과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
주요 병해충 약제 저항성 관리체계 구축		작물보호	’24~’26	농업기술원	이영수
화학농약 저감용 천연 보조제 개발		작물보호	’24	〃	**이영수**
색인용어	약제 저항성, 식물추출물, 천연 보조제, 방제				

ABSTRACT

The resistance of insect pests to chemical pesticides is becoming an issue not only in terms of control efficiency but also in terms of control costs. As an alternative to the side effects of these chemical pesticides, essential oils and extracts extracted from plants have recently become increasingly popular as alternatives to conventional pesticides. Therefore, this study was conducted to develop a technology that can reduce the amount of chemical pesticides used while maintaining medicinal efficacy through mixing with plant extracts for chemical pesticides registered for control against 6 major agricultural pests which insecticide resistance is a problem. The results of the study are as follows.

Custard appleseed oil+cinnamon extract was selected as a natural supplement to replace the insecticide(spiromesifen) to control two-spotted spider mite. Citronella oil+ deris extract+cinnamon extract were selected as natural supplements to reduce the insecticide(imidacloprid) to control green peach aphid and sweet potato whitefly. Neem extract was selected as a natural supplement to reduce insecticide(emamectin benzoate) to control diamonde-back moth. Custard appleseed oil+cinnamon extract was selected as a natural supplement to reduce insecticide(chlorfenapyr) to control western flower thrips and onion thrips.

Key words : Insecticide resistance, Plant extract, Natural supplement, Control

1. 연구목표

2050년까지 증가하는 인구를 먹여 살리기 위해 농업 생산량이 70% 증가해야 할 것으로 추정된다(Diouf, 2009). 그러나 기후 변화, 경작지 감소, 특히 병해충과 같은 큰 위협과 더불어 식품 안전에 대한 우려 증가, 유기 농업 생산 추세, 약제 저항성, 화학 살충제의 집중적인 사용으로 인한 생물 다양성 파괴는 현대 과학의 주요 과제가 되고 있다(Šunjka & Mechora, 2022). 이중 화학농약에 대한 해충의 저항성은 농업 현장에서 화학농약에 대한 과다 노출로 인한 해충 집단의 유전적 적응의 결과로, 단일 또는 다른 약제에도 동시에 저항성을 초래하여 방제 효율은 물론 방제 비용 측면에서 문제가 되고 있다(Tabashnik et al., 2013; Bras et al., 2022; Ayilara et al., 2023). 이러한 화학농약의 부작용에 대한 대안으로 더 저렴하고, 환경친화적이며 지속 가능한 생물농약의 요구도가 증가하고 있는데, 특히 식물성 성분을 기반으로 한 소재의 경우 다양한 작용기작의 성분들을 복합적으로 포함할 수 있으며, 온실가스 배출과 무관하며 인체에 미치는 위험도 적다는 장점들을 갖고 있다(Ayilara et al., 2023). 또한 식물의 여러 부위에서 추출한 에센셜 오일과 추출물은 해충뿐만 아니라 병해 방제에도 효과가 있어, 최근 화학농약의 대안으로 관심이 높아지고 있다(Tongnuanchan & Benjakul, 2014; Kim et al., 2021; Šunjka & Mechora, 2022). 이 중 화학적 조성이 복잡한 식물 에센셜 오일은 특정 성분의 살충제와 혼용시 길항작용을 보이는 경우도 있지만(Faraone et al., 2015), 대상 물질에 따라 살충 활성을 증가시키는 협력제로써의 효과가 있어 혼합제로서의 활용 면에서 주목을 받고 있다(Kim et al., 2021). 따라서 본 연구는 약제 저항성이 문제 되고 있는 농업상 주요 해충 6종에 대해 방제용으로 등록된 화학농약을 대상으로 커스터드애플시드 오일 등 식물추출물과의 혼용을 통해 약효는 유지하면서 화학농약의 사용량은 저감 할 수 있는 천연보조제의 이용 기술을 개발하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험곤충

