



## 과채류에 발생하는 2종의 가루이류에 대한 농자재 약효 평가

권덕호<sup>†</sup> · 전윤석 · 권민정 · 유기렬 · 박준현<sup>1</sup> · 임재성<sup>2</sup> · 양은영 · 안윤균

한국농수산대학교 원예학부, <sup>1</sup>전북대학교 식물방역대학원, <sup>2</sup>(주)셀큐라티오 기업부설연구소

### Insecticidal Efficacy Evaluation Against Agricultural Materials in two Whitefly Species Collected at fruit Vegetables

Deok Ho Kwon<sup>†</sup>, Yoon Seok Jeon, Min Jeong Kwon, Gi Yeol Yoo, Joon Hyeon Park<sup>1</sup>, Jae Seong Im<sup>2</sup>, Eunyoung Yang, Yul Gyun Ahn

Department of Horticulture, Korea National University of Agriculture and Fisheries, 1515 Kongjwipatjiwi-ro, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, Republic of Korea

<sup>1</sup>Department of Plant Protection & Quarantine, Jeonbuk National University, 567 Baekje-daero, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, Republic of Korea

<sup>2</sup>R&D center, Cellcuratio Co., Ltd., Innobiz park, 1646 Yuseongdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

(Received Mar 22, 2024. Revised Apr 10, 2024. Accepted Apr 17, 2024)

**Abstract** This study was conducted to examine the efficacy of 38 agricultural materials (33 organic insecticides and five mineral ingredient products) against two whitefly species (three *Bemisia tabaci* and two *Trialeurodes vaporariorum* strains) using the leaf dipping method. A comparison of the weight mean mortality (WMM) among whitefly species was performed, and the its efficacies were visualized using clustering and heatmap analysis. According to the results, the lowest WMM was detected in the BT003 *B. tabaci* strain and the highest was detected in the BT002 *B. tabaci* strain. The results of clustering analysis showed that O\_Test\_01, O\_Test\_34, O\_Test\_36, and O\_Test\_37 were the most effective agricultural materials. The WMM responses against the tested whitefly varied according to the tested agricultural materials, suggesting that the insecticidal efficacy to agricultural materials may vary depending on the agrochemical exposure background of the strain. In particular, the BT003 strain showed low efficacy to most organic insecticides, indicating the possibility of resistance development against organic agrochemical materials. These results might be helpful in development of strategies for prevention and control of whitefly species using organic pesticides, and for the cooperative use of synthetic chemical pesticides.

**Key words:** Agricultural materials, *Bemisia tabaci*, *Trialeurodes vaporariorum*, Insecticidal efficacy, Whitefly,

## 서론

국내 농경지내 발생이 보고된 가루이로는 담배가루이, 온실가루이, 석류가루이가 있으며 이들 해충은 주로 파프리카, 토마토, 오이, 가지, 배나무 등의 과채류 작물에 심각한 피해를 주고 있다. 이 중 담배가루이와 온실가루이는 각각 1998년(Kim et al., 2000)과 1977년(Choe and Park, 1983)에 보고된 대표적인 외래해충으로써, 흡즙으로 인한 직접적 피해 뿐만 아니라 토마토황화잎말림바이러스 등을 포함한 다양한

식물병원성 바이러스 매개(Jones, 2003), 감로로 인한 잎과 과실의 그을음병 유발로 광합성 효율 감소 및 과실 상품성 저하를 발생시킨다.

국내 담배가루이와 온실가루이의 방제는 주로 화학합성살충제에 의존하고 있으며 이들 살충제는 2024년 기준으로 약 20여종의 작물, 56종의 유효성분, 252개 제품이 등록되어 있다(RDA, 2024). 가루이류에 대한 살충제 약효의 감소는 농업 현장 뿐만 아니라 학계의 약제 스크리닝 연구결과들을 통해 보고되고 있다. 1999년 진천에서 채집한 담배가루이는 카바메이트계와 피레스로이드계 일부 살충제에서 약효 감소가 관찰되었으며(Kim et al., 2000),

\*Corresponding author  
dhkwon1315@gmail.com

**Table 1** Information on the strains of two whitefly species used in the study

| Species                          | Strains | Collection date | Collection site           | Host plant  | Host plant for proliferation |
|----------------------------------|---------|-----------------|---------------------------|-------------|------------------------------|
| <i>Bemisia tabaci</i>            | BT001   | Jul. 05. 2021   | Jeongeup-si, Jeollabuk-do | Paprika     | <i>Nicotiana tabacum</i> L.  |
|                                  | BT002   | Aug. 26. 2021   | Gochang-gun, Jeollabuk-do | Water melon | "                            |
|                                  | BT003   | Jun. 10. 2021   | Jeonju-si, Jeollabuk-do   | Tomato      | "                            |
| <i>Trialeurodes vaporariorum</i> | TV001   | Jun. 07. 2021   | Jeonju-si, Jeollabuk-do   | Tomato      | "                            |
|                                  | TV002   | Aug. 26. 2021   | Jeongeup-si, Jeollabuk-do | Cucumber    | "                            |

2001년과 2004년에 채집한 온실가루이 지역 계통에 대한 살충제 스크리닝 결과에서는 카바메이트계와 피레스로이드계 약제에 대해 약효 감소가 확인되었다(Choi et al., 2005). 2020년 7개 도, 12개 지역에서 채집한 담배가루이 지역 계통을 대상으로 유기인계와 피레스로이드계 약제 저항성 관련 돌연변이(F392W, L925I/T929V)의 형질빈도를 조사한 결과, 국내 담배가루이는 이들 살충제에 대한 저항성 돌연변이 형질빈도가 포화상태 임이 확인되었다(Kim et al., 2021).

