



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](#)

博士學位論文

바이오 황(Bio-Sulfur)을 이용한 감귤
주요 병해충 방제 및 골분액비 제조

Major Disease and Mite-Pest Control on Citrus and Phosphorus
Biosolubilization from Bone Meal Using Bio-Sulfur

濟州大學校 大學院

農學科

吳明協

2021年 2月

바이오 황(Bio-Sulfur)을 이용한 감귤 주요 병해충 방제 및 골분액비 제조

指導教授 玄海男

吳 明 協

이 論文을 農學 博士學位 論文으로 提出함

2020年 12月

吳明協의 農學 博士學位 論文을 認准함

審査委員長

김응순



委 員

진용철



委 員

김찬우



委 員

좌재호



委 員

김해남



濟州大學校 大學院

2020年 12月



목 차

List of Tables	iv
List of Figures	vi
ABSTRACT	vii
I. 서 언	1
II. 연구 사	3
III. 재료 및 방법	8
1. 감귤 더듬이병 및 검은점무늬병 발병 억제 효과	8
1) 공시재료	8
2) 포장시험 장소	8
3) 감귤 더듬이병 균사 생장 억제 실험	8
(1) 감귤 더듬이병 포자 배양	8
(2) 배지 제조 및 접종	9
4) 감귤 더듬이병 발생 억제 효과	9
5) 감귤 검은점무늬병 발생 억제 효과	10
6) 시험기간의 기상현황	12
2. 굴응애 방제 효과	12
1) 시험장소	12
2) 시험방법	12
3. 황산화균과 바이오 황을 이용한 골분액비 제조	13
1) 골분액비 제조 재료 및 황산화균 배양	13

2) 황산화균(<i>A. thiooxidans</i>), 바이오 황 현탁액 및 골분의 혼합 비율	14
4. 골분액비 시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향	15
1) 공시재료	15
2) 골분액비의 토양 및 엽면시비 효과	16
3) 토양 화학성 분석	17
5. 통계분석	17
IV. 결과 및 고찰	18
1. 감귤 더듬이병 및 검은점무늬병 발병 억제 효과	18
1) 감귤 더듬이병 균사 생장 억제 실험	18
2) 감귤 더듬이병 발생 억제 효과	22
3) 감귤 검은점무늬병 발생 억제 효과	27
2. 굴응애 방제 효과	31
3. 황산화균과 바이오 황을 이용한 골분액비 제조	34
1) 골분액비 현탁액의 pH 변화	34
2) 골분액비에서 용출된 가용성 인산 함량	36
4. 골분액비 시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향	41
1) 토양시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향	41
2) 엽면시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향	47
V. 종합고찰	51
VI. 적 요	55

VII. 인용문헌	57
감사의 글	68

List of Tables

Table 1.	Water-soluble chemical components of the bio-sulfur suspension used in this experiment	8
Table 2.	Meteorological factors during the experimental period in 2017	11
Table 3.	Chemical properties of bone meal and bio-sulfur suspension used for shake-flask leaching experiments	14
Table 4.	Conditions of shake-flasks leaching experiments	15
Table 5.	The recommended amount of fertilization used in ponytail radish cultivation experiment	16
Table 6.	pH of bone meal liquid fertilizer according to the dilution level	16
Table 7.	Chemical properties of the soil at the experimental site	17
Table 8.	Growth of hyphal on <i>Elsinoe fawcettii</i> according to bio-sulfur in concentrations	19
Table 9.	Effect of bio-sulfur on <i>Elsinoe fawcettii</i> disease incidence and control of citrus leaf in open field	24
Table 10.	Effect of bio-sulfur on <i>Elsinoe fawcettii</i> disease incidence and control of citrus fruit in open field	25

Table 11. Effect of bio-sulfur on the occurrence of in <i>Diaporthe citri</i> in citrus fruits in the open field condition	29
Table 12. Effect of bio-sulfur and several treatments on the surviving rate and control value of <i>Panonychus citri</i> in the experimental field	32
Tabel 13. pH and water-soluble inorganic components of bioleaching solution by adding bio-sulfur and <i>A. thiooxidans</i> to bone meal	40
Table 14. Effect of soil fertilization of bone meal liquid fertilizer on growth and yield of ponytail radish in green house	43
Table 15. Changes in the content of soil components after soil fertilization treatment	46
Table 16. Effect of foliar spray of bone meal liquid fertilizer on growth and yield of ponytail radish in green house	48
Table 17. Changes in the chemical properties of soil after fertilization test by foliar application of liquid fertilizer	50

List of Figures

Fig. 1. Observation of hyphal for <i>Elsinoe fawcettii</i> using optical microscope at 40 hpi	20
Fig. 2. Observation of hyphal for <i>Elsinoe fawcettii</i> using optical microscope at 88 hpi	21
Fig. 3. Symptoms of <i>Elsinoe fawcettii</i> disease on the leaves and fruit of citrus	26
Fig. 4. Typical symptoms of <i>Diaporthe citri</i> on fruits and leaves of citrus field	30
Fig. 5. Photos of <i>Panonychus citri</i>	33
Fig. 6. pH of leaching suspensions solution during bioleaching of bone meal by adding <i>A. thiooxidans</i> and bio-sulfur suspension solution by shaking for 50 day in room temperature	35
Fig. 7. Changes of phosphorus concentration in leach solutions obtained during bioleaching of bone meal by adding <i>A. thiooxidans</i> and bio-sulfur suspension solution by shaking for 50 day in room temperature	38
Fig. 8. Changes in solubilized phosphorus concentration according to born-meal addition rate, and phosphorus concentration of conventional liquid fertilizer(CLF) and molasses	39

ABSTRACT

1. The aim of the present study was to investigate the suppressive effects of the bio-sulfur used by eco-friendly farms on the outbreak of *Elsinoe fawcettii* and *Diaporthe citri*. To evaluate the inhibiting effect of bio-sulfur on citrus scab hyphal growth, the citrus scab pathogen *Elsinoe fawcettii* was cultured in PDB and agar media, and hyphal growth was observed after bio-sulfur treatment. At both for 40 and 88 h after inoculation, hyphal formation was inhibited by 0.2%, 0.1%, and 0.05% diluted bio-sulfur, and at dilutions above 0.025%, hyphal formation was observed, although growth was still inhibited, when compared to untreated cultures. Meanwhile, the occurrence of *Elsinoe fawcettii* on spring-flush leaves in the field was at 40.3% in control and 5.3, 10.3, 12.3, 15.3, and 24.0% when treated with Imibenconazole, 2-4 and 6-6 Lime-Bordeaux mixtures, which are also used by eco-friendly farms, 0.2% diluted bio-sulfur, lime sulfur, and 0.1% diluted bio-sulfur, respectively. The occurrence of *Elsinoe fawcettii* on citrus fruit was at 79.3% in control and 4.0, 33.8, 42.0, 43.3, 44.8, and 78.0% when treated with Imibenconazole, 2-4 Lime-Bordeaux mixture, 6-6 Lime-Bordeaux mixture, 0.2% diluted bio-sulfur, lime sulfur, and 0.1% diluted bio-sulfur, respectively. Because *Elsinoe fawcettii* can infect citrus leaves as early as May, as the spring flush begins, preventative control should be implemented by mid- to late-April, thereby increase disease control and labor saving and farming cost reducing. In an open field experiment with a plot-scale application of the chemicals: Mancozeb, lime sulfur, lime sulfur + machine oil, and bio-sulfur, the control plot showed 70.6% disease severity compared with 10.3% for the Mancozeb-treated plot. Among the eco-friendly treatments, disease severity was the lowest for the group treated with lime sulfur +

machine oil (32.2%) and was at 53.9%, 58.8%, and 58.1% following treatment with lime sulfur, and bio-sulfur diluted 0.2% and 0.1%, respectively. The proportion of diseased fruit showed similar results, suggesting that bio-sulfur is an effective alternative to lime sulfur.

2. The effects of bio-sulfur, on the citrus the pest, *Panonychus citri*, were investigated. Three days after treatment acaricidal effects on *P. citri* showed at 197.6% control survival rate whereas the machine oil, and bio-sulfur diluted 0.2% and 0.1% treatments showed rates of 2.9%, 5.8%, and 9.0%, respectively. After three days, the control value for bio-sulfur diluted 0.2% was 73.2% compared with the values for the machine oil (96.4%) and bio-sulfur diluted 0.2% (94.6%) treatments. Therefore, I suggest that additional research is needed on the combined application of bio-sulfur and oils to enhance the additive control effect on citrus melanose and *Panonychus citri*.

3. Bacterial solubilization of phosphorus (P) from the bone meal with sulfur-oxidizing bacteria (*Acidithiobacillus thiooxidans*) was carried out in shake-flasks leaching experiments. The leach suspension's pH dropped from pH 5.22 to pH 1.92 during 30 - 40 days of leaching time and resulted in an increase in water-soluble P concentration of 23.8 g P₂O₅ L⁻¹. When bio-sulfur (5% added) acts as an energy substrate for acidophilic bacteria to leach P from bone meal during the formulation of biofertilizers, it appears as an attractive approach to improve the soil fertility in organic farming.

4. Regarding the effect of bone meal liquid fertilizer on growth of ponytail radish, the group subjected to treatment with 10% concentrated NK+bone meal liquid fertilizer showed higher plant height, leaf area, root diameter, and aboveground shoot fresh weight, but not leaf number and compared to the

group subjected to standard application rate. Regarding foliar fertilization, treatment did not show a significant difference in growth of the ponytail radish. However, treatment with 10% concentrated NK+bone meal liquid fertilizer resulted in a higher root length, which significantly influences the of ponytail radish. In general, a liquid fertilizer is a fast-acting fertilizer with fertilizing effects reaching 70~100% (compared to chemical fertilizers), activates beneficial microbes in the soil, and provides the nutrients needed by plants. Therefore, it is speculated that the bone meal liquid fertilizer using Bio-Sulfur will be effective for faster cultivation of ponytail radish.

I. 서 언

21세기 초에 한국을 포함한 선진국의 소득수준이 크게 향상됨에 따라 소비자들의 식품 구매시 고려 사항에 안전성, 친환경 웰빙과 환경보호 등이 큰 비중을 차지하고 있다(KREI, 2018).

우리나라는 화학약제를 사용하는 관행적 농법이 주를 이루었으나 무분별한 농약 사용은 농약 잔류성, 환경오염, 병해충 저항성 및 인축의 독성 등이 문제를 발생시킬 수 있는 위험을 가지고 있다(Weller, 1988). 최근에는 안전한 농산물에 대한 인식 확산으로 화학농약을 대체할 수 있는 다양한 방제 방법에 대한 개발 및 보급이 요구되고 있다.

화학농약 및 비료의 과다 사용으로 환경친화적 농업으로의 전환이 중요한 과제로 대두되었고 소비자들도 안전한 친환경농산물에 대한 요구가 점차 커짐에 따라 잔류의 위험성이 없으면서 환경에 대한 피해가 적은 친환경 유기농업 자재에 대한 연구가 활발하게 이루어져 왔다(Ko, 2008; Park et al., 2011). 우리나라 농림축산식품부는 정책적으로 화학농약 및 비료의 사용량 감축을 유도하고 친환경농업을 강조하는 방향을 추진하여 국립 연구기관에서는 화학적 방제 연구를 지양하고 있는 실정이다(Park et al., 2016a).

우리나라의 친환경 농산물 생산 농가와 재배 면적은 유기농 15,528호 24,666 ha, 무농약 41,733호 53,878 ha로 총 57,261호 78,544 ha이다(NAPQ, 2018). 이중 감귤은 유기 277호 147 ha, 무농약 526호 310 ha로 총 803호 457 ha를 재배하고 있다. 전체 친환경 농산물 품목 대비 감귤 농가는 1.4%, 재배면적은 0.58%로 과실류 단일 품목으로는 밤, 블루베리, 아로니아, 잣 다음으로 많은 면적을 차지한다.

Janssen 등(2009)은 바이오 황이 곰팡이병에 효과가 뛰어나 살균제로 사용될 수 있다고 보고하였고, 국내에서는 바이오 황을 이용하여 산업적인 연구가 일부 진행되고 있으며, 농업적 활용 방안으로는 고추 생육 및 품질 관리, 오이 탄저병 억제, 잔디 갈색피집병 협력제 연구 사례가 있다(Eom, 2016; Lee, 2018; Lee, 2019; Ko, 2019; Kim et al., 2019).

최근 감귤 생산 현장에서 친환경 재배에 이용되고 있지만 병해충 방제에 대한 연구는 Shin 등(2019)이 기내 환경에서 감귤 검은점무늬병에 대한 연구가 수행되었을 뿐으로 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구는 친환경 감귤 재배 농가에서 사용되고 있는 바이오 황의 병해충 방제, 액비 제조 활용 등 농업적 활용 가치에 대해 알아보고자 수행하였다.

II. 연구사

인류는 기원전 9세기경부터 작물의 병해충 방제에 유황을 이용하였으며 (Tweedy, 1981; Agrios, 2005; Shim, 2014), 1800년대는 프랑스에서 포도 흰가루병으로 인하여 포도주 생산량이 80%까지 감소하면서 포도의 흰가루병을 방제하기 위하여 유황을 사용하기 시작하였다(Tabatabai, 1986). 그 후 1845년에는 유황을 이용한 방제법이 미국으로 전파되어, 포도 과원에서 흰가루병과 응애에 대한 살균제 및 살비제로 광범위하게 사용되었다(Shim, 2014; Buchanan et al., 1992; Emmett et al., 1992).

국내 인천 서구의 수도권 매립지는 인천, 경기, 서울 등 수도권 3개 광역자치단체에서 배출되는 쓰레기를 처리 할 목적으로 1992년 개장 후 월 평균 약 13,400 M/T(2013년 5월 기준)이 반입 및 매립되며, 쓰레기 매립 과정에서 발생되는 가스를 포집해 연료 가스로 활용한다(Eom, 2016). 이 과정 중 매립가스에 함유된 황화수소(H_2S)를 제거하기 위한 탈황 과정이 수반되는데 이때 다량의 바이오 황(bio-sulfur, Bio-S)이 부산물로 생산된다(Lee, 2018). 기존의 대표적 유황 제품인 석회유황합제와 황토유황은 비닐하우스 철과 비닐을 부식시킬 뿐만 아니라 pH 12 내외로 다른 농업 자재와 혼합이 어렵지만 바이오 황은 입자가 2~10 μm , pH 8 내외로 비료와 혼합 등 농업적 이용 가치가 높다(Lee, 2019). 바이오 황 발생량은 15 m^3/day 로 연간 5,475 $m^3/year$ 가 생산되고 있다.

국내에서는 바이오 황을 이용하여 콘크리트의 성능 개선과 토양 정화소재 개발 연구가 수행되었으며, 농업적으로는 고추에 대한 생육 및 품질 관리, 오이 탄저병 억제, 한국잔디의 갈색퍼짐병에 대한 협력제 효과 연구가 보고되었으나 농자재로서 활용 연구는 미비한 실정이다(Eom, 2016; Lee, 2018; Lee, 2019; Ko, 2019; Kim et al., 2019). 최근 실내 시험에서 바이오 황을 이용하여 감귤 검은점무늬병원균의 생장을 억제시켰으며(Shin et al., 2019), 바이오 황이 곰팡이병에 효과가 뛰어나 살균제로 사용될 수 있다는 보고가 있다(Janssen et al., 2009).

감귤 생산에 문제되는 병 중 하나인 감귤 더뎡이병은 *Elsinoe fawcettii*가 원

인 병원균이다(Hyun et al., 2001). 감귤 더뎡이병은 전년도에 발병된 가지나 잎의 병반에서 다음 해 새로운 병원균이 발생하기 때문에 감귤 수확 및 전정 시기에 병이 발생된 조직을 제거해야 하며, 발병된 조직이 남아 병원균 생장에 좋은 조건일 경우 병이 만연될 수 있다(David, 1988; Hyun et al., 2001; Oh et al., 2005).

더뎡이병은 봄순이 전개되는 5월부터 감귤 잎에 발생하기 시작하여 잎을 기형화 시킬 뿐만 아니라 과실에도 감염을 일으켜 상품성을 심하게 떨어뜨리는 감귤 병해이다(Song, 1997). 더뎡이병 무방제 포장에서는 이병엽율이 89~100%에 달해 더뎡이병은 검은점무늬병과 더불어 감귤에 가장 심한 피해를 주고 있는 병해로 밝혀졌다(Koh et al., 1996).

친환경적인 감귤 생산을 위하여 더뎡이병 방제는 석회보르도액 등 구리제재를 주로 사용하고 있지만(Timmer and Zitko, 1996; Michaud and Grant, 2003), 구리제는 특정 병해에 대해서는 전문 화학 약제보다 비교적 약효가 떨어지며 구리 피해가 발생하는 문제점이 있어 사용에 제약이 따른다(Hyun et al., 2005). 이외의 연구는 식물 근권세균을 이용한 실내 실험 등이 있다(Kim et al., 2011; Park et al., 2016b).

검은점무늬병은 자낭균에 속하는 곰팡이로 자낭포자 세대는 *Diaporthe citri*이다(Bach and wolf, 1928; Fawcett, 1936; 福岡, 1937; 山本, 1991). 병포자를 형성하는 병자각은 주로 죽은 가지에 생기는 것으로 알려져 있으며 빗방울과 함께 비산된다(Fawcett, 1911; Fawcett and Lea, 1926).

강우에 의해 포자의 비산과 감염이 이루어지는데 비산 거리는 짧아 수관 내부 전염원이 발생요인이 된다고 하였지만(Winston and Bowman, 1923; 田中, 1955), 포자는 광범위하게 비산하며(山本, 1991), 40~100m까지 전파된다고 하였다(牛山, 1973a, 1973b). 검은점무늬병의 감염은 습윤 시간 및 광도와 밀접한 관계가 있는데 有本과 本間(1988)은 감염되는 시간을 20~25℃의 환경에서 12시간, 10℃에서는 3일, 발병까지는 25℃에서 2일, 10℃의 낮은 온도에서는 1주일이라고 보고하였다. 牛山(1976)은 24~28℃에서 8시간 이상의 습윤 조건에서 감염되며, 有本 등(1980, 1982)은 접촉 5시간 후에 병포자가 발아하기 시작하여 8시간 후부터 침입이 시작된다고 보고하여 연구자에 따라 다소 다른 결과를 보였다.