본 시험에 이용한 해충은 주요 난방제 해충인 점박이응애(*Tetranychus urticae*), 복숭아혹진딧물(*Myzus persicae*), 담배가루이(*Bemisia tabaci*), 배추좀나방(*Plutella xylostella*), 꽃노랑총채벌레(*Frankliniella occidentalis*), 파총채벌레(Thrips tabaci) 등 6종으로 경기지역 원예작물 재배지에서 개체군을 채집하여 이용하였다. 각 해충은 실내조건(24±1℃, RH 50~60%, 16L:8D)에서 강낭콩, 배추, 담배, 배추, 강낭콩, 대파를 종별 기주식물로 제공해 2~5세대 누대 사육하면서 생물검정에 이용하였다.

나. 화학농약 및 식물추출물

시험용 화학농약은 시판되고 있는 점박이응애 방제용 스피로메시펜 액상수화제(2,000배 희석액), 복숭아혹진딧물과 담배가루이 방제용 이미다클로프리드 수화제(2,000배 희석액), 배추좀나방 방제용 에마멕틴벤조에이트 유제(2,000배 희석액), 총채벌레류 방제용 클로르페나피르 유제(1,000배 희석액)를 이용하였다(농사로, 2024). 화학농약 저감을 위해 천연보조제로서는 커스터드애플시드 오일, 계피 추출물, 님 추출물, 시트로넬라 오일, 데리스 추출물을 단일 또는 조합하여 생물검정에 이용하였다.

다. 살충활성 검정

생물검정용 약제는 화학농약 사용량 100%(추천농도), 화학농약 50%, 화학농약 50%+식물추출물, 식물추출물로 구분하여 제조하였으며, 약제 처리 방법은 살충제저항성위원회(IRAC, insecticide Resistance Action Committee)에서 권장하는 생물검정법에 준하여 점박이응애와 복숭아혹진딧물에 대해서는 분무법(spraying method)을 이용하였으며, 담배가루이와 배추좀나방, 총채벌레류에 대해서는 잎 침지법(dipping method)을 이용하였다. 생물검정은 실내조건(24±1℃, RH 50~60%, 16L:8D)에서 수행하였으며, 총 3 반복으로 약제 처리 24, 48시간 경과 후 생충수를 조사하여 방제 효과를 산출하였다. 또한 방제 면적(10a) 기준으로 처리별 방제 효과와 투입비가 반영된 비용 절감 효과를 분석, 적용 가능한 방법을 제시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 점박이응애에 대한 천연보조제 이용 방제 효과

화학농약 스피로메시펜 액상수화제 100%, 50% 처리시 점박이응애 방제 효과는 각각 30.0%, 18.4%로 매우 낮아 대체가 필요한 것으로 나타났다(그림 1). 반면, 커스터드애플시드 오일+계피 추출물(1,000배 희석액)을 단독 또는 화학농약 50%와 혼용하여 처리했을 경우 방제 효과는 각각 79.3%, 72.4%로 나타났다. 점박이응애의 경우 약제 저항성이 심각한 해충의 일종임을 고려할 때(Adesanya et al., 2021), 커스터드애플시드 오일+계피 추출물을 주기적으로 처리한다면 방제 효과는 더욱 높아질 것으로 생각되며, 이에 따른 비용 절감율도 화학농약 대비 85.2%로 낮아(표 1), 향후 점박이응애 방제용 천연보조제로도 활용이 가능할 것으로 생각된다.

