

토마토 잎에 집적된 Triflumizole 잔류량의 온도에 따른 경시적 동태와 잎곰팡이병균에 대한 약효

오연이 · 박은우* · 조일규¹ · 강창성² · 김성기² · 양장석²

서울대학교 농업생명과학대학 농생물학과,

¹전진산업주식회사 농약안전성실험실, ²경기도 농촌진흥원 식물환경과

Temporal Dynamics of Triflumizole Residue in Tomato Leaves as Affected by Temperature and Its Effects on *Cladosporium fulvum*

Yeon Yee Oh, Eun Woo Park*, Il Kyu Cho¹, Chang Sung Kang²,
Sung Kee Kim² and Jang Souck Yang²

Department of Agricultural Biology, College of Agriculture and Life Sciences,
Seoul National University, Suwon 441-744, Korea

¹Pesticide Safety Lab, Chunjin & Company, Ltd., Yongin-gu, Kyunggi-do 449-860, Korea

²Department of Plant and Environment, Kyunggi Provincial Rural Development Administration,
Hwasong 445-970, Korea

ABSTRACT : Effects of temperature on temporal dynamics of triflumizole residue in tomato leaves and fungicidal effects of triflumizole on *Cladosporium fulvum* were investigated. Tomato plants grown for 8 weeks were sprayed with triflumizole (Trifmine 30% WP), and incubated at different temperature regimes in a growth chamber. Tomato leaves were sampled regularly and the amount of triflumizole residue was monitored by a HPLC method. The temporal dynamics of triflumizole residue could be described by an exponential decomposition model using degree-days after the fungicide application as an independent variable. The model suggested that persistence of triflumizole was greatly affected by temperature. The model was validated with experimental data from field plot studies conducted in a plastic film house at the Kyunggi Provincial Rural Development Administration. *In vitro* tests showed that triflumizole effectively inhibited hyphal growth and sporulation of *C. fulvum*, and suggested that at least 10 ppm of triflumizole residue in tomato leaves might be necessary to control leaf mold development in the field. The exponential decomposition model can be used to estimate the level of triflumizole residue in tomato leaves over a period of time, and practically to determine when another spray is necessary to maintain the minimum level of residue in leaves for effective control of leaf mold on tomato leaves.

Key words : tomato, leaf mold, *Cladosporium fulvum*, triflumizole, temperature, exponential decomposition model, fungicide residue.

토마토는 오이와 함께 우리나라에서 주년 재배되는 대표적 채소로 주로 비닐하우스를 이용한 시설내에서 재배되고 있다. 자동화된 온실이 아닌 비닐하우스내에서의 작물재배는 상대습도 및 온도 조절이 매우 어려우므로 식물병이 대발생할 가능성이 높다. 토마토 잎곰팡이병(*Cladosporium fulvum* Cooke (완전세대: *Fulvia fulva* (Cooke) Ciferri))은 토마토 비닐하우스 단

지내에서 발생되는 주요한 병 중의 하나로 일명 '왔다 병'으로 불리워질 정도로 일단 한번 발생되면 방제가 불가능할 만큼 병진전 속도가 매우 빠르므로 사전에 병이 중요한 병이다. 현재 토마토 잎곰팡이병 방제는 살균제를 이용한 화학적 방제가 일반적이다(1, 3, 6). 그러나 흔히 초기 약제살포시기를 놓침으로써 방제효과가 낮게 되고 결국에는 방제효과를 높이기 위하여 무분별하게 농약을 고농도로 여러 차례 살포하는 경우가 자주 발생하고 있다. 따라서 토마토 잎곰팡이병

*Corresponding author.

의 약제방제효과를 증진시키고 생산물의 농약오염을 줄이기 위해서는 병 발생 예찰 등을 이용한 적기 약제 살포 체계를 확립하여야 한다.

적기 약제 살포 체계를 확립하기 위해서는 병발생에 미치는 주요 환경요인의 영향, 전염원의 발생 생태, 살균제의 약효지속기간, 기주식물의 생육단계 등에 대한 자료가 구비되어야 한다. 본 연구는 최근 토마토 잎곰팡이병 방제 약제로 많이 사용되고 있는 침투성 살균제인 triflumizole ((E)-4-chloro- α,α,α -trifluoro-N-[1-(1H-imidazol-1-yl)-2-propoxyethylidene]-q-toluidine)을 살포한 후 토마토 잎에 집적된 잔류량의 경시적 변화에 미치는 온도의 영향을 정량적으로 구명하기 위하여 수행되었다.

재료 및 방법

토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류량에 미치는 온도 영향. 온실에서 과종 후 8주 자란 서광 토마토(홍농종묘)를 실험에 사용하였다. 서광 토마토는 잎곰팡이병에 이병성이이며, 비교적 많이 재배되는 품종이다. 공시된 식물체에 수동식 분무기를 사용하여 150 ppm triflumizole (Trifmine 30% WP, 전진산업(주))을 고루 분무하였다. 온실에서 잎 표면의 약액이 마른 후 온도처리를 위하여 24개체를 식물생장용 항온실로 옮겨 3~4주 동안 키우면서 잎에 잔류되어 있는 triflumizole를 주기적으로 정량하였다. 온도처리는 항온실의 온도를 15°C, 25°C, 35°C로 고정시키거나 12시간 주기로 20°C와 30°C로 변화시켜 온도 조건에 따른 triflumizole 잔류량의 변화를 조사하였다. 모든 처리에 있어서 항온실의 습도는 80±5%로 고정되었으며, 습도와 온도는 자동 조절장치에 의하여 조절되었다. 항온실의 광도는 식물체의 위치에 따라 약 30~40 μE/s/m²였다.

