

최 종
연구보고서

시설재배 참외에 대한 규산질 비료의
효과와 적정 시용수준 연구

Effect and Optimum Application Level of
Silicate Fertilizer on Oriental Melon in
Plastic Film House

연구기관
대구대학교

농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 효과와 적정 시용 수준 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2004년 12월 일

주관연구기관명 : 대구대학교

총괄연구책임자 : 정 종 배

세부연구책임자 : 정 종 배

연 구 원 : 정 병 룡

연 구 원 : 조 문 수

연 구 원 : 신 용 습

협동연구기관명 : 영남대학교

협동연구책임자 : 김 복 진

연 구 원 : 박 소 득

요 약 문

I. 제 목

시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 효과와 적정 시용 수준 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

벼와 같은 수생화본과 작물의 경우 규소가 필수 영양원소로 인정되고 있다. 벼의 경우 규소가 부족하면 영양생장과 수량이 크게 감소하며 성장이 완료된 잎에서 괴사현상이나 위조현상이 나타난다. 발작물인 토마토와 오이에서도 규소는 필수원소로서의 역할이 밝혀지고 있는데, 개화기 이후 잎의 정상적인 발생과 결실에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특정 원소가 필수영양소가 되기 위해서는 식물체내에서의 원소 고유의 생리생화학적 작용이 있어야 하나 규소의 경우 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 작용이 아직 구체적으로 잘 밝혀져 있지는 않다. 물론 규소는 식물체내에 비교적 많이 흡수되며 세포벽에 축적되어 큐티클층을 형성하고 식물의 물리적 강도를 높여 병균이나 해충의 침투를 방지하여 병해에 대한 저항성을 높이며 도복의 피해를 경감시킨다.

최근 친환경농법을 이용하는 경북 성주 지역을 비롯한 농가들에서 참외, 딸기, 오이 등의 작물을 시설 내에서 재배할 때 규산질 비료를 시용하여 병충해의 발생을 감소시키며 더불어 수량도 증가시키는 결과를 얻고 있는 것으로 알려지고 있는데, 아직 참외 등 과채류를 비롯한 발작물에 대한 규소의 효과가 학문적으로 검증되어 있지 못하며 우리나라에서는 발작물에 대한 규산질 비료의 시비 기준도 없는 실정이다. <참고자료 1>과 <참고자료 2>는 2000년 8월부터 9월 사이에 참외 주산지인 경북 칠곡, 성주 지역의 일부 작목반 농가를 대상으로 규산질 비료의 사용 실태와 그 효과를 조사한 결과이다.

<참고자료 1>에 나타난 결과와 같이 현재 대부분의 농가에서 참외를 비롯한 과

채류 작물에 대해 규산질 비료를 사용하고 있으나 사용량은 농가별로 크게 차이가 나고 있는 실정이다. 이와 같이 일반 농가에서는 현재 임의로 규산질 비료를 사용하고 있는데 적정 시비가 이루어질 경우 그 효과가 크나 과다시비가 이루어질 경우에는 오히려 생육저해에 따른 손실이 발생하는 것으로 설문에 응하고 있다. 이러한 사실은 <참고자료 2>의 설문 조사 결과에 잘 나타나고 있다. 비료의 적정 사용 수준은 작물의 종류와 품종, 토양중의 유효 성분 함량에 따라서 결정되어야 하는데, 과채류 재배 농가에서는 규산질 비료의 효과 여부와 상관없이도 규산질 비료를 사용하고 있으며 그 사용량을 결정하는데 있어서 크게 어려움을 겪고 있는 실정이다.

<참고자료 1> 참외 재배 농가의 규산질 비료 사용 실태

작목반	총농가수	규산질비료 사용 농가수	시비량, SiO ₂ kg/10a	
			범위	평균
중리작목반 (칠곡군 지천면 송정리)	16	15	15.2 - 75.8	38.5
구일작목반 (칠곡군 왜관읍)	13	11	20.2 - 100	57.6
성주수출단지 (성주군 성주읍 대흥동)	10	4	31.3 - 66.7	55.8
환경농작목반 (성주군 성주읍 용산2동)	5	5	25.0 - 58.3	41.8

<참고자료 2> 참외의 증수, 과실 품질향상 및 병충해 발생억제에 미치는 규산질 비료의 효과에 대한 농가 설문 조사 결과

작목반	규산질비료 사용 농가수	증수 및 품질 향상 효과 인정 농가수	병충해 발생 억제 효과 인정 농가수
중리작목반 (칠곡군 지천면 송정리)	15	8	12
구일작목반 (칠곡군 왜관읍)	11	7	8
성주수출단지 (성주군 성주읍 대흥동)	4	1	0
환경농작목반 (성주군 성주읍 용산2동)	5	2	2

따라서 이러한 농가 현장의 기술적 애로를 해결하기 위해서 과채류에 대한 규산질 비료 시비 기준의 설정이 매우 시급한 실정이며 더불어 과채류 작물의 생육, 수량, 품질 및 병해 발생 억제 등에 미치는 규소의 효과와 작용에 대한 연구가 시급히 이루어져야 한다.