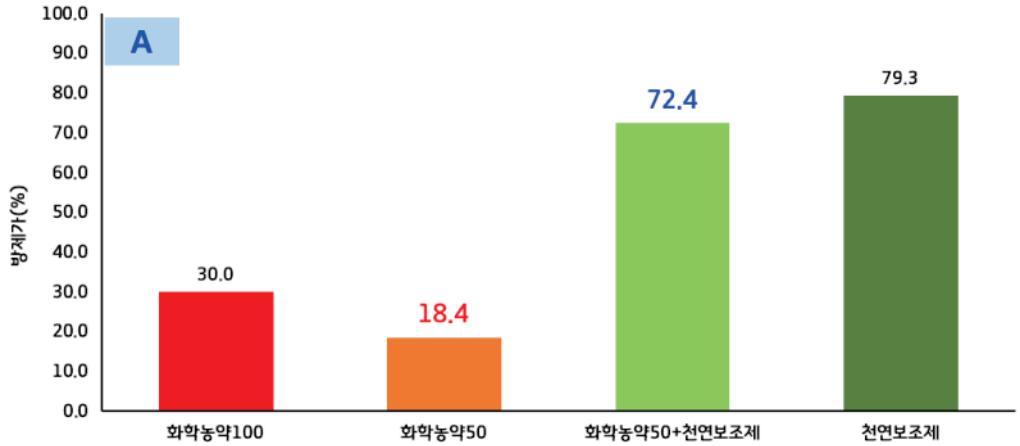

그림 1. 점박이응애에 대한 화학농약과 천연보조제의 방제 효과 비교

표 1. 점박이응애 방제용 천연보조제의 화학농약 대비 비용절감 효과 및 적용방법

	화학농약 100 (A)	화학농약 50 (B)	Hybrid (B+C)	천연보조제 (C)
투입비(원)	13,200	6,600	17,850	11,250
절감율(%)	100	50	135.2	85.2
방제가(%)	30.0	18.4	72.4	79.3
비고	대체 필요	-	-	대체 가능

※ 화학농약: 스피로메시펜 액상수화제, 천연보조제: 커스터드애플시드 오일+계피 추출물

나. 복숭아혹진딧물에 대한 천연보조제 이용 방제 효과

화학농약 이미다클로프리드 수화제 100%, 50% 처리시 복숭아혹진딧물 방제 효과는 각각 100%, 87.9%로 높게 유지하는 것으로 나타났다(그림 2). 한편, 시트로넬라 오일+데리스 추출물+계피 추출물(1,000배 희석액)을 단독 또는 화학농약 50%와 혼용하여 처리했을 경우 방제 효과는 100%로 나타나 화학농약의 저감 및 대체가 가능할 것으로 생각된다. 복숭아혹진딧물의 경우 이미다클로프리드 수화제가 속한 네오니코티노이드계 살충제에 대한 약제 저항성이 보고되고 있으며(Mottet et al., 2024), 시트로넬라 오일+데리스 추출물+계피 추출물의 비용 절감율도 화학농약 대비 93.6%로 낮아(표 2), 향후 복숭아혹진딧물 방제제로서 대체 또는 화학농약과의 교호처리를 통해 화학농약 저감이 가능할 것으로 생각된다.

