

자동기상관측기를 이용한 토마토 잎곰팡이병 방제법 연구

박은우* · 강도규** · 김성기*** · 홍순성*** · 양장석***

(*서울대학교 응용생물화학부 교수 · **서울대학교 응용생물화학부 대학원생 ·

***경기도 농업기술원 환경농업연구과)

Use of an automated weather station for determining spray schedules to control leaf mold of tomatoes

Eun-Woo Park* · Do-Kyu Kang** · Sung-Kee Kim*** ·
Soon-Sung Hong*** · Jang-Souck Yang***

*.**Division of Applied Biology and Chemistry, College of Agriculture and Life Sciences,
Seoul National University, Suwon, 441-744, Korea

***Dept. of Agro-environmental Science, Kyonggi-Do Agricultural Research and
Extension Services, Hwasong-Kun, Kyonggi-Do, 445-970, Korea

적 요

무인기상관측기를 이용하여 얻어지는 매시간 기상자료를 바탕으로 비닐하우스에서 재배되는 토마토에 발생하는 잎곰팡이병에 대한 약제방제 효율을 높일 수 있는 방제체계를 개발하였다. 본 연구는 봄 재배와 가을 재배에서 각각 관행 7일 간격 약제살포구와 무방제구 및 4가지의 예찰방제구 등 총 6개의 처리를 두어 방제효과를 비교 분석하였다. 본 연구의 결과에 따르면 triflumizole 잔류량 감소모형을 이용하여 토마토 정식 후부터의 적산온도에 따라 잎에 존재하는 triflumizole의 잔류량을 예측하는 것이 어느 정도 타당한 것으로 판정되었다. 또한 몇가지 방제체계에 대한 방제효율을 비교한 결과 잎곰팡이병 병징이 발견되기 시작하면 triflumizole을 살포하기 시작한 후 적산온도를 계산하여 triflumizole 잔류량이 5-10ppm 정도로 떨어졌을 것이 추정될 때 추가로 약제를 살포하면 약제 살포횟수를 줄이면서 방제효과를 높게 유지할 수 있음이 밝혀졌다. 한편 잎곰팡이병의 초기 발생일을 판단하기 어려울 경우는 병발생 예찰모형을 응용하여 정식 후 비닐하우스 내의 상대습도가 80% 이상 유지되는 적산시간이 200-400시간이 되었을 때 약제살포를 시작하여도 좋을 것으로 판단된다.

1. 서론

토마토 잎곰팡이병은 우리 나라는 물론 전세계적으로 널리 발생하며 재배 농가에 해마다 큰 피해를

주는 토마토 주요 병해 중 하나로 그 발생과 진전 온도나 상대습도 등의 기상 환경 요인과 밀접한 관계를 지니고 있다^{5,6,7,8,12)}. 따라서 그 피해를 줄이기 위해서는 재배사 내의 환경을 강제 환기 등을 통해 병 발생에 적합한 조건이 되지 않도록 조절하여야 하는

데 우리 나라에서의 토마토 시설 재배 형태는 완전한 환경 제어가 불가능한 비닐하우스를 이용한 반촉성 재배가 대부분이므로 병의 대발생 가능성이 항상 존재하고 있다.

토마토 잎곰팡이병의 병원균 *Cladosporium fulvum*의 생리적 분화는 대단히 용이하여 새로운 race의 출현이 빈번하게 일어나 많은 시간, 노력과 경비를 들여 상업적으로 육성해 낸 저항성 품종의 저항성이 단시간에 쉽게 무너지는 경우가 일반적이었다^{2,3}. 따라서 현재까지 토마토 잎곰팡이병에 대한 가장 효과적이고 확실한 방제 수단으로 화학적 방제가 널리 이용되고 있다. 근래에 개발된 약제, triflumizole은 자낭균류와 불완전균류에 대해 넓은 작용 범위를 갖는 효과적인 살균제이다^{11,13,14}. 이 약제는 EBI (ergosterol biosynthesis inhibitor)계 약제로 진균에 대한 억제 기작은 cytochrom P-450 oxidase에 결합하여 효소의 작용을 불활성화함으로써 ergosterol의 전구물질인 lanosterol의 산화를 억제하여 세포의 ergosterol 생합성 과정이 이루어지지 못하게 한다¹⁴. 현재 우리나라에서는 triflumizole 수화제(a. i. 30%, WP; Trifmine)가 생산, 시판되어 토마토 잎곰팡이병을 비롯하여 일부 과수와 화훼류의 흰가루병 방제에 이용되고 있다.

토마토 잎곰팡이병은 일단 발생 후엔 병 진전이 빠른 병이므로 가장 효과적인 약제 방제를 수행하기 위해서는 병 발생 직전에 약제가 살포되고 적당한 간격으로 충분한 횟수의 약제가 추가로 살포되어야 한다. 그러나 근래 들어 농약의 오남용에 의한 환경 문제가 크게 대두되면서 가능한 한 농약의 사용을 억제하고자 하는 노력이 필요한 실정이다. 따라서 이 같은 문제를 동시에 해결하기 위해서 높은 방제 효과는 유지하면서 불필요한 약제 살포 횟수를 줄여 농약에 의한 환경과 인체에 미치는 영향을 최소화할 수 있는 새로운 방제 체계의 개발이 요구된다. 이를 위해서는 먼저 토마토 잎곰팡이병의 발생 및 진전 양상과 이에 미치는 환경 조건의 영향 및 약제의 살포 후 식물체 내에서의 잔류 동태 등에 대한 정확한 정보가 있어야만 할 것이다. 오 등¹⁰은 토마토 잎에 집적된 triflumizole의 잔류 동태 모델에서 약제의 경시적 감소 경향을 그 기간 동안의 적산 일평균온

도로 설명하였다. 그들은 실내 시험을 통해 150 ppm의 triflumizole을 토마토 잎에 살포한 후 초기 집적량과 경시적 잔류량을 분석한 결과 최초 약제의 집적량은 48.05ppm이었으며 약제의 분해율은 적산 일평균온도에 대해 0.0059ppm/degree days임을 밝혔다. 본 연구는 오 등¹⁰이 제시한 triflumizole 잔류량 감소 모형을 약제 살포 시기 결정에 활용하기 위하여 첫째 이 모형의 타당성을 평가하고, 둘째 병발생 예찰모형과 triflumizole 잔류량 감소모형을 이용하여 약제 살포시기를 결정하는 방제체계를 개발하기 위하여 실시하였다.

II. 재료 및 방법

1. 토마토 잎의 triflumizole 잔류 동태와 이에 미치는 온도의 영향

가. 약제 처리 및 시료 채취

6월 30일 파종하여 7월 31일 비닐하우스에 정식한 후 9주간 성장하여 3화방이 전개 중인 광명 토마토(한농종묘)에 9월 2일, 3개의 재식구에서 3,000배(6.7g/20 l)로 희석한 Trifmine(전진화학)을 배부식 분무기를 이용하여 토마토 식물체 전체가 젖을 정도로 충분한 양을 고루 살포하였다. 광명 토마토는 비교적 많이 재배되고 있는 품종으로 토마토 잎곰팡이병에 대해서는 이병성이며 처리된 약제의 농도는 원제 기준으로 100ppm으로 약제의 포장에 명시된 추천 농도였다.