2001년 친환경농업육성법(현, 친환경농업 육성 및 유기식품 등의 관리·지원에 대한 법률)이 제정된 이후로 유기농업자재를 활용한 병해충 관리가 활발하게 이뤄지고 있다. 이중 충해관리용 유기농업자재로 공시된 제품은 약 300여종으로, 이들 제품은 식물추출물, 미생물, 미생물대사산물, 광물추출물, 광물, 천적, 페로몬, 유인제 등을 주성분으로 하고 있다(Kwon et al., 2021). 무농약 토마토 재배지에서 채집한 온실가루이를 대상으로 유기농업자재 10종에 대한 약효 스크리닝 결과, 곤충병원성 곰팡이인 *Beauveria bassiana*와 멀구슬나무·고삼추출 혼합물로 구성된 유기농업자재에서 높은 살충력이 확인된 바 있으며(Kim et al., 2012), 유기농 가지 재배지 내 담배가루이 성충과 약충 방제를 위한 님·은행잎·제충국·고삼추출물 성분의 유기농업자재 효과시험에서는 님 추출물 성분의 유기농업자재 효과가 높음이 확인되었다(Kim et al., 2013). 토마토 재배지에서 올레산 2,000 ppm을 3회 처리하였을 때 가루이의 방제가가 82%로 나타났으며, 님 오일 1,500 ppm을 처리하였을 때는 75%의 방제가가 나타나 영농 현장에서의 화학합성살충제 대체가 가능하다 보고된 바 있다(Lee et al., 2013).

본 논문은 해충 방제용으로 공시된 충해관리용 유기농업자재 33종과 해충 방제용은 아니나 농가에서 해충방제용으로 사용 중인 복합비료성분 5종을 대상으로 담배가루이 3계통과 온실가루이 2계통에 대해 엽침지법을

토대로 약효를 평가하였으며, 이들 농자재의 가루이류에 대한 전반적인 약효를 평가하여 활용 범위를 확인하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 가루이류 종동정, 계통 및 증식

실험 대상 가루이류는 담배가루이 3개 계통과 온실가루이 2개 계통으로써 파프리카, 수박, 토마토, 오이 등의 과채류에서 채집하였다(Table 1). 채집된 가루이류는 DNA 추출 후 프라이머(LCO1490: 5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3'; HCO2198: 5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3) (Vrijenhoek, 1994)를 이용하여 증폭하였으며 염기서열의 Blast 분석을 통해 최종적으로 종동정을 확정하였다(Supplementary table 1). 채집된 가루이류의 대량증식을 위한 기주 식물은 종자 발아가 30일이 지난 담배를 사용하였으며 가루이류 사육은 온도  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ , 상대습도 60-70%의 환경조건으로 종 및 각 종의 계통 간 교차오염을 방지하고자 아크릴케이지(400 x 450 x 500 mm) 내에서 수행하였다.

### 실험 유기농업자재 선정

본 실험에 사용한 시험 대상 유기농업자재는 점박이응애(Kwon et al., 2022)와 목화진딧물(Kim et al., 2023)에 적용된 충해관리용 유기농업자재 및 농가에서 해충방제용으로 오용하고 있는 비료성분의 농자재를 선별하였다(Table 2).

### 신규 엽침지법을 이용한 생물활성 평가

가루이류의 생물활성 평가는 가루이류의 행동학적 특성을 고려하여 PET 재질의 3온스 소형 플라스틱 컵(지름 62 mm, 무타공평리드, (주)대성산업, 경기)을 활용한 엽침지법

**Table. 2** Group classification by major component in the agricultural materials in this study

| Names <sup>a)</sup> | Classification level 1 | Classification at level 2 | Major components and its amount                                    | Dilution factor | Remark <sup>b)</sup> |
|---------------------|------------------------|---------------------------|--|-----------------|----------------------|
| Test_00             | Water                  | Water                     | Water as control   | -               | -                    |
| Test_01             | ME                     | ME_01                     | Paraffin oil (98%), Detergent (2%)                                 | 1,000           | S                    |
| Test_02             | MO                     | MO_01                     | Microorganism ( <i>Bacillus thuringiensis</i> )                    | 1,000           | S                    |
| Test_03             | MO                     | MO_02                     | Microorganism ( <i>Isaria javanica</i> )                           | 500             | S                    |
| Test_04             | PSM                    | PSM_01                    | $\alpha$ -cedrene  | 500             | S                    |
| Test_05             | PSM                    | PSM_01                    | Eucalyptus oil   | 1,000           | S                    |
| Test_06             | PSM                    | PSM_02                    | Azadirachtin   | 500             | S                    |
| Test_07             | PSM                    | PSM_02                    | Matrine (60%)  | 660             | S                    |
| Test_08             | PSM                    | PSM_02                    | Matrine  | 1,000           | S                    |
| Test_09             | PSM                    | PSM_02                    | Matrine  | 2,000           | S                    |
| Test_10             | PSM                    | PSM_02                    | Matrine  | 1,000           | S                    |
| Test_11             | PSM                    | PSM_02                    | Matrine  | 1,000           | S                    |
| Test_12             | PSM                    | PSM_02                    | Matrine (0.0474%)  | 1,000           | S                    |
| Test_13             | PSM                    | PSM_03                    | Potassium soap   | 100             | S                    |
| Test_14             | PSM                    | PSM_03                    | Oleic acid   | 1,000           | S                    |
| Test_15             | PSM                    | PSM_03                    | Castor oil (45%), Sesame oil (47%)                                 | 1,000           | S                    |
| Test_16             | PSM                    | PSM_03                    | Oleic acid, Linoleic acid, Linolenic acid                          | 500             | S                    |
| Test_17             | PSM                    | PSM_04                    | Cinnamaldehyde (7.0%)  | 1,000           | S                    |
| Test_18             | PSM                    | PSM_04                    | Camphor (above 2.39%)  | 1,000           | S                    |
| Test_19             | PSM                    | PSM_04                    | Rotenone   | 1,000           | S                    |
| Test_20             | PSM                    | PSM_04                    | Derris extract (90%), Detergent (10%)                              | 1,000           | S                    |
| Test_21             | PSM                    | PSM_05                    | Quillaia extract (33%)   | 2,000           | S                    |
| Test_22             | PSM                    | PSM_05                    | Crude saponin (35%)  | 1,000           | S                    |
| Test_23             | PSM                    | PSM_05                    | Crude saponin, Karanja oil (95%), Detergent (5%)                   | 1,000           | S                    |
| Test_24             | PSM                    | PSM_06                    | Diallyl disulfide (0.16%)  | 1,000           | S                    |
| Test_25             | PSM+PSM+PSM            | PSM_01+PSM_04+PSM_04      | Cinnamon extract (10%), Derris extract (20%), Citronella oil (30%) | 1,500           | M                    |
| Test_26             | PSM+ME                 | PSM_02+ME_01              | Matrine (65%), Paraffin oil (10%), Detergent (25%)                 | 1,000           | M                    |
| Test_27             | PSM+PSM+PSM            | PSM_02+PSM_01+PSM_01      | Matrine, Eugenol, Geraniol   | 1,000           | M                    |
| Test_28             | PSM+PSM                | PSM_02+PSM_05             | Azadirachtin, Pyrethrin  | 500             | M                    |
| Test_29             | PSM+PSM                | PSM_02+PSM_05             | Matrine (0.045%), Pyrethrin (5.0%)                                 | 1,000           | M                    |
| Test_30             | PSM+PSM                | PSM_03+PSM_04             | Oleic acid (4.794%), Cinnamaldehyde (2.198%)                       | 1,000           | M                    |
| Test_31             | PSM+ME                 | PSM_04+ME_01              | Rotenone (2.0%) + Paraffin oil (8.5%)                              | 1,000           | M                    |
| Test_32             | PSM+PSM+ME             | PSM_04+PSM_02+ME_01       | Matrine (0.2%), Cinnamaldehyde (20%), Paraffin oil (0.8%)          | 500             | M                    |
| Test_33             | PSM+PSM+ME             | PSM_04+PSM_06+ME_01       | Rotenone, Diallyl disulfide, Paraffin oil                          | 1,000           | M                    |
| Test_34             | MI                     | MI_01                     | Soluble boron (0.05%), Soluble molybdenum (0.0005%)                | 500             | MI                   |
| Test_35             | MI                     | MI_01                     | Soluble boron (0.05%), Soluble molybdenum (0.0005%)                | 1,000           | MI                   |
| Test_36             | MI                     | MI_01                     | Soluble boron (0.05%), Soluble molybdenum (0.0005%)                | 1,000           | MI                   |
| Test_37             | MI                     | MI_01                     | Soluble boron (0.05%), Soluble molybdenum (0.0005%)                | 1,000           | MI                   |
| Test_38             | MI                     | MI_01                     | Soluble boron (0.05%), Soluble molybdenum (0.0005%)                | 2,000           | MI                   |

