



과제구분	기관고유	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
시설채소 안정생산 연구		채소	'23~'27	원예연구과	이진구
아쿠아포닉스 엽채류 친환경 생리장해 관리기술 개발		채소	'23~'25	원예연구과	이진구
색인용어	아쿠아포닉스, 상추, 생리장해, 친환경재배				

ABSTRACT

Aquaponics is a recirculating production system that combines aquaculture and hydroponics, in which nutrients derived from fish waste are absorbed by plants and the purified water is reused in the aquaculture system. This environmentally friendly agricultural technology enables efficient use of water and nutrients while minimizing the use of chemical fertilizers, and thus has been gaining increasing attention as a sustainable agricultural production method. However, in aquaponic cultivation environments, the nutrient composition of aquaculture water does not completely match the nutrient requirements necessary for optimal crop growth. As a result, deficiencies of certain mineral nutrients may occur, which can cause physiological disorders and reduced productivity in leafy vegetable crops. This study was conducted to develop eco-friendly management techniques for physiological disorders to ensure stable production of leafy vegetables in aquaponic cultivation systems. Seven lettuce cultivars were subjected to artificially induced deficiencies of iron (Fe), potassium (K), calcium (Ca), and boron (B), and their growth characteristics and physiological responses were investigated. The results showed that under iron (Fe), potassium (K), and calcium (Ca) deficiency treatments, most cultivars exhibited clear growth inhibition, including reduced fresh weight, suppressed root development, and paler leaf color. Growth inhibition was more severe when nutrient deficiencies occurred during the early growth stage. In contrast, boron deficiency did not significantly affect growth or yield in most cultivars. When iron was added to the aquaculture water in the aquaponic system, growth improved in all cultivars, with increases in SPAD values and fresh weight, indicating that iron supply positively influences chlorophyll content and enhances photosynthetic capacity. Potassium supplementation showed growth improvement in

some cultivars, although the response varied among cultivars. Taken together, these results indicate that an adequate supply of iron is essential for stable lettuce production in aquaponic systems, and nutrient management during the early growth stage is a key factor for improving productivity. The findings of this study were applied to aquaponic farms to verify their effectiveness, and an 「Eco-Friendly Management Manual for Aquaponic Lettuce Production」 was published, integrating physiological disorder management and pest and disease control strategies.

The results of this study are expected to serve as fundamental data for diagnosing physiological disorders and developing eco-friendly management practices in aquaponic leafy vegetable cultivation.

Key words: Aquaponics, Lettuce, Physiological disorder, Nutrient deficiency, Eco-friendly cultivation

1. 연구 목표

최근 기후변화와 환경 문제로 인해 지속가능한 농업 생산 시스템에 대한 관심이 증가하고 있으며, 물과 양분을 효율적으로 이용할 수 있는 친환경 재배 기술의 필요성이 커지고 있다. 아쿠아포닉스(Aquaponics)는 어류 양식과 수경재배를 결합한 순환형 생산 시스템으로, 어류 배설물에서 발생한 질소와 영양분을 식물이 흡수하여 물을 정화하고 이를 다시 양식에 이용하는 방식의 친환경 농업 기술이다(Diver, 2006; Rakocy et al., 2006; Love et al., 2014; Somerville et al., 2014). 이러한 시스템은 물 사용량을 크게 줄일 수 있으며 화학비료 사용을 최소화할 수 있어 지속가능한 농업 생산 방식으로 주목받고 있다. 아쿠아포닉스 시스템에서 딸기, 갯기름, 어리연꽃 등 다양한 작물에서 연구가 되고 있으나(김 등, 2019; 이 등, 2022; 김 등, 2024), 재배 기간이 짧고 비교적 낮은 양분 요구량을 갖는 상추와 같은 엽채류 재배에 적합한 것으로 알려져 있다(Diver, 2006; 김 등, 2021). 식물 생육에 필수적인 무기 양분 중 철, 칼륨 등은 광합성, 효소 활성화, 세포 분열 및 세포벽 형성 등에 중요한 역할을 하는 요소이다(Marschner, 2012). 특히 철은 엽록소 합성과 광합성 효소 활성화에 중요한 미량 원소로 철 결핍이 발생할 경우 엽색이 황화되고 광합성이 저하되어 생육이 크게 감소할 수 있다. 또한 칼륨은 삼투 조절과 효소 활성화에 관여하며, 칼슘은 세포벽 형성과 조직 안정성 유지에 중요한 역할을 한다(Taiz et al., 2015). 기존 수경재배에서는 양액 조성을 통해 작물에 필요한 영양분을 정밀하게 조절할 수 있으나, 아쿠아포닉스 시스템에서는 어류 사료와 미생물 활동에 의해 형성되는 양어수의 성분에 의존하기 때문에 특정 양분의 결핍 또는 불균형이 발생하기 쉽다. 이러한 문제는 특히 엽채류 작물의 생육과 생산성에 영향을 미칠 수 있으며, 적절한 양분 관리기술이 확보되지 않을 경우 안정적인 생산이 어려울 수 있다. 현재까지 아쿠아포닉스 관련 연구

는 시스템 구조와 생산성 향상에 관한 연구가 주로 이루어져 왔으며, 엽채류 작물에서 발생하는 양분 결핍에 따른 생리장해 특성을 체계적으로 규명한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 또한 생리장해 발생 시 정확한 진단 기준과 관리기술이 부족하여 현장 농가에서는 생육 저하의 원인을 판단하기 어려운 경우가 많다.

본 연구는 아쿠아포닉스 재배 환경에서 상추를 대상으로 주요 무기 양분인 철, 칼륨 등 결핍 조건을 인위적으로 조성하여 생리장해 발생 특성을 조사하고 양어수에 부족 양분을 첨가하여 생육 개선 효과를 분석함으로써 아쿠아포닉스 엽채류 재배에서 활용 가능한 친환경 생리장해 관리기술을 개발하고자 수행하였다.

2. 재료 및 방법

<시험 1> 아쿠아포닉스 엽채류 양분결핍 증상 조사

본 시험은 2023년부터 2024년까지 경기도농업기술원 내 첨단온실에서 수행하였다. 카이피라, 로메인, 블라레 등 7품종의 상추 종자를 육묘실에서 파종하여 본 엽이 3~4개 나왔을 때 재배 베드에 정식하였다. 정식 후 상추에서 특정 성분 결핍시 나타나는 증상을 보고자 철, 칼륨, 칼슘, 붕소에 대해 각각 정상적인 상추 양액 처리, 상추 양액에서 특정 성분을 제거한 처리, 정상 양액에서 2주 재배 후 특정 성분 결핍 양액으로 이동한 처리, 특정 성분 결핍양액에서 2주 재배 후 정상양액으로 이동한 처리 등 4처리를 실시하였다(표 1, 2, 3, 4). 생육조사는 초장, 엽수, 근장, 근중, 생체중 등을 농촌진흥청 기준에 따라 조사하였다.

표 1. 철 결핍 상추 양액 조성(1,000L 기준)

A 액	B 액
KNO ₃ : 253g	KNO ₃ : 253g
Ca(NO ₃) ₂ : 354g	MgSO ₄ · 7H ₂ O: 185g
EDTA-Fe: 16g ⇒ 제거	NH ₄ H ₂ PO ₄ : 138g
	H ₃ BO ₃ : 3g
	MnSO ₄ · H ₂ O: 0.88g
	ZnSO ₄ · 7H ₂ O: 0.09g
	CuSO ₄ · 5H ₂ O: 0.04g
	Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O: 0.01g
	NaCl: 1.64g

표 2. 칼륨 결핍 상추 양액 조성(1,000L 기준)

A 액	B 액
KNO ₃ : 253g ⇒ NH ₄ NO ₃ 36g Ca(NO ₃) ₂ : 354g EDTA-Fe: 16g	KNO ₃ : 253g ⇒ NH ₄ NO ₃ 36g MgSO ₄ · 7H ₂ O: 185g NH ₄ H ₂ PO ₄ : 138g H ₃ BO ₃ : 3g MnSO ₄ · H ₂ O: 0.88g ZnSO ₄ · 7H ₂ O: 0.09g CuSO ₄ · 5H ₂ O: 0.04g Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O: 0.01g NaCl: 1.64g

