



온도 및 습도 조건에 따른 훈증제 에틸포메이트의 채소류 작물에 대한 약해 연구

정인홍 · 이관석 · 박부용 · 서보윤 · 조점래 · 권태형¹ · 이병호^{1*} · 박정규^{1*}

국립농업과학원 농산물안전성부, 작물보호과, ¹국립경상대학교 응용생명과학부 (BK21+ Program)

Phytotoxic Damage of Fumigant, Ethyl Formate, to Vegetable Crops and Solanaceae Plants by different Temperature and Humidity Conditions

In-Hong Jeong, Gwan-seok Lee, Bo-yoon Seo, Bueyong Park, Jum-Rae Cho, Tae Hyung Kwon¹,
Byung-Ho Lee^{1*}, Chung Gyoo Park^{1*}

Crop Protection Division, National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeollabuk-do 55365, Republic of Korea

¹Division of Applied Life Science (BK21+ Program)/Institute of Life Science, Gyeongsang National University,
Jinju 52828, Republic of Korea

(Received on November 25, 2020. Revised on December 11, 2020. Accepted on December 15, 2020)

Abstract Sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae), is a serious invasive pest of horticulture plants, vegetables and fruits. Control of *B. tabaci* is especially difficult in the vinyl house due to resistance of pesticide. Here we evaluated the potential use of ethyl formate (EF) against *B. tabaci* on four agricultural plants (yellow melon, cucumber, tomato and pepper). 4 hours EF fumigation with 1.5 g/m³ was perfectly controlled for *B. tabaci* adults at 21°C and 2.0 g/m³ of EF 2 hours fumigation was also controlled 100% against adults of *B. tabaci*. For practical application of EF in vinyl house, humidity and temperature might be most effective factors. In this study, we assessed phytotoxic symptom on four agricultural plants (yellow melon, cucumber, tomato and pepper) under different temperature and humidity condition using 0.275 m³ fumigation chambers. In our results, high humidity was major factor of some phytotoxicity in pepper's and tomato's new leaf but temperatures were no significant factor on four all plants. These results suggest that EF fumigation may be a viable option for controlling *B. tabaci* in vinyl house where cultivating with yellow melon and cucumber.

Key words *Bemisia tabaci*, Cucumber, Ethyl formate, Pepper, Tomato, Yellow melon

서 론

담배가루이 (*Bemisia tabaci* Gennadius)는 노린재목 가루이과에 속하는 세계적으로 대표적인 침입종의 하나로 국내에는 1998년 최초 보고된 이후 전국적으로 확산되었으며 (Lee et al., 2005), 기주 범위가 넓어 참외, 오이, 토마토, 고추, 딸기 등의 채소 작물과 거베라, 국화, 장미 등과 같은 화

훼류 등 900여가지 이상의 작물에 직접적인 흡즙에 의한 피해와 더불어 100여종의 바이러스를 매개하고 특히 시설재배 작물에 심각한 피해를 주는 해충으로 알려져 있다 (Lee et al., 2000, Perring, 2001; Helmi, 2011).

담배가루이 방제를 위하여 다양한 화학 살충제가 개발되어 사용되고 있다. 그러나 담배가루이는 발육기간이 짧고 시설 내에서는 연중 발생하여 약제에 대한 저항성이 빨리 발달한다고 알려져 있으며 (Devine and Denholm, 1998), 다양한 살충제에서 저항성이 보고되어 방제에 어려움이 있다 (Mota-Sanchez and wise, 2020). 또한 2019년부터 국내외 농산물의 안전을 확보하기 위해 농약 허용기준강화제도

*Corresponding authors

E-mail: insectpark1@daum.net (C. G. Park)

E-mail: byungholee@hotmail.com (B. H. Lee)

(Positive list system)가 도입되어 안전한 농약 사용과 수확 후 농산물에 대한 잔류기준을 강화해 오고 있다. 따라서 농약의 안전 사용과 더불어 기존 살충제를 대체할 수 있는 잔류독성이 낮고 약제저항성 문제도 극복 가능한 새로운 방제 기법의 도입이 절실하다.

