



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

바이오황과 염화칼슘 혼합액의
엽면시비가 고추 생육과 품질에
미치는 효과

Effect of Foliar Fertilization of Bio-Sulfur Suspension that was mixed with Calcium Chloride on Pepper Growth and Quality

濟州大學校 大學院

農學科

李江海

2019年 2月

바이오황과 염화칼슘 혼합액의
엽면시비가 고추 생육과 품질에
미치는 효과

指導教授 玄 海 男

李 江 海

이 論文을 農學 碩士學位 論文으로 提出함

2018年 12月

李江海의 農學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ①

委 員 _____ ①

委 員 _____ ①

濟州大學校 大學院

2018年 12月

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
A B S T R A C T	v
I. 서 론	1
II. 재료 및 방법	3
1. 바이오황 엽면시비 처리 고추 재배시험	3
1) 공시재료 및 재배방법	3
(1) 고추	3
(2) 바이오황	3
(3) 재배방법	4
2) 바이오황 처리방법	6
3) 조사내용	8
(1) 생육조사	8
(2) 식물체 무기성분 분석	8
(3) 통계분석	9
III. 결과 및 고찰	10
1. 바이오황 엽면시비 처리 효과	10
1) 생육 변화 특성	10
(1) 식물체 높이	10
(2) 과실 수, 건물중, 과장 및 과경	13
(3) 비상품율	14
2) 식물체 무기성분 변화 특성	15

(1) 엽 중 T-N, P, K, Ca 농도	15
(2) 줄기 중 T-N, P, K, Ca 농도	17
(3) 뿌리 중 T-N, P, K, Ca 농도	19
(4) 과실 부위별 Ca 농도	20
(5) 식물체 무기성분 흡수량	22
IV. 적 요	24
V. 인 용 문 헌	25

List of Tables

Table 1. Water-soluble chemical components of the Bio-Sulfur suspension used in this experiment.	3
Table 2. Chemical properties of the soil before experiment.	4
Table 3. Treatment of foliar fertilization of Bio-Sulfur suspension and Calcium Chloride in this experiment.	6
Table 4. Growth of pepper at 60 days after foliar fertilization.	13
Table 5. Concentration of major elements in old and new leaves of pepper after foliar fertilization.	16
Table 6. Concentration of major elements in old and new stems of pepper after foliar fertilization.	18
Table 7. Concentration of major elements of pepper roots at 60 days after foliar fertilization.	19
Table 8. Changes in content of Calcium in the upper, middle, and lower parts of pepper fruit after foliar fertilization.	21
Table 9. Uptake of major elements of pepper at 60 days after foliar fertilization.	23

List of Figures

Fig. 1. Changes in temperature and relative humidity during pepper cultivation.	5
Fig. 2. Photograph of pepper cultivation in greenhouse.	7
Fig. 3. Plant height of pepper at 30 and 60 days after foliar fertilization.	11
Fig. 4. Photograph of pepper plant at harvesting stage.	12
Fig. 5. Non-commodity rate of pepper at 60 days after foliar fertilization.	14

A B S T R A C T

This study was conducted to investigate the possibility of mixing Bio-Sulfur with calcium chloride and the appropriate concentration of applying Bio-Sulfur to pepper growth and quality. The treatments of foliar fertilization consisted of control (water), 2,000, 1,000 and 500 times diluted Bio-Sulfur without calcium chloride, only 0.2 % calcium chloride, and diluted Bio-Sulfur that was respectively mixed with 0.2 % calcium chloride.

The plant height, number and dry weight of pepper fruits were highest in the treatment of 1,000 times diluted Bio-Sulfur. Whereas these decreased with increasing concentration of Bio-Sulfur in calcium chloride-containing treatments. The non-commodity rate of all treatments was lower than that of non-treatment due to the effect of plant control of Bio-Sulfur and calcium chloride. The calcium concentration of the leaves and pepper fruits in calcium chloride-containing treatments was higher than that of other treatments. The uptake of calcium of the pepper fruits decreased with increasing concentration of Bio-Sulfur in calcium chloride-containing treatments because of decreasing plant growth.

In conclusion, the growth and uptake of major elements of pepper were lowest in the treatment of 500 times diluted Bio-Sulfur that was mixed with calcium chloride. Considering both pepper growth and quality, it is suggested that Bio-Sulfur diluted 2,000 ~ 1,000 times could be mixed with calcium chloride.

I. 서 론

황은 cysteine, methionine 등과 같은 필수 아미노산의 구성원소이고 (Lee *et al.*, 2000; Arikawa and Sasaki, 1987), 식물필수원소 중 하나로서 (윤 등, 1996), 식물체 내 0.1 ~ 1.0 % 정도 함유되어 있다 (Lee *et al.*, 2014). 황은 식품의 가공 및 저장 시 갈변 방지 (Kang *et al.*, 2003), 토양 산도 조절 (Kim *et al.*, 2012) 뿐만 아니라 오래전부터 효과적인 살균제로 알려져 왔다 (Chapman, 1989). 특히 친환경 농업에서 병 방제에 많이 이용되고 있으며 (Yoon *et al.*, 2010; Paik *et al.*, 2012; Lim *et al.*, 2015), 탄저병과 잿빛곰팡이병의 균사 생장 및 포자 발아를 억제하고 (Kwak *et al.*, 2012ab), 진균 병원체의 확산을 저지한다고 보고되었다 (Deardorff and Wadsworth, 2009). Choi *et al.* (2010)은 사과 유기재배 시 석회유황합제 살포가 주요 병의 피해를 경감시켰다고 보고하였고, Cha *et al.* (2018)은 석회유황합제를 살포한 친환경 방제구에서 관행 재배 과원에 비해 방제효과를 30 % 이상 증대시켰다고 보고하였다.

최근 개발된 유황제품인 바이오황은 수도권매립지에서 발생하는 H₂S를 미생물 공법을 통해 생산한 부산물로 (이, 2018), 황 함량이 50 %인 현탁액이다. 바이오황을 이용한 토양정화소재 개발 (Lee, 2018), 바이오 황을 이용한 유황 콘크리트 성능 평가 연구 (엄, 2016) 등 바이오황의 환경 및 산업적 활용방안에 대한 연구들이 이루어지고 있다. 농업적 활용방안으로는 바이오황은 곰팡이병에 효과가 뛰어나 살균제로 사용될 수 있으며 (Janssen *et al.*, 2009), 최근에 농업현장에서 병해충 방제와 토양살균 목적으로 이용되고 있다. 기존의 대표적인 유황 제품인 석회유황합제와 황토유황은 철 및 하우스 비닐을 부식시킬 뿐만 아니라, pH 12 내외 (Lim *et al.*, 2015)로, 다른 자재와 혼합이 어렵다. 하지만 바이오황은 2 ~ 10 μ m 입자이고 pH 8 내외로, 비료와의 혼합 등 농업적 이용 가치가 높다.

우리나라 원예 작물 중 생산액이 가장 많은 고추 (Shin *et al.*, 2006)의 생산량은 2017년 기준 약 56,000 톤이며, 병충해 피해 및 노동력 부족 등으로 감소하는 추세이다 (통계청, 2017). 특히, 최근에는 빈번한 강우로 인하여 탄저병이 조

기 발병하고 있다 (Moon *et al.*, 2012). 탄저병은 강우량, 강우 지속시간, 강우일수, 상대습도, 온도 등의 기상과 아주 밀접하여 온도와 상대습도가 높은 장마철에 많이 발생한다 (Jeffriese *et al.*, 1990; Madden, 1992; Wharton and Dieguez-Uribeondo, 2004). Shin *et al.*, (1999)은 고추 전체 생산량 중 고추 탄저병에 의한 피해가 13 %를 차지한다고 보고하며, 적극적인 방안이 요구된다고 강조하였다. 기존에는 약제를 통해 방제하는 것에 의존해 왔고 (Park *et al.*, 2003), 과수농가에서는 일반적으로 병해충 방제를 위해 농약을 연간 9 ~ 16회 정도 살포하고 있으며 (Cha *et al.*, 2018), 살포횟수는 기준치를 초과하는 경우가 많은 실정이다. 따라서 고추의 병 저항성을 향상시켜 병에 의한 피해를 절감시키는 환경 친화적인 방제대책이 요구된다.

