

과 제 구 분	기관고유	과 제 번 호	LP004581	
과학기술분류	LB0508	품목표준코드	SF-01-SF12	
주 관 과 제 명	지속가능한 농업환경 보전을 위한 현장실용화 연구			
과 제 책 임 자	성 명	직 급	소속기관 및 부서	
	홍 수 영	농업연구사	농업환경연구과	
연 구 기 간	2023 ~ 2025	참여연구기관	농촌진흥청, 농림축산식품부 등	
세부과제명		부 서	세부책임자	연구기간
1) 바이오차를 활용한 토양관리 기술 연구		농업환경연구과	김동민	'23~'25
2) 다축형 평면수형 과원의 적정시비량 설정		농업환경연구과	홍성유	'24~'25
3) 밀웜 분변토 이용 기술 개발		농업환경연구과	홍수영	'24~'25
키 워 드	바이오차, 저탄소농업, 다축형평면수형, 밀웜, 토양관리			

ABSTRACT

This study was conducted to develop field-applicable technologies for sustainable agricultural environmental management, focusing on biochar application, optimization of fertilization in multi-axis orchard systems, and utilization of mealworm frass as an alternative fertilizer. Biochar application was found to be highly effective in improving soil chemical properties, particularly pH, organic matter content, and cation exchange capacity. In terms of soil physical properties, it reduced bulk density and soil hardness while increasing water holding capacity. Furthermore, the use of biochar enabled a reduction in fertilizer input by 20–30% without significant yield loss, and it showed especially strong effects on enhancing crop growth in root crops. In orchard systems, appropriate organic matter application rates were evaluated for apple and peach under multi-axis training systems. Although excessive application did not significantly enhance growth or yield, moderate application levels (around 50–100%) maintained stable tree growth, nutrient balance, and fruit quality. For mealworm frass, fertilizer efficiency and phytotoxicity were evaluated across several crops. The frass showed high organic matter content and met safety standards for heavy metals. Application of mealworm frass improved crop growth and yield compared to control treatments, particularly in Chinese cabbage, without causing phytotoxic effects across tested crops. Overall, the results demonstrate that biochar and insect-derived organic resources can enhance soil fertility, improve nutrient use efficiency, and contribute to sustainable agricultural practices. These findings provide practical guidelines for reducing chemical fertilizer input and promoting carbon-neutral agricultural systems.

1 연구목표

최근 기후변화와 환경오염 문제에 대한 인식이 확산되면서 지속가능한 농업과 탄소중립 실현에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히 농업 분야에서는 토양의 생산성 유지와 환경부하 저감을 동시에 달성하기 위한 친환경 토양관리 기술의 중요성이 강조되고 있다. 기존의 화학비료 중심 농업은 단기간 생산성 향상에는 기여하였으나, 장기적으로는 토양 유기물 감소, 양분 불균형, 염류집적 등의 문제를 초래하여 토양 건강성을 저해하는 요인으로 작용하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 농업 부산물을 활용한 바이오차와 곤충 유래 유기자원의 활용이 주목받고 있다. 바이오차는 Biomass와 Charcoal의 합성어로서, 산소공급이 제한된 조건에서 350℃ 이상의 온도에서 열분해로 만들어진 다공성 고형 물질이다. 바이오차는 탄소 순환에서 미생물 분해속도를 느리게 하여 수백년에서 수천년 이상의 탄소 저장기간을 갖는다(Lehmann et al., 2006). 이러한 바이오차의 특성은 CO₂ 저감 방안으로 효과를 인정받았다(IPCC, 2019). 또한 바이오차는 비효 및 미생물 활동 증진, 영양분 용탈 방지, 산성 토양의 중성화, 양이온치환능력 증가 등의 기능으로 토양환경을 개선하며(Brassard, 2019), 농업부산물의 자원화에도 활용이 가능하다(Lee, 2023). 국내에서는 2024년 바이오차의 토양개량 효과 등을 인정받아 비료로써 비료공정규격에 등록되었다. 이에 따라, 바이오차를 실질적으로 농업현장에 투입했을 때 토양개량 및 작물생육 증진 등의 효과를 분석하고 한계 사용량을 구명하여 안정성을 확보하는 것이 필요하다.

과수 재배에서는 노동력 절감과 생산성 향상을 위해 다축형 평면수형과 같은 새로운 재배시스템이 도입되고 있으나, 이에 적합한 시비 기준은 아직 충분히 확립되지 않은 실정이다. 특히 초기 과원에서의 유기물 사용량은 수체 생육과 과실 생산성에 직접적인 영향을 미치므로, 합리적인 시비 기준 설정이 요구된다. 최근 곤충산업의 성장과 함께 대량으로 발생하는 분변토의 농업적 활용 가능성이 제기되고 있다. 밀웬 분변토는 유기물 함량이 높고 비료적 가치가 기대되나, 작물에 대한 비효와 안전성 검증이 선행되어야 실제 농업 현장에서 활용이 가능하다. 따라서 본 연구는 바이오차, 다축형 과원 시비, 밀웬 분변토 활용 기술을 통합적으로 평가하여 토양 건강성 증진과 비료 사용 저감, 나아가 지속가능한 농업환경 조성을 위한 현장 적용형 기술을 개발하고자 수행되었다.

2 재료 및 방법

<제1세부과제: 바이오차를 활용한 토양관리 기술 연구>

(시험 1) 바이오차 시용 시 토양화학성 개량효과 분석(2023)

본 연구는 농림부산물(목재) 바이오차 시용 시 토양화학성 개량효과 분석을 위해 상추, 배추를 실내 포트에 바이오차를 처리하여 2회 재배하였다. pH 6.8의 일반토양, pH 5.0의 산성토양, pH 7.8의 알칼리성토양의 각 포트에 농림부산물(목재) 바이오차 0, 100, 200, 400, 800kg/10a를 처리하였으며, 상추는 토양검정에 따른 비료사용처방에 따라 질소, 인산, 칼리를 시비하였으며, 배추는 시비없이 진행하였다. 이후 바이오차 처리별 작물생육 및 수량, 토양이화학성을 분석하였다. 본 세부과제의 실험 1~8에서 사용한 바이오차의 이화학성은 표 1과 같다.

표 1. 바이오차 이화학적성

구 분	탄소전량	수분	염분			질소	인산	칼리	pH	용적밀도
			(%)							
농림부산물(목재)	66.4	21.4	0.9	0.9	0.7	1.2	10.1	0.20		
가축분(계분)	38.9	21.2	1.9	5.4	6.3	6.7	9.6	0.33		
규 격	농림부산물 ≥ 40 가축분 ≥ 30	≤ 30	≤ 2.0	-	-	-	-	-		

(시험 2) 바이오차 시용 시 비료 감비효과 구명(2023)

본 연구는 농림부산물(목재) 바이오차의 높은 보비력, 양이온치환능력 특성 등에 따른 비료 감비효과를 구명하기 위해 수행되었다. 무, 배추를 강원특별자치도농업기술원 시험연구포장에서 바이오차를 처리하여 2회 재배하였다(봄, 가을). 바이오차를 0, 100, 200kg/10a 처리한 토양에 질소, 인산, 칼리를 기준비료량에서 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0배 수준별 시비하였다. 이후 바이오차 및 비료 시용량에 따라 토양 화학성 및 작물생육을 분석하였다.

(시험 3) 수박, 멜론 바이오차 연용 적정사용량 구명(2023)

본 연구는 수박, 멜론에 대해 농림부산물(목재) 바이오차 연용 시 적정사용량을 구명하기 위해 수행되었다. 수박, 멜론을 강원특별자치도농업기술원 시험연구포장에서 바이오차를 0, 100, 200, 400kg/10a 연용처리 하고 토양검정에 따른 비료사용처방에 따라 질소, 인산, 칼리 시비 후 2회 재배하였다. 수박은 4월 5일 파종 및 7월 27일 수확, 재식거리 350×35cm으로 하였으며, 멜론은 5월 11일 파종 및 8월 16일 수확, 재식거리 150×40cm으로 하였다. 이후 바이오차 처리별 토양화학성 및 작물생육을 분석하였다.

(시험 4) 목재 바이오차 한계 시용량 구명(2024)

본 연구는 농림부산물(목재) 바이오차의 사용 안정성 확보를 위한 한계 시용량 구명을 위해 수행되었다. 양배추, 고추, 대파를 실내 포트에 바이오차를 처리하여 재배하였다. 각 포트에 바이오차 0, 200, 1,000, 5,000, 10,000kg/10a 처리 및 토양검정에 따른 비료사용처방에 따라 질소, 인산, 칼리를 시비하였다. 이후 처리별 토양화학성 및 작물생육을 분석하였다. 바이오차의 처리량별 비교는 그림 1과 같다.

(시험 5) 목재 바이오차 토양 물리성 개선효과 구명(2024)

본 연구는 농림부산물(목재) 바이오차의 토양 수분보유력 등의 물리성 개선효과를 분석하기 위해 수행되었다. 포트에 바이오차를 0, 200, 1,000, 5,000, 10,000kg/10a 처리 후 용적밀도, 수분함량, 수분장력 등을 분석하였다. 포트에서 포화용수량 상태의 토양환경을 조성한 후 수분함량 측정은 S-SMD-M005을 이용하여 50일간, 수분장력은 tensiometer를 이용하여 20일간 측정하였다.

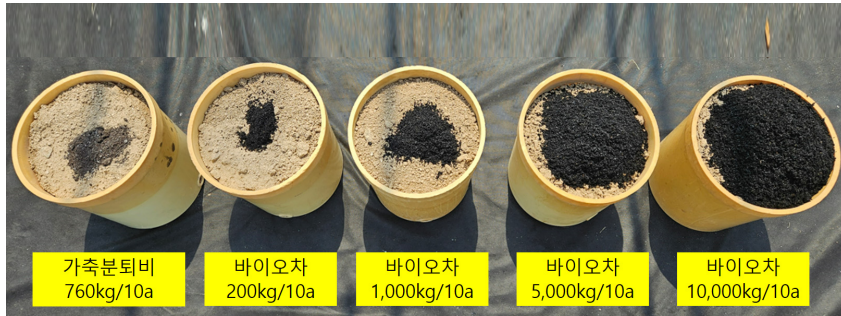


그림 1. 바이오차 처리량별 비교(1/2000a 와그너포트)

(시험 6) 목재 바이오차 시용 효과 구명(2024)

본 연구는 농림부산물(목재) 바이오차의 토양 화학성 개량 및 작물생육, 증진 등 시용 효과 구명을 분석하기 위해 수행되었다. 옥수수, 무를 강원특별자치도농업기술원 시험연구포장에서 바이오차를 처리하여 재배하였다. 바이오차를 0, 200, 500, 1,000kg/10a 처리한 토양에 작물별 토양검정에 따른 비료사용처방에 따라 질소, 인산, 칼리를 시비하였다. 이후 바이오차 처리별 토양 화학성 및 작물생육을 분석하였다.

(시험 7) 뿌리작물 재배 시 바이오차 비료 저감효과 구명(2025)

본 연구는 뿌리작물 재배 시 농림부산물(목재) 및 가축분(계분) 바이오차의 비료 저감효과를 구명하기 위해 수행되었다. 당근, 무, 쪽파를 강원특별자치도농업기술원 시험연구포장에서 바이오차 처리 및 감비하여 재배하였다. 관행시비, 바이오차 원료별 처리(400kg/10a) + 토양검정에 따른 비료사용량에서 감비 10, 20, 30, 40%을 처리하였다. 이후 작물생육 및 수량, 토양화학성, 양분이용효율 등을 분석하였다. 시험 7, 8의 작물별 경종 개요는 표 2과 같다.

표 2. 재배작물 및 경종개요(시험 7)

작물명	품종	파종일	수확일	재식거리
당근	신흑전 5촌	7. 29.	11. 4.	10×20cm
무	태청	8. 21.	10. 29.	60×30cm
쪽파	일반	9. 9.	11. 4.	15×20cm

(시험 8) 뿌리작물 재배 시 바이오차 시용효과 구명(2025)

본 연구는 뿌리작물 재배 시 농림부산물(목재) 및 가축분(계분) 바이오차의 시용효과를 구명하기 위해 수행되었다. 당근, 무, 쪽파를 강원특별자치도농업기술원 시험연구포장에서 바이오차를 처리하여 재배하였다. 관행시비, 관행시비 + 바이오차 200, 500, 1,000, 2,000kg/10a 처리하였다. 이후 작물생육 및 수량, 토양화학성을 분석하였다.

<제2세부과제: 다축형 평명수형 과원의 적정 시비량 설정>

(시험 1) 사과와의 적정 유기물 시비량 설정

본 연구는 2024년부터 2025년까지 2년간 강원특별자치도농업기술원 과수연구팀 시험연구포장(춘천시 신북읍 유포리)에서 수행하였으며 공시 품종은 미야비후지/M.9.으로 2축묘를 사용하였다. 2024년 4월 8일에 1m×1m×0.5m(가로×세로×깊이)의 재식 구덩이를 파고 유기물을 토양과 혼합 처리 후 묘목을 식재하였으며 활착 후 10축으로 유인하였다. 유기물은 혼합가축분 퇴비와 피트모스를 사용하였으며 혼합가축분 퇴비는 성분을 분석(표 3)하여 유기물, 구리, 아연, 부속도 등의 적정성을 확인한 후 사용하였고 유기물 처리량(표 4)은 각 0%, 25%, 50%, 100%, 200%로 5처리 하였다. 0%, 25%, 50%, 100% 처리구의 유기물 함량은 동일하게, 200% 처리구의 유기물 함량은 다른 처리구의 2배가 되도록 설정하였다. 100% 처리구 내의 유기물 함량을 기준으로 동일한 유기물 함량 처리를 위해 0%, 25%, 50% 처리구에는 피트모스와 가축분 퇴비를 함께 사용하였다. 유기물 처리에 따른 토양화학성의 변화를 모니터링하기 위해 재배 전(2024. 3.), 재배 중(2024. 6., 2025. 4.) 과실 수확 후(2025. 11.)의 토양 시료를 채취하여 pH, EC, 유기물, 치환성 양이온 등을 분석하였으며 매년 엽 내 무기성분 함량 분석을 통해 영양상태 진단을 실시하였다. 분석은 농촌진흥청 종합분석실 분석 매뉴얼(2023)에 준하였다. 유기물 처리에 따른 생장 및 과실특성 구명을 위해 수체 생육, 신초 생장, 화아 분화 및 착과량, 과실 품질 등에 대해 조사하였다. 생육 조사 항목은 축 길이, 축 직경, 엽수, 신초 길이, 신초 직경, 화충수, 당도, 과피 착색 등이다.

(시험 2) 복숭아의 적정 유기물 시비량 설정

(시험 2)의 공시품종은 유명으로 1년생 실생묘(희초리 묘목)를 사용하였으며 2024년 4월 9일에 식재하여 활착 후 8축으로 유인하였다. 시험 장소, 조사 기간, 식재 방법 및 혼합가축분 퇴비의 성분(표 3), 유기물 처리량(표 4)은 시험 1과 동일하다. 복숭아 또한 유기물 처리에 따른 토양화학성의 변화를 모니터링 하기 위해 처리 전, 재배 중, 재배 후의 토양 시료를 채취하여 pH, EC, 유기물, 치환성 양이온 등을 분석하였으며 수체 생육, 신초 생장, 전정량, 착과수, 과실 품질 등에 대해 조사하였다. 생육 조사 항목은 축 길이, 축 직경, 마디수, 신초 길이, 신초 직경, 하계 전정량, 수확량, 당도, 산도 등이다. 또한 매년 엽 내 무기성분 함량 분석을 통해 엽 중 영양상태 진단을 실시하였다.

표 3. 혼합 가축분 퇴비 성분

항목	유기물 (%)	수분 (%)	T-N	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O	Zn (mg kg ⁻¹)	Cu (mg kg ⁻¹)	NaCl (%)	부속도
혼합가축분 퇴비	34.2	35.0	1.8	3.3	2.5	462.0	128.5	1.32	부속완료
적정기준	30≤	≤55	-	-	-	≤900	≤360	≤2	부속완료

표 4. 처리구별 유기물 처리량

(처리량 kg 10a⁻¹)

구분	0%	25%	50%	100%	200%
혼합가축분 퇴비	-	125	250	500	1,000
피트모스	200	150	100	-	-

<제3세부과제: 밀웜 분변토 이용기술 개발>

(시험 1) 밀웜 분변토 비료 효과 검증

밀웜 분변토의 비료효과를 평가하기 위하여 배추(춘광)를 대상으로 노지 재배 시험을 수행하였다(그림 2). 시험자재로는 밀웜 분변토와 혼합가축분퇴비를 사용하였으며, 처리구는 무처리구, 혼합가축분퇴비 처리구(570 kg/10a), 밀웜 분변토 기준구(190 kg/10a), 배량구(380 kg/10a)로 구성하였다. 밀웜 분변토 기준구는 대조구 퇴비의 질소함량을 기준으로 환산하여 설정하였으며, 배량구는 기준구의 2배 수준으로 처리하였다. 모든 유기물 자재는 정식 전 토양에 혼화 처리하였다. 시험구 배치는 4처리 3반복으로 하였으며, 일반적인 배추 재배 관행에 따라 기비 및 추비를 실시하였다. 1차 시험은 4월25일에 2차 시험은 8월 25일에 정식하였다. 조사항목으로는 재배 전·후 토양의 화학적 특성 pH, EC, 유기물, 양분함량 등을 분석하였으며, 작물의 생육 및 수량 특성을 조사하여 처리 간 차이를 비교하여 밀웜 분변토의 비료적 효과와 토양 및 작물에 미치는 영향을 종합적으로 평가하였다.