<sup>a)</sup> Test\_01 ~ Test\_38 is identical with O\_Test\_01 ~ O\_Test\_38 of Table 3 by Kwon et al. (2022)<sup>b)</sup> S: Single, M: Mixture, MI: Mineral ingredient

기반의 생물검정법을 고안하였다(Fig. 1). 우선, 플라스틱 컵 뚜껑 부분에 생성된 공간(지름 20 mm, 폭 0.2 mm)에 1% 아가로스(SeaKem LE Agarose, Lonza Bioscience, Switzerland)를 1 mL 분주한 다음, 시험 대상 농자재의 추천농도에 10초간 침지 후 음건된 강낭콩 엽절편(지름 25 mm)을 분주된 1% 아가르스에 치상하였다. 시험 대상 가루이류는 성충 15~20마리를 미세흡충기로 포집하여 플라스틱 컵에 접종하였으며 그 후 강낭콩 엽절편이 치상된 플라스틱 뚜껑을 덮어 이탈을 방지하였다(Fig. 1). 생물검정 후 각 플라스틱 컵은 온도차가 심하지 않은 장소에 두어 플라스틱 컵 내부의 습도 발생을 최소화하였다. 약효 평가를 위한 사충률 조사는 현미경하에서 96시간 동안 24시간 간격으로 수행되었으며 사충 판별을 위해 생물검정 용기를 가볍게 바닥에 치며 미세한 외부 자극을 가하였다. 자극에 반응하지 않거나 반응하더라도 충체 길이 만큼 이동하지 못하는 개체는 사충으로 간주하였다. 대조구로는 증류수를 처리하였으며 각 대상 농자재 별로 3반복 실험을 수행하였다.

#### 가중평균사충률 산출 및 통계 분석

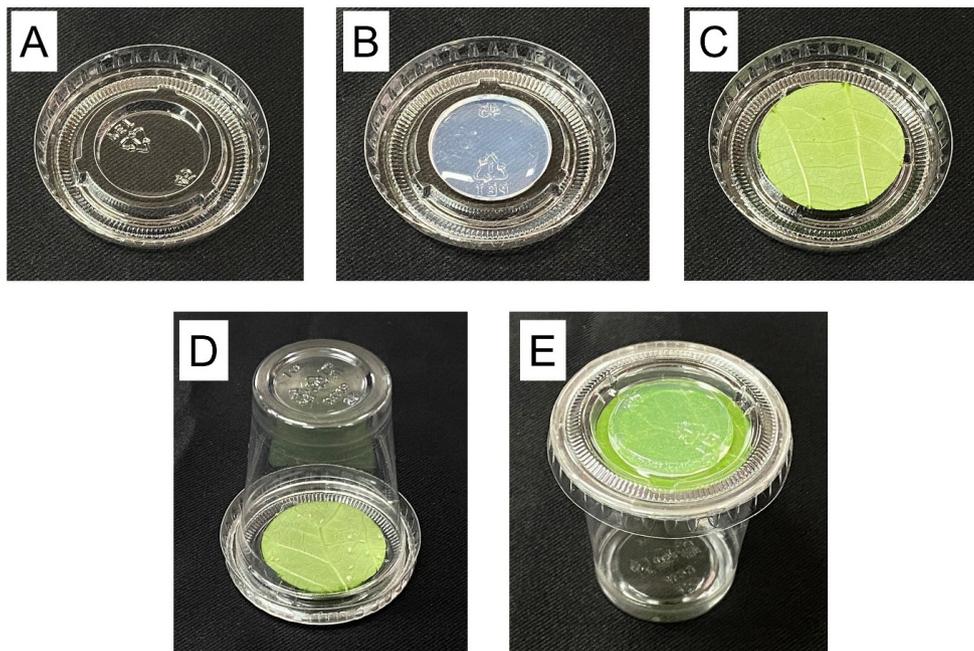
가루이류에 대한 실험 대상 제품의 약효평가 결과는 점박이응애와 목화진딧물에 적용한 가중평균사충률을 통하여 산출하였다. 가중치는 24시간 간격으로 관찰된 사충율의 차이를 기준으로 하였으며, 가중치와 사충율의 곱한 값의 합계를 가중치의 합계로 나누어서 산출하였다(Kwon et al.,

