

어젠다코드	2 - 1 - 1		구분	완결	
기술분야코드	V2	기술유형코드	C05	작목구분코드	VC-01-090101
과제종류	기관고유		과제번호	-	
과제명	지속가능한 농업을 위한 토양유지 관리연구				
과제책임자	성명		직급	소속기관 및 부서	
	허수정		농업연구사	강원도원 환경농업연구과	
연구기간	2017 ~ 2020		참여연구기관	-	
세부과제명			부서	세부책임자	연구기간
1) 작물 양분이용 효율 증대기술 개발			환경농업연구과	허수정	'18~'20
2) 발작물 연작지 토양개선 연구			환경농업연구과	윤병성	'18~'20
색인용어	바이오차, 양분이용, 연작지, 토양물리성				

## ABSTRACT

This study is to analyze the yield after cultivation, plants and soil after cultivation of corn and cabbage from 2018 to 2020 by mixing them in the soil at levels of 0, 100, 200, 300 kg/10a, and cultivating them using conventional farming methods. Through this, the utilization rate of nutrients was investigated and analyzed. When cultivating cabbage for continuous application of biochar, there was no difference in the yield of each treatment during the first crop, but the difference in yield between treatments from the second crop. There was no significant difference in the ratio of component content in the plant according to the level of biochar treatment, but the nutrients used by the whole plant showed a positive correlation with the amount of treatment. During Chinese cabbage cultivation, there was no significant difference in the change of soil chemistry according to the level of biochar treatment, but the residual amount of nutrients in the soil was high during the treatment of biochar, indicating that there was little leaching or volatilization of nutrients. The higher the level of biochar treatment was, the slower the spread of root lump disease was. It was more effective for growth to be treated after mixing compost and bio-tea, rather than for single use of compost or to separate compost and biochar.

As a result of examining the live weight by treatment with organic acid in the seedling period, when acetic acid and citric acid were treated compared to untreated, the amount of N, P, and K used in the plant was higher in ascorbic acid, acetic acid and citric acid. The result of comparing the amount of hydrogen peroxide produced and the result of comparing the MDA content was not proportional to each other.

The water retention capacity of bio-tea was easier to manage moisture due to its higher moisture retention than general biochar produced by the power generation biochar produced at high temperature and the longer water retention period. When Chinese cabbage was seeded by mixing 20-30% of biochar, the fresh weight and number of leaves increased by 20%. There was no

significant difference in the yield of cabbages according to the bio-tea treatment, but the amount of nutrients was lost due to rainfall over a long period of time during the growing period, but the residual amount of nutrients in the bio-tea treatment was higher than that of the untreated group, indicating that there was an effect of improving the bore capacity.

### Study on soil improvement of the field crop cultivating in continuous cropping area

#### 1) Farmhouse Survey

This study investigated the actual conditions of farmers who grew potatoes and chinese cabbages in Seomyeon in Chuncheon city. This region was not only low in organic matter(OM) content, but also lacks exchangeable calcium(Ca) and magnesium(Mg), and was very high in available phosphate (Avail.  $P_2O_5$ ). Therefore, it was thought that measures were needed to maintain adequate soil nutrients.

#### 2) Reduction of fertilizer use

There was no change in yield according to the fertilization method of Sumi potato varieties, and the yield of Seolbong varieties showed a tendency to decrease when test fertilization, but there was no significance. The yield of chinese cabbage decreased significantly in the first year when test fertilization, but was not significant in the second year. Therefore, it is suggested that the soil chemistry will be improved through test fertilization.

#### 3) Soil improvement experiment according to biochar treatment

In the first year, there was no obvious change in the content of soil chemical properties due to the biochar treatment, but in the second year, the EC and exchangeable potassium(K) were changed according to the biochar treatment. Potatoes showed a maximum yield of 2,577kg/10a when biochar treatment was 189.3kg/10a, and chinese cabbage showed a maximum yield of 6,417 kg/10a when biohar treatment was 233.5kg/10a.

## 1 연구목표

국민들의 생활수준이 향상되고 먹거리 안전성에 대한 관심이 높아지면서 친환경농산물에 대해 수요가 증가하고 있다. 건전한 농산물 생산을 위해서는 건강한 토양을 만드는 것은 기본이라 할 수 있고 토양의 건전성 유지가 농업의 중요한 과제로 대두되고 있어 장기간 화학비료 사용으로 악화된 토양환경을 회복하기 위한 노력이 필요하다. 많은 토양이 염류과다로 작물생육 저해요인으로 작용하고 있어 작물재배 시 많은 양의 양분투입보다 작물의 양분 활용률 제고를 통한 저투입 농업이 필요하고 건강한 토양을 만들기 위한 농자재 개발과 사용방법 개발이 지속적으로 이루어져야 한다.

기술집약적 농업에 의한 농경지내 양분의 다량집적과 양분불균형 등으로 인한 2차 환경오염 및 농산물 안전성에 대한 문제가 제기되고 있으며, 연작에 의한 생리장해와 병해 증상으로 피해가 발생되고

있다. 이 연구는 연작포장에 대한 바이오차 시용효과 검증으로 작물의 양분이용효율 증대를 위한 패키지 기술을 개발하고, 토양양분 불균형을 이루고 있는 감자 배추 연작지의 토양환경을 개선할 목적으로 수행되었다.

## 2 재료 및 방법

### 〈제1세부과제: 작물이용효율 증대기술 개발〉

#### (시험 1) 바이오차(Bio char) 처리에 따른 양분이용효율 시험

본 연구는 2018~2020년까지 춘천시 유포리 시험포장에서 옥수수과 배추를 대상으로 재배 전 바이오차를 0, 100, 200, 300 kg/10a 수준으로 토양에 혼화처리하고 관행 농법으로 재배한 후 재배 후 수확량과 식물체와 토양분석을 통해 양분의 이용률을 조사·분석하였다. 시험기간 동안의 경종개요는 표 1과 같다.

표 1. 배추, 옥수수 재배 경종개요

재배 연도	작물명	품종명	정식(파종)일	수확일
2018	배추	봄맛배추	4. 25.	6. 21.
		불암3호	9. 3.	11. 9.
	옥수수	미백 2호	4. 27(직파)	7. 21.
2019	배추	봄맛배추	4. 24.	6. 14.
		불암3호	8. 21.	11. 4.
	옥수수	미백 2호	4. 24.(직파)	7. 23.
2020	배추	산골봄	4. 22.	뿌리혹병 발생 수확불가
		불암 플러스	8. 25.	11. 9.
	옥수수	미백 2호	5. 6.(육묘)	7. 17.

또한 바이오차의 처리방법에 따른 효과를 알아보기 위해 2019~2020년 2년간 바이오차와 퇴비를 각각 처리한 것과 처리된 바이오차와 퇴비를 1:4 비율로 섞어 3개월 정도 경과한 것을 처리하였다. 토양, 식물체, 뿌리혹병의 발생정도는 농과원 조사분석기준(2010)에 따라 조사·분석하였다.

#### (시험 2) 작물 양분이용효율 증대효과

식물체 대사에서 산소분자의 환원활성은  $^1O_2$ ,  $O_2^-$ ,  $H_2O_2$ ,  $-OH$  같은 활성산소 종(ROS) 배열을 생산하여 대기산소의 부산물로 바람직하지 못한 유해영향으로 인식되었으나, 활성산소 종의 유익한 수준

에서는 환경을 감지하고 성장과 발달을 조절하며 환경축적에 적절히 대처하고 환경변화에 따른 스트레스반응을 활성화 시킨다(L.J. Quan 등, 2008). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>는 ROS 네트워크에서 세포벽 보강이나 피토알렉신 생산 및 다양한 스트레스에 저항성 증진 등 내성메커니즘에 관여하는 것이 밝혀졌고, 최근에는 노화나 광호흡, 광합성, 기공이동, 세포순환, 성장과 발달 등 다양한 생리과정의 주요 조절역할이 입증되었다. 이에 유기산을 유묘기에 처리하여 활발한 대사작용으로 양분이용을 증가시켜 초기생육을 촉진시키고자 하였다. 상추와 토마토를 대상으로 유기산은 Ascorbic acid, Acetic acid, Malic acid, Oxalic acid, Citric acid, Salicylic acid, Fumaric acid, Succinic acid 등 8종을 0.1%로 조제하여 유묘기에 7일 간격으로 3회 엽면살포 처리하였고, 과산화수소(hydrogen peroxide, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) 함량, malondialdehyde (MDA, 지질과산화작용의 지표물질) 함량 등을 조사하였다. 과산화수소 함량은 식물체를 막자사발에 넣고 0.1% trichloroacetic acid (TCA) 5 mL 넣어 마쇄한 후, 20,000 g의 속도로 15분간 원심분리하여 상징액을 취한 후 상징액 0.5 mL에 10mM 인산 완충용액(pH 7.0) 0.5 mL와 5M KI 0.2 mL를 넣고 390 nm에서 흡광도를 측정하였고, KI가 없는 반응용액을 blank로 하였다. (Alexieva et al., 2001)

\* pH 7.0: K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>/KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>=0.631

MDA 함량은 Buege and Aust(1978)의 thiobarbituric acid (TBA)법으로 측정하였다. 식물체를 막자사발에 넣고 20% trichloroacetic acid (TCA)에 0.5% TBA가 녹아있는 용액을 5 mL 넣어 마쇄한 후, 20,000 g의 속도로 15분간 원심분리하여 상징액을 취하고 이 상징액을 100℃에서 25분간 끓인 다음 ice bath에 넣어 냉각시킨 후, 다시 20,000 g의 속도로 15분간 원심분리하여 마지막으로 얻은 상징액을 분광광도계로 측정하였다. 각 처리별 최종 반응액은 532 nm에서 흡광도를 측정하였고, 600 nm에서의 흡광도 값으로 보정하였다. MDA 생성량은 156 mM<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>의 몰흡광계수를 사용하여 산출하였다.

