

과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
시설채소 안정생산 연구		채소	'23~'27	원예연구과	이진구
아쿠아포닉스 업체류 친환경 병해충 관리기술 개발		채소	'23~'25	원예연구과	이진구
책임용어	아쿠아포닉스, 상추, 병해충, 친환경자재				

ABSTRACT

With the increasing interest in environmentally friendly agriculture and sustainable food production, the use of aquaponic cultivation systems has been expanding. However, in aquaponic systems, crops and fish share the same aquatic environment, making it difficult to apply chemical pesticides commonly used in conventional greenhouse cultivation. Additionally, pesticide application may cause toxicity problems for fish during pest and disease control. Therefore, the development of eco-friendly pest and disease management technologies that are safe for both crops and fish is required in aquaponic cultivation. This study was conducted to develop eco-friendly pest and disease management techniques applicable to lettuce cultivation in aquaponic systems. To select organic agricultural materials suitable for use in aquaponic systems, fish toxicity tests were conducted, and 5 materials for disease control, 8 for insect pest control, and 4 for both disease and pest control were selected. In the disease control efficacy test, preventive treatment against lettuce leaf spot showed control effects ranging from 54.9% to 93.4% with some organic materials, while treatments after disease occurrence showed more than 75% control efficacy. In the insect control test, several organic materials showed corrected mortality rates of 81.5~87.2% against thrips 48 hours after treatment, confirming their potential for effective pest management. In addition, lettuce cultivation trials conducted in aquaponic facilities during 2023–2024 showed that the eco-friendly treatment plots tended to have lower pest and disease incidence compared with the untreated control, while crop growth and yield were similar to those of the conventional control treatment. In on-farm validation trials, pests and diseases were successfully managed using the selected organic agricultural materials, and no damage to fish was observed during the treatment process. Meanwhile, for chironomid larvae occurring in deep-flow technique aquaponic systems, the potential

of biological control using loaches was confirmed. One loach consumed an average of approximately 277 larvae per day, suggesting the applicability of eco-friendly pest management using natural predators.

These results indicate that the use of organic agricultural materials with low toxicity to fish, together with biological control methods, can effectively manage pests and diseases in aquaponic lettuce cultivation. This approach is expected to contribute to the stable production of aquaponic systems and the realization of sustainable agriculture.

Key words: Aquaponics, Lettuce, Pest, Disease, Organic Agricultural Materials

1. 연구 목표

아쿠아포닉스는 양어(aquaculture)과 수경재배(hydroponics)를 결합한 생산 시스템으로, 어류 배설물에 포함된 질소 화합물이 미생물의 질화 작용을 통해 식물 생장에 필요한 영양분으로 전환되고 식물은 이를 흡수함으로써 수질을 정화하는 역할을 수행한다(Diver, 2006; Rakocy et al., 2006; Love et al., 2014). 아쿠아포닉스에서는 상추, 바질, 케일 등 엽채류 작물이 주로 재배되며, 특히 상추(*Lactuca sativa* L.)는 생육 기간이 짧고 재배 관리가 용이하여 대표적인 아쿠아포닉스 작물로 알려져 있다(Diver, 2006; 김 등, 2021). 병해충 발생이 거의 없는 식물공장형 아쿠아포닉스에서 작물을 재배하는 경우도 있지만(이 등, 2022), 대부분 시설 환경에서는 재배되는 상추는 흰가루병, 갈색무늬병 등 병해와 총채벌레, 진딧물, 굴파리, 나방류 등 해충이 발생하며 이들은 상추의 생육을 저해하고 수량 감소 및 상품성 저하를 유발하는 주요 요인으로 알려져 있다(전과 김, 2006; Silva et al., 2024). 일반적인 시설재배에서는 이러한 병해충을 방제하기 위해 화학농약이 널리 사용되고 있으나, 아쿠아포닉스 시스템에서는 농약 사용이 제한된다. 이는 농약 성분이 수계 환경으로 유입될 경우 어류 폐사 또는 생리적 피해를 유발할 수 있으며 시스템 전체의 안정성을 저해할 수 있기 때문이다. 아쿠아포닉스 재배에서는 작물과 어류 모두에 안전한 병해충 관리기술이 필요하며, 이를 위해 유기농업자재나 생물적 방제 등 친환경 방제 방법의 활용이 중요하다. 유기농업자재는 미생물제제, 식물추출물 등을 기반으로 제조된 자재로 환경과 생물에 대한 독성이 낮은 것으로 알려져 있다. 그러나 아쿠아포닉스 환경에서는 유기농업자재도 어류에 직접적인 피해를 줄 수 있기에 어독성을 평가하는 과정이 필요하다. 또한 아쿠아포닉스에서는 수계 환경 특성상 깔다구와 같은 수서곤충이 대발생하여 간접적인 피해를 줄 수도 있기에 이에 대한 친환경 방제 방법의 개발도 요구된다.

본 연구는 아쿠아포닉스 상추 재배에 적합한 어독성 낮고 방제효과가 좋은 유기농업자재를 선발하고 농가 실증시험을 통해 실제 적용 가능성을 검증함으로써, 아쿠아포닉스 엽채류 재배에서 활용 가능한 친환경 병해충 관리기술을 개발하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

<시험 1> 아쿠아포닉스 병해충 관리용 유기농업자재 어독성 조사

아쿠아포닉스에서 발생하는 병해충은 일반 양액재배와 유사하며, 친환경 재배를 위해서는 유기농업자재를 사용해야 한다. 2023년에 유기농업자재를 아쿠아포닉스 상추에 살포 후 다음 날 물고기의 약 50%가 치사되었던 경험을 바탕으로 아쿠아포닉스에서 활용할 수 있는 유기농업자재 선발을 위하여 어독성 조사를 수행하였다. 유기농업자재를 용기에 표기된 사용 추천농도로 희석한 살포액을 만든 후, 다시 일정 비율로 희석하여 유리어항에 넣고 그 안에서 4cm 이하 잉어 치어를 사육하면서 4일간 잉어의 생존율을 조사하였다. 문제가 되었던 유기농업자재의 어독성 조사를 하였을 때 희석농도 3,000배에서 잉어 생존율이 57.1% 이었던 것을 기준으로 500배 이하에서도 생존율이 87% 이상인 유기농업자재를 아쿠아포닉스에서 사용가능한 것으로 선발하였다. 상추 갈색무늬병 발병 전 예방 관리에 효과적인 유기농업자재 선발을 위하여 60×30×40cm 재배상자에 갈색무늬병에 걸린 다수의 잎을 넣고 어린 상추를 재배하면서 발병 전에 미리 유기농업자재를 처리한 상추에서 갈색무늬병 발병유무를 조사하였다. 상추 갈색무늬병 발병 후 방제 관리에 효과적인 유기농업자재 선발을 위하여 60×30×40cm 재배상자에 갈색무늬병에 걸린 다수의 잎을 넣고 어린 상추를 재배하면서 발병 초기에 유기농업자재를 처리한 상추에서 갈색무늬병 발병유무를 조사하였다. 총채벌레 방제 관리에 효과적인 유기농업자재 선발을 위하여 Ø20mm의 사육통에 꽃노랑총채벌레 성충 20마리씩 넣고 유기농업자재를 처리하고 살충효과를 조사하였다.



그림 1. 유기농업자재의 어독성 조사 전경

<시험 2> 유기농업자재 아쿠아포닉스 병해충 방제효과 조사

경기도농업기술원 첨단온실에서 2023년 여름재배는 카이피라, 불라레, 로메인 등 상추 3품종을 6월 12일 육묘실에서 파종하여 7월 3일 재배 베드에 정식하였다. 7월 11일부터 2주 간격으로 병해충을 조사하면서 친환경방제구에는 어독성 조사결과 선



발된 유기농업자재를, 관행방제구에는 적용 농약을, 무처리구에는 물을 처리하였다. 총채벌레 피해는 상추 잎에 발생한 총채벌레 식혼 수를 조사하였고, 흰가루병은 상추 잎에 발생하는 병반 수를 조사였다. 생육특성은 초장, 엽장, 엽폭, SPAD, 생체중 등을 농촌진흥청 조사기준에 따라 조사하였다. 가을재배는 여름재배와 같은 품종을 8월 18일 육묘실에서 파종하여 9월 14일 재배 베드에 정식하였다. 병해충 조사와 생육특성 조사는 여름재배와 같은 방법으로 실시하였다. 2024년 봄재배는 카이피라, 볼라레, 로메인 등 상추 3품종을 1월 15일 육묘실에서 파종하여 2월 7일 재배 베드에 정식하였고, 여름재배는 봄재배와 동일한 품종을 5월 23일 육묘실에서 파종하여 6월 26일 재배 베드에 정식하였다. 병해충 조사와 생육특성 조사는 2023년과 같은 방법으로 실시하였다.