표 3. 칼슘 결핍 상추 양액 조성(1,000L 기준)

A 액	B 액
KNO ₃ : 253g Ca(NO ₃) ₂ : 354g ⇒ NH ₄ NO ₃ 50.4g EDTA-Fe: 16g	KNO ₃ : 253g MgSO ₄ · 7H ₂ O: 185g NH ₄ H ₂ PO ₄ : 138g H ₃ BO ₃ : 3g MnSO ₄ · H ₂ O: 0.88g ZnSO ₄ · 7H ₂ O: 0.09g CuSO ₄ · 5H ₂ O: 0.04g Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O: 0.01g NaCl: 1.64g

표 4. 붕소 결핍 상추 양액 조성(1,000L 기준)

A 액	B 액
KNO ₃ : 253g Ca(NO ₃) ₂ : 354g EDTA-Fe: 16g	KNO ₃ : 253g MgSO ₄ · 7H ₂ O: 185g NH ₄ H ₂ PO ₄ : 138g H ₃ BO ₃ : 3g ⇒ 미첨가 MnSO ₄ · H ₂ O: 0.88g ZnSO ₄ · 7H ₂ O: 0.09g CuSO ₄ · 5H ₂ O: 0.04g Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O: 0.01g NaCl: 1.64g



<시험 2> 아쿠아포닉스 엽채류 생리장해 관리기술

본 시험은 2024~2025년 경기도농업기술원 내 첨단온실에서 수행하였다. 카이피라, 로메인, 볼라레 등 7품종의 상추 종자를 육묘실에서 파종하여 본 엽이 3~4개 나왔을 때 재배 베드에 정식하였다. 아쿠아포닉스에서 철을 첨가하지 않았을 때의 반응을 보기 위해 철을 첨가하지 않은 처리와 EDTA-Fe 4g/톤을 매주 양어수에 첨가한 처리를 두고, 2025년 4월 15일과 5월 28일 정식한 두 번의 시험을 실시하였다. 아쿠아포닉스에서 칼륨을 첨가하지 않았을 때의 반응을 보기 위해 칼륨을 첨가하지 않은 처리와 인산칼륨(KH_2PO_4) 60g/톤, 중탄산칼륨(KHCO_3) 30g/톤을 매주 양어수에 첨가한 처리를 두고, 2024년 10월 28일과 2025년 3월 4일 정식한 두 번의 시험을 실시하였다. 생육조사는 초장, 엽수, 근장, 근중, 생체중 등을 농촌진흥청 기준에 따라 조사하였다.

<시험 3> 아쿠아포닉스 엽채류 친환경 생리장해 관리기술 농가실증

2025년 5월부터 10월까지 평택과 안산의 아쿠아포닉스 2개 농가에서 실증시험을 추진하였다. 철 결핍을 예방하기 위해 EDTA-Fe를 매주 4g/톤 수준으로 첨가하였으며, 칼륨 결핍 방지를 위해 인산칼륨(KH_2PO_4) 60g/톤과 중탄산칼륨(KHCO_3) 30g/톤을 매주 공급하도록 권장하였다. 칼륨 부족은 수량에 큰 영향을 미치지 않을 수 있음을 사전에 안내하였다. 생육 조사는 2주 간격으로 실시하였으며, 상추(품종: 카이피라)를 반복별로 10주씩 채취하여 실험실에서 생육 특성을 조사하였다.

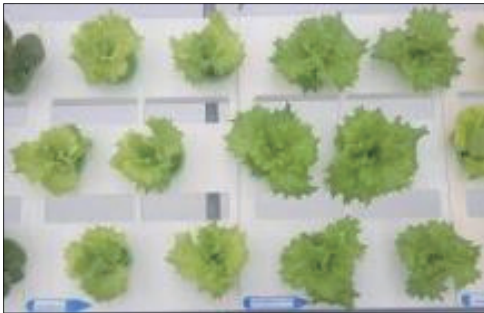
<시험 4> 아쿠아포닉스 엽채류 친환경 관리기술 매뉴얼 발간

아쿠아포닉스 엽채류 친환경 생리장해와 병해충 관리기술을 종합하여 매뉴얼을 발간하였다.

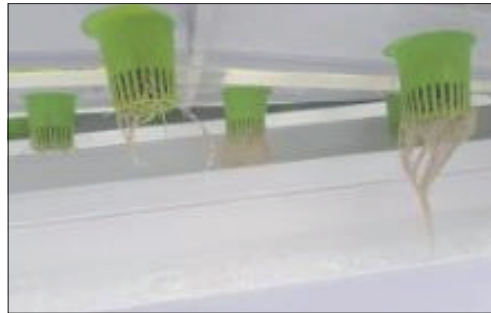
3. 결과 및 고찰

<시험 1> 아쿠아포닉스 엽채류 양분결핍 증상 조사

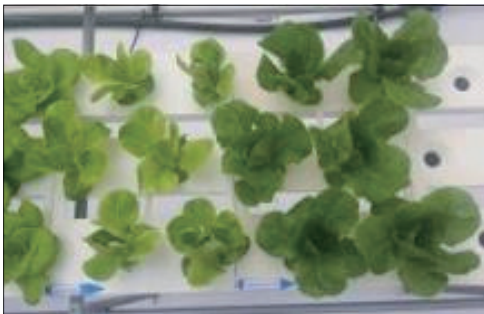
양액재배에서 철을 인위적으로 100% 제거하였을 때, 철 결핍구 모든 품종에서 뿌리 발육과 지상부 생육이 저조하였고 엽색이 옅어졌지만 오비레드 품종에서는 자주색 발현이 더 강하였다(그림 1). 철이 정상적으로 공급된 처리에서 초장, 엽장, 엽폭, SPAD, 생체중이 가장 높았고, 철 결핍 처리에서는 전반적으로 생육이 감소하였다(표 5). 철은 식물의 엽록소 합성과 광합성 관련 효소의 활성화에 중요한 역할을 하는 미량 원소로 알려져 있으며, 철 공급이 증가하면 엽록소 함량이 증가하여 식물 생육이 촉진된다(Marschner, 2012). 본 실험에서도 철 첨가 처리에서 SPAD 값과 생체중이 증가하여 철 공급이 상추의 생육 및 생산성 향상에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 정상 상태에서 재배 후 결핍으로 전환된 처리(정상→결핍)에서 초기 결핍에서 후기 정상으로 간 처리(결핍→정상)보다 생육이 양호하였으며, 특히 로메인, 씬블, 오비레드, 크리스피아노 품종에서는 정상구와 수량차이가 없어 초기 생육 단계에서의 철 공급의 중요성이 확인되었다.



카이피라 지상부(좌: 철 결핍, 우: 정상)



카이피라 뿌리(좌: 철 결핍, 우: 정상)



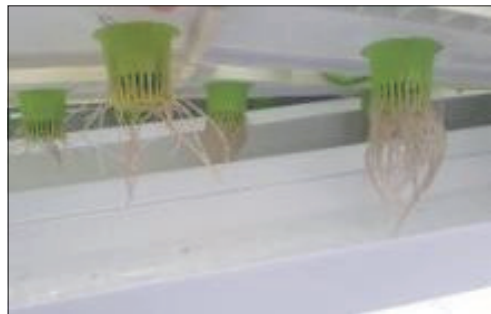
로메인 지상부(좌: 철 결핍, 우: 정상)



로메인 뿌리(좌: 철 결핍, 우: 정상)



볼라레 지상부(좌: 철 결핍, 우: 정상)



볼라레 뿌리(좌: 철 결핍, 우: 정상)

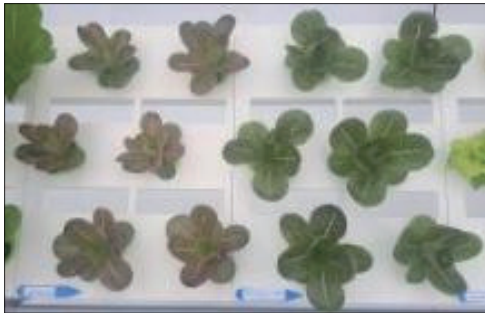


쌈블 지상부(좌: 철 결핍, 우: 정상)