### (시험 3) 바이오차(Bio char) 실증

실증시험하기 전 생산온도가 다른 2가지 바이오차의 특성을 상토분석 방법으로 분석하였으며(농촌진흥청, 1997), 수분보유량과 지속기간을 측정하였다. 또한 바이오차가 육묘 시 미치는 영향을 관찰하기 위해 바이오차를 육묘상토에 혼합하여 배추를 파종하고 일반상토와 비교하였다. 혼합 상토는 두가지 형태로 일반육묘상토에 바이오차를 혼합처리 한 것과 제조 전에 바이오차를 혼합하여 만든 상토를 사용하였다.

포장에서의 시험은 시험 1의 결과를 바탕으로 바이오차를 200kg/10a 토양 혼화처리한 후 배추와 토마토를 대상으로 실증시험을 수행하였고, 재배 전·후의 토양화학성과 수량 등의 조사(조사분석 기준, 2010)를 통해 양분이용효율을 분석하였다. 작물재배 시험개요는 표 2와 같다.

표 2. 실증시험 개요

작물명	품종명	시험장소	정식일	수확일
배추	수호	강릉 왕산	7. 6.	9. 10.
토마토	라피도	춘천 신북	4. 10.	

## 〈제2세부과제: 발작물 연작지 토양개선 연구〉

### (시험 1) 농가실태조사

본 연구는 강원도 춘천시 서면 감자·배추(무) 연작지 25농가를 대상으로 경종 실태, 토양화학성을 조사하였다(그림 1). 토양 화학성 분석은 농촌진흥청 토양화학분석법 (NAAS, 2010)에 따라 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5 (w/w)로 희석하여 진탕한 후 pH meter (Orion 3 Star, Thermo Scientific)로 측정하였고, 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성양이온은 1.0 N NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)로 침출하여 ICP (Integra Dual, GBC)로 분석하였다. 작물별 비료사용처방 4차 개정본 (농촌진흥청, 2019)의 작물별 토양화학성 적정범위에 따라 화학성 적정범위를 기준으로 부족, 적정, 과다비율을 구하였다. 지하수 시료는 수질오염공정시험법(환경부, 2005), Standard Method(APAH, 1992), 농업용수 수질분석 이론 및 실무(농촌진흥청, 2006)에 준하여 분석하였다. T-N과 T-P는 자동분석기를 이용한 비색법, 양이온류는 6번 여지로 여과한 후, ICP-AES(Inductively Plasma-Atomic Emission Spectrometry)를 이용하여 분석하였다. 중금속 분석은 전처리 시약으로 질산(HNO<sub>3</sub>)을 이용하여 전처리 후 ICP-AES를 이용하여 분석하였다.

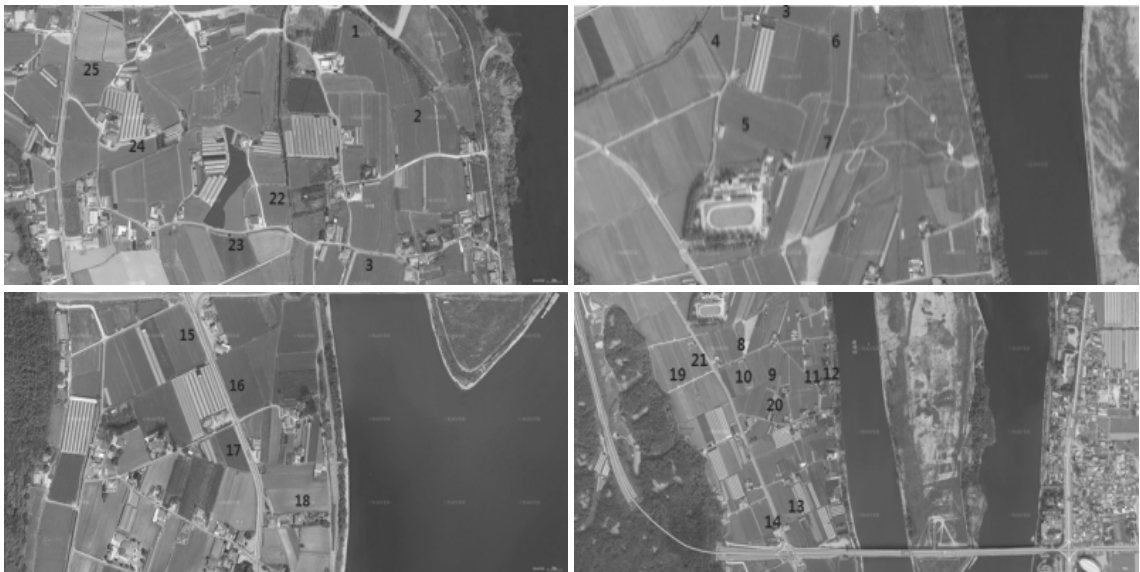


그림 1. 토양시료 채취 농가 분포

### (시험 2,3) 감자·배추 연작지 비료사용 절감 실증 및 바이오차 처리에 따른 토양개선 시험

본 연구는 강원도 춘천시 서면 신매리 감자·배추 연작지 농가 포장에서 실시하였다(표 3). 시험전 포장은 유기물과 치환성 Ca과 Mg은 적정범위에 미달하였고, 유효인산과 치환성 K는 적정 범위를 초과하여 심각한 양분 불균형을 이루고 있었다(표 4). 시험포장의 토성은 사양토와 양질사토 경계점에 있었다(표 5). 시험포장에 공급되는 지하수 성분은 강원도 평균 보다 높은 편이었으며 특히 NO<sub>3</sub>-N는 기준보다 높았으나 중금속은 검출되지 않았다(표 6).

표 3. 실증 능가 경종개요

품종명	정식일	수확일	재식거리(cm)	처리내용
감자(수미)	2019. 3. 26.	2019. 6. 27.	120 × 20	검정시비(바이오차 무처리, 100, 200, 400kg/10a) 농가관행(대조구) (12-7-6 4.3포/10a)
감자(설봉)	2020. 3. 23.	2020. 7. 16.		
배추(추광)	2019. 8. 19.	2019. 10. 29.	90 × 40	검정시비(바이오차 무처리, 100, 200, 400kg/10a) 농가관행(대조구) (12-6-8 4.3포/10a)
배추(추광)	2020. 8. 20.	2020. 11. 2.	70 × 40	

표 4. 시험전 토양의 화학성분 함량(2019. 2.)

구 분	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)			
					K	Ca	Mg	
시험포장	5.8	0.8	13	1,378	0.95	3.2	0.7	
적정 범위	감자	5.5~6.2	≤2	20~30	250~350	0.50~0.60	4.5~5.5	1.5~2.0
	배추	6.0~6.5	≤2	25~35	350~450	0.65~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0

표 5. 시험포장의 토성(2019. 2.)

구 분	입도분석 결과 (%)			토 성
	모 래	미 사	점 토	
표 토	73.7	22.4	3.9	사양토
심 토	73.8	22.4	3.8	양질사토

표 6. 농업용 지하수 수질현황

구 분	pH	EC (dS/m)	NO <sub>3</sub> -N	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	T-N	T-P	Ca	K
시험포장	6.1	0.52	33.4	50.0	45.2	35.36	0.01	72.80	2.43
평균(4월)*	6.8	0.31	5.42	18.36	22.03	7.76	0.02	35.11	3.02
평균(7월)*	6.8	0.29	5.55	16.74	20.91	6.95	0.03	34.39	7.06
기준	6.0-8.5	-	≤ 20	≤ 250	-	-	-	-	-

구 분	Mg	Na	Cd	As	Hg	Pb	Al	Fe	Mn
시험포장	17.29	15.57	ND	ND	0.000	ND	ND	0.38	0.01
평균(4월)*	7.41	9.61	0.0000	0.01	0.000	0.02	0.17	0.25	0.01
평균(7월)*	7.12	10.09	0.0001	0.02	0.000	0.00	0.05	0.15	0.01
기준	-	-	≤ 0.01	≤ 0.05	ND	≤ 0.1	-	-	-

\* 강원도 20 지점(논 5, 밭 5, 시설재배 10, 2019년). 시험포장은 9월초 분석 결과임

### 3 결과 및 고찰

#### 〈제1세부과제: 작물이용효율 증대기술 개발〉

##### (시험 1) 바이오차(Bio char) 처리에 따른 양분이용효율 시험

배추 재배 전 바이오차를 토양혼화 처리한 후 수준별 배추생육을 조사한 결과 1작기에서는 처리구별 수량의 차이가 나타나지 않았으나 2작기부터는 수량의 차이를 보였다(표 7). 이는 처리 후 토양내 바이오차의 안정화에 시간이 필요한 것으로 사료된다. 2작기에서는 200kg와 300kg처리구에서 구중이 2.1kg로 무처리구와 100kg 처리구 1.7kg에 비하여 유의적으로 수량이 많았고, 3작기에서는 300kg처리구가 1.5kg으로 다른 처리구 1kg 내외보다 수량이 많았다. 4작기 이후에는 200kg처리구에서 가장 수량이 높았다. 시험재배 기간 중 뿌리혹병이 광범위하게 발생에 따라 5번째 작기에는 수확이 어려워 조사가 이루어지지 못했다.

표 7. 바이오차 처리수준에 따른 배추 수량

재배시기	처리량(kg/10a)	연도	구중(g)	구고(cm)	구폭(cm)
봄	100	2018	1,220	32	14
		2019	897	25	12
		2020	-	-	-
	200	2018	1,150	33	14
		2019	1,194	24	12
		2020	-	-	-
	300	2018	1,262	31	14
		2019	1,581	26	13
		2020	-	-	-
	무처리	2018	1,244	33	14
		2019	1,040	25	11
		2020	-	-	-
가을	100	2018	1,676	42	18
		2019	2,635	36	18
		2020	1,504	35	21
	200	2018	2,104	44	18
		2019	3,879	35	20
		2020	1,816	29	17
	300	2018	2,110	44	19
		2019	3,735	36	20
		2020	1,568	29	18
	무처리	2018	1,699	44	18
		2019	2,230	33	17
		2020	1,562	29	18

바이오차 처리에 따른 양분이용효율을 확인하기 위해 처리 수준별 식물체 내 질소, 인산, 칼리 성분 함량을 비교한 결과 비율은 큰 차이가 없었으나, 전체 식물체가 이용한 양분은 바이오차 처리량과 양의 상관관계를 나타내어 바이오차 처리가 식물생육에 도움을 주는 것으로 나타났다(그림 2).