<시험 3> 아쿠아포닉스 친환경 병해충 관리기술 농가실증

<시험 1> 에서 선발된 어독성이 낮은 유기농업자재를 활용하여 2025년 5월부터 10월까지 평택과 안산의 아쿠아포닉스 2개 농가에서 실증시험을 추진하였다. 갈색무늬병, 흰가루병 등의 병 관리를 위하여 균○○, 울○○ 등 유기농업자재를, 총채벌레, 진딧물, 나방류 등 해충 관리를 위하여 참○, 뉴○○, 웅○○, 어○○ 등 유기농업자재를 병해충 발생 초기 농가에서 주 1회(필요시 주 2회, 2주 1회 가능) 처리하였다. 병해충 발생 조사는 2주 간격으로 상추(품종: 카이피라)를 반복별 10주씩 채취하여 실험실에서 조사하였다. 안산 농가의 담액식 아쿠아포닉스 시스템의 베드에 발생하는 슬러지에 깔다구가 다량 발생하여 이를 방제하기 위해 미꾸라지의 깔다구 유충 일일 포식량 및 방제효과를 검토하였다. 30×20×20cm 플라스틱 사육상자에 하루 절식한 미꾸라지 한 마리와 깔다구 유충 500마리를 넣고 24h 후 포식량을 조사하였다. 8월 13일에 1.2×30m 베드(물높이 30cm)에 미꾸라지 47마리를 넣고, 일주일 간격으로 베드 바닥 슬러지를 12×10cm 사각뜯채를 이용하여 20cm 길이로 1회씩 5반복으로 긁어서 채취 후 깔다구 유충 수를 조사하였다. 9월 3일과 17일에는 같은 방법으로 슬러지를 채취하여 무게를 측정하고 깔다구 유충 수를 조사 후 슬러지 무게를 80g으로 기준으로 환산하여 통일성을 기하였다.

3. 결과 및 고찰

<시험 1> 아쿠아포닉스 병해충 관리용 유기농업자재 어독성 조사

병해 관리용 유기농업자재로 모○○균, 탐○○ 등 3종은 희석배수 1~3배의 고농도에서도 잉어(치어) 생존율이 85.7% 이상으로 어독성이 매우 낮았으며, 균○○, 울○○은 희석배수 500배 이하에서 잉어(치어) 생존율이 100%로 아쿠아포닉스에 활용가능한 유기농업자재로 선발하였다(표 1).



표 1. 병해 관리용 유기농업자재 처리 후 일정시간 경과별 잉어(치어) 생존율(%)

유기농업자재	모○○균	탑○○	모○○○○○○○	균○○	울○○
회석배수 [↓]	1배	2배	3배	×250	×500
경과시간					
처리 후 1h	100	100	100	100	100
처리 후 2h	100	100	100	100	100
D+1 오후	85.7	100	85.7	100	100
D+1 오후	85.7	100	85.7	100	100
D+2 오전	85.7	100	85.7	100	100
D+2 오후	85.7	100	85.7	100	100
D+3 오전	85.7	100	85.7	100	100
D+3 오후	85.7	100	85.7	100	100
D+4 오전	85.7	100	85.7	100	100
D+4 오후	85.7	100	85.7	100	100

[↓] 유기농업자재별 사용시 추천한 회석액을 다시 회석한 배수

해충 관리용 유기농업자재로 어○○, 솔○○ 등 미생물제제는 회석배수 3배의 고농도에서도 잉어(치어) 생존율이 85.7% 이상으로 어독성이 매우 낮았으며, 뉴○○, 모○○충 등 6종은 회석배수 500배 이하에서 잉어(치어) 생존율이 85.7% 이상으로 아쿠아포닉스에 활용가능한 유기농업자재로 선발하였다(표 2).

표 2. 해충 관리용 유기농업자재 처리 후 일정시간 경과별 잉어(치어) 생존율(%)

유기농업자재	어○○	솔○○	뉴○○	모○○충	충○○	웅○○	참○	멜○○
회석배수 [↓]	3배	3배	125배	200배	200배	300배	350배	500배
경과시간								
처리 후 1h	100	100	100	100	100	100	100	100
처리 후 2h	100	100	85.7	100	100	100	100	100
D+1 오전	100	100	85.7	100	85.7	100	100	85.7
D+1 오후	100	100	85.7	100	85.7	100	100	85.7
D+2 오전	100	100	85.7	100	85.7	100	100	85.7
D+2 오후	100	100	85.7	100	85.7	100	100	85.7
D+3 오전	100	85.7	85.7	100	85.7	100	100	85.7
D+3 오후	100	85.7	85.7	100	85.7	100	100	85.7
D+4 오전	85.7	85.7	85.7	100	85.7	100	100	85.7
D+4 오후	85.7	85.7	85.7	100	85.7	100	100	85.7

[↓] 유기농업자재별 사용시 추천한 회석액을 다시 회석한 배수

병해충 관리용 유기농업자재로 아인산염, 자닢오일 등 4종은 희석배수 10~20배의 고농도에서도 잉어(치어) 생존율이 85.7% 이상으로 어독성이 매우 낮아 아쿠아포닉스에 활용가능한 유기농업자재로 선발하였다(표 3).

표 3. 병해충관리용 유기농업자재 처리 후 일정시간 경과별 잉어(치어) 생존율(%)

유기농업자재	아인산염	자닢오일	난황유	자닢황
희석배수 [↓]	10배	10배	15배	20배
경과시간				
처리 후 1h	100	100	100	100
처리 후 2h	100	100	100	100
D+1 오전	100	100	100	100
D+1 오후	100	100	100	100
D+2 오전	100	100	100	85.7
D+2 오후	100	100	100	85.7
D+3 오전	100	100	85.7	85.7
D+3 오후	100	100	85.7	85.7
D+4 오전	100	85.7	85.7	85.7
D+4 오후	100	85.7	85.7	85.7

[↓] 유기농업자재별 사용시 추천한 희석액을 다시 희석한 배수

유기농업자재의 상추 갈색무늬병 발병 전 예방 관리에서 2종의 유기농업자재에서 무처리에 비해 1차에서 86.7~93.4%, 2차에서 54.9~67.4%의 방제효과를 갖는 결과를 나타내었다(표 4). 유기농업자재의 상추 갈색무늬병 발병 후 방제 관리에서 2종의 유기농업자재에서 무처리에 비해 1차에서 76.9~78.5%, 2차에서 75.5~76.2%의 방제효과를 갖는 결과를 나타내었다(표 5).

표 4. 주요 유기농업자재의 상추(품종: 카이피라) 갈색무늬병 발병 전 예방 관리 효과

차수	유기농업자재	희석배수	병반수(개/주)				평균	방제가 (%)
			1반복	2반복	3반복			
1차	균○○	1000	16	3	3	7.3	93.4	
	울○○	1000	12	5	27	14.7	86.7	
	무처리	-	100	33	198	110.3	-	
2차	균○○	1000	2	8	9	6.3	67.4	
	울○○	1000	9	6	11	8.6	54.9	
	무처리	-	30	15	13	19.3	-	

표 5. 주요 유기농업자재의 상추(품종: 카이피라) 갈색무늬병 발병 후 방제 관리 효과

차수	유기농업자재	희석배수	병반수(개/주)				방제가 (%)
			1반복	2반복	3반복	평균	
1차	균○○	1000	18	16	20	18.0	78.5
	올○○	1000	29	16	13	19.3	76.9
	무처리	-	111	68	72	83.7	-
2차	균○○	1000	16	27	8	17.0	76.2
	올○○	1000	19	16	-	11.7	75.5
	무처리	-	87	54	73	71.3	-

유기농업자재의 총채벌레 관리효과 조사에서 2종의 유기농업자재에서 처리 48h 후 보정 사충율이 81.5~87.2%이었으며, 난황유에서 62.6% 이었다(표 6).