쌈블 뿌리(좌: 철 결핍, 우: 정상)

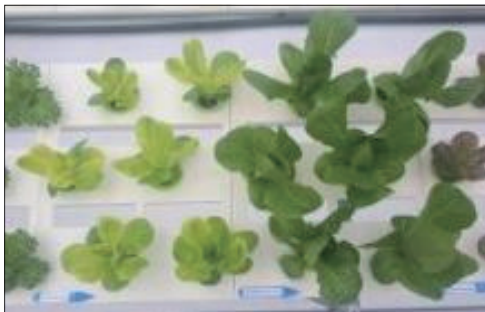
그림 1. 철 결핍에 따른 상추 품종별 정식 2주 후 발육특성 (계속)



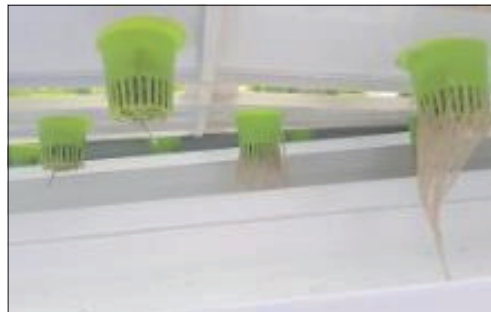
오비레드 지상부(좌: 철 결핍, 우: 정상)



오비레드 뿌리(좌: 철 결핍, 우: 정상)



코르마나 지상부(좌: 철 결핍, 우: 정상)



코르마나 뿌리(좌: 철 결핍, 우: 정상)



크리스피아노 지상부(좌: 철 결핍, 우: 정상)



크리스피아노 뿌리(좌: 철 결핍, 우: 정상)

그림 1. 철 결핍에 따른 상추 품종별 정식 2주 후 발육특성

표 5. 철 결핍에 따른 상추 품종별 생육특성

품종	처리	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	근장 (cm)	근중 (g)	SPAD	생체중 ^J (g/주)
카이피라	정상구	17.9	17.8	15.9	35.1	21.0	28.0	133.2a
	정상→결핍	17.0	16.3	14.0	22.8	27.0	20.8	114.7b
	결핍→정상	15.2	14.8	12.9	19.3	23.0	25.7	67.3c
	결핍구	14.7	13.8	12.7	15.0	19.4	20.1	63.6c
로메인	정상구	27.4	26.0	12.4	36.8	27.2	31.4	169.1a
	정상→결핍	25.0	23.8	12.5	25.7	32.2	27.4	161.5a
	결핍→정상	23.5	21.6	11.9	22.5	24.6	35.2	69.4b
	결핍구	22.1	20.1	8.8	24.7	24.3	25.7	71.6b
블라레	정상구	16.0	15.6	13.2	44.5	19.8	27.4	183.5a
	정상→결핍	15.2	15.1	12.2	36.3	30.5	25.0	87.3b
	결핍→정상	13.4	13.6	10.5	25.0	25.4	30.4	87.3b
	결핍구	12.7	13.4	9.6	29.8	22.6	26.7	86.0b
쌈블	정상구	23.6	21.1	12.7	36.0	26.4	37.8	208.8a
	정상→결핍	25.6	21.4	13.1	40.8	37.4	32.5	204.3a
	결핍→정상	21.8	18.9	10.2	22.5	29.6	32.4	105.0b
	결핍구	22.0	19.3	11.5	33.1	31.1	30.3	115.0b
오비레드	정상구	18.6	17.2	9.5	38.0	27.7	35.8	136.4a
	정상→결핍	18.3	16.4	9.0	39.7	35.5	32.8	135.8a
	결핍→정상	18.9	16.7	7.9	20.3	27.6	36.8	60.9b
	결핍구	18.8	16.4	7.5	27.3	26.0	32.1	60.0b
코르바나	정상구	29.9	26.8	13.2	51.9	22.4	36.8	141.9a
	정상→결핍	23.9	21.1	10.4	18.5	24.3	27.5	88.3b
	결핍→정상	23.5	21.9	11.5	23.9	22.7	37.4	55.1c
	결핍구	17.1	16.2	8.0	18.8	17.3	24.4	27.8c
크리스 피아노	정상구	17.0	15.0	12.9	30.4	19.9	34.1	159.3a
	정상→결핍	17.1	14.2	12.3	23.2	27.4	27.9	140.4a
	결핍→정상	12.5	11.4	9.9	17.1	22.6	34.1	78.1b
	결핍구	11.9	10.8	9.5	24.2	21.7	23.4	64.9b

※ 파종: 8월 14일, 정식: 9월 14일

수확: 10월 10일(카이피라, 로메인, 블라레), 10월 11일(쌈블, 오비레드, 코르바나, 크리스피아노), 정상구→결핍구, 결핍구→정상구 이동: 정식 2주 후(9월 27일)

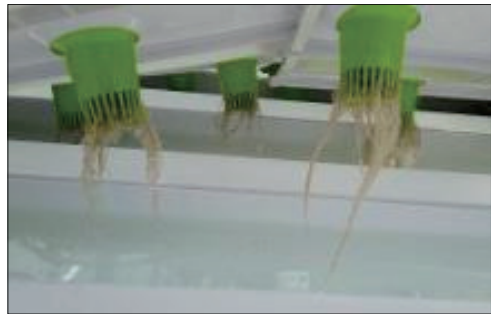
J DMRT at 5% level



양액재배에서 칼륨을 인위적으로 100% 제거하였을 때, 철 결핍과 비슷한 경향을 보였다. 칼륨 결핍에 의해 뿌리 세균 발생이 저해되고 끝이 갈변되었으며, 지상부는 생육이 억제되고 잎이 연해지는 경향이였다(그림 2). 칼륨이 정상적으로 공급된 처리에서 생체중이 가장 높았고, 칼륨 결핍 처리에서는 전반적으로 생육이 감소하였다(표 6). 정상 상태에서 재배 후 결핍으로 전환된 처리(정상→결핍)에서 초기 결핍에서 후기 정상으로 간 처리(결핍→정상)보다 생육이 양호하였으며, 특히 카이피라, 로메인, 볼라레, 크리스피아노 품종에서는 정상구와 수량 차이가 없어 초기 생육 단계에서의 칼륨 공급의 중요성이 확인되었다.



카이피라 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



카이피라 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



로메인 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



로메인 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



볼라레 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



볼라레 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)

그림 2. 칼륨 결핍에 따른 상추 품종별 정식 2주 후 발육특성(계속)



쌈블 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



쌈블 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



오비레드 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



오비레드 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



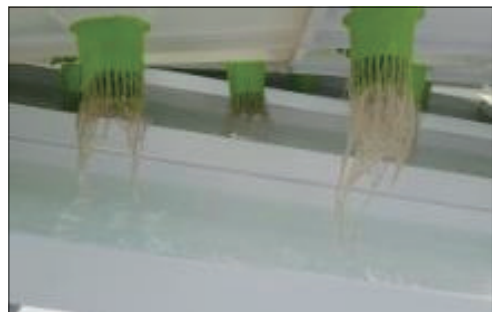
코르바나 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



코르바나 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



크리스피아노 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



크리스피아노 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)