검은점무늬병 약제 무방제시 피해과율은 95% 이상으로 조사되었으며(Koh et al., 1996), 노지 감귤의 8.5%가 검은점무늬병에 감염되어 비상품이 되는데 발생 시기는 6월 하순부터 8월 상중순으로 보고되었다(Hyun et al., 2013). 그리고 식물 근권세균과 바이오 황을 이용하여 검은점무늬병원균의 생장이 억제되는 것을 실내 실험을 통해 확인하였다(Ko et al., 2012; Shin et al., 2019).

귤응애(*Panonychus citri* McGregor)는 응애목(Acarina) 전기문아목(Trombidiformes) 잎응애과(Tetranychidae)에 속한 해충으로 세계적으로 오렌지, 레몬, 감귤 등에 큰 피해를 일으키는 주요한 해충의 하나로 알려져 있다(McMurtry, 1985). Jeppson 등(1975)은 약충과 성충이 주로 잎을 흡즙하여 조직 내의 세포액이나 엽록소가 파괴되어 동화작용이 저하되고 심한 경우에는 잎이 백화되면서 조기낙엽을 초래하고, 과실에 피해를 받게 되면 착색이 불량해지거나 퇴색되어 상품 가치를 저하시킨다고 보고한 바 있다.

귤응애 방제는 대부분 유기합성 농약에 의존하고 있어 귤응애의 약제 저항성이 증가하고, 천적의 감소, 환경오염 등과 같은 부작용이 발생하여 방제가 매우 어려운 실정이다(Kim et al., 2003; Kim et al., 2006; Yang, 2011). 농가에서는 연간 3~5회 약제 방제하고 있으며 연간 총 농약 방제 비용의 25% 이상을 차지하고 있다(Song et al., 2001).

귤응애에 대한 친환경적 방제 연구는 천적을 이용한 생물적 방제, Petroleum spray oil과 유황을 이용한 방제 등이 있다(Kim et al., 2003; 김과 최, 2000; 김 등, 2000; Yang et al., 1997).

많은 연구자들에 의해 작물의 수량을 증가시키고 필요한 양분을 균형있게 공급하기 위하여 액비 제조 방법, 액비의 화학적 및 미생물학적 특성과 시용 효과에 대한 연구가 이루어 졌다(Joo et al., 2001; Lee et al., 2004; Choi et al., 2008; An et al., 2014). 인산을 작물에 공급하기 위해 골분액비를 제조하여 사용하고 있으나 골분액비의 인산 전함량은 0.4% 이하(An et al., 2014)로 골분(P_2O_5 22.6%)의 인산 전함량의 약 0.02%가 용해되었다. 용해된 인산은 수용성 형태가 아니므로 식물이 직접 흡수할 수 있는 수용성 인산 함량은 더 낮을 것으로 예상된다. 따라서 골분을 액비로 제조하기 위해서는 무기화 과정을 촉진시킬 수 있는 미생물 선발이 필요하다.

Rajan(1983)과 Chi 등(2006)은 *Acidithiobacillus* sp.에 의해 황이 박테리아 산화과정에서 생성된 황산으로 인해 인광석에서 가용성 인산이 증가했다고 보고하였다. 생물학적으로 황산을 생성할 수 있는 황산화균(*Acidithiobacillus thiooxidans*)은 액비 발효과정 중 생성된 유기산보다 골분액비의 무기화를 촉진시킬 수 있을 것으로 기대된다. 미생물학적 용출법에서 금속을 용출하는데 사용되는 *A. thiooxidans*는 호기성 환경에서 성장하는 독립영양균으로 순수 황 및 환원된 황을 산화시켜 성장에 필요한 에너지를 얻고, 생물학적으로 황산을 생성하여 배양액의 pH를 1.5~2.5까지 낮춘다(Lee et al., 2006; Han et al., 2009; Ullah et al., 2013; Saeid et al., 2014). Bhatti와 Yawar(2010)는 *A. thiooxidans*과 *A. ferrooxidans*을 황이 70% 함유된 진흙(sulfur-mud)에 접종하여 인광석을 용해시켰을 때, 인광석의 최대 인산 가용화율은 $565 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}\text{d}^{-1}$ 이라고 보고하였다.

미생물학적 용출법에서 *Acidithiobacillus* sp.의 에너지원으로 대부분 순수 황이 이용되었고(Xiao et al., 2011; Priha et al., 2014; Li et al., 2016), 황철석(Chi et al.(2006)과 sulfur-mud(Bhatti and Yawar, 2010)도 이용되었으나, 유기농자재인 바이오 황을 유기액비 제조에 이용된 연구는 없었다. *A. thiooxidans* 용출 효율은 용출 대상 원소의 종류, 황의 농도, 미생물 접종량 등과 같은 요인이 중요한 영향을 미친다(Gomez and Bosecker, 1999; Lee et al., 2006; Han et al., 2009).

인산은 식물체의 에너지 대사에 관여하고 핵산과 단백질의 주요 구성 원소로써 작물 생육에 큰 영향을 미친다(Marschner, 1995). K^+ 나 H_2PO_4 는 식물체내에서 흡수 및 이동이 매우 빠르다(Jeschke and Pate, 1991). 온도, 수분, 토양 내 공기, 토양 산도 및 토양 염류 등의 영향을 받아 토양으로부터 인산 흡수량이 부족하고 식물체가 적절한 인산 함량을 갖지 못할 경우 식물에 결핍 증상이 나타날 뿐만 아니라 생육이 심하게 억제되고 수량이 감소한다(Bennett, 1993; Choi et al., 2007; 2004). 인이 결핍되면 식물 전체의 생장이 저해되어 왜생(矮生)이 되고, 화곡류에서는 분얼이 저해되는 것으로 알려져 있으며(박 등, 1982), Nelson(2003)은 인산이 결핍되어 식물이 영향을 받기 시작하면 노엽이 진한 녹색으로 변하고, 식물 생육이 억제되며, 특히 기부 쪽에서 자주색을 띠는 색소체가 발달하여 노엽이 자주색을 띠는다고 하였다. Marschner(1995)와 Gigson 등(2007)도 인산 결핍 증

상은 노엽에서 초기 증상이 나타난 후 상층부로 확산하는데 이는 인산이 식물체 내에서 이동이 잘 되는 원소이고 새롭게 성장하는 신엽이 강한 수용자 역할을 하여 노엽의 인산이 신엽쪽으로 이동하기 때문이라고 하였다

일반적으로 인산 시용은 지상부 생장보다 뿌리 생장을 더 촉진시켜 T/R률을 낮추는 것으로 알려져 있다(Marschner, 1995). 한 등(1972)도 Korean lespedeza 에 있어 무비구에 비해 인산 184 kg ha⁻¹ 시비에 의한 초장은 다소 증가에 그쳤으나 분지수, 엽수, 경직경은 현저히 증가되었다. 작물의 적정 인산 함량은 작물의 종류, 식물체 부위, 생육시기 등에 따라 다른데, 성숙된 잎의 경우 건물중의 0.46~0.92%로 알려져 있다(Jones, et al., 1991).

식물은 탄소를 제외하고 필요로 하는 양분을 대부분 뿌리로 흡수하여 이용하지만 뿌리가 손상되거나 필요한 양분을 신속히 공급받고자 할 때는 잎으로 요소나 미량원소를 흡수 할 수 있도록 엽면시비가 작물 재배에 응용되고 있다(Bukovac and Wittwer, 1957; Koontz and Biddulph, 1957; Vasilas et al., 1966; 조성진, 1968). 즉, 잎에서 양분의 흡수 통로는 ectodermata로 알려져 있으며 기공 세포에 많이 분포하여 양분이 흡수 된다고 한다.

우리나라 남도지방의 민간요법에는 유향을 시비하여 재배한 열무는 원기를 돋우는 보양제로 신체허약, 고혈압, 신경통, 시력부족에 탁월한 효과가 있고 장기간 복용시 시력, 청각, 기억력을 크게 향상시킬 수 있다고 알려져 있다(김, 1989)

열무와 비슷한 알타리무(*Raphanus sativus* L.)는 십자화과 작물로서 화산회토 양이나 척박한 토양에서도 흡비력이 강한 채소로 알려져 있고, 춘파, 추파로 재배하며, 저온에서도 생육이 가능하여 고랭지 재배와 겨울철에는 시설 재배로 생산되고 있는 대중적인 채소이다(신 등, 1993). 알타리무의 생육 및 수량에 미치는 영향에 관하여 Ca 시비, 생균제 미생물 비료, 토양 미생물제 처리, 미생물제 액비의 엽면시비에 따른 영향 등의 연구가 있다(원, 1991; 김과 김, 1998; 오, 2000; 김, 2001; 강과 송, 2003).

III. 재료 및 방법

1. 감귤 더듬이병 및 검은점무늬병 발병 억제 효과

1) 공시재료

시험에 사용된 바이오 황(Bio-S, bio-sulfur)은 (주)에코바이오에서 제공 받았으며, pH 8.05, EC 42.7 dS m⁻¹, NO₃ 1.32%, Ca 1.16%였으며(Lee, 2019), 끈적끈적한 바이오 황 입자가 침강되는 것을 방지하기 위하여 완전히 저어준 후에 사용하였다(Table 1).

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

2) 포장시험 장소

바이오 황을 이용한 감귤 더듬이병과 검은점무늬병의 발병 억제 포장시험은 노지에서 재배중인 25년생 궁천조생을 공시 품종으로 하여 감귤 더듬이병과 검은점무늬병이 자연 발생한 제주특별자치도 서귀포시 남원읍에 위치한 감귤연구소(농촌진흥청 국립원예특작과학원) 시험포장에서 실시하였다.

3) 감귤 더듬이병 균사 성장 억제 실험

(1) 감귤 더듬이병 포자 배양

농촌진흥청 국립원예특작과학원 감귤연구소에서 분리한 더듬이병균 16-1 균주를 Potato Dextrose Agar(PDA) 배지에 14일간 배양 후, Fries(1978)의 방법으로 더듬이병 균총을 살균한 Spatula를 이용해 잘게 부순 후 균총 1 g에 30 ml의

Fries medium(Ammonium tartrate 5 g, Ammonium nitrate 1 g, Potassium phosphate dibasic 1 g, Ammonium sulfate 0.5 g, Calcium chloride 0.1 g, Sodium chloride 0.1 g, Sucrose 20 g in D.W. 1 ℓ)에 넣은 후 Shaking incubator(ThermoStableTMIS, 대한과학, Korea)로 옮겨 70 rpm으로 27℃에서 48시간 배양하였다. 그 후 원심분리기(Avanti® J-E, Beckman Coulter, U.S.A.)를 이용하여 4℃에서 10,000 rpm으로 90초 동안 원심분리하여 상층액인 Frise medium을 제거하고 멸균수 30 ml를 채워 섞어준 후 앞선 방법과 동일하게 원심분리하여 상층액을 제거하고 멸균수로 3회 세척하였다. 포자를 새롭게 생성할 수 있도록 감귤 더듬이병균에 멸균수 30 ml 넣어 Shaking incubator에 옮겨 70 rpm으로 27℃에서 24시간 동안 2차 배양하였다. 배양 후 Conical tube에 Double thickness of cheese cloth를 이용하여 더듬이병균 포자를 여과하고 3℃에 냉장 보관하여 실험에 사용하였다.

(2) 배지 제조 및 접종

대조구는 증류수 100 ml에 Potato Dextrose Broth(PDB) 1.2 g과 Agar 1.5 g을 혼합하여 조성하였으며, 실험구는 바이오 황을 증류수로 0.2, 0.1, 0.05, 0.025, 0.0125, 0.0063, 0.0031% 희석하여 PDB와 Agar를 혼합하여 고압멸균한 후 Petri dish에 분주하여 사용하였다. 2차 배양된 감귤 더듬이병 포자를 100 μ l를 분주하여 유리막대를 이용해서 도말 접종하여 40시간과 88시간 경과 후 광학현미경(DE/Discovery, Zeiss, Germany)을 이용하여 포자 균사 길이를 측정하였으며, 3회 반복하였다.

4) 감귤 더듬이병 발병 억제 효과

감귤 더듬이병 발병 억제 시험은 2017년 4월 20일부터 7월 21일까지 수행하였으며, 효과를 비교하기 위하여 약제를 살포하지 않은 무처리구, 일반 농가에서 많이 사용하는 살균제인 Imibenconazole 수화제(확시란, 동방아그로), 친환경 농가에서 사용하는 자가제조 석회보르도액 2-4식, 석회보르도액 6-6식(IC-66D, (주)井上石灰工業, 일본), 석회유황합제(석회황, 인바이오)와 바이오 황 0.1%와 0.2%를 처리하였다. 약제처리는 충전식 분무기를(주)대성, 20 ℓ) 이용 나무당 10 ℓ

정도 약제를 수관 전체에 골고루 살포하였다. 시험은 완전임의배치법으로 3반복 실시하여 2017년 4월 20일부터 15일 간격으로 6회 살포하였다. 약제 처리별로 잎 이병엽율은 1주당 동서남북 방향의 발생한 봄 순을 각각 25잎씩 총 100잎을 2017년 6월 20일에 조사하였고, 병든과율은 이병엽율을 조사한 가지의 과실 100개를 대상으로 7월 21일에 조사하여 방제가를 산출하였다(농촌진흥청, 2012).

$$\text{Disease incidence of leaf and fruit (\%)} = \frac{\text{No. of infected}}{\text{No. of total survey}} \times 100$$

$$\text{Control value (\%)} = \frac{(\text{Disease of non-treatment} - \text{Disease of treatment})}{\text{Disease of non-treatment}} \times 100$$

5) 감귤 검은점무늬병 발병 억제 효과

바이오 황에 의한 감귤 검은점무늬병 발병 억제 시험은 2017년 6월 16일부터 11월 10일까지 수행하였으며, 효과를 비교하기 위하여 약제를 살포하지 않은 무처리, 일반 농가에서 주로 사용하는 살균제인 만코제브 수화제(다이센엠-45, (주)경농, 한국), 친환경 농가에서 많이 사용하는 석회유황합제(석회황, 인바이오, 한국), 석회유황합제+기계유 유제, 바이오 황 0.1%와 0.2%를 처리하였다. 약제 처리는 충전식 분무기(주대성, 20 ℓ)를 이용하여 나무당 10 ℓ 정도 약제를 수관 전체에 골고루 살포하였다. 시험구는 완전임의배치법으로 3반복 실시하여 2017년 6월 16일부터 15일 간격으로 8회 살포하였다.

과실 발병도는 1주당 100개의 과실을 조사하여 산출하였고(Hyun et al., 2013), 병든과율은 시험구 전체 과실을 대상으로 2017년 11월 10일 조사하여 산출하였다(농촌진흥청, 2012).

Table 2. Meteorological factors during the experimental period in 2017*

	Air temperature (°C)						Precipitation (mm)		Number of days on precipitation (day)		Sunshine duration (hr)	
	Mean		Maximum		Minimum							
	NY**	2017***	NY	2017	NY	2017	NY	2017	NY	2017	NY	2017
Apr.	14.8	15.7	18.5	19.1	11.3	12.7	175	223	10.5	8.0	191	181
May	18.6	19.2	22.0	22.9	15.3	16.2	206	59	10.7	8.0	199	245
Jun.	21.7	22.1	24.6	25.1	19.2	19.6	277	247	12.9	9.0	144	177
Jul.	25.6	27.5	28.3	30.0	23.5	25.7	310	52	14.3	8.0	142	183
Aug.	27.1	28.2	30.1	31.4	24.6	25.7	292	232	14.2	12.0	184	245
Sep.	23.9	24.2	27.4	27.4	21.1	21.7	197	103	10.3	11.0	176	155
Oct.	19.3	19.8	23.4	22.9	15.9	17.1	82	231	6.1	8.0	207	172
Nov.	14.1	13.8	18.2	17.3	10.6	10.2	71	7	7.4	5.0	171	187

* Data : KMA, 2018

** Normal year : The normals from 1981 to 2010

*** Data of the Seogwipo weather station in 2017

$$\text{Degree of disease severity on fruits (\%)} = \frac{(1 \times A) + (3 \times B) + (5 \times C) + (7 \times D) + (9 \times E)}{(\text{No. of total survey} \times 9)} \times 100$$

* A; 발병면적 1% 미만, B; 1~5% 이하, C; 6~25%이하, D; 26~50%이하, E; 51% 이상

$$\text{Disease incidence on fruits (\%)} = \frac{\text{No. of infected}}{\text{No. of total survey}} \times 100$$

6) 시험기간의 기상현황

포장시험 기간의 기상현황은 서귀포 기상대의 기후 자료를 활용하였으며 (KMA, 2018), Table 2에 나타내었다.

2. 곽응애 방제 효과

1) 시험장소

바이오 황을 이용한 곽응애의 방제 시험은 비가림 시설에서 재배중인 5년생 하례조생을 공시품종으로 하여 2017년 10월 15일부터 11월 5일까지 수행하였으며, 효과를 구명하기 위하여 곽응애가 자연 발생한 제주특별자치도 서귀포시 남원읍에 위치한 감귤연구소(농촌진흥청 국립원예특작과학원) 시험포장에서 실시하였다. 그리고 시험기간의 기상은 Table 2와 같다.

