. 예찰방제 살포 횟수는 5회였으나 농가에서 관행방제는 11-19회였다. 또한 다른 세 포장에서의 탄저병 예찰방제의 결과에서도 탄저병을 방제하면서도 관행방제보다 살균제 사용량과 방제 비용을 줄일 수 있다는 결과를 보여주었다. 그런데, 무방제 탄저병 이병과율이 60-80%이상으로 극심했던 태안 농가의 경우 탄저병 예찰 방제의 보완이 필요하다. 왜냐하면 예찰방제의 방제가는 겨우 무방제와 관행방제의 중간 정도에 머물렀기 때문이다. 만일 재배 초기에 탄저병 발병이 심한 포장이라면, 아직 과실이 익기 전이라도 추가적인 예방방제가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: 20080201033025)지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

Ahn, M. I., Kang, W. S., Park, E. W. and Yun, S. C. 2008.

- Validation of an anthracnose forecaster to schedule fungicide spraying for pepper. *Plant Pathol. J.* 24: 46-51.
- Ahn, M. I. and Yun, S. C. 2009. Epidemiological investigations to optimize the management of pepper anthracnose. *Plant Pathol. J.* 25: 213-219.
- 안문일. 2009. 고추 탄저병 적기방제를 위한 포장에서 예찰모형 타당성 검정과 잠복감염 구명. *선문대 석사논문.*
- Bounds, R. S., Podlosky, R. H. and Hausbeck, M. K. 2006. Comparing disease forecasters for timing fungicide sprays to control foliar blight on carrot. *Plant Dis.* 90: 264-268.
- Estrada, A. B., Jeffries, P. and Dodd, J. C. 1996. Field evaluation of a predictive model to control anthracnose disease of mango in the Philippines. *Plant Pathol.* 45: 294-301.
- Kang, B. K., Kim, J., Lee, K. H., Lim, S. C., Ji, J. J., Lee, J. W. and Kim, H. T. 2009. Effects of temperature and moisture on the survival of *Colletotrichum acutatum*, the causal agent of pepper anthracnose in soil and pepper fruit debris. *Plant Pathol. J.* 25: 128-135.
- Kang, W. S., Yun, S. C. and Park, E. W. 2010. Nonlinear regression analysis to determine infection models of *Colletotrichum acutatum* causing anthracnose of chili pepper using logistic equation. *Plant Pathol. J.* 26: 17-24.
- Kim, K. S., Gleason, M. L. and Taylor, S. E. 2006. Forecasting stie-specific leaf wetness duration for input to disease-warning systems. *Plant Dis.* 90: 650-656.
- 권천섭, 이순구. 2002. 고추 탄저병의 발병 생태 특성. *식물병연구* 8: 120-123.
- 명인식, 홍성기, 이영기, 최효원, 심홍식, 박진우, 박경석, 이상엽, 이승돈, 이수현, 최홍수, 김용기, 신동범, 나동수, 예완해, 한성숙, 조원대. 2006. 2005년 주요 농작물 병해 발생개황. *식물병연구* 12: 153-157.
- Wilson, L. L., Madden, L. V. and Ellis, M. A. 1990. Influence of temperature and wetness duration on infection of immature and mature strawberry fruit by *Colletotrichum acutatum*. *Phytopathol.* 80: 111-116.