그림 2. 칼륨 결핍에 따른 상추 품종별 정식 2주 후 발육특성



표 6. 칼륨 결핍에 따른 상추 품종별 생육특성

품종	처리	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	근장 (cm)	근중 (g)	SPAD	생체중 ¹ (g/주)
카이피라	정상구	20.0	16.6	15.4	41.4	27.9	27.9	187.0 ^a
	정상→결핍	17.2	16.4	13.9	34.8	21.0	21.4	156.1 ^a
	결핍→정상	15.8	14.8	13.1	20.3	20.1	31.5	82.8 ^b
	결핍구	13.6	13.4	11.9	20.5	18.8	27.3	68.2 ^b
로메인	정상구	31.1	27.1	15.9	48.1	50.8	37.4	287.0 ^a
	정상→결핍	29.3	26.9	15.9	30.4	28.1	29.3	252.2 ^a
	결핍→정상	23.3	21.5	13.0	25.3	27.4	38.8	130.3 ^b
	결핍구	24.1	22.5	13.2	21.6	23.9	32.9	121.0 ^b
볼라레	정상구	17.2	16.6	13.0	46.2	28.2	27.1	237.1 ^a
	정상→결핍	17.1	16.6	13.2	47.6	20.2	23.9	202.0 ^a
	결핍→정상	15.2	14.8	11.0	28.3	19.6	31.0	123.6 ^b
	결핍구	13.8	14.0	11.1	27.4	21.0	26.3	93.8 ^b
쌈블	정상구	26.7	21.6	15.2	51.9	39.5	34.4	238.2 ^a
	정상→결핍	24.7	22.2	15.0	32.4	20.5	28.3	196.3 ^b
	결핍→정상	19.2	17.8	11.2	31.6	22.8	41.2	113.9 ^c
	결핍구	21.1	19.4	12.1	23.3	21.1	33.1	102.8 ^c
오비레드	정상구	20.0	16.5	9.9	44.9	34.8	33.7	139.9 ^a
	정상→결핍	18.1	16.5	9.5	37.8	19.6	30.1	112.1 ^b
	결핍→정상	17.1	15.4	7.9	25.6	19.9	39.4	70.7 ^c
	결핍구	15.7	14.6	7.2	25.5	17.9	41.5	57.0 ^c
코르바나	정상구	30.4	26.7	14.2	48.6	37.4	34.6	209.7 ^a
	정상→결핍	28.1	26.4	13.8	25.6	22.6	32.6	179.3 ^b
	결핍→정상	23.8	22.0	11.3	24.4	23.8	38.2	101.0 ^c
	결핍구	19.7	18.2	9.4	18.6	17.6	40.9	52.7 ^d
크리스 피아노	정상구	15.5	12.5	11.9	35.5	27.7	26.1	166.2 ^a
	정상→결핍	13.7	12.6	12.1	28.1	19.7	17.6	137.8 ^a
	결핍→정상	11.8	10.9	9.1	19.6	18.8	31.5	82.2 ^b
	결핍구	11.2	11.4	9.4	17.4	18.9	33.7	71.6 ^b

¹DMRT at 5% level

※ 파종: 2월 19일, 정식: 3월 21일

수확: 4월 15일(카이피라, 로메인, 볼라레), 4월 16일(쌈블, 오비레드, 코르바나, 크리스피아노)

정상구 → 결핍구, 결핍구 → 정상구: 4월 5일

양액재배에서 칼슘을 인위적으로 100% 제거하였을 때, 칼슘 결핍에서도 칼륨 결핍과 유사하게 뿌리 세근 발생이 저해되고 끝이 갈변되었으며, 지상부는 생육이 억제되고 쌈블, 볼라레 품종에서 잎이 연해지는 경향이였다(그림 3). 생체중은 카이피라를 제외한 모든 품종에서 정상구, 정상구→결핍구, 결핍구→정상구, 결핍구 순이었으며, 생육 전기보다는 후기에 칼슘 결핍이 되었을 때, 생육 저조 피해가 더욱 심하였다(표 7).



카이피라 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



카이피라 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



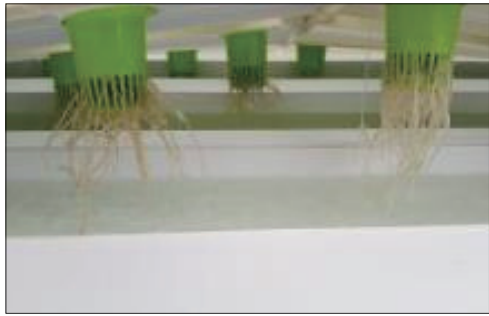
로메인 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



로메인 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



볼라레 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)

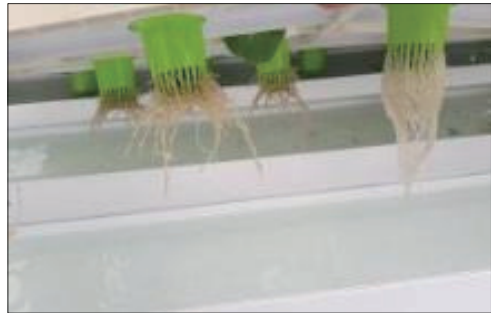


볼라레 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)

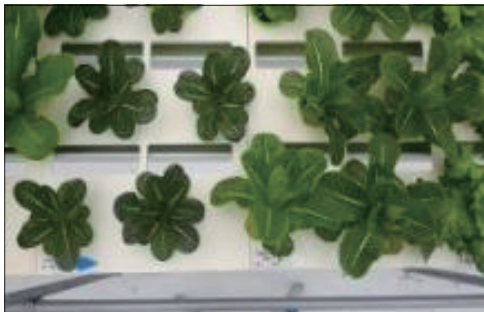
그림 3. 칼슘 결핍에 따른 상추 품종별 정식 2주 후 발육특성(계속)



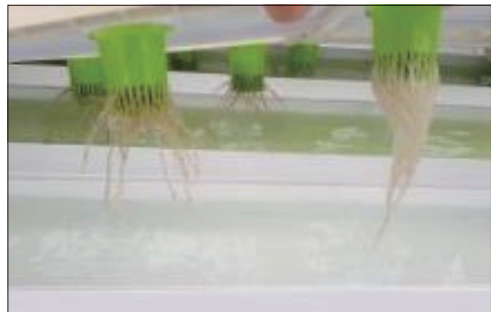
쌈블 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



쌈블 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



오비레드 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



오비레드 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



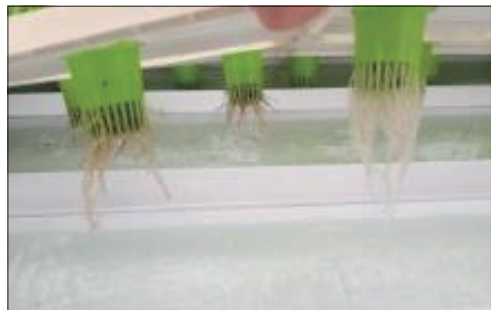
코르마나 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



코르마나 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



크리스피아노 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



크리스피아노 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)

그림 3. 칼슘 결핍에 따른 상추 품종별 정식 2주 후 발육특성



표 7. 칼슘 결핍에 따른 상추 품종별 생육특성

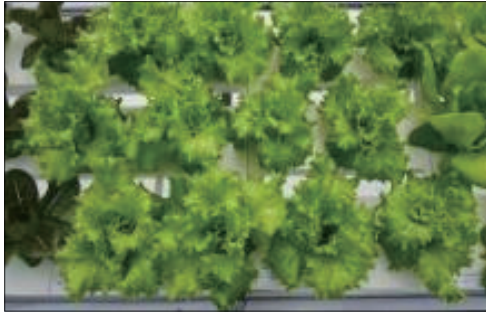
품종	처리	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	근장 (cm)	근중 (g)	SPAD	생체중 ^J (g/주)
카이피라	정상구	30.2	17.9	13.5	23.4	22.1	27.6	117.7 ^a
	정상→결핍	28.1	16.0	13.3	24.1	23.5	24.3	112.6 ^a
	결핍→정상	20.2	15.9	13.4	19.1	20.7	30.0	90.4 ^{ab}
	결핍구	18.1	14.9	12.1	19.8	21.3	23.9	75.6 ^b
로메인	정상구	43.2	23.2	14.1	25.5	28.6	33.4	137.8 ^a
	정상→결핍	40.1	21.2	12.4	24.1	33.8	33.9	110.7 ^b
	결핍→정상	36.2	21.8	11.6	19.1	29.2	39.3	91.7 ^b
	결핍구	46.4	21.2	10.5	21.6	32.2	33.0	92.9 ^b
블라레	정상구	18.8	14.8	14.2	25.7	20.7	32.6	132.6 ^a
	정상→결핍	16.0	14.9	13.0	30.3	27.1	30.4	122.8 ^a
	결핍→정상	42.0	15.6	10.8	24.4	23.1	35.4	97.4 ^b
	결핍구	14.8	13.9	9.7	23.8	22.6	27.1	78.0 ^c
쌈블	정상구	41.5	21.0	12.4	31.7	28.6	30.2	143.3 ^a
	정상→결핍	38.2	20.1	11.2	30.2	29.2	36.3	117.4 ^b
	결핍→정상	32.6	19.0	12.0	22.6	22.4	35.5	100.0 ^c
	결핍구	32.0	52.3	12.0	27.6	27.7	32.1	90.7 ^c
오비레드	정상구	23.0	15.8	8.2	27.7	23.5	44.1	91.5 ^a
	정상→결핍	20.6	14.6	7.8	25.5	25.1	35.2	69.1 ^{ab}
	결핍→정상	18.5	13.9	6.7	21.5	20.8	39.7	49.8 ^{bc}
	결핍구	17.8	12.9	6.0	21.9	22.3	41.1	39.7 ^c
코르바나	정상구	36.5	23.2	11.9	29.9	25.3	32.0	152.8 ^a
	정상→결핍	35.2	21.0	9.8	26.7	25.6	34.6	115.8 ^b
	결핍→정상	30.6	20.9	10.3	18.6	19.7	39.6	74.5 ^c
	결핍구	30.8	21.0	9.7	19.7	21.3	35.4	71.0 ^c
크리스 피아노	정상구	24.2	13.4	10.9	23.8	21.3	33.3	103.9 ^a
	정상→결핍	22.2	13.3	10.2	23.6	23.6	35.0	87.9 ^a
	결핍→정상	21.2	14.9	10.0	16.2	17.6	35.0	52.9 ^b
	결핍구	16.4	11.7	9.7	15.2	20.5	32.8	47.3 ^b