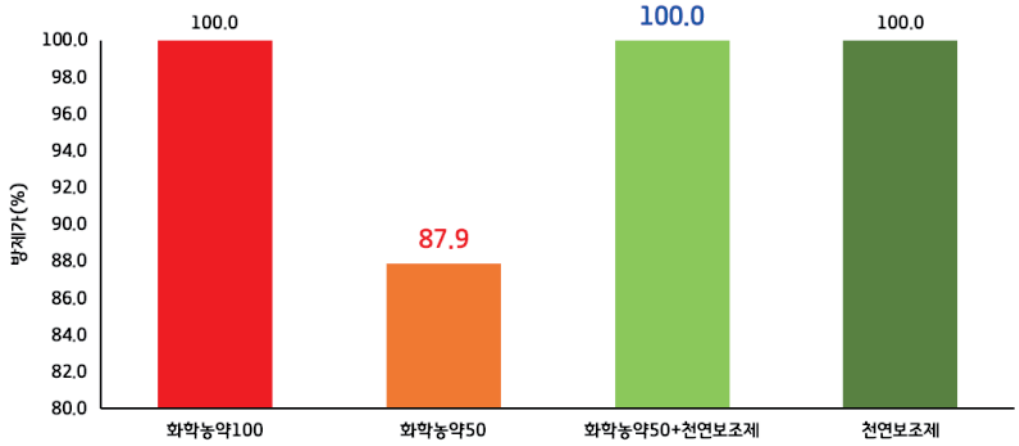

그림 2. 복숭아흑진딧물에 대한 화학농약과 천연보조제의 방제 효과 비교

다. 담배가루이에 대한 천연보조제 이용 방제 효과

화학농약 이미다클로프리드 수화제 100%, 50% 처리시 담배가루이 방제 효과는 각각 44.0%, 14.3%로 매우 낮아 대체가 필요한 것으로 나타났다(그림 3). 반면, 시트로넬라 오일+데리스 추출물+계피 추출물(1,000배 희석액)을 단독 또는 화학농약 50%와 혼용시 방제 효과는 각각 92.9%, 95.2%로 높게 나타났다. 담배가루이의 경우 국내에서도 이미 이미다클로프리드 수화제가 속한 네오니코티노이드계 살충제에 대한 약제 저항성이 보고되고 있으며(Lee et al., 2012), 시트로넬라 오일+데리스 추출물+계피 추출물의 비용 절감율도 화학농약 대비 93.6%로 낮아(표 2), 향후 담배가루이 방제제로서 대체 또는 화학농약과의 교호처리를 통해 화학농약 저감이 가능할 것으로 생각된다.

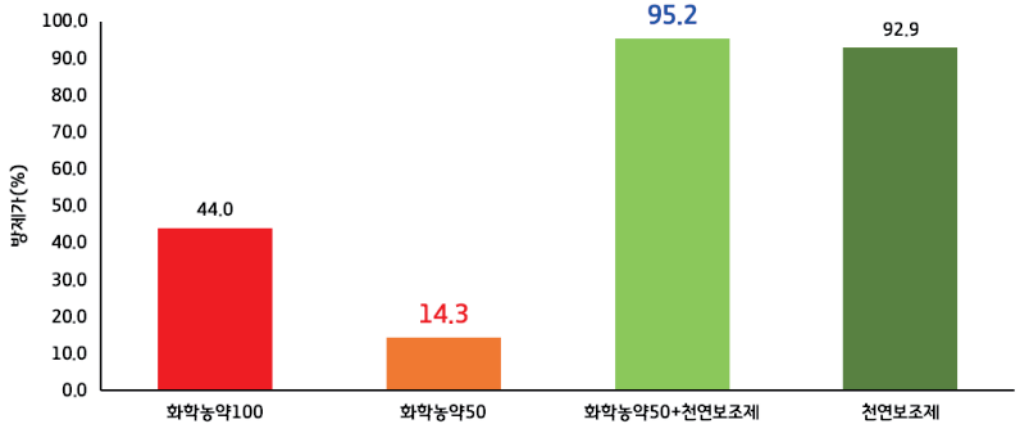

그림 3. 담배가루이에 대한 화학농약과 천연보조제의 방제 효과 비교

고추 하우스에서 처리별 담배가루이 밀도를 조사한 결과, 약제 처리 3일, 11일 경과 후 성충 밀도 증가율은 화학농약(100%) 21.8%에서 42.2%로 증가했던 반면, 화학농약(50%)+천연보조제의 경우 10.7%에서 5.8%로 크게 억제되는 것을 확인하였다(그림 4).