잎 시료는 잎 표면의 약액이 마른 직후부터 시작하여 2~7일 간격으로 약 한달 동안 채취하였는데, 매회 50 g씩 3개 시료를 채취하였다. Triflumizole을 살포한 후 식물체의 최상위 잎을 유성펜으로 표시하여 약액 살포 후에 출현된 잎이 시료에 포함되지 않도록 하였다. 채취된 시료는 분석 전까지 -20°C 냉동고에 보관하였다.

Triflumizole 잔류 분석 방법. 식물에 처리된 triflumizole 회수율은 균질화된 시료의 pH에 매우 큰 영향을 받아 pH 7 이상에서는 회수율이 낮으므로 phosphoric acid를 이용하여 pH 5~7이 되도록 하였으며, 냉동 보관된 시료를 1주일 이내에 분석하였다. 토마토

잎에 집적된 triflumizole의 잔류분석은 Shiga(12)의 방법을 일부 수정하여 사용하였다(Fig. 1).

추출된 acetone-hexane용액은 HPLC 분석을 위하여 용매는 중발시키고 acetonitrile에 다시 녹여 분석기기에 주입하였으며 triflumizole 분석을 위한 분석기기 및 분석조건은 다음과 같다.

- HPLC system : Shimadzu HPLC system with SLC-6B system
- Detector : SPD-6AV UV-VIS Spectrophotometric detector-detected at UV 238 nm
- Column : Shim-pack CLC-ODS(M)(4.6 mm × 250 mm)
- Column temperature : 40°C
- Mobile phase : acetonitrile-carbonate buffer (8 : 2), pH 9.2
- Flow rate : 1 ml/min

검량선 작성 및 회수율 조사. 100 ml mess flask에 triflumizole 표준품 0.01 mg을 넣고 acetonitrile을 섞어 100 ppm 표준 용액을 제조한 후 각각 0 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 12.5 ppm으로 희석하였다. 희석된 각 표준용액을 10 μl 취하여 HPLC 상 peak area를 구하여 peak

Sample (finely chopped tomato leaves)

shake with 100 ml of methanol for 40 min

Filtrate

Separatory funnel

add 50 ml of saturated NaCl solution
add 400 ml of dH₂O

Extraction with 50 ml dichloromethane twice

add 0.2 ml of n-dodecane
concentrate under reduced pressure at <40°C
reconstitute the residue with 10 ml of hexane-acetone (19 : 1)

Column chromatography for clean-up

10 g florisil packed column
(15 mm id × 40 mm, glass)
load 5 ml of reconstituted samples
wash with 50 ml of hexane-acetone (19 : 1)
elute with 100 ml of hexane-acetone (9 : 1)
concentrate under reduced pressure at <40°C
reconstitute the residue with 20 ml of acetonitrile

HPLC analysis

Fig. 1. The procedure for extraction of triflumizole residue in tomato leaves.

area(X)에 따른 triflumizole 양(Y)에 대한 다음과 같은 단순회귀식을 얻을 수 있었다.

$$Y = -0.2626 + 0.0986X \quad (R^2 = 0.999)$$

이 회귀식이 통계적으로 높은 유의성($p < 0.01$)을 갖고 있으며, triflumizole 양 변이의 99%를 peak area로 설명할 수 있었으므로 추후 이 회귀식을 이용하여 토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류량을 계산하였다.

Triflumizole 분석에 사용된 방법의 신뢰도를 확인하기 위하여 분석 후 triflumizole의 회수율을 조사하였다. Triflumizole을 처리하지 않은 토마토 비닐하우스에서 채취한 토마토 잎을 칼로 곱게 썬 후 10 g을 취하여 250 ml flask에 둔 후 2.5 ppm triflumizole 표준용액 5 ml을 접적하였다. 접적 후 10분간 방치하여 acetonitrile을 휘발시킨 후 정량 분석하였다.

접적 후 토마토 잎에 집적된 triflumizole의 농도는 1.25 ppm이었다. 분석과정에서 100% 회수된다고 가정하였을 때 최종 농도는 추출 및 HPLC 분석과정 중의 회석 효과로 인하여 4배 감소하게 되므로 0.313 ppm이 된다. 따라서 회수율은 HPLC 분석 상에서 나타나는 0.313 ppm의 표준 용액과 접적한 시료의 추출 용액의 peak area의 비로써 나타낼 수 있다. 회수율 시험을 2회 실시한 결과 본 연구에서 사용한 분석방법의 회수율은 87.5%와 82.7%였다.

비닐하우스 토마토 잎에 집적된 triflumizole의 경시적 잔류 동태. 본 실험은 1995년에 경기도 농촌진흥원내 토마토 비닐하우스 밭에서 4회 수행하였는데, 1, 2, 3차 실험은 2월 24일에 파종하여 4월 11일에 정식한 토마토를 사용하였고, 4차 실험을 위해서는 토마토를 5월 31일에 파종하여 7월 10일에 정식하였다. 비닐하우스 면적은 200 m²로 재식거리는 개체간 0.5 m, 줄 간 1 m 간격으로 매회 실험에서 줄당 30개체씩 3줄을 사용하였다. Triflumizole 처리는 각 실험별로 5월 9일, 5월 30일, 6월 23일, 9월 23일에 하였다. 약제 처리는 Trifmine 30% 수화제(전진산업주식회사)를 동력분무기를 이용하여 살포하였다. 1, 2, 4차 실험에서는 triflumizole 농도를 150 ppm으로 하여, 각각 15 L, 17 L, 20 L를 살포하였고, 3차 실험에서는 100 ppm 농도로 23 L를 살포하였다. 비닐하우스 내 기온과 상대습도를 관측하기 위하여 무인 기상관측기를 설치하였다. 무인 기상 관측기는 Campbell Scientific Inc.(Utah, U.S.A.)의 CR10 자료집록기를 사용하였으며, HMP35C Temperature/RH Probe를 연결하여 매시간 비닐하우스 내의 기온과 상대습도 자료를 수집하였다.