2) 시험방법

바이오 황에 의한 곽응애 살비 효과를 비교하기 위하여 약제를 살포하지 않은 무처리구, 일반 농가와 친환경 농가에서 주로 사용하는 살비제인 기계유 유제 1%와 바이오 황 0.1%와 0.2%를 처리하였으며, 약제는 충전식 분무기(쥬대성, 20ℓ)를 이용하여 잎당 2~3마리 발생한 나무에 주당 5ℓ 정도 약제를 잎 전체에 골고루 살포하였다. 시험은 완전임의배치법으로 3회 반복으로 실시하였고 2017년 10월 15일에 약제를 살포하였으며 3일, 7일 14일, 21일 후 1주당 동서남북의 방

향에서 발생한 25잎씩 100잎에 대한 곁응애를 조사한 후 20잎으로 환산하고 생충율과 방제가를 산출하여 방제 전과 후를 비교하였다(농촌진흥청, 2012).

$$\text{Surviving rate (\%)} = \frac{\text{Density of after treatment}}{\text{Density of before treatment}} \times 100$$

$$\text{Control value (\%)} = \frac{(\text{Non-treatment plot } 20 \text{ leaves}^{-1} - \text{Treatment plot } 20 \text{ leaves}^{-1})}{\text{Non-treatment plot } 20 \text{ leaves}^{-1}} \times 100$$

3. 황산화균과 바이오 황을 이용한 곁분액비 제조

1) 곁분액비 제조 재료 및 황산화균 배양

액비 제조에 사용된 재료는 곁분(㈜제주비료, 한국), 바이오 황 현탁액(바이오 황, ㈜토탈아그로, Agricultural corporation totalagro Co., Inc, 한국) 및 황산화균 (*Acidithiobacillus thiooxidans*)을 사용하였다. 곁분의 인산 함량은 20.3%이며, 바이오 황 현탁액은 황 함량 50%와 약간의 무기양분이 포함되어 있다(Table 3). 농업현장에서 쉽게 이용될 수 있도록 액비의 제조 과정을 단순화하기 위해 곁분과 바이오 황 현탁액은 멸균하지 않고 사용하였다.

A. thiooxidans(KCTC No. 4515)는 한국생명공학연구원 생물자원센터에서 분양 받았으며, 배양액은 50 ml의 KCTC Media No. 1053 medium((NH₄)₂SO₄ 0.2 g, MgSO₄·7H₂O 0.5 g, K₂HPO₄ 3.0 g, FeSO₄·7H₂O 10.0 mg, CaCl₂·2H₂O 250.0 mg, Sulfur 10 g in D.W. 1 L)에 *A. thiooxidans* 100 μl을 접종하였고, 배양액 pH는 0.5 M 황산을 이용하여 pH 3.0으로 조절하여 사전 배양하였다.

미생물 배양은 500 ml 삼각플라스크에 순수 황 10 g을 첨가하여 121℃에서 15분 동안 3회 고압 멸균 시켜 제조하였다. 멸균한 medium 1053 액체 배지 200 ml를 사전 배양된 *A. thiooxidans* 10 ml를 접종 후 25℃에서 100 rpm으로 20일

동안 진탕 배양하였다. 배양된 *A. thiooxidans*은 미라클로스(Mira cloth, Calbiochem corporation, USA)로 여과 후 미생물의 밀도는 분광광도계(Optizen POP, Mecasys, Korea)를 사용하여 600 nm에서 흡광도를 측정하였다. Bioleaching 시험에 사용된 *A. thiooxidans*의 밀도는 6.0×10^8 cells ml^{-1} 이었다.

Table 3. Chemical properties of bone meal and bio-sulfur suspension used for shake-flask leaching experiments

Materials	pH (1:5)	O.M. (%)	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na	T-S	NO ₃ -N mg kg ⁻¹
Bone meal*	-	50.4	3.13	20.3	0.32	24.2	0.94	-	-	-
Bio-S**	8.05	-	-	0.00	1.11	1.62	1.26	6.55	50	300

* Total elemental contents

** Water-soluble elemental contents

2) 황산화균(*A. thiooxidans*), 바이오 황 현탁액 및 골분의 혼합 비율

골분에 함유된 인산의 용해도를 높일 수 있는 최적 조건을 결정하기 위해 *A. thiooxidans*의 접종량, 바이오 황의 농도 및 골분 첨가량은 shake-flask 용출 시험을 통해 수행하였다(Table 4).

미생물 접종량은 멸균된 250 ml 삼각플라스크에 멸균수 100 ml, 바이오 황 2%를 넣고 *A. thiooxidans*를 0%, 5%, 10%, 20%를 각각 접종하였다. 미생물의 에너지원으로 사용되는 바이오 황 첨가 효과는 0%, 0.5%, 1%, 2%, 5%를 각각 넣고 *A. thiooxidans* 10%를 접종하였다. 25°C, 120 rpm으로 5일간 배양하여 *A. thiooxidans*로부터 충분한 양의 황산이 생성될 수 있도록 하였으며 5일간 배양 후에 삼각플라스크에 골분 10%를 첨가하여 다시 45일 동안 배양하였다.

골분의 첨가 비율은 멸균된 250 ml 삼각 플라스크에 멸균수 100 ml, *A. thiooxidans* 10%, 바이오 황 5%를 넣고 5일간 사전(진탕) 배양한 후 골분 첨가량을 2%, 4%, 10%로 조절하여 위와 동일한 조건에서 배양하였다. 또한 친환경 농가에서 주로 사용하는 관행 골분액비를 제조하여(골분 2 kg, 당밀 300 ml, 건조 효모 150 g, 물 10 l) 150일 배양하여 본 연구의 골분액비와 수용성 인산 함량

을 비교하였다(An et al., 2014).

골분액비 현탁액의 pH와 수용성 인산의 농도는 배양 1, 5, 6, 10, 20, 30, 40, 50일에 무균 상태에서 pH meter(Orion Star A211, Thermo, USA)로 pH를 측정 한 후에 현탁액 3 ml를 채취하여 0.45 millipore filter로 여과한 후 희석하여 인산을 분석하였다. 수용성 인산의 함량은 이온크로마토그래프(Metrohm 940 professional IC Vario, Switzerland)로 PO₄를 측정하여 P₂O₅로 환산하였다. 골분액비 현탁액의 무기 원소 함량은 양이온(K, Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Cu, Zn)은 유도결합플라즈마발광광도계(ICP-OES, Optima, 7300DV, PerkinElmer, USA), NO₄-N은 MgO로 알카리화하여 Kjeldahl 정량법, 음이온(Cl, NO₃, PO₄, SO₄)은 이온크로마토그래프(940 professional IC Vario, Metrohm, Swiss)로 측정하였다.

Table 4. Conditions of shake-flasks leaching experiments

Set	<i>Acidithiobacillus thiooxidans</i> (v/v, %)	Bio-sulfur suspension (v/v, %)	Bone meal (w/v, %)	Deionized water (ml)
A	0, 5, 10, 20	2	10	100
B	10	0, 0.5, 1, 2, 5	10	100
C	10	5	2, 4, 10	100

4. 골분액비 시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향

1) 공시재료

공시품종은 (주)농우바이오(한국)의 “진미알타리무”를 사용하였으며, 시비량은 국립농업과학원(RDA, 2019)의 표준시비량을 기준으로 시비하였다(Table 5). 시험에 사용한 비료는 요소(주남해화학, N 46%), 용성인비(주풍농, P 17%, 고토 12%, 알카리분 40%), 염화칼리(주남해화학, K 60%), 골분(주제주비료, N 3%, P 17%, 유기물 30%), Phosphoric Acid(H₃PO₄=98.00, 주대정화금)와 위에서 제조한 골분액비를 사용하였다(Table 6).

Table 5. The recommended amount of fertilization used in ponytail radish cultivation experiment

	Basal fertilization (kg/10a)	Additional Fertilization (kg/10a)	Total (kg/10a)
N	2.6	4.9	7.5
P	3.0	0	3.0
K	1.5	1.5	3.0

Table 6. pH of bone meal liquid fertilizer according to the dilution level

Undiluted solution	10%	1%	0.5%
2.49	3.11	3.55	3.77

2) 골분액비의 토양 및 엽면시비 효과

시험장소는 제주특별자치도 대정읍 보성리 소재의 비가림 시설하우스 내에서 2020년 5월 26일부터 7월 19일까지 수행하였다. 8반복 완전임의배치법으로 포트(지름 15 cm, 높이 20 cm)를 배치하였고, 화산회토양에 알타리무 종자를 3~4립씩 파종하여 본엽이 2~3장 되었을 때 1주만 남게 솎아 주었다. 물은 3일 간격으로 250 ml 관주하였다.

① 골분액비의 토양시비 효과

비료를 주지 않은 무처리구, 표준처리구와 N, K를 기비로 시비한 시험구에 골분을 시비하였고, 골분액비 10% 처리구는 물에 희석하여 6일 간격으로 1주당 20 ml씩 총 5회 관주하였다.

② 골분액비의 엽면시비 효과

비료를 주지 않은 무처리구와 N, K를 기비로 시비한 시험구에 골분액비 10%, 1%, 0.5%와 농가에서 관행적으로 사용하는 인산 0.1%를 본엽이 4~5장 되었을 때 1주일 간격으로 1주당 20 ml씩 총 4회 엽면시비하였다.

생육조사는 2020년 7월 19일에 수확 후 초장, 엽수, 근경, 엽면적(AM300,

Portable Leaf Area Meter, Opti-Sciences, Inc. USA) 등을 조사하였고, 엽록소 함량은(chlorophyll meter SPAD-502, Minolta, Japan)를 이용하여 잎 당 10반복 1회 평균값으로 10회 측정하여 조사하였다.

알타리무 재배 전 토양의 화학적 특성을 Table 7과 같다.

Table 7. Chemical properties of the soil at the experimental site

pH (1:5)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Exchangeable cations (cmol _c kg ⁻¹)			EC (dS m ⁻¹)
			Ca	K	Mg	
4.72	132.58	69.50	1.48	0.64	0.47	0.43

3) 토양 화학성 분석

토양시료는 풍건시킨 후 2 mm 체에 통과된 것을 분석시료로 사용하였으며, 토양 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하였다. 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5 (w:v) 비율로 1시간 동안 진탕 후 pH meter (Orion Star A211, Thermo, USA)로 측정하였다. 토양 유기물과 유효인산 함량은 각각 Walkley and Black법과 Lancaster method으로 분석하였다. 치환성양이온(K, Ca, Mg 및 Na)은 1N ammonium acetate(pH 7.0) 용액으로 침출하여 유도결합플라즈마발광광도계(ICP-OES, Optima 7300DV, PerkinElmer, USA)를 이용하여 측정하였다.

5. 통계분석

통계분석은 SAS 프로그램(version 9.0, SAS Institute)을 이용하여 Duncan's multiple range test에 의해 P<0.05 범위에서 유의성을 검정하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 감귤 더듬이병 및 검은점무늬병 발병 억제 효과

1) 감귤 더듬이병 균사 성장 억제 실험

바이오 황 처리 농도별 감귤 더듬이병균의 균사 성장 억제 효과는 감귤 더듬이병균을 배양하여 균사를 관찰한 결과는 Table 8에 나타났다. 접종 40시간과 88시간 후 균사는 바이오 황 0.2%, 0.1%, 0.05% 처리구에서 균사 형성이 억제되었으며, 바이오 황 0.025% 이하 농도에서는 균사가 형성되었으나 무처리구 보다 생장이 억제되었으며, 시간이 경과함에 따라 균사가 많이 성장되었다(Fig. 1, 2). 이는 바이오 황이 고농도에서는 감귤 더듬이병 균사의 형성 및 성장 억제 효과가 있으며 저농도에서도 억제 효과가 낮지만 성장에 영향을 미친 것으로 판단된다.

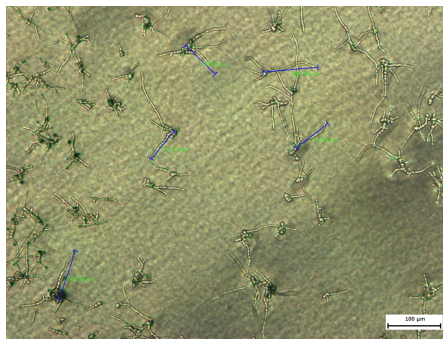
1845년 이후 미국에서는 유황을 이용하여 포도 과원에서 흰가루병과 응애에 대한 살균제 및 살비제로 광범위하게 사용되었다(Shim, 2014; Buchanan et al., 1992; Emmett et al., 1992). 이(2017)는 황토유황합제의 유황 함량이 2.50%, 1.25%, 0.63%와 0.31%인 PDA배지에 키다리병균 RF-240과 RF-248을 접종 7일 후 균사 성장을 조사한 결과 유황 함량이 2.50% 처리구에서는 RF-240과 RF-248균 접종 7일 후에는 균사 생장이 각각 87.8%와 85.7%로 억제되었고 0.63% 처리구에서는 각각 69.9%와 75.2%로 억제되었다. Ko(2019)는 바이오 황이 항균 효과를 가지고 있어 오이탄저병의 부착기 형성을 감소시켜 병을 억제한다고 보고하였는데, 바이오 황도 발아관 형성과 균사의 성장을 억제시켜 감귤 더듬이병의 감염을 예방하는 효과가 있을 것으로 생각된다.

Table 8. Growth of hyphal on *Elsinoe fawcettii* according to bio-sulfur in concentrations

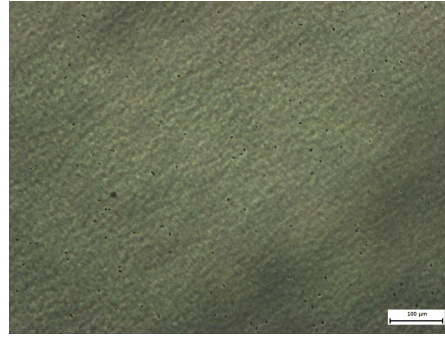
Treatments		40 hpi* (μm)	88 hpi (μm)
Non-treatment		88.1 \pm 3.53a**	115.4 \pm 4.13a
0.2%		0.0 \pm 0.00e	0.0 \pm 0.00e
0.1%		0.0 \pm 0.00e	0.0 \pm 0.00e
0.05%		0.0 \pm 0.00e	0.0 \pm 0.00e
Bio-S	0.025%	47.9 \pm 2.28d	66.1 \pm 3.45d
	0.0125%	52.4 \pm 1.83cd	74.7 \pm 3.11cd
	0.0063%	57.2 \pm 2.21c	77.8 \pm 3.43c
	0.0031%	66.9 \pm 3.19b	97.5 \pm 5.29b

* hpi : Hours post inoculation

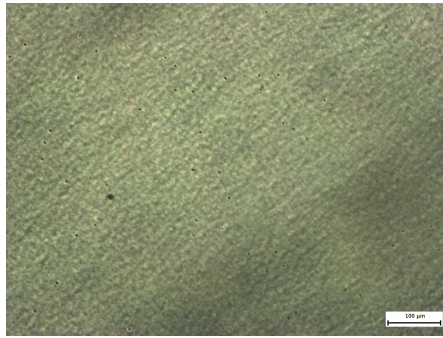
** Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different.



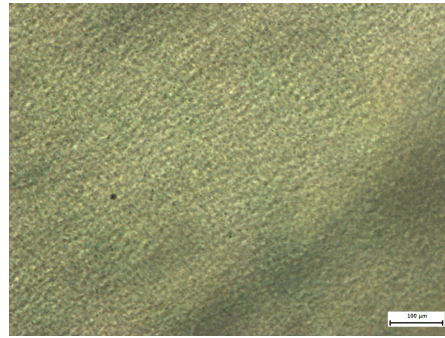
Non-treatment



Bio-S 0.2%



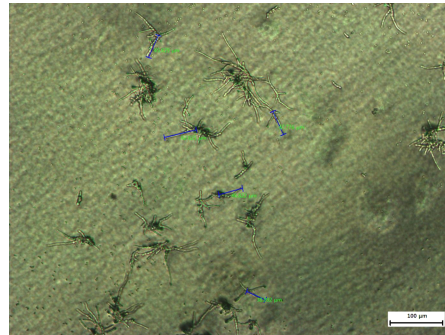
Bio-S 0.1%



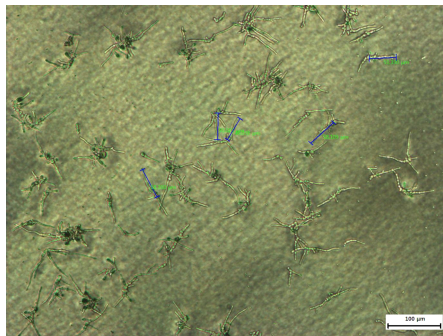
Bio-S 0.05%



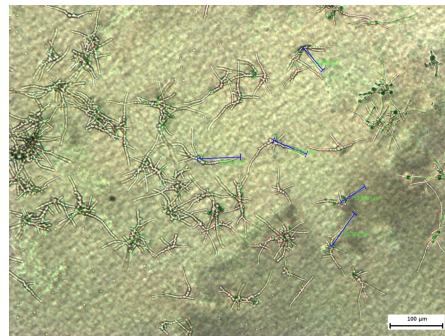
Bio-S 0.025%



Bio-S 0.0125%



Bio-S 0.0063%



Bio-S 0.0031%

Fig. 1. Observation of hyphal for *Elsinoe fawcettii* using optical microscope at 40 hpi.