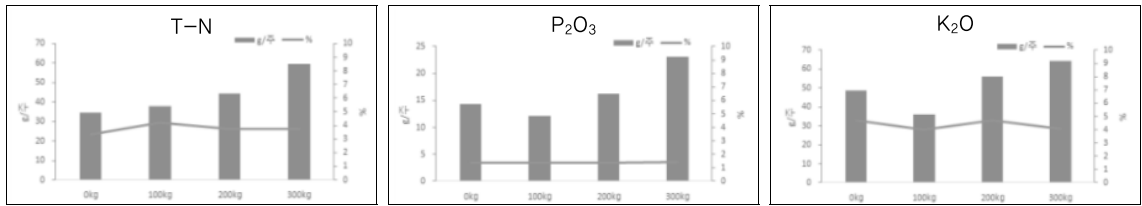


그림 2. 바이오차 처리수준별 배추 양분이용량

배추재배 시 바이오차 처리수준별 토양화학성에는 큰 차이는 없었으나 바이오차 처리 시 토양 내 양분잔존량이 높게 나타나 양분의 용탈·휘산이 적은 것을 알 수 있으며, 이는 비료성분의 용탈 등에 따른 2차 환경오염을 유발을 줄일 수 있어 친환경농자재로서의 가치도 평가할 수 있을 것으로 생각된다(그림 3).

결과적으로 배추 재배 시 투입한 양분과 식물체와 재배 후 토양에 남아있는 양분을 분석한 결과를 보면 이용되지 못하고 유실되는 양분량이 적어 바이오차를 처리하였을 때 양분의 이용효율이 증가함을 알 수 있다.

※ 양분투입량 = 작물이용량 + 토양잔류량 + 유실량

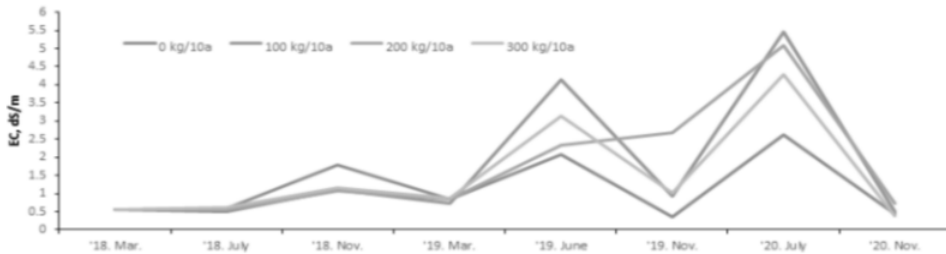


그림 3. 배추 연속재배 시 토양 EC변화

바이오차 처리방법에 따른 배추 생육은 퇴비 단용 또는 퇴비와 바이오차를 각각 처리한 것보다 퇴비와 바이오차를 잘 혼합한 후 처리하는 것이 생육이 월등히 우수하였다(표 8). 이는 바이오차와 퇴비를 혼합하여 3개월이 경과하는 동안 퇴비의 미생물이나 영양분이 바이오차에 부착 안정화 되면서 그 효능을 높인 것으로 생각된다.

표 8. 처리방법에 따른 배추 수량

시험연도	처리구분	구중(g)	구고(cm)	구폭(cm)
2019	바이오차	2,977	38	18
	바이오차 퇴비*	3,418	35	19
	관행	2,540	36	18

시험연도	처리구분	구중(g)	구고(cm)	구폭(cm)
2020	바이오차	1,544	29	15
	바이오차 퇴비*	2,435	33	17
	관행	1,523	30	18

\* 가축분 퇴비와 바이오차를 4:1 비율로 혼합

2019년부터 뿌리혹병이 발생하였으나 외관으로 나타나는 수준은 미미하였으나 2020년 봄배추 재배 시에는 전면 발생으로 수확이 어려웠다. 그러나 바이오차 처리수준 별로 뿌리혹병 발생 정도에는 차이가 있었고, 처리구의 뿌리혹병 전이속도가 무처리구보다 느리게 나타났다(표 9). 이러한 결과를 볼 때 뿌리혹병이 처음 시작되는 포장에서는 병이 발생하더라도 수확 시까지 전이를 어느 정도 늦출 수 있을 것으로 사료된다. 실제로 2019년 수확한 배추에서도 뿌리에는 병이 발생하였으나 지상부 수확에는 문제가 없었다.

표 9. 바이오차 처리수준 별 배추 뿌리혹병 발병정도

수 준	조사일		
	5. 14.	5. 20.	6. 11.
100kg/10a	0	9	9
200kg/10a	0	5	9
300kg/10a	0	3	9
무처리	0	9	9

\* 0:무발병, 1:1% 이하, 3:1~10%, 5:10초과~20%, 7:20초과~50%, 9:50% 초과

옥수수는 2018~2020 3년간 재배 전 바이오차를 토양혼화 처리한 후 수준별 생육과 수량을 조사한 결과 처리구별 유의적인 차이가 나타나지 않았다

바이오차 처리수준별 옥수수 식물체내 지소, 인산, 칼리의 함량을 조사한 결과에서도 옥수수 식물체내 성분함량 비율과 전체식물체의 양분이용량은 처리수준에 따른 상관관계를 나타내지 않았고(그림 6), 옥수수 재배 전후의 처리수준별 토양화학적도 유의적 차이는 없었으나(표 11), 처리구가 무처리구에 비해 재배 후 잔류 양분량은 많은 것으로 나타났다(그림 7). 이는 영양분의 유실량이 적은 것을 나타내는 것으로 바이오차가 토양의 양분 보유능력을 높일 수 있는 자재로 이용될 수 있음을 시사한다.

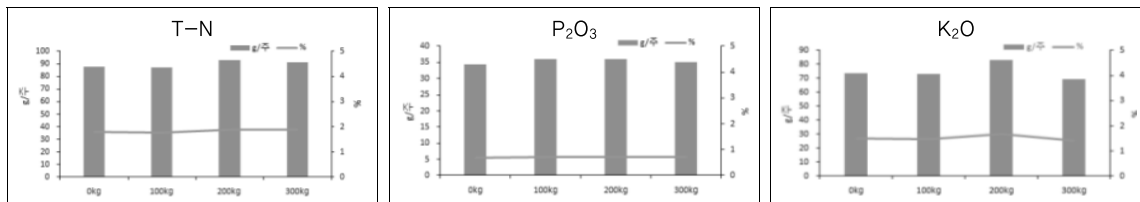


그림 4. 처리수준별 옥수수 양분이용량

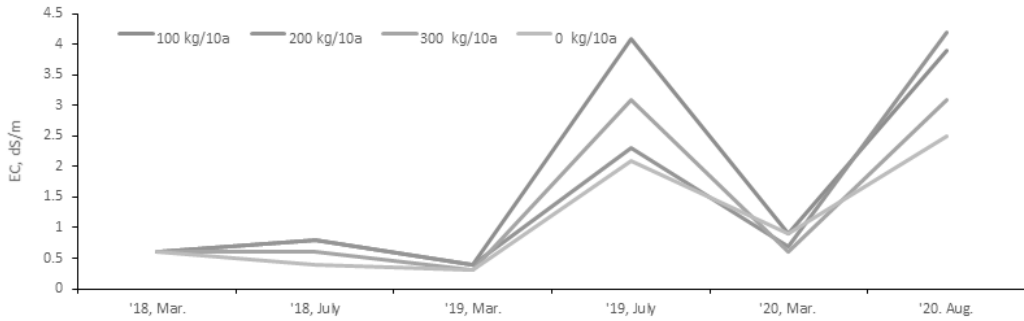


그림 5. 옥수수 연속재배 시 토양 EC변화

### (시험 2) 작물 양분이용효율 증대효과

상추의 양분이용효율을 증대시킬 수 있는 능력을 획득시키기 위해 유모기에 유기산을 처리하여 생체중을 조사한 결과 무처리구에 비해 acetic acid와 citric acid를 처리하였을 때 무거웠으며, 식물체내에 이용된 N, P, K의 양은 ascorbic acid, acetic acid와 citric acid가 많았으며(그림 6), 특히 칼륨의 함량이 높았다. Acetic acid와 citric acid처리가 효과적인 것으로 판단된다. 상추와 토마토에서의 과산화수소의 함량 비교 결과와 MDA 함량 비교결과는 서로 비례하지 않는 것으로 보아 유기산별 과산화수소가 식물체 내에서 작용하는 역할이 다르며, 식물 종에 따라 생성양상도 다른 것으로 생각된다(그림 7, 8).