약제가 마른 직후로부터 처리 후 1일, 3일, 7일, 11일, 16일, 20일 및 34일에 반복당 20g의 잎 시료를 채취하였는데 약제의 처리 시간 및 시료 채취 시간은 모두 오전 10시에 이루어졌으며 약제 처리 후에는 식물체의 최상위엽에 표식을 달아 약제 살포 후 새로 출현한 잎이 시료에 포함되지 않도록 하였다. 잎 시료의 채취는 3화방과 4화방 사이의 잎들만으로 이루어졌으며 본 시험에서의 토마토 재배 형태는 4단 재배였다. 3반복의 재식구에 채취된 시료들은 -80°C의 냉동고에 보관하였다가 같은 날 채취된 것들끼리 함께 섞어 잔류량을 분석하였다.

나. 검량선 작성, 회수율 조사 및 triflumizole 잔류 분석
 검량선 작성을 위해 triflumizole 표준품 0.01mg을 100ml의 acetonitrile에 녹여 100ppm의 표준용액을 제조한 후 이를 다시 acetonitrile로 희석하여 20ppm, 10ppm, 5ppm, 2ppm, 1ppm, 0ppm의 표준용액을 차례로 제조하였다. 제조된 표준 용액의 10 μ l를 취하여 HPLC 주입 후 HPLC상에 나타나는 peak height(Y)에 대한 약제의 실량(X)을 SAS의 REG procedure를 이용하여 단순회귀분석한 결과, $Y=266.383+270.037X$ ($R^2=0.9999$)와 같은 검량식을 얻어 이를 토마토 잎에 집적된 triflumizole의 잔류량을 분석하는데 이용하였

다. 이 회귀식은 통계적으로 높은 유의성($p<0.01$)을 가지며 triflumizole 잔류량 변이의 99.99%를 peak height로 설명할 수 있었다. 표준용액의 제조에는 순도 99.9%의 triflumizole 표준품(Nippon Soda co.)을 사용하였다. HPLC 상에서 triflumizole에 의한 peak가 나타나는 시간은 주입 후 7.3분이었다.

토마토 잎에 집적된 triflumizole의 잔류량을 분석할 분석 방법에 대한 신뢰도를 알아보기 위해 먼저 회수율 실험을 하였다. 약제가 살포되지 않은 토마토 잎 10g을 칼로 잘게 썰어 250ml 삼각 flask에 넣은 후 10ppm 표준용액 4ml을 점적하여 40ng의 triflumizole을

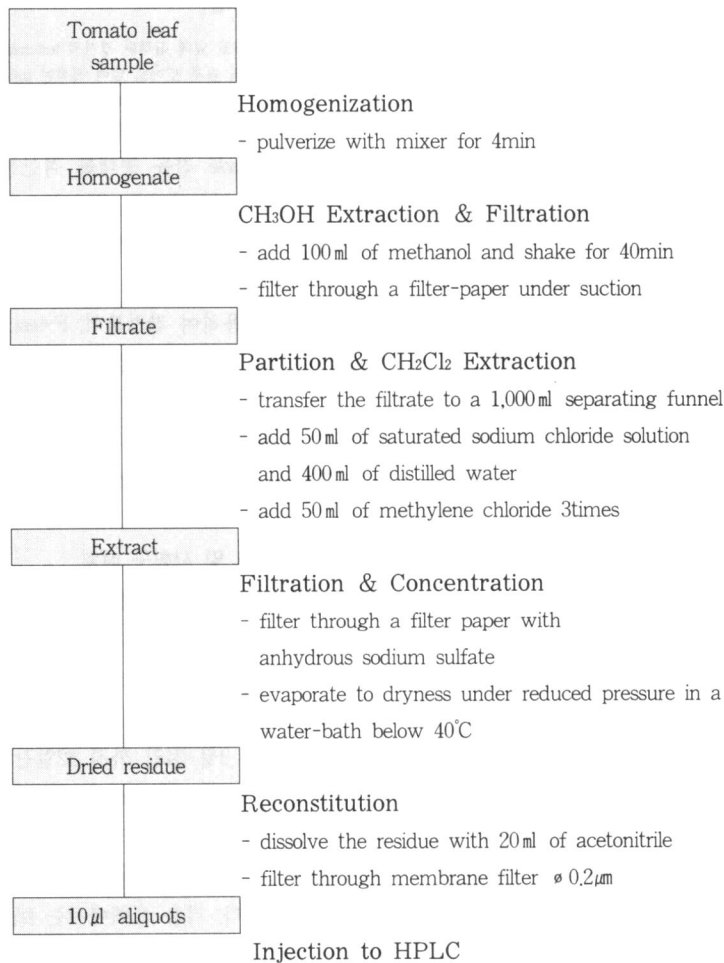


Fig. 1. The procedure used to extract triflumizole residue from tomato leaves

Table 1. Operating conditions of HPLC for triflumizole residue

Items	Conditions
Instrument	SP 8800 (Spectra physics Co.)
Column	Alltima C18 column (250mm×4.6mm)
Mobile phase	Acetonitrile-Carbonate buffer (80:20, v/v)
Flow rate	1 ml/1min.
Detector	Spectra 100 UV-Vis Detector
UV length	238nm

처리하였다. 점적 후 용매인 acetonitrile을 휘발시킨 뒤 Shiga¹¹⁾ 등이 토마토와 포도 등에서의 triflumizole 잔류량을 분석하는데 이용한 실험 과정 중 florisl-column chromatography를 생략하고 대신 membrane filter 여과 과정을 추가하여 수행하였는데 이는 column chromatography 중 감소될 수 있는 약제의 회수율을 높이기 위한 것이었다. 처음 토마토 잎에 점적한 40ng의 약제가 HPLC에 주입 직전 단계에서 20 ml의 acetonitrile에 용해되므로 HPLC상에서 2 ppm의 표준용액이 나타내는 peak height와 점적시료의 추출액이 나타내는 peak height를 비교한 결과 3반복의 평균 회수율은 86.63%이었다. 토마토 잎에 집적된 triflumizole의 잔류량 분석은 회수율 시험을 통해 그 신뢰도가 입증된 것과 같은 방법으로 수행하였고(그림 1) 분석에 사용된 분석 기기와 그 조건은 (표 1)과 같았다.