2022; Kim et al., 2023). 이를 통해 가루이 계통, 조사시간 및 농자재 별 평균값을 산출하여 각 실험 대상 제품에 대한 가루이류의 약효반응 결과를 하였으며, 통계프로그램 R (Venables et al., 2009) 내의 pheatmap 패키지를 이용하여 가중평균사충율과 유사도를 기준으로 클러스터링 및 히트맵 기반 시각화를 수행하였다. 통계적 유의성 검정을 위해 R(ver.4.4.0)을 통해 정규분포 조건을 충족할 경우 일원배치분산분석을, 정규분포 하지 않을 경우 Kruskal-Wallis Test로 분석하였다. 사후검정은 Tukey's HSD test를 이용하였으며 처리 구간 유의성 차이는 R library 내의 multcomp를 이용하여 compact letter display 값을 도출하였다.

## 결과 및 고찰

### 농자재에 대한 가루이류 약효 반응 특성

담배가루이와 온실가루이를 대상으로 각 계통별, 조사시간별, 농자재별 약효 결과에 대해 통계분석을 수행하였다. 분석 결과, 두 종 가루이류의 계통별 가중평균사충률은 21.9% ~ 54.0%의 범위로 나타났으며 사충률이 가장 높은 계통은 BT002, 가장 낮은 계통은 BT003로 조사되었다. 그러나 두 종 간의 사충률은 일정한 경향성을 보이지는 않았다. 종내 계통 간 비교에서 담배가루이 계통 간 가중평균사충률은 통계적인 유의성을 나타내었으나( $F_{4,580}=34.1, P<0.001$ , Fig. 2A), 온실가루이 계통

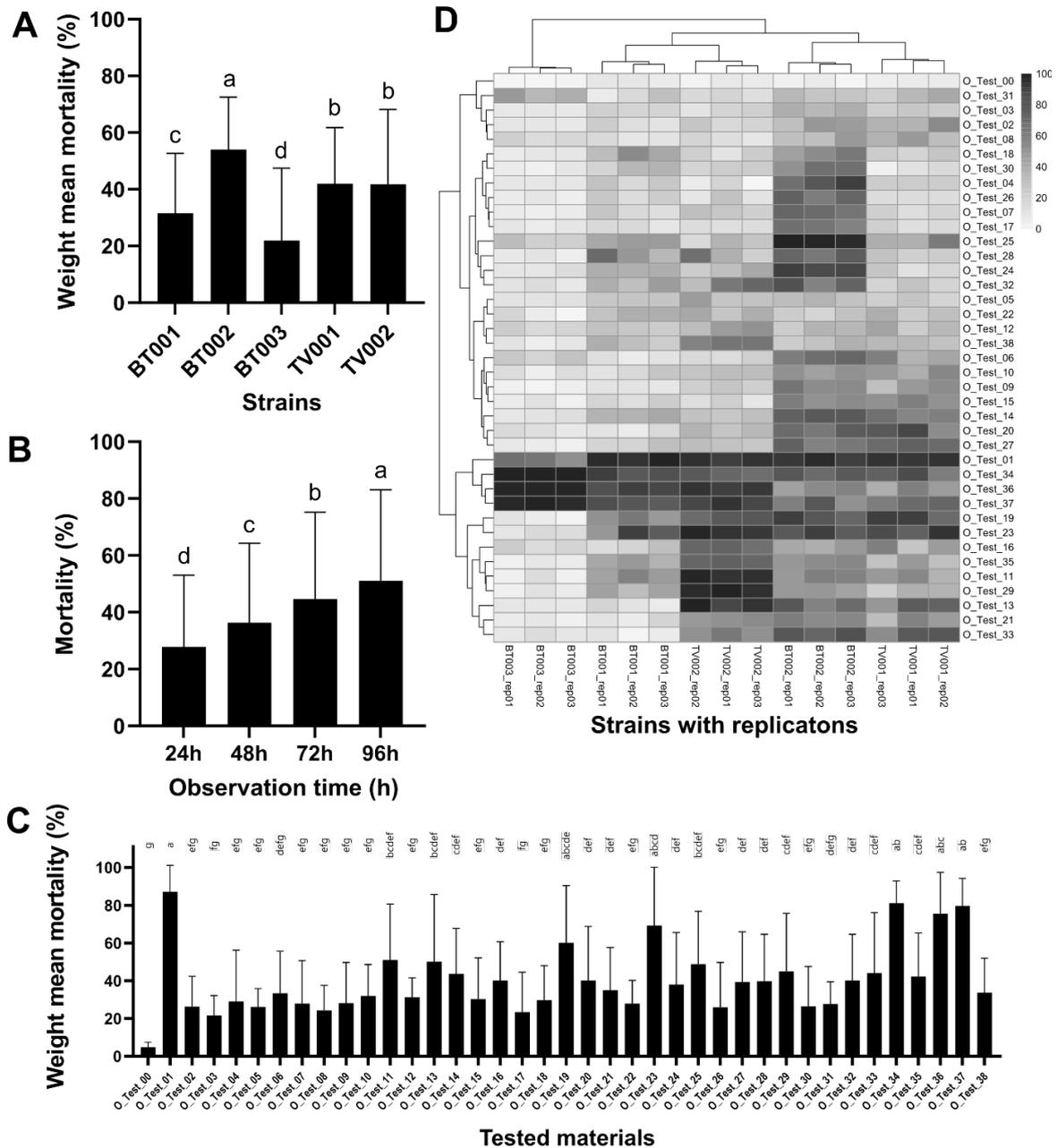


**Fig. 1** Bioassay equipment designed insecticidal efficacy test for the whitefly. (A) Lid ; (B) Lid with 1 mL of 1% agarose; (C) Circular leaf section on agarose of the lid; (D) Lid combined with lower 'cup' part after inoculation of whitefly; (E) Final bioassay equipment position after whitefly inoculation

간에는 차이를 보이지 않았다. 조사시간을 기준으로 사충률은 시간이 경과함에 따라 통계적으로 유의하게 증가하는 것으로 확인되었다( $F_{3, 2336} = 70.78, P < 0.001$ , Fig. 2B).