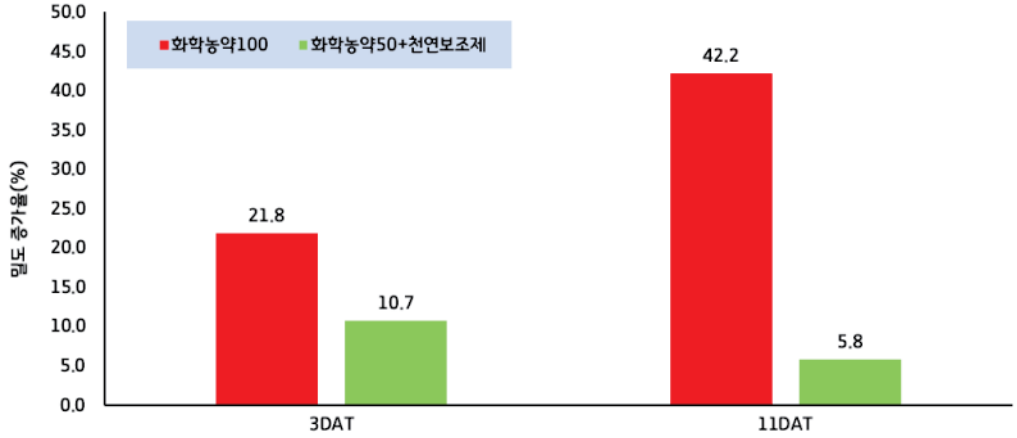

그림 4. 고추 하우스에서 화학농약과 천연보조제의 담배가루이 밀도 억제 효과

표 2. 복숭아혹진딧물과 담배가루이 방제용 천연보조제의 화학농약 대비 비용절감 효과 및 적용방법

	화학농약 100 (A)	화학농약 50 (B)	Hybrid (B+C)	천연보조제 (C)
투입비(원)	18,000	9,000	25,840	16,840
절감율(%)	100	50	143.6	93.6
방제가(%)	100	87.9	100	100
비고	저감 가능	-	-	교호처리 가능

※ 화학농약: 이미다클로프리드 수화제, 천연보조제: 시트로넬라 오일+데리스 추출물+계피 추출물

라. 배추좀나방에 대한 천연보조제 이용 방제 효과

화학농약 에마멕틴벤조에이트 유제(2,000배 희석액) 100%, 50% 처리시 배추좀나방 방제 효과는 각각 100%, 76.1%로 높게 유지되는 것으로 나타났다(그림 5). 한편, 님 추출물(1,500배 희석액)을 단독 또는 화학농약 50%와 혼용하여 처리했을 경우 방제 효과도 각각 90.9%, 100%로 높게 나타났다.

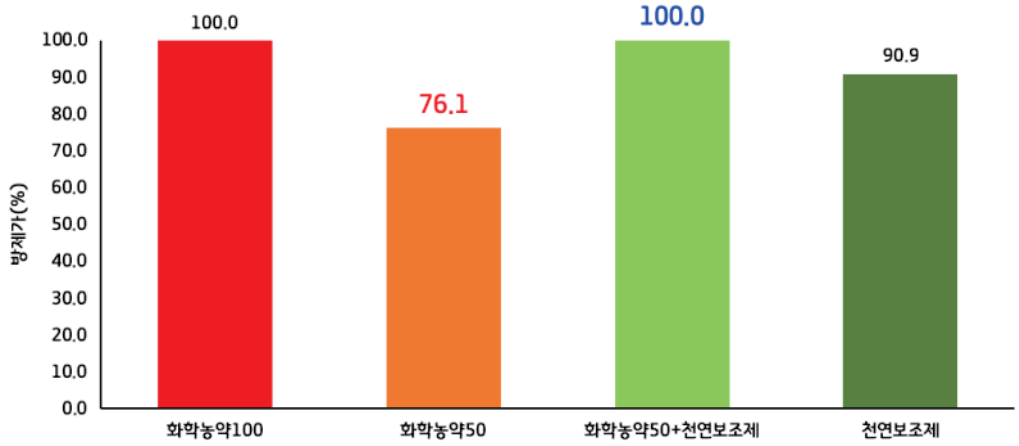

그림 5. 배추좀나방에 대한 화학농약과 천연보조제의 방제 효과 비교

외국의 경우 최근에 배추좀나방의 에마멕틴벤조에이트 유제에 대한 약제 저항성이 보고되고 있음을 감안할 때(Oplopoiou et al., 2024), 다른 계통의 약제로 대체하거나 교호살포를 유도하는 등 국내에서도 관리전략이 필요한 시점이라고 생각된다. 님 추출물의 경우 화학농약 대비 비용 절감율도 86.4%로 낮아(표 3), 향후 배추좀나방 방제제로서 대체 또는 화학농약과의 교호처리를 통해 화학농약의 저감이 가능할 것으로 생각된다.