고추 내 칼슘 함량이 적을 경우 생리장해가 발생하기 쉽기 때문에 칼슘류를 엽면 살포하여 칼슘 흡수를 증진시킬 수 있으며 (문 등, 1995), 또한 병방제 효과가 있다고 보고되었다 (Choi, 1989; 권 등, 1999). 문 등(1999)은 칼슘화합물을 사과에 처리했을 때 세포벽 내 칼슘 함량이 증가하여 저장일수가 증가했다고 보고했다. 칼슘이온은 고등식물의 생존을 위한 필수원소로서, 생체 내에서 다양한 기능을 갖는다 (Marschner, 1995). 특히, 세포벽의 견고성을 유지하는데 관여하며 (문 등, 2002), 이동성이 느린 원소이다. 칼슘이온을 함유하고 있는 염화칼슘, 질산칼슘, 아세트산칼슘 등의 칼슘화합물은 식물의 병저항성을 증진시킨다.

이에 본 연구는 고추 발병 예방 및 품질 향상을 위해 바이오황과 칼슘화합물의 혼용 가능성 및 바이오황의 적정 사용 농도를 구명하고자, 살진균 효과가 있는 바이오황과 염화칼슘을 혼합하여 엽면시비 시 고추의 생육, 생산량, 상품율 및 무기양분 흡수에 미치는 효과를 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 바이오황 엽면시비 처리 고추 재배시험

1) 공시재료 및 재배방법

(1) 고추

재배시험에 사용한 공시재료는 제주도 농업기술원 농업기술센터에서 육묘중인 ‘신와매워’ 품종이다.

(2) 바이오황

실험에 사용된 바이오황 현탁액 (Biologically produced Sulfur, 이하 Bio-S로 표기)은 수도권매립지에서 생산되는 것을 (주)에코바이오에서 제공받아 이용하였다. 바이오황은 끈적끈적한 현탁액 상태이므로, 시간이 지남에 따라 바이오황 입자가 가라앉아 굳는 것을 방지하기 위해 실험 전에는 완전히 저어준 후에 사용하였다. 바이오황 현탁액은 pH 8.05 이고, 수용성 무기양분은 SO_4 2.29 %, Na^+ 6.55 %가 함유되어 있으며 (Table 1.), Na 함량이 높은 이유는 바이오황 생성과정 중 첨가된 가성소다가 100 % 회수되지 않고 현탁액에 남아있기 때문이다.

Table 1. Water-soluble chemical components of the Bio-Sulfur suspension used in this experiment.

pH	EC dS m ⁻¹	SO ₄ (%)	NO ₃ (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	Cl (%)
8.05	42.7	2.29	1.32	0.92	1.16	0.76	6.55	1.42

(3) 재배방법

본 시험은 제주대학교 생명자원과학대학 시설하우스에서 2018년 5월부터 2018년 9월까지 수행하였다. 시험에 사용된 고추 (신와매워)는 2018년 5월 22일에 시설하우스 내 4반복 완전임의배치법으로 배치된 포트 (지름 18 cm, 높이 18 cm)에 모종을 이식하였다. 고추 재배 전 토양의 화학적 특성은 Table 2와 같이, pH 5.1, EC 0.49 dS cm⁻¹, 유기물함량 8.0 %, 총 질소함량 0.3 %, 유효인산 47.4 mg kg⁻¹, 교환성 K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺은 각각 0.50, 1.24, 0.61, 0.28 cmol_c kg⁻¹ 수준이었다. 토양 검정 시비량에 준하여 화학비료 (N-P₂O₅-K₂O) 19-11.2-14.9 kg 10a⁻¹를 전량 기비로 시비하였고, 퇴비는 사용하지 않았다.

재배기간 동안 시설하우스 내 온도와 상대습도의 변화는 Fig. 1과 같다. 일반적으로 고추의 생육적온은 18 ~ 28 °C이며, 10 °C 이하에서는 성장이 정지된다. 본 실험에서 온도는 생육적온보다 다소 높았지만, 점적관수를 통해 포트당 일정한 양의 물을 관개함으로써 고추 생육에는 큰 영향을 미치지 않았을 것으로 판단된다.

Table 2. Chemical properties of the soil before experiment.

pH (1:5)	EC (ds m ⁻¹)	OM (%)	T-N (%)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cation (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	Na
5.1	0.49	8.0	0.3	47.4	0.50	1.24	0.61	0.28

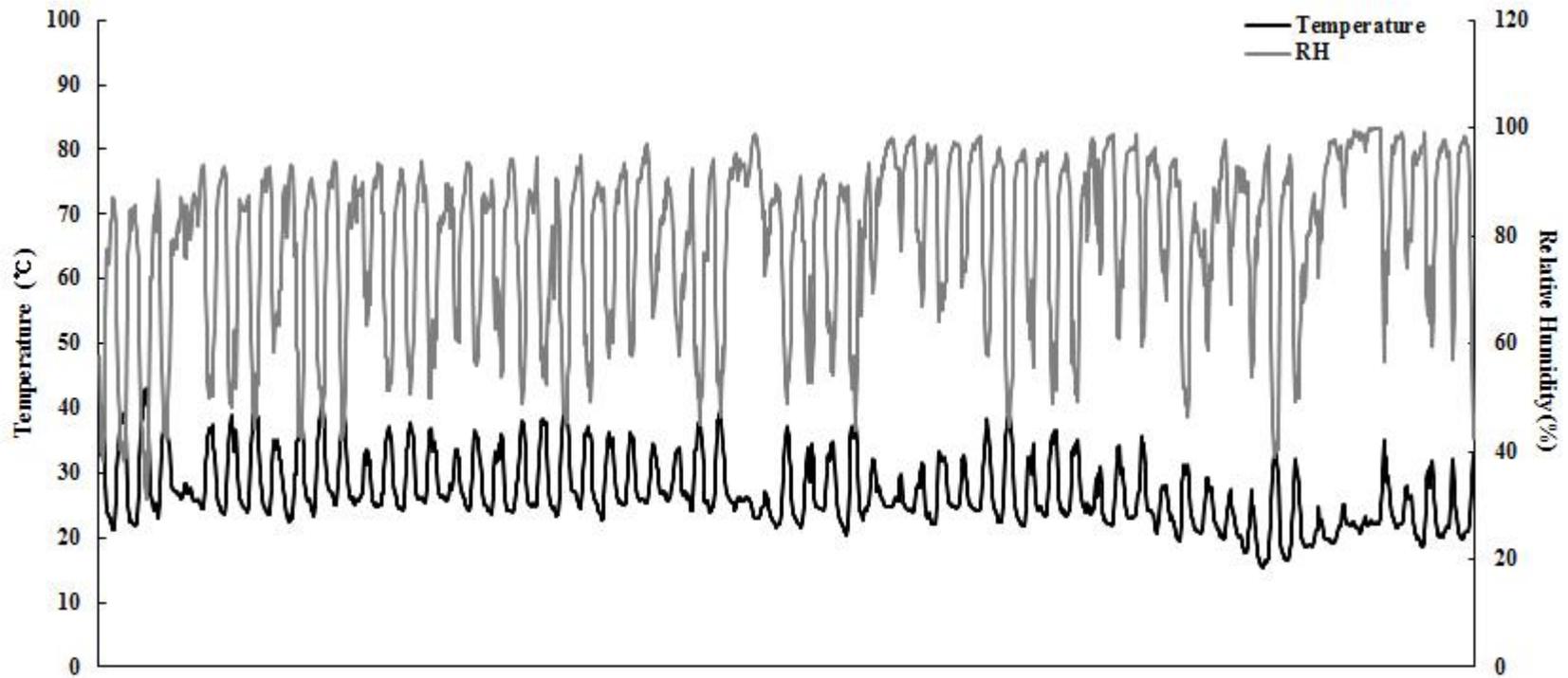


Fig. 1. Changes in temperature and relative humidity during pepper cultivation.