【정식 8. 25.】



【수확 11. 3.】

그림 2. 비효시험 포장 전경

(시험 2) 밀웜 분변토 비료 피해 검증

비해 검증 시험은 작물에 대한 밀웜 분변토의 안전성을 확인하기 위하여 수행되었다. 시험작물은 배추, 상추, 시금치, 콩 및 무를 대상으로 실시하였다. 처리구는 무처리구, 분변토 기준구(190 kg/10a), 배량구(380 kg/10a)로 구성하였다. 비해 여부 평가는 작물별 생육 초기부터 일정 기간 동안 달관조사를 통해 실시하였으며, 피해 정도는 0(피해 없음)에서 5(뿌리를 포함한 고사 상태)까지의 등급으로 구분하여 평가하였다(표 5). 이식 작물인 배추와 상추, 콩, 시금치는 정식 후 7일, 14일, 21일 총 3회 조사하였다. 무는 지하부 작물의 생육 특성을 고려하여 7일, 14일, 21일, 28일 및 수확기까지 총 4회 이상 비해 여부를 조사하였다. 생육조사는 작물별 특성에 따라 엽장, 엽폭, 엽수, 초장, 생체중 등 지상부 생육과 함께 근장, 근중, 근경 등 지하부 생육을 포함하여 수행하였으며, 각 처리구당 5주를 대상으로 측정하였다. 조사 시기는 정식 또는 발아 후 약 21일 이상 경과하여 무처리구에서 신엽이 3매 이상 전개된 시점을 기준으로 하였으며, 무의 경우 뿌리 생육을 고려하여 파종 후 40일 이상 경과 시점에서 추가 조사를 실시하였다.

표 5. 비해시험 조사항목 및 방법

작물		조사항목		조사규모	조사횟수
이식 작물	배추	비해 유무	피해 정도에 따라 0~5	전구(달관)	3회
		생육 조사	엽장, 엽폭, 엽수, 생체중	구당 5주	1회
	상추	비해 유무	피해 정도에 따라 0~5	전구(달관)	3회
		생육 조사	엽장, 엽폭, 엽수, 생체중	구당 5주	1회
파종 작물	무	비해 유무	피해 정도에 따라 0~5	전구(달관)	4회
		생육 조사	엽장, 엽수, 생체중, 근장, 근중, 근경	구당 5주	1회
	시금치	비해 유무	피해 정도에 따라 0~5	전구(달관)	3회
		생육 조사	엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, 초장	구당 5주	1회
	콩	비해 유무	피해 정도에 따라 0~5	전구(달관)	3회
		생육 조사	엽장, 엽폭, 엽수, 생체중, 초장	구당 5주	1회

3 결과 및 고찰

<제1세부과제: 바이오차를 활용한 토양관리 기술 연구>

(시험 1) 바이오차 시용 시 토양화학성 개량효과 분석(2023)

2023년 바이오차를 활용한 토양관리 기술 연구는 농가에서 관행적으로 사용하고 있으며 생산업체의 권장량인 바이오차 200kg/10a를 처리량 기준으로 하여 시험을 설계하였다. 일반 토양, 산성 및 알칼리성 토양으로 구분한 3종류의 토양에 대해 상추, 배추 재배시험을 수행하여 바이오차 처리량별 토양화학성 및 작물 생육을 분석하였다. 시험 전 토양화학성은 표 6과 같다. 상추 및 배추 재배시험 중 토양화학성(표 7, 8)은 공통적으로 바이오차 처리량이 클수록 pH, 유기물 치환성 양이온 함량이 증가하였으며, 일부 처리구에서는 유효인산 함량도 높아지는 것을 확인하였다. 하지만 농림부산물(목재) 바이오차의 비료 성분은 질소, 인산, 칼리 0.9-0.7-1.2%로써 자체 성분 함량은 크지 않으며, 비효로써의 양분 공급 목적보다는 보비력 및 토양 산도를 개량하는데 탁월할 것으로 판단된다.

표 6. 시험 전 토양화학성(시험 1)

구분	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
					K	Mg	Ca
A (일반토양)	6.79	0.20	18	395	0.23	0.86	5.1
B (산성토양)	5.00	4.22	23	861	1.01	1.75	5.7
C (알칼리성토양)	7.81	0.63	22	640	0.63	1.73	9.9

표 7. 상추 재배시험 중 토양화학성(시험 1)

토양 종류	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
						K	Mg	Ca
A (일반토양)	0(무처리)	6.60	1.67	25	499	0.50	1.69	7.0
	100	6.75	1.39	28	577	0.57	1.87	7.7
	200	6.84	1.58	28	604	0.61	1.93	7.9
	400	6.90	1.34	29	615	0.61	1.91	7.9
	800	7.08	1.06	30	618	0.62	1.92	8.2
B (산성토양)	0(무처리)	5.60	2.63	24	831	0.74	1.51	5.5
	100	5.88	2.87	26	863	0.81	1.66	5.8
	200	5.99	2.74	26	861	0.86	1.65	6.1
	400	6.22	1.33	27	846	0.67	1.42	6.2
	800	6.38	3.33	31	833	1.00	1.91	6.9
C (알칼리성 토양)	0(무처리)	7.62	1.13	23	520	0.49	1.80	10.0
	100	7.61	1.60	23	562	0.67	1.86	10.3
	200	7.50	1.40	24	514	0.66	1.82	10.1
	400	7.64	1.57	25	522	0.66	1.90	10.3
	800	7.86	1.23	27	532	0.80	1.91	10.5

표 8. 배추 재배시험 중 토양화학성(시험 1)

토양 종류	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
						K	Mg	Ca
A (일반토양)	0(무처리)	6.60	1.67	25	499	0.50	1.69	7.0
	100	6.75	1.39	28	577	0.57	1.87	7.7
	200	6.84	1.58	28	604	0.61	1.93	7.9
	400	6.90	1.34	29	615	0.61	1.91	7.9
	800	7.08	1.06	30	618	0.62	1.92	8.2
B (산성토양)	0(무처리)	5.60	2.63	24	831	0.74	1.51	5.5
	100	5.88	2.87	26	863	0.81	1.66	5.8
	200	5.99	2.74	26	861	0.86	1.65	6.1
	400	6.22	1.33	27	846	0.67	1.42	6.2
	800	6.38	3.33	31	833	1.00	1.91	6.9
C (알칼리성토양)	0(무처리)	7.62	1.13	23	520	0.49	1.80	10.0
	100	7.61	1.60	23	562	0.67	1.86	10.3
	200	7.50	1.40	24	514	0.66	1.82	10.1
	400	7.64	1.57	25	522	0.66	1.90	10.3
	800	7.86	1.23	27	532	0.80	1.91	10.5

상추 재배시험 생육조사 결과(표 9), 엽 관련 생육 및 SPAD에서 처리량별 유의성은 없었다. 총 수량(g/주)은 일반토양 및 알칼리성에서 바이오차 400kg/10a에서 가장 높았다. 일반 토양 바이오차 800kg/10a 처리에서는 무처리의 총 수량 94.0g/주 대비 44% 감소한 52.0g/주로 나타났다. 산성토양은 총 수량에 대해 유의성은 없었다. 배추 재배시험 생육조사 결과(표 10) 또한 조사 항목별 유의성은 없었다. 2024년부터 진행한 이후의 실험들은 시험결과의 유의성을 도출하기 위해 바이오차 처리량을 최대 1,000kg/10a 이상 설정하였다.

표 9. 상추 재배시험 생육조사 결과(시험 1)

토양 종류	바이오차 회당 사용량 (kg/10a)	엽중 (g)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	엽수 (개)	엽면적 (cm ²)	근중 (g)	근경 (cm)	SPAD	총 수량 (g/주)
A (일반토양)	0(무처리)	1.9	12.4	6.1	33.8	66.5	10.3	13.1	14.9	94.0b
	100	1.9	12.2	6.2	32.6	66.5	10.7	14.5	15.7	95.3b
	200	1.9	11.9	6.1	32.4	63.6	10.3	12.4	15.6	85.5c
	400	1.9	12.1	6.1	36.5	64.3	9.0	11.7	15.2	111.4a
	800	1.8	11.5	6.0	35.3	61.1	9.7	11.3	15.2	52.0d
B (산성토양)	0(무처리)	1.8	11.6	5.9	27.5	63.5	8.5	7.8	15.0	91.4
	100	1.8	11.3	6.3	26.9	61.0	8.7	8.3	15.8	83.7
	200	1.7	11.0	6.6	27.8	58.5	8.3	8.5	15.5	87.4
	400	1.8	11.4	6.3	29.3	60.5	8.5	11.1	15.4	92.9
	800	1.9	12.3	6.6	26.2	63.1	8.5	9.3	15.1	91.9
C (알칼리성토양)	0(무처리)	1.2	9.8	5.2	34.3	43.6	7.7	9.5	13.5	103.0b
	100	1.2	10.3	5.3	36.2	46.7	7.7	9.6	14.1	108.7b
	200	1.3	10.2	5.5	33.1	47.9	8.6	13.1	13.7	105.4b
	400	1.3	9.7	5.2	43.0	46.6	8.1	12.0	14.3	128.9a
	800	1.2	9.9	5.3	20.9	44.6	8.5	10.4	13.6	62.6c

DMRT; $p < 0.05$.

표 10. 배추 재배시험 생육조사 결과(시험 1)

토양 종류	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	구경 (cm)	근중 (g)	근경 (cm)	SPAD	구중 (g)
A (일반토양)	0(무처리)	30.0	22.8	9.1	38.0	333.9
	100	31.0	20.6	10.8	37.8	320.6
	200	30.5	22.4	9.5	39.1	324.2
	400	30.0	23.7	9.6	33.9	333.3
	800	30.1	20.4	10.6	38.7	322.8

토양 종류	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	구경 (cm)	근중 (g)	근경 (cm)	SPAD	구중 (g)
B (산성토양)	0(무처리)	32.4	18.9	7.4	38.2	361.4
	100	31.3	26.6	9.5	36.2	378.9
	200	32.5	28.7	9.4	40.4	381.8
	400	32.1	26.1	8.6	38.3	397.6
	800	32.1	20.1	7.7	35.7	366.7
C (알칼리성토양)	0(무처리)	33.4	18.5	9.2	36.8	360.0
	100	30.2	16.7	8.4	35.9	361.4
	200	31.2	24.7	9.4	39.4	343.1
	400	35.6	17.5	8.9	34.5	338.1
	800	32.2	22.4	9.3	35.1	326.0

(시험 2) 바이오차 시용 시 비료 감비효과 구명(2023)

바이오차의 비료 감비효과 구명의 시험 전 토양화학성은 표 11과 같으며 시험연구포장을 새로 개간함에 따라 토양 양분이 높지 않은 지점에서 시험을 수행하였다. 시험 1과 마찬가지로, 농가에서 관행적으로 사용하고 있는 양인 바이오차 200kg/10a을 처리량으로 시험을 설계하였다. 무, 배추 재배시험 중 토양화학성의 양분 함량에서 바이오차 처리별 유의한 차이는 없었다(표 12, 13).

표 11. 시험 전 토양화학성(시험 2)

구분	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
					K	Mg	Ca
시험전 토양 (무, 배추)	6.63	0.07	7	82	0.08	0.35	3.7

표 12. 무 재배시험 중 토양화학성(시험 2)

비료처리 배수	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
						K	Mg	Ca
0	0(무처리)	7.65	0.24	9	201	0.12	0.89	5.6
	100	7.88	0.30	12	292	0.19	0.99	6.5
	200	7.83	0.24	11	234	0.12	0.92	6.0
0.5	0	7.59	0.23	11	255	0.13	0.91	5.8
	100	7.66	0.24	10	192	0.19	0.91	5.8
	200	7.71	0.30	13	275	0.20	1.03	6.5

비료처리 배수	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
						K	Mg	Ca
1.0	0	7.31	0.25	11	225	0.20	0.79	5.5
	100	7.75	0.25	10	233	0.19	0.88	5.7
	200	7.75	0.32	12	313	0.25	1.03	6.6
1.5	0	7.35	0.26	12	240	0.17	0.70	5.0
	100	7.58	0.29	11	260	0.20	0.82	5.5
	200	7.50	0.29	12	247	0.23	0.91	5.5
2.0	0	7.24	0.26	10	231	0.18	0.66	4.6
	100	7.41	0.28	10	220	0.17	0.82	5.1
	200	7.44	0.33	10	254	0.22	0.89	5.1

표 13. 배추 재배시험 중 토양화학성(시험 2)

비료처리 배수	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
						K	Mg	Ca
0	0(무처리)	7.71	0.26	10	268	0.17	0.94	5.3
	100	7.75	0.24	11	267	0.18	0.85	5.7
	200	7.82	0.22	10	199	0.11	0.86	5.8
0.5	0	7.60	0.29	10	244	0.25	0.91	5.4
	100	7.71	0.29	9	228	0.17	0.82	5.4
	200	7.69	0.23	9	220	0.24	0.79	5.0
1.0	0	7.44	0.28	9	198	0.30	0.71	4.7
	100	7.48	0.38	9	236	0.31	0.78	4.7
	200	7.70	0.44	11	279	0.51	0.79	5.3
1.5	0	7.53	0.30	9	219	0.28	0.68	4.7
	100	7.63	0.36	11	264	0.36	0.80	5.5
	200	7.64	0.31	9	213	0.27	0.69	4.6
2.0	0	7.65	0.66	14	317	0.79	0.78	6.0
	100	7.56	0.52	13	322	0.53	0.88	5.9
	200	7.57	0.46	8	201	0.38	0.74	4.7

기준 비료량에서 질소, 인산, 칼리를 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0배 처리하였을 때 처리배수가 높을수록 무, 배추 수량이 증가하였지만, 바이오차 처리별 생육조사 항목 간에 유의한 차이는 없었다(표 14, 15). 이는 토양의 완충능 및 강한 비효에 비해 바이오차의 영향이 처리량 200kg/10a까지에서 크지 않아 작물 생육에 차이가 나지 않은 것으로 판단된다. 이후 바이오차 처리량(400kg/10a) 및 감비율(10~40%)을 보완하여 시험 7을 연계하였다.

표 14. 무 재배시험 생육조사 결과(시험 2)

비료처리 배수	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	근중 (g)	근장 (cm)	엽중 (g)	엽장 (cm)	SPAD	수량 (kg/10a)
0	0(무처리)	814	21.3	127.6	24.6	40.9	2,713
	100	640	19.4	108.1	22.8	39.1	2,133
	200	819	20.8	136.8	25.3	39.2	2,728
0.5	0	1469	26.2	257.0	34.9	46.9	4,896
	100	1423	24.2	224.9	32.3	41.9	4,743
	200	1535	24.4	253.9	33.3	44.1	5,115
1.0	0	1640	24.8	339.7	38.3	44.1	5,467
	100	1569	25.5	310.1	36.1	45.7	5,229
	200	1664	26.1	313.4	37.5	45.3	5,546
1.5	0	1585	24.5	357.2	39.1	45.1	5,283
	100	1506	23.9	352.4	39.0	45.6	5,019
	200	1660	25.8	381.5	39.3	43.6	5,533
2.0	0	1544	23.6	369.1	38.6	47.0	5,146
	100	1709	25.3	404.8	41.6	47.9	5,696
	200	1794	26.0	372.0	39.9	45.7	5,978

표 15. 배추 재배시험 생육조사 결과(시험 2)

비료처리 배수	바이오차 회당 사용량(kg/10a)	구중 (g)	구경 (cm)	근중 (g)	근경 (cm)	SPAD	수량 (kg/10a)
0	0(무처리)	1,865	31.9	57.8	19.3	29.9	4,663
	100	1,001	26.1	43.2	17.4	30.3	2,502
	200	870	24.8	43.3	17.7	30.5	2,175
0.5	0	2,127	33.9	48.5	19.0	35.2	5,319
	100	2,284	34.1	51.2	19.0	33.2	5,711
	200	2,286	34.4	44.8	17.2	31.9	5,715
1.0	0	3,173	38.0	54.3	19.3	37.8	7,934
	100	2,792	36.5	54.3	19.1	36.5	6,981
	200	3,306	38.6	52.2	18.9	38.8	8,267
1.5	0	3,132	38.8	51.2	20.3	41.1	7,831
	100	3,256	37.2	53.2	18.0	40.2	8,142
	200	3,164	38.3	44.3	18.0	41.2	7,911
2.0	0	3,135	39.3	48.7	18.5	40.5	7,839
	100	3,566	39.4	49.7	18.4	41.0	8,916
	200	2,983	39.4	40.9	23.3	47.6	7,459

(시험 3) 수박, 멜론 바이오차 연용 적정사용량 구명(2023)

수박, 멜론의 바이오차 연용 적정사용량 구명의 시험 전 토양화학성은 표 16과 같다. 수박 재배시험 중 토양화학성(표 17)에서 pH는 6.5 부근으로 처리 간 큰 차이가 없었으며 유기물은 5g/kg에서 7로, 유효인산은 144mg/kg에서 257로 증가하였다. 이는 노지에서 바이오차 200~400kg/10a 수준의 시용이 토양 pH나 양분 함량을 급격히 변화시키기보다는 유지되는 경향을 보였다. 그리고 멜론 재배시험 중 토양화학성(표 18) 또한 표 16와 유사한 경향을 나타냈다.