Triflumizole 살포 후 잎이 건조해진 직후부터 1, 3,

5, 7, 12, 17, 20일 후 및 필요한 경우 일주일 간격으로 토마토 잎을 처리구 내에서 매회 200 g씩 4개 시료를 채취하였다. 농약 살포시 식물체의 최상위 잎을 표시하여 농약이 살포되지 않은 잎이 시료에 포함되지 않도록 하였고, 잎의 위치와 무관하게 가능한 고루 채취될 수 있도록 하였다. 한편 6월 23일에 triflumizole을 살포한 3차 실험에서는 식물체의 제 2화방을 중심으로 상층부와 하층부로 구분하여 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 잘게 썰어 분석 전까지 -20°C에서 냉동 보관하였으며 시료 채취 후 3일 이내에 분석하였다.

토마토 잎곰팡이병균에 대한 triflumizole의 영향. Triflumizole이 잎곰팡이병균의 포자 발아, 발아관 생장, 균사 생장, 포자 형성율에 미치는 영향을 *in vitro* 실험으로 조사하였다. 본 실험에서는 triflumizole이 처리되지 않았던 토마토 비닐하우스 포장에서 잎곰팡이 병 병징을 채집하여 병원균을 분리하여 사용하였다.

포자 혼탁액 0.1 ml를 triflumizole의 농도가 각각 0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, 20.0, 50.0 ppm의 water agar 배지에 고루 퍼지게 하였다. 접종된 배지를 23°C의 인큐베이터에 넣고, 암조건에서 24시간과 48시간 배양후 처리당 400개 포자의 포자 발아율, 발아관의 길이와 분지수를 조사하였다. 발아관의 길이는 CCD camera(Panasonic, Japan)를 광학 현미경에 장착하여 모니터에 나타난 발아된 포자들의 화상을 OHP용 transparent film에 유성펜을 이용하여 복사한 후 Digitizing tablet(Summagraphics, Co., U.S.A.)을 이용하여 측정하였다. 발아관의 길이 계산은 Seem 등(11)이 개발한 digitizing program을 이용하였다.

균사 생장과 포자 형성율은 triflumizole이 첨가된 oat meal agar 배지에서 측정하였다. 23°C의 인큐베이터에서 농약이 첨가되지 않은 oat meal agar 배지 상에서 1주일간 배양시킨 후 형성된 colony에서 cork border를 사용하여 균사체를 직경 5 mm로 잘라내었다. 잘라낸 균사체 block을 triflumizole의 농도가 각각 0.0, 0.1, 0.5, 1.0, 5.0, 10.0, 15.0, 20.0, 50.0 ppm인 oat meal agar 배지로 옮겼다. 23°C, 암조건에서 3주간 배양한 후 형성된 colony의 직경과 포자 수를 조사하였다. triflumizole 농도별로 oat meal agar plate 5개를 사용하였으며, 포자 수는 각 배지 표면을 살균수로 씻어낸 후 hemacytometer를 사용하여 측정하였다.

자료 분석. 토마토 잎에 집적된 triflumizole의 경시적 잔류 동태에 미치는 온도 효과를 정량화시키기 위하여 적산온도와 잔류량 간의 관계를 회귀 분석하였다. 회귀 분석에서는 다음과 같은 지수적 감소 모형을 사용하였다.

$$r = r_0 e^{-bT}$$

여기서 r 은 triflumizole 잔류량이며, r_0 는 triflumizole 살포 직후 잎에 집적된 triflumizole의 양을 나타내는 파라미터, b 는 잔류량 감소 속도를 나타내는 파라미터, T 는 triflumizole 살포 후부터 0°C를 기준으로 계산된 적산온도(cumulative degree-days)를 나타낸다.

잔류량 감소 모형의 파라미터 추정값은 측정된 잔류량 자료를 자연로그값으로 치환하여 단순회귀분석으로 구하였으며, 통계분석 프로그램으로는 SAS의 REG procedure와 GLM procedure를 이용하였다(10). 각 회귀모형은 잔차 분석, F-test, 회귀계수의 유의성으로 모형의 적합성을 평가하였다(13).

Triflumizole의 잎곰팡이병균에 대한 포자 빌아 및 균사 생장 억제 효과를 알아보기 위하여 SAS의 Probit procedure를 이용하여 EC₅₀를 구하였다(10).