에틸포메이트(ethyl formate)는 밀폐된 공간내 가스 상태로 처리하여 흡입한 해충의 살충을 유도하는 식물검역용 훈증제로 국내로 수입되는 곡류, 과일, 채소류 등에 묻어오는 검역해충을 소독하기 위해 개발되어 사용되고 있다(Lee et al., 2016). 현재 오존층 파괴 물질로 지정되어 있어 사용을 금지하고 있는 기존의 검역 훈증제 메틸브로마이드(Methyl bromide)를 대체하는 물질(Lee et al., 2007)로서 각광받고 있으며, 미국 식품의약국(FDA)에서 일반적으로 안전한 물질(GRAS)로 지정되어 있어 있으며, 식품 첨가물로도 등재되어 있을 뿐만 아니라(Jamison et al., 2014) 쉽게 공기 중에 휘산 되어 작물 잔류에 걱정이 없는 약제이다(Haritos et al., 2003). 그러나 이러한 이점에도 불구하고 에틸포메이트는 어린 잎에 약해의 우려가 있을 수 있는 양면의 물질이기도 하다(Kyung et al., 2019).

본 연구에서는 검역용으로 사용되고 있는 에틸포메이트를 반밀폐 조건인 시설하우스에서 적용하여 시설내 해충들의 방제에 활용할 수 있는 방안을 찾고자 하였으며 담배가루이와 수종 작물(참외, 오이, 토마토, 고추)을 대상으로 온도와 습도를 달리한 처리조건에서 약해 발생 수준을 평가해 보고자 하였다.

재료 및 방법

실험 곤충 및 훈증제

담배가루이는 국립농업과학원에서 수년간 살충제에 노출된 적이 없는 계통으로 사육조건은 온도 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $60 \pm 10\%$, 16:8 h (L:D) 광 주기 환경으로 담배 (*Nicotina tabacum*) 유묘에서 누대사육한 성충을 사용하였다.

훈증 원료인 에틸포메이트(액상, 99%)는 ㈜세이프콤(형성, 한국)에서 구매하여 사용하였다.

에틸포메이트 처리 농도 결정

담배 유묘로부터 담배가루이 성충 90마리를 분리하여 망이 구비된 뚜껑이 있는 페트리디쉬($\phi 5.5 \times 1.0 \text{ cm}^2$)에 담배 잎($\phi 3 \text{ cm}$)과 함께 접종하고, 각 데시케이터(6.8 L)에 넣고 그리스(grease)로 완전 밀폐시켰다. 훈증은 온도 조건 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 에서 에틸포메이트 농도 1.5 g/m^3 과 2.0 g/m^3 으로 각각 4, 2시간씩 처리하였고 처리 시간별 데시케이터 내부의 에틸포메이트 농도를 측정하였다. 훈증이 끝나고 데시케이터는 휴프트로 옮겨 1시간 동안 배기를 시켜준 후 페트리디쉬는 다시 사육실로 옮겨 훈증 처리 1일 후 사충률을 조사하였

다(Kwon et al., 2019). 모든 실험은 5반복으로 실시하였다.

훈증 약해 시험

포트에서 파종 후 5-6주된 박과(Cucurbitaceae) 오이, 참외와 가지과(Solanaceae) 토마토, 고추 4종 작물의 유묘를 가지고 훈증 챔버(0.275 m^3) 내에서 약해를 관찰하였다. 훈증처리하는 온도 조절이 가능한 컨테이너(10 ft^2)에서 온도조건은 10, 20, 30°C 를 부여하였으며, 습도조건은 70% (저습), 99% (고습) 2가지를 부여하였고, 저습조건은 훈증 챔버 내에 실리카겔(약 1 kg)을 넣어주었고, 고습조건은 훈증 챔버 내에 물(1 L)을 넣었다. 훈증제 처리 약량은 4시간 처리시 1.5 g/m^3 을, 2시간 처리시 2.0 g/m^3 을 공급하였고, 시간대별로 훈증 챔버 내부의 에틸포메이트 농도를 측정하였다. 훈증 처리 후 훈증 챔버는 실외로 옮겨 1시간 동안 배기를 시켜주고, 사육실에서 7일 후 약해를 조사하였다. 약해 평가를 위하여 작물의 신초에 대하여 엽록소 측정기(SPAD-502 Plus, Spectrum Technologies Inc., Bridgend, UK)를 이용하여 엽록소 함량과 색도계(TEC 135A, Electrical & Electronic Corp., Taipei, Taiwan)를 이용하여 색도를 측정하였고, 육안으로 약해 지수를 관찰하였다. 이 때 약해 지수는 5단계로 (0: 약해 없음, 1: 아주 가벼운 약해로서 작은 약반이 약간 인정됨, 2: 처리된 잎의 적은 부분이 약해가 인정됨, 3: 처리된 잎의 50% 정도 약해가 인정됨, 4: 상당한 피해를 받고 있으나 아직 건전한 부분이 남아있음, 5: 심한 약해를 받고 고사 상태임) 구분하였다. 모든 실험은 3반복으로 실시하였다(Kim et al., 2016).