우리나라에서 참외는 다른 시설원예 작물에 비해 수익성이 높기 때문에 많은 농가에서 재배하고 있으며, 주산지는 경북 성주, 칠곡, 김천 등 이다. 참외는 노지재배와 시설재배에 의해 생산되고 있으며, 노지재배 면적은 1997년 1,196 ha에서 2003년 372 ha로 급격히 감소하였으나, 시설재배 면적은 1980년대 이후 점차적으로 증가하여 1997년에는 9,199 ha, 2003년에는 7,359 ha에 달하였다 (농림부 농림업 주요 통계, 2004). 이러한 과채류는 90% 이상 시설재배로 생산되며 농가 소득향상에 크게 기여하고 있을 뿐 아니라 국민 식생활에 필요한 신선 과채류 수요를 충분히 공급해 오고 있다. 딸기와 오이 등의 수출이 일본을 비롯하여 홍콩, 캐나다 등지로 확대되고 있으나 인건비 등의 상승으로 일부 어려움을 겪고 있다. 이러한 과채류의 생산성 제고를 위하여 품종 육성과 재배 및 시비 기술 향상을 위한 다양한 연구가 이루어져 왔으나 현재까지 과채류 등에 대한 규산질 비료의 시용 효과가 국가연구기관이나 대학 등의 전문연구를 통하여 충분히 확립되어 있지는 않은데, 일부 농가에서는 실제 규산질 비료를 사용하여 과채류의 수량 증대와 병해 발생억제 효과를 얻고 있는 것으로 알려지고 있다. 따라서 과채류 등의 발작물에 대하여 과도한 농약 사용을 줄임과 동시에 생산량을 증대시켜 농가 소득향상에 기여하고 국내 과채류 수급을 원활히 함과 동시에 수출 경쟁력을 키워 나가기 위해 규산질 비료의 효과를 검증하고 적정 시비 체계를 확립하는 연구가 필요하다.

환경오염 문제가 심각해지고 있는 상황에서 특히 농산물의 안전성에 대한 사회적인 관심이 높아지고 있고, 따라서 특히 특별한 가공 없이 후식 또는 간식류 등으로 섭취되는 신선 과채류 중의 잔류농약과 영양염류의 과다 축적에 따른 위해성의 저감에 대한 국민들의 요구가 증대되고 있다. 이러한 사회적 요구를 충족시키기 위해 친환경농법의 도입과 그 기술의 발전이 매우 필요한 시점이며, 규산질 비료의 시용은 작물의 물리적 강도를 높여 병해 발생을 억제시켜줄 수 있어 농약의 사용을 줄여줄 수 있으므로 안전농산물의 지속적이 생산을 가능하게 해줄 수 있다. 따라서

농약의 사용을 줄이면서 안전한 농산물을 충분히 확보 할 수 있는 영농법의 확대에 대한 사회적 요구를 충족시키기 위해서도 규산질 비료의 효과 구명과 시용 기술의 확립이 필요하다.

III. 연구개발 내용 및 범위

시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 효과와 적정 시용 체계를 확립하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1. 시설재배 참외에 대한 토양중의 최적 규산 함량의 구명

경북 성주 참외 시설재배지에서 규산질 비료를 사용하고 있는 농가를 중심으로 토양 중의 유효 규산 함량과 토양의 이화학적 특성 변화를 조사하고 작물의 생육과 수량 증대와 병해 발생 억제 정도를 파악하여 참외 재배에 적절한 토양 중 유효 규산 함량과 규소의 효과와 작용의 범위를 구명한다.

2. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 적정 시비 기준의 설정

참외에 적절한 토양 중의 유효 규산 함량을 유지하는 데 필요한 적정 규산질 비료 시용 수준 설정 시험을 수행한다.

3. 규산질 비료 시용에 따른 시설재배 토양의 이화학적 변화의 검정

1차 시비 후 토양 중의 잔류 규산 함량과 시비에 따른 토양의 이화학적 변화 특성을 고려하여 지속적으로 적절한 토양 중 유효 규산 함량을 유지하는데 필요한 규산질 비료의 연용 수준을 구명한다.

4. 규산질 비료 시용에 따른 시설재배 참외의 규산 흡수와 체내 분포 조사

규산질 비료 시용에 따른 토양 산도 교정 효과, 인산 가용화, 알루미늄과 망간의 흡수 억제 등 토양의 이화학적 변화와 작물의 양분 흡수에 미치는 영향을 구명한다.

5. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 생육, 수량 증대 효과 구명

규산질 비료가 참외의 생육과 수량에 미치는 효과를 규소의 흡수와 작물 체내 분포, 토양의 이화학성 변화 그리고 인산, 철, 망간 등 기타 양분의 흡수에 미치는 영향과 광합성 등 생리생화학적 현상에 미치는 효과를 바탕으로 검정하고 그 작용 기작을 구명한다.

6. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 병충해 발생 억제 효과 구명

동시에 규산질 비료의 시용에 따른 병해 발생 억제 효과를 검정하고 규소에 의해 억제되는 특정 병해의 발생억제 작용을 흰가루병균의 생장에 미치는 규소의 역할을 중심으로 구명한다.

7. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 적정 시용 지침 확립

이러한 연구는 주로 참외 재배농가 포장을 이용하여 경북농업기술원 성주과 채류시험장의 연구진과 긴밀하게 협조하여 수행될 것이다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

가. 시설재배 참외에 대한 토양중의 최적 유효규산 함량의 구명

경북 성주지역의 참외 시설재배지 38개소의 토양과 참외 잎 시료를 채취하여 가용성 토양 규산 함량과 잎 중의 총 규산 함량을 분석하였다. 참외 잎 중의 규산 함량을 기준으로 하여 참외 재배에 적정한 토양 유효규산 수준을 설정하였다. 또한 이러한 연구과정에서 발토양에 적용할 수 있는 최적 유효규산 추출방법을 선장하였다.

1 N sodium acetate buffer를 이용한 토양 규산 추출방법이 토양 규산과 식물체 규산 관계를 가장 뚜렷한 포화곡선으로 나타내었다. 포화곡선으로부터 산출

된 참외 잎 중의 포화 규산 함량은 약 14 g SiO₂/kg이었고 1 N sodium acetate buffer 방법으로 추출할 경우 토양 규산 함량 120 mg SiO₂/kg이 참외에 적절한 수준인 것으로 나타났다. 특히 1 N sodium acetate buffer 방법의 경우 참외 잎 중의 규산 함량이 포화되는 수준 이하의 토양 규산 함량 범위에서는 토양 규산 함량과 식물체 규산 함량 사이에 유의성 있는 상관관계가 있었다.

나. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 적정 시비 기준의 설정

이화학적 특성이 다른 4가지의 밭토양에 규산질 비료를 처리하여 토양의 유효규산 함량 변화를 조사한 결과 토양의 이화학적 특성과 기존 유효규산 함량에 상관없이 토양 유효규산 함량은 규산질 비료 시용량에 비례하여 증가하였다. 규산질 비료의 유효화 정도는 토양마다 일부 차이가 있었으며 최저 9.1%에서 최고 19.2% 정도의 비율로 나타났다. 규산질 비료 100 kg/10a 수준의 처리는 용탈 등으로 제거되지 않는 한 10 cm 깊이 표토에 평균적으로 100 mg/kg 정도의 유효규산을 공급할 수 있는 것으로 나타났다. 퇴비 혼합처리는 토양 유효규산 함량 증가에 큰 영향을 미치지 못했으며, 석회 처리는 유효규산 함량을 다소 증가시켰다. 규산질 비료의 시용량과 토양 유효규산 함량 사이의 관계식에서 그 기울기가 1에 매우 근사하므로 25% SiO₂를 함유한 입상규산질 비료를 용적밀도 1.12 g/cm³인 표토 10 cm 깊이에 혼합 처리할 경우 추천시비량 (kg/10a)은 [목표 유효규산 함량 - 기존 유효규산 함량] 값으로 계산될 수 있을 것이다. 여기서 토양 유효규산 함량은 1 N NaOAc로 추출한 후 mg/kg 단위로 정량하여 표시된 값이다. 토양 pH는 규산질 비료 시비량에 비례하여 증가하였으며, 규산질 비료 100 kg/10a 처리로 토양 pH를 0.1-0.2 단위 증가시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 산성 토양의 경우에는 규산질 비료의 시용과는 별도로 pH 교정을 위해 석회 비료를 사용해야 할 것이다.

다. 규산질 비료 시용에 따른 시설재배 토양의 이화학적 변화의 검증

규산질 비료를 처리한 참외 재배 시설 토양에서 규산질 비료 시용 수준별로 분석용 토양시료를 채취하였으며 유효규산 및 인산 함량과 기타 토양 이화학적

변화를 조사하였다.

토양의 시험전 pH는 7.2 정도로 일반 밭토양의 평균적인 pH에 비하여 높았는데, 규산질 비료 처리구에서 pH는 더욱 높아졌다. 토양의 EC 또한 규산질비료의 처리로 증가하였으며, 교환성 양이온의 함량을 보면 Ca과 Mg이 일부 규산질 비료 처리구에서 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의성 있는 결과는 아니었다. 시험전 토양에서 유효규산 함량은 200 mg SiO₂/kg 정도로 높은 수준이었는데, 규산질 비료의 처리 수준별로 그 함량이 더욱 증가하였으며 재배기간 동안 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 그러나 처리된 규산질 비료의 유효화율이나 작물의 흡수에 따른 고갈 현상은 매우 미약하므로 규산질 비료의 연용은 극히 제한되어야 할 것으로 나타났다. 토양중의 규산 시용 수준이 증가하고 유효 규산 함량이 증가함에 따라서 유효 인산 함량도 증가하는 것으로 조사되었다. 이러한 결과는 규산의 시용이 작물의 생육에 미치는 영향의 일부가 유효규산의 증가에 따른 인산 이용율의 증가 때문일 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 이미 토양 pH와 EC가 적정 수준 이상으로 유지되고 있는 시설재배지에서 토양중의 적정 유효규산 함량을 고려하지 않은 규산질 비료의 처리는 pH와 EC를 불필요하게 더욱 증가시키거나 작물의 인산 흡수 이용을 방해할 수 있다는 점을 고려하여 제한되어야 할 것으로 판단된다.

라. 규산질 비료 시용에 따른 시설재배 참외의 규산 흡수와 체내 분포

참외 잎 중의 규산 함은 규산질 비료 시용 수준별로 증가하는 경향이었으나 통계적으로 유의성이 있는 결과는 아니었다. 참외 잎 중의 규산 함량은 5% 내외, 과피 중에는 0.4-0.9%, 과육 중에는 0.2-0.3% 정도로 분포하였다. 인산의 흡수 또한 일부 증가하는 경향이었는데, 이러한 경향은 규산 처리에 따라서 토양의 유효 인산 함량이 증가하였기 때문으로 판단된다. 물론 인산과 규산은 작물에 의한 흡수 과정에서도 경쟁하게 되는데, 이러한 경쟁에 의한 흡수 억제보다 유효규산의 증가에 따른 흡수촉진 효과가 더 크게 나타난 것으로 볼 수 있다. 이러한 인산의 흡수 증가는 통계적으로 유의성이 없는 결과이었으며, 생육과 수량 조사결과에서 언급한 바와 같이 적정 수준 이상의 규산이나 인산이 존재하는 토양 조건에서

규산질 비료의 시용이나 이에 따른 유효인산의 부가적인 증가 현상이 작물의 생육이나 수량 증가로 이어질 수는 없을 것이다. 그리고 기타 무기영양원소의 흡수에 대한 규산질 비료의 효과는 없었다.

마. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 생육, 수량 증대 효과 구명

농가의 임의적인 규산 비료시용에 따른 참외의 생육, 수량, 무기양분 흡수 및 토양 이화학적성에 미치는 영향을 조사하였으며, 규산이 축적된 논토양에 조성된 시설참외재배지에서 이루어지고 있는 관행적인 규산 비료의 시용의 타당성을 검토하였다.

규산질 비료의 처리수준별로 조사한 참외 식물체의 초기 생육 상황을 보면 초기의 줄기 길이와 잎의 개수는 규산질 비료 처리구에서 대조구에 비하여 일부 증가하는 경향이었으며, 정식 후 50일째에 조사된 결과에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 나머지 생육 조사 항목에서도 규산질 비료의 처리 효과가 없는 것으로 나타났다. 규산질 비료가 과실 수량에 미치는 효과를 보면, 총 과실 무게는 규산질 비료 처리구간에는 처리수준이 높을수록 증가하는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의성 있는 차이는 볼 수 없었다. 대조구에서 총 과실 무게는 가장 많았으나 상품과실 비율은 규산질 비료 처리구에서 높게 나타났다. 규산질 비료 처리구에서 발효과와 열과의 발생율이 상대적으로 낮았기 때문에 상품과실 비율을 상대적으로 높일 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 상품과실 비율에 미치는 규산질 비료의 효과 또한 통계적으로 유의성이 있는 결과는 아니었다.