가중평균사충률을 기준으로 농자재별 약효를 평가한 결과, 무처리구의 가중평균사충률은 4.7%로 나타나, 고안된 실험법이 가루이류 성충을 대상으로 적합한 생물검정법임을 확인할 수 있었다(Fig. 2C). 농자재별 사충률의 통계분석

결과 O\_Test\_03에서 가장 낮은 21.6%, O\_Test\_01에서 가장 높은 87.1%의 사충률을 나타내었으며 이들 값은 통계적으로 유의하였다( $F_{38,546} = 9.08, P < 0.001$ , Fig. 2C). O\_Test\_01과 더불어 O\_Test\_34, O\_Test\_36, O\_Test\_37에서 80% 이상의 가중평균사충률을 보였으며 O\_Test\_19와 O\_Test\_23에서 60% 이상의 가중평균사충률이 확인되었다. 실험반복 약효 정보를 계통 및 농자재 별로 클러스터링 분석을 수행한



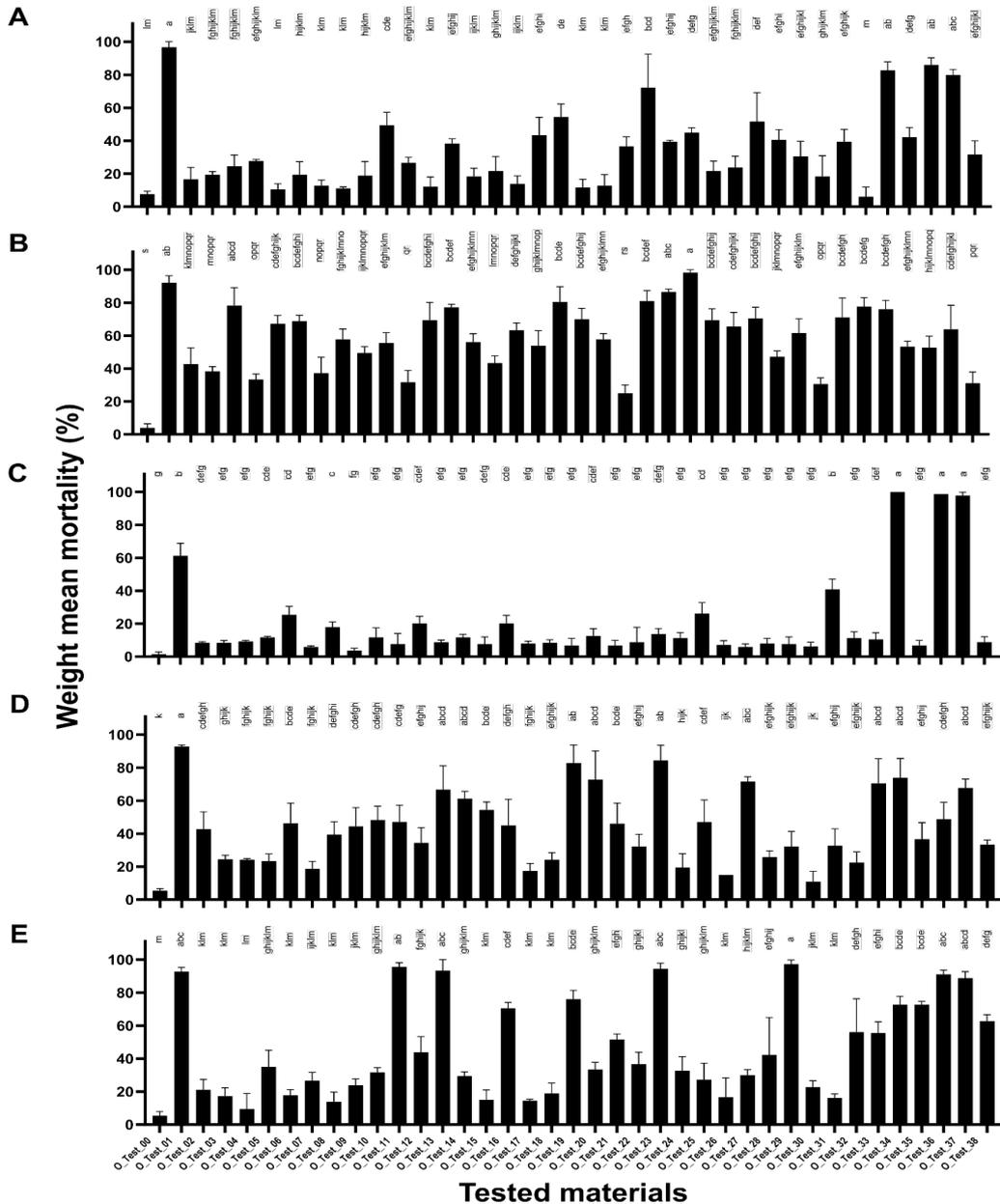
**Fig. 2** Insecticidal efficacy profiles by several agrochemical by strains (A), observation time (B), weight mean mortality (C), and heatmap with clustering analysis by Euclidian distance measure (D). Small lower character on the bar of standard deviation represents statistical significance by Tukey's HSD test.

결과, 대상 계통의 반복별로 그룹이 형성된 것을 확인할 수 있었으며 높은 사충률을 보인 유기농업자재 O\_Test\_01, O\_Test\_34, O\_Test\_36, O\_Test\_37이 그룹화 되었다. 즉, 히트맵과 클러스터링 분석은 향후, 우수 농자재의 시각화에 도움이 될 것이다.