에틸포메이트 농도 분석

훈증 처리시간에 따른 데시케이터 또는 훈증 챔버 내부의 에틸포메이트 농도 분석은 Ren et al. (2011)에 따라 가스 크로마토그래피로 측정하고 분석하였다. 가스 크로마토그래피는 GC-FID (GC 17A, Shimadzu, Kyoto, Japan)와 DB5-MS column ($30 \text{ m} \times 0.25 \text{ mm i.d.}$, $0.25 \mu\text{m}$ film thickness; J&W Scientific, Folsom CA)을 사용하였고 GC의 오븐 온도는 100°C , 주입구 온도는 250°C , 검출기 온도는 280°C 조건에서 헬륨을 캐리어 가스로 하여 1.5 mL/min flow rate 조건에서 측정을 하였다. 에틸포메이트 농도는 표준 농도(99%)를 이용한 회귀식으로 도출하고 농도시간(CT, Concentration \times time) 값을 산출하였다.

통계 분석

훈증제의 담배가루이에 대한 훈증처리 시간 별 무처리구와 처리구에 대한 살충을 비교와 4종의 작물에 대한 약해평가로 엽록소 함량, 색도, 약해지수는 이원분산분석(Two-way ANOVA)을 통한 LSD로 유의성을 확인하였다. 통계분석은 모두 SAS 프로그램(ver. 9.4; SAS Institute Inc., 1998)

을 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

에틸포메이트 처리 농도 결정

기본적으로 높은 온도에서 약제를 처리할 경우 작물에 대한 약해의 우려가 있으며, 수확 등과 같은 작업이 끝난 후 야간에 훈증처리를 하기 위해서 20°C에서 담배가루이의 훈증 약효 평가를 하였다. 그 결과 담배가루이 성충에 대한 에틸포메이트 4시간 훈증결과 CT값은 평균 2.3 g h/m³이었고 2시간 훈증 한 결과 평균 CT값은 1.8 g h/m³이었다. 이 때 각각의 처리에서 담배가루이에 대한 사충률은 100%였으며, 무처리구의 살충율은 1.3%로 유의한 차이가 있었다($F_{(2,5)}=68989, P<0.001$, Table 1). 따라서 훈증처리에 의한 약해 조사를 위해 실제 훈증 챔버에 처리할 때는 4시간과 2시간에 각각 1.5 g/m³ (CT값 1.7~1.9)과 2.0 g/m³ (CT값 2.1~2.4)으

로 처리하는 것이 바람직하였다. 4시간 훈증 처리했을 때보다 2시간 훈증 처리했을 때 담배가루이의 에틸포메이트에 대한 약제 감수성이 높았다. 이는 처리시간의 유기적 조절이 가능하여 필요에 따라서 4시간에서 2시간으로 처리시간을 단축시킬 수 있음을 알 수 있다. 훈증 처리 시간의 단축은 훈증제에 의한 약해 발생 가능성을 낮추고 작업자의 편의를 제공할 수 있게 한다.

채소류 작물들에 대한 에틸포메이트의 약해 평가

농약에 의한 작물의 약해(phytotoxicity)는 처리된 약제에 의해서 작물에 생리 상태의 이상으로 나타나며, 작물의 생육상태, 기후환경 및 토양조건, 약제처리 방법 등 다양한 원인으로 발생할 수 있다(Shama et al., 2016). 온도에 따른 약해는 작물에 따라 다르지만, 하우스 재배와 같이 고온 다습 조건에서는 작물이 연약하고 처리 약액의 건조도 지연되어 약해 발생이 일반적으로 쉬우며 또한 다습조건에서의 작물은 큐

Table 1. Efficacy of ethyl formate fumigation against *B. tabaci* scheduled three different exposure times at 20 ± 1°C

Fumigation time (h)	EF concentration (g/m ³)	EF CTP (g h/m ³ , Mean ± SE)	Total No.	Death No.	Mortality (%; Mean ± SE)
0	0.0	0.0 ± 0.0	450	7	1.3 ± 0.4 b
4	1.5	2.3 ± 0.1	450	450	100.0 ± 0.0 a
2	2.0	1.8 ± 0.0	450	450	100.0 ± 0.0 a

Table 2. Phytotoxicity damage on yellow melon with ethyl formate by different exposure times, temperature and humidity