표 6. 주요 유기농업자재 종류별 꽃노랑총채벌레 성충의 살충효과

유기농업자재	희석배수	보정 사충률(%)	
		24시간	48시간
뉴○○	500배	85.9	87.2
참○	660배	73.6	81.5
난황유	0.3%	17.7	62.6

본 시험에서 어독성이 낮은 것으로 선발된 유기농업자재의 종류 및 주요 성분은 표 7과 같다(국립농산물품질관리원, 2026).

표 7. 주요 유기농업자재 종류 및 성분

종류	유기농업자재	주요 성분
병해관리	모○○균	미생물추출물 1%, 목초액 5%
	탑○○	미생물(<i>Paenibacillus polymyxa</i>) 98.55%
	모○○○○○○○	황 20%
	균○○	목초액 20%, 정향추출물 70%
	올○○	미생물배양액(<i>Paenibacillus polymyxa</i>) 50%
해충관리	어○○	미생물배양물(<i>Bacillus thuringiensis</i>) 50%
	솔○○	미생물(<i>Bacillus thuringiensis</i>) 87.7%
	뉴○○	미생물추출물 20%, 식물추출물 25%, 정향나무추출물 25%
	모○○충	넙추출물 18%
	충○○	시트로넬라오일 2%, 파라핀오일 95%
	웅○○	데리스추출물 60%, 정향유 10%
기타 (병해충 관리)	참○	고삼추출물 57.75%
	멜○○	채종유 15%, 고삼추출물 75%, 계피추출물 0.5%
	아인산염	H ₃ PO ₃ , KOH
	자닭오일	카롤라유, 가성가리, 연수
	난황유	계란 노른자, 식용유
	자닭유황	유황, 천매암, 황토, 천일염, 가성소다



<시험 2> 유기농업자재 아쿠아포닉스 병해충 방제효과 조사

가. 2023년 아쿠아포닉스 병해충 발생 및 생육특성

2023년 여름재배에서 흰가루병 발생은 매주 낮았으며, 총채벌레는 무처리 모든 품종에서 발생이 많았고, 친환경방제구는 카이피라 품종에서 관행방제구보다 적었고, 블라레, 로메인 품종에서 관행방제구와 비슷한 경향이였다(그림 2). 생체중은 친환경방제구에서 다른 처리와 비슷하거나 낮은 경향이였다(표 8).

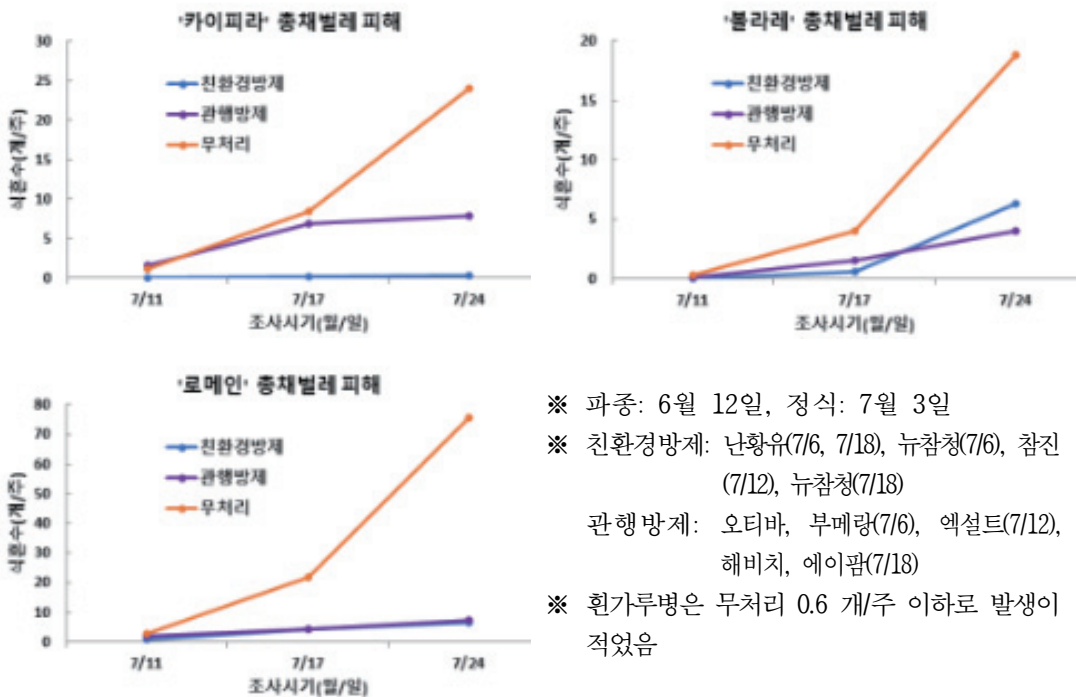


그림 2. 2023년 상추 여름재배 처리별 병해충 발생 상황



표 8. 2023년 여름재배 처리별 상추 생육특성

품종	처리	초장(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	SPAD	생체중 ¹ (g/주)
카이피라	친환경방제	18.6	17.0	13.0	25.4	61.1b
	관행방제	20.3	18.5	13.6	28.4	81.3a
	무처리	19.7	18.9	13.8	27.0	69.8ab
볼라레	친환경방제	17.0	17.0	11.7	27.3	81.9a
	관행방제	15.6	15.8	11.9	27.4	96.3a
	무처리	19.9	19.0	12.5	27.8	76.8a
로메인	친환경방제	29.9	25.3	12.2	33.2	121.9a
	관행방제	31.6	25.4	12.7	33.1	126.4a
	무처리	34.3	25.1	12.1	33.3	113.5a

※ 파종: 6월 12일, 정식: 7월 3일, 수확: 7월 26일

¹DMRT at 5% level

2023년 가을재배에서 흰가루병 발생은 없었으며, 총채벌레는 무처리 모든 품종에서 발생이 많았고, 관행방제구는 발생이 매우 낮았으며, 친환경방제구는 중간이었다(그림 3). 생체중은 관행방제구에서 제일 높았고, 친환경방제구는 관행방제구와 무처리의 중간이었으며, 카이피라 품종에서 무처리와 비슷한 경향이었다(표 9).