2) 바이오황 처리방법

재배시험에 적용한 처리구는 바이오황 현탁액을 2,000배, 1,000배, 500배로 희석한 처리구 (Bio-S x2000, x1000, x500), 염화칼슘을 0.2 %로 희석한 처리구 (CaCl₂ (0.2 %)), 희석된 바이오황 현탁액에 각각 0.2 % 염화칼슘을 혼합한 처리구 (CaCl₂ + Bio-S x2000, x1000, x500)를 두었다 (Table 3.). 고추 생육상황을 고려하여 모종 이식 50일 후인 2018년 7월 16일부터 분무기를 이용하여 7일 간격으로 9회에 걸쳐 경엽살포하였다. 대조구는 처리구와 동일한 방법으로 물을 처리하였고, 처리구 외 모든 조건은 동일하게 적용시켰다.

Table 3. Treatment of foliar fertilization of Bio-Sulfur suspension and Calcium Chloride in this experiment.

Treatments	Dilution rate (treatment : water)	
	CaCl ₂	Bio-Sulfur
Control	-	-
Bio-S x2000	-	1 : 2,000
Bio-S x1000	-	1 : 1,000
Bio-S x500	-	1 : 500
CaCl ₂ (0.2 %)	1 : 500	-
CaCl ₂ + Bio-S x2000	1 : 500	1 : 2,000
CaCl ₂ + Bio-S x1000	1 : 500	1 : 1,000
CaCl ₂ + Bio-S x500	1 : 500	1 : 500



30 days after seedling transplant



70 days after seedling transplant



70 days after seedling transplant

Fig. 2. Photograph of pepper cultivation in greenhouse.

3) 조사내용

고추는 처리 시작 후 2주 간격으로 5회에 걸쳐 7 cm 이상의 고추를 채취하였고, 처리 시작 60일 후인 2018년 8월 13일에 잎, 줄기 및 뿌리를 채취하여 식물체의 생육과 무기성분의 농도를 조사하였다.

(1) 생육조사

생육조사는 식물체 높이, 과실 수, 건물중, 과장, 과경, 비상품율을 조사하였다. 식물체 높이는 줄기의 최하부부터 최상부까지의 길이를 측정하였다. 과실의 수는 2주 간격으로 채취한 7 cm 이상의 전체 고추의 개수를 합하여 계산하였다. 과실의 건물중은 채취한 고추를 60 °C에서 24 시간 건조한 후 무게를 합하여 계산하였다. 과장은 과실의 꼭지 부분을 제외한 총길이를 측정하였고, 과경은 과실의 폭이 가장 넓은 부분의 길이를 측정하였다. 비상품율은 각 식물체당 전체 수확개수에 대한 이병과실, 생리장해과실 등 비상품과실의 개수를 비율로 계산하였다.

(2) 식물체 무기성분 분석

식물체 무기성분 분석을 위해 고추는 상단부, 중앙부 및 하단부로, 잎은 구엽과 신엽으로, 줄기는 구줄기와 신줄기로 구분하였고, 뿌리는 식물체 1개의 뿌리 전체를 분석하였다. 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 1999)에 준하여, 채취한 시료를 건조기에서 60 °C에서 24 시간 동안 건조시킨 후 분쇄하여 0.5 g을 칭량하고, H₂SO₄ 5 mL와 H₂O₂ 10 mL를 가하여 가열 분해하였다. 총 질소 함량은 Kjeldahl법으로, P, K 및 Ca은 분해액을 증류수로 희석하여 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma; model JY 138-Ultrace, Jobin Yvon, France)로 측정하였다. 식물체 무기성분 흡수량은 부위별 전체 건물중과 무기성분의 농도를 곱하여 계산하여 비교하였다.

(3) 통계분석

고추에 대한 바이오황과 염화칼슘 혼합액의 엽면시비 처리 효과를 비교 및 검토하기 위해 완전임의배치법 4반복 실험결과에 대한 통계분석은 SPSS (Statistical Package for the Social Science, ver 18.0)를 사용하여 분산분석을 실시하였으며, Duncan의 다중범위검정 (Duncan's Multiple Range Test, DMRT)을 이용하여 통계적 유의성을 확인하였다 ($p < 0.05$).

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 바이오황 엽면시비 처리 효과

1) 생육 변화 특성

(1) 식물체 높이

바이오황과 염화칼슘 혼합액을 엽면시비 하였을 때 식물체 높이는 Fig. 3과 같다. 처리 시작 30일 후에는 동일한 처리 내 반복 간 차이가 컸지만 처리구 간 통계적 유의성은 없었다. 이는 생육 초기에 고추의 초장은 처리구 간 차이가 없었다는 Kang *et al.* (2004)의 보고와 유사한 결과를 나타냈다. 처리 시작 60일 후에는 Bio-S x1000 처리구에서 122 cm로 가장 높았으며, 대조구 110 cm에 비해 12 cm 증가하는 경향을 보였다. Gallejones *et al.* (2012)은 황이 부족한 식물은 성장률이 감소하며, 뿌리보다 줄기 성장이 더 많은 영향을 받는다고 보고하였는데, 본 연구에서도 바이오황 처리에 의해 줄기의 성장이 촉진되어 식물체 높이가 증가된 것으로 판단된다. 또한 유황이 사용된 처리구에서 초장이 증가했다는 Kim *et al.* (1997)의 보고와 비슷한 결과를 나타냈다. 한편 CaCl₂가 포함된 처리구에서는 Bio-S의 농도가 증가할수록 식물체 높이는 감소하여, CaCl₂ + Bio-S x500 처리구에서는 98.5 cm로 가장 낮았다 (Fig. 3.).

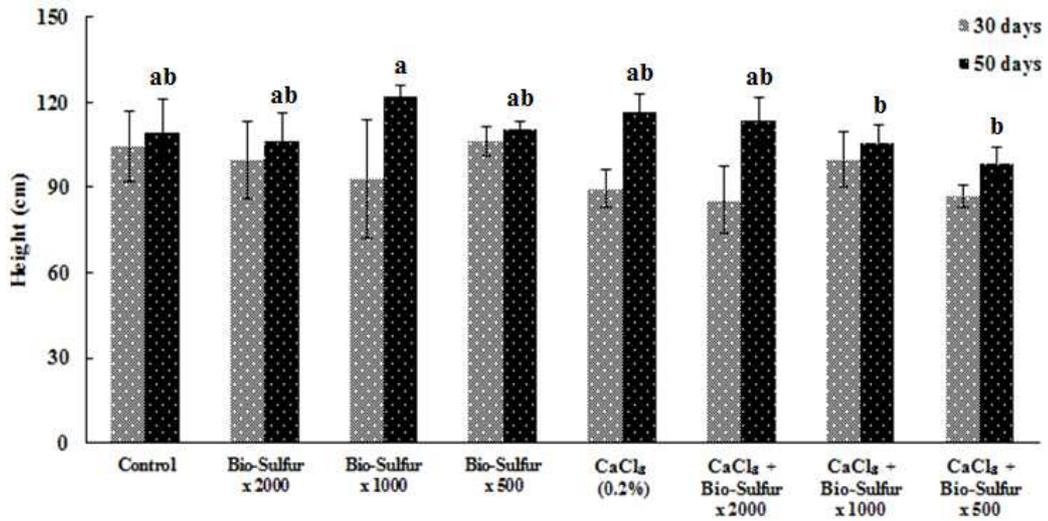


Fig. 3. Plant height of pepper at 30 and 60 days after foliar fertilization.

^{a-b} Means with different letters on the column are significantly different at $p < 0.05$ (Duncan)



Control



Bio-S x1000



CaCl₂ (0.2 %)



CaCl₂ + Bio-S x500

Fig. 4. Photograph of pepper plant at harvesting stage.