Temperature (°C)	Humidity (%)	Fumigation time (h)/CTP (g h/m ³)	Chlorophyll content (Mean ± SE)	Hue value ^{a)} (Mean ± SE)	Damage index ^{b)} (Mean ± SE)
10	70	0 / 0.0	28.1 ± 0.5 a	95.4 ± 0.4 bc	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	27.6 ± 0.6 a	96.7 ± 1.0 abc	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	27.1 ± 0.3 a	95.3 ± 0.6 bc	0.0 ± 0.0
	99	0 / 0.0	27.7 ± 0.3 a	97.0 ± 0.7 abc	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	27.4 ± 0.4 a	96.9 ± 0.2 abc	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	27.0 ± 0.4 a	96.2 ± 0.3 abc	0.0 ± 0.0
20	70	0 / 0.0	28.0 ± 0.8 a	96.6 ± 0.7 abc	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	27.4 ± 0.4 a	96.3 ± 1.3 abc	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	27.8 ± 1.2 a	96.0 ± 0.4 abc	0.0 ± 0.0
	99	0 / 0.0	27.5 ± 0.2 a	97.2 ± 0.3 ab	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	27.2 ± 1.2 a	95.7 ± 0.9 ab	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	27.4 ± 0.5 a	96.3 ± 0.8 abc	0.0 ± 0.0
30	70	0 / 0.0	27.3 ± 0.5 a	96.6 ± 0.3 abc	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	27.0 ± 0.2 a	95.2 ± 0.6 bc	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	27.2 ± 0.6 a	96.9 ± 0.5 abc	0.0 ± 0.0
	99	0 / 0.0	27.6 ± 0.4 a	97.4 ± 0.3 ab	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	26.8 ± 0.9 a	96.8 ± 0.9 abc	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	27.3 ± 0.5 a	96.6 ± 0.2 abc	0.0 ± 0.0

^{a)} [Color L*2 + Color a*2 + Color b*2]^{1/2}

^{b)} Damage index: 0 (no leaf damage), 1 (<5% leaves affected), 2 (5-25% leaves affected), 3 (25-50% leaves affected), 4 (50-70% leaves affected), 5 (>70% leaves affected or dead)

Table 3. Phytotoxicity damage on cucumber with ethyl formate by different exposure times, temperature and humidity

Temperature (°C)	Humidity (%)	Fumigation time (h)/CTP (g h/m ³)	Chlorophyll content (Mean ± SE)	Hue value ^{a)} (Mean ± SE)	Damage index ^{b)} (Mean ± SE)
10	70	0 / 0.0	33.7 ± 0.3 a	77.1 ± 0.1 a	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	33.4 ± 0.4 a	77.5 ± 1.0 a	0.0 ± 0.0
	99	2 / 1.7	32.8 ± 0.8 a	77.5 ± 1.5 a	0.0 ± 0.0
		0 / 0.0	33.2 ± 0.6 a	77.3 ± 0.3 a	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	32.1 ± 1.5 a	78.0 ± 1.8 a	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	32.6 ± 0.3 a	77.0 ± 0.7 a	0.0 ± 0.0
20	70	0 / 0.0	32.0 ± 1.1 a	78.4 ± 0.3 a	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	32.8 ± 1.0 a	77.7 ± 0.2 a	0.0 ± 0.0
	99	2 / 1.7	32.7 ± 0.8 a	77.7 ± 0.5 a	0.0 ± 0.0
		0 / 0.0	33.6 ± 0.3 a	78.1 ± 0.3 a	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	33.0 ± 0.3 a	78.3 ± 0.8 a	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	33.4 ± 0.8 a	77.3 ± 1.2 a	0.0 ± 0.0
30	70	0 / 0.0	33.7 ± 0.3 a	78.4 ± 0.4 a	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	33.1 ± 0.3 a	77.5 ± 0.9 a	0.0 ± 0.0
	99	2 / 1.7	33.0 ± 0.4 a	77.6 ± 1.4 a	0.0 ± 0.0
		0 / 0.0	33.6 ± 0.4 a	77.7 ± 0.3 a	0.0 ± 0.0
		4 / 2.1	32.9 ± 0.5 a	76.6 ± 0.6 a	0.0 ± 0.0
		2 / 1.7	32.1 ± 0.8 a	77.2 ± 1.9 a	0.0 ± 0.0

^{a)} [Color L*2 + Color a*2 + Color b*2]^{1/2}

^{b)} Damage index: 0 (no leaf damage), 1 (<5% leaves affected), 2 (5-25% leaves affected), 3 (25-50% leaves affected), 4 (50-70% leaves affected), 5 (>70% leaves affected or dead)