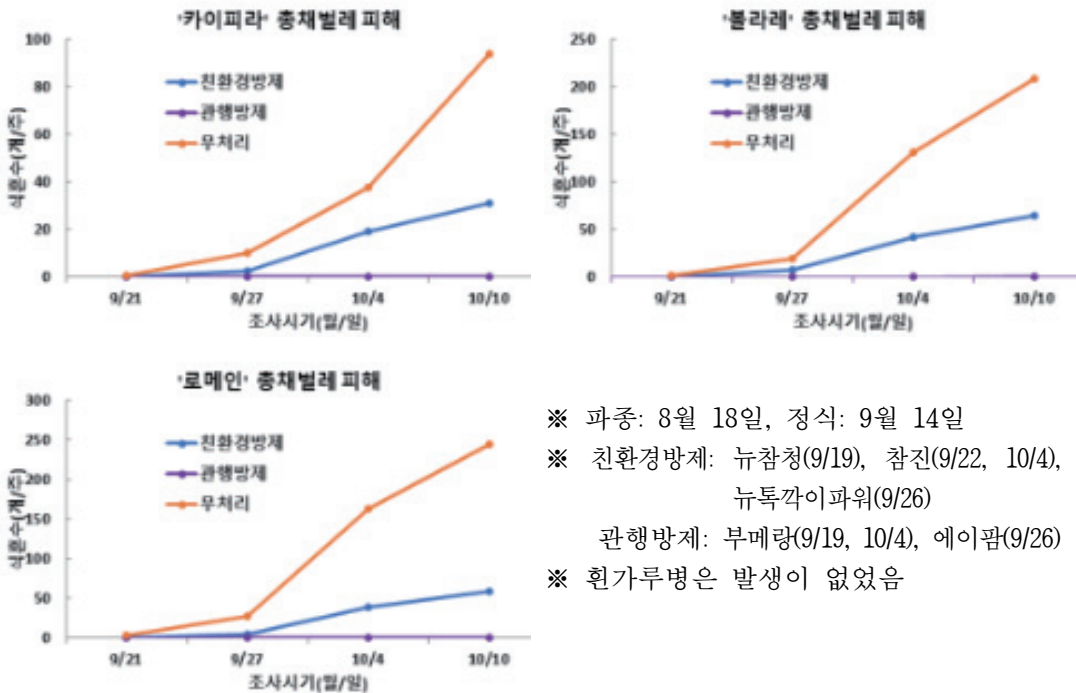


그림 3. 2023년 상추 가을재배 처리별 병해충 발생 상황



표 9. 2023년 가을재배 처리별 상추 생육특성

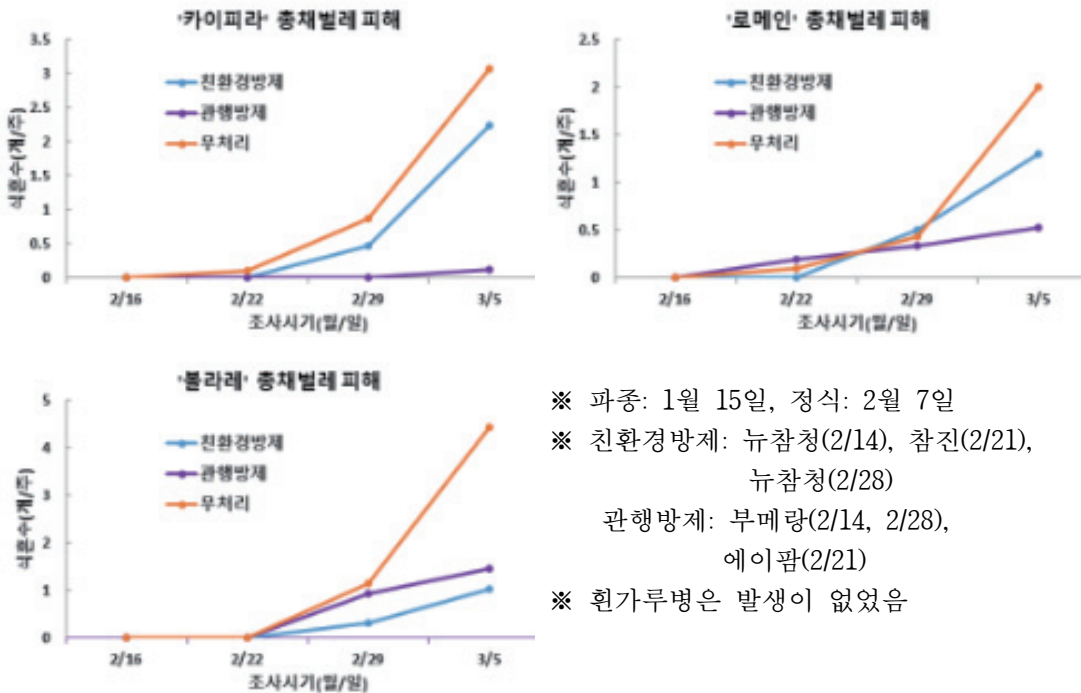
품종	처리	초장(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	SPAD	생체중 ¹ (g/주)
카이피라	친환경방제	17.1	17.2	13.5	25.5	68.8b
	관행방제	17.9	17.8	15.9	28.0	103.0a
	무처리	18.4	18.6	14.2	24.2	65.0b
볼라레	친환경방제	14.3	14.2	12.8	29.4	95.7b
	관행방제	16.0	15.6	13.2	27.4	157.6a
	무처리	15.9	15.8	13.8	29.7	63.8b
로메인	친환경방제	28.4	26.9	12.6	39.2	109.1b
	관행방제	27.4	26.0	12.4	31.4	141.0a
	무처리	27.1	25.7	12.0	34.3	58.0c

※ 파종: 8월 18일, 정식: 9월 14일, 수확: 10월 10일

¹DMRT at 5% level

나. 2024년 아쿠아포닉스 병해충 발생 및 생육특성

2024년 봄재배에서 흰가루병은 발생이 없었으며, 총채벌레 식혼은 볼라레 무처리구에서 주당 4개로 가장 많았고, 친환경방제구와 관행방제구에서는 모든 품종에서 무처리구에 비해 발생이 적었다(그림 4). 수량은 3품종 모두 관행방제구에서 높았으며, 친환경방제구와 무처리구에서는 비슷한 경향이었으나 통계적으로는 유의성이 없었다(표 10).



※ 파종: 1월 15일, 정식: 2월 7일

※ 친환경방제: 뉴참청(2/14), 참진(2/21), 뉴참청(2/28)

관행방제: 부메랑(2/14, 2/28), 에이팜(2/21)

※ 흰가루병은 발생이 없었음

그림 4. 2024년 상추 봄재배 처리별 병해충 발생 상황

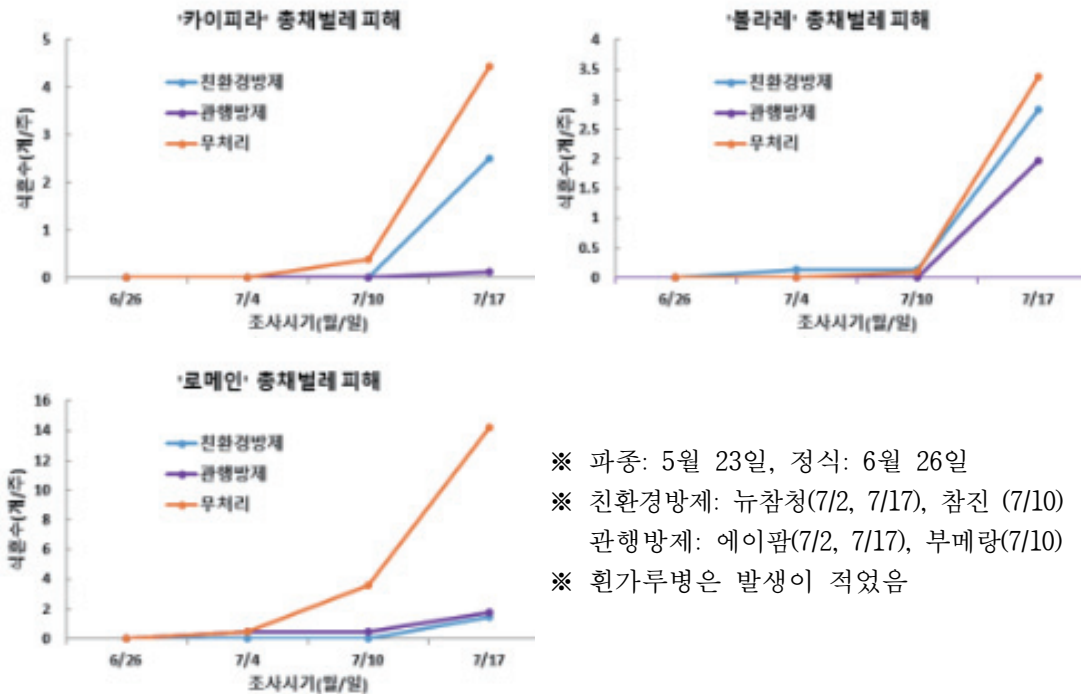


표 10. 2024년 봄재배 처리별 상추 생육특성

품종	처리	초장(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	SPAD	생체중 ^J (g/주)
카이피라	친환경방제	19.4	17.6	14.5	23.7	116.8a
	관행방제	21.2	19.0	15.3	23.7	130.9a
	무처리	20.6	18.1	13.4	22.2	106.7a
후로메인	친환경방제	28.9	25.3	12.3	32.9	131.7a
	관행방제	30.2	28.2	14.3	30.8	156.6a
	무처리	32.4	27.1	13.1	30.7	133.4a
볼라레	친환경방제	18.1	15.2	10.7	25.0	106.6a
	관행방제	18.1	16.5	12.5	23.1	126.1a
	무처리	19.7	17.6	12.1	24.2	115.4a

※ 파종: 1월 15일, 정식: 2월 7일, 수확: 3월 6일
^JDMRT at 5% level

2024년 여름재배에서 총채벌레 식혼은 로메인 무처리구에서 주당 15개로 가장 많았고, 친환경방제구와 관행방제구에서는 모든 품종에서 무처리구에 비해 발생이 적었다(그림 5). 수량은 3품종 모두 관행방제구와 관행방제구에서 무처리구에 비해 높은 경향이 있었다(표 11).