(2) 과실 수, 건물중, 과장, 과경

과실 수, 건물중, 과장 및 과경은 Table 4에 나타내었다. 과장 및 과경은 모든 처리구에서 각각 8.1 ~ 8.4 cm, 1.1 ~ 1.2 cm로 처리구 간 통계적 유의성은 없었다. 과실 수 및 건물중은 Bio-S x1000 처리구에서 각각 277 개, 43.3 g/plant로 생육이 가장 좋았으며, 대조구에서 각각 160 개, 25.1 g/plant에 비해 117 개, 18.2 g/plant 증가하는 경향을 보였다. 유황 처리에 의해 열무, coastal bermudagrass 및 수수 x 수단그라스 교잡종의 수량이 증가했는데 (Kim *et al.*, 2004; Phillips, 1991; Shin *et al.*, 2005), 본 연구에서도 바이오황을 1000배로 희석하여 처리함으로써 수량이 증가되는 경향이였다. 한편 CaCl₂ + Bio-S x500 처리구에서는 84.0 개, 15.0 g/plant로 가장 생육이 저조한 경향을 나타냈다. 실제 농가에서도 유기자재를 혼용할 경우, 작물 생육에 장애를 초래하는 경우가 있다 (Choi *et al.*, 2008). 바이오황과 염화칼슘을 혼합하여 시비할 경우, 바이오황 2,000 ~ 1,000배와 혼합하면 생육 및 수량에는 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

Table 4. Growth of pepper at 60 days after foliar fertilization.

Treatments	Fruit			
	number	dry weight (g/plant)	length (cm)	diameter (cm)
Control	160 ab	25.1 ab	8.2 a	1.2 a
Bio-S x2000	188 ab	28.9 ab	8.3 a	1.1 a
Bio-S x1000	277 a	43.3 a	8.4 a	1.2 a
Bio-S x500	260 a	35.3 ab	8.1 a	1.1 a
CaCl ₂ (0.2 %)	198 ab	31.9 ab	8.2 a	1.1 a
CaCl ₂ + Bio-S x2000	146 ab	24.3 ab	8.1 a	1.1 a
CaCl ₂ + Bio-S x1000	137 ab	26.7 ab	8.4 a	1.2 a
CaCl ₂ + Bio-S x500	84 b	15.0 b	8.2 a	1.2 a

^{a-c} Means with different letters in the same column are significantly different at p<0.05 (Duncan)

(3) 비상품율

비상품율은 모든 처리구에서 1.1 ~ 4.1 %로, 대조구 7.5 %보다 낮았으며, 특히 Bio-S x2000, Bio-S x1000 및 CaCl₂ + Bio-S x1000 처리구에서는 1.5 % 이하로 가장 낮게 나타났다 (Fig. 5.). Paik *et al.* (2012)은 0.08 ~ 2.00 %의 유황자재가 탄저균의 생장을 저해시킨다고 보고하였고, Lim *et al.* (2015)은 발효황토유황합제 40배액 (0.06 %)에서 효과가 있었으며, 고농도의 발효황토유황합제 20배액 (0.13 %)에서는 이병률이 높았다고 보고하였다. 본 실험에서도 고농도의 Bio-S x500 (0.1 %) 처리구가 Bio-S x2000 (0.025 %), Bio-S x1000 (0.05 %) 처리구에 비해 비상품율이 다소 높았으나, 통계적 차이는 없었으며, Bio-S x2000 (0.025 %), Bio-S x1000 (0.05 %), Bio-S x500 (0.1 %) 처리구 모두에서 병 발생을 억제시켜 비상품율을 감소시킨 것으로 판단된다.

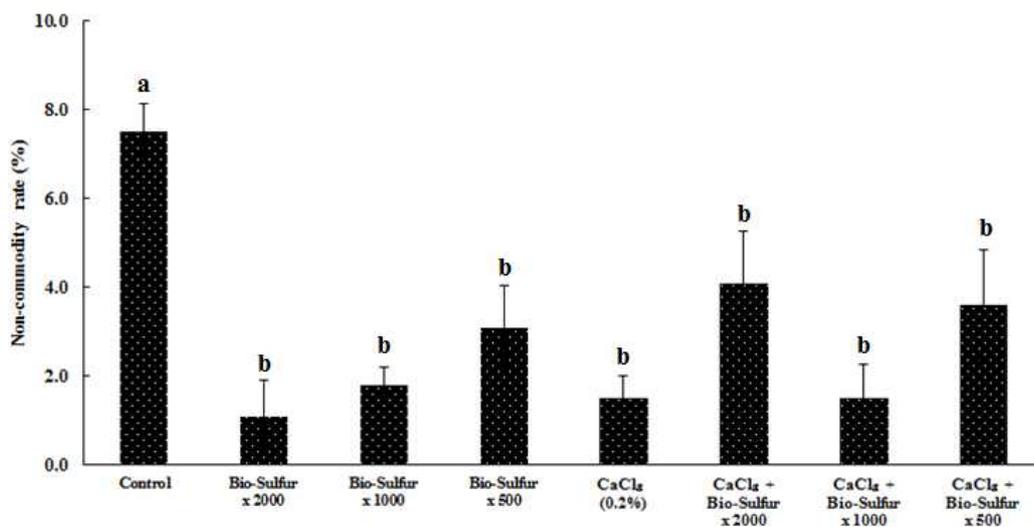


Fig. 5. Non-commodity rate of pepper at 60 days after foliar fertilization

^{a-b} Means with different letters on the column are significantly different at $p < 0.05$

(Duncan)

2) 식물체 무기성분 변화 특성

(1) 엽 중 T-N, P, K, Ca 농도

처리 시작 60일 후에 엽 중 무기성분 함량은 Table 5와 같다. 엽 중 질소, 인, 칼륨 함량은 각각 8.50 ~ 13.1 g/kg, 1.12 ~ 2.03 g/kg, 29.2 ~ 40.4 g/kg이었다. 이는 모든 부위에서 K 함량이 높고, T-N, P 순으로 나타났다는 Lee *et al.* (2010)과 Kang *et al.* (2004)의 보고와 같다.

질소 함량은 모든 처리구에서 구엽과 신엽 각각 8.80 ~ 13.1 g/kg, 8.50 ~ 15.1 g/kg으로 구엽과 신엽 간에 차이가 없었고, 구엽에서는 모든 처리구 간에 통계적 유의성이 없었으나, 신엽에서는 Bio-S의 농도가 증가할수록 증가하여 Bio-S x500 처리구에서 15.1 g/kg으로 가장 높았다. 바이오황의 시용으로 엽 중 질소 함량이 높아진 것은 황이 식물체 내에서 질산의 환원과 단백질의 합성 및 분해 등 질소대사에 관여 (Yoon *et al.*, 2000; Park *et al.*, 2000; Ceccoti, 1996)하기 때문에 질소의 농도가 증가된 것으로 사료된다.

인과 칼륨 함량은 Moon *et al.* (2012)이 보고한 0.06 ~ 0.08 %, 2.15 ~ 3.18 % 보다는 높고, Lee *et al.* (2010)이 보고한 2.0 ~ 3.1 g/kg, 40.8 ~ 49.5 g/kg보다는 낮은 수치를 보였다. 인 함량은 모든 처리구에서 구엽보다 신엽이 0.2 ~ 0.9 g/kg 높은 경향을 보였으며, 구엽과 신엽 각각 1.12 ~ 1.61 g/kg, 1.42 ~ 2.03 g/kg으로 처리구 간 특별한 경향은 없었다. 칼륨 함량은 모든 처리구에서 구엽과 신엽 각각 33.3 ~ 40.4 g/kg, 29.2 ~ 37.4 g/kg으로 구엽과 신엽 간에 큰 차이가 없었고, 모든 처리구 간 특별한 경향도 없었다.

칼슘 함량은 CaCl₂가 포함되어 있는 처리구에서 구엽과 신엽 각각 14.6 ~ 16.3 g/kg, 11.0 ~ 12.1 g/kg으로, 그 외 처리구에서 구엽과 신엽 5.75 ~ 10.9 g/kg, 5.00 ~ 8.90 g/kg에 비해 높은 경향을 나타냈다. 또한 모든 처리구에서 신엽보다 구엽이 10.8 ~ 46.9 % 증가하는 경향을 보였고, 특히 Bio-S가 포함된 처리구에서 16.9 ~ 34.0 % 증가한 반면 CaCl₂ + Bio-S 처리구에서는 33.0 ~ 46.9 % 증가하여, 바이오황과 염화칼슘 혼합액의 엽면시비에 의한 효과를 확인할 수 있었다.

Table 5. Concentration of major elements in old and new leaves of pepper at 60 days after foliar fertilization.