표 3. 배추좀나방 방제용 천연보조제의 화학농약 대비 비용절감 효과 및 적용방법

	화학농약 100 (A)	화학농약 50 (B)	Hybrid (B+C)	천연보조제 (C)
투입비(원)	39,000	19,500	53,180	33,680
절감율(%)	100	50	136.4	86.4
방제가(%)	100	76.1	100	90.9
비고	저감 가능	-	-	교호처리 가능

※ 화학농약: 에마멕틴벤조에이트 유제, 천연보조제: 님 추출물

마. 총채벌레류에 대한 천연보조제 이용 방제 효과

화학농약 클로르페나피르 유제(1,000배 희석액) 100%, 50% 처리시 꽃노랑총채벌레 방제 효과는 각각 100%, 85.1%로 높았고, 파총채벌레 방제 효과도 각각 92.5%, 69.9%로 비교적 높게 유지되는 것으로 나타났다(그림 6, 그림 7). 한편, 커스터드애플시드 오일+계피 추출물(1,000배 희석액)을 단독 또는 화학농약 50%와 혼용하여 처리했을 경우 방제 효과는 꽃노랑총채벌레에 대해 각각 63.8%, 93.6%였으며, 파총채벌레에 대해서도

각각 89.5%, 100%로 높게 나타났다. 클로르페나피르 성분의 살충제에 대하여 현재까지는 국내외에서 파총채벌레에는 효과가 우수한 것으로 인정되고 있으나(김 등, 2018; Korai et al., 2024), 꽃노랑총채벌레의 경우 클로르페나피르 성분의 살충제에 대한 약제 저항성이 보고되고 있다(Yuan et al., 2023). 커스터드애플시드 오일+계피 추출물의 비용 절감율도 화학농약 대비 49.3~99.3%로 낮아(표 4), 향후 총채벌레류 방제제로서 화학농약 50%와의 혼용, 대체 또는 화학농약과의 교호처리를 통해 화학농약 저감이 가능할 것으로 생각된다.