결 과

토마토 잎의 triflumizole 잔류량에 미치는 온도 영향. Triflumizole을 살포한 다음 약액이 마른 직후에 토마토 잎에 집적된 triflumizole을 분석한 결과 집적량은 평균 48.05 ppm이었다. Triflumizole 평균 잔류량은 시간이 경과함에 따라 점차 감소하였는데, 온도조건에 따라 잔류량의 감소 속도가 뚜렷이 차이가 있었다(Fig. 2). 온도가 높을수록 빠른 속도로 triflumizole 잔류량이 감소하여 35°C 조건에서는 20일이 경과한 후에는 0.70 ppm만이 검출되었다. 반면에 15°C에서는 30일 후에도 11.21 ppm이 검출되었다. 온도조건을 12시간 간격으로 20°C와 30°C로 변화를 주었을 때 triflumizole 잔

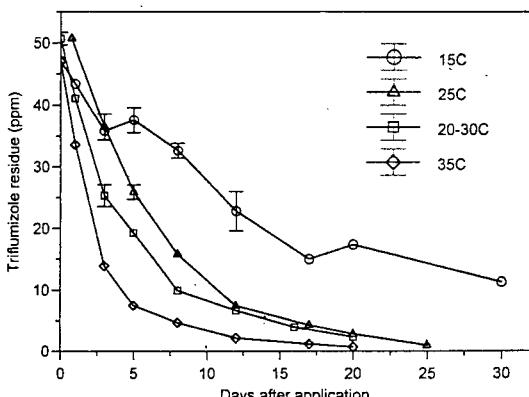


Fig. 2. Effect of temperature on triflumizole residue in tomato leaves over time in a growth chamber.

류량 감소속도가 온도를 25°C로 고정시켰을 때 보다 빠르지만 35°C로 고정시켰을 때 보다 늦었다.

Fig. 2의 모든 자료를 자연대수값으로 치환하여 적산온도에 따른 잔류량 변화에 대한 단순회귀분석을 한 결과 Fig. 3의 회귀모형을 구할 수 있었다. 이 회귀모형에 의하면 토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류량 변이의 89%를 triflumizole 살포후 적산온도로써 설명할 수 있었다.

항온실의 온도를 고정시키지 않고 12시간 간격으로 20°C와 30°C로 변화를 주었을 때 처리온도인 20°C와 30°C, 그리고 평균온도인 25°C를 이용하여 적산온도를 계산하여 잔류량 감소모형을 구하였다(Table 1).

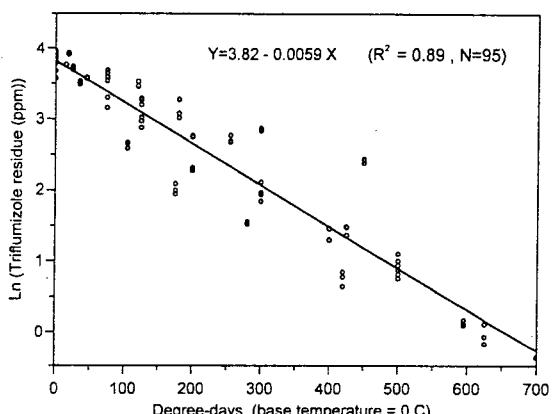


Fig. 3. Response of triflumizole residue in tomato leaves to cumulative degree-days after the fungicide application in a growth chamber.

Table 1. The exponential decomposition models for triflumizole residue in tomato leaves with respect to cumulative degree-days in a growth chamber which was set at 30°C/20°C (day/night at 12 hr intervals)^a

Temperature (°C) used to calculate degree-days	r_0	b	R^2 ^b	Sum of squares for residuals
20	49.90	0.0078	0.98	4.72
25	49.90	0.0063	0.98	0.80
30	49.90	0.0052	0.98	2.05

^a The exponential decomposition model, $r=r_0 e^{-bT}$, was transformed into $\ln r=\ln r_0 - b T$ to estimate parameters using the linear regression analysis. The variables, r and T , are the amount of triflumizole residue in tomato leaves and the cumulative degree-days calculated from the fungicide application with the base temperature of 0°C, respectively.

^b The coefficient of determination for regression model.

세 모형이 모두 통계학적으로 유의성이 높게 나타났지만 각 모형에서 계산된 잔차평방합(sum of squares of residuals)^a가 25°C를 이용하여 적산온도를 계산하였을 때 가장 적었으며, 20°C를 이용하였을 때 가장 크게 나타났다.

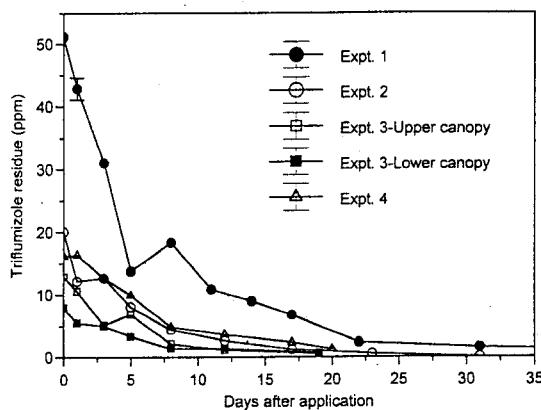


Fig. 4. Temporal changes in the amount of triflumizole residue in tomato leaves after the fungicide application in a plastic film house.

Table 2. The exponential decomposition models for triflumizole residue in tomato leaves with respect to cumulative degree-days of daily average temperature calculated from the fungicide application in a plastic film house^a

Experiment ^b	r_0	b	R^2 ^c
1	42.51	0.0065	0.94
2	16.78	0.0070	0.99
3-Upper canopy	10.91	0.0070	0.94
3-Lower canopy	6.00	0.0049	0.91
4	26.95	0.0067	0.98

^a The exponential decomposition model, $r = r_0 e^{-bT}$, was transformed into $\ln r = \ln r_0 - bT$, to estimate parameters using the linear regression analysis. The variables, r and T , are the amount of triflumizole residue in tomato leaves and the cumulative degree-days calculated from the fungicide application with the base temperature of 0°C, respectively.