* hpi: hours post inoculation

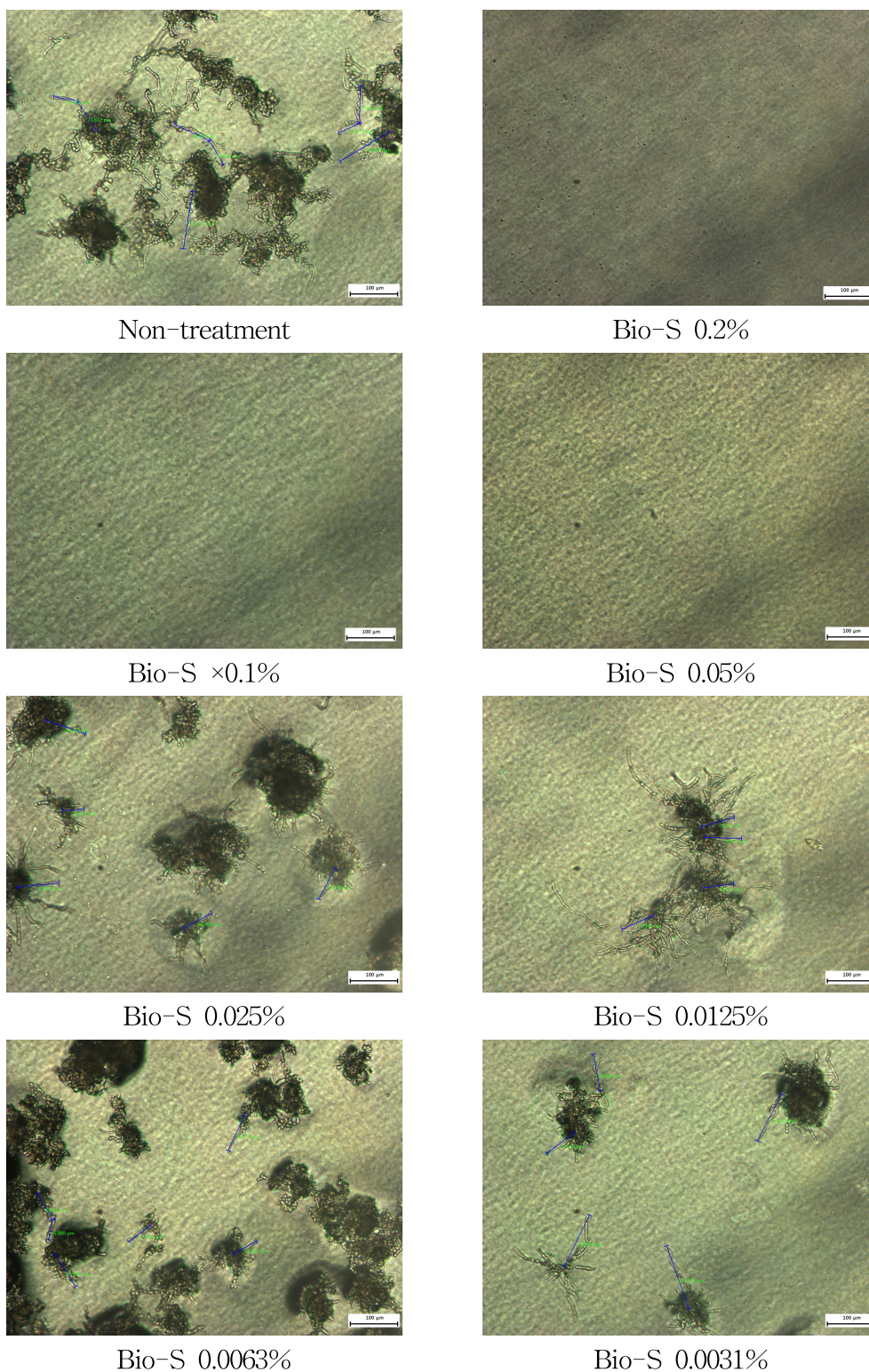


Fig. 2. Observation of hyphal for *Elsinoe fawcettii* using optical microscope at 88 hpi.

* hpi: hours post inoculation

2) 감귤 더뎡이병 발생 억제 효과

감귤 봄 잎에 대한 더뎡이병의 발병 억제 정도를 포장시험 결과는 Table 9에 나타냈다. 석회보르도액 2-4식과 6-6식은 모두 10.3%, 바이오 황 0.2%에서는 12.3%, 석회유황합제는 15.3%로 비슷한 경향을 보였다. 반면 바이오 황 0.1%에서는 24.0%로 비교적 높은 이병엽율을 보였다. 무처리구 이병엽율은 40.3%, Imibenconazole 수화제 이병엽율은 5.3%로 조사되었다.

방제 효과는 화학농약인 Imibenconazole 수화제가 86.8%로 가장 좋은 방제 효과를 나타냈으며, 석회보르도액 2-4식과 6-6식 74.4%, 바이오 황 0.2%에서는 69.5%, 석회유황합제는 62.0% 순이었으며, 바이오 황 0.1%가 40.4% 처리구 중 가장 낮게 조사되었다. 바이오 황 0.2%가 친환경 농가에서 주로 사용하는 유기농업 자재인 석회유황합제보다 방제가가 7.5% 높았으며, 석회보르도액 2-4식, 6-6식 보다 4.9% 낮게 조사되어 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 Hyun 등(2005)이 구리제가 더뎡이병에 75%의 방제 효과를 보여준 연구 결과와 비슷한 경향을 나타냈다. 이는 감귤 봄순에 더뎡이병의 발병이 많은 시기는 5월이며(Song, 1997), 2017년 5월 강수량은 59 mm로 평년 206 mm에 비해 매우 적어 전체적으로 더뎡이병 발생이 적은 것으로 생각된다(Table 2).

감귤 과실에 대한 바이오 황의 처리 농도별 더뎡이병의 발병 억제 효과를 알아보기 위하여 포장에서 약제를 살포한 결과는 Table 10과 같다. 무처리구 병든 과율은 79.3%였으며, 화학농약인 Imibenconazole 수화제 병든과율은 4.0%를 보였으며, 석회보르도액 2-4식 33.8%, 6-6식 42.0%, 바이오 황 0.2%에서는 43.3%, 석회유황합제 44.8%로 비슷한 효과를 나타냈으며, 반면 바이오 황 0.1%에서는 78.0%로 비교적 높은 병든과율을 보였다. 방제 효과는 화학농약인 Imibenconazole 수화제가 95.0%로 가장 좋았으며, 그 다음으로 석회보르도액 2-4식 57.3%, 6-6식 47.0%, 바이오 황 0.2% 45.8%, 석회유황합제 43.5%였으며, 바이오 황 0.1%가 1.6% 처리구 중 가장 낮게 조사되었다. 바이오 황 0.2%가 친환경 농가에서 주로 사용하는 석회유황합제보다 방제가는 2.3% 정도 높았으며, 석회보르도액 2-4식, 11.5%, 6-6식보다 1.2% 낮게 조사되어 큰 차이를 보이지 않았다.

감귤 잎보다 열매에서 더뎡이병의 방제 효과가 낮은 것은 감귤의 열매가 잎보다 표면적이 적기 때문에 상대적으로 방제 효과가 적게 나타났다고 생각된다. 감

굴 친환경 재배지에서는 감귤 더듬이병이 빈번하게 발생하는데, 특히 전년도 발생한 농장에서는 감염된 가지나 잎에 감귤 더듬이병균이 남아 있어 발병 조건이 좋을 경우 봄순과 과실 등으로 이병되어 발생한다(David, 1988; Hyun et al., 2001; Oh et al., 2005)(Fig. 3.).

Cha 등(2000)은 전국 125개 포도 재배농가를 대상으로 조사하여 병충해 발생 시 대응 방법, 수량 감소 피해율을 조사하여 적기 방제로 과도한 농약 사용을 줄이고 노동력과 영농 비용 절감을 제시하였다. 감귤 더듬이병은 노지 포장에서 발병율이 가장 높은 병해지만 약제를 적기에 살포할 경우 높은 방제 효과를 얻을 수 있어 피해를 최소화할 수 있다(Koh et al., 1996)고 하였는데, 적기에 처리할 경우 바이오 황은 곰팡이병에 효과가 뛰어나 살균제로 사용될 수 있다(Janssen et al., 2009).

따라서 감귤 더듬이병은 봄순이 전개되는 5월부터 감귤의 잎에 발생하기 때문에 봄순이 발아되는 4월 중하순부터 예방으로 방제를 시작하고, 예찰을 통해 적기 방제하면 높은 방제율과 노동력 및 영농 비용 등을 절감할 수 있을 것으로 생각된다.

Table 9. Effect of bio-sulfur on *Elsinoe fawcettii* disease incidence and control of citrus leaf in open field

Treatments	Disease incidence of leaf (%)	Control value (%)
Non-treatment	40.3±7.0a*	–
Imibenconazole	5.3±0.5c	86.8
0.2%	12.3±4.8bc	69.5
Bio-S		
0.1%	24.0±2.5b	40.4
Bordeaux		
2-4	10.3±3.0bc	74.4
mixture		
6-6	10.3±4.7bc	74.4
Lime sulfur	15.3±5.3bc	62.0

* Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different.

Table 10. Effect of bio-sulfur on *Elsinoe fawcettii* disease incidence and control of citrus fruit in open field

Treatments	Disease incidence of fruit (%)	Control value (%)
Non-treatment	79.3±9.8a*	—
Imibenconazole	4.0±1.7c	95.0
0.2%	43.3±9.6b	45.8
Bio-S		
0.1%	78.0±2.5a	1.6
Bordeaux		
2-4	33.8±8.3b	57.3
mixture		
6-6	42.0±6.5b	47.0
Lime sulfur	44.8±12.4b	43.5

* Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different.



Leaf



Fruit

Fig. 3. Symptoms of *Elsinoe fawcettii* disease on the leaves and fruit of citrus.

3) 감귤 검은점무늬병 발생 억제 효과

감귤 과실에 대한 검은점무늬병의 발생 억제 정도를 알아보기 위하여 포장시험한 결과는 Table 11과 같다. 과실의 발병도는 무처리구 70.6%, 만코제브 수화제 처리구 10.3%, 석회유황합제 + 기계유 유제 처리구 32.2%, 석회유황합제 처리구 53.9%, 바이오 황 0.2% 처리구 58.8%, 바이오 황 0.1% 처리구 58.1%로 조사되었다. 바이오 황 처리구가 석회유황합제 처리구보다 과실 발병도가 약간 높았으나 통계적으로 유의성은 없었다.

병든과율은 무처리구 89.9%, 만코제브 수화제 0.6%, 석회유황합제 + 기계유 유제 33.0%, 석회유황합제 72.5%, 바이오 황 0.2% 78.2%, 바이오 황 0.1% 80.7%로 조사되어 과실 발병도와 비슷한 결과로 친환경 농가에서 사용 중인 석회유황합제와 비슷한 효과가 나타나는 것으로 조사되었다.

Park 등(2014)은 유자의 검은점무늬병 방제를 위한 유기농업 자재 효과 시험 결과 무처리구 이병엽율은 평균 23.0%, 석회보르도액은 6.3%, 유황과 천매암의 혼합제형은 7.0%라고 보고하였다. 구리제에 의한 약해가 발생하여 잎이나 과실에 검은 점이 생성되며 새순이 괴사하고 오래된 잎이 낙엽된다고 하였다(Setsuo, 1991; Schutte et al., 1997). 구리제에 첨가되는 석회에 의해서 증산이 촉진되고 잎이 빨리 경화되면서 피해를 줄이기 위해 광합성이 감소한다고 보고하였다(Horsfall and Harrison, 1939). Hyun 등(2005)은 자가 제조된 보르도액에서 약해가 많이 발생하였으며, 새순이 어릴수록 구리 피해 정도가 심하였고 구리제에 기계유 유제를 혼용하여 살포하면 구리 피해가 감소되었다고 보고하였다.

Yi 등(2014)은 인공강우 조건에서 만코제브수화제 성분의 고착성 증진 효과 시험한 결과 살포 직후는 만코제브수화제 단독 처리구에서 가장 많은 부착량을 보였고, 강우 처리 10시간 후에는 만코제브수화제 + 파라핀유 0.1% 혼용 처리구에서 과실 표면에 부착된 만코제브수화제 함량이 $7.43 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ 로 가장 많았다고 보고하였다. 만코제브수화제 등의 농약에 오일이나 라텍스 등의 보조제를 혼용하여 살포하면 내우성이 훨씬 증가된다고 보고되었다(Bruhn et al., 1982; van Bruggen et al., 1986; Kudsk et al., 1991; Fife and Nokes, 2002). 석회유황합제와 기계유 유제를 혼용하여 살포한 처리구에서 33.0%로 낮아 병든과율이 기계유 유제에 의해 내우성이 증가된 것으로 생각된다. 감귤 검은점무늬병의 주 발생시

기는 6~8월이며(Hyun et al., 2013), 검은점무늬병의 발병도가 급격하게 증가하는 원인은 6월 중순경부터 강우와 잎의 수분 상태가 병포자 형성에 크게 영향을 미친다고 보고하였다(Hyun, 2005). 시험기간 동안 서귀포기상대 기준 2017년과 평년 6월 강수량은 247, 277 mm로 많았고, 7월은 52, 310 mm로 평년보다 적었지만, 8월은 232, 292 mm로 강수량이 많아 방제가 낮은 것으로 생각된다(Table 2).

최근 들어 상대적으로 7월 강우가 줄어들고 8월에서 9월에 강우가 많아지는 경우가 많아지고 있고, 예전에 비하여 전정이 많이 이루어지지 않기 때문에 검은점무늬병 발생에 영향을 주고 있다고 보고와 같은 유사한 경향이었다(Hyun. et al., 2015).

Table 11. Effect of bio-sulfur on the occurrence of in *Diaporthe citri* in citrus fruits in the open field condition

Treatments	Degree of disease severity on fruits (%)	Disease incidence on fruit (%)
Non-treatment	70.6±6.8a*	89.9±3.9a
Mancozeb	10.3±0.3d	0.6±0.4d
0.2%	58.8±5.0b	78.2±9.1ab
Bio-S		
0.1%	58.1±6.8b	80.7±8.0ab
Sulfur lime 1% + Machine oil 0.75%	32.2±6.4c	33.0±8.2c
Sulfur lime 1%	53.9±3.7b	72.5±10.7b

* Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different



Fruit



Leaf

Fig. 4. Typical symptoms of *Diaporthe citri* on fruits and leaves of citrus field.

2. 꺾임에 방제 효과

꺾임에 대한 바이오 황의 살비 효과를 포장시험 결과는 Table 12와 같다. 생충율은 약제 처리 3일 후 무처리구 197.6%, 기계유 유제는 2.9%, 바이오 황 0.2%, 5.8%, 바이오 황 0.1%는 9.0% 방제율은 약제 처리 3일 후 바이오 황 0.1%는 73.2%로 가장 낮았으며, 기계유 유제와 바이오 황 0.2%는 각각 96.4%, 94.6%로 높은 방제율을 보였다. Yang(1997)은 4년 동안 유황을 살포한 결과 꺾임을 방제 효과를 확인하였고, 유황 살포는 과실의 착색을 좋게하는 부가적인 효과가 있다고 보고하였다. 기계유 유제와 바이오 황의 방제율이 비슷하여 바이오 황에 포함된 산 성분에 의한 생충의 생장 저해로 살비 효과가 높은 것으로 사료된다

Wang 등(1996)은 응애 성충에 기계유 유제 살포가 수화제보다 18배 더 효과가 있다고 보고하였다. 바이오 황의 감귤 더듬이병, 검은점무늬병, 꺾임에 방제에 대한 효과는 다소 차이가 있으나 황 성분과 살포액에 포함된 황산 이온에 의한 작용 기작은 유사한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 감귤 더듬이병, 검은점무늬병, 꺾임에 동시 방제에 대한 연구와 방제 효과를 높이기 위한 바이오 황과 오일류의 혼합 살포에 대한 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

Table 12. Effect of bio-sulfur and several treatments on the surviving rate and control value of *Panonychus citri* in the experimental field

Treatments	Mite density on day before treatment*	Surviving rate (%)			Control value (%)		
		3 DAT**	7 DAT	14 DAT	3 DAT	7 DAT	14 DAT
Non-treatment	56	197.6±3.0b***	166.4±2.0b	289.3±4.0c	-	-	-
Machine oil 1%	46	2.9±1.3a	12.2±2.6a	12.5±3.8a	96.4	93.7	94.4
0.2%	36	5.8±2.4a	16.4±4.3a	23.2±4.6a	94.6	89.9	92.9
Bio-S							
0.1%	52	9.0±3.0a	17.0±4.0a	117.1±2.0b	73.2	65.8	59.5

* Mite density per leaf before treatment: No. 20 leaf

** Days after treatment

*** Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different



Fig. 5. Photos of *Panonychus citri*.

3. 황산화균과 바이오 황을 이용한 골분액비 제조

1) 골분액비 현탁액의 pH 변화

*Acidithiobacillus thiooxidans*는 호기성 환경에서 성장하는 독립영양균으로써 순수 황과 환원된 황화합물을 산화시켜 성장에 필요한 에너지를 얻고 생물학적으로 황산을 생성하여 현탁액의 pH를 낮춘다(Chi et al., 2006; Rajan, 1983). 미생물 접종량과 바이오 황 첨가량에 따른 골분액비 현탁액의 pH 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 바이오 황 2%에 *A. thiooxidans*의 접종량을 각각 0%, 5%, 10%, 20%로 조절한 조건에서 *A. thiooxidans* 현탁액의 pH(pH 1.14) 영향으로 *A. thiooxidans*를 접종하지 않은 무처리를 제외하고 초기 pH는 2.52에서 1.99로 미생물 접종량이 많을수록 낮았다. *A. thiooxidans*를 접종한 처리구는 박테리아의 대사활동에 의해 배양 5일 후 pH가 2.3에서 1.5로 낮아졌다. 골분(10%)을 첨가한 후부터 pH는 4.5까지 증가하였으나 50일 경과 후에는 3.04~3.51로 미생물 접종량에 의한 pH 차이는 없었다. *A. thiooxidans*를 접종하지 않은 무처리는 50일 간의 시험 기간 동안 pH가 6.79~7.0으로 변화가 크지 않았다(Fig. 6a).