다. 적산온도를 이용한 토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류 동태 모형 작성

약제 살포일로부터의 누적 일평균온도에 따른 토마토 잎의 triflumizole 잔류량의 감소 경향을 알아보기 위해 토마토 정식일인 3월 24일 경기도 농업기술원의 토마토 재배 비닐하우스 내에 무인기상관측기를 설치하였다. 무인기상관측기는 Campbell Scientific Inc.(Utah, U.S.A.)의 CR10X 자료집록기와 HMP35 Temperature/RH probe로 이루어져 매시간 비닐하우스 내의 기온과 상대습도를 수집하였고 modem을 통해 연구실내에 있는 personal computer로 자료를 전송받아 일평균온도를 구하였다. 토마토에 집적된 triflumizole의 경시적 감소 경향을 적산일평균온도로

설명하기 위해 지수적 감소모형, $r=r_0 e^{-bT}$ 에서 분석된 잔류량을 자연대수로 치환한 후 단순회귀분석하여 아래와 같은 단순선형회귀 모형을 구하였다.

$$\ln(r) = \ln(r_0) - bT$$

r: 토마토 잎에 집적된 경시적 triflumizole 잔류량
 r_0 : 살포 직후 토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류량
 b: 적산일평균온도에 따른 triflumizole 분해율
 T: 처리일로부터의 적산일평균온도

한편 triflumizole 잔류 동태를 적산온도와 관계로 설명하는 것이 적합한지를 결정하기 위해 적산일평균온도 대신 약제 살포 후 경과 일수를 대입하여 같은 방법으로 회귀모형을 구한 후 두 모형을 SAS의 REG procedure를 이용하여 잔차분석, F-test, 회귀계수의 유의성으로 각각의 모형의 적합성을 비교하였다.

2. 병 발생 예찰모형과 triflumizole 잔류량 감소 모형을 이용한 약제살포 시기 결정

가. 경종 개요 및 시험구 배치

본 시험은 1997년 봄 재배와 가을 재배로 나누어 경기도 농업기술원내 비닐하우스 포장에서 2차례 실험을 수행하였다. 봄 재배 실험에서는 2월 20일 광명 토마토(한농종묘)를 2개의 파종상자에 파종하여 가온 육묘장에서 3월 24일 까지 32일간 육묘 후 150cm의 재식구에 이랑 너비 90cm에 주간 거리 40cm로 1열당 62주를 6열에 총 372주를 6개 처리에 처리당 3반복씩 18구로 나누어 정식하여 난괴법 3반복으로 시험구를 배치하였다. 가을 재배에서는 6월 30일 광명 토마토를 파종 후 30일간 육묘하여 3화방이 전개되기 시작할 무렵 7월 31일 300m²의 재식구에 봄 재배와 같은 재식 밀도로 6개 처리에 처리당 4반복으로 24구

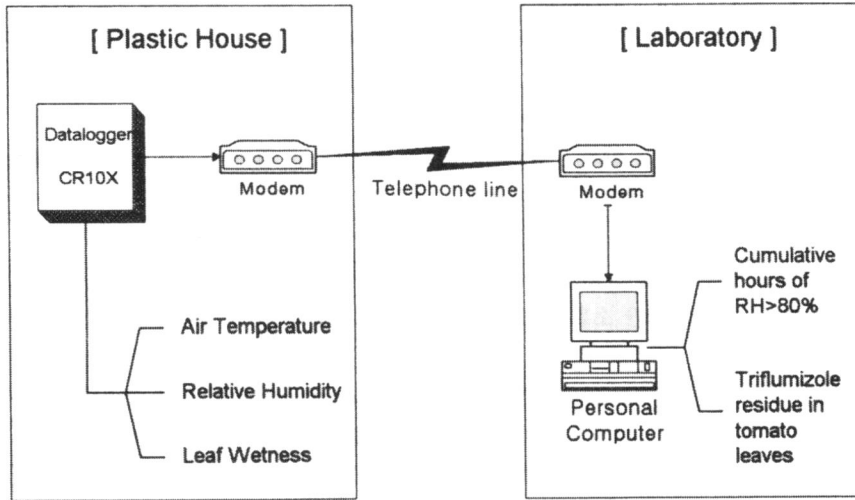


Fig. 2. A schematic diagram for disease- and triflumizole residue-forecasting system using an automatic weather system

로 나누어 정식하여 난괴법 4반복으로 시험구를 배치하였다.

나. 비닐하우스내 기상 정보 수집 및 분석

경기도 농업기술원내에 위치한 토마토 재배 비닐하우스에 기상 자료를 수집하기 위해 무인기상관측기를 봄 재배 토마토 정식일인 3월 24일 설치하여 가을 재배 수확종료일인 11월 3일 까지 운용하였다. 설치된 무인기상관측기는 Campbell Scientific Inc. (Utah, U. S. A.)의 CR10X 자료 집록기와 실제 비닐하우스내 기상 요소를 측정하는 감지기들로 대기온도와 상대습도를 측정하는 HMP35 Temperature/RH probe, 토마토 잎 표면의 결로 시간을 측정하는 2개의 207 leaf wetness sensor, 지표면 온도감지기로 2개의 107 temperature probe로 구성되었다. 감지기들로부터 감지된 매시간 기상 자료들은 자료 집록기에 저장되었다가 매일 모뎀을 통해 연구실내의 PC로 전송 받았다. 무인기상관측기를 포함한 전체 시스템의 개략적 모형은 (그림 2)와 같다. 전송된 기상 요소들은 비닐하우스내 대기 온도, 상대습도, 잎 표면의 습윤지속시간 및 지표면 온도 등에 대한 매 시간별 자료였고 이를 SAS program을 이용하여 일중 결로 시간,

일 평균 온도, 최고·최저 온도, 일중 상대습도 80% 이상 누적시간 등으로 같이 가공하여 토마토 재배 비닐하우스내 기상에 따른 병발생 가능성과 토마토 잎에 집적된 triflumizole 추정 잔류량을 추정하여 약제 살포 시기를 결정하는데 기준으로 삼았다.

다. 예찰 모형에 의한 토마토 잎곰팡이병 방제 효과 검증

최초 약제 살포 시기의 결정을 위해 상대습도 80% 이상 누적시간(CH80)을 이용한 조⁵⁾의 토마토 잎곰팡이병 예찰 모형과 추가 약제 살포 시기의 결정을 위해 아래와 같은 오 등¹⁰⁾이 작성한 토마토 잎에서의 triflumizole의 잔류 동태 모형을 이용하였다.

$$Y = 3.82 - 0.0059T, \quad Y: \text{잔류량의 자연 대수값}$$

T: 적산일평균온도

봄 재배 실험에서와 가을 재배 실험에서 모두 관행 7일 간격 약제 살포구와 무방제구 및 4 수준의 예찰방제구로 각각 6개의 처리를 두었다(표 2, 3). 예찰방제구에서 최초 약제 살포 시기를 CH80 200시간과 400시간으로 설정한 것은 토마토 잎곰팡이병의 초발생에 상대습도 80% 이상 누적시간이 토마토 정식 후 최소한 218시간 소요된다는 조⁵⁾의 연구 결과에 근거

하였으며 추가 약제 살포 시기를 triflumizole 잔류량이 5ppm과 10ppm에 이르는 시점으로 설정한 것은 토마토 잎곰팡이 병원균의 포자 형성이 triflumizole 10 ppm 하에서 완전 억제됨을 밝힌 오 등¹⁰⁾의 연구 결과를 참고로 하였다. 가을 재배에서 약제 잔류량이 5 또는 10ppm에 이른 시점으로부터 상대습도 80% 이상 누적시간이 150시간 경과 후 추가 약제를 살포하는 처리를 둔 것은 토마토 잎곰팡이병 병원균의 정착에서 발병까지 CH80이 최소한 175시간 소요된다는 조⁵⁾의 모형에 근거하였다.