표 16. 시험 전 토양화학성(시험 3)

구분	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
					K	Mg	Ca
시험전 토양 (수박)	7.42	3.23	11	243	0.19	1.5	7.4
시험전 토양 (멜론)	6.72	1.20	6	227	0.17	1.0	6.5

표 17. 수박 재배시험 중 토양화학성(시험 3)

당해(누적) 바이오차 사용량(kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
					K	Mg	Ca
0(무처리)	6.57	1.94	5	144	0.12	0.99	4.6
100(200)	6.57	1.92	6	211	0.11	1.08	5.0
200(400)	6.65	1.71	7	217	0.12	1.01	4.6
400(800)	6.67	2.19	7	257	0.09	1.04	4.6

표 18. 멜론 재배시험 중 토양화학성(시험 3)

당해(누적) 바이오차 사용량(kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
					K	Mg	Ca
0(무처리)	6.73	1.72	7	264	0.04	0.97	5.4
100(200)	6.92	1.84	6	288	0.04	1.04	5.6
200(400)	6.83	1.36	6	201	0.02	0.93	5.3
400(800)	6.64	1.88	8	295	0.04	1.02	5.3

수박 재배시험 생육조사 결과(표 19), 200kg/10a으로 2022~2023년 2년 연용한 시험구에서 무처리 수량 대비 약 7% 증가한 가장 높은 수량을 나타냈으며, 멜론 재배시험 생육조사 결과(표 20) 또한 200kg/10a으로 2년 연용한 시험구에서 2022~2023년 평균 수량 5,289kg/10a으로 높은 수량이 나타났다. 경제성을 고려한 바이오차 200kg/10a 수준을 매해 연용하여 토양을 개량하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

표 19. 수박 재배시험 생육조사 결과(시험 3)

조사연도	당해(누적) 바이오차 시용량 (kg/10a)	구중 (kg)	구고 (cm)	구폭 (cm)	수량 (kg/10a)
2022 (1차 재배)	0(무처리)	5.4	22.8	19.3	3,698
	100(200)	5.3	21.7	18.8	3,649
	200(400)	5.8	23.0	19.3	3,967
	400(800)	5.4	22.6	19.0	3,682
2023 (2차 재배, 1차 연용)	0(무처리)	3.4	20.8	17.5	2,692
	100(200)	3.2	20.2	17.5	2,427
	200(400)	3.6	20.7	18.1	2,858
	400(800)	3.6	21.3	18.2	2,726
2022~2023 평균	0(무처리)	4.3	21.8	18.4	3,195
	100(200)	4.3	21.0	18.2	3,038
	200(400)	4.8	21.8	18.7	3,413
	400(800)	4.4	21.9	18.6	3,204

표 20. 멜론 재배시험 생육조사 결과(시험 3)

조사연도	당해(누적) 바이오차 시용량 (kg/10a)	구중 (kg)	구고 (cm)	구폭 (cm)	수량 (kg/10a)
2022 (1차 재배)	0(무처리)	2.4	17.1	16.6	5,107
	100(100)	2.6	17.6	17.0	5,528
	200(200)	2.8	18.2	17.4	5,973
	400(400)	2.6	17.6	17.1	5,476
2023 (2차 재배, 1차 연용)	0(무처리)	2.1	17.5	15.8	4,422
	100(200)	2.0	16.9	15.2	4,206
	200(400)	2.2	17.3	15.8	4,604
	400(800)	1.9	16.2	15.2	3,966
2022~2023 평균	0(무처리)	2.1	17.3	16.2	4,765
	100	2.2	17.3	16.1	4,867
	200	2.6	17.8	16.6	5,289
	400	2.1	16.9	16.2	4,721

(시험 4) 목재 바이오차 한계 시용량 구명(2024)

2024~2025년 바이오차를 활용한 토양관리 기술 연구는 데이터의 유의성 확보를 위해 바이오차 시용량 기준을 이전 200kg/10a에서 1,000kg/10a으로 설정하였다. 농림부산물(목재) 바이오차 한계 시용량 구명에

다른 재배시험(양배추, 고추, 대파) 중 토양화학성은 표 21과 같다. 바이오차 처리량이 많을수록 pH, 유기물, 유효인산, 치환성 양이온 함량이 높았다. 바이오차 처리량과 pH, 유기물, 치환성양이온 함량에서 강한 정적 상관관계를 보였다(그림 3). 10,000kg/10a 처리구에서는 pH가 7.8로써 다소 높은 값을 보였다. 무처리 대비 바이오차 1,000kg/10a 이상 처리량에서 pH의 변화가 크게 나타났다. 농림부산물(목재) 바이오차 사용 시 보비력 향상 및 산성토양 개량이 가능할 것으로 기대된다.

표 21. 재배시험(양배추, 고추, 대파) 중 토양화학성(시험 4)

시험작물	구 분 (바이오차 kg/10a)	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
					K	Ca	Mg
양배추	0	7.00	20	429	0.92	9.0	1.78
	200	7.11	21	407	0.84	7.4	1.44
	1,000	7.57	27	400	0.82	7.6	1.40
	5,000	7.73	31	462	1.11	9.3	2.12
	10,000	7.89	33	461	1.12	11.1	2.27
고추	0	6.90	21	424	0.92	8.2	1.44
	200	6.93	21	448	1.16	11.4	2.37
	1,000	7.03	21	449	0.89	9.3	1.86
	5,000	7.47	29	434	2.05	14.3	4.32
	10,000	7.85	39	553	2.08	12.5	3.33
대파	0	6.87	21	485	1.07	8.9	1.76
	200	6.91	23	501	0.93	7.6	1.41
	1,000	7.34	24	483	0.78	7.4	1.36
	5,000	7.61	33	500	0.96	8.2	1.55
	10,000	7.83	34	457	1.21	10.5	2.21

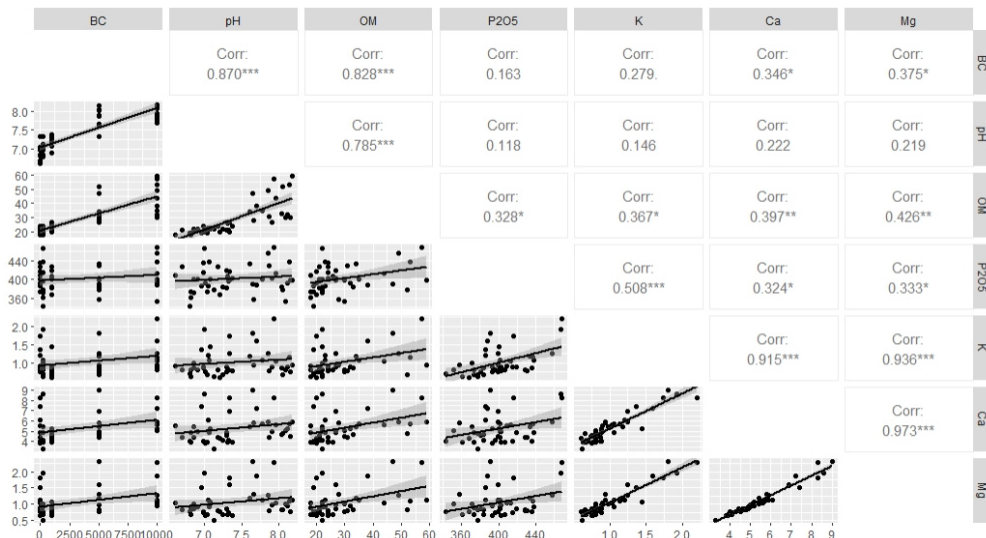


그림 3. 바이오차 처리량에 따른 토양 양분 상관관계

한계 시용량 구명을 위한 양배추, 고추, 대파 재배시험의 생육조사 결과는 표 22와 같다. 양배추는 생육 특성에서 바이오차 무처리 대비 1,000, 5,000kg/10a 처리구의 구중 및 근중이 가장 높았으며, 10,000kg/10a 처리구의 생육은 타 처리구에 비해 다소 부진하였다. 고추는 바이오차 5,000kg/10a 처리구에서 과중 및 주당 속과중 값이 가장 높았다. 대파는 바이오차 처리에 따른 생육 크게 나타나지 않았으나, 10,000kg/10a 처리구에서는 생육이 하락하였다. 결론적으로 농립부산물(목재) 바이오차는 양배추, 고추, 대파 재배 시 5,000kg/10a까지 사용하였을 때 비해가 없으며 토양개량 및 작물 생육증진 효과를 기대할 수 있다. 10,000kg/10a에서는 생육 감소 등 비해가 발생하였다.

표 22. 재배시험(양배추, 고추, 대파) 생육조사 결과(시험 4)

시험작물	구분(바이오차 kg/10a)	구중(g)	근중(건중, g)
양배추	0	886.0	12.89ab
	200	869.7	13.16ab
	1,000	952.7	16.18a
	5,000	958.3	16.73a
	10,000	867.3	11.57b
시험작물	구분(바이오차 kg/10a)	과중(g)	주당 속과중(g)
고추	0	10.1b	280
	200	11.5b	272
	1,000	15.2a	279
	5,000	15.9a	305
	10,000	16.1a	290
시험작물	구분(바이오차 kg/10a)	엽중(g)	초장(cm)
대파	0	113.7a	65.2a
	200	97.7ab	60.1ab
	1,000	110.0a	63.6ab
	5,000	111.6a	61.6ab
	10,000	79.1b	58.2b

DMRT; $p < 0.05$.

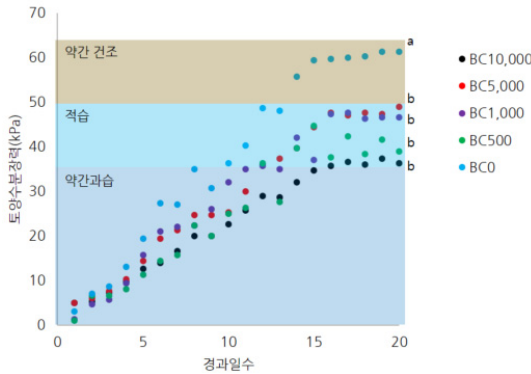
(시험 5) 목재 바이오차 토양 물리성 개선효과 구명(2024)

농립부산물(목재) 바이오차 처리량에 따른 토양 용적밀도의 변화를 분석한 결과는 표 23과 같다. 바이오차 처리량이 증가함에 따라 토양 용적밀도는 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 무처리구의 경우 용적밀도는 1.26g/cm³으로 가장 높게 나타났으며 바이오차 200kg/10a에서는 1.09g/cm³로 약 13.5% 감소하였다. 특히 10,000kg/10a에서는 0.72g/cm³로 크게 감소하였다. 이는 바이오차가 0.2g/cm³의 낮은 밀도 및 다공성 구조를 가져 처리량이 증가할수록 토양 내 공극률이 증가하면서 용적밀도가 더욱 낮아진 것으로 해석된다. 이는 작물의 뿌리 생장을 위한 통기성 및 투수성 향상 등 토양 물리성 개선 측면에서 긍정적인 효과를 가질 수 있다.

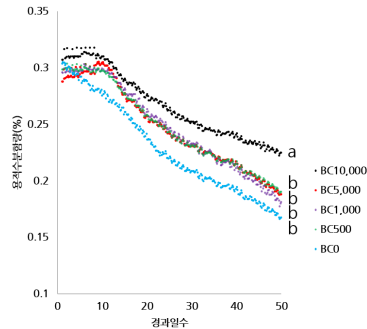
표 23. 목재 바이오차 처리량별 토양 용적밀도(시험 5)

구 분 (바이오차 kg/10a)	토양 용적밀도 (g/cm ³)
0	1.26
200	1.09
1,000	1.07
5,000	0.91
10,000	0.72

바이오차 처리량에 따른 토양 수분특성 변화는 그림 4에 나타난 바와 같다. 토양 수분장력과 용적수분함량 모두 처리량에 따라 뚜렷한 변화를 보였다. 먼저 토양 수분장력의 경우 모든 처리구에서 경과일수 증가에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 바이오차 처리 시 20일 동안 평균 토양 수분장력 23.3~38.9% 감소하였다. 무처리구(BC0)는 경과일수 20일까지 약 60kPa 이상까지 증가하였다. 반면 바이오차 처리구에서는 전반적으로 수분장력이 무처리구 대비 낮았으며, 10,000kg/10a 처리구(BC10,000)는 전 기간 가장 낮은 수분장력을 나타냈다. 또한 용적수분함량은 경과일수 증가에 따라 전 시험구에서 감소하는 경향을 보였는데, 이때 바이오차 처리구는 무처리구에 비해 상대적으로 높은 용적수분함량을 유지하였다. 특히 바이오차 10,000kg/10a 처리구(BC10,000) 처리구에서 가장 높은 수분함량을 유지하였다. 결과적으로 바이오차는 토양의 수분장력 감소와 용적수분함량 유지를 통해 토양의 수분보유력을 효과적으로 개선할 수 있는 것으로 판단된다.



【바이오차 처리량별 토양수분장력】



【바이오차 처리량별 용적수분함량】

그림 4. 바이오차 처리량별 토양 수분보유력(시험 5)

(시험 6) 목재 바이오차 시용 효과 구명(2024)

농림부산물(목재) 바이오차 처리량에 따른 토양화학적성은 표 24와 같다. 유기물 함량은 22~24g/kg 수준으로, 바이오차 처리구에서 약간 증가하는 경향을 보였다. 유효인산은 처리구 간 변동은 있으나 일정한 경향은 나타나지 않았다. 치환성 양이온 중 Mg는 바이오차 처리량 증가에 따라 다소 증가하는 경향을 보였다. 바이오차 처리량에 따른 작물 생육은 옥수수, 무에서 모두 긍정적인 경향이 나타났다(표 25). 바이오차의 처리에 따른

초기 생육의 안정적 증진 효과는 그림 4와 같다. 옥수수의 경우 이삭중은 무처리구에 비해 모든 바이오차 처리구에서 증가하는 경향을 보였으며, 특히 2,000kg/10a 처리구에서 223.8g으로 가장 높은 값을 나타냈다. 지상부 조사항목 또한 유사한 증가 경향을 보였으며 1,000~2,000kg/10a 처리구 간에서 유의한 차이가 있었다.

표 24. 재배시험(옥수수, 무) 중 토양화학성(시험 6)

시험작물	구분 (바이오차 kg/10a)	pH (1:5)	O.M. (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
					K	Ca	Mg
옥수수	0	7.23	22	830	0.67	6.3	1.13
	200	7.24	22	808	0.67	6.5	1.14
	500	7.27	22	736	0.64	6.1	1.10
	1,000	7.23	24	843	0.64	6.7	1.29
	2,000	7.15	24	713	0.64	6.5	1.36
무	0	7.33	18	606	0.55	6.2	1.10
	200	7.39	19	690	0.72	6.5	1.27
	500	7.50	20	636	0.65	6.5	1.22
	1,000	7.36	19	643	0.54	6.8	1.26
	2,000	7.48	19	627	0.64	6.8	1.29



그림 5. 바이오차 처리에 따른 작물 초기생육 증진 효과(시험 6)

표 25. 재배시험(옥수수, 무) 생육조사 결과(시험 6)

시험작물	구분 (바이오차 kg/10a)	이삭중 (g)	지상부 길이 (초장, cm)	지상부 무게 (g)	근중 (건중, g)
옥수수	0	193.8b	203.0d	648.3b	75.7c
	200	209.3ab	218.7c	790.0a	78.2bc
	500	215.3a	231.7b	756.7a	80.5abc
	1,000	218.8a	248.3a	873.3a	85.5a
	2,000	223.8a	248.7a	876.7a	82.7ab

시험작물	구분 (바이오차 kg/10a)	근중(g)	근장(cm)	근폭(cm)
무	0	1310.4b	22.6c	9.4b
	200	1342.1b	22.7c	9.5b
	500	1375.0ab	24.9b	10.3a
	1,000	1479.8ab	25.0b	10.4a
	2,000	1532.4a	27.5a	10.8a

DMRT; $p < 0.05$.



그림 6. 바이오차 처리량별 작물 생육 차이(시험 6)

(시험 7) 뿌리작물 재배 시 바이오차 비료 저감효과 구명(2025)

뿌리작물 재배 시 바이오차 비료 저감효과 구명 시험 전 토양 이화학적성은 표 26과 같다. 토양 화학성은 적정범위 수준이며 물리적 구조 또한 양호한 상태의 토양에서 시험을 진행하였다. 농림부산물(목재), 가축분(계분) 바이오차 400kg/10a 처리 및 감비율에 따른 당근, 무, 쪽파의 생육 및 수량 반응은 표 27, 28, 29와 같다. 당근의 경우 농림부산물(목재) 바이오차 처리에서 감비율 20% 처리구가 수량 3,260kg/10a로 가장 높은 값을 나타냈으며, 무처리(관행) 대비 증가하는 경향을 보였다. 감비율 30% 까지 당근 무처리(관행)의 엽중, 근중, 수량을 유지하였다. 감비율 40%에서는 수량이 감소하였다. 가축분(계분) 바이오차 처리에서도 유사한 경향이 나타났는데, 감비율 40% 처리구에서 수량이 3,228kg/10a로 가장 높은 수량을 나타냈다. 감비율 40%까지 당근 관행과 유의한 수량차이가 없었다. 무는 농림부산물(목재) 바이오차 처리에서 감비율 10% 처리구가 6,328kg/10a로 가장 높은 수량을 보였으며, 관행 대비 증가하였다. 감비율 40%에서는 수량이 4,118kg/10a로 감소하였다. 가축분(계분) 바이오차 처리에서는 감비율 0%(관행)에서 6,521kg/10a로 가장 높은 수량을 보였으나, 감비율 30% 증가까지 수량에 유의한 차이는 없었다. 결론적으로 농림부산물(목재) 및 가축분(계분) 바이오차 처리 및 감비 30% 까지 무 무처리(관행)의 생육을 유지 하였으며, 감비 40%에서는 생육이 저하되었다.