^b In experiment 1, 2, and 4, leaf samples were taken at random from the whole canopy to which triflumizole had been applied. In experiment 3, the whole canopy which had been sprayed with triflumizole was divided into the upper and lower canopies with the second truss at the center. Leaf samples taken from the upper and lower canopies were analyzed separately to determine the amount of triflumizole residue.

^c The coefficient of determination for regression model.

비닐하우스 토마토 잎에 집적된 triflumizole의 경시적 잔류 동태. 토마토 비닐하우스에서 처리된 triflumizole 잔류량의 감소 양상은 매회 살포량의 차이에 따라 초기 집적량에 있어서 실험 간에 차이가 있었다(Fig. 4). 초기 집적량이 가장 많았던 1차 실험에서는 살포후 5일 동안 잔류량이 급격히 줄었으나 그 후에는 잔류량 감소 경향이 2, 3, 4차 실험과 유사하였다. 3차 실험 결과에 따르면 수관 상층부와 하층부에 살포된 triflumizole 양에 차이가 있었다. 토마토 식물체의 제2화방을 중심으로 살포 직후 상부 잎에는 12.91 ppm이 집적되었으며, 하부 잎에는 7.95 ppm 밖에 집적되지 않았다. 1, 2, 3, 4차 실험 기간 중에 비닐하우스 내의 일일 평균기온과 온도범위는 각각 19.0°C (15.9~22.8°C), 21.8°C(19.4~25.5°C), 25.8°C(20.7~29.0°C), 19.0°C(17.3~20.8°C)였다.

지수적 감소모형인 $r = r_0 e^{-bT}$ 을 이용하여 약제 살포 후 적산온도에 따른 triflumizole 잔류량 변화에 대한 회귀모형을 구하였다(Table 2). 4회 실험 모두에서 통계학적으로 유의성이 높은 지수적 감소 모형을 얻었으며, 이들 모형에 의하면 비닐하우스에서도 토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류량 변이의 90% 이상을 살포후 적산온도로 설명할 수 있었다. 잔류량 감소 속도 상수는 0.0065~0.0070이었는데, 3차 실험에서 식물체 하부 잎에서의 감소 속도 상수는 0.0049였다.

살포 직후 잎에 집적된 triflumizole 양이 항온실 실험과 유사한 1차 실험 자료를 이용하여 triflumizole 잔류량 변화에 대한 지수적 감소 모형의 타당성을 평가

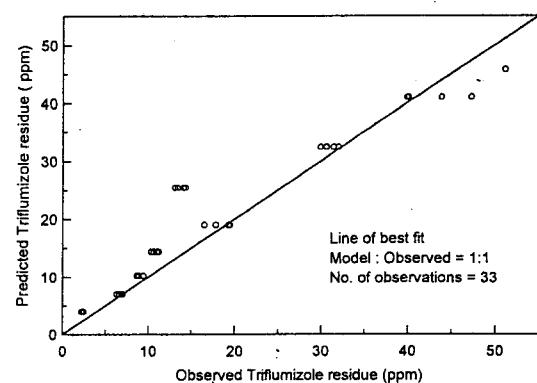


Fig. 5. Validation of model-predicted amount of triflumizole residue in tomato leaves against observed values: The prediction model was $Y = 3.82 - 0.0059X$, where X and Y were the degree-days from fungicide application and the amount of triflumizole residue, respectively.

하였다. 비닐하우스에서 자란 토마토 잎에 접적된 triflumizole양의 경시적 변화에 대한 추정치가 관측치 보다 약간 높은 경향이 있었다(Fig. 5).

토마토 잎곰팡이병균에 대한 triflumizole의 영향. Triflumizole이 첨가된 water agar 배지에서 *C. fulvum*의 포자는 triflumizole의 농도가 20 ppm 이하일 경우 48시간이 경과하면 약 90% 이상이 발아하였다(Fig. 6). Triflumizole의 농도가 50 ppm일 때는 약 2~10%의 포자가 발아하였으며, EC₅₀값은 30 ppm이었다. Triflumizole의 농도가 1 ppm 이하일 때는 24시간 만에 발아할 수 있는 포자가 거의 모두 발아하였으며, 5~20 ppm에서는 일부분의 포자들의 발아속도가 늦어져 24~48시간 사이에 발아하였다.

발아관의 길이는 배지의 triflumizole 농도가 높을수록 점차 짧아지는데, 0.1 ppm 농도에서도 발아관이 현

저히 짧아졌다(Fig. 7). Triflumizole 농도가 20 ppm 이하 일 때는 triflumizole이 전혀 첨가되지 않았을 때에 비하여 발아관의 길이 생장이 약간 줄어들지만 하루에 약 6~20 μm씩 자랄 수 있었다. 그러나 배지 내에 triflumizole이 50 ppm 첨가되었을 경우 포자가 발아를 하였더라도 발아관의 길이가 약 10 μm 안팎에서 더 이상 자라지 못하였다. 포자가 발아후 발아관이 자라면서 분지를 하는 현상은 배지 내의 triflumizole 농도가 5 ppm 이상이 되면 분지수가 줄어드는 경향이 나타났으며, 50 ppm에서는 발아관이 분지를 하지 않거나 간혹 한 번 분지하는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 8).