각 처리구에서의 약제 살포는 (그림 3)에서와 같이 상대습도 80% 이상 누적시간과 적산온도에 의해 추정된 triflumizole 잔류량을 매일 정리하여 살포 시점

에 이르면 배부식 분무기를 이용하여 식물체 표면이 충분히 젖을 정도로 실시하였고 살포구의 주위로 비닐 장막을 설치하여 약제가 인접 처리구로 비산되는 것을 방지하였다.

각 처리간 방제 효과를 비교하기 위해 구당 5주를 선정, 처리당 봄재배의 경우 15주, 가을 재배의 경우 20주에서 2화방을 중심으로 상위, 중위, 하위엽으로 나누어 주당 10엽에서 전체 소엽수 대비 이병 소엽수의 비율을 3~4일 간격으로 조사하여 이병소엽율과 엽당 병반수를 구하였고 Beoumont 등⁶⁾이 사용한 disease rating scale을 일부 수정하여 병반면적율을 조사하였다(표 4). 가을 재배에서는 구당 5주를 선정, 처리당 총 20주에서 봄재배와 같은 방법으로 병조사

Table 2. Spray schedules in the spring crop

Treatment	Spray schedules
7 day schedule	Weekly sprays starting from appearance of the first leaf mold symptom
Forecasted spray I (CH80 200hr+ Residue 5ppm)	Initial spray at CH80 [*] =200 and subsequent sprays when triflumizole residue [†] is expected to reach 5ppm
Forecasted spray II (CH80 200hr+ Residue 10ppm)	Initial spray at CH80=200 and subsequent sprays when triflumizole residue is expected to reach 10ppm
Forecasted spray III (CH80 400hr+ Residue 5ppm)	Initial spray at CH80=400 and subsequent sprays when triflumizole residue is expected to reach 5ppm
Forecasted spray IV (CH80 400hr+ Residue 10ppm)	Initial spray at CH80=400 and subsequent sprays when triflumizole residue is expected to reach 10ppm
Check	None

*: cumulative hours of relative humidity greater than 80%

†: the estimate obtained from the fungicide decay model,

$$Y = 3.82 - 0.0059T,$$

where Y=estimate of log triflumizole residue in tomato leaves

T=cumulative degree days after the fungicide application

Table 3. Spray schedules in the autumn crop

Treatment	Spray schedules
7 day schedule	Weekly sprays starting from appearance of the first leaf mold symptom
Forecasted spray I (Residue 5ppm)	Initial spray at the first symptom appearance and subsequent sprays when triflumizole residue ^x is expected to reach 5ppm
Forecasted spray II (Residue 10ppm)	Initial spray at the first symptom appearance and subsequent sprays when triflumizole residue is expected to reach 10ppm
Forecasted spray III (Residue 5ppm+ CH80150)	Initial spray applied at the first symptom appearance and subsequent sprays when CH80 ^y =150 after triflumizole residue is expected to reach 5ppm
Forecasted spray IV (Residue 10ppm+ CH80 150)	Initial spray applied at the first symptom appearance and subsequent sprays when CH80 ^y =150 after triflumizole residue is expected to reach 10ppm
Check	None

^x: the estimate obtained from the fungicide decay model,

$$Y = 3.82 - 0.0059T,$$

where Y=estimate of log triflumizole residue in tomato leaves

T=cumulative degree days after the fungicide application

^y: cumulative hours of relative humidity greater than 80%

Date	Julian day	Temp. (°C)	Wet.prd. (hr)	CH80 (hr)	Residue (ppm)	Remarks
3. 24	83	19.9	2.59	14	-	
.	-	
.	-	
.	-	
.	-	
.	-	
4. 12	102	21.88	9.20	344	-	
4. 13	103	21.32	8.06	359	-	
4. 14	104	21.12	11.94	374	-	
4. 15	105	19.54	13.84	390	-	
4. 16	106	18.48	19.57	406	40.89	1st application
4. 17	107	19.46	22.45	426	36.46	
4. 18	108	17.81	12.96	442	32.82	
4. 19	109	17.59	13.60	456	29.59	
4. 20	110	18.67	15.91	471	26.50	
4. 21	111	18.77	16.74	486	23.72	
4. 22	112	16.33	8.71	502	21.54	
4. 23	113	18.48	2.75	519	19.32	
4. 24	114	18.23	6.30	535	17.35	
4. 25	115	19.15	3.01	551	15.49	
4. 26	116	18.11	7.69	566	13.92	
4. 27	117	20.08	6.72	581	12.32	
4. 28	118	20.14	2.87	598	10.94	
4. 29	119	19.61	6.14	622	9.74	2nd application
4. 30	120	21.98	6.95	639	40.06	
.	
.	
.	
.	
.	
.	

Fig. 3. An example of the chart used to determine the initial and subsequent spray timings for the treatment of 'CH80 400hr+Residue 10ppm'

Table 4. Disease severity scale of tomato leaf mold

Disease severity (%)	Description
0.1	Lesions found on less than one plant in fifty
0.5	Lesions found on less than one plant in ten
1	Lesions on every plant, but only on a few leaves
5	Lesions on every plant, and on most leaves except the young ones, but only about two to ten spots per leaf
10	All except the youngest leaves affected, with ten to fifty spots per leaf
25	All except the youngest leaves affected. About three-quarters of the leaf area remain green, although the leaves on lower canopy may be severely infected
50	All leaves affected. Half of the leaf area on the mid-canopy remains green
75	All leaves affected. One quarter of the leaf area remains green, giving a grey appearance to the crop as a whole
90	Very little green area remains on the leaves on the lower and mid-canopy, but youngest leaves remain green

를 수행하였다. 처리간 병발생량을 비교하기 위한 방법으로 병진전곡선하 면적 (Area Under Disease Progress Curve)을 조사 시기(t)와 이병소엽을 또는 병반면적을 (x)을 이용하여 아래와 같은 식으로 계산하였다.

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n \frac{(X_{i+1} + X_i)}{2} \times (t_{i+1} - t_i)$$

각 처리에서의 병발생량은 SAS의 GLM procedure를 이용하여 단일자유도 대비를 통해 비교 분석하였다.