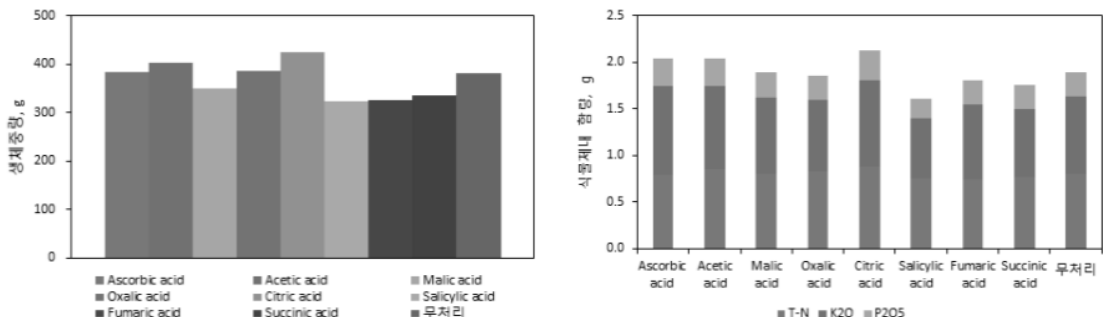


그림 6. 상추의 생체중과 N, P, K 함량에 대한 유기산 처리 효과

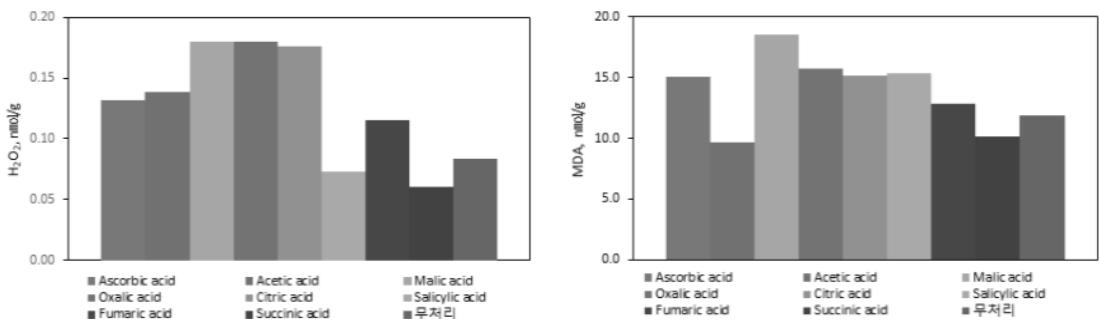


그림 7. 상추 잎의 과산화수소와 MDA 함량에 대한 유기산 처리 효과

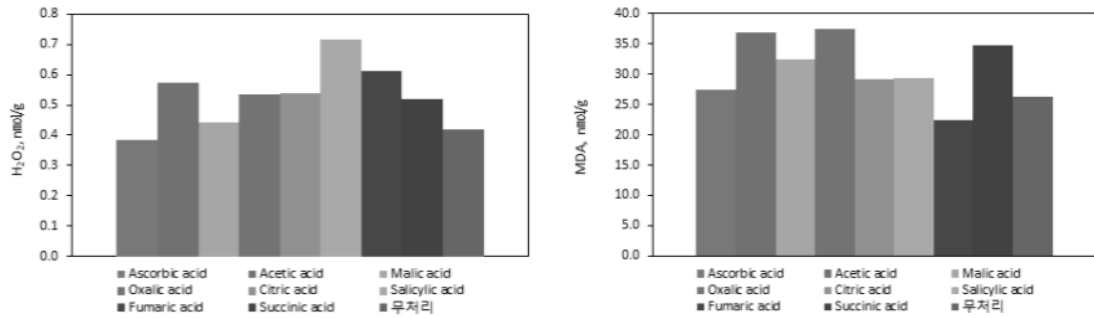


그림 8. 토마토의 과산화수소와 MDA 함량에 대한 유기산 처리 효과

### (시험 3) 바이오차(Biochar) 실증

시험 1의 결과를 바탕으로 바이오차를 활용한 실증 시험을 수행하기 위해 대량 확보가 가능한 2가지 바이오차의 이화학적 특성을 분석한 결과 1,000°C 이상에서 탄화된 바이오차의 특성은 pH가 9.0이었으며, 칼슘의 함량이 7.2 mg/kg으로 일반 저온에서 생산한 바이오차의 6.2와 0.3 mg/kg보다 매우 높은 것으로 나타났고(표 12), 입자크기 등 성상에도 차이가 있었다(그림 9).

표 12. 바이오차 특성

종류	pH (1:5)	EC (dS/m)	CaO	K <sub>2</sub> O (mg/kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	T-N (%)	용적밀도 (Mg/m <sup>3</sup> )
A(고온)	9.0	2.2	7.2	0.53	0.87	0.52	0.30
B(저온)	6.2	0.5	0.3	0.18	0.05	0.41	0.24

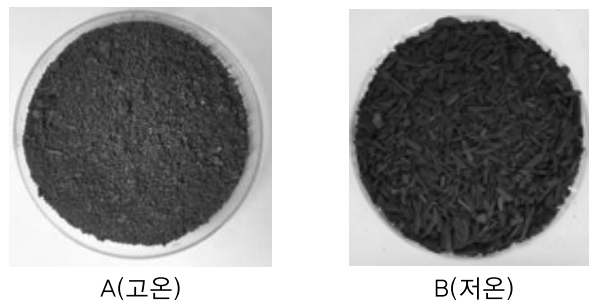


그림 9. 바이오차의 성상

바이오차의 주요 특성 중의 하나인 수분보유력을 비교한 결과 고온에서 생산한 바이오차의 수분보유량이 많았으며, 수분보유 기간도 길어 농업용수 절약과 수분관리에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다(그림 10).

배추 육묘 시 바이오차를 처리하여 수분관리 효과를 비교한 결과는 그림 11에서 보는 바와 같이 관수 후 5일이 경과하였을 때 바이오차 함량이 많을수록 덜 시드는 것을 볼 수 있어 고온기 육묘 물관리에 보다 효과적일 것으로 생각된다.

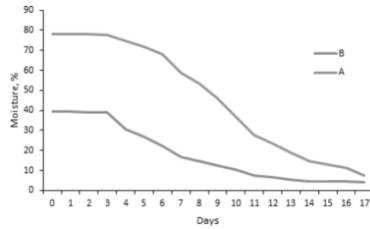


그림 10. 바이오차의 수분보유력 비교



일반상토

바이오차 20%

바이오차 40%

바이오차 50%

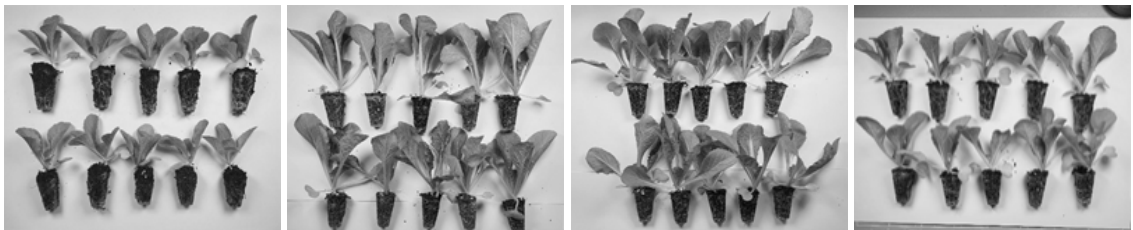
그림 11. 관수 5일 경과 후 배추 육묘상

배추 육묘 시 바이오차가 생육에 미치는 영향을 알아보기 위해 바이오차를 혼합처리하여 제조한 상토에 육묘한 결과 20~30% 혼합하여 배추를 육묘 하였을 때 일반상토와 비교하여 생체중과 엽수가 20% 증가하였고(표 13), 일반상토에 단순히 바이오차를 혼합한 상토에서는 비분이 떨어져 다소 생육이 저조하였다(그림 12).

표 13. 바이오차 혼합비율에 따른 배추육묘

구 분	엽 수	생체중(g)	구 분	엽 수	생체중(g)
일반상토	6.9	3.8	바이오차@ 10%	6.7	2.9
바이오차 20%*	7.5	4.7	바이오차@ 20%	6.5	2.4
바이오차 30%*	8.0	4.6	바이오차@ 30%	6.6	2.4

\* 바이오차 혼합 후 상토 제조 @ 일반육묘상토에 바이오차 혼합



일반상토

바이오차 20%상토

바이오차 30%상토

상토+바이오차 10%

그림 12. 바이오차 혼합 상토에서의 배추 모종

강릉시 왕산면에 서 수행한 고랭지 배추 실증시험에서는 시험 1에서의 결과와 마찬가지로 첫 해에 바이오차 처리에 따른 배추 수량에는 유의적인 차이가 없었으며, 2020년 생육기 장기간에 걸친 강우로

인해 양분의 유실량이 많았으나 바이오차 처리 시 무처리구에 비해 토양 내 양분 잔존량이 많은 것으로 나타나 보비력 개선효과가 있는 것으로 나타났다(표 14).

표 14. 배추 재배 전·후 토양화학성

구 분	pH	EC	OM	Ca	K	Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	(1:5)	(dS/m)	(g/kg)		(mg/kg)		
재배전	6.6	0.6	36.7	4.2	1.68	1.33	257
재배후	처리	6.3	0.4	41.4	4.7	1.42	357
	무처리	5.8	0.3	41.6	3.3	0.86	209

시설토마토 재배 시 바이오차 투입에 따른 수량에는 유의적인 차이가 없었고(그림 13), 재배 전·후 토양화학성의 변화에도 큰 차이를 보이지는 않았으나 질소와 칼륨의 잔류량이 높은 경향이 있었다(표 15).

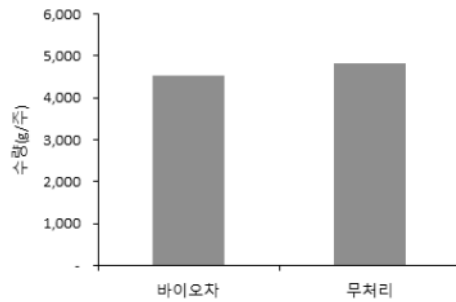


그림 13. 바이오차 처리 시 토마토 수량

표 15. 토마토 재배 전·후 토양화학성 변화

구 분		pH	EC	OM	Ca	K	Mg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
		(1:5)	(dS/m)	(g/kg)		(mg/kg)		
바이오차	전	6.4	0.4	28.2	8.0	0.67	2.16	557
	후	6.4	1.3	28.1	8.8	1.52	2.05	590
무처리	전	6.8	0.7	14.0	4.9	0.87	1.36	447
	후	5.9	1.3	17.3	6.0	0.67	1.32	516

## 〈제2세부과제: 발작물 연작지 토양개선 연구〉

### (시험 1) 농가실태조사

춘천시 서면 감자·배추 연작지에서 재배하고 있는 감자 품종은 수미, 설봉, 두백이었고 배추 품종은 추광 이었다. 감자 정식은 3월 20일~4월 1일, 수확은 6월 말~7월 10일 경 이었으며 배추 정식은 8월 15일 경 배추 수확은 11월 10일 전후 이었다. 감자 파종 전 및 수확 후, 배추(무) 생육중 토양화학성분 변화는 표 16에 나타낸 바와 같다.