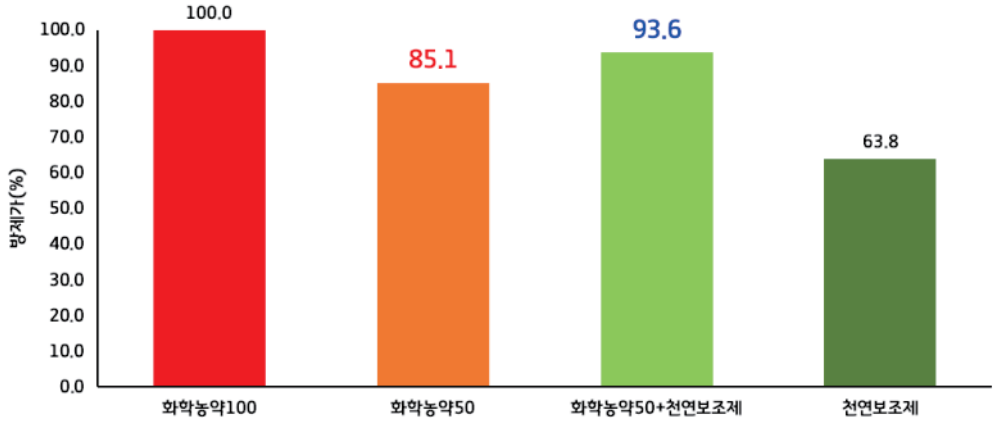

그림 6. 꽃노랑총채벌레에 대한 화학농약과 천연보조제의 방제 효과 비교

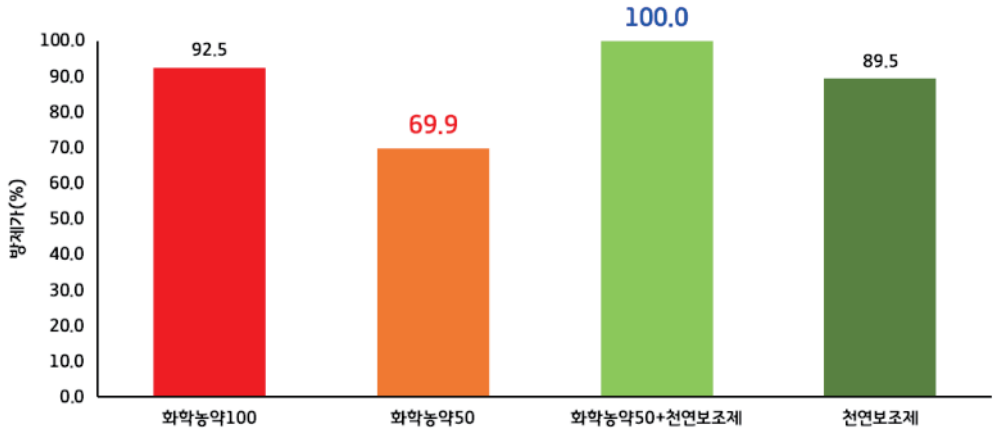

그림 7. 파총채벌레에 대한 화학농약과 천연보조제의 방제 효과 비교

표 4. 총채벌레류 방제용 천연보조제의 화학농약 대비 비용절감 효과 및 적용방법

	화학농약 100 (A)	화학농약 50 (B)	Hybrid (B+C)	천연보조제 (C)
투입비(원)	39,000	19,500	53,180	33,680
절감율(%)	100	50	136.4	86.4
방제가(%)	100	76.1	100	90.9
비고	저감 가능	-	-	교호처리 가능

※ 화학농약: 클로르페나피르 유제; 천연보조제, 커스터드애플시드 오일+계피 추출물

4. 적 요

식물 추출물을 이용하여 주요 해충 6종에 등록된 화학농약의 사용량을 저감 할 수 있는 기술을 개발하고자 수행한 결과는 다음과 같다.

가. 점박이응애 방제용 화학농약(스피로메시펜 액상수화제) 대체용 천연보조제로 커스터드애플시드 오일+계피 추출물을 선발하였다.

나. 복숭아혹진딧물 방제용 화학농약(이미다클로프리드 수화제) 저감용 천연보조제로 시트로넬라 오일+데리스 추출물+계피 추출물을 선발하였다.

다. 담배가루이 방제용 화학농약(이미다클로프리드 수화제) 대체용 천연보조제로 시트로넬라 오일+데리스 추출물+계피 추출물을 선발하였다.

라. 배추좀나방 방제용 화학농약(에마멕틴벤조에이트 유제) 저감용 천연보조제로 님 추출물을 선발하였다.

마. 꽃노랑총채벌레와 파총채벌레 방제용 화학농약(클로르페나피르 유제) 저감용 천연보조제로 커스터드애플시드 오일+계피 추출물을 선발하였다.

5. 인용문헌

Adesanya, A.W., Lavine, M.D., Moural, T.W., Lavine, L.C., Zhu, F., Walsh, D.B. 2021. Mechanisms and management of acaricide resistance for *Tetranychus urticae* in agroecosystems. Journal of Pest Science, 94, 639-663.

Ayilara, M.S., Adeleke, B.S., Akinola, S.A., Fayose, C.A., Adeyemi, U.T., Gbadegesin, L.A., Omole, R.K., Johnson, R.M., Uthman, Q.O., Babalola, O.O. 2023. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: A case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. Frontiers in Microbiology, 14, 1040901.

Bras, A., Roy, A., Heckel, D.G., Anderson, P., Karlsson Green, K. 2022. Pesticide

resistance in arthropods: Ecology matters too. Ecology letters, 25(8), 1746-1759.