III. 결과

1. 적산 일평균온도에 따른 토마토 잎에서의 triflumizole 잔류 모형 작성

1회의 경엽 처리 후 토마토 잎에 집적된 triflumizole의 평균 최초 집적량은 시료 1g 당 43.32 µg이었으며 시간이 경과함에 따라 지수적인 감소 경향을 보였고 검량된 triflumizole의 경시적 잔류량을 자연대수로 치환한 후 적산일평균온도를 이용하여 회귀분석하였다(그림 4). 회귀모형에 의하면 정식 후 적산온도는 triflumizole의 잔류량 변이의 97.8%를 설명할

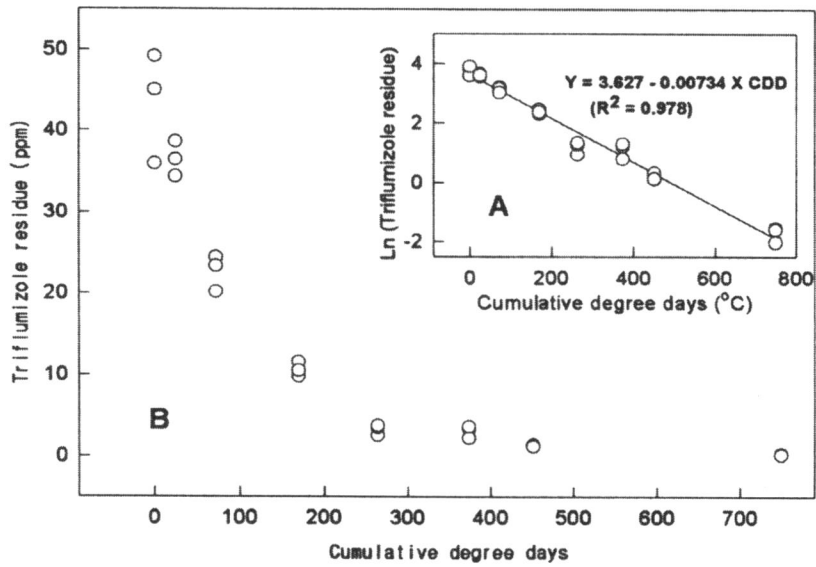


Fig. 4. Response of triflumizole residue in tomato leaves to cumulative degree days after the fungicide application on 2 September

A: Simple linear regression of log triflumizole residue

B: Temporal changes of concentration of triflumizole residue over cumulative degree days

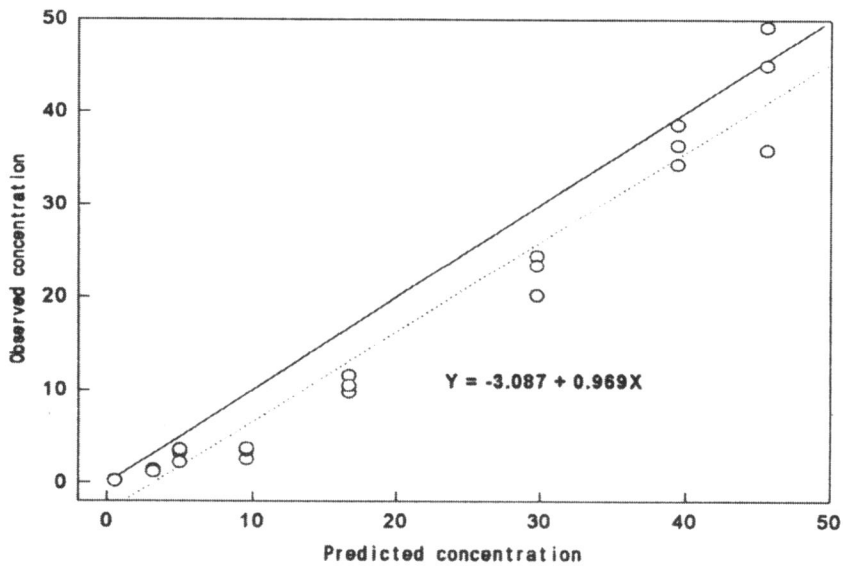


Fig. 5. Deviation of the observed values from the predicted values obtained from the model, $Y=3.82-0.0059T$

Table 5. The comparison of the triflumizole decay model developed in this study with the Oh's triflumizole decay model.

Regression model	Initial fungicide deposit (ppm)	CDD-10ppma (°C)	CDD-5ppmb (°C)
$Y = 3.82 - 0.0059 \cdot CDDx$	48.05	275.2	374.7
$Y = 3.62 - 0.0074 \cdot CDDy$	43.32	179.0	273.2

^xModel developed by Oh et al. (10)

^yModel developed in this study

^aCumulative degree days required for reaching at 10ppm of triflumizole residue from the application day

^bCumulative degree days required for reaching at 5ppm of triflumizole residue from the application day

수 있었다. 한편 약제의 잔류량 분석 실험 결과 얻어진 triflumizole의 실제 잔류량과 오 등¹⁰⁾의 회귀식, $Y = 3.82 - 0.0059T$ 에서 얻어진 예측값 간에는 다소의 차이가 있었다(그림 5). 실험에서의 실측치와 오 등¹⁰⁾의 모형에서 얻은 예측치간의 차이를 수학적으로 알아보기 위해 두 집단간의 값들의 함수 관계를 알아본 결과 다음과 같은 함수식을 얻었다.

$$r_{obs} = -3.087 + 0.969r_{pre}$$

r_{obs} : 실측된 triflumizole 잔류량

r_{pre} : 오 등¹⁰⁾의 모형에 의하여 예측된 triflumizole 잔류량

즉 실측값들은 예측값들보다 3ppm 정도 작은 범위에서 실험 기간 내내 예측값들과 거의 일정한 차이를 유지하고 있음을 알 수 있다.

오 등¹⁰⁾의 실험에서는 약제 살포 후 최초 약제 집적량이 48.05ppm으로 본 실험 결과에서 나타난 43.32ppm보다 다소 높았으며 적산 일평균온도에 따른 약제의 분해율은 0.0059로 본 실험에서의 분해율 0.0074에 비해 낮았다. 따라서 잎곰팡이병에 대한 약제 살포 시기 결정 실험에서 설정한 10ppm과 5ppm에 도달하는데 소요되는 약제 처리 직후로부터의 적산일평균온도는 오 등의 모형에서 본 실험에서 얻어진 모형에서보다 많았다(표 5).

2. 병 발생 예찰모형과 triflumizole 잔류량 감소 모형을 이용한 약제살포 시기 결정

무방제구에서의 이병소염율과 병반면적율은 정식 후 약 50-60일 까지 완만한 증가 추세를 보이다가 그 이후 작기를 마감할 때까지 가파르게 증가하는 추세를 보였는데 봄 재배(그림 6, 7)에서 가을 재배(그림 8, 9)에서 보다 많은 병발생량을 보였다. 반면 7일 간격 약제 살포구와 4 가지 예찰방제구에서는 작기 내내 매우 낮은 병발생량을 보였다.