표 26. 시험 전 토양 이화학적성(시험 7)

구분	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)			용적밀도 (g/cm ³)	공극률 (%)
					K	Ca	Mg		
토양	6.7	0.2	18	373	0.33	4.1	0.7	1.31	51
적정범위	6.0~6.5	≤ 2.0	20~30	350~450	0.6~0.7	5.0~6.0	1.5~2.0	-	-

표 27. 바이오차 처리 및 감비에 따른 당근 생육조사 결과(시험 7)

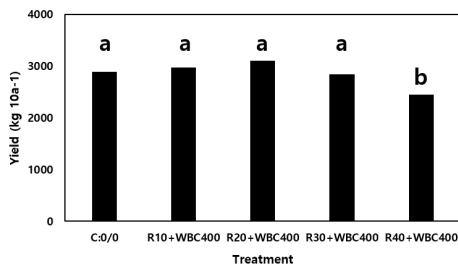
바이오차 구분	감비율 (%)	엽장 (cm)	엽중 (g)	근장 (cm)	근경 (cm)	근중 (g)	수량 (kg/10a)
농림부산물 (목재)	0(관행)	86.5	166.8a	20.2	5.3	289.3a	3,038a
	10	84.7	148.7a	21.1	5.5	297.3a	3,122a
	20	82.5	153.3a	20.8	5.8	310.5a	3,260a
	30	82.9	156.3a	20.7	5.6	284.0a	2,982a
	40	82.7	130.0b	19.7	5.3	244.3b	2,565b
가축분 (계분)	0(관행)	85.9ab	171.4	21.0	5.7	298.3a	3,132a
	10	85.8a	171.5	21.4	5.7	290.3a	3,048a
	20	87.4ab	153.3	19.9	5.7	287.5a	3,019a
	30	86.1ab	151.6	20.2	5.6	273.9a	2,876a
	40	83.0b	156.3	20.8	5.8	307.4a	3,228a

DMRT; $p < 0.05$.

표 28. 바이오차 처리 및 감비에 따른 무 생육 및 수량(시험 7)

바이오차 구분	감비율 (%)	엽장 (cm)	엽중 (g)	엽수 (개)	근장 (cm)	근경 (cm)	근중 (g)	수량 (kg/10a)
농림부산물 (목재)	0(관행)	48.0bc	350.9b	25.3a	31.6ab	8.4b	1,035.9a	5,755a
	10	54.2a	419.0a	26.8a	33.4a	9.2ab	1,139.0a	6,328a
	20	45.8c	270.6c	22.6b	30.5b	8.9ab	1,042.6a	5,792a
	30	49.5b	394.2ab	24.9a	32.7a	9.5a	1,108.6a	6,159a
	40	32.0d	167.7d	19.4c	24.8c	8.5b	741.2b	4,118b
가축분 (계분)	0(관행)	56.9	534.6a	26.6a	31.3ab	9.1	1,173.8a	6,521a
	10	45.0	306.7c	25.1ab	29.9b	9.0	1,012.3ab	5,624ab
	20	53.5	412.0b	24.5ab	32.9a	9.1	1,169.5a	6,497b
	30	48.6	323.3c	24.4ab	31.3ab	8.9	1,026.5ab	5,703ab
	40	49.0	326.8c	23.3b	31.2ab	8.5	896.0b	4,978b

DMRT; $p < 0.05$.



【당근 수량】



【무 생육 비교】

그림 7. 농림부산물(목재) 바이오차 처리 및 감비에 따른 작물 생육 차이(시험 7)

바이오차 종류 및 감비율에 따른 쪽파의 생육 및 수량 변화의 경우(표 29), 농림부산물(목재) 바이오차 처리구에서 수량은 감비율 20%에서 1,220kg/10a으로 가장 높은 값을 나타냈으며, 관행구(1,007kg/10a) 대비 증가하였다. 감비율 30%에서도 1,137kg/10a으로 비교적 높은 수량을 유지 하였으나, 40% 감비율에서는 수량이 급격히 감소하였다. 가축분(계분) 바이오차 처리구에서는 전반적으로 감비율도 높은 수량을 유지하였다. 특히 감비율 10% 처리구에서 1,267kg/10a로 가장 높은 수량을 나타냈으며, 20~40% 처리구에서도 안정적인 생산성을 보였다. 결과적으로 농림부산물(목재) 및 가축분(계분) 바이오차 처리 시 비료 절감(관행 20~30% 감비)이 가능할 것으로 판단된다.

표 29. 바이오차 처리 및 감비에 따른 쪽파 생육 및 수량(시험 7)

바이오차 구분	감비율 (%)	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽수 (개)	위경수 (개)	생체중 (g)	수량 (kg/10a)
농림부산물 (목재)	0(관행)	33.1	27.1	22.0b	3.1b	30.2b	1,007b
	10	32.2	26.0	23.2b	3.0b	31.8b	1,060b
	20	32.8	27.3	30.4a	4.8a	36.6a	1,220a
	30	32.8	26.3	27.4a	3.5b	34.1ab	1,137ab
	40	32.4	26.2	17.2c	2.3c	23.5c	783c
가축분 (계분)	0(관행)	31.5	26.2ab	33.2	6.5	34.3a	1,143a
	10	31.8	25.6b	34.9	6.6	38.0a	1,267a
	20	30.0	24.8b	36.0	6.9	33.8a	1,127a
	30	39.3	25.5b	34.3	7.0	35.8a	1,193a
	40	33.7	28.0a	30.4	6.1	37.8a	1,260a

DMRT; $p < 0.05$.

바이오차 처리 및 감비에 따른 당근, 무, 쪽파의 비료 질소, 인산, 칼리 3요소 부분요인 생산성은 표 30과 같다. 비료 부분요인 생산성은 비료 사용량(kg/ha)에 대한 작물 수확량(건중, kg/ha)의 비율을 환산하였다. 작목 공통으로 농림부산물(목재) 바이오차는 감비율 30%에서, 가축분(계분) 바이오차는 감비 40%에서 비료 투입량 대비 생산성(비료 사용에 대한 효율성 지표)이 높았다. 당근과 무는 바이오차 처리 및 감비에서 비료 부분요인 생산성 증가폭이 컸다. 위 결과는 바이오차의 시용이 비료이용효율을 향상할 수 있고, 동일한 비료 투입량 대비 더 높은 수량을 확보할 수 있는 것으로 판단된다.

표 30. 바이오차 처리 및 감비에 따른 작물별(당근, 무, 쪽파) 비료 3요소 부분요인 생산성(시험 7)

바이오차 구분	감비율 (%)	당근			무			쪽파		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
농림부산물 (목재)	0(관행)	12.7	22.3	15.3	11.6	34.6	19.0	3.6	6.2	4.4
	10	14.5	25.5	17.5	14.2	42.3	23.2	4.2	7.2	5.1
	20	17.0	30.0	20.6	14.7	43.6	23.9	5.4	9.4	6.6
	30	17.8	31.3	21.5	17.8	52.9	29.0	5.8	10.0	7.1
	40	17.8	31.4	21.6	13.9	41.3	22.7	4.6	8.0	5.7

바이오차 구분	감비율 (%)	당근			무			쪽파		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
가축분 (계분)	0(관행)	13.1	23.0	15.8	13.2	39.2	21.5	4.1	7.0	5.0
	10	14.1	24.9	17.1	12.6	37.6	20.6	5.0	8.7	6.1
	20	15.7	27.7	19.1	16.4	48.9	26.8	5.0	8.7	6.1
	30	17.1	30.2	20.8	16.5	49.0	26.9	6.0	10.5	7.4
	40	22.4	39.6	27.2	16.8	49.9	27.4	7.4	12.9	9.1

(시험 8) 뿌리작물 재배 시 바이오차 시용효과 구명(2025)

바이오차 처리에 따른 재배 중, 후 토양 이화학적은 표 31, 32와 같다. 재배 중 토양 pH는 6.3~7.0 범위로 나타났으며 바이오차 처리에 따라 pH가 소폭 증가하는 경향이 나타났다. 유기물 함량은 18~23g/kg 수준으로 관행(바이오차 무처리) 대비 일부 처리구에서 증가 경향이 나타났다. 토양 경도의 경우 특히 관행에서 가장 높았으며(7.5~10.7kg/cm²), 바이오차 처리구에서 유의적으로 감소하였다. 특히 농림부산물(목재) 바이오차 시험구에서 처리량이 높을수록 경도가 유의하게 낮았다. 재배 후의 토양화학적은 농림부산물(목재) 및 가축분(계분) 바이오차를 처리한 시험구에서 관행 대비 토양 양분 함량이 높았다. 결과적으로 농림부산물(목재) 바이오차의 시용은 토양 경도 감소를 통한 물리성 개량이 탁월할 것으로 판단된다. 또한 가축분(계분) 바이오차는 토양 유기물, 유효인산, 치환성양이온 함량 증가 등 양분 공급 효과가 큰 것으로 확인된다.

표 31. 재배시험 중 토양이화학적(시험 8)

바이오차 구분	처리량 (kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)			토양 경도 (R, kg cm ⁻²)
						K	Ca	Mg	
농림부산물 (목재)	0(관행)	6.3	0.5	18	441	0.49	3.5	0.6	7.5a
	200	6.3	0.4	20	431	0.53	3.5	0.6	5.4a
	500	7.0	0.4	23	584	0.48	4.6	0.7	4.7ab
	1000	6.3	0.3	20	454	0.57	3.2	0.5	3.1bc
	2000	6.7	0.3	22	437	0.59	3.4	0.6	2.7c
가축분 (계분)	0(관행)	6.7	0.6	19	498	0.43	3.8	0.6	10.7a
	200	6.6	0.6	18	429	0.47	3.6	0.6	6.3ab
	500	6.6	0.6	18	459	0.72	3.2	0.6	6.5ab
	1000	6.4	0.7	18	433	0.93	3.8	0.5	5.9b
	2000	6.8	1.2	22	600	0.91	4.1	0.7	7.8ab
적정범위		6.0~6.5	≤ 2.0	20~30	350~450	0.6~0.7	5.0~6.0	1.5~2.0	-

DMRT; *p*<0.05.

표 32. 재배시험 후 토양화학성(시험 8)

바이오차 구 분	처리량 (kg/10a)	pH (1:5)	EC (1:5)	OM (g/kg)	Av. P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. Cations (cmol _c /kg)		
						K	Ca	Mg
농림부산물 (목재)	0(관행)	6.3	0.2	18	449	0.63	3.0	0.5
	200	6.6	0.2	20	496	0.74	3.6	0.6
	500	7.2	0.2	22	583	0.57	4.9	0.8
	1000	6.7	0.2	22	502	0.66	3.3	0.7
	2000	6.7	0.2	22	523	0.68	3.8	0.7
가축분 (계분)	0(관행)	6.7	0.2	18	456	0.54	3.5	0.6
	200	6.8	0.3	19	513	0.65	3.5	0.7
	500	6.8	0.3	18	496	0.73	3.3	0.7
	1000	6.3	0.5	20	492	1.33	3.7	1.0
	2000	6.8	0.8	23	681	1.87	3.9	1.1
적정범위		6.0~6.5	≤ 2.0	20~30	350~450	0.6~0.7	5.0~6.0	1.5~2.0

바이오차 처리량에 따른 당근과 무의 생육 및 수량 변화는 표 33, 34에 제시된 바와 같다. 당근의 경우 농림부산물(목재) 바이오차 처리에서 수량은 전반적으로 관행과 유사하였다. 가축분(계분) 바이오차 처리구에서는 수량 변동이 유의하게 나타났다. 관행에서 2,707kg/10a였으며, 500~1,000kg/10a 처리구에서 3,056kg/10a 수준으로 증가하였으나 2,000kg/10a에서는 2,541kg/10a으로 오히려 감소하였다. 무는 농림부산물(목재) 바이오차 처리에서 200kg/10a 처리구가 5,902kg/10a으로 가장 높은 수량이 나타났다. 가축분(계분) 바이오차 처리구에서는 1,000kg/10a 처리구에서 7,362kg/10a로 가장 높은 수량을 나타냈으며, 다른 처리구 대비 뚜렷한 증가를 보였다. 당근과 무 재배시험 공통적으로 가축분(계분) 바이오차의 처리구에서 수량이 유의하게 증가하였으며, 처리량별 작물 수량은 그림 8과 같다.

표 33. 바이오차 처리량에 따른 당근 생육 및 수량(시험 8)

바이오차 구 분	처리량 (kg/10a)	엽장 (cm)	엽중 (g)	근장 (cm)	근경 (cm)	근중 (g)	수량 (kg/10a)
농림부산물 (목재)	0(관행)	84.9	182.2	19.8b	56.0	296.4	3,112a
	200	89.2	184.4	19.5b	56.1	292.2	3,068a
	500	84.6	162.2	20.3b	55.4	290.2	3,047a
	1000	86.0	156.7	19.4b	54.2	294.2	3,089a
	2000	89.1	150.4	22.1a	56.0	307.4	3,228a
가축분 (계분)	0(관행)	85.2	147.2	20.9a	53.5ab	257.8ab	2,707ab
	200	78.1	159.3	20.7a	55.1ab	285.5a	2,998a
	500	85.4	153.1	19.2b	56.9a	291.0a	3,056a
	1000	81.1	138.5	20.3ab	57.5a	291.0a	3,056a
	2000	86.9	145.8	17.9c	52.5b	242.0b	2,541b

DMRT; $p < 0.05$.

표 34. 바이오차 처리량에 따른 무 생육 및 수량(시험 8)

바이오차 구분	처리량 (kg/10a)	엽장 (cm)	엽중 (g)	엽수 (개)	근장 (cm)	근경 (cm)	근중 (g)	수량 (kg/10a)
농림부산물 (목재)	0(관행)	51.0	346.9ab	25.0a	30.0	8.5	874.5a	4,858a
	200	53.0	376.8a	23.5ab	42.7	9.0	1062.3a	5,902a
	500	48.4	303.7b	23.0ab	29.3	8.7	855.3a	4,752a
	1000	42.8	224.5c	21.6bc	30.7	8.6	886.8a	4,927a
	2000	40.1	236.6c	20.4c	29.7	8.7	873.4a	4,852a
가축분 (계분)	0(관행)	54.6	405.0	25.6	31.3	8.7b	981.6b	5,453b
	200	40.7	257.5	24.6	30.0	9.0b	960.8b	5,338b
	500	54.6	453.8	25.1	33.4	8.9b	1149.8ab	6,388ab
	1000	44.3	356.4	25.7	31.7	9.7a	1325.1a	7,362a
	2000	52.8	415.8	25.4	30.8	8.9a	1101.2b	6,118b

DMRT; $p < 0.05$.

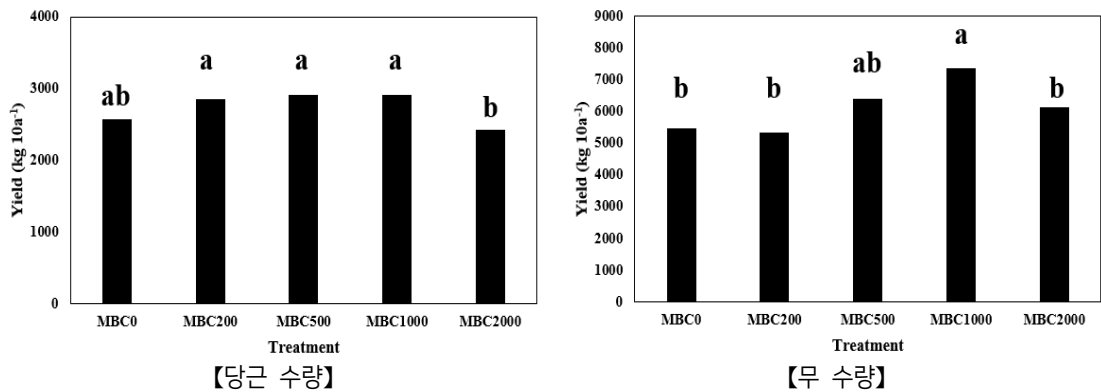


그림 8. 계분바이오차 처리량별 작물 수량(시험 8)

바이오차 처리량에 따른 쪽파 생육 및 수량 변화는 표 35과 같다. 농림부산물(목재) 바이오차 처리구 1,000kg/10a에서 수량 1,600kg/10a으로 가장 높은 값이 나타났으며, 반면 2,000kg/10a 처리구에서는 1,133kg/10a으로 감소하는 경향을 보였다. 생육 특성 중 엽수와 생체중 또한 500~1,000kg/10a 처리구에서 높은 값을 나타냈으며, 초장과 엽장은 1,000kg/10a에서 높았다. 계분 바이오차 처리구에서는 전반적으로 생육과 수량에 유의한 차이가 없었다. 결과적으로 뿌리작물 재배 시 농림부산물(목재) 바이오차의 사용은 토양 물리성 및 수분보유력 개선 등 토양개량에 효과적이며, 계분 바이오차는 토양 양분공급 등 비효 효과가 강한 것으로 판단된다. 농림부산물 및 가축분 등 원료별 바이오차의 기능이 다르며, 이에 따라 농경지 토양 이화학적 특성을 고려한 사용이 필요하다.