J DMRT at 5% level

※ 파종: 7월 8일, 정식: 8월 1일, 수확: 8월 26일

정상구 → 결핍구, 결핍구 → 정상구: 8월 14일

양액재배에서 붕소를 인위적으로 100% 제거하였을 때, 붕소 결핍이 초장·엽장·엽폭 등 지상부 생육에서는 처리 간 큰 차이가 나타나지 않았고, 생체중 또한 오비레드를 제외한 모든 품종에서 같은 경향이였다(그림 4, 표 8). 상추 재배에서는 붕소의 결핍에 의한 우려를 하지 않아도 될 것으로 판단된다.



카이피라 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



카이피라 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



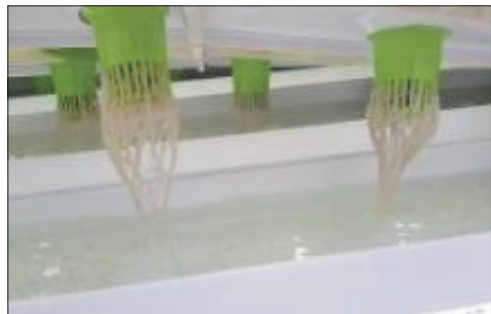
로메인 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



로메인 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



볼라레 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



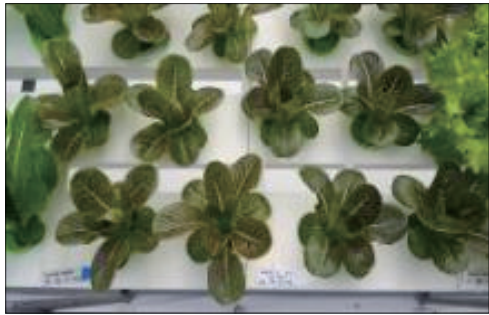
볼라레 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



쌈블 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



쌈블 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



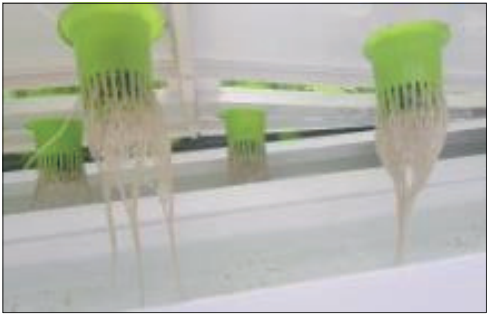
오비레드 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



오비레드 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



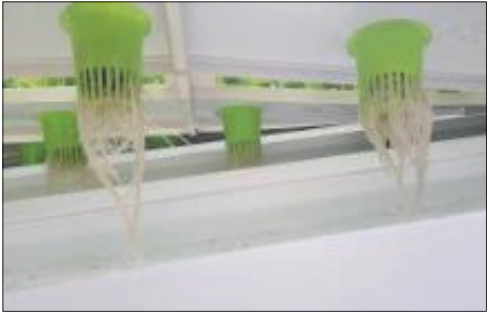
코르마나 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



코르마나 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)



크리스피아노 지상부(좌: 결핍, 우: 정상)



크리스피아노 뿌리(좌: 결핍, 우: 정상)

그림 4. 붕소 결핍에 따른 상추 품종별 정식 2주 후 발육특성



표 8. 붕소 결핍에 따른 상추 품종별 생육특성

품종	처리	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	근장 (cm)	근중 (g)	SPAD	생체중 [↓] (g/주)
카이피라	정상구	22.4	19.5	16.2	31.6	17.6	25.7	167.2 ^a
	정상→결핍	20.3	18.8	16.4	34.6	19.1	18.4	171.6 ^a
	결핍→정상	20.5	19.0	15.0	33.1	16.9	21.2	162.3 ^a
	결핍구	21.7	19.9	17.0	38.3	17.9	20.3	181.1 ^a
흑로메인	정상구	31.2	27.4	14.6	35.9	24.9	32.9	193.9 ^a
	정상→결핍	31.5	28.2	16.0	34.8	32.3	28.7	197.9 ^a
	결핍→정상	30.8	26.0	13.6	39.8	27.3	33.8	167.3 ^a
	결핍구	32.5	28.0	14.7	46.9	27.6	22.5	187.5 ^a
블라레	정상구	19.2	18.5	14.7	40.4	16.4	26.2	163.0 ^a
	정상→결핍	17.8	18.6	15.3	47.4	18.0	20.1	171.2 ^a
	결핍→정상	18.8	19.1	14.0	46.2	17.1	26.5	166.5 ^a
	결핍구	18.2	18.7	13.8	49.3	19.3	17.7	166.6 ^a
쌈블	정상구	26.9	22.5	14.9	37.5	23.9	34.4	162.9 ^a
	정상→결핍	26.1	21.8	14.7	44.8	29.2	27.4	181.9 ^a
	결핍→정상	26.0	21.6	13.4	37.6	25.9	31.5	167.7 ^a
	결핍구	25.2	22.1	14.0	50.2	24.3	25.0	173.9 ^a
오비레드	정상구	20.1	17.6	9.6	32.7	20.5	31.4	89.9 ^b
	정상→결핍	19.2	16.7	9.2	37.3	21.2	26.0	100.0 ^a
	결핍→정상	20.4	17.3	8.9	38.3	21.2	33.0	95.1 ^{ab}
	결핍구	19.3	17.1	8.4	41.9	20.5	25.9	90.1 ^b
코르바나	정상구	32.5	26.5	12.9	34.2	22.9	33.8	180.2 ^a
	정상→결핍	30.1	27.8	13.2	29.2	24.3	30.3	172.7 ^a
	결핍→정상	30.2	25.5	12.0	36.2	23.9	35.1	166.6 ^a
	결핍구	28.8	25.0	12.0	47.2	21.8	26.3	154.3 ^a
크리스 피아노	정상구	17.1	14.7	13.4	30.3	16.8	23.5	124.0 ^a
	정상→결핍	17.3	15.0	12.3	28.7	20.0	16.5	125.7 ^a
	결핍→정상	17.7	14.7	12.3	31.7	17.6	18.1	133.1 ^a
	결핍구	17.0	14.9	12.3	31.9	17.2	18.9	122.8 ^a

↓ DMRT at 5% level

※ 파종: 9월 20일, 정식: 10월 15일, 수확: 11월 12 ~ 13일

정상구 → 결핍구, 결핍구 → 정상구: 10월 29일

〈시험 2〉 아쿠아포닉스 엽채류 생리장해 관리기술

아쿠아포닉스 양어수에 철을 첨가한 처리구와 무첨가 처리구를 비교한 결과(표 9), 아쿠아포닉스 양어수에 철(EDTA-Fe)을 첨가한 처리구에서 모든 상추 품종의 생육이 전반적으로 향상되었다. 특히 초장, 엽장, 엽폭, 근장 등의 생육 지표와 생체중이 무첨가 처리에 비해 크게 증가하였다. 로메인 품종은 철 첨가 처리에서 평균 생체중이 약 333.3 g/주로 가장 높았으며, 코르바나와 블라레 품종도 각각 245.0 g/주와 209.1 g/주로 높은 생육을 나타냈다. 또한 SPAD 값이 증가하여 철 첨가가 엽록소 함량 증가와 광합성 능력 향상에 영향을 준 것으로 해석된다. 따라서 아쿠아포닉스 재배에서 철 공급은 상추의 생육 및 생산성 향상에 중요한 요소로 판단된다.