Treatments	T-N (g/kg)		P (g/kg)		K (g/kg)		Ca (g/kg)	
	old	new	old	new	old	new	old	new
Control	10.3 abc	10.3 bc	1.12 a	1.52 a	35.8 a	35.3 a	5.75 d	5.19 b
Bio-S x2000	9.40 bc	10.2 bc	1.44 a	1.63 a	34.1 a	30.2 a	6.70 cd	5.00 b
Bio-S x1000	12.2 ab	12.2 ab	1.25 a	1.42 a	40.4 a	37.4 a	10.4 bc	8.90 ab
Bio-S x500	13.1 a	15.1 a	1.47 a	1.87 a	37.1 a	32.7 a	10.9 bc	8.78 ab
CaCl ₂ (0.2 %)	10.2 abc	10.1 bc	1.34 a	1.67 a	35.2 a	36.5 a	14.8 ab	12.1 a
CaCl ₂ + Bio-S x2000	9.90 abc	9.40 bc	1.61 a	2.03 a	33.3 a	29.2 a	14.6 ab	11.0 a
CaCl ₂ + Bio-S x1000	8.80 bc	8.50 c	1.43 a	1.79 a	35.1 a	36.8 a	16.3 a	11.8 ab
CaCl ₂ + Bio-S x500	8.80 c	9.00 bc	1.43 a	2.33 a	35.1 a	35.3 a	16.3 ab	11.1 a

^{a-c} Means with different letters in the same column are significantly different at p<0.05 (Duncan)

(2) 줄기 중 T-N, P, K, Ca 농도

처리 시작 60일 후에 줄기 중 무기성분 함량은 Table 6과 같다. 줄기 중 질소, 인, 칼륨 함량은 각각 3.15 ~ 6.99 g/kg, 0.66 ~ 3.00 g/kg, 11.5 ~ 37.9 g/kg이었다. 이는 모든 부위에서 K 함량이 높고, T-N, P 순으로 나타났다는 Lee *et al.* (2010)과 Kang *et al.* (2004)의 결과와 같다. 줄기 중 질소, 인, 칼륨 및 칼슘 함량은 모든 처리구에서 구줄기보다 신줄기에서 높았다.

줄기 중 질소 함량은 잎의 질소 함량 8.50 ~ 13.1 g/kg 보다 낮게 나타났고, 이는 Lee *et al.* (2010)이 고추 부위별 T-N 함량은 줄기에서 잎에 비해 낮았다는 결과와 일치하였다. 또한 구줄기에서 대조구가 3.15 g/kg으로 가장 낮았고, 신줄기에서는 모든 처리구가 4.76 ~ 6.99 g/kg으로 통계적 유의성은 없었다.

인 함량은 구줄기와 신줄기 각각 0.66 ~ 1.12 g/kg, 1.32 ~ 3.00 g/kg으로, Lee *et al.* (2010)이 보고한 1.1 ~ 2.3 g/kg에 비해 상대적으로 구줄기는 낮고, 신줄기는 높은 경향이였다. 또한 모든 처리구 간 특별한 경향은 없었다.

칼륨 함량은 구줄기와 신줄기 각각 33.3 ~ 40.4 g/kg, 29.2 ~ 37.4 g/kg 으로, Lee *et al.* (2010)과 Kang *et al.* (2004)이 보고한 24.4 ~ 38.5 g/kg, 28.4 ~ 35.1 g/kg과 비슷한 수치를 보였다. 또한 구줄기에서 CaCl₂ + Bio-S x2000, CaCl₂ + Bio-S x1000 처리구가 각각 22.4 g/kg, 24.2 g/kg으로 가장 높았고, 대조구 14.3 g/kg에 비해 각각 56.6 %, 69.2 % 증가하는 경향을 보였다. 하지만 신줄기에서는 모든 처리구에서 26.6 ~ 37.9 g/kg으로 차이가 없었다.

칼슘 함량은 모든 처리구에서 구줄기, 신줄기 각각 2.79 ~ 4.12 g/kg, 3.60 ~ 4.43 g/kg으로 바이오황 엽면시비에 의한 차이는 나타나지 않았다. 이는 엽면시비 시 식물이 잎을 통해 양분을 흡수하기 때문에 잎 중 칼슘 함량이 처리구 간에 차이를 보인 것과 다른 경향을 보인 것으로 판단된다.

Table 6. Concentration of major elements in old and new stems of pepper at 60 days after foliar fertilization.

Treatments	T-N (g/kg)		P (g/kg)		K (g/kg)		Ca (g/kg)	
	old	new	old	new	old	new	old	new
Control	3.15 a	5.62 ab	0.82 a	2.34 a	14.3 c	34.5 ab	2.79 b	3.82 a
Bio-S x2000	3.89 a	6.99 a	0.81 a	2.44 a	11.5 c	26.6 b	3.08 ab	4.01 a
Bio-S x1000	3.78 a	6.20 ab	0.66 a	1.32 a	15.0 c	37.9 a	3.67 ab	4.18 a
Bio-S x500	3.71 a	6.20 ab	0.70 a	1.71 a	16.6 bc	33.8 ab	3.17 ab	4.06 a
CaCl ₂ (0.2 %)	3.47 a	5.50 b	0.70 a	1.66 a	20.5 ab	35.0 ab	3.35 ab	4.43 a
CaCl ₂ + Bio-S x2000	4.10 a	5.39 b	0.85 a	2.39 a	22.4 a	34.9 ab	3.22 ab	3.94 a
CaCl ₂ + Bio-S x1000	4.31 a	5.18 b	0.87 a	1.83 a	24.2 a	33.8 ab	4.12 a	3.96 a
CaCl ₂ + Bio-S x500	3.68 a	4.76 b	1.12 a	3.00 a	20.6 ab	36.3 a	2.84 b	3.60 a

^{a-c} Means with different letters in the same column are significantly different at $p < 0.05$ (Duncan)

(3) 뿌리 중 T-N, P, K, Ca 농도

처리 시작 60일 후에 뿌리 중 무기성분 함량은 Table 7과 같다. 질소 함량은 12.0 ~ 15.5 g/kg으로 모든 처리구 간 차이가 없었다. 인 함량은 CaCl₂ + Bio-S x500 처리구에서 1.57 g/kg, 칼륨 함량은 Bio-S x2000 처리구에서 13.9 g/kg, 칼슘함량은 CaCl₂ + Bio-S x500 처리구에서 4.78 g/kg으로 가장 높았으나, 모든 처리구 간 통계적 유의성은 없었다. 뿌리는 토양으로부터 무기양분을 흡수하는데, 본 실험에 사용된 토양은 동일한 양의 비료를 시비하였고, 엽면시비 처리 외에는 모든 조건이 동일했기 때문에 뿌리의 무기성분 농도에는 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

Table 7. Concentration of major elements of pepper roots at 60 days after foliar fertilization.

Treatments	T-N	P	K	Ca
	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)	(g/kg)
Control	13.3 a	1.17 b	8.52 ab	3.90 ab
Bio-S x2000	13.0 a	1.4 ab	13.9 a	3.45 b
Bio-S x1000	12.0 a	1.28 ab	11.1 ab	3.87 ab
Bio-S x500	13.1 a	1.23 ab	7.41 b	3.84 ab
CaCl ₂ (0.2 %)	15.5 a	1.29 ab	7.75 ab	3.97 ab
CaCl ₂ + Bio-S x2000	13.8 a	1.28 ab	11.0 ab	3.95 ab
CaCl ₂ + Bio-S x1000	15.4 a	1.55 ab	13.4 ab	4.16 ab
CaCl ₂ + Bio-S x500	13.2 a	1.57 a	12.3 ab	4.78 a

^{a-b} Means with different letters in the same column are significantly different at <0.05 (Duncan)

(4) 과실 부위별 Ca 농도

처리 시작 30일 후와 60일 후에 과실 중 칼슘 함량은 고추의 칼슘 농도를 생체중 (Fresh-Weight)으로 환산하여 Table 8에 나타내었다. 처리 시작 30일 후 대조구의 생체중 칼슘 함량은 상단부, 중앙부 및 하단부에서 각각 12.3 mg/100g, 5.45 mg/100g, 3.38 mg/100g으로 다른 처리구에 비해 낮은 경향을 보였다. 모든 처리구의 생체중 칼슘 함량은 상단부에서 11.7 ~ 14.9 mg/100g, 중앙부에서 5.45 ~ 6.68 mg/100g, 하단부에서 3.38 ~ 4.97 mg/100g으로, 상단부가 중앙부 및 하단부보다 약 2 ~ 3배 높은 경향을 보였다. 이 결과는 앞으로부터 이동되는 칼슘이온이 이동성이 느려 중앙부 및 하단부보다 상단부에 상대적으로 높은 함량을 나타낸 것으로 판단된다.