표 16. 감자 파종 전 및 수확 후, 배추(무) 생육중 토양화학성분 변화

농가번호	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)				석회요구도 (kg/10a)	
					K	Ca	Mg	Na		
1	감자1	5.3	2.00	16	1,771	1.23	4.3	1.1	0.10	398
	감자2	5.2	1.11	18	1,991	0.93	4.3	1.0	0.07	398
	배추	5.7	0.67	18	1,676	0.94	4.6	1.0	0.05	265
2	감자1	5.8	1.50	16	1,361	0.93	4.3	0.9	0.10	265
	감자2	4.7	0.45	16	1,467	0.48	1.1	0.3	0.07	398
	배추	6.1	0.26	16	1,561	1.04	4.2	0.7	0.06	133
3	감자1	5.7	1.55	19	669	1.28	4.0	1.0	0.21	265
	감자2	5.2	0.88	14	673	0.56	2.1	0.5	0.08	398
	배추	5.2	1.74	20	694	0.94	5.1	1.0	0.13	398
4	감자1	6.1	2.53	22	1,177	1.26	5.4	1.4	0.14	135
	감자2	5.8	0.64	20	1,339	0.49	3.0	0.7	0.06	133
	배추	5.8	0.53	19	1,178	0.89	4.7	1.0	0.08	265
5	감자1	5.7	2.36	26	551	1.96	4.9	1.4	0.20	265
	감자2	5.2	3.78	27	723	0.94	4.3	1.2	0.24	398
	배추	6.0	0.98	20	660	1.14	5.9	1.1	0.16	133
6	감자1	5.9	2.48	23	1,662	1.79	6.2	1.8	0.19	133
	감자2	5.7	1.70	20	1,804	0.87	3.6	1.1	0.06	133
	배추	6.3	0.36	19	1,582	1.41	6.0	1.4	0.06	133
7	감자1	5.1	2.16	17	1,560	1.15	4.0	0.9	0.11	398
	감자2	5.0	0.66	16	1,581	0.54	2.2	0.5	0.07	398
	배추	5.0	1.08	16	1,483	0.78	3.8	0.8	0.05	398
8	감자1	6.0	2.41	21	1,620	1.50	5.8	1.8	0.19	265
	감자2	5.7	0.47	19	1,654	0.63	2.3	0.7	0.04	265
	배추	6.0	0.32	20	1,512	1.02	3.3	0.8	0.05	398
9	감자1	5.0	1.52	20	1,596	0.98	1.8	0.6	0.16	398
	감자2	4.4	0.42	19	2,059	0.46	0.7	0.2	0.04	398
	배추	4.8	0.25	16	1,733	0.58	1.3	0.5	0.04	398
10	감자1	6.1	2.24	23	1,549	1.44	7.9	1.6	0.11	133
	감자2	6.4	0.49	24	1,862	0.81	5.0	1.0	0.05	133
	배추	6.6	0.33	25	1,300	1.15	7.6	1.2	0.05	0
11	감자1	5.2	1.51	19	1,776	0.85	2.8	0.6	0.11	398
	감자2	5.0	0.26	16	2,144	0.42	1.3	0.2	0.03	398
	무	4.7	1.39	21	1,694	0.84	2.6	0.5	0.05	398
12	감자1	5.2	2.14	25	1,513	1.05	3.2	0.7	0.12	398
	감자2	4.9	0.54	23	1,845	0.49	1.6	0.4	0.07	398
	배추	4.7	1.45	24	1,551	0.66	2.3	0.4	0.05	398
13	감자1	6.4	2.19	19	1,125	1.11	6.2	1.4	0.15	133
	감자2	6.3	1.14	14	1,213	0.44	3.3	0.7	0.07	133
	배추	7.2	0.66	21	819	0.85	6.0	1.2	0.08	0

농가번호	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)				석회요구도 (kg/10a)	
					K	Ca	Mg	Na		
14	감자1	5.7	1.80	15	1,088	1.08	3.1	0.8	0.11	265
	감자2	4.8	2.37	15	1,406	0.63	2.8	0.7	0.13	398
	배추	5.9	0.29	16	1,034	0.82	3.6	1.0	0.05	265
15	감자1	5.6	2.22	15	1,359	1.23	4.1	0.9	0.09	265
	감자2	5.4	2.17	14	1,601	0.69	3.0	0.6	0.06	265
	배추	5.7	0.34	15	1,409	0.81	3.2	0.5	0.04	265
16	감자1	5.0	1.88	19	1,136	0.97	3.2	0.6	0.09	398
	감자2	5.0	0.77	19	1,288	0.56	1.8	0.3	0.06	398
	배추	5.1	0.53	17	1,215	0.62	2.3	0.3	0.04	398
17	감자1	5.5	1.84	20	1,325	1.12	4.3	0.8	0.09	265
	감자2	5.1	0.80	18	1,570	0.79	2.4	0.5	0.06	398
	배추	4.9	1.82	17	1,260	0.79	3.4	0.7	0.05	398
18	감자1	5.7	2.12	25	1,441	1.30	3.4	0.9	0.18	265
	감자2	5.1	0.79	24	1,777	0.78	1.9	0.5	0.06	398
	배추	6.0	0.22	22	1,322	0.96	4.0	1.0	0.12	133
19	감자1	5.4	1.84	23	1,249	0.98	2.8	0.7	0.06	265
	감자2	4.7	0.37	23	1,446	0.42	1.3	0.3	0.03	398
	배추	5.1	0.81	23	1,229	1.09	3.3	0.9	0.07	398
20	감자1	5.1	1.40	21	1,671	0.97	3.0	0.6	0.09	398
	감자2	5.1	0.25	12	2,236	0.49	1.4	0.4	0.07	398
	배추	5.0	0.57	16	1,643	0.65	2.7	0.4	0.04	398
21	감자1	5.1	1.34	14	1,592	0.84	3.2	0.7	0.07	398
	감자2	5.0	0.18	13	2,103	0.60	1.6	0.4	0.06	398
	배추	4.5	0.83	12	1,705	0.65	1.9	0.3	0.04	398
22	감자1	6.2	0.54	10	655	0.38	3.6	0.8	0.09	133
	감자2	6.1	0.52	12	595	0.29	2.5	0.7	0.06	133
	무우	6.3	0.13	6	333	0.22	2.9	0.5	0.05	133
23	감자1	6.1	1.80	24	1,260	1.58	5.3	1.8	0.13	133
	감자2	6.4	0.59	25	1,448	0.91	3.3	1.2	0.07	133
	무우	6.1	0.50	24	1,346	1.15	4.6	1.7	0.08	133
24	감자1	5.8	1.45	21	1,291	1.43	4.6	1.2	0.16	265
	감자2	5.9	0.34	24	1,501	0.75	2.4	0.6	0.08	265
	배추	5.8	0.48	17	1,243	1.01	3.7	1.0	0.11	133
25	감자1	5.5	2.16	16	1,240	1.62	3.2	1.0	0.11	265
	감자2	5.1	0.66	16	1,436	0.87	1.6	0.5	0.05	398
	배추	5.0	2.42	17	1,310	1.27	3.1	1.8	0.12	398
평균	감자1	5.6	1.88	20	1,329	1.20	4.2	1.0	0.13	170
	감자2	5.3	0.89	18	1,550	0.63	2.4	0.6	0.07	318
	배추	5.6	0.76	18	1,300	0.89	3.8	0.9	0.07	271
적정 범위	감자	5.5~6.2	2.0이하	20~30	250~350	0.50~0.60	4.5~5.5	1.5~2.0		
	배추	6.0~6.5	2.0이하	25~35	350~450	0.65~0.80	5.0~6.0	1.5~2.0		
	무	6.0~6.5	2.0이하	20~30	350~450	0.60~0.70	5.0~6.0	1.5~2.0		

Yoon et al. (2020)이 강원도 밭토양의 토양화학성 변동을 주기적으로 파악하기 위하여 2017년 조사한 강원도 밭토양의 평균화학성은 pH 6.4, 유기물 32 g/kg, 유효인산 742 mg/kg이었고, 치환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 1.2, 7.6, 2.0 cmol/kg로, pH, EC, 유기물 평균은 적정범위에 있었으나 유효인산과 치환성 K, 치환성 Ca은 적정범위를 초과 하였고 적정범위 미달은 없었다. 그러나 이번에 조사한 지역은 유기물 함량이 낮을 뿐만 아니라 치환성 Ca과 Mg은 부족하고 유효인산은 함량은 상당히 높아 적정토양 양분 유지를 위한 조치가 더욱 필요할 것으로 생각된다. 그림 17, 18, 19는 적정 함량에 대한 과부족 농가의 비율을 나타냈다. Yoon et al.. (2020)의 조사에 의하면 강원도 밭토양의 적정범위 비율은 pH 36%, 유기물 27%, 유효인산 18%, 치환성칼륨 23%, 칼슘 18%, 마그네슘 22%이고 과다한 농가의 비율은 pH 32%, 유기물 49%, 유효인산 62%, 치환성 칼륨 62%, 칼슘 57%, 마그네슘 41%이었으나, 이번에 조사한 지역은 유효인산과 치환성 K은 거의 모든 농가에서 적정 범위 보다 높았으며, 치환성 Ca과 치환성 Mg은 부족한 농가의 비율이 높았다.