봄 재배 실험에서 예찰방제구의 최초 약제 살포 시점으로 설정한 상대습도 80% 이상 누적시간(CH80)이 200시간과 400시간에 이르는 때는 각각 정식 후 11일과 23일이었으며 7일 간격 약제 살포구에서 최초 약제 살포를 실시한 토마토 잎곰팡이병의 초발일은 정식 후 40일 이었다. 따라서 7일 간격 약제 살포구에서 최초 약제 살포가 이루어지기 이전에 4가지의 예찰방제구에서 이미 1~2회의 약제 살포가 이루어 졌지만 전체 재배기간 동안의 약제 살포 횟수는 7일 간격 살포구의 7회에 비해 1-3회 적었다(표 6). 병진전곡선하 면적(AUDPC)으로 비교한 병 발생량에 있어 통계적으로 유의적인 차이가 없었으며 반면 무방제구와는 고도로 유의적인 차이를 나타내었다(표 7). 가을 재배 실험에서는 무방제구를 제외한 모든 처리구에서 최초 약제 살포는 최초 병징이 발견된 정식 후 20일에 이루어졌는데 이 시점의 CH80은 252시간이었으며 전체 재배기간을 통해 4 수준의 예찰방제구에서 관행방제구의 9회 약제 살포에 비해 약제 살포 횟수가 4-6회 절감되었다(표 8). 병발생량

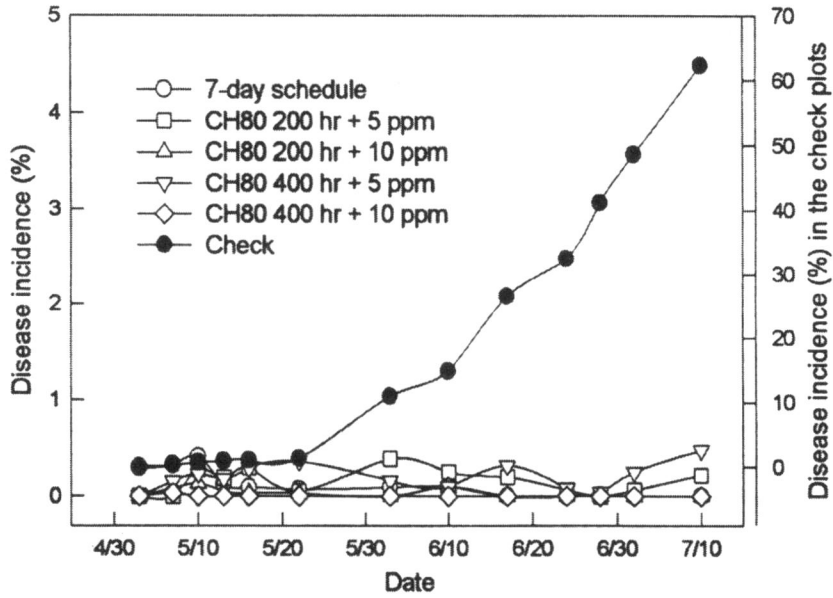


Fig. 6. Temporal changes of disease incidence of tomato leaf mold in the spring crop

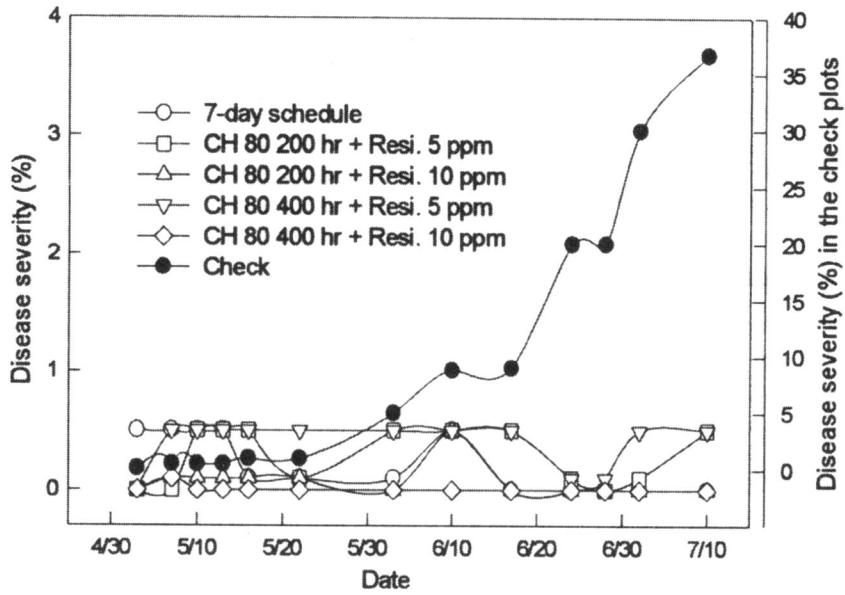


Fig. 7. Temporal changes of disease severity of tomato leaf mold in the spring crop

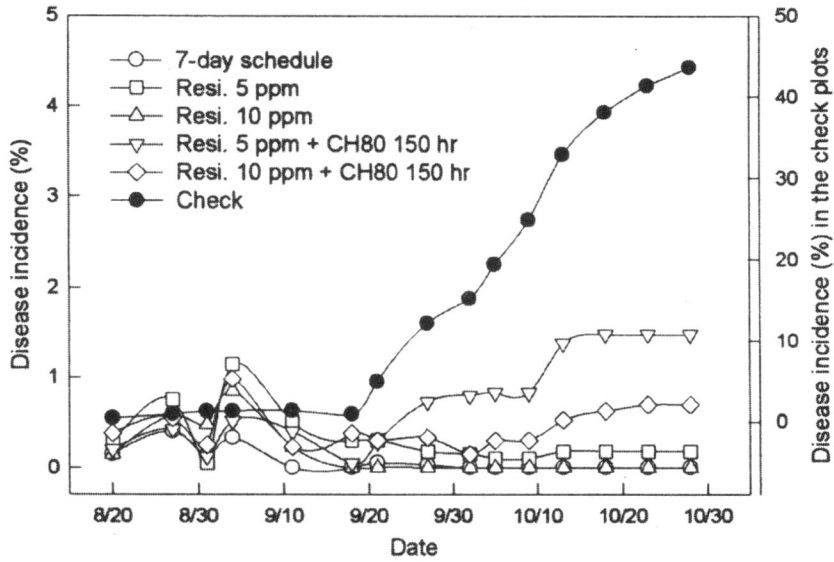


Fig. 8. Temporal changes of disease incidence of tomato leaf mold in the autumn crop