아쿠아포닉스 양어수에 칼륨을 첨가한 처리구와 무첨가 처리구를 비교한 결과(표 10), 일부 상추 품종에서 생육 특성의 향상이 나타났다. 카이피라 품종은 칼륨 첨가 시 초장, 엽장, 엽폭 및 생체중이 증가하여 생육이 개선되는 경향을 보였다. 씬블 품종 또한 생체중이 무첨가 190.2 g/주에서 칼륨 첨가 216.8 g/주로 증가하여 칼륨 공급에 따른 생육 촉진 효과가 나타났다. 코르바나 품종 역시 생체중이 163.7 g/주에서 197.6 g/주로 증가하여 생산성 향상 가능성을 보였다. 반면 크리스피아노 품종은 칼륨 첨가 시 생체중과 근중이 감소하는 경향을 보였고, 로메인과 블라레 품종은 처리간 생체중 차이가 비교적 크지 않아 품종간에 차이가 많음을 확인할 수 있었다. 따라서 아쿠아포닉스 재배에서 칼륨 공급은 품종 특성을 고려하여 적절히 관리할 필요가 있을 것으로 판단된다.

표 9. 아쿠아포닉스 양어수 철 투입에 따른 상추 품종별 생육특성

품종	성분	첨가 ¹⁾	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	근장 (cm)	근중 (g)	SPAD	생체중 (g/주)
카이피라	무 첨가	1차	12.1	11.1	9.2	19.4	20.1	11.4	32.6
		2차	13.3	12.5	10.6	23.6	33.8	8.8	41.4
		평균	12.7	11.8	9.9	21.5	27.0	10.1	37.0
	철 첨가	1차	19.2	17.5	18.7	43.4	26.3	28.3	220.8
		2차	19.8	16.3	15.2	36.5	36.7	26.5	145.0
		평균	19.5	16.9	17.0	40.0	31.5	27.4	182.9
로메인	무 첨가	1차	17.9	16.7	7.6	20.5	24.7	20.1	37.0
		2차	23.8	20.4	12.0	29.9	58.3	21.1	134.2
		평균	20.9	18.6	9.8	25.2	41.5	20.6	85.6
	철 첨가	1차	32.4	26.5	17.5	50.8	48.0	36.4	330.1
		2차	30.0	24.9	18.0	32.3	65.5	35.2	336.5
		평균	31.2	25.7	17.8	41.6	56.8	35.8	333.3
볼라레	무 첨가	1차	12.1	11.6	7.9	23.2	20.9	15.3	38.8
		2차	12.8	12.0	9.0	27.4	32.7	17.7	43.9
		평균	12.5	11.8	8.5	25.3	26.8	16.5	41.4
	철 첨가	1차	16.6	15.6	15.5	44.9	31.1	29.2	239.1
		2차	15.6	14.7	14.3	49.4	40.4	28.3	179.1
		평균	16.1	15.2	14.9	47.2	35.8	28.8	209.1
쌈블	무 첨가	1차	16.4	14.6	7.4	23.8	23.7	24.1	37.6
		2차	18.8	14.1	8.1	27.8	33.3	18.3	41.4
		평균	17.6	14.4	7.8	25.8	28.5	21.2	39.5
	철 첨가	1차	21.6	18.9	14.4	50.1	35.0	33.3	196.3
		2차	24.7	20.2	13.0	36.8	46.6	37.1	174.9
		평균	23.2	19.6	13.7	43.5	40.8	35.2	185.6
오비레드	무 첨가	1차	13.3	11.8	5.6	23.8	19.1	20.0	37.5
		2차	16.3	13.4	7.7	26.1	34.8	22.7	69.2
		평균	14.8	12.6	6.7	25.0	27.0	21.4	53.4
	철 첨가	1차	20.5	17.1	10.7	52.9	28.4	37.5	138.6
		2차	19.7	17.1	9.9	38.1	44.9	37.2	170.1
		평균	20.1	17.1	10.3	45.5	36.7	37.4	154.4
코르바나	무 첨가	1차	15.1	13.9	6.4	14.9	16.8	21.9	16.6
		2차	20.9	17.3	7.9	22.8	33.6	24.9	50.2
		평균	18.0	15.6	7.2	18.9	25.2	23.4	33.4
	철 첨가	1차	31.7	27.6	16.0	42.4	32.3	38.3	252.9
		2차	30.7	25.8	13.9	37.5	45.5	36.8	237.0
		평균	31.2	26.7	15.0	40.0	38.9	37.6	245.0
크리스 피아노	무 첨가	1차	10.5	9.5	7.4	15.4	18.1	13.8	40.8
		2차	15.1	11.1	9.8	19.4	33.8	11.0	70.2
		평균	12.8	10.3	8.6	17.4	26.0	12.4	55.5
	철 첨가	1차	16.9	15.0	15.5	32.5	25.4	28.0	173.3
		2차	18.9	14.0	11.9	24.6	35.2	13.1	124.8
		평균	17.9	14.5	13.7	28.6	30.3	20.6	149.1

※ 1차: 파종 ' 25 3/14-3/19, 정식 4/15, 수확 5/13, 2차: 파종 ' 25 4/28-5/2, 정식 5/28, 수확 6/23

※ EDTA-Fe를 매주 투여: 4g/톤



표 10. 아쿠아포닉스 양어수 칼륨 첨가에 따른 상추 품종별 생육특성

품종	성분	첨가	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	근장 (cm)	근중 (g)	SPAD	생체중 (g/주)
카이피라	무첨가	1차	18.7	16.7	16.2	31.8	30.9	25.2	127.0
		2차	15.3	15.4	13.5	31.7	26.5	28.1	111.0
		평균	17.0	16.1	14.9	31.8	28.7	26.7	119.0
	칼륨첨가	1차	21.2	20.7	19.3	27.7	22.5	26.7	141.9
		2차	18.8	17.8	16.6	38.3	24.3	22.9	132.4
		평균	20.0	19.3	18.0	33.0	23.4	24.8	137.2
로메인	무첨가	1차	29.6	26.4	15.1	31.9	54.0	36.0	197.8
		2차	27.8	25.3	14.7	35.5	49.4	31.9	210.1
		평균	28.7	25.9	14.9	33.7	51.7	34.0	204.0
	칼륨첨가	1차	30.7	29.2	15.3	31.4	25.6	32.9	165.4
		2차	31.4	27.3	17.7	37.6	49.6	37.8	238.3
		평균	31.1	28.3	16.5	34.5	37.6	35.4	201.9
볼라레	무첨가	1차	18.5	17.5	15.1	33.7	33.3	28.5	148.0
		2차	16.9	16.7	13.3	36.7	29.9	27.7	144.6
		평균	17.7	17.1	14.2	35.2	31.6	28.1	146.3
	칼륨첨가	1차	18.7	19.0	15.3	33.3	24.6	24.1	149.0
		2차	16.6	17.1	14.5	39.7	27.0	23.3	173.5
		평균	17.7	18.1	14.9	36.5	25.8	23.7	161.3
썸블	무첨가	1차	24.9	22.1	14.5	35.8	51.2	37.3	202.9
		2차	21.5	20.5	13.7	34.2	42.5	38.8	177.4
		평균	23.2	21.3	14.1	35.0	46.9	38.1	190.2
	칼륨첨가	1차	25.0	23.5	15.4	32.1	32.4	33.3	206.3
		2차	24.6	22.1	15.1	48.2	42.1	36.2	227.3
		평균	24.8	22.8	15.3	40.2	37.3	34.8	216.8
오비레드	무첨가	1차	18.7	17.8	9.9	32.8	33.4	37.3	97.7
		2차	18.7	17.0	9.1	33.5	27.3	36.0	102.6
		평균	18.7	17.4	9.5	33.2	30.4	36.7	100.2
	칼륨첨가	1차	20.3	19.3	10.4	27.2	21.4	36.5	95.3
		2차	21.6	19.0	10.8	41.8	30.6	33.8	137.2
		평균	21.0	19.2	10.6	34.5	26.0	35.2	116.3
코르바나	무첨가	1차	32.6	30.0	15.0	30.9	45.8	39.4	182.6
		2차	27.5	25.2	11.5	33.4	34.5	34.3	144.8
		평균	30.1	27.6	13.3	32.2	40.2	36.9	163.7
	칼륨첨가	1차	32.6	31.1	15.1	27.8	19.6	33.6	189.8
		2차	31.4	28.0	14.0	45.6	40.8	37.5	205.4
		평균	32.0	29.6	14.6	36.7	30.2	35.6	197.6
크리스 피아노	무첨가	1차	19.1	15.0	13.2	30.4	36.6	29.2	128.8
		2차	14.0	13.8	11.3	34.6	25.0	26.5	131.6
		평균	16.6	14.4	12.3	32.5	30.8	27.9	130.2
	칼륨첨가	1차	17.5	15.8	13.5	28.6	17.1	19.4	126.2
		2차	14.3	13.1	12.2	27.2	22.3	25.5	111.0
		평균	15.9	14.5	12.9	27.9	19.7	22.5	118.6