Triflumizole이 oat meal agar 배지 상에서의 균사생장에 미치는 영향을 colony 직경으로 나타내었다(Fig. 9). 배지에 triflumizole의 농도가 증가할 수록 colony의 크기가 급격히 작아졌다. Triflumizole 5 ppm 이상을

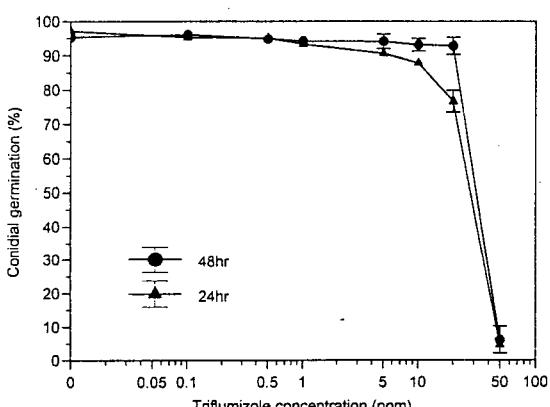


Fig. 6. Effect of triflumizole on conidial germination of *Cladosporium fulvum* on water agar medium at 23°C.

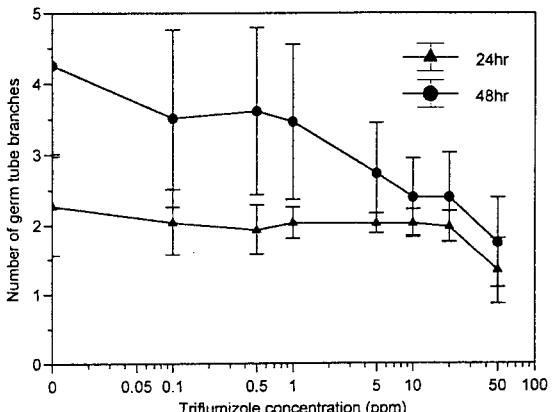


Fig. 8. Effect of triflumizole on germ tube branching of *Cladosporium fulvum* on water agar medium at 23°C.

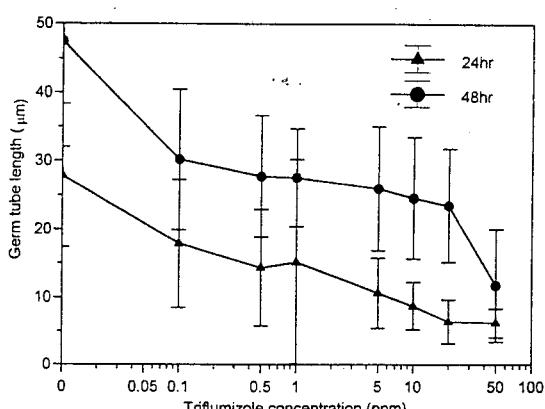


Fig. 7. Effect of triflumizole on germ tube elongation of *Cladosporium fulvum* on water agar medium at 23°C.

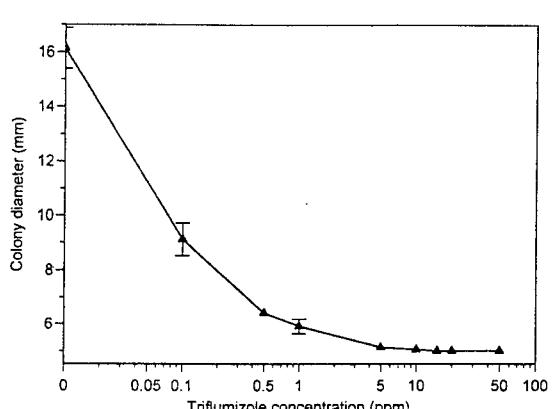


Fig. 9. Effect of triflumizole on growth of *Cladosporium fulvum* on oatmeal agar medium at 23°C.

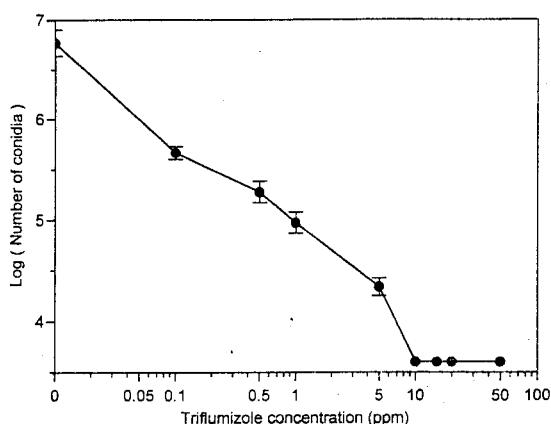


Fig. 10. Effect of triflumizole on sporulation of *Cladosporium fulvum* on oatmeal agar medium at 23°C.

배지에 섞었을 때 군사생장이 극히 저조하여 colony 직경이 거의 증가되지 않았고, EC_{50} 값은 0.1 ppm 이하였다. *C. fulvum*의 포자형성도 배지에 triflumizole이 첨가될 경우 급격히 줄어들었다(Fig. 10). Triflumizole의 농도가 10 ppm 이상에서는 포자형성이 거의 이루어지지 않았으며, EC_{50} 값은 0.1 ppm 이하였다.

고 찰

Triflumizole은 보호 및 치료 효과를 갖고 있으며, 식물체 내로 비교적 빠르게 침투되어 살포직후 비에 씻기는 경향이 낮고, 휘발성을 갖고 있는 것으로 알려져 있다(4). 식물체에 살포된 농약의 잔류량 감소 원인으로는 강우, 온도, 광 등의 환경요인으로 인한 분해 및 유실, 식물 생장으로 인한 희석 효과, 식물 조직 내에서의 화학적 분해 등을 들 수 있다(7). 본 실험은 식물 생장용 항온실과 비닐하우스 내에서 수행된 것이므로 비에 의하여 식물체 표면에 집적된 triflumizole이 씻겨서 유실되는 부분은 없다고 보며, 식물생장용 항온실에서는 광도가 노지나 비닐하우스에서 보다 낮으므로 광에 의하여 분해되는 부분도 미미할 것으로 추측된다. 또한 적산온도를 이용한 잔류량 감소모형이 통계적으로 매우 유의성 있는 것으로 보아 본 실험에서 관찰된 식물체 잔류량의 감소는 주로 온도 증가에 따른 triflumizole의 휘발량 증가로 인한 유실과 식물체의 생육 증가로 인한 희석 효과에 기인하는 것이라고 판단된다(8). 특히 triflumizole을 살포한 직후 3~5일 동안에 일 조직 속으로 침투되지 못하고 일 표면에 집적된 triflumizole이 주로 휘발되었을 것이다. 높은 온