따라서 참외의 경우 생리생화학적인 측면에서 요구되는 규산은 토양 중의 천연 규산으로 충분히 공급될 수 있으며, 병해충에 의한 피해가 없는 경우라면 참외의 생육과 수량에 미치는 규산질 비료의 직접적인 효과를 기대할 수는 없을 것으로 판단된다.

바. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 병충해 발생 억제 효과 구명

규산질 비료 자체만의 흰가루병 발생 억제 효과는 매우 미약한 수준이었으나, 규산질 비료 처리구에 살균제를 처리할 경우 흰가루병에 대한 예방 및 치료효과

가 살균제를 단독 처리구에 비하여 높게 나타나 규산질 비료의 처리가 살균제의 참외 흰가루병 방제 효과를 증진시켜줄 수 있는 것으로 나타났다. 규산질 비료의 처리는 흰가루병균에 의해 감염된 참외 잎에서 균사의 생장과 분생포자의 형성을 억제함으로써 흰가루병 발생을 일부 억제할 수 있는 것으로 밝혀졌다.

따라서 현재 농가 현장에서 밝혀지고 있는 규산질 비료의 참외 병해 발생 억제 효과는 주로 이러한 살균제의 효과를 증진시킬 수 있는 규산의 보조적인 작용에 기인하는 것으로 판단된다.

2. 활용에 대한 건의

경북 성주 지역을 비롯한 농가들에서 참외, 딸기, 오이 등의 작물을 시설 내에서 재배할 때 규산질 비료를 사용하여 병충해의 발생을 감소시키며 더불어 수량도 증가시키는 결과를 얻고 있는 것으로 알려지고 있는데, 아직 참외 등 과채류를 비롯한 발작물에 대한 규산의 효과가 학문적으로 검증되어 있지 못하며 우리나라에서는 발작물에 대한 규산질 비료의 시비 기준도 없는 실정이다. 본 연구는 이러한 농가 현실을 고려하여 참외의 생육과 수량 및 병충해 방제에 대한 규산질 비료의 효과와 토양중의 적정 유효규산 함량 및 시비수준 결정 방법들을 구명하였다.

본 연구의 결과 규산질 비료는 참외의 생육과 수량 또는 병충해 방제에 있어서 실제 농가에서 기대하고 있는 정도의 현저한 효과를 발휘할 수 없는 것으로 나타났으며, 또한 대부분의 참외 재배 토양이 참외가 흡수할 수 있는 규산을 천연적으로 충분히 함유하고 있다는 사실도 밝혀졌다. 규산함량이 낮은 토양의 경우에는 규산질 비료의 시용이 허용될 수는 있겠지만 규산질 비료의 효과가 비교적 장기간 지속될 수 있으므로 규산질 비료의 연용은 극히 제한되어야 할 것이다.

본 연구의 결과를 이용하여 참외에 대한 규산질 비료의 사용 지침을 제시할 것이며 이러한 규산질 비료 사용 지침이 농가 현장에 적용될 수 있기를 기대한다.

SUMMARY

Silicon is the second most abundant element within the soil. Although considered a non-essential element for the majority of higher plants, application of silica materials can improve the growth and yield of various crops, including rice, sugarcane, barley, oat, wheat, rye, cucumber, and tomato. Silicon uptake by plants provides many benefits such as improved light intercepting structure, resistance against lodging, pest and pathogen resistance. The effectiveness of Si apparently derives from the capacity of silicic acid to condense into a hard polymerized SiO_2 , known as plant opal, on epidermal surfaces.

Rice requires large amounts of Si, and with lacking silicon vegetative growth and grain yield are severely reduced and deficiency symptoms, such as necrosis on mature leaves and wilting of plants, occur. Numerous other investigators have demonstrated the beneficial effects resulting from fertilizing rice with silicon. Since Si is an important nutrient for rice production on flooded soils, the effects of silicate fertilizers on rice growth and yield have been studied since 1970's in Korea. Rice yields have been shown to be positively correlated with the contents of silicon in various plant parts, and uptake of silicon by rice is a good indicator of soil Si availability. In Korea, until 1967 0.5 N HCl extraction procedure was used to estimate available Si in paddy soils. However, after concluding that 0.5 N HCl extractant was too strong for estimating plant-available Si, a 1 N sodium acetate buffer (pH 4.0) procedure, which originally developed by Japanese, was modified by National Institute of Agricultural Science and Technology. Silicon extracted by this modified 1 N sodium acetate buffer method generally correlated better with straw Si at harvest than did Si extracted with the 0.5 N HCl method.

Although the essentialities of Si in upland crops are not well known,

recently silicate fertilizers are widely applied in upland soils and their beneficial effects on crop growth and suppression of fungal diseases are expected. Oriental melon is one of the upland crops which silicate fertilizer is frequently applied in Sungju, Gyeongbuk province. However, there is not any research on the optimum soil Si levels for upland crops including oriental melon and laboratory methods of soil Si test for predicting the need for Si fertilization.

The objectives of this study were 1) to evaluate various methods for determining available Si in upland soil by examining the correlation between the extracted soil Si and Si in oriental melon leaf, 2) to evaluate the availability of silicate fertilizer and its effect on soil pH in upland soils, 3) to evaluate the effect of silicate fertilizer on growth and yield of oriental melon in plastic film house, and 4) to evaluate the suppression effect of powdery mildew development in oriental melon by silicate fertilizer.

The major results of this study are summarized as follows.