처리 시작 60일 후 모든 처리구의 생체중 칼슘 함량은 상단부에서 11.6 ~ 17.8 mg/100g, 중앙부에서 5.00 ~ 8.33 mg/100g, 하단부에서 5.38 ~ 9.84 mg/100이었고, 상단부가 중앙부 및 하단부보다 약 1.5 ~ 2.5배 높았으며, 처리 시작 30일 후와 비슷한 경향이였다. CaCl_2 가 포함되어 있는 처리구의 생체중 칼슘 함량은 상단부, 중앙부 및 하단부에서 각각 15.1 ~ 16.7 mg/100g, 7.00 ~ 8.33 mg/100g, 8.22 ~ 9.84 mg/100g으로, 다른 처리구에 비해 높은 경향을 보였다. 이러한 경향은 바이오황과 염화칼슘 혼합액의 엽면시비에 의해 CaCl_2 가 포함되어 있는 처리구에서 엽 중 칼슘 농도가 증가함에 따라 (Table 5.), 다른 처리구에 비해 많은 양의 칼슘이온들이 잎에서 과실로 이동되어 나타난 결과로 판단된다.

Table 8. Changes in content of Calcium in the upper, middle, and lower parts of pepper fruit after foliar fertilization.

Treatments	Ca (mg/100g, fw)					
	30 days after foliar fertilization			60 days after foliar fertilization		
	upper	middle	lower	upper	middle	lower
Control	12.3 a	5.45 a	3.38 b	13.9 ab	7.17 ab	8.21 ab
Bio-S x2000	14.9 a	6.33 a	4.53 ab	11.6 b	6.66 ab	7.52 ab
Bio-S x1000	14.1 a	6.34 a	4.14 ab	11.8 b	5.00 b	5.38 b
Bio-S x500	13.6 a	5.89 a	3.72 ab	17.8 a	7.53 ab	7.89 ab
CaCl ₂ (0.2 %)	12.9 a	6.68 a	4.47 ab	15.1 ab	7.45 ab	9.15 a
CaCl ₂ + Bio-S x2000	13.0 a	5.91 a	4.97 a	15.4 ab	7.86 ab	8.96 a
CaCl ₂ + Bio-S x1000	11.7 a	5.73 a	3.62 ab	15.5 ab	8.33 a	9.84 a
CaCl ₂ + Bio-S x500	11.8 a	5.68 a	4.19 ab	16.7 ab	7.00 ab	8.22 ab

^{a-c} Means with different letters in the same column are significantly different at p<0.05 (Duncan)

(5) 식물체 무기성분 흡수량

고추 재배 기간 동안 식물체 부위별 무기성분 흡수량은 Table 9와 같다. 질소 흡수량은 과실, 잎, 줄기 및 뿌리에서 각각 107 ~ 276 mg/plant, 49.4 ~ 204 mg/plant, 34.3 ~ 120 mg/plant, 43.6 ~ 81.2 mg/plant로 모든 처리구 간 통계적 유의성은 없었다. 그리고 식물체 전체 질소 흡수량 중 줄기가 13.2 ~ 19.9 %를 차지하였으며, 이는 Kang *et al.* (2004)이 줄기가 18 % 정도 흡수하는 것으로 추정된 것과 비슷한 경향이였다. 각 식물체 부위별 질소 흡수량은 CaCl₂가 포함되어 있는 처리구에서 Bio-S의 농도가 증가할수록 감소하였는데, 이 결과는 생육 결과와 비슷한 경향이며, 생육이 저하됨에 따라 흡수량 또한 감소한 것으로 판단된다.

인과 칼륨 흡수량은 과실에서 29.7 ~ 75.3 mg/plant와 167 ~ 485 mg/plant, 잎에서 10.7 ~ 21.4 mg/plant와 211 ~ 641 mg/plant, 줄기에서 10.2 ~ 19.3 mg/plant와 26.6 ~ 106 mg/plant, 뿌리에서 3.84 ~ 7.98 mg/plant와 26.2 ~ 72.3 mg/plant로 바이오황과 염화칼슘 혼합액의 엽면시비에 의한 통계적 유의성은 없었다.

과실, 줄기 및 뿌리에서의 칼슘 흡수량은 CaCl₂ + Bio-S 처리구에서 Bio-S의 농도가 높아질수록 감소하는 경향을 보였다. 박우철 (1995)과 최 등(2000)은 식물체의 생육상태에 따라 칼슘의 흡수가 달라지기 때문에 칼슘 부족 현상이 발생되기도 한다고 보고하였는데, CaCl₂ + Bio-S 처리구에서 Bio-S의 농도가 증가할수록 생육이 저조했기 때문에 흡수량이 감소한 것으로 사료된다. 하지만 잎에서의 칼슘 흡수량은 생육결과와는 다른 경향으로, 대조구에서 55.0 mg/plant로 가장 낮았다. 엽면시비 시 식물체는 잎으로부터 무기양분을 흡수하기 때문에, 바이오황과 염화칼슘 혼합액의 엽면시비에 의한 영향이 더 크게 작용한 것으로 판단된다.

Table 9. Uptake of major elements of pepper at 60 days after foliar fertilization.

Treatments	T-N (mg/plant)				P (mg/plant)			
	Fruit	Leaf	Stem	Root	Fruit	Leaf	Stem	Root
Control	173 ab	98.3 ab	67.8 ab	46.4 a	50.6 ab	10.8 b	15.4 ab	3.84 b
Bio-S x2000	200 ab	116 ab	63.9 ab	56.5 a	52.1 ab	14.5 ab	10.2 b	5.98 ab
Bio-S x1000	267 a	204 a	120 a	68.9 a	75.3 a	19.6 a	18.6 ab	7.09 ab
Bio-S x500	276 a	204 a	83.8 ab	69.2 a	71.3 a	21.4 a	14.3 ab	6.46 ab
CaCl ₂ (0.2 %)	209 ab	101 ab	86.3 ab	81.2 a	55.7 ab	14.5 ab	17.3 ab	6.25 ab
CaCl ₂ + Bio-S x2000	205 ab	108 ab	97.1 ab	77.1 a	47.1 ab	15.5 ab	19.3 a	6.28 ab
CaCl ₂ + Bio-S x1000	172 ab	92.6 ab	72.2 ab	79.0 a	56.9 ab	15.9 ab	14.7 ab	7.98 a
CaCl ₂ + Bio-S x500	107 b	49.4 b	34.3 b	43.6 a	29.7 b	10.7 b	11.0 ab	5.91 ab

Treatments	K (mg/plant)				Ca (mg/plant)			
	Fruit	Leaf	Stem	Root	Fruit	Leaf	Stem	Root
Control	349 ab	326 ab	285 abc	26.2 a	11.6 ab	55.0 a	62.4 ab	13.9 a
Bio-S x2000	354 ab	375 ab	173 c	62.5 a	11.6 ab	79.0 a	44.5 ab	14.9 a
Bio-S x1000	485 a	641 a	493 b	72.3 a	15.9 a	172 a	106 a	20.8 a
Bio-S x500	482 a	528 ab	399 abc	41.0 a	16.9 a	153 a	70.4 ab	20.1 a
CaCl ₂ (0.2 %)	424 ab	356 ab	511 b	36.4 a	16.1 a	140 a	83.4 ab	22.3 a
CaCl ₂ + Bio-S x2000	285 ab	327 ab	538 a	56.2 a	11.5 ab	154 a	79.5 ab	20.0 a
CaCl ₂ + Bio-S x1000	296 ab	375 ab	404 abc	69.5 a	11.8 ab	157 a	68.0 ab	21.5 a
CaCl ₂ + Bio-S x500	167 b	211 b	204 bc	53.8 a	5.20 b	76.3 a	26.6 b	16.7 a

^{a-c} Means with different letters in the same column are significantly different at $p < 0.05$ (Duncan)

IV. 적 요

본 연구는 살진균 효과가 있는 바이오황과 염화칼슘을 혼합하여 엽면시비 시 고추의 생육, 생산량, 상품율 및 무기양분 흡수에 미치는 효과를 조사하였다.