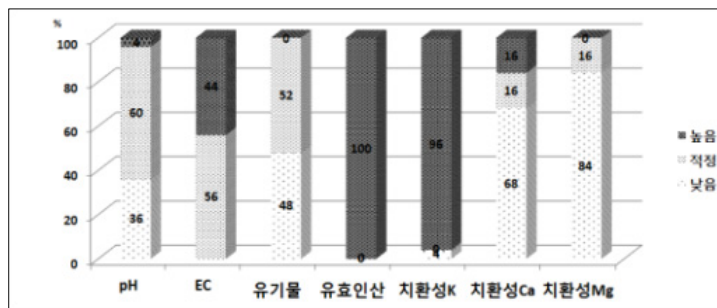


그림 14. 감자 재배 농가의 화학성분 적정 함량에 대한 과부족 비율(파종 전)

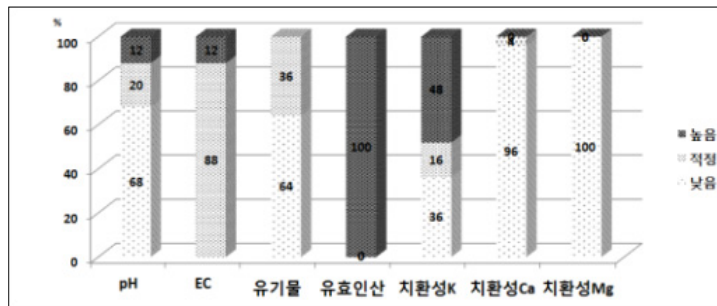


그림 15. 감자 재배 농가의 화학성분 적정 함량에 대한 과부족 비율(수확 후)

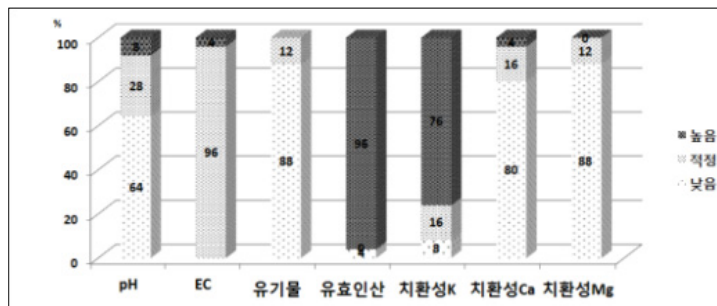


그림 16. 배추(무) 재배 농가의 화학성분 적정 함량에 대한 과부족 비율

표 17. 감자 수확 후 배추 정식 전 간작 유무에 따른 토양성분 변화(2018)

분석항목	휴경한 농가(20)			옥수수 재배 한 농가(5)			적정범위	
	감자 수확후	배추 생육중	변화량	감자 수확후	배추 생육중	변화량		
산도(pH)	5.3	5.6	0.3	5.3	5.7	0.4	6.0~6.5	
EC(dS/m)	0.97	0.77	-0.20	0.59	0.70	0.11	≤ 2	
유기물(g/kg)	18	17	-1	21	22	1	25~35	
유효인산(mg/kg)	1,517	1,293	-224	1,685	1,326	-359	350~450	
치환성양이온 (cmol <sub>c</sub> /kg)	K	0.66	0.90	0.24	0.52	0.87	0.35	0.65~0.80
	Ca	2.4	3.8	1.4	2.4	4.1	1.7	5.0~6.0
	Mg	0.6	0.9	0.3	0.5	0.8	0.3	1.5~2.0

표 18. 감자 수확 후 옥수수 재배 유무에 따른 토양성분 변화(2020)

간작유무	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)			
					K	Ca	Mg	
옥수수 재배한 곳	5.4	0.26	12.4	1,313	0.95	2.78	0.57	
휴경한 곳	5.1	0.38	11.1	1,360	0.61	2.45	0.56	
적정범위	감자 배추	5.5~6.2 6.0~6.5	2.0이하	20~30 25~35	250~350 350~450	0.50~0.60 0.65~0.80	4.5~5.5 5.0~6.0	1.5~2.0

표 17은 감자 수확 후 배추 정식 전 간작 유무에 따른 토양성분 변화를 나타내었다. 조사 25지점 중 5지점에서 감자 수확 후 배추 정식 전 옥수수 재배를 하였다(9, 10, 12, 13, 19번 포장). 표 18은 감자 수확후 옥수수 재배 유무에 따른 토양성분 변화를 나타내었다. 휴경한 곳보다 옥수수를 재배하면 토양 개선의 효과가 있음을 알 수 있다. (김 등 2006)의 염류집적시설재배 온실 토양에서 옥수수가 제염 효과를 시험한 결과에 의하면 옥수수 잎의 염류흡수 차이는 K<sup>+</sup> 함량이 다른 염류함량보다 훨씬 높게 나타났고, 옥수수의 재배에 따른 토양의 제염효과는 이식후 37일째 재식거리 30×30cm에서 K<sup>+</sup>는 28%, Ca<sup>2+</sup>는 36.6%, Mg<sup>2+</sup>는 30.6%로 감소하였는데, 이식후 23일째 보다 37일째에 제염효과가 현저히 크다고 하였다. 수미 품종의 경우는 수확후 배추 정식전 까지 50일 정도 기간이 있으나 설봉 품종의 경우는 30일 정도 남아 있으므로 수미품종이 옥수수 간작에 의한 제염효과의 기대치가 높다고 생각된다.

### (시험 2) 감자·배추 연작지 비료사용 절감 실증

표 19, 20은 관행재배와 검정시비 시 시험전후 토양 화학성분 함량 변화를 조사한 것이다. 검정시비 한 것이 농가 관행 재배에 비하여 토양 화학성분이 개선되는 경향을 보였다. EC는 모든 처리구에서 감자 수확직후는 높았으나 30일 후 조사시에는 적정 범위로 회복되어 있었다. EC가 일시적으로 높아졌던 이유는 감자 재배중에는 비닐 멀칭을 하였다가 수확후 멀칭을 제거하였기 때문으로 생각된다.

표 19. 시험전후 토양의 화학성분 함량 변화(2019)

구분		산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)		
						K	Ca	Mg
시험전		5.8	0.80	13	1,378	0.95	3.2	0.7
감자 수확 후	검정시비	4.9	4.34	15	1,396	1.23	4.8	0.8
	관행재배	4.9	4.86	14	1,490	1.49	4.7	1.0
배추 수확 후	검정시비	6.0	0.63	14	1,236	0.77	3.4	0.7
	관행재배	5.6	0.50	14	1,324	0.80	2.7	0.6
적정범위	감자	5.5~6.2	2.0이하	20~30	250~350	0.50~0.60	4.5~5.5	1.5~2.0
	배추	6.0~6.5		25~35	350~450	0.65~0.80	5.0~6.0	

표 20. 시험전후 토양의 화학성분 함량 변화(2020)

구분		산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)		
						K	Ca	Mg
시험전(2019)		5.8	0.80	13	1,378	0.95	3.2	0.7
감자 수확 후	검정시비	5.9	2.66	17	1,392	1.44	3.7	0.9
	관행재배	5.8	2.28	17	1,402	1.20	3.3	0.6
배추 수확 후	검정시비	5.9	0.34	14	1,360	0.74	3.7	0.8
	관행재배	5.8	0.30	14	1,372	0.62	3.6	0.8
적정범위	감자	5.5~6.2	2.0이하	20~30	250~350	0.50~0.60	4.5~5.5	1.5~2.0
	배추	6.0~6.5		25~35	350~450	0.65~0.80	5.0~6.0	

표 21은 시험전후 토양 물리성 변화를 나타낸 것으로 검정시비와 농가 관행재배 사이 토양 물리성 변화는 적었다.

표 22와 23은 감자와 배추의 시비방법에 따른 생육특성 및 수량을 나타낸 결과다. 감자 수미 품종은 시비 방법에 따른 수량 변화가 없었고, 설봉 품종도 검정시비 시 수량이 줄어드는 경향은 보였으나 유의성은 없었다. 배추는 검정시비 시 수량이 1차년도에는 유의성 있게 줄어들었으나 2차년도에는 유의성 없었으므로 검정시비로 수량 감소 없이 토양화학성이 될 가능성이 시사된다.

표 21. 시험전후 토양의 물리성 변화

구분		종량수분함량 (%)	용적밀도 (Mg/m <sup>3</sup> )	공극률 (%)	삼상(%)			
					고상	액상	기상	
2019.7. 감자 수확후	검정시비	표토	8.13	1.26	52.6	47.4	10.1	42.5
		심토	8.78	1.42	46.5	53.5	12.4	34.1
	관행	표토	9.48	1.23	53.5	46.5	11.5	42.0
		심토	10.67	1.36	48.7	51.3	14.7	34.0

구 분		중량수분함량 (%)	용적밀도 (Mg/m <sup>3</sup> )	공극률 (%)	삼 상(%)			
					고상	액상	기상	
2020.11. 배추 수확후	검정시비	표토	8.98	1.31	50.4	49.6	11.8	38.7
		심토	9.40	1.32	50.2	49.8	12.4	35.6
	관행	표토	9.42	1.32	50.0	50.0	12.4	37.6
		심토	11.5	1.32	50.2	49.8	15.1	35.1
적정범위	표토		1.30					
	심토		*					

\* 사양토 <1.55 , 양토 <1.50, 식양토 < 1.40

표 22. 시비 방법에 따른 감자의 생육특성 및 수량

재배년도 (품종)	시비방법	초장 (cm)	경장 (cm)	경수 (개)	수량 (kg/10a)
2019 (수미)	검정	46.3	31.1	2.2	3,572a
	관행	45.8	31.8	2.6	3,535a
2020 (설봉)	검정	-	-	-	2,234a
	관행	-	-	-	2,749a

표 23. 시비 방법에 따른 배추의 생육특성 및 수량

재배년도	시비방법	주중A (g)	구중B (g)	구고 (cm)	구폭 (cm)	B/A	수량 kg/10a
2019	검정	3,050a	1,876a	35	16	0.615	5,212a
	관행	3,710b	2,345b	34	17	0.632	6,514b
2020	검정	2,437a	1,597a	30	17	0.655	5,703a
	관행	2,863a	1,750a	29	17	0.611	6,249a

### (시험 3) 바이오차 처리에 따른 토양개선 시험

표 24와 25는 바이오차 처리 전후 토양 화학성분 함량 변화를 조사한 결과이다. 1차년도에는 바이오차 처리에 따른 뚜렷한 토양 화학성분 함량 변화는 보이지 않았으나, 2차년도에는 바이오차 처리에 따라 EC, 치환성 K은 변화를 보였다. 배추 수확 후 바이오차 처리 하지 않은 곳에서도 시험 전 보다 치환성 K이 개선된 이유는 검정시비 하였기 때문으로 생각된다.