1. Evaluation of Available Soil Silicon Extracting Procedures for Oriental Melon

Soil testing for silicon (Si) in the upland soils has not been sufficiently investigated. The objective of this study was to identify a suitable Si extraction method for upland soils of oriental melon (*Cucumis melo* L.). Thirty-eight surface soil samples and matured leaf samples were collected from plastic film houses in Sungju, Gyeongbuk province. In the laboratory, six different methods were used for extracting Si from the soils. The methods included 0.5 N HCl extraction, 1 N sodium acetate buffer (pH 4.0) extraction, citric acid 1% extraction, water extraction, Tris buffer pH 7.0 extraction, and extraction after incubation with water for 1 week. The concentration of

dissolved Si in soil extracts from all methods was determined colorimetrically. With 1 N sodium acetate buffer extraction, as the available soil Si increased, the concentration of Si in oriental melon leaf increased until around 14 g SiO₂ /kg was reached in the form of a saturation curve. Also, among the methods studied, extraction with 1 N sodium acetate buffer was the only method provided a significant linear correlation with oriental melon leaf Si content in the range of extractable soil Si lower than the level which inducing Si saturation in oriental melon leaf. These results indicate that 1 N sodium acetate buffer extraction procedure is the best soil Si test method for upland soils of oriental melon. This sodium acetate buffer extraction procedure is rapid and quite well acquainted with scientists and farmers, since the method has been used for routine paddy soil testing.

2. Availability of Silicate Fertilizer and its Effect on Soil pH in Upland Soils

Although silicon (Si) has been known to be an essential element for rice growth, the optimum soil level of Si for upland crops remains unestablished. This study was conducted to estimate the availability of Si fertilizer in upland soils, and also effect of the Si fertilizer on soil pH was examined. Different application rates of Si fertilizer were tested using four soils of different available Si levels and pHs in a series of laboratory incubation study. The treatments included Si fertilizer levels of 100, 200, and 300 kg/10a. Also to examine the effects of compost and lime on the availability of Si fertilizer in upland soil, treatment of silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1,000 kg/10a and lime alone treatment were included. Changes of Si availability in the soils during the incubation period were measured by 1 N NaOAc extraction procedure. Availability of Si fertilizer was different among the tested soils,

and about 9.1-19.2% of the applied Si fertilizer was extracted after 60 days laboratory incubation. Application rate could not influence the availability of Si fertilizer. Application of compost with Si fertilizer could not increase Si availability in upland soils, but lime treatment could increase Si availability. Soil pH increased by application of Si fertilizer, but the effect of Si fertilizer on soil pH was minimal. When Si fertilizer is applied on the purpose of Si nutrition in acid upland soils, lime treatment should be coupled with the Si fertilizer for remediation of soil acidity.

3. Effect of Silicate Fertilizer on Growth and Yield of Oriental Melon in Plastic Film House

Although the requirement and optimum soil level of Si for oriental melon are still not well understood, silicate fertilizer is commonly applied to the oriental melon in plastic film houses where soil silicate level is relatively high. In this research the effects of silicate fertilizer on growth, fruit yield and fruit quality of oriental melon, and soil properties were investigated in plastic film house where the soil available silicate was 212 mg SiO₂/kg. Silicate fertilizer was applied in the rates of 100, 200, and 300 kg/10a. The application of silicate fertilizer could not increase the early growth of oriental melon, and also the fruit yield and quality were not different among the treatments. Available Si and P contents in soils and also Si and P contents in leaf of oriental melon of the different treatments were not significantly different. In the relationship between total Si in oriental melon leaf and soil silicate extracted by 1 N sodium acetate, optimum soil available silicate level for oriental melon was found to be around 100 mg SiO₂/kg. These results indicate that the additional silicate fertilization in soils of available silicate higher than 100 mg SiO₂/kg is unnecessary, and such application of silicate

can not have any beneficial effect on the growth and fruit yield of oriental melon.

4. Suppression of Powdery Mildew Development in Oriental Melon by Silicate Fertilizer

Silicon is known to accumulate in plants and results in greater resistance to diseases and insect pests. In this study, we investigated the effect of silicate fertilizer applied in soil on the development of powdery mildew of oriental melon. Oriental melon seedlings of four-leaf stage were transplanted and grown in a plastic film house. Silicate fertilizer was applied to maintain soil available SiO₂ level of 200 mg/kg soil one weeks before transplanting. Fungicide triflumizol was sprayed three times; one, two, and three weeks after inoculation with *Sphaerotheca fuliginea*. *Sphaerotheca fuliginea* was inoculated 4 weeks after transplanting. The numbers of colony inoculated leaf and the number of fungal colony in leaves were measured one, two, and three weeks after the inoculation. Three weeks after the fungal inoculation, in the treatment of fungicide triflumizol, infected leaf numbers and number of colony per leaf were reduced by 10 and 58%, respectively. In the silicate fertilizer treatment, infected leaf numbers and numbers of colony per infected leaf were suppressed only by 6 and 16%, respectively, and the efficacy was lower than that of the fungicide triflumizol. The combined treatment of silicate fertilizer and the fungicide suppressed powdery mildew more effectively, and infected leaf numbers and numbers of colony per leaf were reduced by 31 and 80%, respectively. These results indicate that although silicate fertilizer itself is not much effective in the suppression of powdery mildew, it can significantly enhance the efficacy of the fungicide.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	21
Chapter 2. Research Background and Current Status	24
1. Status of Domestic and Foreign Technology	24
2. Problems	33
Chapter 3. Results and Discussion	36
Section 1. Determination of Silicate Fertilizer Application Rate for Oriental Melon and Its effects on Soil Properties	36
1. Status of silicate fertilizer application in oriental melon farms and contents of silicate in plastic film house soils	36
2. Analytical method for determination of available soil silicate and optimum soil silicate level for oriental melon	42
3. Availability of silicate fertilizer in upland soil and its effect on soil pH	54
4. Effect of soil pH on silicate fertilizer availability	67
5. Effect of silicate fertilizer on availability of P in upland soil	70
Section 2. Effect of Silicate Fertilizer on the Growth and Suppression of Powdery Mildew Development in Oriental Melon	78
1. Effect of silicate fertilizer on growth and yield of oriental melon	78
2. Effect of silicate fertilizer on soil properties	86
3. Effect of silicate fertilizer on early growth and Si uptake of oriental melon in soil containing low Si	91
4. Effect of silicate fertilizer on powdery mildew development	98