Diouf, J. 2009, FAO's Director-General on How to Feed the World in 2050. Popul. Dev. Rev. 35, 837-839.

Faraone, N., Hillier, N.K., Cutler, G.C. 2015. Plant essential oils synergize and antagonize toxicity of different conventional insecticides against *Myzus persicae* (Hemiptera: Aphididae). PloS one 10(5):e0127774.

IRAC. 2024. https://irac-online.org/test-methods/

Kim, S., Yoon, J., Tak, J.H. 2021. Synergistic mechanism of insecticidal activity in basil and mandarin essential oils against the tobacco cutworm. Journal of pest science, 1-13.

Korai, A.K., Nizamani, I.A., Lodhi, A.M., Gilal, A., Qureshi, K.H., Korai, S.K. 2024. Evaluation of four different insecticides against onion thrips, *Thrips tabaci* (Thysanoptera: Thripidae): Implications for Monitoring and Management. Pakistan J. Zool., 1-7.

Lee, Y.S., Kim, J.Y., Hong, S.S., Park, J., Park, H.H. 2012. Occurrence of sweet-potato whitefly, *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) and its response to insecticide in Gyeonggi Area. Korean J. Appl. Entomol, 51(4), 377-382.

Mottet, C., Caddoux, L., Fontaine, S., Plantamp, C., Bass, C., Barrès, B. 2024. *Myzus persicae* resistance to neonicotinoids-unravelling the contribution of different mechanisms to phenotype. Pest Management Science, 80(11), 5852-5863.

Oplopoiou, M., Elias, J., Slater, R., Bass, C., Zimmer, C.T. 2024. Characterization of emamectin benzoate resistance in the diamondback moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). Pest Management Science, 80(2), 498-507.

Šunjka, D., Mechora, Š. 2022. An alternative source of biopesticides and improvement in their formulation-recent advances. Plants, 11(22), 3172.

Tabashnik, B.E., Brévault, T. Carrière, Y. 2013. Insect resistance to Bt crops: lessons from the first billion acres. Nature Biotechnology, 31, 510-521.

Tongnuanchan, P., Benjakul, S. 2014. Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. J. Food Sci. 79, R1231-R1249. doi: 10.1111/1750-3841.12492.

Yuan, J., Zheng, X., Wang, J., Qian, K., Feng, J., Zhang, Y., Zhang K., Zhang, Y., Liang, P. Wu, Q. 2023. Insecticide resistance of western flower thrips, *Frankliniella occidentalis* (Pergande) in China. Crop Protection, 172, 106339.

농사로. 2024. www.nongsaro.go.kr

조성우, 경예진, 조선란, 신소은, 정대훈, 김성일, 박근호, 이승주, 이영수, 김민기, 조인준, 구현나, 김현경, 김길하. 2018. 꽃노랑총채벌레와 대만총채벌레에 대한 51 종의 살충제 감수성 평가. 한국응용곤충학회지, 57(3), 221-231.

6. 연구결과 활용제목

○ 화학농약 저감을 위한 천연보조제 이용 주요 해충 방제(영농활용, '24년)

○ 7종의 주요 해충에 대한 식물추출물의 살란 효과(논문게재, '24년)

○ 유기농업자재 패키지를 통한 시설 고추 꽃노랑총채벌레 방제 효과(논문게재, '24년)

7. 연구원 편성

과제명	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도 '24
화학농약 저감용 천연보조제 개발	**책임자**	**환경농업연구과**	**농업연구사**	**이영수**	**세부과제 총괄**	○
	공동연구자	환경농업연구과	농업연구사	최종윤	작물관리 지원	○
	〃	〃	〃	김소희	해충사육 지원	○
	〃	〃	〃	유주형	농자재 관리	○
	〃	〃	농업연구관	이현주	포장검정 지원	○
	〃	〃	〃	박중수	결과 활용 검토	○