표 24. 바이오차 처리 전후 토양 화학성분 함량 변화(2019년)

	처리량 (kg/10a)	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)		
						K	Ca	Mg
시험전		5.8	0.80	13.1	1,378	0.95	3.2	0.65
감자 수확 후	0	4.9	4.34	15.1	1,396	1.23	4.8	0.82
	100	5.1	4.58	15.8	1,441	1.37	5.5	0.87
	200	5.2	4.90	15.1	1,410	1.43	5.9	0.97
	400	5.1	4.58	14.4	1,407	1.29	5.4	0.88
배추 수확 후	0	6.0	0.63	14.1	1,236	0.77	3.4	0.70
	100	5.9	0.61	13.4	1,226	0.77	3.6	0.69
	200	6.0	0.59	14.2	1,241	0.68	3.6	0.65
	400	5.8	0.77	14.1	1,309	0.62	3.5	0.55
적정범위	감자 배추	5.5~6.2 6.0~6.5	2.0이하	20~30 25~35	250~350 350~450	0.50~0.60 0.65~0.80	4.5~5.5 5.0~6.0	1.5~2.0

표 25. 바이오차 처리 전후 토양 화학성분 함량 변화(2020년)

	처리량 (kg/10a)	산도 (pH)	EC (dS/m)	유기물 (g/kg)	유효인산 (mg/kg)	치환성양이온(cmol <sub>c</sub> /kg)		
						K	Ca	Mg
시험전(2019)		5.8	0.80	13	1,378	0.95	3.2	0.65
감자 수확 후	0	5.9	2.66	17	1,392	1.44	3.7	0.95
	100	5.6	2.62	15	1,431	1.30	3.7	0.95
	200	5.9	1.92	16	1,430	1.22	3.5	0.82
	400	5.9	1.92	17	1,428	1.25	3.3	0.81
배추 수확 후	0	5.9	0.34	14	1,360	0.74	3.7	0.75
	100	5.6	0.51	14	1,416	0.57	3.4	0.74
	200	5.6	0.53	15	1,323	0.66	3.7	0.70
	400	5.7	0.43	13	1,320	0.62	3.6	0.79

표 26과 27은 바이오차 처리에 따른 토양 물리성 변화를 조사한 결과이다. 1차년도에는 바이오차 처리에 따른 뚜렷한 토양 물리성 변화는 보이지 않았다. 2차년도에도 바이오차 처리에 따라 작토심과 토양 경도에 변화는 있었지만 현저한 물리성 변화는 없었다. 강 등(2017)은 옥수수 생육증진과 토양물리성 개선을 위한 바이오차 시용효과 시험에서 바이오차 처리 시 용적밀도가 낮아져 토양 물리성 개선 효과가 있다고 하였고, 김 등(2016)도 브로콜리 재배 토양의 용적밀도는 바이오차의 시용량이 많아질수록

높아지는 경향이 있다고 하였으나, 이번 연구에서는 바이오차 처리에 따른 용적밀도의 변화가 없었는데 그 이유는 본 시험포장이 사양토로 토양 물리성은 적정 수준에 있었기 때문으로 생각된다.

표 26. 바이오차 처리에 따른 토양 물리성(감자 수확 후 2019. 7.)

처리량 (kg/10a)	구분	중량수분함량 (%)	용적밀도 (Mg/m <sup>3</sup> )	공극률 (%)	삼 상(%)			
					고상	액상	기상	
검정시비	0	표토	8.13	1.26	52.6	47.4	10.1	42.5
		심토	8.78	1.42	46.5	53.5	12.4	34.1
	100	표토	8.00	1.23	53.6	46.4	9.8	43.7
		심토	8.69	1.43	45.9	54.1	12.5	33.4
	200	표토	8.13	1.22	54.1	45.9	9.9	44.3
		심토	9.28	1.43	46.1	53.9	13.2	32.9
400	표토	8.26	1.29	51.4	48.6	10.6	40.8	
	심토	9.35	1.47	44.5	55.5	13.7	30.8	
적정범위	표토		1.30					
	심토		*					**

\* 사양토 <1.55 , 양토 <1.50, 식양토 <1.40,

\*\* 기상률 15%이상에서 뿌리의 원활한 호흡, 10% 미만에서 산소 부족

표 27. 바이오차 처리에 따른 토양 물리성(배추 수확 후 2020.11.)

처리량 (kg/10a)	구분	작토심	중량수분함량 (%)	용적밀도 (Mg/m <sup>3</sup> )	공극률 (%)	삼 상(%)			산중식 경도 (mm)
						고상	액상	기상	
0	표토	30	8.98	1.31	50.4	49.5	11.8	38.7	8.4
	심토		9.40	1.32	50.2	49.9	12.2	37.9	12
100	표토	30	8.76	1.34	49.6	50.4	11.8	37.8	8.4
	심토		9.63	1.39	47.5	52.6	13.5	35.9	12
200	표토	31	8.08	1.37	48.2	51.8	11.1	37.1	7.4
	심토		8.31	1.39	47.4	52.4	11.6	34.0	12
400	표토	31	9.25	1.32	50.1	49.9	12.2	37.9	6.4
	심토		9.90	1.35	49.0	51.0	13.4	37.6	12
적정범위	표토			1.30					
	심토			*				**	<20

\* 사양토 <1.55 , 양토 <1.50, 식양토 <1.40,

\*\* 기상률 15%이상에서 뿌리의 원활한 호흡, 10% 미만에서 산소 부족

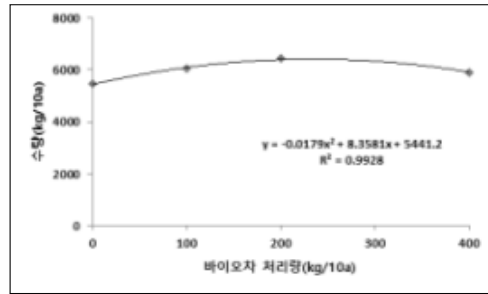
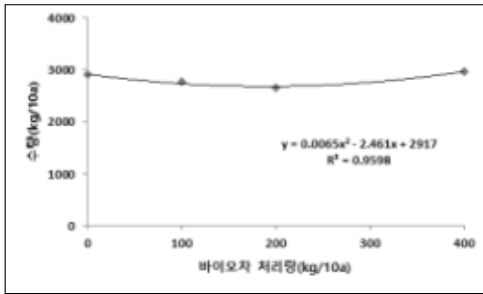
표 28. 바이오차 처리에 따른 감자의 생육 특성 및 수량(검정시비)

	처리량 (kg/10a)	초장 (cm)	경장 (cm)	경수 (개)	수량 (kg/10a)
2019 (수미)	0	46.3	31.1	2.2	3,572 a
	100	47.8	32.5	2.3	3,409 a
	200	46.6	32.6	2.2	3,267 a
	400	46.1	30.9	2.3	3,532 a
2020 (설봉)	0	-	-	-	2,234 a
	100	-	-	-	2,167 a
	200	-	-	-	2,044 a
	400	-	-	-	2,415 a

표 29. 바이오차 처리에 따른 배추의 생육 특성 및 수량(검정시비)

	바이오차 처리 (kg/10a)	주중A (g)	구중B (g)	구고 (cm)	구폭 (cm)	B/A	수량 (kg/10a)
2019	0	3,050 c	1,876 b	35	16	0.615	5,212 b
	100	3,177 bc	2,109 ab	35	16	0.664	5,659 ab
	200	3,609 ab	2,417 a	36	17	0.670	6,714 a
	400	2,966 c	2,008 b	35	17	0.678	5,578 b
2020	0	2,437a	1,597a	30	17	0.655	5,703 b
	100	2,917a	1,917a	31	18	0.657	6,446 a
	200	2,291a	1,588a	28	17	0.693	6,146 a
	400	2,856a	1,911a	30	18	0.669	6,249 a

표 28, 29는 바이오차 처리에 따른 감자와 배추의 수량을 나타내었다. 감자 1년차 수미 품종은 바이오차 처리에 따른 수량 변화가 없었다. 2년차 설봉 품종은 바이오차 400kg/10a에서 증가하는 경향을 보였으나 유의성은 없었다. 배추는 2년차에는 100kg/10a 처리에서 수량이 많았고, 200 및 400kg/10a에 유의성이 없었다. 이 등(2014)의 유기농 감자 및 배추 재배를 위한 바이오차시용 효과에 관한 연구에 의하면 김장배추에서는 바이오차 처리시 생육과 수량에 차이가 없었고 감자재배에서는 생육과 수량에 뚜렷한 차이를 나타내었다는 결과와는 조금 다른 결과를 얻었다. 그러나 송 등(2017)이 커피 슬러지 바이오차 처리가 배추 생육을 증진 시켰다는 연구와 허 등(2018)의 바이오차 연속시용이 배추의 수량과 품질을 향상시킬 수 있다는 연구와는 같은 결과를 얻었다. 이 등(2014)의 연구에서 김장 배추에서 바이오차 처리시 생육과 수량의 차이가 없었던 이유는 바이오차 처리 효과가 즉시 나타나지 않았기 때문으로 생각되는데, 본 시험은 봄에 감자 정식전에 1차로 바이오차를 처리하고, 배추 정식전에도 바이오차를 처리하였기 때문으로 생각 된다. 배추는 1년차에는 바이오차 200kg/10a 처리에서 수량이 많았다. 감자는 바이오차 처리 189.3kg/10a 일 때 2,577kg/10a으로 최대 수량을 나타내었고, 배추는 바이오차 처리 233.5kg/10a 일때 6,417 kg/10a으로 최대 수량을 나타내었다(그림 17).