Chapter 4. Achievement and Devotion	121
1. Achievement of Research Objectives	121
2. Devotion to Related Fields	123
Chapter 5. Application Plan of Research Results	125
1. Application of Research Results	125
2. Guideline in Application of Silicate Fertilizer for Oriental Melon	125
Chapter 6. Novel Foreign Informations Collected	128
Chapter 7. References	130

목 차

제 1 장 연구개발과제의 개요	21
제 2 장 국내외 기술개발 현황	24
1. 국내외 기술 현황	24
2. 문제점	33
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	36
제 1 절 참외에 대한 규산질 비료 시용수준 설정 및 토양 특성 변화	36
1. 농가의 규산질 비료 사용실태와 효과 및 토양중의 유효규산 함량	36
2. 참외에 대한 토양의 유효규산 분석법 및 적정 유효규산 수준 평가	42
가. 토양 및 참외 잎 시료	43
나. 토양 유효규산 추출방법	43
다. 규산 분석	45
라. 유효규산 분석법의 비교와 참외에 대한 적정 유효규산 수준 평가	46
1) 유효규산 분석법의 비교	46
2) 참외에 대한 적정 토양 유효규산 수준 설정	51
3. 밭토양에서 규산질 비료의 유효화와 토양반응 교정 효과	54
가. 토양시료 및 규산질 비료의 처리	54
나. 토양 이화학성 및 유효규산 함량 분석	56
다. 규산질 비료의 유효화	56
라. 규산질 비료 시용에 따른 토양산성 개량효과	62
4. 밭토양의 pH에 따른 토양 규산의 유효화	67
가. 토양 시료와 처리	67
나. 석회처리에 따른 토양 유효규산 함량 변화	68
5. 밭토양에서 규산질 비료 시용으로 인한 유효인산 함량 변화	70

제 2 절	규산질 비료의 참외 생육 및 병해발생 억제 효과	78
1.	시설재배 참외의 생육과 수량에 대한 규산질 비료의 효과	78
가.	참외 재배	79
나.	생육 및 수량 조사	80
다.	참외의 생육과 수량	81
라.	참외 과실의 품질	84
2.	규산질 비료시용에 따른 참외 재배기간중 및 연차별 토양 특성 변화	86
가.	토양 이화학적 분석	86
나.	토양의 이화학적 변화	86
다.	토양의 이화학적 변화에 따른 참외 잎 중의 규산 및 인산 함량	89
3.	규산함량이 낮은 토양에서 규산 수준별 참외의 생육과 규산 흡수	91
4.	규산질 비료의 참외 흰가루병 발생 억제 효과	98
가.	공시 비료, 약제 및 식물	101
나.	규산질 비료 및 약제의 처리와 참외 재배	101
1)	규산질 비료 및 약제의 처리	101
2)	참외 재배	102
다.	참외 흰가루병균과 접종	102
1)	참외 흰가루병균의 채집과 증식	102
2)	참외 흰가루병균의 접종	103
라.	흰가루병 발생의 조사와 관찰	103
1)	처리별 흰가루병 발생 억제율 조사	103
2)	흰가루병균의 생장 관찰	103
마.	참외 잎의 규산 함량 분석	104
바.	규산질 비료의 참외 흰가루병 억제 효과	105
1)	참외 잎의 규소 함량	105
2)	흰가루병 예방효과	105
3)	치료 효과 검정	112

4) 참외 잎에 감염된 흰가루병 균의 생장	117
사. 규산질 비료의 참외 흰가루병 발생 억제 효과 판정	119
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도	121
1. 연구개발 목표 달성도	121
2. 관련분야에의 기여도	123
제 5 장 연구개발결과의 활용계획	125
1. 연구개발 결과 활용	125
2. 참외에 대한 규산질 비료의 사용 지침	125
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보	128
제 7 장 참고문헌	130

제 1 장 연구개발과제의 개요

벼와 같은 수생화본과 작물의 경우 규소가 필수 영양원소로 인정되고 있다. 벼의 경우 규소가 부족하면 영양생장과 수량이 크게 감소하며 성장이 완료된 앞에서 괴사현상이나 위조현상이 나타난다. 토마토와 오이에서도 규소는 필수원소로 밝혀지고 있는데, 개화기 이후 잎의 정상적인 발생과 결실에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 특정 원소가 필수영양소가 되기 위해서는 식물체내에서의 원소 고유의 생리생화학적 작용이 있어야 하나 규소의 경우 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 작용이 아직 잘 밝혀져 있지는 않다. 물론 규소는 식물체내에 비교적 많이 흡수되며 세포벽에 축적되어 큐티클층을 형성하고 식물의 물리적 강도를 높여 병균이나 해충의 침투를 방지하여 병해에 대한 저항성을 높이며 도복의 피해를 경감시킨다.

최근 친환경농법을 이용하는 경북 성주 지역을 비롯한 농가들에서 참외, 딸기, 오이 등의 작물을 시설 내에서 재배할 때 규산질 비료를 사용하여 병충해의 발생을 감소시키며 더불어 수량도 증가시키는 결과를 얻고 있는데, 우리나라에서는 아직 참외 등 과채류를 비롯한 발작물에 대한 규소의 효과가 검증되어 있지 못하며 규산질 비료의 시비 기준도 없는 실정이다.