표 35. 바이오차 처리량에 따른 쪽파 생육 및 수량(시험8)

바이오차 구분	처리량 (kg/10a)	초장 (cm)	엽장 (cm)	엽수 (개)	위경수 (개)	생체중 (g)	수량 (kg/10a)
농림부산물 (목재)	0(관행)	32.6c	26.0c	29.4b	5.1b	33.5b	1,117b
	200	32.0c	26.0c	32.5ab	6.7ab	35.2b	1,173b
	500	33.6bc	27.8b	38.1a	8.0a	44.5a	1,483a
	1000	35.9a	30.0a	35.4ab	6.3b	48.0a	1,600a
	2000	34.7ab	28.3b	33.3ab	6.4b	34.0b	1,133b
가축분 (계분)	0(관행)	32.5c	26.8c	37.2	6.5	41.7a	1,390a
	200	34.7ab	28.1bc	31.0	5.6	45.5a	1,517a
	500	35.0ab	29.3ab	31.4	5.4	44.2a	1,473a
	1000	33.5bc	28.8ab	32.7	6.0	40.3a	1,343a
	2000	35.3a	29.9a	28.9	5.4	43.0a	1,433a

DMRT; $p < 0.05$.

<제2세부과제: 다축형 평명수형 과원의 적정 시비량 설정>

(시험 1) 사과의 적정 유기물 시비량 설정

유기물 처리에 따른 토양화학성의 변동을 조사하기 위해 재배 전, 재배 중, 재배 후에 토양 시료를 채취하여 분석한 결과(표 36), 재배 전의 토양의 화학성 중 pH는 7.5로 사과 재배지의 적정 범위인 6.0~7.0에 비해 조금 높았으며 EC, 유기물의 함량, 유효인산, 치환성 양이온 K, Ca, Mg의 함량은 적정하였다. 2024년, 2025년, 과실 수확까지 종료한 후의 토양화학성 분석 결과는 혼합가축분 퇴비의 투입량에 따라 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 0% 처리구는 양분을 거의 보유하고 있지 않은 피트모스만 처리하였음에도 혼합 가축분 퇴비를 1,000 kg 10a⁻¹ 투입한 200% 처리구와 비교하여 EC, K, Ca, Mg 함량에서 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 2025년 전 처리구의 EC는 0.2 dS m⁻¹로 모두 동일하였다. 2024년 수목 식재 시 유기물 처리 후 2025년까지 2년간 별도의 시비 처리를 하지 않아 재배 전 대비 pH, 유기물, 인산, 치환성 양이온 모두 낮아지는 경향을 보였으며 인산의 함량은 전 처리구에서 가장 크게 감소하였으며 혼합 가축분 퇴비를 투입하지 않은 0% 처리구의 인산 함량이 가장 많이 감소하였다. 또한 0% 처리구는 전체 조사 기간 동안 토양 내 유효인산의 함량이 가장 낮은 것으로 나타났다.

표 36. 유기물 처리에 따른 사과 재배지의 토양화학성 변화

연도	처리구 (%)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Cation(cmol _c kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
2024	재배 전	7.5	0.2	21	417	0.50	5.1	1.6
	0	7.3	0.2	15	222	0.49	5.4	1.7
	25	7.3	0.3	14	270	0.35	5.3	1.7
	50	7.2	0.3	16	319	0.42	5.7	1.7
	100	7.1	0.5	18	330	0.53	6.3	1.8
	200	7.3	0.4	19	368	0.59	6.0	1.6

연도	처리구 (%)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Cation(cmol _c kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
2025	0	7.1	0.2	18	198	0.32	5.1	1.3
	25	7.2	0.2	16	230	0.30	5.1	1.2
	50	7.1	0.2	17	259	0.31	4.9	1.2
	100	7.1	0.2	17	301	0.40	5.0	1.2
	200	7.4	0.2	18	245	0.43	5.4	1.3
수확후	0	7.0	0.2	18	199	0.42	4.1	1.0
	25	7.2	0.2	15	239	0.36	4.0	1.1
	50	7.1	0.2	17	319	0.51	4.1	1.1
	100	7.0	0.2	17	253	0.40	3.8	1.0
	200	7.2	0.2	17	279	0.54	4.1	1.1
적정범위	6.0~7.0	≤2.0	20~30	300~550	0.50~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0	

유기물 처리에 따른 사과 수채 생육 조사 결과를 살펴보면(표 37) 전 처리구 모두 축 길이, 축 직경, 엽수, 엽장, 엽폭에서 유의적 차이를 나타내지 않아 생육이 비슷한 것으로 조사되었다. 엽 내 엽록소 수치는 2024년, 2025년 모두 혼합가축분 퇴비의 투입량이 가장 많은 200% 처리구에서 가장 높게 나타났으며 2025년에는 혼합가축분 퇴비의 양이 많을수록 높아지는 경향을 보였다. 신초생장 결과(표 37), 2024년에는 0% 처리구에서 23.7 cm로 가장 작게 나타났으며 50% 처리구에서 31.1 cm로 가장 크게 나타났으나 0% 처리구를 제외하고는 유의적 차이를 보이지 않았다. 또한 신초 직경도 처리구별 유의적 차이를 보이지 않았다. 반면 2025년의 신초생장 조사 결과 신초 길이는 0% 처리구에서 45.6 cm로 가장 크게 나타났으며 100% 처리구에서 27.5 cm로 가장 작게 나타났다. 신초 직경은 0% 처리구에서 5.8 mm, 25% 처리구에서 6.4 mm, 50% 처리구 5.2 mm, 100%, 200% 처리구에서 각 4.3 mm, 4.2 mm로 조사되었다.

표 37. 유기물 처리에 따른 사과의 수채 생육 특성

연도	처리구 (%)	축길이 (cm)	축직경 (mm)	엽수 (장)	엽장 (cm)	엽폭 (cm)	SPAD
2024	0	258.5 a	22.3 a	791.8 a	7.1 a	4.3 a	53.1 bc
	25	267.4 a	23.4 a	828.8 a	8.4 a	4.6 a	52.4 c
	50	261.0 a	23.3 a	864.3 a	8.3 a	4.9 a	52.7 c
	100	267.4 a	22.6 a	874.0 a	8.1 a	4.5 a	54.4 ab
	200	257.6 a	22.6 a	862.5 a	8.0 a	4.6 a	55.6 a
2025	0	296.4 a	27.7 a	962.0 a	8.4 a	5.4 a	43.3 b
	25	299.1 a	27.0 a	947.0 a	8.7 a	5.2 a	44.6 ab
	50	301.5 a	25.4 a	999.8 a	8.6 a	5.2 a	45.0 ab
	100	293.3 a	23.3 a	965.0 a	7.7 a	5.0 a	46.2 ab
	200	291.6 a	24.5 a	1204.0 a	8.5 a	5.3 a	47.2 a

신초 길이와 신초 직경은 착과수(표 39)가 적은 처리구에서 큰 경향을 보였는데 이는 과수는 영양생장이 활발할수록 꽃눈 분화는 억제되는 경향이 있다(Heide et al., 2020; Tromp, 1976)는 조사 결과와 일치하였다. 신초 개수(표 38)를 살펴보면 2024년과 2025년 모두 100% 처리구에서 6월에 정지한 신초의 수가 각 65.3개, 65.0개로 가장 많았으며 진행 중인 신초의 수는 각 15.0개, 8.8개로 가장 적었다. 사과는 신초 생장이 정지되고 정아가 형성된 이후에 꽃눈 분화가 일어나는 것으로 알려져 있으며(Notodimedjo et al., 1981) 신초 생장이 조기에 정지될수록 꽃눈 형성이 촉진되는데 100% 처리구에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 이는 표 39의 화아분화 및 착과량의 조사 결과와도 일치하는데 화총수의 경우 100% 처리구에서 주당 73.6개로 가장 많은 것으로 나타났고 유의적 차이를 보였으며 착과수 또한 44.0개로 가장 많은 것으로 조사되었다. 2024년에 조기(6월) 정지한 신초가 충실한 꽃눈을 형성하여 2025년에 개화 및 착과로 이어진 것으로 생각된다.

표 38. 유기물 처리에 따른 사과의 신초 생장

연도	처리구(%)	신초길이(cm)	신초직경(mm)	신초수(개/주)	
				6월 정지	진행 중
2024	0	23.7 b	5.1 a	51.5 a	26.3 a
	25	29.9 a	5.4 a	53.8 a	26.8 a
	50	31.1 a	5.5 a	49.3 a	29.3 a
	100	29.1 a	5.5 a	65.3 a	15.0 b
	200	29.6 a	5.4 a	27.3 b	22.3 a
2025	0	45.6 a	5.8 ab	42.7 b	27.0 a
	25	39.5 ab	6.4 a	53.3 b	26.5 a
	50	39.1 ab	5.2 b	44.0 ab	26.8 a
	100	27.5 c	4.3 c	65.0 a	8.8 b
	200	29.8 bc	4.2 c	62.8 a	11.8 b

표 39. 유기물 처리에 따른 사과의 화아 분화 및 착과량

처리구	화총수 (개/주)	착과수 (개/주)	수확과실수 (개/주)	수확량 (kg/주)
0	47.5 b	27.5 a	21.8 a	6.6 a
25	37.1 b	27.3 a	24.5 a	7.4 a
50	46.1 b	31.3 a	26.5 a	7.4 a
100	73.6 a	44.0 a	28.8 a	7.2 a
200	50.6 b	36.3 a	28.5 a	7.3 a

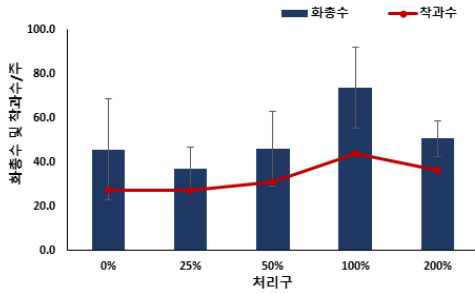


그림 9. 처리구별 화중수 및 착과수

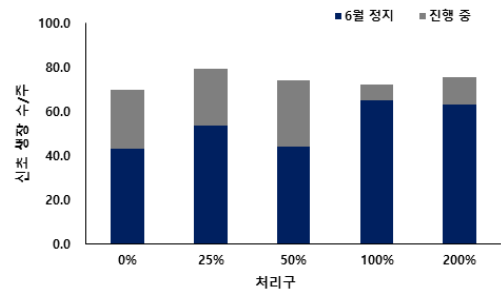


그림 10. 처리구별 신초 생장

수목의 영양상태 진단을 위해 생육이 왕성한 성엽을 채취하여 엽 내 무기성분 함량을 분석한 결과(표 40) 처리구 별 큰 차이를 나타내지 않았으며 N, P, K, Ca, Mg에 대해 특별한 영양결핍 증상을 보이지 않았다. 토양 화학성이 적정 범위인 재배지에서 유기물 공급을 위해 피트모스만 투입하여도 생육 2년차까지는 큰 영양결핍 없이 재배가 가능함을 확인하였다.

표 40. 처리구별 사과의 엽 내 무기성분 함량

연도	처리구 (%)	무기성분 함량					C/N율
		N	P	K (%)	Ca	Mg	
2024	0	2.41	0.69	2.37	0.72	0.58	18.8
	25	2.10	0.74	2.27	0.77	0.54	21.8
	50	2.28	0.82	2.34	0.79	0.56	19.7
	100	2.42	0.67	2.12	0.70	0.52	18.9
	200	2.48	0.69	2.40	0.71	0.53	18.2
2025	0	2.27	1.07	1.68	1.34	0.25	21.1
	25	2.11	1.00	1.62	1.17	0.23	22.6
	50	2.28	0.87	1.54	1.24	0.24	20.9
	100	2.13	0.85	1.27	1.81	0.28	22.9
	200	2.22	0.83	1.44	1.65	0.28	21.7
적정기준(%)		2.21~2.68	0.10~0.18	1.30~1.74	0.79~1.18	0.16~0.27	-

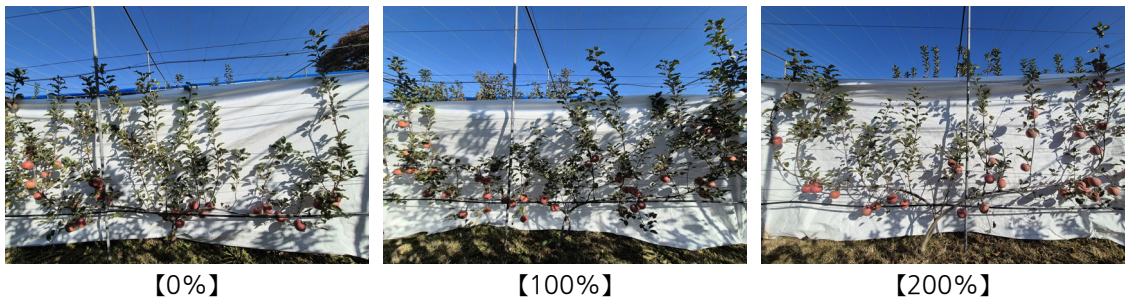


그림 11. 사과나무의 수체 생육(2025년)

과실 특성 조사(표 41) 결과 평균 과중은 0% 처리구에서 304.3g으로 가장 크게 나타났으며 25%, 50%, 100%, 200% 처리구 순으로 작아졌고 이는 수확 과실수가 많을수록 작아지는 경향이였다. 과고, 과폭, 경도는 처리구간 차이를 보이지 않았으며 당도는 0% 처리구에서 14.7 °Bx로 가장 높게 나타났다. 산도는 200% 처리구에서 0.19%로 가장 낮았으며 가축분 퇴비의 사용량이 많을수록 감소하는 경향이였다. 유기물 재료로 사용한 가축분 퇴비 내의 양분량이 착색에 미치는 영향을 살펴보기 위해 과피 착색을 조사한 결과 Hunter a value의 값이 0%와 25% 처리구에서 26.0으로 가장 크고 200% 처리구에서 20.9로 가장 작게 나타났다. 이는 질소를 많이 처리한 조건에서는 과실의 붉은색과 안토시아닌 함량이 뚜렷하게 감소하였다(Awad & de Jager, 2002)는 결과와 유사하며 유목기(3년생)에 시비량이 많을 경우 착색 불량으로 이어질 가능성이 있음을 보여줬으며 양호한 착색을 위해서는 1,000kg 10a⁻¹ 보다 적게 유기물을 사용하는 것이 적절할 것으로 생각된다.

표 41. 유기물 처리에 따른 사과의 과실 특성

처리구 (%)	과중 (g)	과고 (mm)	과폭 (mm)	당도 (°Bx)	산도 (%)	경도 (N)	과피착색 (Hunter av)
0	304.3 a	75.4 a	87.2 a	14.7 a	0.39 a	68.0 a	26.0 a
25	309.5 a	75.9 a	88.6 a	14.3 ab	0.39 a	62.4 a	26.0 a
50	281.5 a	73.8 a	86.4 a	13.3 c	0.32 b	65.4 a	23.6 ab
100	258.8a b	69.7 a	83.7 a	13.6 bc	0.29 b	69.3 a	21.2 b
200	256.0 ab	74.4 a	86.1 a	14.2 ab	0.19 c	64.8 a	20.9 b



그림 12. 처리에 따른 과실 특성

(시험 2) 복숭아의 적정 유기물 시비량 설정

유기물 처리에 따른 토양화학성의 변동을 조사하기 위해 재배 전, 재배 중, 과실 수확 후의 토양 시료를 채취하여 분석한 결과(표 42) 재배 전의 토양의 화학성 중 pH는 7.1로 복숭아 재배지의 적정범위인 6.0~6.5에 비해 조금 높았으며 유효인산의 함량은 587 mg kg⁻¹로 적정범위인 200~300mg kg⁻¹과 비교하여 매우 높은 것으로 나타났으며 EC, 유기물, Ca, Mg의 함량은 적정하였다. 토양의 EC는 2024년, 2025년, 재배 후 모두 0.2~0.5 dS m⁻¹ 수준으로 큰 차이가 없었으며 유기물의 함량은 전체 조사기간 동안 0% 처리구에서

가장 적었고 가축분퇴비의 사용량이 증가할수록 많아지는 경향을 보였다. 치환성양이온 K, Ca, Mg의 함량은 조사기간 동안 0%, 25% 처리구에 비해 50%, 100%, 200% 처리구에서 높은 경향을 나타냈다.