바이오 황을 0%, 0.5%, 1%, 2%, 5%의 농도별로 *A. thiooxidans*를 10%를 접종한 후의 pH 변화를 조사한 결과는 Fig. 6b와 같다. 바이오 황 무처리구에서 pH가 지속적으로 증가하여 50일에는 pH 8.32까지 높아졌다. 바이오 황 처리구에서는 첨가량이 증가할수록 pH가 감소하였으며, 특히 바이오 황 5% 첨가시 pH는 50일에 1.92로 가장 낮았다. 이는 접종된 *A. thiooxidans*의 활발한 대사작용에 의해 황산이 생성된 결과로 판단되며, Han 등(2009)과 Bhatti와 Yawar(2010)의 보고와 유사한 경향을 보였다. Bhatti와 Yawar(2010)은 sulfur-mud에 *A. thiooxidans*와 *A. ferrooxidans* 접종 후 pH 변화를 조사한 결과 *A. ferrooxidans* pH 2.5에서 1.54, *A. thiooxidans*는 pH 1.40으로 낮아졌다고 보고한 바 있다. 황산화균을 이용하여 화학합성에서 미생물에 의한 용출 시험을 수행하였으나 본 연구에서 사용된 바이오 황은 황(50%)과 무기양분(N, P, K)이 함유되어 있어 미생물의 에너지원으로 이용될 수 있어 화학합성 배지를 사용하지 않고도 황산화균의 성장에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

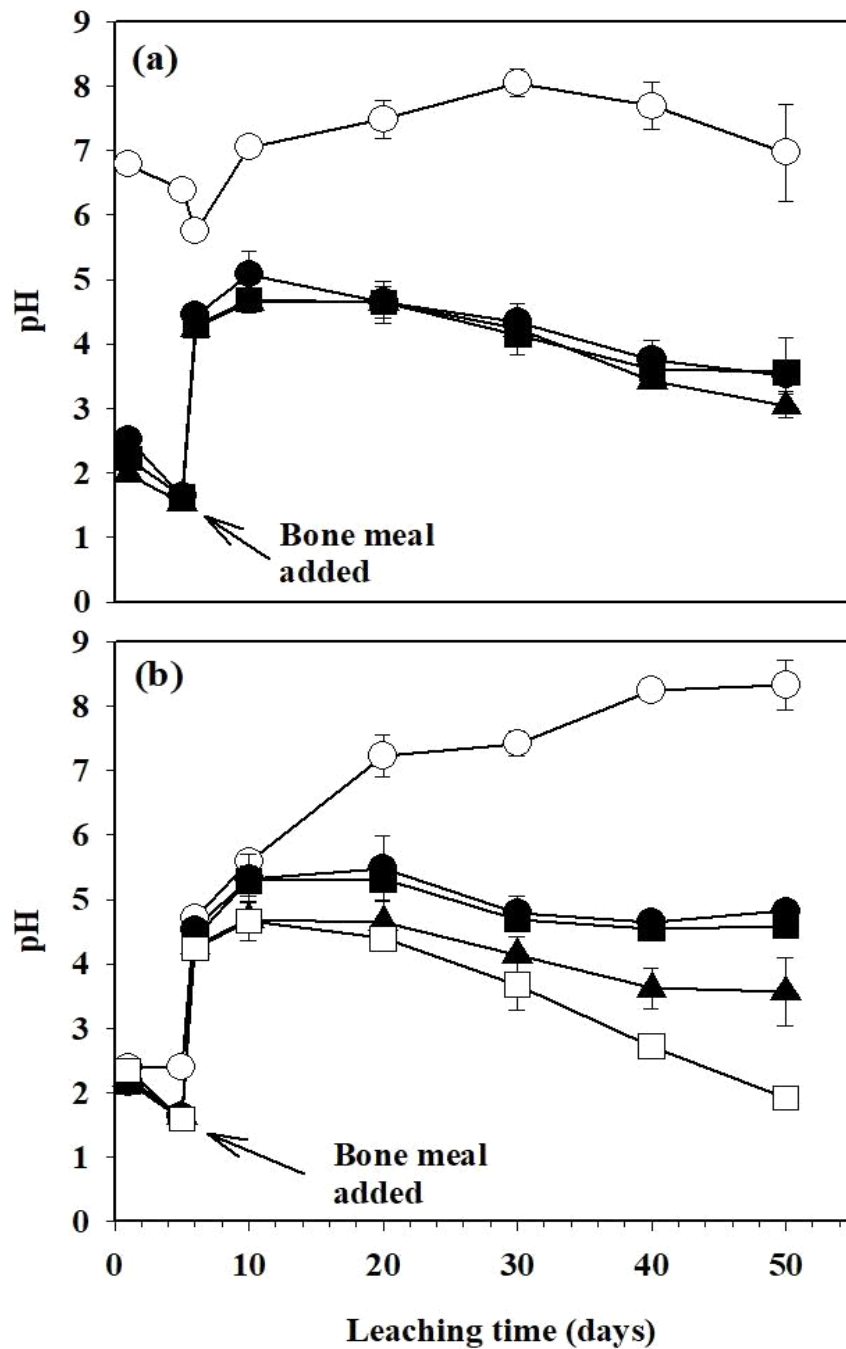


Fig. 6. pH of leaching suspensions solution during bioleaching of bone meal by adding *A. thiooxidans* and bio-sulfur suspension solution by shaking for 50 day in room temperature.

(a) *A. thiooxidans* (○, 0%; ●, 5%; ■, 10%; ▲, 20%)

(b) bio-sulfur suspension (○, 0%; ●, 0.5%; ■, 1.0%; ▲, 2.0%; □, 5.0%)

2) 골분액비에서 용출된 가용성 인산 함량

*A. thiooxidans*의 접종량과 바이오 황 첨가량에 따른 골분액비에서 용출된 가용성 인산 함량 변화는 Fig. 7에 나타내었다. *A. thiooxidans*를 접종하지 않은 무처리에서는 50일 배양 기간 동안 인산 농도가 $0.05 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 로 큰 변화가 없었다. 반면에 *A. thiooxidans*을 접종한 처리구는 20일 이후부터 인산 함량이 급속히 증가하였다. 배양 20일 후 부터 *A. thiooxidans* 접종량이 많을수록 인산 함량이 약 1.5배 높았으나 30일 이후부터는 미생물이 충분히 성장함에 따라 *A. thiooxidans*의 접종량에 의한 인산 농도의 차이는 없었다(Fig. 7a). 골분액비에서 가용화된 인산의 함량은 첨가한 바이오 황의 농도가 높아질수록 증가하였다.

바이오 황 첨가량을 조절한 조건에서는 바이오 황 무처리구가 바이오 황을 첨가한 조건에 비하여 매우 낮은 인산이 용해되었다(Fig. 7b). 이는 pH 변화(Fig. 6b)와도 일치하는 결과이다. 특히 바이오 황 5% 첨가한 조건에서 배양 기간이 30일에서 50일로 길어짐에 따라 골분액비 현탁액의 pH는 3.67에서 1.92로 낮아졌으며(Fig. 6b), 인산 함량은 $9.69 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 에서 $23.8 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 로 1.5배 증가하였다(Fig. 7b). Han 등(2009)은 배양액속에 황 성분이 많으면 황산화균의 생장이 활발하다고 보고한 바 있어 황산화균과 배양액속에 황산이온에 의한 결과로 판단된다.

생물학적 용출 과정에서 골분에 함유된 알칼리 광물이 용해되어 생물학적으로 생성된 황산을 중화시킨다(Bhatti and Yawar, 2010). 따라서 골분에서 인산의 가용화 효율을 높이기 위해서는 바이오 황과 같은 황의 첨가량을 증가시킬 필요가 있을 것으로 생각된다.

골분 첨가량에 따른 가용화된 인산 함량 변화는 Fig. 8에 나타내었다. 골분을 2%, 4%, 10% 수준으로 첨가시 인산 함량은 각각 6.11, 12.3 및 $16.4 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 으로 점차 높아졌다. 그러나 관행 골분액비의 수용성 인산 함량은 $1.04 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 로 매우 낮았는데, 이는 당밀에 포함된 인산 함량에 기인하는 것으로 보인다(Fig. 8). 이러한 결과로 보아 골분액비 제조 기간 동안 인산이 매우 느리게 침출되어 인산이 가용화되기 위해서는 인위적으로 인산 가용화 미생물이나, 유기산 성분의 첨가가 필요할 것으로 생각된다.

Table 13과 같이 골분(10%), 바이오 황(5%), *A. thiooxidans*(10%)을 이용하여

배양된 골분액비 현탁액에는 인산 뿐만 아니라 질소 및 칼슘 등도 가용화되어 있었다. 그러나 바이오 황이 첨가된 골분액비 현탁액은 pH 2.49로 매우 낮고 $\text{SO}_4\text{-S}(1.34 \text{ g L}^{-1})$ 도 함유되어 있어 작물 재배를 통한 생육 및 토양 환경에 미치는 영향을 추가적으로 연구할 필요가 있다.

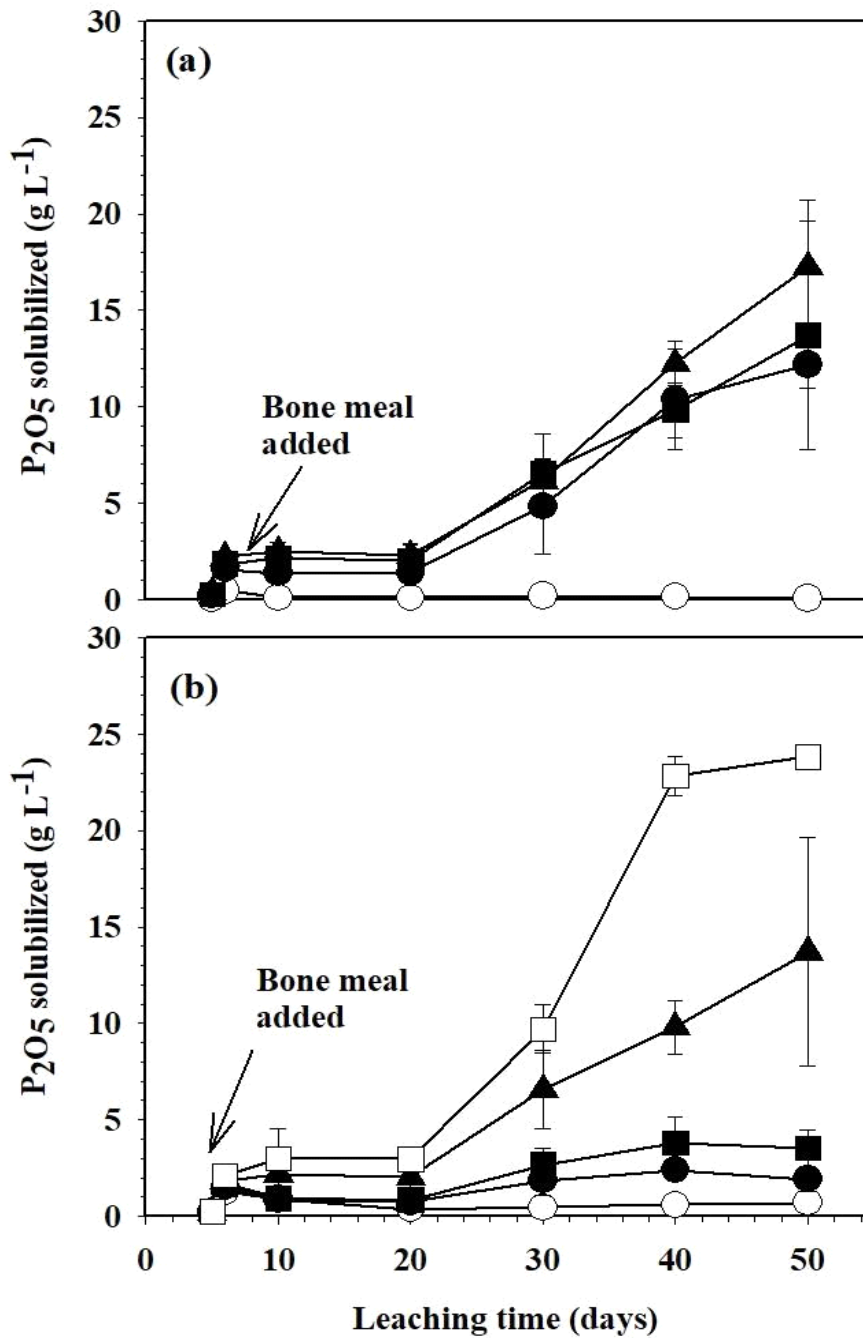


Fig. 7. Changes of phosphorus concentration in leach solutions obtained during bioleaching of bone meal by adding *A. thiooxidans* and bio-sulfur suspension solution by shaking for 50 day in room temperature.

(a) *A. thiooxidans* (○, 0%; ●, 5%; ■, 10%; ▲, 20%)

(b) bio-sulfur suspension (○, 0%; ●, 0.5%; ■, 1.0%; ▲, 2.0%; □, 5.0%)

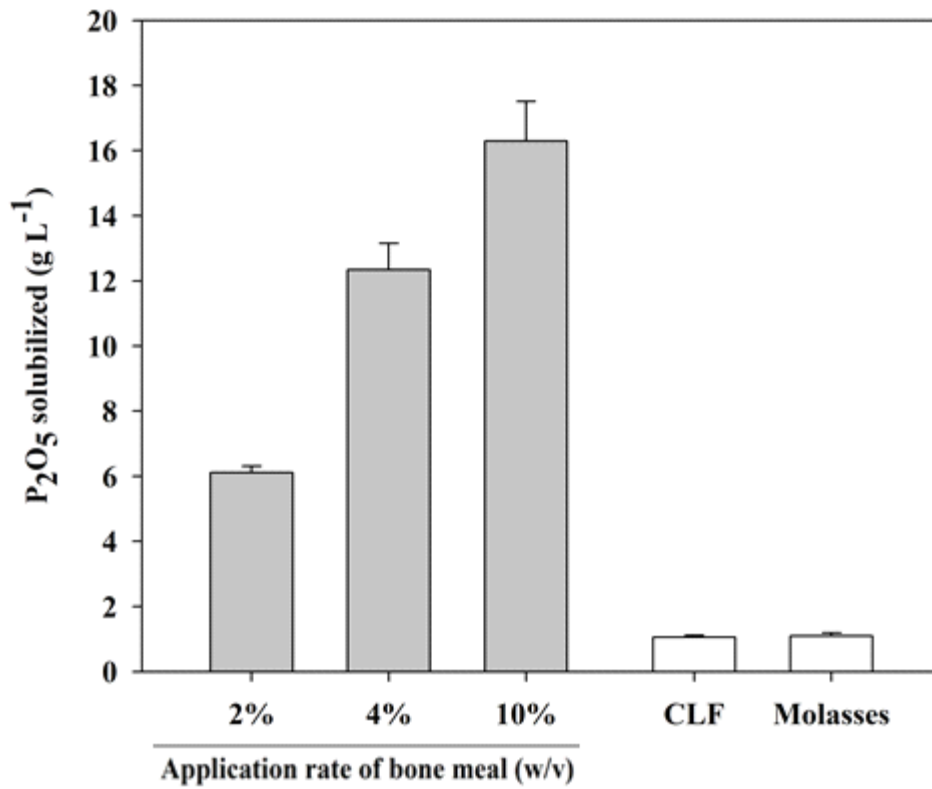


Fig. 8. Changes in solubilized phosphorus concentration according to bone-meal addition rate, and phosphorus concentration of conventional liquid fertilizer (CLF) and molasses.

Table 13. pH and water-soluble inorganic components of bioleaching solution by adding bio-sulfur and *A. thiooxidans* to bone meal*

pH	NH ₄ -N	NO ₃ -N	SO ₄ -S	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na	Fe	B	Mn	Zn	Cu
	(g L ⁻¹)										(mg L ⁻¹)		
2.49	0.53	0.51	1.34	16.4	0.16	3.54	0.78	1.29	4.40	1.18	0.05	7.88	0.12

* The pH and inorganic nutrient composition of liquid fertilizer prepared by adding bone meal 10% (w/v), bio-sulfur 5% (v/v), and *A. thiooxidans* 5% (v/v).

4. 골분액비 시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향

1) 토양시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향

알타리무를 pot에 55일 동안 재배하면서 골분액비의 토양 시비 효과를 알아보기 위해 무처리구, 표준처리구, NK+골분 처리구, NK+골분액비 10%를 관주 처리하여 생육 특성을 조사한 결과는 Table 14에 나타났다.

초장은 NK+골분액비 10% 처리구가 다른 처리구 보다 48.3 cm로 가장 길었으며, 표준처리구와 NK+골분 처리구는 차이가 없었다. 무처리구는 42.7 cm로 가장 짧았다. 엽수는 표준처리구와 NK+골분 처리구에서 각각 17.0개와 16.8개로 가장 많았으며, NK+골분액비 10% 처리구는 15개, 무처리구는 13.7개로 적었다. 엽면적은 NK+골분 처리구와 NK+골분액비 10% 처리구가 각각 331.5cm²와 367.5 cm²로 가장 넓었으며, 표준처리구>무처리구 순으로 적어졌다. 엽중 엽록소 함량을 SPAD를 이용하여 측정한 결과 NK+골분 처리구와 표준처리구에서 높았으며, NK+골분액비 10% 처리구, 무처리구 순이었다. 근장은 표준처리구, NK+골분 처리구, NK+골분액비 10% 처리구 모두 무처리구에 비해 길었다. 근경은 다른 처리구에 비해 NK+골분액비 10% 처리구가 61.2 mm로 가장 굵었으며, NK+골분 처리구와 표준처리구는 비슷하였고, 무처리구가 44.7 mm로 가장 얇았다. 생체중은 NK+골분처리구, NK+골분액비 10% 처리구, 표준처리구가 각각 575.7, 572.3, 539.6 g으로 차이가 없었으며, 무처리구 422.4 g보다 무거웠다. 건물중은 NK+골분액비 10% 처리구 26.3 g으로 가장 무거웠으며, NK+골분 처리구가 24.8 g과 표준처리구 20.8 g으로 차이가 없었으며, 무처리구 15.0 g으로 가장 가벼웠다.

생육조사 결과 NK+골분액비 10% 처리구가 엽수와 엽록소를 제외한 모든 생육 지표에서 높게 나타난 것은 액비 시비는 속효성으로 화학비료보다 약 70~100%의 비효를 나타내기 때문에(RDA, 2002) 알타리무 생육을 촉진한 것으로 보인다. 시험에 사용된 골분액비는 골분(10%), 바이오 황(5%), *A. thiooxidans*(10%)을 이용하여 배양을 한 것으로 인산뿐만 아니라 질소 및 칼슘 등의 양분이 있어서(Table 13) 알타리무 생육이 좋은 것으로 생각된다. 또한, 액비는 식물이 필요로 하는 양분을 공급하는 효과 외에도 토양에 유익한 미생물을 활성화시켜 미생물 대사산물에 의해 뿌리 보호, 발근 촉진 등 작물 생육에 유익한 효과를 나타낸

다(Kai et al., 1990; Elad and Shtienberg, 1994).