도 조건하에서는 일 면적이 빠른 속도로 증가되므로 triflumizole의 희석효과와 일 조직 내에서 분해속도가 증가되었을 것으로 추측된다.

항온실의 온도 조건을 12시간 간격으로 20°C와 30°C로 변화를 주었을 때 triflumizole 잔류량 감소속도가 25°C로 온도를 고정시켰을 때 보다 빠른 것으로 보아 부분적인 고온처리가 잔류량 감소를 촉진시킨 것으로 판단된다. 적산온도를 이용한 잔류량 감소 모형을 구할 때 변온조건 하에서는 평균 온도를 이용하는 것이 모형의 통계학적 적합성이 높았으므로 토마토 비닐하우스 실험 결과에 대한 분석에서 일일 평균 기온으로부터 적산온도를 계산하여 triflumizole 잔류량 감소 모형을 구하였다.

4가지 온도조건 하에서 얻어진 triflumizole 잔류량 변화에 대한 자료를 이용하여 얻어진 Fig. 3의 지수적 감소 모형은 통계학적인 유의성과 신뢰성이 매우 높았다. 1차 실험의 결과를 바탕으로 triflumizole 잔류량 변화 모형에 대한 타당성 평가에 따르면 비닐하우스에서 자라는 토마토 일에 집적된 triflumizole 양의 감소 속도가 모형의 추정치 보다 약간 빠른 경향이 나타났지만 그 차이가 미미하므로 Fig. 3에 제시된 triflumizole 잔류량 변화 모형의 실용적 이용 가능성이 있다고 판단된다. 앞으로 광, 기온변이 등과 같은 환경 조건과 토마토 식물체 생장속도 등이 triflumizole 잔류량 감소에 미치는 영향을 고려할 수 있도록 잔류량 변화 모형을 개선시킨다면 잔류량 추정을 보다 정확하게 할 수 있을 것이다. 한편 이 모형의 r_0 추정값은 Trifmine 제품 포장지에 제시된 추천 농도(6.7 g/물 20 L)로 토마토 일에 충분히 젖을 때까지 살포하였을 때 얻어진 값이다. 살포된 triflumizole 양에 따라 살포 직후 일에 집적된 양이 달라지므로 이 모형을 실용적으로 사용하기 위해서는 제품 포장지에 제시된 사용농도를 준수하는 것이 중요하다. 또한 이 모형은 온도조건이 15~35°C 범위 내에서 구해진 것이므로 토마토 재배 온도가 15°C 이하이거나 35°C 이상일 경우에는 이 모형에 의한 잔류량 예측이 틀릴 가능성성이 있다. 하지만 우리나라에서 토마토 비닐하우스 재배시 하우스 내의 기온은 대체로 15~35°C 범위에 포함된다.

토마토 비닐하우스의 1차 실험에서는 2, 3, 4차 실험에 비하여 triflumizole이 고농도로 살포되었으므로 살포 직후 5일 동안 상대적으로 많은 양이 휘발되어 일에 집적된 triflumizole이 급격히 감소한 것으로 추측된다. 토마토 일에 집적된 triflumizole 잔류량 감소속도는 4회 실험에서 거의 유사하게 나타났으나, 1, 4차 보다 2, 3차 실험에서 triflumizole 감소 속도가 약

간 더 빠른 것은 2, 3차 실험 기간 중의 기온이 높았기 때문으로 생각된다. 한편 일반적으로 살균제를 분무 살포할 경우 식물체의 하층부보다 상층부에 더 많은 양의 살균제가 투여된다(2, 9). 제3차 실험 결과에서 나타난 바와 같이 triflumizole의 경우에도 초기 집적량은 상층부에 더 많았으나, 잔류량 감소속도는 하층부보다 상층부에서 더 빠르게 나타났다. 이러한 현상은 상층부의 어린 잎의 빠른 생장에 따라 잎에 집적된 triflumizole의 희석 효과가 주요 원인으로 판단된다. 또한 식물체 상층부와 하층부의 온도, 일사량 등과 같은 환경 요소의 미세한 차이도 triflumizole 분해 속도에 영향을 줄 수 있다.

Triflumizole은 자낭균류와 불완전균류에 속하는 곰팡이의 발아관과 균사 생장, 그리고 포자형성을 억제하는 것으로 알려져 있다(4, 5). 본 실험에서도 *in vitro* 상태에서 triflumizole을 20 ppm 처리하여도 *C. fulvum*의 포자 발아 억제 효과가 뚜렷하지 못하였으나, 발아관과 균사의 생장 및 포자형성은 1 ppm 이하의 농도에서도 현저히 억제하였다. *in vitro* 실험에서 triflumizole 10 ppm이 포자형성을 완전히 억제시켰으므로 토마토 재배시 잎에 최소한 10 ppm 이상의 triflumizole이 잔류한다면 잎곰팡이병을 효과적으로 방제할 수 있을 것이다. 비닐하우스에서 수행한 1차 실험 결과에 따르면 triflumizole 제품 포장지에 제시된 추천 희석배수로 살포할 경우 약 12~13일 가량 10 ppm 이상의 triflumizole이 잎에 잔류할 것으로 나타났다. 하지만 토마토 재배기간 동안의 기온에 따라 triflumizole의 약효지속기간에 차이가 있을 수 있다. 예컨대 항온실 실험 결과에서 본 바와 같이 15°C에서는 10 ppm 이상의 triflumizole이 30일 이상 잎에 잔류되었으나, 35°C에서는 5일 이내에 잔류량이 10 ppm 이하로 떨어졌다.