※ 파종: 5월 23일, 정식: 6월 26일
 ※ 친환경방제: 뉴참침(7/2, 7/17), 참진 (7/10)
 관행방제: 에이팜(7/2, 7/17), 부메랑(7/10)
 ※ 흰가루병은 발생이 적었음

그림 5. 2024년 상추 여름재배 처리별 병해충 발생 상황

표 11. 2024년 여름재배 처리별 상추 생육특성

품종	처리	초장(cm)	엽장(cm)	엽폭(cm)	SPAD	생체중 ¹ (g/주)
카이피라	친환경방제	18.7	16.3	12.3	23.8	98.6ab
	관행방제	20.2	16.6	12.1	20.5	103.2a
	무처리	20.6	14.8	8.9	23.2	74.9b
흑로메인	친환경방제	32.0	24.5	11.8	30.4	180.9a
	관행방제	31.1	24.0	11.6	27.8	174.2a
	무처리	35.8	23.2	10.0	29.9	140.6b
볼라레	친환경방제	19.4	14.7	10.8	26.7	111.0a
	관행방제	16.4	15.4	10.1	28.0	100.1a
	무처리	17.0	16.6	8.5	22.2	80.8b

※ 파종: 5월 23일, 정식: 6월 26일, 수확: 7월 23일
¹DMRT at 5% level

<시험 3> 아쿠아포닉스 친환경 병해충 관리기술 농가실증

표 12에서와 같이 5월부터 10월까지 평택 농가에서 해충 방제를 위해 뉴○○ 14회, 참○ 10회, 응○○ 6회, 어○○ 3회를 처리하였고, 병해 방제를 위해 올○○을 5회를 처리하였고, 유기농업자재 처리에 의한 어류 피해는 없었다. 안산 농가에서 해충 방제를 위해 뉴○○ 10회, 참○ 10회, 응○○ 2회, 어○○ 2회를 처리하였고, 병해 방제를 위한 처리는 없었으며, 유기농업자재 처리에 의한 어류 피해는 없었다.

표 12. 아쿠아포닉스 농가별 유기농업자재 처리 및 물고기 피해

기간 (월/일)	평택		안산	
	유기자재 처리	어류 피해	유기자재 처리	어류 피해
5/1~10	5/2 뉴○○, 5/5 뉴○○	-	5/5 뉴○○	-
5/11~20	5/18 올○○, 5/20 뉴○○	-	5/11 뉴○○, 5/18 뉴○○	-
5/21~31	5/25 뉴○○	-	5/25 참○	-
6/1~10	6/1 참○, 6/4 참○, 6/7 참○	-	6/1 참○, 6/3 응○○, 6/8 뉴○○, 6/10 뉴○○	-
6/11~20	6/11 참○, 6/13 올○○, 6/17 응○○, 6/20 뉴○○	-	-	-
6/21~30	6/28 참○	-	6/29 뉴○○	-
7/1~10	7/1 뉴○○, 7/6 뉴○○, 7/9 참○	-	7/6 참○, 7/8 응○○	-
7/11~20	-	-	7/13 참○, 7/16 참○, 7/20 뉴○○	-
7/21~31	7/22 참○	-	7/27 뉴○○	-
8/1~10	8/1 올○○, 8/5 올○○	-	-	-
8/11~20	-	-	8/12 응○○	-
8/21~31	8/21 참○, 8/25 올○○, 8/29 응○○	-	8/21 참○, 8/27 참○, 8/31 응○○	-
9/1~10	9/3 뉴○○, 9/5 참○ 9/9 뉴○○	-	9/4 뉴○○, 9/7 뉴○○, 9/9 뉴○○	-
9/11~20	9/15 참○	-	9/14 참○, 9/17 응○○, 9/20 어○○	-
9/21~30	9/22 어○○, 9/30 어○○	-	9/21 어○○, 뉴○○, 9/24 뉴○○, 9/28 참○, 9/30 응○○	-
10/1~10	-	-	10/7 참○, 어○○, 10/8 뉴○○	-
10/11~20	-	-	-	-

2024년 경기북부에서 대발생하였던 갈색무늬병(갈반병)은 2025년에는 발생이 많지 않았고, 평택과 안산에서도 8~9월에 병반수가 최고 1.0개/주이었으며, 흰가루병은 발생하지 않았다(그림 12). 나방류는 양배추은무늬밤나방, 왕담배나방 등이 발생하여 8월에 피해엽수 7.0개/주로 많이 발생하였다(그림 13). 총채벌레는 8월에 피해를 많이 주었으며, 총채벌레가 먹은 흔적의 수(식흔수)는 최고 8.2개/주, 피해엽수는 최고 1.7엽/주 이었다(그림 14). 두 농가에서 주로 발생하는 굴파리로는 완두굴파리의 피해가

심하였으며 피해 식혼 수가 5월에 최고 120.2개/주, 피해엽수는 최고 10.5개/주 이었다(그림 15). 진딧물은 5월에 최고 3.6마리/주 이었으나 이후 발생이 없었다(그림 16).