결과적으로 N와 K를 밑거름으로 시비하고 골분액비 10% 관주 처리 하면, 화학비료나 골분으로 공급되는 인산을 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 14. Effect of soil fertilization of bone meal liquid fertilizer on growth and yield of ponytail radish in green house

Treatments	Plant height (cm)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	Chlorophyll (SPAD)	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Fresh weight/plant (g)	Dry weight/plant (g)
A*	42.7±5.0b**	13.7±0.8b	254.4±41.4c	32.0±2.0b	14.6±1.1b	44.7±1.9c	422.4±77.9b	15.0±4.0c
B	47.2±0.6ab	17.0±0.8a	295.1±26.1bc	35.1±0.6a	17.3±1.0a	53.1±3.8b	539.6±22.5a	20.8±1.2b
C	44.0±0.8ab	16.8±2.1a	331.5±20.1ab	36.3±2.5a	18.9±2.2a	55.2±4.4b	575.7±81.0a	24.8±4.0ab
D	48.3±2.1a	15.0±0.8b	367.5±61.6a	34.5±1.2ab	17.2±1.7a	61.2±6.3a	572.3±45.3a	26.3±4.2a

* A, Non-treatment; B, Standard amount of fertilizer; C, NK + Bone meal; D, NK + Bone meal liquid fertilizer 10%

** Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different

알타리무에 대한 골분액비의 토양시비 시험 후 재배 토양의 화학성은 Table 15에 나타내었다.

토양 pH는 토양과 식물의 생육을 진단하는데 중요한 지표이다. 무처리구는 pH가 4.69, 표준처리구 4.37, NK+골분 처리구 4.36, NK+골분액비 10% 처리구 4.48로 무처리구에 비해 낮았다. 이는 염기용탈, 골분액비, 염화加里 시비 등에 의해 pH가 낮아진 것으로 생각된다.

전기전도도는 용액 중 전해질 이온의 세기를 나타내며 이온의 종류에 따라 다르지만 대체적으로 염류농도에 비례한다. 처리구별 전기전도도는 NK+골분 처리구 0.83 dS m^{-1} 으로 가장 높았고, 표준처리구와 NK+골분액비 10% 처리구가 0.80 dS m^{-1} , 무처리구는 0.60 dS m^{-1} 으로 가장 낮았다. 유기물 함량은 NK+골분액비 10% 처리구는 73.4 g kg^{-1} 가장 많았고, NK+골분 처리구 70.2 g kg^{-1} , 표준처리구는 70.2 g kg^{-1} , 무처리구 67.1 g kg^{-1} 순으로 조사되었다.

유효인산은 토양에 흡착된 인산을 약산으로 용출시킨 인산을 의미한다. 인산은 화산재가 함유된 화산회성 토양에서 강하게 흡착하여 고정시키는 능력이 매우 크다. 유효인산은 시험 처리간 유의적인 차이는 없었으나, NK+골분액비 10% 처리구가 다른 처리구보다 함량이 많은 것은 골분액비 시비로 토양 중 인산 함량이 증가하였기 때문으로 생각된다.

토양 내 총 질소 함량은 무처리구와 표준처리구에서 각각 0.21, 0.19%로 가장 높았으며, NK+골분액비 10% 처리구와 NK+골분 처리구가 각각 0.15와 0.14%로 분석되었다.

치환성 K 함량은 무처리구에서 $0.55 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 가장 많았으며, 표준처리구 $0.51 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, NK+골분액비 10% 처리구와 NK+골분 처리구가 각각 0.45와 $0.38 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 적었다. 치환성 Ca은 무처리구가 $1.11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 가장 많았으며, 표준처리구 $0.79 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, NK+골분액비 10% 처리구와 NK+골분 처리구가 각각 0.73과 $0.58 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 적었다. 치환성 Mg은 무처리구가 $0.43 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 가장 많았으며, NK+골분액비 10% 처리구와 표준처리구가 각각 0.32와 $0.29 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, NK+골분 처리구가 $0.21 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 가장 적었다. 치환성 Na은 무처리구와 표준처리구가 각각 0.56과 $0.54 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 로 많았으며, NK+골분액비 10% 처리구가 $0.52 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, NK+골분 처리구가 $0.48 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 이었다.

위에 나타난 바와 같이 무처리구보다 시험 처리구에서 EC, 유기물 및 유효인산을 제외한 모든 토양의 양분 함량이 낮은 것은 Table 14에 나타난 바와 같이 시험처리구의 알타리무가 생육이 좋아 보다 많은 양분을 흡수했기 때문에 토양의 양분 함량이 감소한 것으로 생각된다. 그러나 골분액비 사용으로 인해 토양 pH가 낮아질 수 있으므로 수확 후 토양개량제 시비가 필요할 것으로 생각된다.

Table 15. Changes in the content of soil components after soil fertilization treatment

Treatments	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	T-N (%)	Exchangeable cations (cmol _c kg ⁻¹)			
						K	Ca	Mg	Na
A*	4.69a**	0.60b	67.1b	94.96a	0.21a	0.55a	1.11a	0.43a	0.56a
B	4.37b	0.80ab	70.2ab	99.18a	0.19a	0.51ab	0.79ab	0.29ab	0.54a
C	4.36b	0.83a	72.2ab	95.79a	0.14b	0.38c	0.58b	0.21b	0.48b
D	4.48b	0.80ab	73.4a	100.03a	0.15b	0.45bc	0.73b	0.32ab	0.52ab

* A, Non-treatment; B, Standard amount of fertilizer; C, NK + Bone meal; D, NK + Bone meal liquid fertilizer 10%

** Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different

2) 엽면시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향

알타리무에 대한 골분액비의 엽면시비 효과를 알아보기 위해 비료를 주지 않은 무처리구와 N, K를 기비로 시비한 시험구에 골분액비 10%, 1%, 0.5% 및 인산 0.1%를 엽면시비하여 생육 특성을 조사하였다(Table 16).

초장은 골분액비 1%에서 49.1 cm로 가장 길었고, 인산 0.1%, 골분액비 0.5%, 10%는 각각 46.1, 46.0, 46.0 cm로 비슷하였으며, 무처리 42.7 cm로 가장 짧았다. 엽수는 인산 0.1% 처리구가 16.5매로 가장 많았으며, 골분액비 0.5%, 10%는 각각 16.2, 16.0매로 비슷하였고, 골분액비 1% 14.8매, 무처리 13.7매 순으로 적었다. 엽면적은 골분액비 1% 처리구에서 353.6 cm²으로 가장 넓었으며, 인산 0.1%, 골분액비 10%, 0.5%, 무처리 순으로 작아졌다. Chlorophyll 함량은 골분액비 1%, 인산 0.1% 처리구가 36.4, 36.1로 가장 높았으며, 골분액비 10%, 0.5% 처리구가 각각 35.6, 33.5로 비슷하였고, 무처리가 32.0으로 가장 적었다. 근장의 경우 골분액비 10% 처리구가 17.7 cm로 가장 길었으며, 골분액비 1%, 인산 0.1%, 골분액비 0.5%, 무처리 순으로 짧아졌다. 근경은 인산과 골분액비 10% 처리구가 각각 60.5, 59.9 mm로 가장 굵었으며, 골분액비 1% 및 0.5% 처리구가 54.8 mm 같았으며, 무처리는 44.7 mm로 가장 얇았다. 생체중은 인산 0.1%, 골분액비 1% 및 10% 처리구가 각각 589.0 g, 584.2 g 및 576.2 g으로 차이가 없었으며, 무처리가 422.4 g으로 가장 가벼웠다. 건물 중량은 인산 0.1% 처리구가 25.3 g으로 가장 무거웠고, 골분액비 10% 처리구가 21.8 g, 골분액비 1.0% 처리구가 20.4 g, 골분액비 0.5% 처리구가 18.0 g으로 차이가 없었다.

이상의 결과는 김(2005)은 토마토에 인칼균제를 엽면시비 한 처리구가 다른 처리구에 비해 토마토의 총 생산량이 많았으며, Lee(2019)는 고추에 바이오 황을 1,000배 엽면시비한 처리구에서 생육이 가장 좋았고, 부가적으로 병 방제 효과로 인해 상품율이 증가하였다는 보고와 유사하였다.

결과적으로 알타리무에 엽면시비시 골분액비 10%와 1% 처리에서 생육과 수량 형질에서 높게 나타났으나, 골분액비 10% 처리구가 알타리무의 상품성에 많은 영향을 주는 근장과 근경 발달이 양호하여 상품성을 높이기 위해서는 골분액비 10%를 엽면시비하는 것이 더 효과적이라고 생각된다.

Table 16. Effect of foliar spray of bone meal liquid fertilizer on growth and yield of ponytail radish in green house

Treatments	Plant height (cm)	No. of leaves (ea)	Leaf area (cm ²)	Chlorophyll (SPAD)	Root length (cm)	Root diameter (mm)	Fresh weight/plant (g)	Dry weight/plant (g)
A*	42.7±5.0b**	13.7±0.8c	254.4±41.4c	32.0±2.0b	14.6±1.1c	44.7±1.9b	422.4±77.9b	15.0±4.0c
B	46.0±1.6ab	16.0±1.0ab	300.3±36.0abc	35.6±1.6ab	17.7±1.5a	59.9±5.0a	576.2±65.3a	21.8±7.3ab
C	49.1±2.3a	14.8±0.8bc	353.6±59.9a	36.4±2.6a	17.0±1.5ab	54.8±5.7ab	584.2±88.0a	20.4±4.4ab
D	46.0±3.2ab	16.2±1.1ab	268.7±57.8bc	33.5±2.2ab	14.8±1.5c	54.8±4.5ab	534.9±73.8ab	18.0±6.1ab
E	46.1±3.2ab	16.5±1.3a	350.0±72.9ab	36.1±3.2a	15.1±1.0bc	60.5±14.7a	589.0±107.4a	25.3±7.2a

* A, Non-treatment; B, Bone meal liquid fertilizer 10%; C, Bone meal liquid fertilizer 1%; D, Bone meal liquid fertilizer 0.5%; E, Phosphoric Acid(H₃PO₄=98.00) 0.1%

** Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different

알타리무에 대한 골분액비의 엽면시비 시험 후 재배 토양의 화학성을 분석하였다(Table 17).

토양 pH는 모든 처리구에서 무처리구에 비해 낮게 나타났다. 전기전도도는 골분액비 10%, 인산 0.1%, 골분액비 1%, 골분액비 0.5% 처리가 각각 0.94, 0.88, 0.87, 0.84 dS m^{-1} 로 무처리구 0.60 dS m^{-1} 보다 높게 나타났다. 이것은 골분액비와 인산을 엽면시비하면서 토양에도 떨어졌기 때문이다.

토양 유기물 함량은 골분액비 0.5%, 인산 0.1%, 골분액비 10% 처리구가 각각 73.9, 73.6, 72.7 g kg^{-1} 으로 많았으며, 골분액비 1% 처리구 71.6 g kg^{-1} , 무처리구 67.1 g kg^{-1} 으로 낮은 함량을 보였다. 유효 인산 함량은 처리간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

치환성 K 함량은 무처리구에서 0.55 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 로 가장 많았으며, 골분액비 0.5% 처리구가 0.48, 인산 0.1% 처리구 0.43, 골분액비 1% 처리구 0.41, 골분액비 10% 처리구가 0.39 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 순으로 적었다. Ca은 골분액비 0.5% 처리구가 1.15 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 로 가장 많았으며, 무처리구와 인산 0.1% 처리구가 각각 1.11과 0.87 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, 골분액비 1%와 골분액비 10% 처리구가 각각 0.70와 0.69 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 로 적었다. Mg은 골분액비 0.5% 처리구와 무처리구가 각각 0.44와 0.43 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 으로 가장 많았으며, 인산 0.1% 처리구와 골분액비 1% 처리구가 각각 0.30과 0.28 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, 골분액비 10% 처리구가 0.23 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ 으로 적었다. Na은 처리간에 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

이상의 결과에 나타난 바와 같이 토양의 치환성 양이온 함량이 무처리구보다 시험 처리구에서 낮은 것은 생육이 좋은 시험 처리구의 알타리무가 성장하면서 토양에 있는 양분을 많이 흡수했기 때문으로 생각된다.

Table 17. Changes in the chemical properties of soil after fertilization test by foliar application of liquid fertilizer

Treatments	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exchangeable cations (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	Na
A*	4.69a**	0.60b	67.1b	94.96a	0.55a	1.11ab	0.43a	0.56a
B	4.25b	0.94a	72.7a	96.96a	0.39b	0.69b	0.23b	0.51a
C	4.24b	0.87a	71.6ab	100.65a	0.41b	0.70b	0.28ab	0.50a
D	4.23b	0.84a	73.9a	97.18a	0.48ab	1.15a	0.44a	0.55a
E	4.32b	0.88a	73.6a	95.52a	0.43b	0.87ab	0.30ab	0.54a

* A, Non-treatment; B, Bone meal liquid fertilizer 10%; C, Bone meal liquid fertilizer 1%; D, Bone meal liquid fertilizer 0.5%; E, Phosphoric Acid(H₃PO₄=98.00) 0.1%

** Duncan's multiple range test ($P < 0.05$). Means with the same letter in column are not significantly different

V. 종합고찰

친환경농산물 요구가 점차 커짐에 따라 잔류의 위험성이 없으면서 환경에 대한 피해가 적은 친환경 유기농업 자재 활용에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Ko, 2008; Park, et al., 2011). 바이오 황의 유기농업 자재로서 활용 가능성을 검토하고자 감귤 더듬이병, 검은점무늬병, 곱응애 방제 효과와 황산화균과 바이오 황을 이용한 곱분액비 제조, 곱분액비의 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향을 조사하였다

바이오 황이 감귤 더듬이병 균사의 생장 억제 효과를 알아보기 위하여 감귤 더듬이병균을 배지에서 배양하여 균사를 관찰한 결과(Table 8), 바이오 황 0.1% 이하 처리구에서 균사 형성이 억제되었다. 0.025% 이하 희석배수가 낮아질수록 균사는 형성되었으나 무처리구에 비해 생장이 억제되었으며, 시간이 경과함에 따라 균사는 많이 성장되었다(Fig. 1, 2). 이는 바이오 황이 감귤 더듬이병 균사의 형성 및 생장에 영향을 미친 것으로 판단된다. 바이오 황은 감귤 더듬이병의 발병에 대한 예방적 방제에 대하여 효과가 있을 것으로 생각된다.

감귤 봄순 잎에 대한 더듬이병의 발병 억제 효과에 대한 포장시험 결과(Table 9), 무처리구 이병엽율은 40.3%였으며, 화학농약인 Imibenconazole 수화제 이병엽율이 5.3%였다. 친환경 농업에 사용하는 석회보르도액 2-4식과 6-6식은 모두 10.3%, 바이오 황 0.2%에서는 12.3%, 석회유황합제 15.3%로 비슷한 경향을 나타냈다. 방제 효과는 화학농약인 Imibenconazole 수화제가 86.8%로 가장 좋은 방제 효과를 나타냈으며, 석회보르도액 2-4식과 6-6식 74.4%, 바이오 황 0.2%는 69.5%, 석회유황합제는 62.0%였다. 이는 Hyun 등(2005)의 구리제를 이용한 친환경적 감귤 병 방제연구에서 구리제가 더듬이병에 75%의 방제 효과를 보여준 것과 비슷한 결과이다.

감귤 과실에 대한 더듬이병의 발병 억제 효과에 대한 포장시험 결과(Table 10), 무처리구 병든과율은 79.3%였으며, 화학농약인 Imibenconazole 수화제 병든과율은 4.0%였다. 친환경 농업에 사용하는 석회보르도액 2-4식 33.8%, 6-6식

42.0%, 바이오 황 0.2%에서는 43.3%, 석회유황합제는 44.8%로 비슷한 효과를 나타냈다. 방제 효과는 화학농약인 Imibenconazole 수화제가 95.0%로 가장 좋은 방제 효과를 나타냈으며, 그 다음으로 석회보르도액 2-4식 57.3%, 6-6식 47.0%, 바이오 황 0.2%는 45.8%, 석회유황합제 43.5%였으며, 바이오 황 0.1%가 1.6% 처리구 중 가장 낮게 조사되었다. 감귤 잎보다 열매에서 더뎡이병의 방제 효과가 낮게 나타난 이유는 감귤의 열매가 잎 보다 표면적이 적기 때문에 상대적으로 방제 효과가 적게 나타났다. 더뎡이병은 노지 포장에서 발병율이 가장 높은 병해지만 약제를 적기에 살포할 경우 높은 방제 효과를 얻을 수 있어 피해를 최소화할 수 있다(Koh et al., 1996). 감귤 더뎡이병은 봄순이 전개되는 5월부터 감귤의 잎에 발생하기 때문에 봄순이 발아되는 4월 중·하순부터 예방으로 높은 효과를 볼 수 있을 것으로 생각된다.

감귤 과실에 대한 검은점무늬병의 발병 억제 효과에 대한 포장시험 결과(Table 11), 무처리구 과실 발병도 70.6%, 화학농약인 만코제브수화제가 10.3%로 가장 낮았으며, 친환경 자제 중에서는 석회유황합제 + 기계유 유제 32.2%로 가장 낮았으며, 석회유황합제, 바이오 황 0.2%, 0.1%는 각각 53.9%, 58.8%, 58.1%로 비슷한 발병도로 조사되었다.

감귤 나무에는 구리제에 의한 약해가 발생할 수 있으며 피해 증상은 잎 및 과실에 흑점이 생성되며 새순이 괴사하고 오래된 잎이 낙엽되는 증상이 나타난다(Setsuo, 1991; Schutte et al., 1997). 특히, 자가제조된 보르도액에서 약해가 많이 발생하였으며, 새순이 어릴수록 구리피해 정도가 심하고 구리제에 기계유 유제를 혼용하여 살포할 경우 구리 피해가 감소되었다고 보고하였다(Huyn et al., 2005).