표 42. 유기물 처리에 따른 복숭아의 토양화학성 변화

연도	처리구 (%)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Cation(cmol _c kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
2024	재배 전	7.1	0.2	25	587	0.62	5.7	1.6
	0	7.4	0.2	20	355	0.63	6.6	1.8
	25	7.4	0.2	27	511	0.58	6.8	1.9
	50	7.3	0.4	26	871	0.82	8.7	2.1
	100	7.3	0.3	27	759	0.69	7.9	1.9
	200	7.2	0.5	31	474	1.05	8.0	2.1
2025	0	7.3	0.2	20	339	0.58	5.8	1.4
	25	7.3	0.2	24	398	0.55	5.8	1.4
	50	7.4	0.3	23	775	0.81	7.5	1.6
	100	7.2	0.3	26	559	0.62	5.8	1.4
	200	7.2	0.3	33	307	0.68	6.0	1.6
수확후	0	7.2	0.2	19	315	0.42	5.2	1.2
	25	7.1	0.2	24	404	0.43	5.0	1.3
	50	7.3	0.3	24	830	0.56	6.6	1.5
	100	7.2	0.2	26	609	0.48	5.7	1.4
	200	7.2	0.2	29	260	0.51	5.6	1.2
적정범위		6.0~6.5	≤2.0	25~35	200~300	0.30~0.60	5.0~6.0	1.5~2.0

유기물 처리에 따른 복숭아의 수체 생육 특성 조사 결과(표 43) 2024년과 2025년 모두 혼합가축분 퇴비의 사용량이 많을수록 축길이, 축 직경, 마디수가 증가하였으며 처리구별 큰 생육차이를 보였다. 2025년의 축길이를 보면 0%, 25%, 50%, 100%, 200% 처리구에서 각 227.3 cm, 242.0 cm, 300.0 cm, 281.0 cm, 323.0 cm로 조사되어 0%와 비교하여 200% 처리구는 약 100 cm 정도의 차이를 나타냈다. 신초길이 또한 0% 처리구의 경우 32.6 cm이고 200% 처리구는 65.0 cm로 나타나 30 cm 이상의 차이를 보였다. 혼합가축분 퇴비의 사용량이 많을수록 영양 생장량이 크게 증가하였으며 생육초기인 2024년부터 큰 차이를 보였다. 복숭아는 과실 제거 시 매우 높은 수준의 영양생장을 나타내며 과실 착과로 영양생장이 제한된다(Grossman, Y. L., & DeJong, T. M. 1995). 본 연구의 시험 대상은 2~3년 수목으로 2024년도는 식재하여 과실을 착과하지 않았고 2025년에도 유목기로 착과량이 많지 않아 큰 생육 차이를 보인 것으로 생각된다. 또한 복숭아는 질소 시비 수준에 따라 신초 발생과 잎 생산, 생장 기간이 달라지는 등 영양생장이 크게 영향을 받으므로(Lobit et al., 2001) 가축분퇴비의 처리량이 많을수록 양분 투입량이 많아져 생육이 촉진된 것으로 생각된다.

표 43. 유기물 처리에 따른 복숭아의 수체 생육 특성

연도	처리구 (%)	축길이 (cm)	축직경 (mm)	마디수 (개)	신초길이 (cm)	신초직경 (mm)	SPAD
2024	0	156.5 b	17.1b c	15.0 b	67.8 a	6.0 ab	41.9 b
	25	142.6 b	17.4 c	15.3 b	55.3 a	5.0 b	43.3 a
	50	180.5 ab	19.2 bc	22.5 a	55.0 a	5.9 ab	39.1 c
	100	173.0 ab	20.6 ab	23.3 a	56.5 a	5.1 b	41.2 b
	200	190.3 a	22.2 a	24.0 a	67.8 a	6.9 a	42.5 ab
2025	0	227.3 c	24.6 b	32.3 b	32.6 c	4.6 b	30.7 c
	25	242.0 c	23.0 b	25.3 b	38.8 c	4.8 b	32.7 b
	50	300.0 ab	29.7 a	40.3 a	54.5 b	5.2 ab	36.3 a
	100	281.0 b	28.6 a	41.7 a	59.8a b	5.6 a	35.3 a
	200	323.0 a	29.7 a	46.0 a	65.0 a	5.8 a	32.3 bc

전정량(표 44)은 2024년, 2025년 모두 200% 처리구에서 가장 많고 25% 처리구에서 가장 적은 것으로 조사되었으며 0%, 25% 처리구 대비 50%, 100%, 200% 처리구에서 많은 경향을 보였다. 2025년 전정량의 경우 각 처리구 별로 96.9 g, 87.3 g, 259.6g, 228.9 g, 263.8 g으로 나타나 혼합가축분 퇴비 시용량이 많을수록 강한 영양생장을 보이는 것으로 조사되었다. 이는 수체생육 특성과 비슷한 결과로 가축분퇴비의 시용량이 많을수록 영양생장이 촉진된 것으로 생각된다. 건물물은 각 47.7 g, 48.4 g, 39.4 g, 39.3 g, 38.9 g으로 나타나 전정량과는 반대로 0%와 25% 처리구에서 높은 경향을 보였다.

표 44. 유기물 처리에 따른 복숭아의 전정량

구분	0%	25%	50%	100%	200%	
2024년	전정량(g)	713.4 bc	483.0 c	1,070.5 b	913.4 b	1,508.4 a
	건물물(%)	31.9 ab	29.3 b	32.5 ab	33.4 a	32.0 ab
2025년	전정량(g)	96.9 b	87.3 b	259.6 a	228.9 a	263.8 a
	건물물(%)	47.7 a	48.4 a	39.4 b	39.3 b	38.9 b

주당 착과수(표 45)를 살펴보면 0%, 25%, 50%, 100%, 200% 처리구에서 각 47.7개, 55.3개, 94.0개, 69.7개, 42.0개로 나타나 50% 처리구에서 가장 많고 200% 처리구에서 가장 적었다. 꽃눈 분화는 영양생장과 생식생장 간의 균형에 의해 조절되며, 질소 과다로 인한 영양생장 증가는 지베렐린 수준 증가와 함께 꽃눈 형성을 억제하는 것으로 보고되었다(Penso et al., 2020; Southwick and Davenport, 2001). 200% 처리구의 경우 수체생육(표 43) 및 전정량(표 44)은 가장 큰 것으로 나타난 반면 착과수는 가장 적은 것으로 나타나 과도한 영양공급으로 영양 생장과 생식 생장의 불균형이 초래된 것으로 판단된다. 이에 유목기의 수세조절 및 안정적 착과를 위해서는 혼합가축분 퇴비 1,000 kg10a-1 수준의 시비는 피하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

표 45. 유기물 처리에 따른 복숭아의 착과량 및 수확량

처리구(%)	착과수(개/주)	수확 과실수(개/주)	수확량(kg/주)
0	47.7 ab	10.3 a	2.3 a
25	55.3 ab	10.0 a	2.1 a
50	94.0 a	17.0 a	4.6 a
100	69.7 ab	14.0 a	3.1 a
200	42.0 b	13.3 a	3.3 a

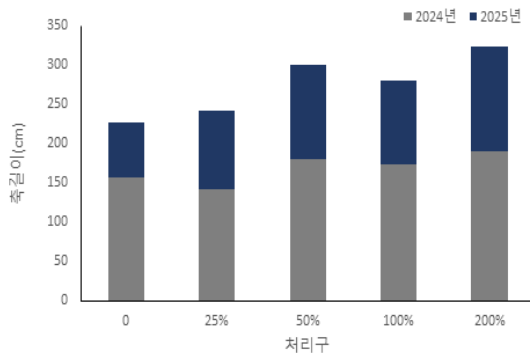


그림 13. 연도별 축 생장

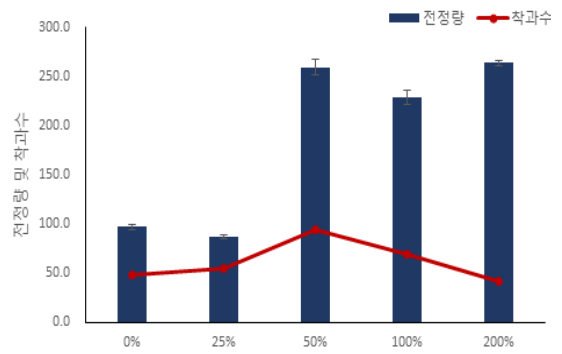


그림 14. 처리구별 전정량과 착과수

수목의 영양상태 진단을 위해 생육이 왕성한 성엽을 채취하여 엽 내 무기성분 함량을 분석한 결과(표 46) 2024년에는 인산은 적정기준을 초과하였고 N, K, Ca, Mg의 함량은 적정하였다. 질소와 칼리 함량은 0%, 25%, 50% 처리구 대비 100%, 200% 처리구에서 조금 높게 나타나는 경향을 보였다. 2025년에는 적정기준과 비교하여 볼 때 질소 함량은 조금 낮았으며 인산은 적정 범위를 초과하였고 K, Ca, Mg의 함량은 적정하였다. 엽 내 인산의 함량은 조사기간 내 계속 적정 범위를 초과하여 나타난 것은 시험 토양의 인산 함량(표 42)이 높은 것이 원인이라 판단된다.

표 46. 처리구별 복숭아의 엽 내 무기성분 함량

연도	처리구	N P K Ca Mg					C/N율
		(%)					
2024	0	2.99	0.72	2.29	1.42	0.48	15.3
	25	2.99	0.71	2.26	1.31	0.49	15.1
	50	2.94	0.69	2.42	1.38	0.47	15.6
	100	3.11	0.68	2.39	1.45	0.51	14.8
	200	3.14	0.63	2.45	1.32	0.46	14.7

연도	처리구	N	P	K	Ca	Mg	C/N율
2025	0	2.80	0.89	2.43	1.71	0.46	16.2
	25	2.89	0.99	2.42	1.49	0.44	15.7
	50	2.85	1.08	2.43	1.64	0.45	15.8
	100	2.90	1.20	2.47	1.71	0.45	15.8
	200	3.01	1.08	2.62	1.32	0.39	15.1
적정기준(%)		2.93~3.59	0.17~0.22	1.75~2.91	1.12~2.10	0.39~0.57	-

과실 특성 조사 결과(표 47) 과중은 200% 처리구에서 262.2 g 으로 가장 크게 나타났으나 50%, 100% 처리구와 유의적 차이를 보이지는 않아 0%, 25% 대비 50%, 100%, 200% 처리구에서 큰 것으로 조사되었다. 50% 처리구의 수확 과실수(표 45)는 주당 17개로 가장 많았으며 과실 크기도 큰 것으로 나타났다. 과고, 과폭, 당도, 경도에서는 처리구간 차이를 보이지 않았으며 산도는 0% 처리구에서 0.3%로 가장 낮게 낮았다.

표 47. 유기물 처리에 따른 복숭아의 과실 특성

처리구(%)	과중(g)	과고(mm)	과폭(mm)	당도(°Bx)	산도(%)	경도(N)
0	223.5 ab	78.1 a	75.6 a	9.9 a	0.3 c	1.8 a
25	203.2 b	76.4 a	72.4 a	9.6 a	0.5 ab	1.9 a
50	256.2 a	80.9 a	79.1 a	9.6 a	0.5 ab	1.7 a
100	253.3 a	81.6 a	78.4 a	9.9 a	0.4 b	1.8 a
200	260.2 a	78.4 a	78.8 a	10.1 a	0.5 a	1.7 a



【0%】

【50%】

【200%】

그림 15. 복숭아의 처리구별 수체 생육(위 2024년, 아래 2025년)

<제3세부과제: 밀웜 분변토 이용기술 개발>

(시험 1) 밀웜 분변토 비료 효과 검증

밀웜 분변토의 화학적 성분을 분석한 결과(표 48), 유기물 함량은 83.1~84.4%로 매우 높은 수준을 나타내어 토양 유기물 공급원으로서의 활용 가능성이 높음을 확인하였다. 이는 일반 퇴비의 함량인 35~40% 대비 높은 수준으로, 토양 물리성 개선 및 미생물 활성 증진에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 중금속 함량은 전 항목에서 기준치 이하 또는 불검출(ND) 수준으로 나타나 안전성이 확보된 것으로 나타났으며 특히 카드뮴, 납, 비소 등 주요 유해 중금속이 검출되지 않아 농업적 이용 시 환경 위해성은 낮은 것으로 나타났다. 또한 염분 함량은 0.03~0.25%로 기준(0.5% 이하) 대비 낮았으며, C/N비는 15.7~20.1 범위로 부숙이 충분히 진행된 안정된 유기물임을 확인하였다. 시험토양의 물리적 특성을 분석한 결과(표 49), 모래 함량이 75.3%로 높은 사양토(sandy loam)로 나타났으며, 농경지에 가장 많이 존재하는 토성으로 배수성과 통기성이 우수하나, 양분 및 수분 보유력이 낮아 비료 투입에 따른 반응이 비교적 빠르게 나타날 가능성이 있다. 본 시험의 유기물 공급을 통한 토양 개량 효과 및 비효를 평가하기 위한 시험토양으로는 적합하였다.

표 48. 밀웜 분변토 성분분석

성분명		흰점박이꽃무지분 공정규격	밀웜분(1차)	밀웜분(2차)	
주성분의 최소함유량	유기물(%)	44.6	84.4	83.1	
	납(mg/kg)	130	ND	ND	
	구리(mg/kg)	360	14.1	14.4	
	비소(mg/kg)	45	ND	ND	
	유해성분의 최대함유량	수은(mg/kg)	2	0.001	0.001
		크롬(mg/kg)	200	ND	ND
		카드뮴(mg/kg)	5	ND	ND
		아연(mg/kg)	900	86.7	155.3
그 밖의 규격	니켈(mg/kg)	45	ND	ND	
	염분(%)	0.5이하	0.03	0.25	
	수분(%)	55이하	9.3	9.1	
	C/N비	45이하	15.7	20.1	
	부숙도	부숙완료	완전부숙	완전부숙	
	입상(%)	2.36mm, 90 이상 통과	99.9	99.7	
	염산불용해물(%)	10 이하	0.29	0.39	

표 49. 시험토양 토성분석(1차)

모래(%)	미사(%)	점토(%)	토성
75.3	22.4	2.2	사양토

시험기간 동안의 일평균 기온 및 강수량 변화(그림 16, 17)는 작물 생육에 큰 영향을 미칠 수준의 이상기후는 나타나지 않았다. 따라서 본 시험에서 나타난 생육 및 토양 변화는 기상 요인보다는 처리 효과에 기인한 것으로 판단된다.

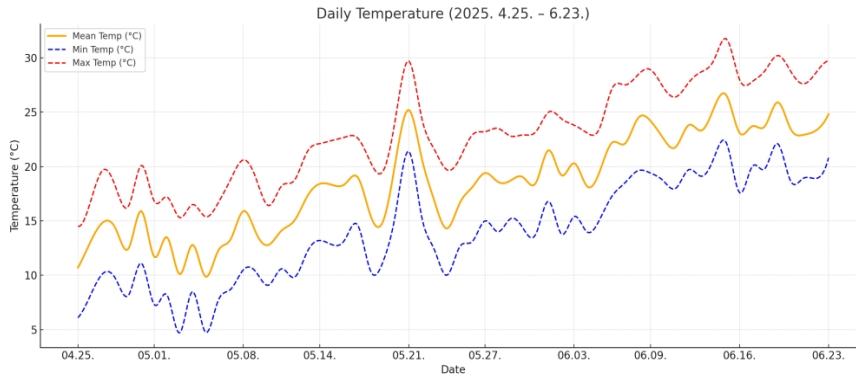


그림 16. 일 평균 기온 변화(1차)

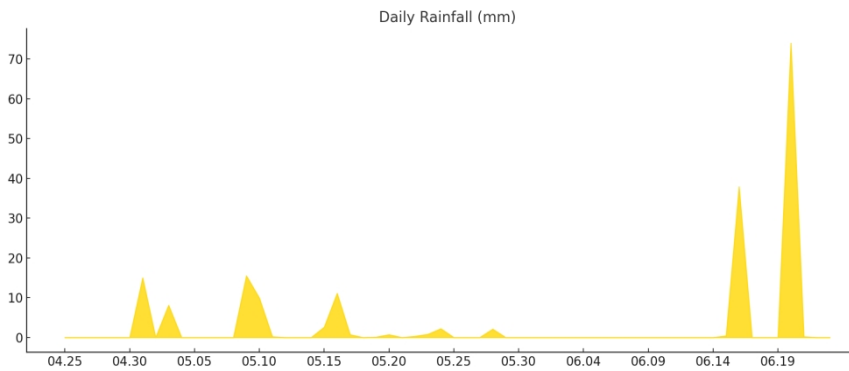


그림 17. 시험기간 강수량 변화(1차)

1차 재배 후 토양 화학성을 분석한 결과(표 50), 밀월 분변토 처리구는 무처리 대비 유기물(OM)과 총질소(T-N) 함량이 증가하는 경향을 보였다. 특히 기준구에서 OM이 13.4 g/kg에서 18.2 g/kg으로 증가하여 유기물 공급 효과가 뚜렷하게 나타났다. 유효인산(P_2O_5)은 처리구에서 전반적으로 증가하는 경향을 보였으며, 이는 분변토 내 유기물 및 무기양분 공급에 기인한 것으로 판단된다. 다만 EC는 기준구와 대조구에서 다소 증가하는 경향을 나타냈으나, 작물 생육 저해 수준은 아니었다. 치환성 양이온(K, Ca 등)은 처리구에서 증가하는 경향을 보여 토양 비옥도 향상 효과가 확인되었다.