감 자

배 추

그림 17. 바이오차 처리에 따른 작물 수량

## 4 적 요

### 〈제1세부과제: 작물이용효율 증대기술 개발〉

#### (시험 1) 바이오차(Biochaer) 처리에 따른 양분이용효율 시험

- 가. 바이오차 연속 시용 배추재배 시 1작기에는 처리구별 수량의 차이를 나타내지 않았으나 2 작기 부터 처리 간 수량의 차이가 나타났음
- 나. 처리 수준별 식물체 내 성분 함량비율은 큰 차이가 없었으나 전체 식물체가 이용한 양분은 처리 량과 양의 상관관계를 나타내었음
- 다. 배추재배 시 바이오차 처리수준별 토양화학성의 변화는 큰 차이는 없었으나 바이오차 처리 시 토양 내 양분 잔존량이 높게 나타나 양분의 용탈·휘산이 적은 것을 알 수 있음
- 라. 바이오차 처리수준이 높을수록 뿌리혹병의 확산이 느리게 진행되었음
- 마. 퇴비 단용 또는 퇴비와 바이오차를 따로 처리한 것보다 퇴비와 바이오차를 잘 혼합한 후 처리 하는 것이 생육이 좋았음

#### (시험 2) 작물 양분이용효율 증대효과

- 가. 유묘기에 유기산을 처리하여 생체중을 조사한 결과 무처리에 비해 acetic acid와 citric acid를 처리하였을 때 무거웠으며, 식물체내에 이용된 N, P, K의 양은 ascorbic acid, acetic acid와 citric acid가 많았음
- 나. 과산화수소의 생성량 비교 결과와 MDA 함량 비교결과는 서로 비례하지 않았음

#### (시험 3) 바이오차(Biochar) 실증

- 가. 바이오차의 수분보유력은 고온에서 생산된 발전부산 바이오차가 저온에서 생산한 일반 바이오 차에 비해 수분보유량이 많았으며 수분보유 기간도 길어 수분관리에 용이함
- 나. 바이오차를 20~30% 혼합하여 배추를 육묘 하였을 때 생체중과 엽수가 20% 증가하였음
- 다. 바이오차 처리에 따른 배추 수량에는 유의적인 차이가 없었으나, 생육기 장기간에 걸친 강우로 인해 양분의 유실량이 많았으나 바이오차 처리 시 무처리구에 비해 양분 잔존량이 많은 것으로 나타나 보비력 개선효과가 있는 것으로 나타났음

라. 시설토마토 재배 시 바이오차 투입에 따른 수량에는 유의적인 차이가 없었으나 재배 전·후 토양화학성의 변화에도 큰 차이를 보이지는 않았으나 질소와 칼륨의 잔류량이 높은 경향이었음

## 〈제2세부과제: 밭작물 연작지 토양개선 연구〉

### (시험 1) 농가실태조사

가. 춘천시 서면 감자·배추 연작 농가의 실태를 조사한 것으로서 이 지역은 유기물 함량이 낮을 뿐만 아니라 치환성 Ca과 Mg는 부족하고 유효인산은 함량은 상당히 높아 적정 토양 양분 유지를 위한 조치가 필요함.

### (시험 2) 감자·배추 연작지 비료사용 절감 실증

가. 감자 수미 품종은 시비 방법에 따른 수량 변화가 없었고, 설봉 품종도 검정시비 시 수량이 줄어드는 경향은 보였으나 유의성은 없었음.

나. 배추는 검정시비 시 수량이 1차년도에는 유의성 있게 줄어들었으나 2차년도에는 유의성 없었으므로 검정시비로 수량 감소 없이 토양화학성이 될 가능성이 시사됨

### (시험 3) 바이오차 처리에 따른 토양개선 시험

가. 1차년도에는 바이오차 처리에 따른 뚜렷한 토양 화학성분 함량 변화는 보이지 않았으나, 2차년도에는 바이오차 처리에 따라 EC, 치환성 K은 변화를 보였음.

나. 감자 1년차 수미 품종은 바이오차 처리에 따른 수량 변화가 없었고, 2년차 설봉 품종은 바이오차 400kg/10a에 증가하는 경향이었으나 유의성은 없었고, 189.3kg/10a 일때 2,577kg/10a으로 최대 수량을 나타내었음.

다. 배추재배 시 1년차에는 바이오차 200kg/10a 처리에서 수량이 많았고, 2년차에는 100kg/10a 처리에서 수량이 많았으나, 200kg와 400kg/10a 처리간의 유의성이 없었고 233.5kg/10a 일때 6,417kg/10a으로 최대 수량을 나타내었음.

## 5 인용문헌

- 강세원, 서동철, 조주식. 2017. 옥수수의 생육 증진과 토양 물리성 개선을 위한 바이오차 시용 효과. 한국토양비료학회지. 추계학술발표 및 국제학술심포지엄 초록집. p137.
- 김성무, 윤병성, 조동하. 2006. 염류집적 시설재배온실 토양에서의 cleaning crop인 옥수수 생리적 특성과 제염효과. 한국유기농업학회지.vol 14(2):179-189.
- 김현태, 강세원, 서동철, 조주식. 2016. 바이오차 시용이 토양의 용적밀도, 공극율 및 토양호흡량에 미치는 영향 평가. 한국토양비료학회지. 춘계학술발표회 초록집. p71.
- 농촌진흥청. 2006. 농업용수 수질분석 이론 및 실무.
- 농촌진흥청, 토양화학 분석법, 2010.
- 농촌진흥청, 농업과학기술 연구조사분석기준, 2012.
- 농촌진흥청. 2019. 작물별 비료사용처방. 4차 개정본.

송현지, 강윤구, 정혜민, 임지선, 성창준, 김수훈, 김예진, 이재한, 오택근. 2017. 커피 슬러지 바이오차 처리가 배추 생육에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 춘계학술발표회 초록집. p171.

이상범, 홍승길, 박광래, 김진호, 남홍식, 김석철. 2014. 유기농 감자 및 배추 재배를 위한 바이오차 사용 효과에 관한 연구. 한국토양비료학회지. 추계학술발표회 초록집. pp201-202.

허수정, 임수정, 서영호, 윤병성, 박영학, 홍대기. 2018. 바이오차 연속 사용이 배추재배에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 추계학술발표회 초록집. p177

환경부. 2005. 수질오염공정시험법.

APAH, AWWA, WEF. 1992. Standard method for the examination of water and waste water. 18th. APHA.

Buege, J. A. and Aust, S. D. (1978) Meth. Enzymol. 52, 302.

George F. Kramer, Helen A. Norman, Donald T. Krizek and Roman M. Mireckil, 1991. Influence of UV-B radiation on polyamines, lipid peroxidation and membrane lipids in cucumber. Phytochemistry 30:7 pp. 2101-21081

Jinmin Fu, Bingru Huang, 2001, Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress, Environmental and Experimental Botany 45 105-114

L.J. Quan, B. Zhang, W.W. Shi, H.Y. Li, Hydrogen peroxide in plants: a versatile molecule of the reactive oxygen species network, Journal of Integrative Plant Biology. 50(1):2008, pp2~18

NAAS(National Academy of Agricultural Science). 2010. Method of soil chemical analysis. Rural Development Administration. Korea.

Yoon B.S., S.C. Choi, S.J. Lim, S.J. Heo, and Y.H. Seo. 2020. Status and changes in chemical properties of upland soil in Gangwon Province between 2001 and 2017. Korean J. Soil Sci. Fert. 53(4):549-557.

## 6 연구결과 활용

연도(연차)	활용방안	제 목
2018(1년)	영농정보	과채류 재배시 퇴비차와 화학비료 혼용 양분관리
		바이오 숯의 배추 수량 증대 효과
	논문발표	바이오차를 활용한 토마토 재배
2019(2년)	기초자료	춘천시 서면 감자 배추 연작지 토양화학성분 현황
	학술발표	감자배추 연작지 토양화학성분 현황
	홍보(리플릿)	퇴비차 이렇게 활용하세요
2020(3년)	영농정보	배추 재배 시 효과적인 바이오차 처리방법
		감자·배추 연작지 토양화학성 현황 및 검정시비 추천
	논문발표	발전 부산물 바이오차의 특성 및 작물재배 효과
		감자 배추 연작지의 바이오차 처리에 따른 토양 이화학성 변화
		바이오차 처리에 다른 연작지 재배 감자 배추의 생육특성 및 수량

성과지표명		연 도		1년차(2018)		2년차(2019)		3년차(2020)		계	
		목표	실적	목표	실적	목표	실적	목표	실적		
학술 발표	국제										
	국내		1	1	1	1	3	2	4		
영농 활용	기술										
	정보	1	2			2	2	3	4		
홍보(리플릿제작)					1						1
기초자료		1	1					1	1		
계		2	4	1	2	3	5	6	10		

## 7 연구원 편성

구 분	소 속	직 급	성 명	수행업무	참여년도		
					'18	'19	'20
과제책임자	환경농업연구과	농업연구사	허수정	과제 총괄	○	○	○
1세부책임자	환경농업연구과	농업연구사	허수정	세부주관수행	○	○	○
	인삼약초연구소	농업연구관	임수정	결과분석지원	○	-	-
	작물연구과	농업연구사	서영호	결과분석지원	○	○	○
	환경농업연구과	"	윤병성	조사업무지원	○	○	○
	환경농업연구과	"	홍수영	조사업무지원	○	○	○
	-	농업연구관	박영학	결과분석지원	○	○	-
	옥수수연구소	"	홍대기	결과분석지원	○	○	-
	환경농업연구과	농업연구사	최병곤	조사분석지원	-	○	○
	환경농업연구과	농업연구관	장은하	결과분석지원	-	○	○
환경농업연구과	농업연구사	이남길	조사분석지원	-	-	○	
환경농업연구과	농업연구관	정태성	결과분석지원	-	-	○	
2세부책임자	환경농업연구과	농업연구사	윤병성	세부주관수행	○	○	○
공동연구자	인삼약초연구소	농업연구관	임수정	조사업무지원	○	-	-
	작물연구과	농업연구사	서영호	조사업무지원	○	○	-
	환경농업연구과	"	허수정	조사업무지원	○	○	○
	환경농업연구과	"	홍수영	조사업무지원	○	○	○
	옥수수연구소	농업연구관	홍대기	결과분석지원	○	○	-
	-	"	박영학	결과분석지원	○	○	-
	환경농업연구과	농업연구사	최병곤	조사업무지원	-	○	○
	환경농업연구과	농업연구관	장은하	결과분석지원	-	○	○
	환경농업연구과	농업연구사	이남길	결과분석지원	-	-	○
환경농업연구과	농업연구관	정태성	결과분석지원	-	-	○	