**가루이류 계통 별 약효 반응 특성**

실험 대상 농자재에 대한 담배가루이 BT001 계통의 가중평균사충률은 6.1% ~ 96.7% 범위에서 분포하였으며 이들

사충률은 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다( $F_{38,78} = 26.4$ ,  $P < 0.001$ , Fig. 3A). 이들 계통은 O\_Test\_33에서 가장 낮은 사충률을 보인 반면, O\_Test\_01에서 약효가 가장 높은 사충률을 보였다. 담배가루이 BT002 계통의 가중평균사충률은 25%~98.3% 범위에서 분포하였으며 이들 사충률은 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다. 이들 계통은 O\_Test\_25에서 가장 사충률이 높았던 반면, O\_Test\_22에서 사충률이 가장 낮았다( $F_{38,78} = 25.33$ ,  $P < 0.001$ , Fig. 3B). 담배가루이 BT003 계통은 대상 농자재에 대해 3.75% ~



**Fig. 3** Weight mean mortality comparisons of 38 of agricultural materials listed in Table 2 (A: BT001; B: BT002; C: BT003; D: TV001, E: TV002). Small lower character represents statistical significance by Tukey's HSD test.

100%의 약효 범위를 나타내었으나 전반적으로 다른 계통에 비해 낮은 가중평균사충률을 나타내었다( $F_{38,78}=130.5, P<0.001$ , Fig. 3C). 이들 계통은 O\_Test\_34에서 약효가 가장 높았고 O\_Test\_09에서 약효가 가장 낮은 것으로 조사되었다. 온실가루이 TV001 계통은 각 농자재 간 통계적으로 유의한 살충효과 차이를 나타내었으며 농자재별 살충효과는 10.8%~92.8%의 분포를 보였다( $F_{38,78}=17.72, P<0.001$ , Fig. 3D). 이들 계통은 O\_Test\_01에서 약효가 가장 높았고 O\_Test\_30에서 약효가 가장 낮았다. 온실가루이 TV002 계통은 각 농자재 간 통계적으로 유의한 살충효과 차이를 나타내었으며 농자재별 살충효과는 9.4%~97.2%의 분포를 보였다( $F_{38,78}=35.68, P<0.001$ , Fig. 3E). 이들 계통은 O\_Test\_29에서 가장 살충 효과가 높았으며 O\_Test\_04에서 가장 낮은 살충 효과를 보였다.

#### 농자재 그룹 별 가루이류 약효 평가 결과

실험에 사용된 유기농업자재는 그룹별로 증류수 처리구(O\_Test\_00), 유기농업자재 단제 그룹(Single), 유기농업자재 합제 그룹(Mixture), 미량요소복합비료 그룹(MI)으로 구분될 수 있다(Table 2). 그룹 별 가중평균사충률을 기준으로 구분한 결과, 미량요소복합비료가 57.2%로 가장 높았고 그 다음으로 합제 그룹과 단제 그룹이 36.7%와 36.2%의 사충률을 나타내었다( $F_{4,581}=78.79, P<0.001$ ; Fig. 4). 대조구로 사용한 증류수 처리구는 5.6%로 가장 낮았다.

#### 고찰

기존 보고된 가루이류 생물검정법은 폭이 낮은 페트리디쉬 사용으로 인한 조사의 어려움, 페트리디쉬 내 기주식물 엽절편의 일정한 상태 유지의 어려움, 가루이류 성충의 행동학적 제약 등의 단점이 있다. 본 논문은 엽침지법 기반의 소형 플라스틱컵을 활용한 생물검정법을 고안하여 기존 생물검정법의 문제를 보완하고자 하였다. 실험을 위한 디자인 과정에서 뚜껑 내 아가로스를 넣어 약액이 침지된 기주식물의 엽절편이 시드는 것을 방지할 수 있었으며 이로 인한 무처리구의 가중평균사충률의 범위는 0~8.9%로 약효 평가에 적합한 방법임을 확인할 수 있었다(Fig. 1D). 또한 4.5 cm 플라스틱 컵을 사용하여 가루이류 성충의 행동 제약을 최소화하였으며, 현미경 하에서 사충률 조사의 용이성을 높였다.

유기농업자재의 가루이류에 대한 사충률은 계통과 제품에 따라 약효 차이를 나타내었다. 특히 가중평균사충률의 비교에서 담배가루이는 제품에 따라 지역 계통간 가중평균사충률 값의 유의한 차이가 있음이

확인되었으며( $F_{4,580}=34.1, P<0.001$ , Fig. 1A) 토마토에서 채집된 BT003 계통의 사충률은 21.9%로 가장 낮게 조사되었다. 본 계통은 heatmap 시각화 결과에서도 4개 농자재(O\_Test\_01, O\_Test\_34, O\_Test\_36, O\_Test\_37)를 제외하고 전반적으로 낮은 결과값을 나타내었다(Fig. 2D). Kim 등(2023)은 본 실험에 사용된 동일 농자재를 활용한 목화진딧물 약효 스크리닝 결과, 농약에 과다 노출된 계통이 다른 계통에 비해 상대적으로 낮은 사충률이 나타남을 보고한 바 있다(Kim et al., 2023). 본 연구에 사용된 가루이류 계통의 농약 노출 정도는 알 수 없으나, 이러한 계통 특이적 약효 반응 변이는 화학합성농약에서 나타나는 약제 저항성 발달 현상과 연관이 있을 것으로 추정된다.

아직까지 유기농업자재에 대한 저항성 발달은 보고된 바 없으나 화학합성살충제가 식물이차대사산물 내 살충 활성이 높은 물질을 기본으로 변형 및 확장되기도 하므로(Gajendiran and Abraham, 2018; Ngegba et al., 2022), 이들 자재들 간의 상호 약효 평가를 통해 약효 저하 발달 가능성 검증이 필요하다. 광범위 기주를 갖는 점박이용애의 경우, 약제 노출 시 해독효소의 수가 증가하는 것이 확인되었으며 이는 다양한 기주에 적응하기 위해 발달된 해독효소가 식물이차대사산물을 모태로 한 약제에 대한 저항성 발달에 진화적인 영향을 준 것으로 보고되었다(Dermauw et al., 2018). 유기농업자재는 천연물에서 추출한 복합성분으로 화학합성살충제에 비해 상대적으로 느릴 것으로 예상은 되나, 화학합성살충제와 유기농업자재에

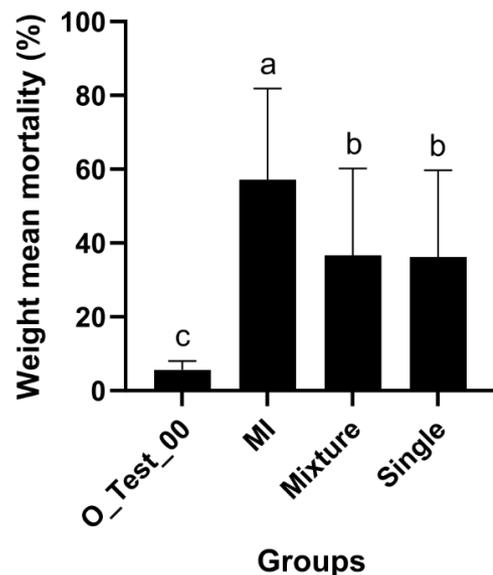


Fig. 4 Weight mean mortality of five strains by groups of tested agricultural materials. Small lower alphabet represents statistical significance by Tukey's HSD test.