※ 1차: 파종 ' 24 10/1~10/4, 정식 10/28, 수확 11/26, 2차: 파종 ' 25 2/3~2/7, 정식 3/4, 수확 4/1

※ 인산칼륨(KH₂PO₄) 60g/톤, 중탄산칼륨(KHCO₃) 30g/톤을 매주 첨가

<시험 3> 아쿠아포닉스 업체류 친환경 생리장해 관리기술 농가실증

2025년 5월부터 10월까지 평택 농가에서 EDTA-Fe를 14회, 중탄산칼륨을 6회 처리하였고(표 11), 안산 농가에서 EDTA-Fe를 4회, 중탄산칼륨을 7회, 폐화석을 11회 처리하였다(표 12).

표 11. 아쿠아포닉스 평택 농가 생리장해 관리 내용

기간(월/일)	농가 처리내용	비고
5/1~10	5/7 EDTA-Fe 144g/베드	
5/11~20	5/16 EDTA-Fe 144g/베드	
5/21~31	5/22 EDTA-Fe 144g/베드	
6/1~10	6/5 EDTA-Fe 144g/베드	
6/11~20	6/12 EDTA-Fe 144g/베드	
6/21~30	6/26 EDTA-Fe 144g/베드	
7/1~10	7/3 중탄산칼륨 1.6kg/베드, 7/4 EDTA-Fe 144g/베드	
7/11~20	7/11 EDTA-Fe 144g/베드	
7/21~31	7/21 EDTA-Fe 144g/베드, 7/31 칼슘 엽면시비	
8/1~10	8/6 중탄산칼륨 1.8kg/베드	
8/11~20	8/11 중탄산칼륨 1.8kg/베드, 8/13 칼슘 엽면 시비, 중탄산칼륨 1.8kg/베드	
8/21~31	8/23 중탄산칼륨 600g/베드	
9/1~10	9/2 EDTA-Fe 144g/베드, 9/10 EDTA-Fe 144g/베드	
9/11~20	9/17 EDTA-Fe 144g/베드, 중탄산칼륨 1.8kg/베드	
9/21~30	9/23 EDTA-Fe 144g/베드	
10/1~10	10/1 EDTA-Fe 255g/베드, 10/8 EDTA-Fe 144g/베드	
10/11~20	-	

표 12. 아쿠아포닉스 안산 농가 생리장해 관리 내용

기간(월/일)	농가 처리내용	비고
5/1~10	5/6 폐화석 1kg/베드, EDTA-Fe 100g/베드	
5/11~20	5/11 폐화석 500g/베드1, 5/18 폐화석 1kg/베드	
5/21~31	5/25 인산칼륨 100g/베드, EDTA-Fe 100g/베드, 폐화석 1kg/베드1·3, 500g/베드2	
6/1~10	6/10 폐화석 500g/베드1, 인산칼륨 100g/베드1, 150g/베드2·3	
6/11~20	-	시설공사
6/21~30	6/22 인산칼륨 100g/베드1, 150g/베드2·3	시설공사
7/1~10	-	
7/11~20	7/20 인산칼륨 150g/베드	
7/21~31	7/27 EDTA-Fe 100g/베드, 인산칼륨 200g/베드1, 100g/베드2·3	
8/1~10	8/9 인산칼륨 200g/베드	
8/11~20	8/17 폐화석 500g/베드, 8/17 인산칼륨 200g/베드	
8/21~31	8/22 폐화석 500g/베드, 8/27 중탄산칼륨 400g/베드, 폐화석 900g/베드	
9/1~10	9/4 폐화석 500g/베드, 중탄산칼륨 200g/베드, 9/7 폐화석 500g/베드, 중탄산칼륨 200g/베드	
9/11~20	9/17 중탄산칼륨 200g/베드	
9/21~30	9/24 액상 철분 300g/베드, 9/28 중탄산칼륨 200g/베드	
10/1~10	10/8 중탄산칼륨 200g/베드	
10/11~20	10/12 폐화석 500g/베드, 10/15 중탄산칼륨 200g/베드	

그림 5에서 틱번현상은 안산 농가에서 5월 중순에 주당 5.8엽으로 피해가 많았으며, 8~9월에도 최대 주당 1.7엽 발생하였다. 평택 농가에서는 6월과 8월에 주당 0.3엽 이하로 낮게 발생하였다.

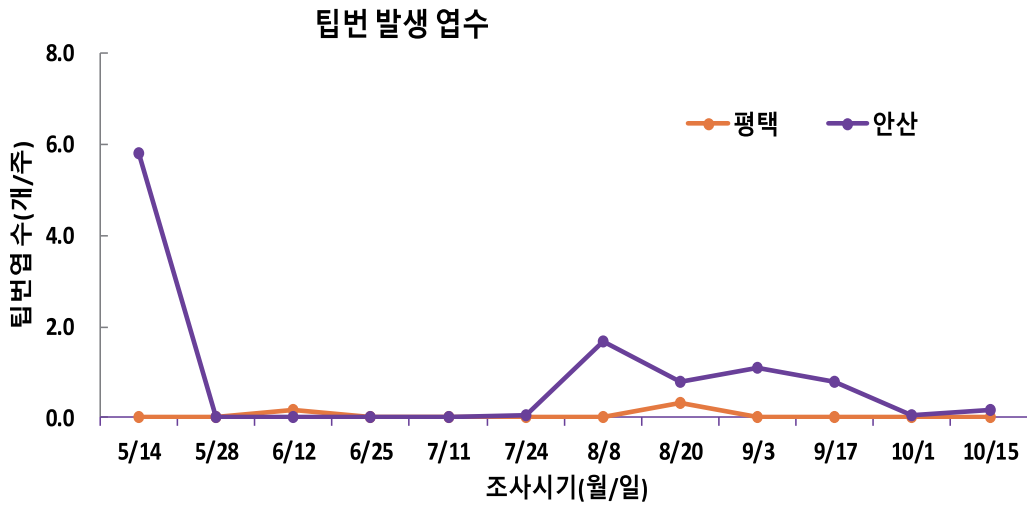


그림 5. 아쿠아포닉스 농가별 팁번 발생 현황

표 13에서 상추의 상품율은 평택 농가에서 5~6월 해충(굴파리)의 피해로 30%대로 낮았으며, 8월과 9월 해충(나방)의 피해로 53.5~63.1%이었으며, 다른 시기에는 71.2~90.5% 이었다. 안산 농가에서는 상품율이 5월 중순에 팁번의 피해로 70.0%, 6월 하순에 해충(굴파리)의 피해로 70.3%, 8월 초에 해충(총채벌레)의 피해로 65.7%이었고, 다른 시기에는 74.4~93.4%로 비교적 높았다.