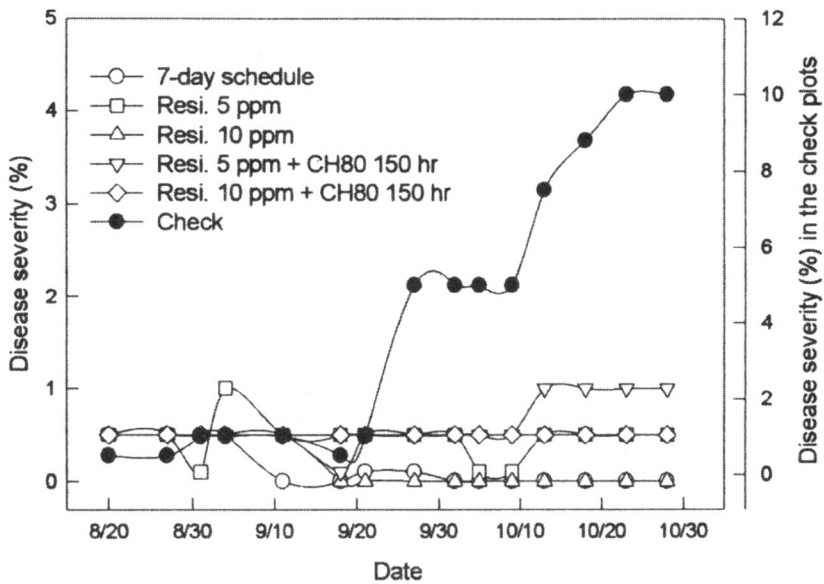


Fig. 9. Temporal changes of disease severity of tomato leaf mold in the autumn crop

Table 6. The number of days from the transplanting date when the initial and subsequent application were made, and the number of application in the spring crop.

Spray schedules ^x	Days after transplanting										No. of sprays
	10	20	30	40	50	60	70	80	90		
7 day schedule				40	47	54	61	70	77	84	7
Forecasted spray I	14		33		52		71		87		5
Forecasted spray II	14	28		43	57		71	82			6
Forecasted spray III		23		43		64		82			4
Forecasted spray IV		23	37	50		64	77	87			6
Check						none					0

^x7 day schedule: Weekly sprays starting from appearance of the first leaf mold symptom, Forecasted spray I: Initial spray at CH80^x=200 and subsequent sprays when triflumizole residue^y is expected to reach 5 ppm, Forecasted spray II: Initial spray at CH80=200 and subsequent sprays when triflumizole residue is expected to reach 10 ppm, Forecasted spray III: Initial spray at CH80=400 and subsequent sprays when triflumizole residue is expected to reach 5 ppm, Forecasted spray IV: Initial spray at CH80=400 and subsequent sprays when triflumizole residue is expected to reach 10 ppm, Check: None

Table 7. ANOVA for effects of fungicide spray schedules in the spring crop

Spray schedules ^x	AUDiPC ^y	AUDsPC ^z
	(%-days)	(%-days)
7 day schedule	5.44	9.85
Forecasted spray I	11.15	18.42
Forecasted spray II	2.14	3.90
Forecasted spray III	13.14	20.67
Forecasted spray IV	0.09	0.12
Check	1282.51	689.63
Single degree of freedom contrast	F values	
	AUDiPC	AUDsPC
spray vs. unspray	11.36**	8.31*
7 day vs. forecasted	0.00 ^{ns}	0.00 ^{ns}

^xSpray schedules are the same as in Table 6.

^yAUDiPC: area under disease incidence progress curve calculated by following formula,

^zAUDsPC: area under disease severity progress curve

*and**: significantly different at 95%, and 99% confidence intervals, respectively

ns: not significant at 95% confidence interval

Table 8. The number of days from the transplanting date when the initial and subsequent application were made, and the number of application in the autumn crop.

Spray schedules ^x	Days after transplanting									No. of sprays	
	10	20	30	40	50	60	70	80			
7 day schedule		20	27	34	41	48	55	62	69	76	9
Forecasted spray I		20		35		52		70			4
Forecasted spray II		20		33		44		56		69	5
Forecasted spray III		20			44				70		3
Forecasted spray IV		20			39		58			78	4
Check						none					0

^x7 day schedule: Weekly sprays starting from appearance of the first leaf mold symptom, Forecasted spray I : Initial spray at the first symptom appearance and subsequent sprays when triflumizole residue^y is expected to reach 5 ppm, Forecasted spray II : Initial spray at the first symptom appearance and subsequent sprays when triflumizole residue is expected to reach 10 ppm, Forecasted spray III : Initial spray at the first symptom appearance and subsequent sprays when CH80=150 after triflumizole residue is expected to reach 5 ppm, Forecasted spray IV : Initial spray at the first symptom appearance and subsequent sprays when CH80=150 after triflumizole residue is expected to reach 10 ppm, Check: None

Table 9. ANOVA for effects of fungicide spray schedules in the autumn crop

Spray schedules ^x	AUDiPC ^y	AUDsPC ^z
	(%-days)	(%-days)
7 day schedule	5.53	5.81
Forecasted spray I	21.40	15.91
Forecasted spray II	11.55	9.38
Forecasted spray III	48.89	35.74
Forecasted spray IV	31.60	31.84
Check	1004.16	267.63
Single degree of freedom contrast	F values	
	AUDiPC	AUDsPC
spray vs. unspray	11.36**	8.31*
7 day vs. forecasted	0.00 ^{ns}	0.00 ^{ns}
CH80 vs. w/o CH80	0.13 ^{ns}	2.20 ^{ns}

^xSpray schedules are the same as in Table 8.

^yAUDiPC: area under disease incidence progress curve

^zAUDsPC: area under disease severity progress curve

*and**: significantly different at 95%, and 99% confidence intervals, respectively

ns: not significant at 95% confidence interval

에 있어 통계학적으로 유의적인 차이가 없었으며 무방제구와는 고도의 유의적 차이를 보였다(표 9). 한편 4가지 예찰방제구에서 CH80 150시간 경과 후 추가 약제를 살포하는 2가지 예찰방제구와 이를 배제한 2 가지의 예찰방제구간에 병발생량에 있어 유의적 차이가 없었다.

IV. 고찰

본 실험에서 토마토 잎에 잔류된 실제 triflumizole의 잔류 농도는 실험기간 동안 전반적으로 오 등¹⁰⁾의 모형이 예측한 값보다 약 3 ppm 정도 낮았다. 이것은 오 등¹⁰⁾은 본 실험에서보다 triflumizole을 높은 농도로 처리하여 약제 살포 직후 잎에 집적된 양이 더 많았고, 실험조건에서도 차이가 있었기 때문으로 사료된다. 오 등¹⁰⁾의 실험은 식물 생장용 항온실에서 수행되어 비닐하우스에서 보다 낮은 일사량으로 빛에 의한 약제의 분해량이 적었을 것이며, 식물체의 호흡량이나 대사 활성에서도 차이가 있었을 것이므로 비닐하우스에서 수행한 본 실험에서보다 낮은 약제 분해율을 나타낸 것으로 여겨진다. 따라서 토마토 잎곰팡이병에 대한 약제 살포 시기 결정을 위한 실험에서 최초 약제 살포 후 추가 약제 살포 시점으로 설정한 10ppm과 5ppm에 이르는 데 소요되는 적산일 평균온도는 오 등¹⁰⁾의 모형과 각각 78.2°C와 101.5°C의 차이가 있었는데 이를 날짜로 계산하면 일평균온도가 20°C일 경우 오 등¹⁰⁾의 모형에 의하면 실제보다 각각 4일과 5일 정도 늦게 예측되며 25°C일 경우 각각 3일과 4일 정도 늦게 예측한 결과가 된다.