과다노출된 해충은 저항성 현상이 빠르게 발달할 수 있을 것이라 생각된다. 향후 유기농업자재의 심층적인 약제 저항성 발달 여부 및 화학합성살충제와의 상호 약효저하 현상의 발생 여부를 확인할 필요가 있다.

일부 농업 현장에서는 화학합성살충제나 유기농업자재가 아닌 미량요소복합비료 등을 해충 방제용으로 오용하는 경우를 흔히 볼 수 있다. 하지만 본 연구 결과, 미량요소복합비료를 성분으로 하는 농자재의 효과가 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. 이러한 현상은 동일 미량요소복합비료 제품으로 목화진딧물(Kim et al., 2023)과 점박이응애(Kwon et al., 2022)를 대상으로한 선행연구 결과와 유사하였다. 실험에 사용된 해당 제품들은 붕소와 몰리브덴으로 구성되어 있는데 이들 제품에 대한 정밀한 성분 분석, 또는 이들 제품들의 주요 성분들에 대한 살충활성 여부의 정확한 추가 실험이 필요하다. 또한, 농업 현장에서 등록 용도와 달리 사용되고 있는 농자재 제품의 현황 파악 및 이들 제품군에 대한 정밀한 분석 조사가 반드시 필요하다. 농자재 사용으로 인한 농업인 및 소비자의 피해를 최소화하기 위해서는 제품 제조기업의 투명성 있는 자체 품질 관리 체계 구축 및 유관기관의 관리·감독이 절대적으로 필요하며, 제품 내 함유된 상세 성분에 대한 정보가 제품 라벨 또는 온라인에 정확하게 정보가 전달 될 수 있는 제도적 도입이 필요할 것이다.

또한, 유기농업자재의 효과적인 사용을 위해 이들 제품의 처리 간격 또한 중요하다. Kim 등(2014)은 가지재배지에서 담배가루이 방제를 위한 님 제제 처리는 7일 간격 처리가 10a 당 가장 높은 경제성을 보인다고 보고한 바 있다(Kim et al., 2014). 본 연구에서는 농자재 처리 간격에 대한 실험은 수행하지 못하였으나, 향후 다양한 유기농업자재의 처리 횟수 별 경제적 방제 비용을 도출하여 사용 효율성을 높이는 연구를 수행 필요성이 있다.

2024년 기준으로 유기농업자재 1,957종(토양개량 및 작물생육용자재 982종, 충해관리용 296종, 작물생육용 239종, 병해관리용 225종, 병해충관리용 182종, 토양개량용 35종)이 등록되어 있으며 이는 화학합성농약의 제품 수가 약 3,000여 종인 것을 감안하였을 때(NAPQMS, 2024), 적지 않은 품목 수라 할 수 있다. 농업현장에서의 유기농업자재 제품 사용률은 정확하게 알 수 없으나 친환경농산물에 대한 국민적 관심 고조 및 친환경농산물 수요증가, 글로벌적인 화학농약 사용 감축에 대한 국가적 목표 달성을 위해서는 유기농업자재 주성분의 정비, 유통되고 있는 농자재들에 대한 실태조사 및 불법 자재 퇴출, 유기농업자재 및 화학합성 농약이 조합된 방제력 개발 등의 심층연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 핵심농자재 국산화기술개발사업(321054-05)의 지원을 받아 수행되었음.

## Author Information and Contributions

Deok Ho Kwon, Experiment design, Data analysis, Writing, Draft review, <https://orcid.org/0000-0003-2162-4771>

Yoon Seok Jeon, Rearing, Bioassay

Min Jeong Kwon, Rearing, Bioassay

Gi Yeol Yoo, Rearing, Bioassay

Joon Hyeon Park, Rearing, Bioassay

Jae Seong Im, Draft review, Experiment design, Writing

Eunyoung Yang, Draft review, Experiment design, Draft review

Yul Gyun Ahn, Draft review, Experiment design, Draft review

## 이해상충관계

저자는 이해상충관계가 없음을 선언합니다.

## Literature Cited

- Choe K-R, Park J-S, 1983. Effects of low temperature on the development of greenhouse white fly, *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Homoptera: Aleyrodidae). Korean J. Plant. Prot. 22: 233-236.
- Choi B-R, Park H-M, Yoo J-K, Kim S-G, Baik C-H, et al., 2005. Monitoring on insecticide resistance of major insect pests in plastic house. Korean. J. Pestic. Sci. 9(4): 380-390.
- Dermauw W, Pym A, Bass C, Van Leeuwen T, Feyereisen R, 2018. Does host plant adaptation lead to pesticide resistance in generalist herbivores? Curr. Opin. Insect Sci. 26: 25-33.
- Gajendiran A, Abraham J, 2018. An overview of pyrethroid insecticides. Frontiers in Biology 13: 79-90.