귤응애에 대한 바이오 황의 살비 효과를 시험한 결과(Table 12), 약제 처리 3일 후 무처리구 생충율은 197.6%이며, 기계유 유제 2.9%, 바이오 황 0.2% 5.8%, 바이오 황 0.1% 9.0%로 효과가 비슷하였다. 방제가는 약제 처리 3일 후 바이오 황 0.1%는 73.2%로 가장 낮았으며, 기계유 유제와 바이오 황 0.2%는 각각 96.4%, 94.6%로 높은 방제율을 보였다. Yang 등(1997)은 4년 동안 유향을 살포하여 귤응애를 방제할 수 있으며, Wang 등(1996)은 유제의 독성이 성충에 작용할 때 수화제보다 18배 더 효과가 있다고 보고하였다. 따라서, 감귤 검은점무늬

병, 더뎡이병, 굴응애 등의 동시 방제와 효과를 높이기 위한 바이오 황과 오일류의 혼합 살포에 대한 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

미생물 접종량과 바이오 황 첨가량에 따른 골분액비 현탁액의 pH 변화를 보면(Fig. 6), 바이오 황 2%에 *A. thiooxidans*의 접종량을 각각 0%, 5%, 10%, 20%로 조절한 조건에서 골분(10%)을 첨가한 후부터 pH가 4.5까지 증가하였으나 50일이 경과했을 때에는 3.51에서 3.04 범위로 미생물 접종량에 의한 pH 차이는 없었다. 그러나 *A. thiooxidans*를 접종하지 않은 무처리는 시험 기간 동안 pH가 6.79에서 7.0 범위로 낮아지지 않았다(Fig. 6a).

바이오 황 첨가량을 조절한 조건에서는 바이오 황 무처리구가 첨가한 조건에 비하여 매우 낮은 인산이 용해되었다(Fig. 7b). 이는 pH 변화(Fig. 6b)와도 일치하는 결과이다. 골분에서 가용화된 인산의 농도는 0.5, 1, 2, 5%의 바이오 황을 첨가한 순으로 증가하였다. 특히 침출 기간 30일에서 50일 동안에 바이오 황 5%를 첨가한 조건에서 골분액비 현탁액의 pH가 3.67에서 1.92로 떨어짐에 따라 인산의 농도가 $9.69 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 에서 $23.8 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 로 증가하였다. 이는 황이 많은 조건에서 미생물의 활성이 증가한 결과이다(Han et al., 2009). 생물학적 용출과정에서 골분에 함유된 알칼리 광물의 용해되어 생물학적으로 생성된 황산을 중화시킨다(Bhatti and Yawar, 2010). 따라서 골분에서 인산의 가용화 효율을 높이기 위해서는 황 첨가량을 증가시킬 필요가 있을 것으로 생각된다.

골분첨가 비율에 따른 가용화된 인산의 농도를 확인한 결과(Fig. 8), 골분을 2%, 4%, 10% 비율을 첨가한 조건에서 각각 인산 농도가 6.11, 12.3 및 $16.4 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 으로 점차 높아졌다. 관행 골분액비의 수용성 인산 농도는 $1.04 \text{ g P}_2\text{O}_5 \text{ L}^{-1}$ 로 매우 낮았으며, 관행 골분액비에 첨가한 당밀의 인산 농도와 같았다(Fig. 8). 이는 배양 기간 동안 골분에서 인산이 매우 느리게 용해되어 충분한 양의 인산이 가용화되기 위해서는 오랜 시간이 소요될 것으로 생각된다.

알타리무를 pot에 55일 동안 재배하면서 골분액비의 토양 시비 효과를 알아보기 위해 무비구, 표준처리구, NK+골분 처리구, NK+골분액비 10% 처리구를 관주 처리하여 생육 특성을 조사한 결과(Table 14), 생육조사 결과 NK+골분액비 10% 처리구가 엽수와 엽록소를 제외한 모든 생육 지표에서 높게 나타난 것은 액비 시비는 속효성으로 화학비료 보다 약 70~100%의 비효를 나타내기 때문에

(RDA, 2002) 알타리무 생육을 촉진한 것으로 보인다. 시험에 사용된 골분액비는 골분(10%), 바이오 황(5%), *A. thiooxidans*(10%)을 이용하여 배양을 한 것으로 인산뿐만 아니라 질소 및 칼슘 등의 양분이 있어서(Table 13) 알타리무 생육이 좋은 것으로 생각된다. 결과적으로 N와 K를 밑거름으로 시비하고 골분액비 10% 관주처리 하면, 화학비료나 골분으로 공급되는 인산을 대체할 수 있을 것으로 판단된다.

알타리무에 대한 골분액비의 엽면시비 효과를 알아보기 위해 비료를 주지 않은 무처리구와 N, K를 기비로 시비한 처리구에 골분액비 10%, 1%, 0.5% 및 인산 0.1%를 엽면시비하여 생육 특성을 조사한 결과(Table 16), 골분액비 10%와 1% 처리구에서 생육과 수량 형질에서 높게 나타났으나, 골분액비 10% 처리구가 알타리무의 상품성에 많은 영향을 주는 근장과 근경 발달이 양호하여 상품성을 높이기 위해서는 골분액비 10%를 엽면시비하는 것이 더 효과적이라고 생각된다. 김(2005)은 토마토에 인칼균제를 엽면시비 한 처리구가 다른 처리구에 비해 토마토의 총 생산량이 많았으며, Lee(2019)는 고추에 바이오 황을 1,000배 엽면시비한 처리구에서 생육이 가장 좋았고, 부가적으로 병 방제 효과로 인해 상품율이 올라갔다는 보고와 유사하였다.

따라서, 바이오 황 0.2%는 친환경 농가에서 감귤 더듬이병과 검은점무늬병, 굴응애 방제에 사용하고 있는 자재와 비슷한 효과를 나타낼 것으로 생각된다. 또한 바이오 황 및 황산화균을 이용한 골분액비를 제조하면 가용성 인산 및 질소, 칼슘 등의 무기양분이 함유되어 있고, 골분액비 제조의 배양 기간이 단축되어 친환경 인산 제조에 활용할 수 있다. 골분액비는 친환경 작물재배시 양분관리에 사용이 가능할 것으로 판단되나, 골분액비 사용으로 인해 토양 pH가 낮아질 수 있기 때문에 수확 후 토양개량제 시비가 필요할 것으로 생각된다.

VI. 적 요

본 연구는 친환경자재로서 바이오 황(bio-sulfur, Bio-S)의 감귤 주요 병해충 방제 효과와 유기농자재인 골분의 가용성 인산 함량을 증가시키고 골분액비 시비가 알타리무 생육과 수량에 미치는 영향을 검토하였다.

1. 바이오 황은 감귤 더듬이병 균사를 PDA배지에서 접종 40시간과 88시간 까지에서 바이오 황 0.2%, 0.1%, 0.05% 처리에서 균사 생장이 억제 효과가 좋았으며, 0.025% 이하에서는 균사가 형성되어 생장 억제 효과는 낮았다. 포장시험 결과 감귤 봄순 잎에 대한 더듬이병의 발병 억제 효과는 무처리구 이병엽율은 40.3%, 화학농약인 Imibenconazole 수화제 이병엽율이 5.3%를 보였으며, 친환경 농업에 사용하는 석회보르도액 2-4식과 6-6식은 모두 10.3%, 바이오 황 0.2%에서는 12.3%, 석회유황합제는 15.3%로 비슷한 경향을 나타냈으며, 반면 바이오 황 0.1%에서는 24.0%로 비교적 높은 이병엽율을 보였다. 감귤 과실에 대한 시험 결과 무처리구 병든과율은 79.3%였으며, Imibenconazole 수화제 병든과율은 4.0%를 보였으며, 석회보르도액 2-4식 33.8%, 6-6식 42.0%, 바이오 황 0.2% 43.3%, 석회유황합제 44.8%로 비슷한 효과를 나타냈다. 반면 바이오 황 0.1%에서는 78.0%로 비교적 높은 병든과율을 보였다. 따라서 감귤 더듬이병은 봄순이 전개되는 5월부터 감귤의 잎에 발생하기 때문에 봄순이 발아되는 4월 중하순부터 예방 방제를 시작하여 예찰을 통해 방제하면 높은 방제율과 노동력 및 영농비용 등을 절감할 수 있을 것으로 생각된다. 포장 시험에서 감귤 검은점무늬병에 대해 약제를 살포한 결과, 과실에 대한 무처리구 발병도 70.6%로 가장 높았고, 화학농약인 만코제브 수화제 10.3%로 가장 낮았으며, 친환경 자재 중에서는 석회유황합제 + 기계유 유제 32.2%로 가장 낮았다. 석회유황합제, 바이오 황 0.2%, 0.1%는 각각 53.9%, 58.8%, 58.1%로 비슷한 발병도로 조사되었으며, 병든과율 역시 비슷한 결과로 조사되어 석회유황합제의 대체 자재로 가능할 것으로 생각된다.

2. 환경친화적 자재인 바이오 황을 이용하여 감귤의 주요 병해충인 꿀응애에 대한 효과를 알아보려고 수행되었다. 감귤 꿀응애에 대한 바이오 황의 살비 효과를 시험한 결과, 약제 처리 3일 후 무처리구 생충율은 197.6%이며, 기계유 유제 2.9%, 바이오 황 0.2%에서는 5.8%, 바이오 황 0.1%에서는 9.0%로 효과가 비슷하였다. 방제가는 약제 처리 3일 후 바이오 황 0.1%는 73.2%로 가장 낮았으며, 기계유 유제와 바이오 황 0.2%는 각각 96.4%, 94.6%로 높은 방제율을 보였다. 따라서 감귤 검은점무늬병, 더데이병, 꿀응애 등의 동시 방제와 효과를 높이기 위한 바이오 황과 오일류의 혼합 살포에 관한 추가 연구가 필요하다고 생각된다.

3. 바이오 황을 *A. thiooxidans*의 에너지원으로 이용하여 생물학적 용출법에 의한 골분에 함유된 인산의 가용화 정도를 50일 동안 실온에서 진탕 배양하면서 조사하였다. 초기 *A. thiooxidans* 접종량이 많을수록 반응 20일까지는 가용화된 인산 함량은 증가하는 경향을 보였으나 20일에서 50일까지는 접종량에 따른 차이는 없었다. 바이오 황 함량이 5%인 경우 인산 함량이 $23.8 \text{ g P}_2\text{O}_5\text{L}^{-1}$ 로 높았다. 본 연구의 골분액비 현탁액은 관행 골분액비보다 수용성 인산 농도가 20배 이상 높았으며, 질소, 칼슘 등의 무기양분이 가용화되어 작물의 양분 관리에 도움을 줄 것으로 기대된다.

4. 알타리무에 대한 골분액비의 생육과 수량 효과를 알아보기 위해 토양 관주한 결과, NK+골분액비 10% 처리구가 엽수와 SPAD를 제외한 초장, 엽면적, 근경, 지상부 생체중에서 표준시비 처리구 보다 높게 조사되었다. 골분액비를 엽면시비한 결과, 골분액비와 인산 0.1% 처리구는 알타리무의 생육에 큰 차이를 나타내지 않았다. 하지만, NK+골분액비 10% 처리구가 알타리무의 상품성에 영향을 주는 근장과 근경에서 더 높게 조사되었다. 액비는 속효성으로 화학비료 대비 약 70~100%의 비료 효과를 나타내며, 식물이 필요로하는 양분을 공급하는 효과 외에도 토양에 유익한 미생물을 활성화시킨다. 따라서 바이오 황을 이용한 골분액비는 생육기간이 짧은 알타리무의 재배에 효과적일 것으로 생각된다.

VII. 인용문헌

- Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology. Academic Press.
- Ahn, K. A., T. W. Moon, and B. S. Kim. 2018. An economic review on the short-run storability of field citrus in Jeju. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 19(8): 392-402.
- Bach, W. J. and F. A. Wolf. 1928. The isolation of the fungus that causes citrus melanose and the pathological anatomy of the host. Jour. Agr. Res. 37: 243-253.
- Bennett, W.F. 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. AS Press, St. Paul, Minn.
- Bruhn, J. A. and W. E. Fry. 1982. A mathematical model of the spatial and temporal dynamics of chlorothalonil residues on potato foliage. Phytopathology 72: 1306-1312.
- Buchanan, G. A. and T. G. Amos. 1992. Grape pests. Coombe, B.G. and Dry, P.R.(Eds.), Viticulture: Volume 2 practices, Winetitles, Adelaide SA, Australia. pp. 209-231.
- Bukovac, M. J., and S. H. Wittwer. 1957. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. Plant physiology 32(5): 428-434.
- Cha, B. J., Y. S. Lee, and H. R. Lee. 2000. The present knowledge of farmers on pest and chemical control in grapevine culture. Korean Journal of Pesticide Science. 4(1): 38-43.
- Choi, J. M. and J. Y. Park. 2007. Growth, deficiency symptom and tissue nutrient contents of leaf perilla (*Perilla frutescens* Biitt) influenced by phosphorus concentrations in fertigation solution. J. Bio-Environ. Control 16:358-364.
- Choi, J. M. and K. H. Lee. 2004. Effect of nitrogen concentration in fertilizer

- solution on growth of and nutrient uptake by oriental hybrid lily 'Casa Blanca'. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22:82-88.
- David, M. W. 1988. Biological control of soilborne plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. Annu Rev. Phytopathol. 26(1): 379-407.
- Elad, Y. and D. Shtienberg. 1994. Effect of compost water extracts on grey mould(*Botrytis cinerea*), Crop protection, 13(2): 109-114.
- Emmett, R. W., A. R. Harris, R. H. Taylor and J. K. McGechan. 1992. Grape diseases and vineyard protection. In: B.G.Commbe, P.R. Dry(Eds.), Viticulture, Practices, vol. 2, winetitles, Adelaide pp. 232-278.
- Eom, W. H. 2016. A Study on performance of sulfur concrete using bio sulfur. M.S. Thesis, Seoul National University of Science and Technology. Seoul, Korea.
- Fawcett, H. S. 1936. *Diaporthe citri*(Faw) wolf the perfect stage of a *Phomopsis citri* and *Phomopsis californica*(Abstr.). Phytopathology 22: 928.
- Fawcett, H. S. and H. A. Lea. 1926. Citrus disease and their control. 1st ed. London, p. 583.
- Fawcett. H. S. 1911. Stem-end rot citrus fruits(*Phomopsis sp.*) Florida Agr. Exp. Sta. Bull. 107: 1-23.
- Fife, J. P. and S. E. Nokes. 2002. Evaluation of the effect of rainfall intensity and duration on the persistence of chlorothalonil on processing tomato foliage. Crop Prot. 21: 733-740.
- Fries, N. 1978. Basidiospore germination in some mycorrhiza-forming Hymenomycetes. Transactions of the British Mycological Society. 70(3): 319-324.
- Gibson, J. L., D. S. Pitchay, A. L. Williams-Rhodes, B. E. Whipker, P. V. Nelson, and J. M. Dole. 2007. Nutrient deficiencies in bedding plants. Ball Publishing, Batavia, Illinois.
- Horsfall, J. G. and A. L. Harrison. 1939. Effects of bordeaux mixture and its

- various elements on transpiration. J. Agr. Res. 58: 423-443.
- Hyun, J. W., L. W. Timmer, S. C. Lee, S. H. Yun, S. W. Ko, and K. S. Kim. 2001. Pathological characterization and molecular analysis of *Elsinoe* isolates causing scab diseases of citrus in Jeju isolates in Korea. Plant Dis. 85(9): 1013-1017.
- Hyun, J. W., P. H. Yi, R. Y. Hwang and K. H. Moon. 2013. Aspect of incidence of the major citrus diseases recently. Kor. Res. Plant Dis. 19:1-6. (In Korean)
- Hyun, J. W., S. W. Ko, D. H. Kim, S. G. Han, K. S. Kim, H. M. Kwon and H. C. Lim. 2005. Effective usage of copper fungicides for environment-friendly control of citrus diseases. Kor. Res. Plant Dis. 11(2): 115-121.
- 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.
- Jeppson. L. R., E. W. Baker and H. H. Keifer. 1975. Mite injurious to economical plants. University of California, Berkeley, CA, p. 614.
- Jeschke, W. D. and J. S. Pate. 1991. Cation and chloride through xylem and phloem within the whole plant of *Ricinus communis* L. under conditions of salt stress. J. Exp. Bot. 42: 1105-1116.
- Jones, Jr., J. Benton, B. Wolf and H. A. Mills. 1991. Plant analysis handbook. 1. Methods of plant analysis and interpretation. Micro-macro Publishing Inc. Athens, Georgia. pp.3-17.
- Kai, H., T. Ueda, and M. Sakaguchi. 1990. Antimicrobial activity of bark-compost extracts. Soil Biol. Biochem., 2. pp. 983-986.
- Kim, D. H., K. S. Kim, J. W. Hyun and H. C. Lim. 2003. Release level of *Amblyseius fallacies* Garman (Acarina: Phytoseiidae) for biological control of *Panonychus citri* McGregor (Acari: Tetranychidae) on citrus. Korean J. Appl. Entomol. 42: 233-240

- Kim, D. H., S. S. Kim, K. S. Kim and J. W. Hyun. 2006. Characteristics of predation of *Neoseiulus fallacies* (Acarina: Phytoseiidae) on *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae). Korean J. Appl. Entomol. 45: 145-152.
- Kim, S. Y., J. W. Hyun and Y. C. Jeun. 2011. Suppression effect and mechanism of citrus scab in the citrus pre-inoculated with rhizobacterial strains. Res. Plant Dis. 17(3): 302-310.
- Kim, S. T., Y. B. Min and H. S. Jung. 2004. Development of a peeling machine for Altari radish (I) - Physical properties of the Altari radish-. Journal of Biosystems Engineering published by KSAM 29(1):29-36.
- Kim, Y. S., J. P. Lee, S. W. Chang, and G. J. Lee. 2019. Synergistic uppression of bio-sulfur of pencycuron on large patch disease caused by *Rhizoctonia solani* AG2-2 (IV) in *Zoysia japonica*. weed turf. Sci. 8(4):355-364.
- KMA. 2018. 2017 Annual climatological report. Korea meteorological administration.
- Ko, E. J. 2019. Disease suppression by pre-treatment with bio-sulfur on cucumber leaves inoculated with *Colletotrichum orbiculare*. M.S. Thesis, Jeju National University, Jeju, Korea.
- Ko, E. J., Y. H. Shin, H. N. Hyun, H. S. Song, J. K. Hong, and Y. C. Jeun. 2019. Bio-sulfur pre-treatment suppresses anthracnose on cucumber leaves inoculated with *colletotrichum orbiculare*. Mycobiology. 47: 308-318.
- Ko, S. B. 2008. An analysis of consumer's consumption behavior of environmental friendly mandarin and attributes of mandarin in Korea. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 16: 189-204
- Ko, Y. J., S. Y. Kang and Y. C. Jeun. 2012. Suppression of citrus melanose on the leaves treated with Rhizobacterial Strains after Inoculation with *Diaporthe citri*. Kor. Res. Plant Dis. 18(4) : 331-337
- Koh, Y. J., J. H. Song, H. M. Kwon, D. Y. Moon, D. K. Moon and H. R.