그림 12. 아쿠아포닉스 상추 농가의 갈색무늬병 발생상황

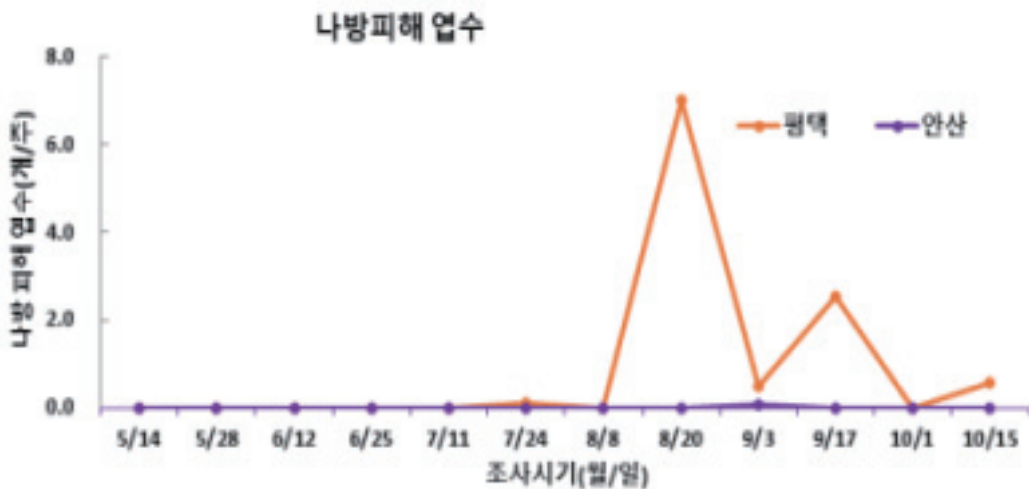


그림 13. 아쿠아포닉스 상추 농가의 나방류 피해상황

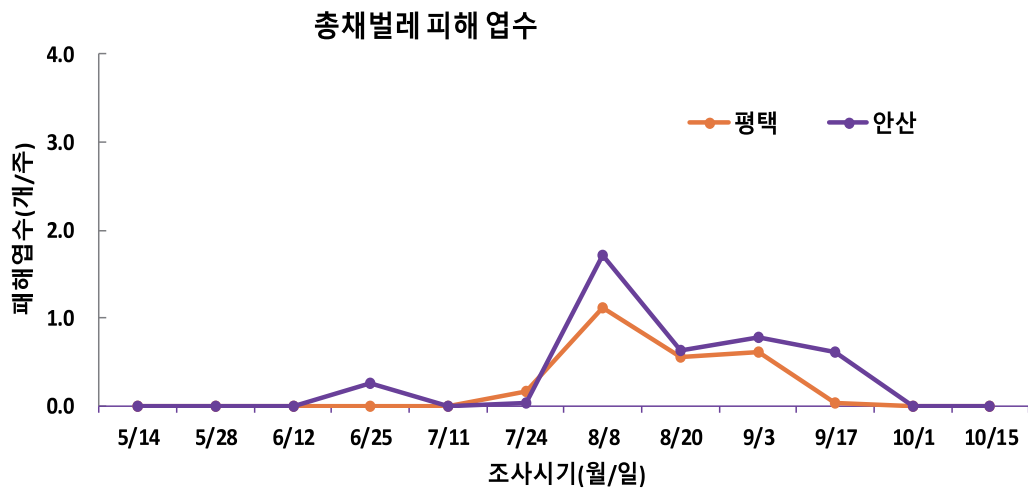
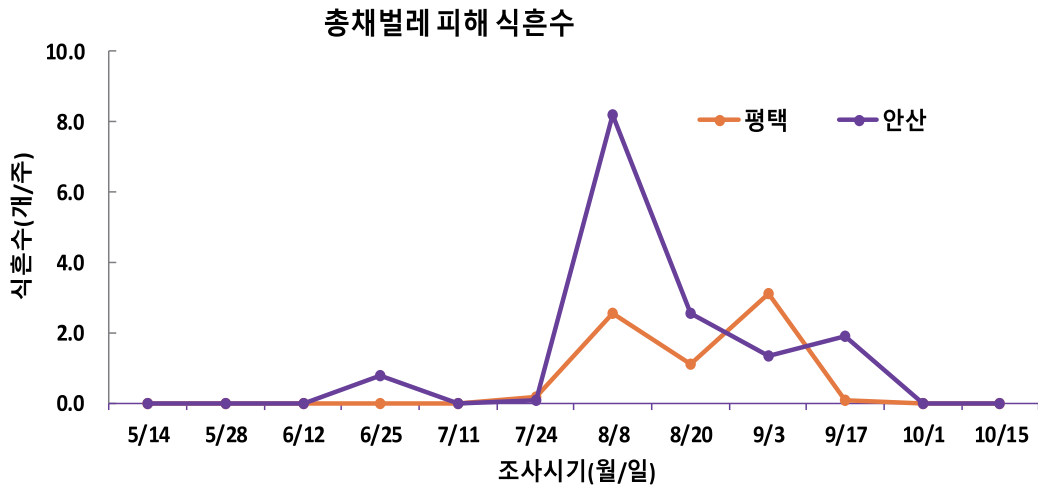


그림 14. 아쿠아포닉스 상추 농가의 총채벌레 피해상황

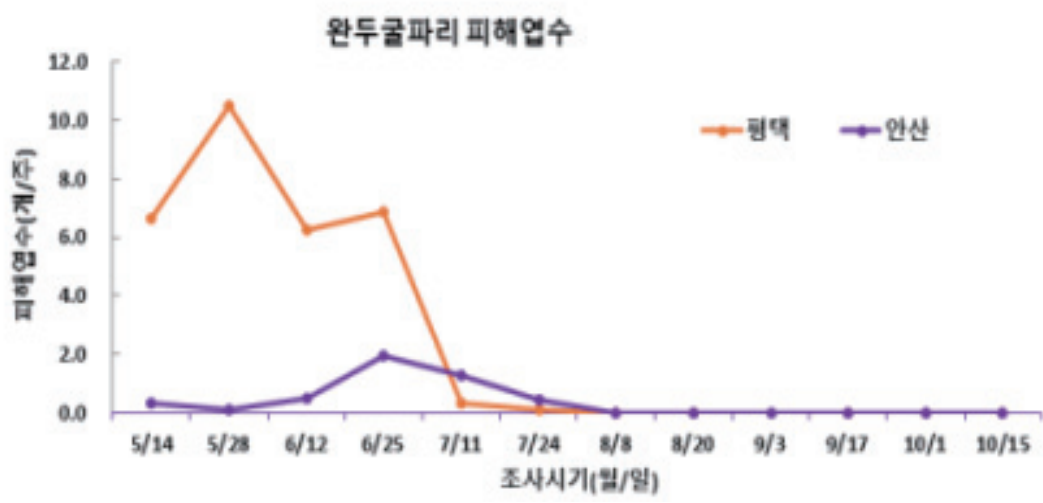
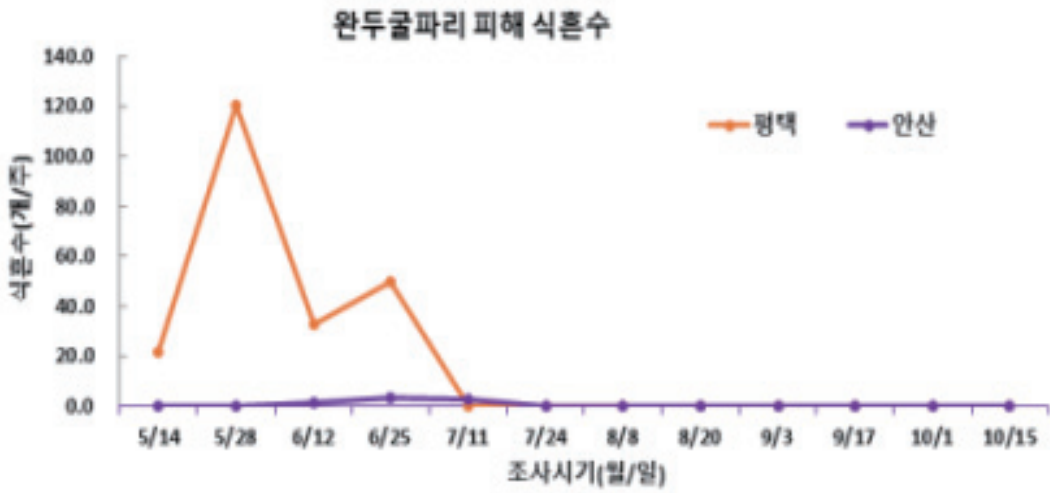


그림 15. 아쿠아포닉스 상추 농가의 완두굴파리 피해상황

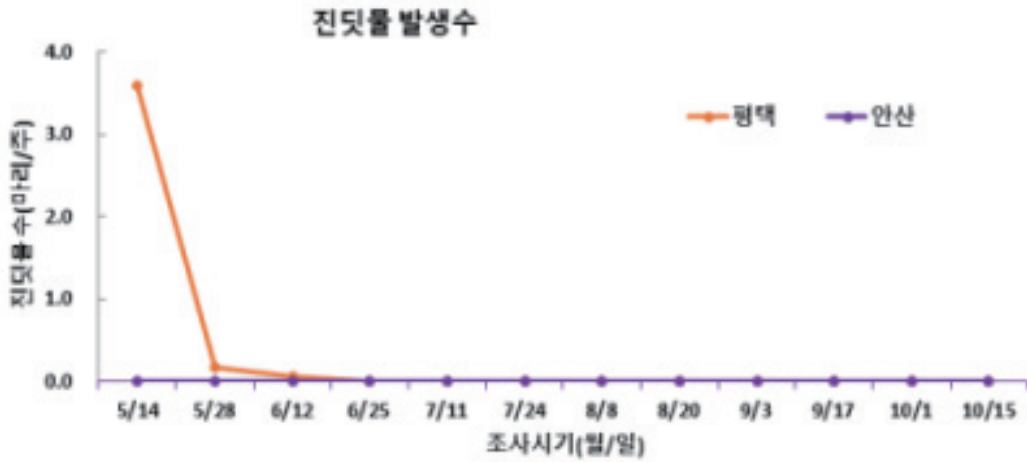


그림 16. 아쿠아포닉스 상추 농가의 진딧물 발생상황

아쿠아포닉스 농가 상추에서 주로 발생하는 흰가루병, 갈색무늬병 등 병해 2종의 피해증상과 병반, 총채벌레, 진딧물, 굴파리, 나방 등 해충 4종에 대한 피해증상 및 대표적인 해충을 사진자료로 제시하였다(그림 6~11)