현재 대부분의 농가에서 참외를 비롯한 과채류 작물에 대해 규산질 비료를 사용하고 있으나 시용량은 농가별로 크게 차이가 나고 있는 실정이다. 이와 같이 일반 농가에서는 현재 임의로 규산질 비료를 사용하고 있는데 적정 시비가 이루어질 경우 그 효과가 크나 과다시비가 이루어질 경우에는 오히려 생육저해에 따른 손실이 발생되고 있으며 적정 수준이하의 시비로는 효과를 보지 못하고 있는 실정이다. 이러한 사실은 농가 설문 조사 결과에도 잘 나타나고 있다. 비료의 적정 시용 수준은 작물의 종류와 품종, 토양중의 유효 성분 함량에 따라서 결정되어야 하는데, 과채류 재배 농가에서는 적절한 규산질 비료 시용량을 결정하는데 있어서 크게 어려움을 겪고 있다.

따라서 이러한 농가 현장의 기술적 애로를 해결하기 위해서 과채류에 대한 규산질 비료 시비 기준의 설정이 매우 시급한 실정이며 더불어 과채류 작물의 생육, 수

량, 품질 및 병해 발생 억제 등에 미치는 규소의 효과와 작용에 대한 연구가 시급히 이루어져야 한다.

우리나라에서 참외는 10,395 ha의 재배면적에서 연간 294,081 Mg이 생산되며, 딸기는 6,553 ha에서 연간 155,521 Mg이 생산되고 오이는 7,894 ha에서 연간 408,317 Mg이 생산되고 있다. 이러한 과채류는 90% 이상 시설재배로 생산되며 농가 소득향상에 크게 기여하고 있을 뿐 아니라 국민 식생활에 필요한 신선 과채류 수요를 충분히 공급해오고 있다. 딸기와 오이 등의 수출이 일본을 비롯하여 홍콩, 캐나다 등지로 확대되고 있으나 인건비 등의 상승으로 일부 어려움을 겪고 있다. 이러한 과채류의 생산성 제고를 위하여 품종 육성과 재배 및 시비 기술 향상을 위한 다양한 연구가 이루어져 왔으나 현재까지 과채류 등에 대한 규산질 비료의 사용 효과가 국가연구기관이나 대학 등의 전문연구를 통하여 충분히 확립되어 있지는 않은데, 일부 농가에서는 실제 규산질 비료를 사용하여 과채류의 수량 증대와 병해 발생억제 효과를 얻고 있다. 따라서 과채류 등의 발작물에 대하여 과도한 농약 사용을 줄임과 동시에 생산량을 증대시켜 농가 소득향상에 기여하고 국내 과채류 수급을 원활히 함과 동시에 수출 경쟁력을 키워 나가기 위해 규산질 비료의 효과를 검증하고 적정 시비 기준을 확립하는 연구가 필요하다.

환경오염 문제가 심각해지고 있는 상황에서 특히 농산물의 안전성에 대한 사회적인 관심이 높아지고 있고, 따라서 특히 특별한 가공 없이 후식 또는 간식류 등으로 섭취되는 신선 과채류 중의 잔류농약과 영양염류의 과다 축적에 따른 위해성의 저감에 대한 국민들의 요구가 증대되고 있다. 이러한 사회적 요구를 충족시키기 위해 친환경농법의 도입과 그 기술의 발전이 매우 필요한 시점이며, 규산질 비료의 사용은 작물의 물리적 강도를 높여 병해 발생을 억제시켜줄 수 있어 농약의 사용을 줄여줄 수 있으므로 안전농산물의 지속적이 생산을 가능하게 해줄 수 있다. 따라서 농약의 사용을 줄이면서 안전한 농산물을 충분히 확보 할 수 있는 영농법의 확대에 대한 사회적 요구를 충족시키기 위해서도 규산질 비료의 효과 구명과 시용 기술의 확립이 필요하다.

따라서 본 연구과제에서는 경북 성주 참외 시설재배지에서 규산질 비료를 사용하고 있는 농가를 중심으로 토양 중의 유효 규산 함량과 토양의 이화학적 특

성 변화를 조사하고 작물의 생육과 수량 증대와 병해 발생 억제 정도를 파악하여 참외 재배에 적절한 토양 중 유효 규산 함량과 규소의 효과와 작용의 범위를 조사하였으며 참외에 적절한 토양 중의 유효 규산 함량을 유지하는 데 필요한 적정 규산질 비료 시용 수준 설정을 위한 시험을 수행하였다. 규산질 비료의 시용에 따른 참외재배 토양의 이화학성 변화 특성과 시용된 규산질 비료의 유효화율을 평가하고 지속적으로 적절한 토양 중 유효 규산 함량을 유지하는데 필요한 규산질 비료의 시용수준과 연용 기준을 구명하였다. 또한 규산질 비료가 참외의 생육과 수량에 미치는 효과를 규소의 흡수와 작물 체내 분포, 토양의 이화학성 변화 등을 고려하여 평가하였으며, 동시에 규산질 비료의 시용에 따른 참외의 주요 병해인 흰가루병 발생 억제 효과를 검정하고 규소에 의해 억제되는 특정 병해의 발생을 억제하는 작용 기작을 조사하였다.

본 연구의 결과는 농가에서 막연히 기대하고 있는 규산질 비료의 참외의 생육과 수량 또는 병충해 방제에 미치는 효과를 구명해줄 것이며 참외에 대한 규산질 비료의 시용 여부를 판단할 수 있는 근거를 제시하고, 시용이 필요할 경우 적절한 시용 수준과 연용주기 등에 대한 자료를 제시하게 될 것이다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

1. 국내외 기술개발 현황

규산은 기초 광물을 형성하는 원소로서 지각 구성 성분 중에서 산소에 이어 두 번째로 그 함량(28%)이 높은 성분이다. 1804년 Alexander가 1000여개 식물의 규산 함량을 측정 평가한 연구를 시작으로 오늘에 이르기까지 토양 중에서의 동태와 이화학적 특성과 고등식물의 생육에 대한 작용을 밝히기 위한 연구가 꾸준히 진행되어 왔다.