작물에 발생하는 병에 대해 병 발생에 필요한 환경 요인과 병이 진전되는 과정의 각 단계들을 사전에 예측하여 방제 약제의 살포 시기를 결정함으로써 최대의 방제 효과를 거둘 수 있는 방제법의 활용 가능성은 그 동안 많은 연구들을 통해 제기되어 왔다. 그 대표적인 예로 토마토 겹등근무늬병에 대한 방제법으로 작성된 FAST⁹⁾를 들 수 있다. FAST는 강우량, 온도, 상대습도 및 엽면습윤시간 등의 기상요인을 분석하여 겹등근무늬병의 병환을 이루는 병원균의 침입과 포자 형성의 가능성과 위험도를 수치화하여 최초

약제 살포와 추가 살포 시기를 결정하여 약제 살포 횟수를 줄이고도 높은 방제 효과를 얻은 바 있다⁹⁾. 토마토 잎곰팡이병의 발생예찰 모형으로서 조⁵⁾는 비닐하우스에서 잎곰팡이병이 발생하기 시작하려면 토마토 정식 후 비닐하우스 내의 상대습도가 80% 이상 유지되는 누적시간이 218시간 이상되어야 한다는 모형을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 조⁵⁾의 병 예찰 모형과 오 등¹⁰⁾의 triflumizole 잔류모형을 부분적으로 수정하여 triflumizole을 사용하여 잎곰팡이병을 효과적으로 방제하는데 필요한 위한 초기 살포시기와 추가 살포시기를 결정하는 방제체계를 검정하였다.

본 실험에서 이용한 조⁵⁾와 오 등¹⁰⁾의 모형은 토마토 잎곰팡이병에 대한 방제체계를 구성하는데 매우 효과적이었음이 예찰방제구와 관행방제구 및 무방제구와의 약제 살포 횟수 및 병발생량의 비교를 통해 입증되었다. 특히 가을 재배 실험의 예찰방제 중 최초 약제 살포 후 triflumizole의 잔류량이 5ppm인 시점으로부터 상대습도 80%이상 누적시간이 150시간 경과 후 추가 약제를 살포하는 처리구에서 작기 전체를 통해 단 3회의 약제 살포로 9회를 살포한 관행방제구와 비등한 방제 효과를 거둘 수 있었던 것은 대단히 고무적인 결과로 생각된다. 이렇듯 예찰방제구에서 관행에 비해 약제 살포 횟수가 크게 적었음에도 불구하고 병발생량에 있어 관행방제구와 유의적 차이가 없었던 것은 예찰방제모형에서 토마토 잎곰팡이병균의 정착에서 발병에 이르는 병환의 초기 단계가 병 예찰모형의 상대습도 80%이상 누적시간으로 비교적 정확히 예측되었고 토마토 잎에 잔류하는 triflumizole의 양을 비교적 정확하게 추정할 수 있었기 때문으로 여겨진다.

V. 결론

본 연구의 결과에 따르면 오 등¹⁰⁾의 triflumizole 잔류량 감소모형을 이용하여 토마토 정식 후부터의 적산온도에 따라 잎에 존재하는 triflumizole의 잔류량을 예측하는 것이 어느 정도 타당한 것으로 판정되었다. 또한 몇가지 방제체계에 대한 방제효율을 비교한 결과 잎곰팡이병 병징이 발견되기 시작하면 triflumizole

을 살포하기 시작한 후 적산온도를 계산하여 triflumizole 잔류량이 5-10ppm 정도로 떨어졌을 것으로 추정될 때 추가로 약제를 살포하면 약제 살포횟수를 줄이면서 방제효과를 높게 유지할 수 있음이 밝혀졌다. 한편 잎곰팡이병의 초기발생일을 판단하기 어려울 경우는 조⁵⁾의 병발생 예찰모형을 응용하여 정식 후 비닐하우스 내의 상대습도가 80% 이상 유지되는 적산시간이 200-400시간이 되었을 때 약제살포를 시작하여도 좋을 것으로 판단된다.

인용문헌

- 1) Alexander, L. J., 1942, A new strain of the tomato leaf mold fungus (*Cladosporium fulvum*), *Phytopathology* 32, pp.901-904.
- 2) Bailey, D. L., 1950, Studies in racial trends and constancy in *Cladosporium fulvum* Cooke, *Canadian Journal of Research* 28, pp.535-565.
- 3) Bailey, D. L. and Lowther, R. L., 1962, Studies on the nature of resistance to *Cladosporium fulvum* Cooke, *Can. J. Bot.* 40, pp.1095-1106.
- 4) Beoumont, A., 1954, Tomato leaf mould: Spraying trials in Lancashire and Yorkshire, 1942-52, *Plant Pathology* 3, pp.21-25.
- 5) 조용찬, 1997, 토마토 잎곰팡이병 발생 예찰모형, 서울대 농학석사학위논문.
- 6) Gardner, M. W., 1925, Cladosporium leaf mold of tomato: Fruits invasion and seed transmission, *Journal of Agricultural Research* 31, pp.519-540.
- 7) Guba, E. F., 1938, Tomato leaf mold as influenced by environment, *Massachusetts Agricultural Experiment Station Bulletin* 350, pp.1-24.
- 8) Jones, J. B., 1991, Leaf Mold, Compendium of Tomato Diseases, APS Press, Minnesota, p.18.
- 9) Madden, L. S., 1978, FAST, a forecasting system for *Alternaria solani* on tomato, *Phytopathology* 68, pp.1354-1358.
- 10) 오연이, 박은우, 조일규, 강창성, 김성기, 양장석, 1996, 토마토 잎에 집적된 Triflumizole 잔류량의 온도에 따른 경시적 동태와 잎곰팡이병균에 대한 약효, *한식병지* 12(3), pp.307-314.
- 11) Shiga, N., 1987, Residue analysis of Triflumizole and its metabolite in crop by HPLC, *Journal of Chromatography* 369, pp.327-335.
- 12) Small, T., 1930, The relation of atmospheric temperature and humidity to tomato leaf mold, *Ann. Appl. Biol.* 17, pp.71-80.
- 13) Sho, H. and Shisuke, S., 1986, Fungitoxic properties of Triflumizole, *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 52, pp.599-609.
- 14) Yasuski, H. and Shigeji, S., 1990, Absorption, translocation and metabolism of the fungicide Triflumizole in cucumber plants, *J. Pesticide Sci.* 15, pp.375-383.