티클이 얇고 기공의 크기와 수가 증가하여 조직 내로 약제가 침투되기 쉬어 약해가 쉽게 발생될 수 있다(Hammerton, 1967). 따라서 온도와 습도는 약해발생과 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 실험 결과 박과 작물인 참외와 오이를 각각 10, 20, 30°C에서 습도 70, 99% 조건으로 4, 2시간 훈증 처리했을 때 각각 신초의 엽록소 함량(참외, $F_{(17,53)}=0.32$, $P<0.9923$; 오이, $F_{(17,53)}=0.53$, $P<0.9175$)과 색도(참외, $F_{(17,53)}=0.43$, $P<1.06$; 오이, $F_{(17,53)}=0.28$, $P<0.9969$)의 유의적인 차이는 관찰되지 않았으며, 약해 지수 또한 0으로 약해 증상이 없었다(Table 2, 3). 그러나 가지과 작물 토마토의 경우 4시간 훈증 처리했을 때 10, 20, 30°C에서 습도와 상관없이 약해 증상이 확인되었으나, 2시간 훈증 처리했을 때는 고습 조건에서 약해 지수 1 이상의 약해 증상을 확인하였고 무처리구와 유의한 차이가 있었다($F_{(17,53)}=Infity$, $P<0.0001$). 그러나 모든 온도와 습도 조건에서 신초의 엽록소 함량($F_{(17,53)}=0.90$, $P<0.5751$)과 색도($F_{(17,53)}=0.72$, $P<0.7593$)의 차이는 없었다(Table 4). 고추의 경우 4시간 훈증 처리했을 때 10°C에서는 약해 증상이 없었지만 20, 30°C에서 고습일 때 약해 지수 1 이상의 약해 증상이 확인되었다. 2시간 훈증 처리했을 때 10, 20°C에서는 약해 증상이 없었지만 30°C 고습조건에서 약해 증상이 확인되었으며 무처리구와 비교하였을 때 유의한 차이가 있었다($F_{(17,53)}=Infity$, $P<0.0001$). 또한 토마토

와 마찬가지로 신초의 엽록소 함량($F_{(17,53)}=0.46$, $P<0.9640$)과 색도($F_{(17,53)}=0.88$, $P<0.5989$)는 차이가 없었다(Table 5). 결론적으로 담배가루이 LCT₉₀수준 훈증처리시 4종의 작물에 대한 에틸포메이트 약해는 박과류 작물(참외, 오이)은 온도와 습도, 처리시간에 크게 영향을 받지 않고 약해를 보이지 않았으며 가지과 작물(토마토, 고추)은 온도와 습도가 높고, 처리시간이 길 때 약해 증상을 보였다. 따라서 에틸포메이트를 이용한 시설내 채소류에 발생하는 병해충을 방제하는데 있어서 가지과 작물보다는 박과 작물이 약해 발생 수준이 낮아 적용에 유리할 것으로 생각된다.

본 연구는 시설 해충에 대한 액상 훈증제의 적용 가능성을 확인하기 위하여 실내 실험을 통하여 그 약효 및 약해를 살펴본 것으로 세계 최초의 시도라고 할 수 있다. 훈증제는 가스형태로 처리되기 때문에 밀식 된 작물들 사이의 좁은 미세공간에 숨어 있는 가루이류, 총채벌레류, 진딧물류 등 미소해충의 방제에 있어서 살충제 분무에 비하여 그 방제효율을 높일 수 있으며, 훈증 처리 시스템이 도입된다면 스마트 시설재배지에 적용이 용이하고 방제에 소요되는 시간과 비용을 줄일 수 있을 것이다. 검역용으로 사용되는 훈증제인 에틸포메이트는 잔류문제에 있어서 비교적 안전한 물질로 평가되고 있다. 이러한 에틸포메이트가 실제 살아있는 작물에 적용했을 때에는 작물에 약해 없이 해충을 방제할

Table 4. Phytotoxicity damage on tomato with ethyl formate by different exposure times, temperature and humidity