재배시험에 사용한 고추는 ‘신와매워’ 품종이며, 바이오황 현탁액은 수도권매립지에서 생산되는 것을 (주)에코바이오에서 제공받아 이용하였다. 처리구는 바이오황 현탁액을 2,000배, 1,000배, 500배로 희석한 처리구 (Bio-S x2000, x1000, x500), 염화칼슘을 0.2 %로 희석한 처리구 (CaCl_2 (0.2 %)), 희석된 각각의 바이오황 현탁액에 0.2 % 염화칼슘을 혼합한 처리구 (CaCl_2 + Bio-S x2000, x1000, x500)를 두었다.

생육조사에서 식물체 높이, 과실 수 및 건물중은 Bio-S x1000 처리구에서 생육이 가장 좋았으며, CaCl_2 가 포함된 처리구에서는 Bio-S의 농도가 증가할수록 저조하였다. 과장 및 과경은 모든 처리구에서 처리구 간 통계적 유의성은 없었다. 비상상품율은 바이오황과 염화칼슘 처리에 의한 병방제 효과로 인해 모든 처리구에서 1.1 ~ 4.1 %로, 대조구 7.5 %보다 낮았다.

칼슘 함량은 잎에서 CaCl_2 가 포함되어 있는 처리구가 높은 경향을 나타냈지만, 줄기 및 뿌리에서는 모든 처리구 간 차이가 나타나지 않았다. 과실 부위별 생체중 칼슘 함량은 60일 후 모든 처리구에서 상단부가 중앙부 및 하단부보다 약 1.5 ~ 2.5 배 높은 경향이었고, CaCl_2 가 포함되어 있는 처리구가 다른 처리구에 비해 높은 경향이였다. 이러한 경향은 엽 중 칼슘 농도가 증가함에 따라, 많은 양의 칼슘이온들이 잎에서 과실로 이동되어 나타난 결과로 판단된다. 식물체 각 부위별 칼슘 흡수량은 CaCl_2 + Bio-S 처리구에서 Bio-S의 농도가 증가할수록 생육이 저조하여 감소하는 경향을 보였다.

바이오황과 염화칼슘 혼합액을 엽면시비 시, 바이오황과 염화칼슘에 의해 비상상품율이 감소하였지만, 500배 이상의 바이오황과 혼합한 경우에는 고추 생육과 무기성분 흡수가 저조하였다. 고추 생육과 품질을 동시에 고려할 때, 2,000 ~ 1,000배의 바이오황과 염화칼슘은 혼용 가능할 것으로 판단된다.

V. 인 용 문 헌

- 권태영, 이종필, 정삼택. 1999. 칼슘화합물 살포가 복숭아 품질에 미치는 영향. 경북농업기술원 시험연구보고서 570-579.
- 문병우, 임재욱, 신건철, 김영식. 1995. 고추의 무기성분 함량, 생장 및 배꼽썩음병에 미치는 칼슘화합물과 CaCO_3 의 영향. 한원지 36(3):304-308.
- 문병우, 최종승, 김기홍. 1999. 굴껍질로부터 추출한 칼슘화합물 처리에 의한 저장 중 사과 과실의 세포벽 분해효소 및 세포구조의 변화. 한원지 40(3):345-348.
- 문병우, 강인규, 이영철, 남기웅, 최종승. 2002. 액상칼슘화합물 수관살포에 따른 저장 중 단감의 과실의 세포벽 성분과 세포벽 분해효소 및 세포벽 구조의 변화. 한원지 43(4):443-446.
- 박양호, 송병훈, 김영구, 박영선, 신춘식. 2003. 고추역병탄저병 방제용 혼합수화제 개발. 농사시험연구논문집(작물보호) 34(2):121-125.
- 박우철. 1995. 농산물의 생산과 석회효과. 환경보전 농업에서의 석회의 역할 심포지엄 29-47.
- 엄우형. 2016. 바이오 황을 이용한 유황 콘크리트 성능 평가 연구. 서울과학기술대학교 산업대학원. 석사학위논문.
- 윤정희, 정병간, 김유학, 신제성. 1996. 최근 한국 토양의 유황함량. 유황비료 국제 시포지엄, 80-83
- 이종건. 2018. 바이오 황을 이용한 토양정화소재 개발. 강원대학교 대학원 석사학위논문.
- 최종승, 이경욱, 최종명, 안영직, 서정학. 2000. 계란껍질에서 추출한 액상칼슘 화합물의 사과나무에 대한 수관살포의 효과. 한원지 41(5):503-506.

- Arikawa Y., and A. Sasaki. 1987. Extraction and Isotope in Biological Samples Measurement of Sulfur. *ANALYTICAL SCIENCES*, 3:157-160.
- Ceccoti, S. P., 1996. Plant nutrient sulphur a review of nutrient balance, environment impact and fertilizers. *Fert. Res*, 43:117 - 125.
- Cha, J. H., G. H. Kim, E. D. Choi, J. H. Song, and Y. J. Koh. 2018. Environment-Friendly Control of Pear Scab and Rust Using Lime Sulfur. *Res. Plant Dis*, 24(1):52-58.
- Chapman, S. J. 1989. Oxidation of micronized elemental sulphur in soil. *Plant and Soil*, 116(1):69-76.
- Choi, J. S. 1989. Studies on various factors affecting calcium accumulation in apple fruits. PhD Thesis. Univ. Chungnam.
- Choi, D. H., J. K. Sung, S. M. Lee, Y. H. Lee, J. M. Kim, J. A. Jung, and B. H. Song. 2008. Selection of Useful Organic Materials as an Additional Fertilizer for Organic Red-pepper Production and the Application Effect. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 41(3):153-157.
- Choi, K. H., D. H. Lee, Y. I. Song, J. C. Nam, and S. W. Lee. 2010. Current status on the occurrence and management of disease, insect and mite pests in the non-chemical or organic cultured apple orchards in Korea. *Korean J. Organic Agric*, 18:221-232.
- Deardorff, D., and K. Wadsworth. 2011. What's wrong with My plant?. An, U. J(Ed). Seoul: Gimmyungsa press.
- Gallejones P, A. Castellon, A. del Prado, O. Unamunzaga, A. Aizpurua. 2012. Nitrogen and sulphur fertilization effect on leaching losses, nutrient balance and plant quality in a wheat-rapeseed rotation under a humid Mediterranean climate. *Nutr. Cycl. Agroecosys*, 93:337-355.
- Janssen A. J., P. N. Lens, A. J. Stams, C. M. Plugge, D. Y. Sorokin, G. Muyzer, H. Dijkman, E. Van Zessen, P. Luimes, C. J. Buisman. 2009.

Application of bacteria involved in the biological sulfur cycle for paper mill effluent purification. *Sci Total Environ*.

- Jeffries, P., J. C. Dodd, M. J. Jeger, and R. A. Plumbley. 1990. The biology and control of *Colletotrichum* species on tropical fruit crops. *Plant Pathology*, 39(3):343-366.
- Kang, K. J., G. S. Oh, Y. S. Go, I. W. Seo, Y. J. Kim, and D. H. Park. 2003. Inhibition of enzymatic browning in medical herbs(crude drug materials) by organic acid. *The Korean Journal of Food Science and Technology*, 35(3):532-535.
- Kang, B. G., H. J. Kim, G. J. Lee, and S. G. Park. 2004. Determination of the Optimum Application Rate of Pig Slurry for Red Pepper Cultivation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 37(6):388-395.
- Kim B. J., J. H. Back, and H. Choi. 1997. Effects of Nitrogen and Sulfur Application on Yield and contents of Amino Acids Containing Sulfur of Rice. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 30(2):122-128.
- Kim, J. S., Y. G. Lee, M. Kwon, J. I. Kim, G. J. Lee, J. T. Lee, and J. S. Ryu. 2012. Control of common scab of potato caused by streptomyces spp. by soil pH adjustment and crop rotation. *Research in Plant Disease*, 18(2):117-122.
- Kim, K. A., C. W. Rho, K. R. Choi, H. J. Hwang, and H. S. Choi. 2004. Quinone reductase inducer from radish leaf cultivated in the soil containing sulfur. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr*, 33(6):946-950.
- Kwak, Y. K., I. S. Kim, M. C. Cho, S. C. Lee, and S. Kim. 2012a. Growth inhibition effect of environment-friendly agricultural materials in *Botrytis cinerea* in vitro. *Journal of Bio-Environment Control*, 21(2):134-139.
- Kwak, Y. K., I. S. Kim, M. C. Cho, S. C. Lee, and S. Kim. 2012b. Growth inhibition effect of environment-friendly farm materials in *Colletotrichum acutatum* in vitro. *Journal of Bio-Environment Control*,

21(2):127-133.