표 50. 처리 전후 토양의 화학적 특성변화(1차)

구분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	T-N (%)	P_2O_5 (mg/kg)	Ex-cation(cmol _c /kg)				
						Ca	K	Mg	Na	
재배전	7.1	1.2	13.4	0.10	430	4.3	0.20	0.79	0.07	
기준구	6.8	2.6	18.2	0.14	470	4.7	1.76	0.77	0.07	
재 배 후	배량구	6.8	2.2	16.2	0.13	514	4.7	1.51	0.63	0.07
	대조구	6.8	2.5	15.4	0.13	433	5.4	1.05	0.65	0.08
	무처리	7.0	1.4	12.9	0.11	406	5.1	1.35	0.53	0.06

수확기 생육조사 결과(표 51), 밀월 분변토 처리구는 무처리 및 대조구 대비 생육이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 주중과 구중에서 기준구 생육이 무처리 대비 각각 14.1, 14.7% 수량 증가 효과를 보였다. 배양구에서는 주고가 증가하는 경향을 보였으나, 주폭, 외엽수 에서는 기준구 대비 큰 차이를 보이지 않았다. 전반적으로 밀월 분변토는 배추 생육 증진에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

표 51. 수확기 생육비교(1차)

처리구	주중 (kg)	주폭 (cm)	주고 (cm)	외엽수(개)	구중 (kg)	구폭 (cm)	구고 (cm)	내엽수 (개)
기준구	2.51 ^a	18.4 ^a	28.2 ^b	16.5 ^a	1.79 ^a	14.9 ^a	25.2 ^{ab}	38.9 ^a
배양구	2.44 ^a	18.2 ^a	31.5 ^a	16.3 ^a	1.67 ^{ab}	14.4 ^{ab}	25.5 ^a	36.4 ^{ab}
대조구	2.27 ^b	17.8 ^a	28.0 ^b	16.0 ^a	1.56 ^b	13.9 ^b	23.8 ^b	36.0 ^{ab}
무처리	2.20 ^b	17.2 ^a	27.9 ^b	15.2 ^a	1.56 ^b	13.5 ^b	24.2 ^b	34.3 ^b

2차 시험기간 동안의 기온 및 강수량 변화(그림 18, 19)는 작물 생육에 큰 제한 요인으로 작용하지 않았으며, 처리 간 생육 차이는 비료 처리 효과에 의한 것으로 판단된다. 2차 시험 결과(표 52)에서도 밀월 분변토 처리구는 유기물 함량 증가 효과가 일관되게 나타났으며 특히 배양구에서 OM이 20 g/kg까지 증가하여 유기물 공급 효과가 더욱 뚜렷한 것으로 판단되었다. pH는 큰 변동 없이 안정적인 범위를 유지하였으며, EC 또한 1.2 dS/m 수준으로 염류집적 문제는 나타나지 않았다. 유효인산은 처리구 간 큰 차이는 없었으나, 대조구 대비 유지 또는 증가하는 경향을 보였으며 양분 공급 뿐만 아니라 유지 효과도 영향을 있었을 것으로 판단된다.

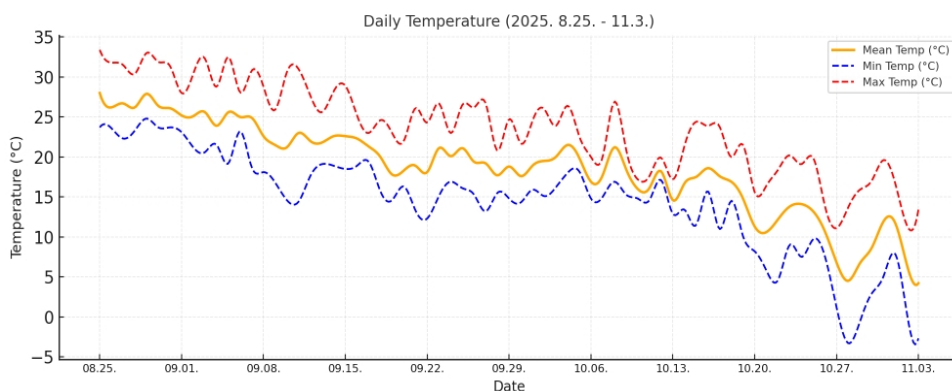


그림 18. 일 평균 기온 변화(2차)

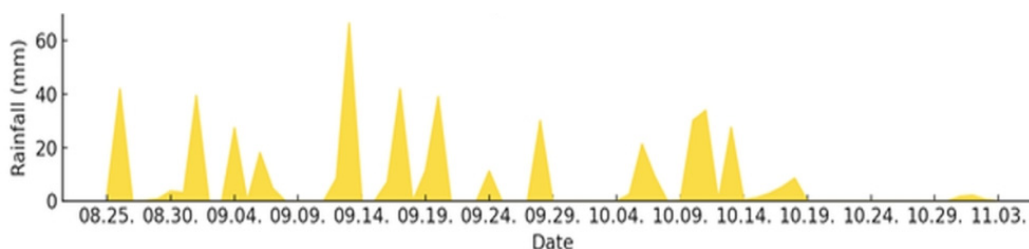


그림 19. 시험기간 강수량 변화(2차)

표 52. 처리 전후 토양의 화학적 특성변화(2차)

구분	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	T-N (%)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Ex-cation(cmol _c /kg)				
						Ca	K	Mg	Na	
재배전	7.0	1.3	15c	0.10	474	3.6	0.61	0.8	0.05	
재배 후	기준구	6.9	1.2	18b	0.11	466	4.0	0.30	1.0	0.04
	배량구	7.0	1.2	20a	0.11	463	4.3	0.24	1.1	0.06
	대조구	7.3	1.2	16c	0.09	379	4.3	0.15	0.9	0.06
	무처리	7.2	1.2	16c	0.10	424	4.4	0.14	1.0	0.05

2차 재배에서도 밀웬 분변토 처리구는 구중, 구폭 및 내엽수에서 유의적으로 높은 값을 나타냈다. 특히 기준구와 배량구에서 구중이 2.35 kg으로 동일하게 나타나 안정적인 수량 증대 효과를 보였으며 1차 시험 결과로 미루어 보아, 반복 적용 시에도 안정적인 생육 증진 효과를 나타내는 것으로 판단된다.

표 53. 수확기 배추 생육

처리구	주중 (kg)	주폭 (cm)	주고 (cm)	외엽수(개)	구중 (kg)	구폭 (cm)	구고 (cm)	내엽수 (개)
기준구	3.71	21.9	43.1	20.2 ^a	2.35 ^a	38.9	17.3 ^a	29.9 ^a
배량구	3.69	22.3	44.7	20.0 ^a	2.35 ^a	38.7	17.5 ^a	28.6 ^a
대조구	3.69	21.5	43.8	17.8 ^b	2.05 ^b	37.0	17.2 ^b	24.4 ^b
무처리	3.64	21.4	44.0	17.5 ^b	2.06 ^b	35.7	17.1 ^c	25.4 ^b

(시험 2) 밀웬 분변토 비료 피해 검증

밀웬 분변토의 작물 비해 여부를 검증한 결과, 작물 비해지수는 0~1로 나타나 처리에 의한 피해는 없는 것으로 나타났다. 본 시험에 사용한 분변토가 충분히 부숙된 까닭으로 작물 독성을 나타내지 않은 결과로 판단되며, 시험에 사용한 토양의 EC가 1.3, 유기물 함량이 15%로 양분함량이 다소 부족한 토양으로 밀웬분변토 처리에 따른 양분 공급효과가 더 크게 작용하였을 것으로 판단된다. 배추, 상추, 시금치, 콩 및 무의 생육조사 결과에서도 처리구는 무처리 대비 생체중 및 생육지표가 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 특히 무와 배추에서 생체중 증가가 뚜렷하게 나타나 작물 생산성 향상 효과가 확인되었다. 배량구에서도 생육 저해 없이 안정적인 생육을 보였으며, 기준구 대비 추가적인 생육 증진 효과도 나타났다. 높은 유기물 함량과 안전성이 확보된 유기자원으로서 토양 비옥도 개선과 작물 생육 증진에 효과적인 친환경 비료로 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다. 배추에 대한 밀웬 분변토의 비해 여부를 조사한 결과(표 8), 기준구와 배량구 모두 정식 후 7일, 14일, 21일차까지 비해지수가 모두 0으로 나타나 처리에 따른 피해 증상은 발생하지 않았다. 잎의 황화, 위축, 고사 및 뿌리 생육 저해와 같은 이상 증상은 관찰되지 않아 밀웬 분변토 시용에 따른 초기 생육장해 우려는 없는 것으로 나타났다.

표 54. 배추 비해유무 조사

처리구	비해정도*(0~5)			비고
	7일차(4. 23.)	14일차(4. 30.)	21일차(5. 7.)	
기준구	0	0	0	비해없음
배량구	0	0	0	비해없음
무처리	-	-	-	

* 비해판정기준: 0 없음~5 뿌리포함 고사상태

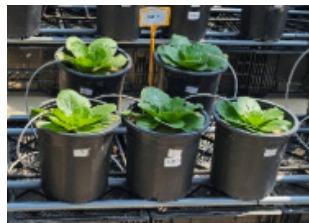
배추 생육조사 결과(표 55), 기준구 및 배량구는 무처리 대비 지상부와 지하부 생육이 전반적으로 양호한 경향을 나타냈다. 특히 배량구는 엽수, 엽장, 생체중 및 근중에서 가장 높은 값을 보여 밀월 분변토 시용이 배추 초기 생육 촉진에 긍정적으로 작용한 것으로 판단된다. 반면 근장은 무처리구에서 5.8% 증가한 것으로 나타났으나, 양분이 부족한 조건에서 양분을 확보하고자 하는 경우 뿌리 신장을 하는 작물의 보상특성이 나타난 원인으로 판단된다. 전반적으로 배추에 비해를 유발하지 않으면서 지상부 생육과 생체량 증진에 효과적인 것으로 나타났으며 배추의 생육 상태를 시각적으로 비교한 결과(그림 20), 기준구와 배량구는 무처리보다 잎의 전개가 양호하고 생육량이 우수한 경향을 보였다. 특히 배량구는 지상부 발달이 가장 활발하여, 생육조사 결과와 유사한 경향을 나타냈다.

표 55. 배추 생육조사

처리구	지상부			지하부		
	엽수(개)	엽장(cm)	엽폭(cm)	생체중(g)	근장(cm)	근중(g)
기준구	13.4	8.1	18.9	37.7	12.9	1.2
배량구	15.7	9.2	18.0	49.4	10.5	1.4
무처리	10.8	6.9	15.7	24.0	13.7	1.0



【무처리】



【기준구】



【배량구】



【무처리】

【기준구】

【배량구】

그림 20. 배추 생육비교

상추에 대한 비해유무 조사 결과(표 10), 기준구와 배량구 모두 조사기간 동안 비해지수는 0으로 나타났으며, 밀월 분변토 처리에 따른 피해 증상은 확인되지 않았다. 이는 상추와 같이 비교적 염류 및 유기물 시용에 민감할 수 있는 엽채류에서도 밀월 분변토가 안전하게 적용될 수 있음을 시사한다. 상추 생육조사 결과(표 57), 기준구와 배량구는 무처리 대비 엽수, 엽장, 엽폭 및 생체중이 모두 증가하는 경향을 보였다. 특히 배량구는 엽수와 생체중, 근중이 가장 높게 나타나 생육 촉진 효과가 뚜렷한 반면 근장은 무처리구에서 증가하는 경향을 보여 배추의 생육조사결과와 마찬가지로 상대적으로 낮은 양분 조건에서 뿌리의 신장 생장이 촉진된 결과로 추론된다. 처리별 생육 상태를 비교한 결과(그림 7), 무처리 대비 잎의 크기와 생육량이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 배량구에서 생육이 가장 우수하였다. 시각적 관찰 결과에서도 비해 증상은 확인되지 않았다.

표 56. 상추 비해유무 조사

처리구	비해정도*(0~5)			비고
	7일차(4. 21.)	14일차(4. 28.)	23일차(5. 7.)	
기준구	0	0	0	비해없음
배량구	0	0	0	비해없음
무처리	-	-	-	

* 비해판정기준: 0 없음~5 뿌리포함 고사상태

표 57. 상추 생육조사

처리구	지상부				지하부	
	엽수(개)	엽장(cm)	엽폭(cm)	생체중(g)	근장(cm)	근중(g)
기준구	10.8	12.3	11.3	18.3	19.7	4.3
배량구	11.3	11.6	10.6	18.7	18.3	4.9
무처리	9.0	9.0	8.2	13.3	20.5	3.6



【무처리】



【기준구】



【배량구】



【무처리】

【기준구】

【배량구】

그림 21 상추 생육비교

시금치에 대한 비해유무 조사 결과(표 58), 기준구와 배량구 모두 전 조사기간 동안 비해지수가 0으로 나타나 밀월 분변토 처리에 따른 피해는 발생하지 않았다. 시금치는 초기 생육기 환경 변화에 민감한 작물로 다른 비해작물에 비해 초기 생장이 길었으나, 본 시험에서는 처리에 따른 생육장해가 나타나지 않아 분변토의 안정성이 확인되었다. 시금치 생육조사 결과(표 59), 기준구와 배량구는 무처리 대비 엽수, 엽장, 엽폭, 생체중 및 근중이 모두 증가하는 경향을 나타냈다. 특히 배량구는 엽폭, 생체중 및 근중에서 가장 높은 값을 보여 밀월 분변토의 시용량 증가가 시금치 생육에 긍정적으로 작용한 것으로 판단된다. 초장과 근장은 처리 간 큰 차이가 없었으나, 생체중의 증가폭이 가장 높은 결과를 보였다.

표 58. 시금치 비해유무 조사

처리구	비해정도*(0~5)			비고
	7일차(4. 23.)	14일차(4. 30.)	21일차(5. 7.)	
기준구	0	0	0	비해없음
배량구	0	0	0	비해없음
무처리	-	-	-	

* 비해판정기준: 0 없음~5 뿌리포함 고사상태

표 59. 시금치 생육조사

처리구	지상부				지하부		
	엽수(개)	엽장(cm)	엽폭(cm)	생체중(g)	초장(cm)	근장(cm)	근중(g)
기준구	19.7	4.4	2.4	2.9	7.9	13.6	0.4
배량구	18.6	5.1	2.7	3.9	9.3	13.7	0.7
무처리	14.7	3.9	1.8	1.8	6.4	13.8	0.2



【무처리】



【기준구】



【배량구】



【무처리】

【기준구】

【배량구】

그림 22. 시금치 생육비교

콩에 대한 비해유무 조사 결과(표 60), 기준구와 배량구 모두 7일, 14일, 21일차 조사에서 밀웜 분변토 처리에 따른 피해는 발생하지 않았다. 콩은 초기 활착과 뿌리 발달의 영향이 크고 양분 과다 토양에서 도복 및 생육불량이 나타나는 작물로, 본 시험의 토양 및 양분조건에서 배량구의 생체중이 10.7% 증가하여 비해보다 비효효과가 더 큰 결과를 보였다(표 61). 그림 9의 생육 비교에서도 콩은 처리 간 외형적 차이가 크지는 않았으나, 밀웜 분변토 처리구에서 잎의 발달과 생육량이 전반적으로 양호한 경향을 보였다.

표 60. 콩 비해유무 조사

처리구	비해정도*(0~5)			비고
	7일차(4. 23.)	14일차(4. 30.)	21일차(5. 7.)	
기준구	0	0	0	비해없음
배량구	0	0	0	비해없음
무처리	-	-	-	

* 비해판정기준: 0 없음~5 뿌리포함 고사상태

표 61. 콩 생육조사

처리구	지상부				지하부		
	엽수(개)	엽장(cm)	엽폭(cm)	생체중(g)	초장(cm)	근장(cm)	근중(g)
기준구	7.7	21.5	5.3	2.8	7.9	12.9	0.8
배량구	7.9	20.3	5.6	3.1	9.3	12.0	1.3
무처리	7.7	20.9	5.2	2.8	6.4	12.3	1.0



【무처리】



【기준구】



【배량구】



【무처리】

【기준구】

【배량구】

그림 23. 콩 생육비교

무 비해유무 조사 결과(표 62), 기준구와 배량구 모두 정식 후 7일차부터 수확기까지 전 조사기간 동안 비해지수는 나타나지 않았다. 특히 무는 뿌리 비대가 중요한 작물로 토양 중 염류농도나 미숙 유기물에 의한 피해 가능성이 있을 수 있으나, 본 시험에서는 생육기간동안 비해는 관찰되지 않았다. 생육조사 결과(표 63), 기준구와 배량구는 무처리 대비 엽수, 엽장, 생체중, 근중 및 근경에서 모두 높은 값을 나타냈다. 특히 배량구는 생체중 42.1 g, 근중 76.6 g, 근경 3.6 cm로 가장 우수한 생육을 보여 밀워 분변토의 생육 증진 효과가 뚜렷하였다. 다만 포트시험이라는 재배환경의 한계로 재배일 수 대비 뿌리 생육이 전반적으로 지연되는 현상을 보여 추후 노지환경에서의 추가검증이 필요할 것으로 판단된다.