Temperature (°C)	Humidity (%)	Fumigation time (h)/CTP (g h/m ³)	Chlorophyll content (Mean ± SE)	Hue value ^{a)} (Mean ± SE)	Damage index ^{b)} (Mean ± SE)
10	70	0 / 0.0	43.9 ± 0.1 a	95.5 ± 0.2 ab	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	43.1 ± 0.5 a	95.2 ± 0.5 ab	1.0 ± 0.0 b
		2 / 1.7	43.6 ± 0.6 a	94.2 ± 1.2 b	0.0 ± 0.0 c
	99	0 / 0.0	43.2 ± 0.2 a	95.1 ± 0.1 ab	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	42.8 ± 0.2 a	94.3 ± 0.5 b	2.0 ± 0.0 a
		2 / 1.7	43.6 ± 0.5 a	94.8 ± 0.7 ab	1.0 ± 0.0 b
20	70	0 / 0.0	43.6 ± 0.3 a	96.0 ± 0.4 ab	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	42.9 ± 0.8 a	95.0 ± 1.2 ab	1.0 ± 0.0 b
		2 / 1.7	42.3 ± 0.4 a	95.4 ± 1.5 ab	0.0 ± 0.0 c
	99	0 / 0.0	43.4 ± 0.3 a	96.2 ± 0.3 ab	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	42.1 ± 1.0 a	95.9 ± 0.8 ab	2.0 ± 0.0 a
		2 / 1.7	42.6 ± 0.7 a	94.6 ± 0.7 ab	1.0 ± 0.0 b
30	70	0 / 0.0	43.9 ± 0.2 a	96.7 ± 0.2 a	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	42.8 ± 1.2 a	95.5 ± 0.4 ab	2.0 ± 0.0 a
		2 / 1.7	42.2 ± 0.7 a	94.6 ± 1.0 ab	0.0 ± 0.0 c
	99	0 / 0.0	43.4 ± 0.3 a	96.3 ± 0.6 ab	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	42.3 ± 1.1 a	95.1 ± 1.0 ab	2.0 ± 0.0 a
		2 / 1.7	42.2 ± 0.7 a	95.0 ± 1.4 ab	1.0 ± 0.0 b

^{a)} [Color L*2 + Color a*2 + Color b*2]1/2^{b)} Damage index: 0 (no leaf damage), 1 (<5% leaves affected), 2 (5-25% leaves affected), 3 (25-50% leaves affected), 4 (50-70% leaves affected), 5 (>70% leaves affected or dead)**Table 5.** Phytotoxicity damage on pepper with ethyl formate by different exposure times, temperature and humidity

Temperature (°C)	Humidity (%)	Fumigation time (h)/CTP (g h/m ³)	Chlorophyll content (Mean ± SE)	Hue value ^{a)} (Mean ± SE)	Damage index ^{b)} (Mean ± SE)
10	70	0 / 0.0	57.0 ± 0.2 a	85.6 ± 0.2 ab	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	56.4 ± 0.9 a	84.2 ± 0.8 b	0.0 ± 0.0 c
		2 / 1.7	56.8 ± 0.6 a	84.8 ± 0.2 ab	0.0 ± 0.0 c
	99	0 / 0.0	57.9 ± 0.4 a	86.1 ± 0.2 a	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	57.8 ± 0.4 a	85.5 ± 0.7 ab	0.0 ± 0.0 c
		2 / 1.7	57.0 ± 1.2 a	85.9 ± 0.6 ab	0.0 ± 0.0 c
20	70	0 / 0.0	57.7 ± 0.2 a	86.2 ± 0.2 a	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	57.9 ± 0.3 a	85.2 ± 0.9 ab	0.0 ± 0.0 c
		2 / 1.7	57.8 ± 0.6 a	85.6 ± 0.4 ab	0.0 ± 0.0 c
	99	0 / 0.0	57.9 ± 0.5 a	85.3 ± 0.4 ab	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	57.5 ± 0.4 a	84.8 ± 0.7 ab	2.0 ± 0.0 a
		2 / 1.7	57.8 ± 1.0 a	85.4 ± 0.4 ab	0.0 ± 0.0 c
30	70	0 / 0.0	58.1 ± 0.3 a	86.2 ± 0.3 a	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	57.6 ± 1.3 a	85.7 ± 0.5 ab	0.0 ± 0.0 c
		2 / 1.7	57.4 ± 0.9 a	84.9 ± 1.4 ab	0.0 ± 0.0 c
	99	0 / 0.0	57.7 ± 0.2 a	86.2 ± 0.3 a	0.0 ± 0.0 c
		4 / 2.1	56.6 ± 0.8 a	86.0 ± 0.7 a	2.0 ± 0.0 c
		2 / 1.7	57.3 ± 0.2 a	85.4 ± 0.4 ab	1.0 ± 0.0 b

^{a)} [Color L*2 + Color a*2 + Color b*2]1/2^{b)} Damage index: 0 (no leaf damage), 1 (<5% leaves affected), 2 (5-25% leaves affected), 3 (25-50% leaves affected), 4 (50-70% leaves affected), 5 (>70% leaves affected or dead)