- Han. 1996. Current status of the occurrence of mandarins in Korea. Kor. j. plant pathol. 12(4): 466-470.
- Koontz, M. and O. Biddulph. 1957. Factors affecting absorption and translocation of foliar applied phosphorus. Plant Physiol. 32(5): 463-470.
- KREI. 2018. 2018 Agricultural outlook. Korea Economic Institute, Korea.
- Kudsk, P., S. K. Mathiassen and E. Kirknel. 1991. Influence of formulations and adjuvants on the rainfastness of maneb and mancozeb on pea and potato. Pest. Sci. 33: 57-71.
- Lee, E. Y., K. S. Cho, and H. W. Rye. 2006. Growth characteristics of *Acidithiobacillus thiooxidans* in different sulfur concentration. Kor. J. Microbiol. Biotechnol. 34: 338-341.
- Lee, J. G. 2018. Development of soil remedial amendment using the bio-sulfur. M.S. Thesis, Kangwon National University, Jeju, Korea.
- Lee, J. T., C. J. Lee and H. D. Kim. 2004. Changes in physicochemical properties and microbial population during fermenting process of organic fertilizer. Korean J. Soil Sci. Fert. 37: 116-123.
- Lee, K. H. 2019. Effect of foliar fertilization of bio-Sulfur suspension that was mixed with calcium chloride on pepper growth and quality. M.S. Thesis, Jeju National University Korea.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press Inc., San Diego, USA.
- McMurtry. J. A. 1985. Citrus. In W. Helle & W. Sabelis (eds) Spider mites: their biology. natural enemies and control. vol. 1B, Elsevier. p339-347. Amsterdam.
- Michaud, J. P. and A. K. Grant. 2003. Sub-lethal effects of a copper sulfate fungicide on development and reproduction in three coccinellid. Journal of Insect Science. 3(16): 1-6
- Min, Y. B., S. T. Kim, D. H. Kang, T. S. Chung, and W. J. La. 2004. Development of the Altari radish pre-processing system for kimchi

- production (I) -Leaf and root tail cutting equipment-. Journal of Biosystems Engineering published by KSAM. 29(5): 451-456.
- NAPQ. 2019. 2018 Certified statistics of organic agriculture etc. National Agricultural Products Quality, Korea.
- Nelson, P. V. 2003. Greenhouse operation and management. 6th ed. Prentice Hall, NJ.
- NIAST. 2010. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Oh, H. J., I. S. Seo and S. C. Jin. 2005. Effects of agricultural chemicals on *Elsinoe fawcettii* of citrus fruits. In Reports of IPM Technology Development, pp. 53-58.
- 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.
- Park, B., S. B. Lee, S. G. Lee, S. K. Park, I. H. Jeong, and I. S. Jun. 2016a. A case study on improvement of pest control research in rural development institutions and its implications. Korean J. Organic. Agric. 24(4): 609-625.
- Park, J. H., S. H. Nam, J. H. Song, M. S. Cho, S. H. Lim, J. J. Choi. and H. C. Lee. 2011. Physiochemical and function characterization of conventional and organic citrus (Yuzu). Kor. J. Hort. Sci. Technol. 29: 131.
- Park, J. S, W. J. Cho and W. S. Kim. 2014. Selection and control effect of environmental friendly organic materials for controlling the main disease of Yuzu(*Citrus junos* Sieb). Kor. J. Organic Agri. 22(1): 115-127.
- Park, J. S., M. A Song, and Y. C. Jeun. 2016b. Observation of growth inhibition of *Elsinoe fawcettii* on satsuma mandarin leaves pre-treated with rhizobacterial strains by a scanning electron microscope. Res. Plant Dis. 22(1): 1-8.

- Rajan, S. S. S. 1983. Effect of sulfur content of phosphate rock/sulfur granules on the availability of phosphate to plants. *Fertility Res.* 4: 287 - 296.
- RDA. 2002. Technical guidance for liquid manure use. Rural development administration.
- Saeid, A., M. Labuda, K. Chojnacka, and H. Górecki. 2014. Valorization of bones to liquid phosphorus fertilizer by microbial solubilization. *Waste Biomass Valorization*, 5:265-272.
- Salunkhe, D. K., and S. S. Kadam. 1999. CRC Handbook of world food legumes: nutritional chemistry. Proc. Technology and Utilization. CRC Press. Boca Raton FL. 215-251.
- Schutte, G. C., K. V. Beeton and J. M. Kotzé. 1997. Rind stippling on valencia oranges by copper fungicides used for control of citrus black spot in South Africa. *Plant Dis.* 81, 851-854.
- Setsuo, S. 1991. Studies on the epidemiology of citrus canker and its chemical control. Ph. D. thesis. The University of Tokyo. Tokyo, Japan.
- Shim. C. K., M. J. Kim, Y. K. Kim, S. J. Hong, and S. C. Kim. 2014. Reducing Phytotoxic by Adjusted pH and Control effect of Loss-Sulfer Complex as Organic Farming Material against Powdery Mildew in Tomato. 18(4):376-382.
- Shin, Y. H., E. J. Ko, S. J. Kim, H. N. Hyun, and Y. C. Jeun. 2019. Suppression of melanose caused by *Diaporthe citri* on citrus leaves pretreated with bio-sulfur. *Plant Pathol. J.* 35(5): 417-424.
- Song, J. H. 1997. Current status of the occurrence of citrus diseases and etiological studies on citrus scab, sclerotinia twing blight and cottony rot, brown rot and sour rot. M.S. Thesis, Sunchon National University, Korea.
- Song, J. H., C. H. Lee, S. H. Kang, D. H. Kim, S. Y. Kang and K. Z. Riu. 2001. Dispersion indices and sequential sampling plan for the citrus red

- mite. *Panonychus citri* (McGregor) (Acari: Tetranychidae) on satsuma mandarin on Jujui island. Korean J. Appl. Entomol. 40: 105-109.
- Tabatabai, M. A. 1986. Sulfur in agriculture. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 688.
- Tian, M. Y., X. F. Pang, M. Y. Tian and X. F. Pang. 1997. Effects of temperature, humidity and photoperiod on the development of citrus red spider mite in laboratory. Natural Enemies of Insect 19(1): 6-10.
- Tian, S. P., Q. Fan, Y. Xu and A. L. Jiang. 2002. Effects of calcium on biocontrol activity of yeast antagonists against the postharvest fungal pathogen *Rhizopus stolonifer*. Plant Pathol. 51(3): 352-358.
- Timmer, L. W. and S. E. Zitko. 1996. Evaluation of copper fungicides and rates of metallic copper for control melanose on grapefruit in Florida. Plant Dis. 80(2): 166-169.
- Tweedy, B. G. 1981. Inorganic sulfur as a fungicide. Residue Reviews 74:43-68.
- Ullah, I., G. Jilani, M. I. ul Haq and A. Khan. 2013. Enhancing bio-available phosphorous in soil through sulfur oxidation by Thiobacilli. Br. Microbiol. Res. J. 3:378-392.
- van Bruggen, A. H. C., J. F. Osmeloski and J. S. Jacobson. 1986. Effects of simulated acidic rain on wash-off of fungicides and control of late blight on potato leaves. Phytopathology 76: 800-804.
- Vasilas, B. L., T. O. Legg and D. C. Wolf. 1980. Foliar fertilization of soybean: Absorption and trans location of ¹⁵N-labeled urea. Agron. J. (72): 271-275.
- Wang, Q. A., H. Xu, Q. A. Wang and H. Xu. 1996. A comparison of effect on citrus red mite, *Panonychus citri* McGregor, between two formulations of pyridaben. Acta Agriculturae Zhejiangensis 8(5): 294~297.
- Weller, D. M. 1988. Biological control of soilborn plant pathogens in the rhizosphere with bacteria. Annu. Rev. Pathol. 13: 129-131.

- Winston, J. R. and J. J. Bowman. 1923. Commercial control of citrus melanose. U.D.D.A. Citrus, 259:1-8.
- Wisniewski, M., S. Droby, E. Chalutz and Y. Eilam. 1995. Effects of Ca^{2+} and Mg^{2+} on *Botrytis cinerea* and *Penicillium expansum* *in vitro* and on the biocontrol activity of *Candida oleophila*. Plant Pathol. 44(6): 1016-1024.
- Yang, J. Y. 2011. Life table parameters of *Panonychus citri* (Acari: Tetranychidae) on citrus leaves and a matrix model for the population projection. M.S. Thesis, Jeju National University, Jeju, Korea.
- Yang, Y. Z. and Y. Z. Yang . 1997. Sulphur colloid suspension an effective insecticide for control of citrus red spider mit e. South China Fruit s 26(2): 26.
- Yi, P. H., J. W. Hyun, R. Y. Hwang and K. S. Kim. 2014. Improvement of control efficacy of mancozeb wettable powder against citrus melanose by mixing with paraffin oil. Res. Plant Dis. 20(3): 196-200.
- 福岡正信. 1937. 柑橘樹脂病特にその完全時代について。日植病報. 7(1): 32-33.
- 山本省二. 1991. カンキツ黒點病およびそばかよの生態と防除に関する研究. 和歌山縣果樹園藝試験場 特別研究報告. 1-95.
- 牛山所司. 1973a. 温州みカンの黒點病に関する研究, (第2報) 完全時代の存在と子のう胞子の原動力について. 日植病報. 39(2):120-125.
- 牛山所司. 1973b. 温州ミカンの黒點病に関する研究, (第3報) 包子の飛散と付着存在について. 神祭川縣園藝試験場研究報告. 21:39-46.
- 牛山所司. 1976. ウソツユウミカンの黒點病に関する研究, (第4報) 胞子の發芽侵入と感染細胞の組織化學的觀察. 神祭川縣園藝研報. 23:11-18.
- 有本 裕, 本間報男, 見里朝正 1980. *Diaporthe citri*によるカンキツ黒點病ならびに軸腐病に関する研究, 第2報 *D. citri*のカンキツ葉への感染過程. 日植病報. 46:575-581.
- 有本 裕, 本間報男, 見里朝正. 1982. *Diaporthe citri*によるカンキツ黒點病ならびに軸腐病に関する研究, 第3報 *D. citri*の感染に對するカンキツ果實および葉の反應過程. 日植病報. 48:559-569.

- 有本 裕, 本間報男. 1988. *Diaporthe citri*によるカンキツ黒點病ならびに軸腐病に關する研究, 第9報 カンキツの自己反應に及ばず光および溫度の影響. 日植病報. 54:282-289.
- 田中彰一. 1955. 柑橘黒點病(メラノス°)に關する研究. 農業及園藝. 30(6):765-770.
- 井上晃一, 芦原旦, 形部正博. 1986. シカソハタニの高温變溫條件における 増殖率. Jap. J. Appl. Ent. Zool. 30: 21-26.
- 강봉균, 송창길. 2003. 미생물제 액비의 엽면시비에 따른 알타리 무의 생육 및 수량형질 변화. 한국유기농업학회지. 11(3):65-74
- 국립농업과학원. 2019. 작물별 비료사용처방(4차 개정본). 농촌진흥청 국립농업과학원. pp. 128-129.
- 김경아, 노치웅, 최경락, 황해준, 최혜선. 유황시비처리가 열무의 Quinone Reductase 유도물질 생성에 미치는 영향. 한국식품영양과학회지. 33(6): 946-950.
- 김경제, 김석균. 1998. 생균제 미생물비료가 알타리무의 수량에 미치는 영향. 한국유기농업학회지. 6(2):107-116.
- 김경제. 2001. 알타리무 재비시 토양미생물제 처리가 수량 및 주요형질에 미치는 영향. 한국유기농업학회지. 9(1):29-36.
- 김규진, 최덕수. 2000. 유자에서 궂음애의 천적종류와 주요종의 발생소장. 한국응용곤충학회. 39(1): 13-19.
- 김동환, 김광식, 현재욱, 강시용, 송정흡, 류기중. 2000. 제주지역에서 궂음애에 대한 Petroleum Spray Oil의 방제 효과 및 식물독성. 농약과학회지. 4(4): 87-92.
- 김일훈. 1989. 신약. 광제원, 서울. pp 80-81.
- 노현호, 조승현, 이정우, 신은상, 신현우, 권혜영, 경기성. 2019. 들깻잎, 상추 및 알타리무 중 살균제 metrafenone의 잔류 특성 및 잔류농도 감소 예측. 농약과학회지. 23(1):51-59.
- 농촌진흥청. 2012. 농업과학기술 연구조사분석 기준. 농촌진흥청 국립원예특작과학원. pp.670
- 박중성, 조재영, 이은웅, 조동삼, 변종영, 이석순, 최관삼. 1982. 신제 작물생리학.

- 향문사. pp.142-175.
- 신언표, 유근배, 임홍배, 여인호, 정운규. 1993. 최신 채소원예학. 선진문화사. pp.269-276.
- 오주성. 2000. 유기농 자료의 활용이 토양의 이화학적 성질 및 작물의 생육에 미치는 영향. 동아대학교 박사학위논문.
- 원재희. 1991. Ca 시비가 알타리무(*Raphanus sativus* L.)의 생육과 품질에 미치는 영향. 고려대학교 석사학위논문.
- 이승원. 2017. 키다리병과 벼멸구에 대한 황토유황합제의 살균 및 살충효과. 배재대학교 석사학위논문.
- 이정우. 2019. 들깻잎, 상추, 알타리무 중 cypermethrin과 deltamethrin의 잔류 특성. 충북대학교 석사학위논문.
- 정순재, 조미용, 석운영, 오주성. 2011. 지하수, 키토산 및 목초액의 엽면살포에 의한 알타리무 체내의 잔류 Procymidone 제거효과. 한국유기농업학회지. 19(1):121-134.
- 조성진. 1968. 요소엽면 산포에 따르는 수도의 질소영양에 관한 연구. 농화학회지. 9:125-147.
- 한기영, 김창주, 채현석, 윤익석. 1972. 질소, 인산, 가리 및 석회시용이 Korean Lespedeza(*Lespedeza stipulacea* MAXIM)의 생장, 수량 및 식물체성분과 토양성분에 미치는 영향. 한국축산학회지. 14(4): 283-287.
- 현재욱, 이평호, 황록연, 문경환. 2013. 최근 주요 감귤 병의 발생 양상. 식물병연구 19(2):102-107.
- 홍영진. 알타리무에서 Boscalid와 Bifenthrin의 잔류분석법 및 잔류성 평가 연구. 단국대학교 석사학위논문.

감 사 의 글

학부와 대학원 생활까지 따뜻한 관심과 격려로 지도해주신 현해남 교수님과 바쁘신 가운데 이 논문을 심사해 주신 김동순 교수님, 전용철 교수님, 김찬우 박사님, 좌재호 박사님의 세심한 배려 감사드립니다. 그리고 대학원에서 많은 가르침을 주신 김주성 교수님, 정용석 교수님과 항상 뒤에서 많은 것을 챙겨준 이종훈, 이희선 선생님에게 감사드립니다.

많은 관심과 조언으로 이 논문의 완성을 도움주신 이동은 박사님, 현재욱 박사님, 강호준 박사님, 박원표 박사께 깊은 감사 드립니다. 토양에 애정을 가질 수 있도록 도움을 준 토양학 실험실 임한철, 오상실, 장만석, 현광식, 고승학, 문두경, 문경환, 강경구 선배님과 사랑하는 후배 강지한, 고광섭, 장공만, 고현석, 고석형, 곽인철, 현영훈, 양철준, 유충훈, 고건희, 현경아, 이성문, 이강해 선생님께도 감사드립니다. 그리고 대학원 생활을 잘 할 수 있도록 도움을 주신 정대천 박사님, 송상철 박사, 장용석 박사, 권순화 박사, 이영돈 박사, 하영삼, 양진영, 김도훈, 박재신, 오성오, 고은주, 백현인 선생을 비롯한 많은 선·후배님들께 감사드립니다. 특히 처음부터 끝까지 옆에서 논문이 완성될 때까지 도와준 아끼는 후배 김태근 박사께 진심으로 감사 마음 전합니다.

항상 옆에서 응원해주시고 지켜봐준 주신 황재종 원장님, 고상환 국장님, 홍순영 과장님, 조연동 소장님, 김성배 소장님, 신양수 소장님, 서익수 소장님, 김승만 과장님, 송정흡 과장님, 강종훈 과장님, 김태균, 강상훈, 송인관, 김성용, 김정선 연구관님과 양상호, 김석만, 박영철, 고승찬, 이창훈, 김유경, 양원석, 김현수 연구사를 비롯한 선·후배 연구사님 그리고 김윤정, 진금신, 김창선, 주정숙, 고부길, 고인영, 안군, 정경은 선생님께도 감사드립니다.

항상 모자라고 걱정스러운 막내 동생을 지켜봐 주신 오명옥, 오명찬, 오명한 형님과 형수님, 오영애, 오영자, 오영숙, 오영실, 오인영 누님과 매형, 그리고 경남이를 비롯한 조카에게도 감사드리며, 소중한 아내를 보내주신 처갓집 식구 이상국, 김유정, 이미숙, 김봉석, 이미자, 김승환, 이현숙, 고성익, 이경호, 양덕자, 이진숙, 김석근, 이경구, 강순연과 조카들에게도 고맙다는 말씀 전합니다.

농사하면서 희노애락을 같이 나누었던 김덕윤, 오경훈, 오성수, 양익, 김한준 형님, 친구 오현우, 오철중, 고팔진 그리고 후배 양순규, 양성규, 원태영, 강대웅에게도 감사드립니다.

항상 곁에 있으면서 힘들고, 어려울 때 격려해준 사랑스런 아내 이양숙, 딸 경은, 아들 용재에게 고맙다는 말 전합니다.

하늘에서 응원해주고 힘이 되어주신 아버님과 어머님 그리고 장인, 장모님께도 논문을 바치면서 존경과 감사 말씀 전합니다.

이외에도 거론하지는 못하였지만 저에게 많은 도움을 주신 모든 분들에게도 머리숙여 감사드립니다.