흰가루병 피해주

○ 피해증상

- 잎에 흰색 가루 모양의 포자, 균사로 발생
- 피해가 심한 경우 갈변, 고사

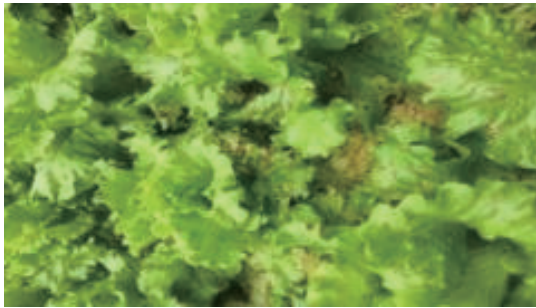


흰가루병 피해엽



흰가루병 병반

그림 6. 아쿠아포닉스에서 발생하는 흰가루병 피해

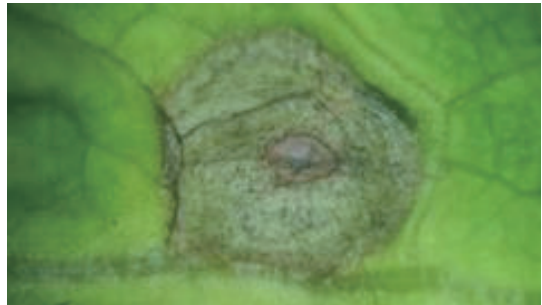


갈색무늬병 발생 포장

- 피해증상
 - 병반은 약간의 겹무늬로 나타나고, 그 중앙에 회색 반점 형성
 - 피해가 심한 경우 갈변, 고사



갈색무늬병 발생 상추엽



갈색무늬병 병반

그림 7. 아쿠아포닉스에서 발생하는 갈색무늬병 피해



총채벌레 피해 성숙 엽

- 피해증상
 - 잎에 흰반점, 기형, 생육위축 유발
 - 상추 토마토반점위조바이러스(TSWV) 전파 가능
 - 꽃노랑총채벌레



총채벌레 피해 유엽



꽃노랑총채벌레 성충

그림 8. 아쿠아포닉스에서 발생하는 총채벌레 피해



진딧물 피해주

○ 피해증상

- 신초를 가해하며 기형엽, 그을음 증상 유발
- 상추 모자이크바이러스(LMV) 전파 가능
- 복숭아혹진딧물, 목화진딧물 등

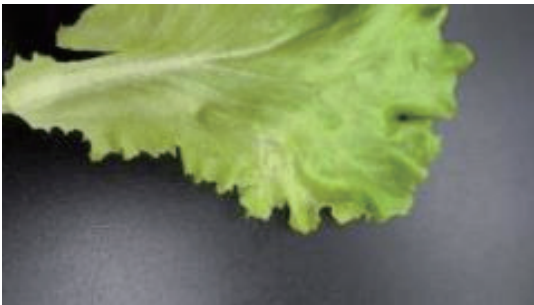


진딧물 피해엽



복숭아혹진딧물 유충

그림 9. 아쿠아포닉스에서 발생하는 진딧물 피해



굴파리 피해엽

○ 피해증상

- 유충이 잎속에 굴을 뚫어 가해
- 성충은 흡즙, 산란으로 잎에 작은 반점 형성
- 완두굴파리, 아메리카잎굴파리 등



굴파리 피해증상



완두굴파리 성충

그림 10. 아쿠아포닉스에서 발생하는 굴파리 피해



나방류 피해(식혼 및 유충 배설물)

○ 피해증상

- 잎을 갉아먹어 직접적 수확량 감소
- 배설물 확인으로 조기 확인 가능
- 양배추은무늬밤나방, 파밤나방, 담배거세미나방 등



양배추은무늬밤나방 유충



양배추은무늬밤나방 성충

그림 11. 아쿠아포닉스에서 발생하는 나방 피해

담액식 아쿠아포닉스 시스템의 베드에 발생하는 슬러지에 깔다구가 증식하여 피해를 주는 사례가 발생하였다. 깔다구는 알→유충→번데기→성충의 완전변태를 하는 수서 곤충으로 유충은 물속의 유기물을 먹고 산다. 성충은 모기와 비슷하게 생겼지만 흡혈하지 않고, 입이 퇴화되어 먹이활동을 하지 않으며 교미와 산란만 하기 때문에 상추 재배에 직접적인 피해를 주지는 않는다. 하지만 농작업 하는 사람의 작업효율을 떨어뜨리고 사체가 상추에 묻어 상품성을 떨어뜨리는 피해를 준다(그림 16).

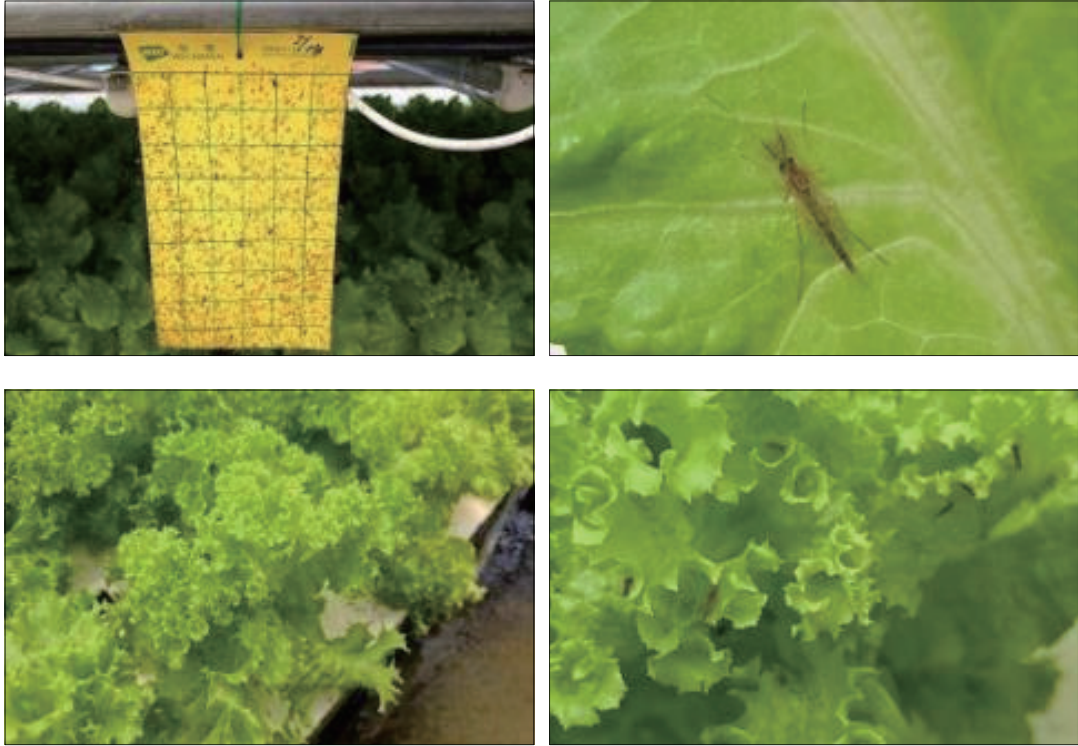


그림 16. 장수깥다구에 의한 상추의 피해

(좌상: 끈끈이트랩에 붙은 깥다구, 우상: 깥다구 성충, 좌하, 우하: 상추에서 죽은 깥다구)

천적으로 알려진 미꾸라지의 깥다구 포식량을 확인한 결과, 미꾸라지 1마리가 24시간 동안 포식하는 장수깥다구 유충 수는 217마리로 장수깥다구 방제를 위한 천적으로서의 가능성을 확인하였다(표 13). 아쿠아포닉스 담액식 베드에 미꾸라지를 투입하고 8월 13일, 20일에는 베드 아래에 있는 슬러지를 채취하여 서식하고 있는 깥다구 유충수를 조사하였는데, 슬러지 량에 따라 유충의 수가 달라질 수 있을 가능성이 있었다. 이를 해결하기 위해 9월 3일과 17일 조사에서는 슬러지 전체량을 측정 후 유충수를 조사하고, 처리구와 무처리구의 슬러지량을 80g 기준으로 환산하여 유충 수를 반영하였다. 9월 17일 조사에서는 미꾸라지 처리구에서 깥다구 유충 발생이 없었다(그림 14).



표 13. 미꾸라지 1마리의 장수깍다구 유충 24시간 포식수

처리내용	깍다구 유충 포식수(마리/미꾸라지 1마리)			
	1반복	2반복	3반복	평균
미꾸라지	237	331	264	277.3
무처리	-	-	-	67

표 14. 아쿠아포닉스 베드에서 미꾸라지의 장수깍다구 유충 방제효과

처리내용	깍다구 유충수(마리/베드)			
	8/13	8/20	9/3	9/17
미꾸라지 투입	807	1,131	487	0
무처리	509	1,403	544	424

※ 베드 크기: 1.2 × 30m (물높이 30cm)

※ 미꾸라지 투입: 47마리 (8/13)

※ 8/13, 8/20에는 베드 바닥 슬러지를 12×10cm 사각틀채로 20cm 길이로 1회 5반복으로 긁어서 채취 후 깍다구 유충 조사 9/3, 9/17에는 같은 방법으로 슬러지 채취 후 무게를 80g으로 환산하여 깍다구 유충 조사

4. 적요

아쿠아포닉스 상추재배에서 발생할 수 있는 병해충을 친환경적으로 관리하기 위해 유기농업자재의 어독성을 조사하고 방제효과를 조사한 결과는 다음과 같다.