수 있다는 사실을 알 수 있었다. 본 연구결과를 바탕으로 실제 작물이 심겨져 있는 시설 내에 적용해서 유효한지 평가할 필요가 있으며, 시설 여건, 재배 환경 등 다양한 요소들이 고려되어야 할 것이다. 한편, 에틸포메이트 처리가 특정 환경 조건에서는 약해가 발생할 수 있다는 사실도 알 수 있었다. 방제효과는 우수하면서도 약해를 극복하지 못해 빛을 보지 못한 약제들이 많다는 사실을 볼 때 에틸포메이트의 약제발생 문제는 반드시 극복되어야 할 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ013356)의 연구지원에 의해 수행되었다.

Author Information and Contributions

Chunggyoo Park, Institute of life science, Gyeongsang university, Professor, <http://orcid.org/>

Byungho Lee, Institute of life science, Gyeongsang university, Research professor, <http://orcid.org/0000-0003-4180-8076>

Inhong Jeong, Crop protection division, National of agriculture science, Doctor of Philosophy, <http://orcid.org/0000-0002-4625-2268>

Gwanseok Lee, Crop protection division, National of agriculture science, Doctor of Philosophy, <http://orcid.org/0000-0003-3391-5701>

Boyoon Seo, Crop protection division, National of agriculture science, Doctor of Philosophy, <http://orcid.org/0000-0002-1451-9597>

Bueyong Park, Crop protection division, National of agriculture science, Doctor of Philosophy, <http://orcid.org/0000-0002-5740-2241>

Jumrae Cho, Crop protection division, National of agriculture science, Doctor of Philosophy, <http://orcid.org/0000-0002-1451-9597>

Taehyung Kwon, Institute of life science, Gyeongsang university, Ph.D. student, <http://orcid.org/0000-0002-8300-4028>

Dr. Inhong Jeong and Boyoon Seo reared *B. tabaci* grown on tobacco plants in laboratory.

Method of control against *B. tabaci* with ethyl formate fumigation in vinyl house was suggested by Prof. Chunggyoo Park and Dr. Byungho Lee.

Efficacy to *B. tabaci* and phytotoxicity to plants with ethyl formate fumigation was investigated by ABD.

Taehyung Kwon and Dr. Gwanseok Lee.

Correlation of phytotoxicity for plants after fumigation with ethyl formate according to temperature and humidity was analyzed by Dr. Inhong Jeong and Dr. Bueyong Park.

This paper was written by Dr. Inhong Jeong, ABD, Taehyung Kwon, Dr. Byungho Lee.

This project was managed by Prof. Chunggyoo Park and Dr. Jumrae Cho.

저자 이해상충관계

저자 모두는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

Literature Cited

- Devine GJ, Delholm I, 1998. An unconventional use of piperonyl butoxide of managing the cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae). Bull. Entomol. Res. 88(6):601-610.
- Hammerton JL, 1967. Environmental factors and susceptibility to herbicides. Weeds. 15(4):330-336.
- Haritos VS, Damcevski KA, Dojchinov G, 2003. Toxicological and regulatory information supporting the registration of vapormate as a grain fumigant for farm storages. Proceeding of the Australian Postharvest Technical Conference. 25-27. June. 2003, Canberra, Australia, pp. 193-198.
- Helmi A, 2011. Host-associated population variations of *Bemisia tabaci* (Genn) (Hemiptera: Sternorrhyncha: Aleyrodidae) characterized with random DNA markers. Int. J. Zool. Res. 7(1):77-84.
- Jamison LE, Griffin MJ, Page-Wari NEM, Chhagan A, Redpath SP, Connolly PG, et al., 2014. Developing ethyl formate treatment for disinfestation pipfruit. N. Z. Plant Prot. 67:96-102.
- Kim BS, Park CG, Moon YM, Sung BK, Ren, Y, et al., 2016. Quarantine treatments of imported nursery plants and exported cut flowers by phosphine gas (PH₃) as methyl bromide alternative. J. Econ. Entomol. 109(6):2334-2340. (In Korean)
- Kwon TH, Jeong IH, Lee BH, Park CG, 2019. A new disinfestation approach against some greenhouse pests using ethyl formate fumigation. Korea J. Appl. Entomol. 58(4):341-345. (In Korean)
- Kyung YJ, Kim HK, Cho SW, Kim BS, Yang Jo, et al., 2019. Comparison of the efficacy and phytotoxicity of phosphine and ethyl formate for controlling *Pseudococcus longispinus* (Hemiptera: Pseudococcidae) and *Pseudococcus orchidicola* on imported foliage nursery plants. J. Econ. Entomol. 112(5):2149-2156.
- Lee BH, Huh W, Ren Y, Mahon D, Choi WS, 2007. New