- Lee, G. J., Y. S. Kim, and I. G. Song. 2010. Effect of Tillage Depth and Amount of Compost on Red Pepper Growth. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 43(6):798-803.
- Lee, I. B., J. H. Lim, and M. S. Yiem. 2000. Determination of Sulfur Requirement to Adjust pH of Alkaline Soil by Buffer Curve Method. *orean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 33(6):405-415.
- Lee. S. W., S. H. Lee, K. H. Park, I. B. Jang, M. L. Jin, and K. H. Kim. 2014. Effect of Irrigation of Sulfur Solution before Sowing on Growth and Root Rot Disease of Seedling in Ginseng Nursery. *Korean J. Medicinal Crop Sci.*, 22(5):391-397.
- Lim, J. S., H. S. Mo, E. H. Lee, K. C. Park, and C. M. Chung. 2015. Suppressive Effects of Sulfur-containing Compounds on Ginseng Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) and Proper Application Concentration. *Korean J. Environ. Agric*, 34(1):46-51.
- Madden, L. V., L. L. Wilson, X. Yang, and M. A. Ellis. 1992. Splash dispersal of *Colletotrichum acutatum* and *Phytophthora cactorum* by short duration simulated rains. *Plant Pathology*, 41(4):427-436.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. *Academic Press, London*, 889
- Moon, Y. H., J. H. Lee, B. K. Ahn, I. Y. Choi, and S. S. Cheong. 2012. Effects of chitosan on red pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivation for eco-friendly agriculture. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 45(4):635-641.
- NIAST. 2010. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Park J. H., K. J. Kim, S. D. Park, M. Park, D. H. Lee, C. L. Choi, and J.

- Choi. 2000. Effect of sulfur on the chemical properties of soil and yield of safflower (*Carthamus tinctorius L.*). *Korean J. Medicinal Crop Sci*, 8(4):378-385.
- Paik, M. K., C. K. Shim, J. B. Lee, J. A. Oh, M. H. Jeong, D. H. Kim, M. J. Kim, H. J. Jee, E. J. Choi, and H. J. Cho. 2012. Acute toxicity evaluation of loess-sulfur complex in different pH. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 16(4):369-375.
- Phillips, J. M. 1991. Coastal Bermudagrass Production as Influenced by Sulfur and Magnesium Rates and Timing at Three Soil Acidity Levels. *America Forage and Grassland Council Proceeding*, 175-178.
- Shin, H. J., Chen, Z. J., Hwang, J. M. and Lee, S. G. 1999. Comparison of pepper anthracnose pathogens from Korea and China. *Plant Pathol. J*, 15:323-329.
- Shin, J. S., S. H. Lee, W. H. Kim, J. G. Kim, S. H. Yoon, and K. B. Lim. 2005. Effects of Ammonium Sulfate and Potassium Sulfate Fertilizer on Dry Matter Yield and Forge Quality of Sorghum X Sudangrsss Hybrid in Reclaimed Tidal Land. *J. Korean Grassl. Sci.*, 25(4):245-250.
- Shin, Y. A., J. S. Lee,, Y. C. UM, and S. H. Park. 2006. Effects of seed spacing and depth and planting date on yield of once-over harvested hot pepper (*Capsicum annuum L.*) planted by direct seeding. *Kor. J. Hort. Sci. Technol*, 24:8-12.
- Wharton, P. S., and J. Diéguez-Uribeondo, 2004. The biology of *Colletotrichum acutatum*. *In Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 61(1):3-22.
- Yoon, D. H., H. J. Park, and K. W. Nam. 2010. Control effect of environmental-friendly organic materials against major pear diseases. *The Korean Journal of Pesticide Science*, 14(4):401-406.
- Yoon J. H., B. K. Jung, Y. H. Lim, and J. S. Shin. 2000. Sulphur content of

Korean soils. *J. Korean Soc. Soil. Fert. Soil and Fertilizer*, 1:90-83.

감사의 글

대학교 1학년인 신입생 때부터 어느덧 대학원 졸업을 바라보고 있는 지금까지 8년이라는 시간이 지났습니다. 20대의 절반 이상을 토양학 실험실 생활을 하면서 평생 잊지 못할 인연들을 만났고, 가슴 속에서 지워지지 않을 추억들을 쌓았습니다. 평소에 표현하지 못했던 제가 이 글을 통해 감사의 마음을 전해드리고자 합니다.

먼저 누구보다 깊은 관심과 사랑으로 이끌고 지도해주신 현해남 교수님께 감사의 마음을 올립니다. 학문적 가르침뿐만 아니라 인생의 지혜를 가르쳐주신 교수님의 말씀을 잊지 않고 가슴 속에 새기며 살아가겠습니다. 어쩌면 교수님의 마지막 제자로서 교수님의 믿음에 보답하는 제자가 되겠습니다.

학부 시절부터 퇴직하시는 그날까지 좋은 말씀 해주셨던 송창길 교수님, 진심어린 마음으로 조언과 격려를 해주셨던 전용철 교수님, 항상 따뜻한 말씀으로 가르쳐주신 김동순 교수님, 제자들을 위해 좋은 말씀을 아끼지 않으셨던 김주성 교수님, 파이팅 넘치는 모습으로 용기를 북돋아주셨던 정용석 교수님께도 감사드립니다.

이 글을 마무리하는 지금까지 때로는 아버지와 같이, 때로는 인생의 선생님처럼, 때로는 친근한 형님처럼 가르쳐주셨던 박원표 선생님께 진심으로 감사드립니다. 그리고 후배의 부탁을 정성어린 마음으로 들어주시면서 조언과 격려를 해주셨던 강호준 연구사님, 오명협 선배님, 고석형 박사님, 현영훈 선배님, 양철준 선배님께도 감사드립니다. 또한 같이 운동하면서 격려해주신 이경욱 팀장님께도 감사드립니다.

실험실에서 동고동락하면서 친형제처럼 지냈던 유충훈 형님, 고건희 형님, 전승범 형님, 고봉준 형님과 남동생처럼 대해줬던 경아누나, 원빈누나와 동생 하는 일에 항상 응원해줬던 성문이형에게도 감사드립니다. 그리고 같이 실험실 생활을 했던 병하형, 내 친구 임황, 밤늦게까지 형을 위해 도와준 찬영, 군 복무 중인 준현, 소방관이 된 명규, 학업에 충실한 영재에게도 감사합니다.

내 동기들이자 대학원 생활을 같이 했던 명수, 승학, 상희, 같이 총무하면서



고생 많이 한 은주, 먼저 도와주겠다고 나선 건이형, 경찰이형, 같이 졸업하는 현민, 후배인 용호, 지원, 승필이를 비롯한 식물자원환경전공 및 농학과 선, 후배님들에게 감사합니다.

졸업한 후에도 친구의 부탁에 한걸음에 달려온 황이, 퇴근한 후에 도와주겠다고 찾아온 헤라, 시간 날 때마다 도와준 현우와 지환이를 포함한 모든 친구들에게도 감사합니다.

끝으로 형을 잘 따르는 남동생 강철, 세상 하나뿐인 여동생 인해, 아들을 위해 최선을 다해주시는 사랑스러운 어머니, 아들 하는 일에 묵묵히 응원해주시는 제가 가장 존경하는 아버지를 포함한 가족 모두에게 이 논문을 바칩니다.