<시험 1> 아쿠아포닉스 병해충 관리용 유기농업자재 어독성 조사

- 가. 병해 관리용 유기농업자재로 모○○균, 탑○○ 등 3종은 희석배수 1~3배의 고농도에서도 잉어(치어) 생존율이 85.7% 이상으로 어독성이 매우 낮았으며, 균○○, 올○○은 희석배수 500배 이하에서 잉어(치어) 생존율이 100%로 아쿠아포닉스에 활용가능한 유기농업자재로 선발하였다.
- 나. 해충 관리용 유기농업자재로 어○○, 솔○○ 등 미생물제제는 희석배수 3배의 고농도에서도 잉어(치어) 생존율이 85.7% 이상으로 어독성이 매우 낮았으며, 뉴○○, 모○○충 등 6종은 희석배수 500배 이하에서 잉어(치어) 생존율이 85.7% 이상으로 아쿠아포닉스에 활용가능한 유기농업자재로 선발하였다.
- 다. 병해충 관리용 유기농업자재로 아인산염, 자담오일 등 4종은 희석배수 10~20배의 고농도에서도 잉어(치어) 생존율이 85.7% 이상으로 어독성이 매우 낮아 아쿠아포닉스에 활용가능한 유기농업자재로 선발하였다.
- 라. 유기농업자재의 상추 갈색무늬병 발병 전 예방 관리에서 2종의 유기농업자재에서 무처리에 비해 1차에서 86.7~93.4%, 2차에서 54.9~67.4%의 방제효과를 갖는 결과를 나타내었다(표 5). 유기농업자재의 상추 갈색무늬병 발병 후 방제 관리에

서 2종의 유기농업자재에서 무처리에 비해 1차에서 76.9~78.5%, 2차에서 75.5~76.2%의 방제효과를 갖는 결과를 나타내었다.

- 마. 유기농업자재의 총채벌레 관리효과 조사에서 2종의 유기농업자재에서 처리 48h 후 보정 사충율이 81.5~87.2%이었으며, 난황유에서 62.6% 이었다.

<시험 2> 유기농업자재 아쿠아포닉스 병해충 방제효과 조사

- 가. 2023년 여름재배에서 흰가루병 발생은 매우 낮았으며, 총채벌레는 무처리 모든 품종에서 발생이 많았고, 친환경방제구는 카이피라 품종에서 관행방제구보다 적었고, 블라레, 로메인 품종에서 관행방제구와 비슷한 경향이었음. 생체중은 친환경방제구에서 다른 처리와 비슷하거나 낮은 경향이였다.
- 나. 2023년 가을재배에서 흰가루병 발생은 없었으며, 총채벌레는 무처리 모든 품종에서 발생이 많았고, 관행방제구는 발생이 매우 낮았으며, 친환경방제구는 중간이었음. 생체중은 관행방제구에서 제일 높았고, 친환경방제구는 관행방제구와 무처리의 중간이었으며, 카이피라 품종에서 무처리와 비슷한 경향이였다.
- 다. 2024년 봄재배에서 흰가루병은 발생이 없었으며, 총채벌레 식혼은 블라레 무처리구에서 주당 4개로 가장 많았고, 친환경방제구와 관행방제구에서는 모든 품종에서 무처리구에 비해 발생이 적었음. 수량은 3품종 모두 관행방제구에서 높았으며, 친환경방제구와 무처리구에서는 비슷한 경향이였다.
- 라. 2024년 여름재배에서 총채벌레 식혼은 로메인 무처리구에서 주당 15개로 가장 많았고, 친환경방제구와 관행방제구에서는 모든 품종에서 무처리구에 비해 발생이 적었음. 수량은 3품종 모두 친환경방제구와 관행방제구에서 무처리구에 비해 높은 경향이였다.

<시험 3> 아쿠아포닉스 친환경 병해충 관리기술 농가실증

- 가. 평택 농가에서 해충 방제를 위해 뉴○○ 14회, 참○ 10회, 응○○ 6회, 어○○ 3회를 처리하였고, 병해 방제를 위해 올○○을 5회를 처리하였고, 유기농업자재 처리에 의한 어류 피해는 없었음. 안산 농가에서 해충 방제를 위해 뉴○○ 10회, 참○ 10회, 응○○ 2회, 어○○ 2회를 처리하였고, 병해 방제를 위한 처리는 없었으며, 유기농업자재 처리에 의한 어류 피해는 없었다.
- 나 갈색무늬병은 평택, 안산 농가에서 8~9월에 발생은 하였으나 주당 병반 1개 이하로 피해가 적었으며, 흰가루병 발생은 없었다.
- 다. 양배추은무늬밤나방 등 나방류 피해가 평택 농가에서 8월에 발생하여 피해엽수가 최고 주당 7.0엽으로 피해가 많았으며, 평택 농가에서 완두굴파리의 5~6월에 피해엽수가 최고 주당 10.5엽으로 피해가 심하였다.
- 라. 진딧물은 평택 농가에서 5월에 발생은 하였으나 피해는 적었고, 총채벌레는 평택, 안산 농가에서 8~9월에 피해엽수가 최고 주당 1.7엽으로 피해가 많았다.
- 마. 아쿠아포닉스 농가 상추에서 주로 발생하는 흰가루병, 갈색무늬병 등 병해 2종의 피해증상과 병반, 총채벌레, 진딧물, 굴파리, 나방 등 해충 4종에 대한 피해증상 및 대표적인 해충을 사진자료로 제시하였다.
- 바. 아쿠아포닉스 베드에 발생하는 깔다구 유충은 미꾸라지로 방제가 가능하였다.

5. 인용 문헌

국립농산물품질관리원, 2026. <https://www.naqs.go.kr/hp/contents/contentsTab.do?menuId=MN50068>

김진영, 김대균, 최란선, 황지은, 원선이, 이동훈, 2021. 아쿠아포닉스 채소재배기술 농가현장실증. 경기도농업기술원 2021년도 시험연구보고서 288-301.

이현진, 최기영, 장매희, 최은영, 2022. 식물공장형 아쿠아포닉스에서 산채 갯기름의 광합성, 생육 및 수량 특성. 생물환경조절학회지 31(1): 67-76.

전홍용, 김형환, 2006. 친환경 시설상추에서 작기별 주요 해충의 피해와 발생소장. 한국응용곤충학회지 45(3): 275-282.

Diver, S., 2006. Aquaponics—Integration of hydroponics with aquaculture.

Love, D.C., Fry, J.P., Genello, L., Hill, E.S., Frederick, J.A., Li, X., Semmens, K., 2014. An international survey of aquaponics practitioners.

Rakocy, J.E., Masser, M.P., Losordo, T.M., 2006. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating fish and plant culture.

Silva, C. M., Dos Santos, F. E., Pizetta, S. C., Moreira, M., Vilela, N. J., De Moura, M. S. B., & Togni, P. H. B., 2024. Insect pests and natural enemies associated with lettuce *Lactuca sativa* in an aquaponic system. Scientific Reports, 14, 13786.

6. 연구결과 활용제목

- 아쿠아포닉스 적용 친환경자재 물고기 생존율 자료 제공(I)(영농활용, 2023년)
- 아쿠아포닉스 적용 친환경자재 물고기 생존율 자료 제공(II)(영농활용, 2024년)
- 아쿠아포닉스 상추 주요 병해충 친환경 관리 방법(영농활용, 2025년)

7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
						'23	'24	'25
아쿠아포닉스 엽채류 친환경 병해충 관리 기술 개발	책임자	원예연구과	농업연구관	이진구	세부과제총괄	○	○	○
	공동연구자	원예연구과	농업연구사	김대균	분석자료검토	○	○	-
				김윤희	분석자료검토	-	-	○
				최란선	재배관리	○	○	○
				황지은	수질분석	○	○	○
				이수연	결과검토	○	○	-
김진영	컨설팅지원	-	-	○				