현재 토마토 재배시 잎곰팡이병 방제를 위하여 triflumizole의 경우 10일 간격으로 살포하도록 추천하고 있다. 하지만 triflumizole 잔류량 변화를 볼 때 재배기간동안의 온도 조건에 따라 살포 간격을 달리해 줄 필요가 있으므로, 본 연구에서 얻어진 triflumizole 잔류량 감소 모형은 약제 살포시기를 결정하는데 활용될 수 있다. 이러한 살균제 잔류량 감소 모형을 작물병 발생에 대한 예찰모형에 접속시킬 경우 약제살포 시기를 결정하는데 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

요 약

토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류량 동태에 미치는 온도 영향과 *Cladosporium fulvum*에 대한 triflumizole의 살균효과를 구명하였다. 8주간 키운 토마토 식물체에 triflumizole을 분무 살포한 후 식물생장 용 항온실에서 키우면서 4가지 온도 조건을 처리하였다. 주기적으로 토마토 잎을 채취하여 HPLC 방법을 이용하여 triflumizole의 잔류량을 조사하였다. Triflumizole 잔류량의 경시적 동태는 약제살포후 적산온도를 독립변수로 사용하는 지수적 감소 모형으로 나타낼 수 있었으며, 이는 triflumizole의 잔류성이 온도 영향을 크게 받는다는 것을 뜻한다. 경기도 농촌진흥원에 위치한 토마토 비닐하우스에서 수행한 실험에서 얻은 자료를 이용하여 평가한 결과 이 모형의 타당성이 인정되었다. Triflumizole의 약효에 대한 *in vitro* 실험 결과, 이 살균제는 *C. fulvum*의 균사 생장과 포자형성을 뚜렷이 억제하였으며, 잎곰팡이병 방제를 위해서는 토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류량이 최소한 10 ppm 이상이 되어야 할 것으로 추측된다. 본 연구에서 얻어진 지수적 감소 모형은 토마토 잎에 집적된 triflumizole 잔류량을 추정하는데 활용될 수 있으며, 실용적인 측면에서 볼 때, 토마토 잎곰팡이병을 효과적으로 방제하는데 필요한 triflumizole의 최소 잔류량을 식물체에 유지하기 위하여 triflumizole을 살포해야 할 시기를 결정하는데 활용될 수 있다.

감사의 말씀

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었습니다.

참고문헌

1. Abiko, K. and Ishii, M. 1986. Influence of temperature and humidity on the outbreak of tomato leaf mold (by *Cladosporium fulvum*). *Bulletin of the Vegetable and Ornamental Crops Research Station Series A* (Japanese) 14 : 133-140.
2. Bruhn, J. A. and Fry, W. E. 1982. A mathematical model of the spatial and temporal dynamics of chlorothalonil residues on potato foliage. *Phytopathology* 72 : 1306-1312.
3. Guba, E. F. 1938. Tomato leaf mold as influenced by environment. *Massachusetts Agricultural Experiment Station Bulletin* 350 : 1-24.
4. Hashimoto, S., Sano, S., Murakami, A., Mizuno, M., Nishikawa, H. and Yasuda, Y. 1986. Fungitoxic properties of triflumizole. *Ann. Phytopath. Soc. Japan* 52

- : 599-609.
5. Ishii, H., Takeda H., Nagamatsu, Y. and Nakashima, H. 1990. Sensitivity of the pear scab fungus (*Venturia nashicola*) to three ergosterol biosynthesis-inhibiting fungicides. *Pestic. Sci.* 30 : 405-413.
 6. Jones, J. B., Stall, R. E. and Zitter, T. A. 1991. *Compendium of Tomato Disease*. APS Press. Minnesota. 73pp.
 7. Kenineth, P. B. 1990. Fate of xenobiotics in foliar pesticide deposits. *Reviews of Environmental Contaminations and Toxicology* 114 : 125-161.
 8. Ko, W. H., Lin, H. and Kunimoto, R. K. 1975. A simple method for determining efficacy and weatherability of fungicides on foliage. *Phytopathology* 65 : 1023-1025.
 9. Lukens, R. J. and Ou, S. H. 1976. Chlorothalonil residue on field tomato and protection against *Alternaria solani*. *Phytopathology* 66 : 1018-1022.
 10. SAS Institute Inc. 1985. *SAS User's Guide: Statistics*, Version 5 Edition, pp. 3-20. Cary, NC: SAS Institute Inc.
 11. Seem, R. C., Blume, M. C. and J. Barnard. 1979. Automated analysis of charts from continuously recording weather instruments. *Phytopathology* 69 : 1103-1105.
 12. Shiga, N., Matano, O. and Goto, S. 1987. Residue analysis of triflumizole and its metabolite in crops by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography* 396 : 327-335.
 13. Steel, G. D. and Torrie, J. H. 1980. Linear regression In : *Principles and Procedures of Statistics*, pp. 239-284. McGraw-Hill, Inc. New York.