표 62. 무 비해유무 조사

처리구	비해정도*(0~5)					비고
	7일차 (9. 23.)	14일차 (9. 30.)	21일차 (10. 7.)	28일차 (10. 14.)	수확기 (11. 20.)	
기준구	0	0	0	0	0	비해없음
배량구	0	0	0	0	0	비해없음
무처리	-	-	-	-	-	

* 비해판정기준: 0 없음~5 뿌리포함 고사상태

표 63. 무 생육조사

처리구	지상부			지하부		
	엽수(개)	엽장(cm)	생체중(g)	근장(cm)	근중(g)	근경(cm)
기준구	11.8	29.3	38.6	18.9	64.2	3.5
배량구	13.7	32.3	42.1	18.3	76.6	3.6
무처리	9.6	25.6	21.6	20.7	40.2	2.6



【무처리】



【기준구】



【배량구】



【무처리】

【기준구】

【배량구】

그림 24. 무 생육비교

시험 2에서 배추, 상추, 시금치, 콩 및 무를 대상으로 밀월 분변토의 비해 여부를 검토한 결과, 모든 작물에서 기준구와 배량구의 비해지수는 전 조사기간 동안 0으로 나타나 피해 증상은 전혀 발생하지 않았다. 이는 밀월 분변토가 충분히 부숙된 안정한 유기자원으로서 작물 생육 저해 요인이 없음을 보여준다. 또한 생육조사 결과 대부분의 작물에서 밀월 분변토 처리구가 무처리 대비 지상부 및 지하부 생육이 우수한 경향을 나타냈으며, 특히 배량구에서 생체중과 근중이 증가하는 경우가 많았다. 따라서 밀월 분변토는 다양한 엽채류 및 근채류, 두류에 대하여 비해 없이 안전하게 사용할 수 있으며, 적정량 또는 배량 처리 시 생육 증진 효과도 기대할 수 있는 유기자원으로 판단된다.

4 적 요

<제1세부과제: 바이오차를 활용한 토양관리 기술 연구>

(시험 1) 바이오차 시용 시 토양화학성 개량효과 분석(2023)

가. 농립부산물(목재) 바이오차 100~800kg/10a 시용 시 산성, 중성, 염기성 토양의 pH, 유기물 및 치환성 양이온 함량이 증가하였으며, 일부 처리구에서는 유효인산 함량도 증가하였다. 바이오차의 자체 비료성분 함량은 크지 않으며 양분공급 목적보다는 보비력 및 토양산도를 개량하는데 유리하다.

(시험 2) 바이오차 시용 시 비료 감비효과 구명(2023)

가. 질소, 인산, 칼리 기준 비료량의 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0배 시비 후 농립부산물(목재) 바이오차 100~200kg/10a 시용 시 바이오차 처리별 무, 배추 생육 및 수량에 유의한 차이 없었다. 이는 토양의 완충능 및 강한 비효에 의해 바이오차 처리량 200kg/10a 까지에서 영향이 크지 않은 것이 원인으로 판단된다.

(시험 3) 수박, 멜론 바이오차 연용 적정사용량 구명(2023)

가. 수박 및 멜론 재배 시 바이오차 200kg/10a을 2년 연용하였을 때 수량 높았다, 경제성을 고려한 농립부산물(목재) 바이오차 200kg/10a 수준의 매해 연용은 토양화학성 개량 및 작물생육 증진에 효과적인 것으로 판단된다.

(시험 4) 목재 바이오차 한계 시용량 구명(2024)

가. 작물(양배추, 고추) 재배에서 농립부산물(목재) 바이오차 5,000kg/10a을 한계 시용량으로 하였을 때 비해가 없었으며 토양개량 및 작물 생육증진 효과 기대 가능하다. 대파 재배시험에서는 바이오차 처리에 따른 생육의 차이가 크게 나타나지 않았으나, 3작목 공통으로 바이오차 10,000kg/10a 처리는 생육 감소 등 비해 발생의 주의가 요구된다.

(시험 5) 목재 바이오차 토양 물리성 개선효과 구명(2024)

가. 농립부산물(목재) 바이오차는 0.2g/cm³의 낮은 밀도 및 다공성 구조의 특성을 가져 토양의 용적밀도를 감소할 수 있고, 이에 따라 통기성 및 투수성 향상 등 토양 물리성 개선이 가능하다.
나. 농립부산물(목재) 바이오차 처리 시 관행(바이오차 무처리) 대비 평균 토양 수분장력 22.3~38.9% 감소 등 토양의 수분보유력을 효과적으로 개선할 수 있다.

(시험 6) 목재 바이오차 시용 효과 구명(2024)

가. 농립부산물(목재) 바이오차 시용 시 관행(바이오차 무처리) 대비 안정적인 초기생육 가능하며, 옥수수는 바이오차 1,000~2,000kg/10a 처리에서 이삭중, 지상부 생육, 근중 등이 증가하였다. 또한 무는 관행(바이오차 무처리) 대비 500~2,000kg/10a에서 근중, 근장, 근폭 등의 조사항목에서 높은 수치가 나타났다. 결과적으로 농립부산물(목재) 바이오차 500~2,000kg/10a 처리에서 생육 증대가 가능하다.

(시험 7) 뿌리작물 재배 시 바이오차 비료 저감효과 구명(2025)

- 가. 뿌리작물(당근, 무, 쪽파) 재배에서 농림부산물 바이오차 400kg/10a 사용 시 감비율 30%까지, 가축분 바이오차 400kg/10a는 감비 40%까지 관행 수량 유지하였다.
- 나. 농림부산물 및 가축분 바이오차 400kg/10a 사용 시 질소, 인산, 칼리 비료이용효율을 향상할 수 있고, 동일한 비료 투입량 대비 높은 수량 확보 가능하다.

(시험 8) 뿌리작물 재배 시 바이오차 시용효과 구명(2025)

- 가. 농림부산물(목재) 바이오차 사용 시 경도 감소, 수분보유력 개선 등 토양 물리성 개량이 탁월함. 그리고 가축분(계분) 바이오차는 토양 유기물, 유효인산, 치환성야잉온 함량 증가 등 양분공급에 효과적이다.
- 나. 농림부산물 및 가축분 등 원료별 바이오차의 기능이 다르며 이에 따라 농경지 토양 이화학성 특성을 고려한 사용이 필요하다.

<제2세부과제: 다축형 평명수형 과원의 적정 시비량 설정>

(시험 1) 사과와 적정 유기물 시비량 설정

- 가. 2024년, 2025년, 과실 수확까지 종료한 후의 토양화학성 분석 결과는 혼합가축분 퇴비의 투입량에 따라 일정한 경향을 나타내지는 않았다. 0% 처리구는 양분을 거의 보유하고 있지 않은 피트모스만 처리하였음에도 혼합 가축분 퇴비를 1,000 kg 10a⁻¹ 투입한 200% 처리구와 비교하여 EC, K, Ca, Mg 함량에서 큰 차이를 보이지 않았다.
- 나. 수체 생육 조사 결과 전 처리구 모두 축 길이, 축 직경, 엽수, 엽장, 엽폭에서 유의적 차이를 나타내지 않아 생육이 비슷한 것으로 조사되었다. 반면 2024년과 2025년 모두 100% 처리구에서 6월에 정지한 신초의 수가 각 65.3개, 65.0개로 가장 많았으며 진행 중인 신초의 수는 각 15.0개, 8.8개로 가장 적었다.
- 다. 화충수의 경우 100% 처리구에서 주당 73.6개로 가장 많은 것으로 나타났고 착과수 또한 44.0개로 가장 많은 것으로 조사되었다. 2024년에 조기(6월) 정지한 신초가 충실한 꽃눈을 형성하여 2025년에 개화 및 착과로 이어진 것으로 생각된다.
- 라. 엽 내 무기성분 함량을 분석한 결과 처리구 별 큰 차이를 나타내지 않았으며 N, P, K, Ca, Mg에 대해 특별한 영양결핍 증상을 보이지 않았다.
- 마. 유기물 처리에 따른 수체 영양 생장은 처리구 간 큰 차이를 보이지 않았고 신초생장 및 화아분화는 100% 처리구에서 가장 우수하였다. 또한 엽 내 영양결핍 증상을 보이지 않았으며 착과도 안정적이었다. 다축형(10축) 과원 조성 시 유목기의 유기물량은 혼합가축분 퇴비 500 kg 10⁻¹가 적정할 것으로 생각된다.

(시험 2) 복숭아의 적정 유기물 시비량 설정

- 가. 토양의 EC는 큰 차이가 없었으며 유기물의 함량은 전체 조사기간 동안 0% 처리구에서 가장 적었고 가축분퇴비의 시용량이 증가할수록 많아지는 경향을 보였다. K, Ca, Mg의 함량은 조사기간 동안 0%, 25% 처리구에 비해 50%, 100%, 200% 처리구에서 높은 경향을 나타냈다.

- 나. 수채 생육 특성 조사 결과 2024년과 2025년 모두 혼합가축분 퇴비의 사용량이 많을수록 축길이, 축 직경, 마디수가 증가하였으며 처리구별 큰 생육차이를 보였다. 전정량은 2024년, 2025년 모두 200% 처리구에서 가장 많고 25% 처리구에서 가장 적은 것으로 나타났으며 0%, 25% 처리구 대비 50%, 100%, 200% 처리구에서 많은 경향을 보였다.
- 다. 반면 착과수는 0%, 25%, 50%, 100%, 200% 처리구에서 각 47.7개, 55.3개, 94.0개, 69.7개, 42.0개로 나타나 50% 처리구에서 가장 많고 200% 처리구에서 가장 적었다. 이는 과도한 영양공급으로 영양생장과 생식 생장의 불균형이 초래된 것으로 생각된다.
- 라. 과실 특성 조사 결과 과중은 200% 처리구에서 가장 크게 나타났으나 50%, 100% 처리구와 유의적 차이를 보이지는 않아 0%, 25% 대비 50%, 100%, 200% 처리구에서 큰 것으로 조사되었다. 50% 처리구의 수확 과실수는 주당 17개로 가장 많았으며 과실 크기도 큰 것으로 나타났다.
- 마. 수채의 영양생장과 엽 내 영양상태 진다. 과실 수확량을 고려하여 볼 때 유목기의 수세조절 및 안정적 착과를 위해서는 혼합가축분 퇴비 250 kg 10a⁻¹ 수준이 적정할 것으로 생각되며 혼합가축분 퇴비 1,000 kg 10a⁻¹ 수준의 시비는 과도한 영양생장을 초래하여 피하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

<제3세부과제: 밀웬 분변토 이용기술 개발>

(시험 1) 밀웬 분변토 비료 효과 검증

- 가. 밀웬 분변토의 유기물 함량은 83% 이상으로 매우 높은 수준이었으며, 중금속은 전 항목에서 기준치 이하 또는 불검출로 나타나 안정적인 유기물 공급 자재로 활용가능 한 결과를 보였다.
- 나. 배추 비효시험 처리구별 토양 화학성 분석 결과, 1차, 2차 시험에서 밀웬 분변토 처리구의 유기물 함량이 무처리 대비 유의하게 증가하는 결과를 보였다. pH는 안정적인 범위를 유지하였고, EC는 일부 증가하였으나 작물 생육에 영향을 미치는 수준은 아니었다.
- 다. 배추 생육조사 결과, 1차, 2차 재배시험에서 밀웬 분변토 처리구의 구중, 내엽수가 증가하는 경향을 보여 배추 결구부 생육에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

(시험 2) 밀웬 분변토 비료 피해 검증

- 가. 배추, 상추, 시금치, 콩 및 무를 대상으로 비해 여부를 조사한 결과, 기준구 및 배양구 모두 전 비해지수 0~1로 비해는 없는 것으로 나타났다.
- 나. 배추, 상추, 시금치 등 엽채류에서는 밀웬 분변토 처리구가 무처리 대비 엽수, 엽장, 생체중 등이 증가하여 지상부 생육이 향상되는 경향을 보였으며, 특히 배양구에서 생육 촉진 효과가 뚜렷하게 나타났다.
- 다. 콩과 무에서도 밀웬 분변토 처리구는 무처리 대비 생체중 및 근중이 증가하는 경향을 보였으며, 무는 포트시험 조건에서 생육이 지연되는 경향이 있었으나 밀웬 분변토 처리구에서 근부 비대 및 수량 증가 효과가 명확하게 나타났다.

- 김선곤, 김성연, 구희연, 김현진, 강성주, 이유범, 김정은, 김도익. 2019. 갈색거저리 분변토를 이용한 유기질 비료화 검토. 농촌진흥청 전남농업기술원 곤충잡업연구소. pp.152.
- Annals of Botany. 1995. Maximum Vegetative Growth Potential and Seasonal Patterns of Resource Dynamics during Peach Growth
- Brassard P, Godbout S, Levesque V, Palacios JH, Raghavan V, Ahmed A, Hogue R, Jeanne T, Verma M, 2019. Biochar for soil amendment. In: Char and Carbon Materials Derived from Biomass. Elsevier.doi:10.1016/B978-0-12-814893-8.00004-3
- Lee DW, Lee YN, Jeong YJ, Yun JJ, Shim JH, Jeon SH, Lee YH, Kwon SI, Kim SH, 2023. Effect of biochar derived from greenhouse crop residue on lettuce growth and soil chemical properties. Korean J Soil Sci Fert. 56(4):386-397.
- Lehmann J, Gaunt J, Rondon M, 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems - A review. Mitig Adapt Strateg Glob Change. 11:403-427.
- M. E. Berman, T. M. DeJong. 2003. Seasonal patterns of vegetative growth and competition with reproductive sinks in peach
- Ola M. Heide, Rodmar Rivero, Anita Sønsteby, 2020, Temperature control of shoot growth and floral initiation in apple
- P. Lobit, P. Soing, M. Génard, R. Habib. 2001. Effects of timing of nitrogen fertilization on shoot development in peach
- Poveda, J. 2021. Insect frass in the development of sustainable agriculture: A review. Agronomy for Sustainable Development. pp.1-10.
- S. Notodimedjo, S. Sastrosumarto, H. Danoesastro, G.R. Edwards. 1981. Shoot growth, Flower initiation and Dormancy of apple In the tropics
- Wanjugu, A., Bulli, P., and Andika, D. 2023. Effects of cricket frass on vegetative growth of Cleome gynandra. African Journal of Agricultural Research. pp.210-215.
- Y. L. Grossman, T. M. DeJong. 1994. A simulation model of reproductive and vegetative growth in peach trees
- Zhu, L.H., Borsboom, O., Tromp, J. 1997. The effect of temperature on flower-bud formation in apple including some morphological aspects

6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제목
2023(1년차)	학술발표	계분 바이오차의 작물 생육촉진 효과
	학술발표	배추 작물재배 시 바이오차 연용이 토양화학성에 미치는 영향
2024(2년차)	학술발표	바이오차 처리에 따른 토양내 병원균 감소 효과
	영농정보	바이오차 연용에 따른 수박, 멜론 생육 양상
	영농정보	목재 바이오차 활용 시 토양 이화학성 개선 효과
	학술발표	목재 바이오차 대량 시용이 작물별 토양화학성에 미치는 영향
	학술발표	밀웜 분변토 처리가 배추 생육에 미치는 영향
	컨설팅	다축형 평면수형 과원 예정지 관리
2025(3년차)	논문게재	Effects of agricultural by-product biochar on soil properties, growth and yield of Chinese cabbage
	학술발표	부산물 바이오차의 작물처리효과
	학술발표	목재 바이오차 시용에 따른 무 생육 및 토양 이화학성 특성
	학술발표	사과 다축형 평면 수형의 유기물 시용량에 따른 초기 생육 특성
	학술발표	복숭아 다축형 평면 수형의 유기물 시용량에 따른 초기 생육 특성
	영농정보	작물재배 시 바이오차의 비료절감 효과
	영농정보	과종별 다축형 평면수형 초기 과원의 유기물 시용량
	홍보자료	밀웜, 식탁을 넘어 농업으로
	홍보자료	농업부산물, 탄소중립 실현으로 되살다
	정책제안	밀웜 분변토의 신규 비료등록 제안

성과지표		연도		1년차 (2023)		2년차 (2024)		3년차 (2025)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적		
논문 게재	SCI										
	비SCI			1		1	1	2	1		
학술 발표	국제										
	국내	1	2	4	3	4	4	9	9		
영농 활용	기술										
	정보	1		5	2	2	2	8	4		
현장컨설팅				1	1	2		3	1		
홍보				1			2	1	2		
정책제안							1	1	1	1	
계		2	2	12	6	10	10	24	18		

7 연구원 편성

구분	소속	직급	성명	수행업무	참여년도		
					'23	'24	'25
과제책임자	농업환경연구과	농업연구관	홍수영	과제 총괄	○	○	○
세부책임자	농업환경연구과	농업연구사	김동민	세부주관 수행	○	○	○
	농업환경연구과	농업연구사	홍성유	세부주관 수행		○	○
	농업환경연구과	농업연구사	홍수영	세부주관 수행		○	○
공동연구자	농업환경연구과	농업연구사	김민경	평가분석 지원			○
		농업연구사	김동민	평가분석 지원	○	○	○
		농업연구사	홍성유	평가분석 지원		○	○
		농업연구사	김희연	평가분석 지원			○
		농업연구관	허수정	평가분석 지원			○
		공업서기보	박기진	현장조사 지원		○	○
		공무직	김남호	현장조사 지원	○	○	○
		공무직	주원영	현장조사 지원	○	○	○
공무직	김현석	현장조사 지원	○	○	○		