표 13. 아쿠아포닉스 농가별 상추(품종: 카이피라) 생육상황

농가	조사일 (월/일)	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	근장 (cm)	근중 (g)	수량		
							생체중 (g/주)	상품중 (g/주)	상품율 (%)
평택	5/14	27.0	23.3	20.1	43.7	21.4	347.4	134.0	38.6
	5/28	24.9	17.5	18.3	37.0	9.2	197.5	63.1	32.0
	6/12	17.0	14.5	16.6	32.9	15.2	256.9	77.5	30.2
	6/25	18.0	16.1	14.8	25.4	15.0	170.0	67.6	39.8
	7/11	22.1	18.8	16.1	23.0	7.1	107.0	89.6	83.7
	7/24	20.5	18.4	15.9	24.8	8.2	116.7	83.1	71.2
	8/7	17.5	15.6	15.2	33.3	9.7	76.7	48.3	63.1
	8/20	20.3	17.3	16.7	20.5	11.2	135.9	72.7	53.5
	9/3	17.6	13.9	11.5	26.3	5.7	88.8	74.7	84.1
	9/17	19.0	16.9	15.2	26.7	13.3	97.5	66.4	68.1
	10/1	-	15.8	15.1	14.8	10.9	88.6	80.2	90.5
	10/15	19.4	17.0	15.6	36.2	10.1	105.7	92.0	87.0
안산	5/16	21.7	17.3	17.8	45.3	28.2	257.6	180.4	70.0
	5/28	18.0	15.5	15.2	38.3	21.8	120.3	103.4	86.0
	6/12	17.3	16.6	15.6	41.3	19.3	141.0	110.6	78.4
	6/25	19.2	17.3	16.1	36.1	15.8	154.2	108.4	70.3
	7/11	19.2	17.0	15.2	33.7	11.3	105.0	82.9	79.0
	7/24	20.5	17.4	14.9	33.5	14.4	109.1	81.2	74.4
	8/8	19.5	16.5	15.6	35.6	15.0	111.3	73.1	65.7
	8/20	20.7	18.1	16.8	27.4	13.7	100.7	75.1	74.6
	9/3	17.6	15.6	13.1	30.3	10.8	105.6	81.0	76.6
	9/17	20.6	18.0	15.6	37.0	17.4	145.9	117.0	80.2
	10/1	20.8	19.0	16.8	39.8	20.1	154.9	142.4	92.0
	10/15	18.1	17.2	17.7	37.0	19.3	138.3	129.2	93.4

※ 시기별 농가 출하일에 따라 생육기간은 차이가 있음



<시험 4> 아쿠아포닉스 업체류 친환경 관리기술 매뉴얼 발간

아쿠아포닉스 업체류 친환경 생리장해와 병해충 관리기술을 종합하여 매뉴얼을 발간하였다(그림 6). 매뉴얼에는 아쿠아포닉스의 주요 특징을 비롯해 상추 육묘와 정식 방법, 상추 재배 시 발생할 수 있는 주요 생리장해와 그 관리 방안, 그리고 병해충의 종류와 관리 방법 등을 체계적으로 정리하였다. 또한 아쿠아포닉스 관련 영농활용 자료 9편을 함께 수록하였다.



그림 6. 「아쿠아포닉스 상추 친환경 관리 매뉴얼」 표지 및 목차



4. 적요

아쿠아포닉스 상추재배에서 발생할 수 있는 생리장해를 친환경적으로 관리하기 위해 철, 칼륨 등 부족에 의한 증상 및 관리기술을 개발한 결과는 다음과 같다.

<시험 1> 아쿠아포닉스 엽채류 양분결핍 증상 조사

- 가. 양액재배에서 철을 인위적으로 100% 제거하였을 때, 철 결핍구 모든 품종에서 뿌리 발육과 지상부 생육이 저조하였고 엽색이 엷어졌지만 오비레드 품종에서는 자주색 발현이 더 강하였다. 철이 정상적으로 공급된 처리에서 초장, 엽장, 엽폭, SPAD, 생체중이 가장 높았고, 철 결핍 처리에서는 전반적으로 생육이 감소하였다.
- 나. 칼륨 결핍에 의해 뿌리 세근 발생이 저해되고 끝이 갈변되었으며, 지상부는 생육이 억제되고 잎이 연해지는 경향이였다. 칼륨이 정상적으로 공급된 처리에서 생체중이 가장 높았고, 칼륨 결핍 처리에서는 전반적으로 생육이 감소하였다.
- 다. 칼슘 결핍에서도 칼륨 결핍과 유사하게 뿌리 세근 발생이 저해되고 끝이 갈변되었으며, 지상부는 생육이 억제되고 씹블, 볼라레 품종에서 잎이 연해지는 경향이였다. 생체중은 카이피라를 제외한 모든 품종에서 정상구, 정상구→결핍구, 결핍구→정상구, 결핍구 순이었으며, 생육 전기보다는 후기에 칼슘 결핍이 되었을 때, 생육 저조 피해가 더욱 심하였다.
- 라. 붕소 결핍에 의해서는 뿌리 및 지상부 생육 저해가 발생하지 않았다.

<시험 2> 아쿠아포닉스 엽채류 생리장해 관리기술

- 가. 아쿠아포닉스 양어수에 철을 첨가한 처리구와 무첨가 처리구를 비교한 결과, 아쿠아포닉스 양어수에 철(EDTA-Fe)을 첨가한 처리구에서 모든 상추 품종의 생육이 전반적으로 향상되었다.
- 나. 아쿠아포닉스 양어수에 칼륨을 첨가한 처리구와 무첨가 처리구를 비교한 결과, 카이피라, 씹블, 코르바나 품종에서는 첨가 처리가가 수량이 높았으나, 크리스니아노 품종에서는 반대 경향이었고, 나머지 품종에서는 차이가 없었다.

<시험 3> 아쿠아포닉스 엽채류 친환경 생리장해 관리기술 농가실증(2025)

- 가. 5월부터 10월까지 평택 농가에서 EDTA-Fe를 14회, 중탄산칼륨을 6회 처리하였고, 안산 농가에서 EDTA-Fe를 4회, 중탄산칼륨을 7회, 폐화석을 11회 처리하였다.
- 나. 텃번현상은 안산 농가에서 5월 중순에 주당 5.8엽으로 피해가 많았으며, 8~9월에도 최대 주당 1.7엽 발생하였다. 평택 농가에서는 6월과 8월에 주당 0.3엽 이하로 낮게 발생하였다.
- 다. 상추의 상품율은 평택 농가에서 5~6월 해충(굴파리)의 피해로 30%대로 낮았으며,

8월과 9월 해충(나방)의 피해로 53.5~63.1%이었으며, 다른 시기에는 71.2~90.5%이었다. 안산 농가에서는 상품율이 5월 중순에 텃번의 피해로 70.0%, 6월 하순에 해충(굴파리)의 피해로 70.3%, 8월 초에 해충(총채벌레)의 피해로 65.7%이었고, 다른 시기에는 74.4~93.4%로 비교적 높았다.

<시험 4> 아쿠아포닉스 업체류 친환경 관리기술 매뉴얼 발간

- 아쿠아포닉스에 발생하는 생리장해와 병해충을 중심으로 친환경적으로 관리하기 위한 매뉴얼을 발간하였다.

5. 인용 문헌

- 김민경, 최수현, 윤서아, 이종남, 최은영, 2024. 아쿠아포닉스 재배에서 딸기의 양분흡수율, 생육 및 수량. 생물환경조절학회지 33(1) 55-62.
- 김유아, 전태병, 장욱주, 박병준, 강학회, 2019. 아쿠아포닉스 기술을 이용한 친환경 항노화 제품 개발. 대한화장품학회지. 45(3) 307-317.
- 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.
- 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.
- Marschner, P., 2012. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd ed. Academic Press.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A., Lovatelli, A., 2014. Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. & Murphy, A., 2015. Plant Physiology and Development. Sinauer Associates.

6. 연구결과 활용제목

- 「아쿠아포닉스 상추 재배 친환경 관리 매뉴얼」(자료발간, 2025년)
- 아쿠아포닉스에서 상추 영양결핍 방지를 위한 관리 방법(영농활용, 2025년)

7. 연구원 편성

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