- formulation of Ethyl formate to control internal stages of *Sitophilus oryzae*. J. Asia-Pac. Entomol. 10(4):369-374.
- Lee BH, Kim HM, Kim BS, Yang JO, Moon YM, et al., 2016. Evaluation of the synergistic effect between ethyl formate and phosphine for control of *Aphis gossypii* (Homoptera: Aphididae). J. Econ. Entomol. 109(1):143-147.
- Lee MH, Kang SY, Lee SY, Lee HS, Choi JY, et al., 2005. Occurrence of the B- and Q- biotype of *Bemisia tabaci* in Korea. Korea J. Appl. Entomol. 44(3):169-175. (In Korean)
- Lee ML, Ahn SB, Cho WS, 2000. Morphological characteristics of *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Homoptera: Aleyrodidae) and discrimination of their biotypes in Korea by DNA makers. Korean J. Appl. Entomol. 39(1):5-12. (In Korean)
- Mota-Sanchez D, Wise, JC, 2020. The arthropod pesticide resistance database. Michigan State University. <http://www.pesticideresistance.org>.
- Perring, TM, 2001. The *Bemisia tabaci* species complex. Crop. Protect. 20(9):725-737.
- Ren YL, Lee BH, Padovan B, 2011. Penetration of methyl bromide, sulfuryl fluoride, ethanedinitrile and phosphine into timber blocks and the sorption rate of the fumigants. J. Stored. Prod. Res. 47(2):63-68.
- SAS Institute Inc. (1998) SAS user's guide, version 9.4, 6th edition. SAS Institute, Cary, NC.
- Sharma A, Kumar V, Singh R, Thukral AK, Bhardwaj R, 2016. Effect of seed pre-soaking with 24-epibrassinolide on growth and photosynthetic parameters of *Brassica juncea* L. in imidacloprid soil. Ecotoxicol Environ Safe. 133:195-201.

온도 및 습도 조건에 따른 훈증제 에틸포메이트의 채소류 작물에 대한 약해 연구

정인홍 · 이관석 · 박부용 · 서보윤 · 조점래 · 권태형¹ · 이병호^{1*} · 박정규^{1*}

국립농업과학원 농산물안전성부, 작물보호과, ¹국립경상대학교 응용생명과학부 (BK21+ Program)

요 약 담배가루이는 원예 식물, 채소 및 과일 등 작물에 심각한 피해를 주는 해충으로 알려져 있다. 특히 담배가루이는 시설 재배지에서 살충제 저항성으로 인해 방제가 힘들다. 뿐만 아니라 농약의 잔류로 인해 화학 살충제 사용의 제한이 있기 때문에 이를 대체하고 보완할 수 있는 방제 방법이 필요하다. 훈증제 에틸포메이트는 살충 효과가 빠르고 환경에 무해하며 특히 인축 독성이 낮아 검역 해충을 소독하기 위해 사용되어지고 있다. 이러한 에틸포메이트를 이용하여 시설 재배지 작물 중 담배가루이의 피해가 심한 참외, 오이, 토마토, 고추를 대상으로 온도와 습도 조건에 따른 훈증 처리를 통해 약해 평가를 하였다. 21°C에서 에틸포메이트 1.5 g/m³ 4시간 훈증처리 했을 때와 2.0 g/m³로 2시간 훈증처리 했을 때 담배가루이는 완전 방제가 되었으며 이와 같은 농도로 온도와 습도 조건을 다르게 하여 4종의 작물을 0.275 m³ 훈증 챔버에서 훈증 처리하여 약해 증상을 조사하였다. 그 결과 고추와 토마토가 온도와 상관없이 높은 습도 조건에서 신초가 타는 듯한 증상의 약해 피해가 있었고 참외와 오이는 온도와 습도 조건 상관없이 약해 증상이 나타나지 않았다. 따라서 에틸포메이트 훈증처리는 시설 재배지에서의 참외와 오이에 담배가루이를 방제를 위한 안전하고 효과 있는 새로운 방식의 방제법이 될 것이다. 그러나 해충의 발육단계별, 작물의 생육시기별 에틸포메이트에 대한 감수성과 약해 반응 평가에 대한 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

색인어 고추, 담배가루이, 에틸포메이트, 오이, 참외, 토마토