- Jones DR, 2003. Plant viruses transmitted by whiteflies. *Eur. J. Plant Pathol.* 109(3): 195–219.
- Kim D-I, Ko S-J, Choi D-S, Kang B-R, Kim S-G, et al., 2012. Management of greenhouse whitefly, *Trialeurodes vaporariorum* (Homoptera: Aleyrodidae) with zoophytophagous predator *Nesidiocoris tenuis* (Heteroptera: Miridae) and EFAM in tomato production without pesticides. *Korean J. Org. Agric.* 20(1): 49–58.
- Kim G-H, Lee Y-S, Lee I-H, Ahn K-S, 2000. Susceptibility of sweetpotato whitefly, *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae) to commercially registered insecticides in Korea. *Korean J. Pestic. Sci.* 4(1): 51–58.
- Kim J, Choi I-Y, Kim J-H, Lee J-H, Cheong S-S, 2014. Treatment level of neem product for the control of *Bemisia tabaci* in the environmental friendly agriculture of eggplant. *Korean J. Org. Agric.* 22(3): 435–444.
- Kim J, Kwon Y-R, Kim J-H, Cheong S-S, Im J-R, et al., 2013. The environment-friendly materials selection for control the *Bemisia tabaci* (Gennadius) on organic eggplant cultivation. *Korean J. Org. Agric.* 21(3): 363–372.
- Kim MH, Im JS, Ahn YG, Kwon HY, Park YM, et al., 2023. Insecticidal efficacy monitoring of agricultural materials against *Aphis gossypii* populations collected at agricultural and forestry area *Korean J. Pestic. Sci.* 27(2): 75–84.
- Kim S, Kim SJ, Cho S, Lee SH, 2021. Insecticide resistance monitoring of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) in Korea. *Korean J. Appl. Entomol.* 60(2): 167–173.
- Kwon DH, Gwak G-y, Kim IH, Ahn YG, Hong KH, 2022. Selection techniques of agrochemical materials by multi array leaf dipping bioassay method for the precision management of two-spotted spider mite (*Tetranychus urticae*) in fruit vegetables. *Korean J. Pestic. Sci.* 26(4): 258–272.
- Kwon DH, Kwack G-Y, Won SM, Kim MH, Choi HJ, 2021. Establishment of classification system of major ingredients in organic agricultural materials associated with insect pest control. *Korean J. Pestic. Sci.* 25(4): 287–304.
- Lee M-H, Kim S-E, Kim Y-S, Lee H-K, Lee H-G, et al., 2013. Studies on the eco-friendly management of whiteflies on organic tomatoes with oleic acid. *Korean J. Org. Agric.* 21(1): 95–104.
- NAPQMS. (2024). Organic agricultural materials. <https://www.naqs.go.kr/contents/contentsTab.do?menuId=MN50068> (Accessed Mar. 20. 2024)
- Ngegba PM, Cui G, Khalid MZ, Zhong G, 2022. Use of botanical pesticides in agriculture as an alternative to synthetic pesticides. *Agriculture* 12(5): 600.
- RDA. (2024). Pesticide Safety Information System (PSIS). <https://psis.rda.go.kr/psis/agc/res/agchmRegistStusLst.ps> (Accessed Mar. 16. 2024)
- Venables WN, Smith DM, Team RDC. 2009. An introduction to R. In: Network Theory Limited London, UK.
- Vrijenhoek R, 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol. Mar. Biol. Biotechnol.* 3(5): 294–299.

**Supplementary table. 1** Blast result of five strains for the species identification

| Strains | Identified species name          | Description   | Gene number | Query cover | GenBank ID | E-value | Per. Ident (%) |
|---------|----------------------------------|---|-------------|-------------|------------|---------|----------------|
| BT001   | <i>Bemisia tabaci</i>            | <i>Bemisia tabaci</i> mitochondrial COI gene for cytochrome oxidase subunit 1, isolate Asia II 1                  | LR535719.1  | 99%         | LN614547.1 | 0       | 100            |
| BT002   | <i>Bemisia tabaci</i>            | <i>Bemisia tabaci</i> mitochondrial COI gene for cytochrome oxidase subunit 1, isolate Asia II 1                  | LR535719.1  | 99%         | LN614547.1 | 0       | 98.88          |
| BT003   | <i>Bemisia tabaci</i>            | <i>Bemisia tabaci</i> strain MED Q2 mitochondrion, complete genome  | MH205753.1  | 99%         | LR535719.1 | 0       | 100            |
| TV001   | <i>Trialeurodes vaporariorum</i> | <i>Trialeurodes vaporariorum</i> mitochondrial partial COI gene for cytochrome oxidase subunit 1, strain TVAW-BCN | LN614547.1  | 99%         | LR535719.1 | 0       | 100            |
| TV002   | <i>Trialeurodes vaporariorum</i> | <i>Trialeurodes vaporariorum</i> mitochondrial partial COI gene for cytochrome oxidase subunit 1, strain TVAW-BCN | LN614547.1  | 99%         | LN614547.1 | 0       | 100            |

## 과채류에 발생하는 2종의 가루이류에 대한 농자재 약효 평가

권덕호<sup>1</sup>, 전윤석<sup>1</sup>, 권민정<sup>1</sup>, 유기렬<sup>1</sup>, 박준현<sup>1</sup>, 임재성<sup>2</sup>, 양은영<sup>1</sup>, 안율균<sup>1</sup>

한국농수산대학교 원예학부 채소전공, <sup>1</sup>전북대학교 식물방역대학원, <sup>2</sup>(주)셀큐라티오 기업부설연구소

**요 약** 가루이류(담배가루이 3개 계통, 온실가루이 2개 계통)을 대상으로 농자재 38종(충해관리용 유기농업자재 33종, 미량복합비료5종)을 대상으로 엽침지법을 이용하여 약효 평가를 수행하였다. 가중평균사충율 비교에서 BT003계통이 가장 낮았고, BT002계통이 가장 높았다. 클러스터링 및 히트맵 기반 분석을 통해, O\_Test\_01, O\_Test\_34, O\_Test\_36, O\_Test\_37 농자재가 효과가 우수한 것으로 나타났다. 계통별 약효 반응이 다르게 나타났으며, 이는 대상 계통의 약제 종류와 노출 배경에 따라 충해관리용 유기농업자재에 대한 반응이 다를 수 있음을 의미한다. 특히, BT003계통은 대부분 유기농업자재에 대해 전반적으로 약효가 매우 낮았는데, 생물검정을 통해 충해관리용 유기농업자재에 대한 저항성 발달이 있을 수 있는지에 대한 검증이 필요한 것으로 판단된다. 유기농업자재를 대상으로 한 약효 스크리닝 결과는 병해충의 예방 및 화학합성농약과 병행사용을 가능성을 제시하는데 기여할 수 있다.

**색인어** 농자재, 담배가루이, 온실가루이, 살충효과, 가루이