규산은 토양중에서 montmorillonite, mica, kaolinite, illite, smectite, feldspar, quartz 등의 결정형 광물, phytoliths 등 생물체에 존재하는 형태, 그리고 기타 여러 가지의 부정형 광물이 존재하며, 이들 모두는 식물이 흡수할 수 없는 고형이다.

이러한 규산물질들은 기상 및 토양의 물리 화학성의 상호작용으로 용해된다. 주로 토양의 pH에 따라서 분자상 H_4SiO_4 , $H_3SiO_4^-$, $H_2SiO_4^{2-}$, $HSiO_4^{3-}$ 및 SiO_4^{4-} 로 변화되는 monosilicic acids와 이들의 복합체인 polysilicic acid ($nSi(OH_4)$), Al, Fe, Ca, Na, Mg 등과 무기복합물 그리고 유기 규산 복합체로 존재한다. 식물에는 주로 H_4SiO_4 형이 잘 흡수되고 이온형태는 다른 무기이온과의 길항작용으로 흡수가 억제된다 (Mckeage & Cline, 1963).

토양중의 규산은 특정 원소의 양이 지나치게 높아지는 것을 막아 주며, 반대로 그 양이 낮아지면 해리를 통해 공급하는 일종의 양이온 완충기능을 한다. 식물이 주로 흡수하는 토양의 H_4SiO_4 는 화학특성을 조절하고, polysilicic acid는 토양 물리성을 조절하며, 이들 양자의 상호작용으로 토양 pH 6에서는 분자상 규산인 H_4SiO_4 형태로, pH 7-10에서는 $H_3SiO_4^-$, pH 10-11이상에서는 $H_2SiO_4^{2-}$ 로, pH 11 이상에서는 SiO_4^{4-} 로 주로 존재하면서 약간씩 혼합되어 있다 (Mckeage & Cline, 1963).

Iler (1979)는 단분자 규산이 SiO_2 로 100 mg/kg 이하의 농도에서는 25°C 물

속에서 오랜 기간 안정하게 녹아 있을 수 있으나, 무정형 규산의 용해도보다 큰 130 mg/kg 이상에서는 2분자와 그 이상의 고분자 형태로 중합이 일어난다고 하였다.

토양용액에 녹아 있는 규산 농도는 무정형 규산의 용해도 (50-60 mg Si/L)와 석영의 용해도 (3-7 mg Si/L) 사이의 중간 정도 범위에 해당한다. 따라서 Elgawhary and Lindsay (1972)는 무정형 규산 물질보다는 용해도가 낮고 석영보다는 용해도가 높은 다른 물질이 토양의 용해성 규산 농도를 조절한다고 하였다. Kittrick (1969)은 kaolinite와 montmorillonite가 그런 물질이라 하였고, Wilding 등 (1979)은 나무나 풀에 들어 있는 생물성 opal이 그에 해당한다고 하였으나, 후에 용해 속도가 생각했던 것보다 너무 느리다고 하였다.

토양에서 우리의 관심의 대상이 되는 음이온 중에는 $B(OH)_4^-$, CO_3^{2-} , NO_3^- , $H_3SiO_4^-$, PO_4^{2-} , SO_4^{2-} , AsO_4^{3-} , SeO_3^{2-} , MoO_4^{2-} 등과 같이 oxyanion 형태를 띠는 것들이 많다. 음이온들이 토양에 흡착되는 방식에는 NO_3^- 나 Cl^- 이온처럼 양전기를 띠는 토양입자 표면에 정전기적으로 흡착하는 비특이 흡착 방식과 $H_3SiO_4^-$ 를 포함하여 앞서 열거한 NO_3^- 이온 외의 여러 가지 oxyanion들이 보여 주는 특이 흡착 방식이 있다 (Sposito & Shindler, 1987). 특이 흡착은 비특이 흡착과 달리 이온과 흡착표면 사이에 물분자를 두지 않고 리간드 교환반응을 통하여 inner sphere surface complexation을 하게 되므로, 음이온의 특이 흡착을 화학 흡착 (chemisorption) 이라고 부른다.

McBride (1994)는 규산염 광물과 산화물의 음이온 화학 흡착에 대하여 다음과 같은 규칙을 제안하였다. 첫째, 약산의 oxyanion은 중간 내지 높은 pH 조건에서 화학 흡착되며, 둘째, 강산의 oxyanion은 낮은 pH에서 화학 흡착된다. 셋째, oxyanion 흡착은 pKa에 가까운 pH에서 최대로 일어나는 경향을 보이며, 넷째, pKa 값보다 높은 pH 조건에서는 OH^- 이온 및 탄산 음이온과의 경쟁과 표면 음전하의 증가 때문에 음이온 흡착이 어려워진다고 하였다.

음이온의 화학흡착 특히 규산을 흡착하는 주요 토양 구성물질은 표면의 금속 이온에 oxyanion과의 반응성이 큰 OH기나 H_2O 를 다량 보유하는 물질들이다. 그런 물질들로는 철과 알루미늄의 산화물과 수산화물, 1 : 1형 규산염 점토광물

및 알로판과 같은 무정형 규산염 광물들이 있다. 철과 알루미늄 산화물들은 종류에 따라 결정화 정도가 상이한데, 새로 결정화 된 것일수록 결정화도가 낮고 입자가 작아 표면적이 크므로 규산 흡착능력이 크다. 결정화도가 비슷하다면 철과 알루미늄 산화물 중에서는 알루미늄 산화물의 규산 흡착능력이 더 큰 것으로 알려져 있다 (Hingston et al., 1967; Toth, 1939). Giles 등 (1977)은 kaolinite < goethite < gibbsite 순으로 규산 흡착능력이 크다고 보고하였다

규산은 리간드 교환에 의해 토양에 흡착되며, pH는 흡착현상에 매우 큰 영향을 미친다. 규산 흡착량은 pH가 증가함에 따라 증가하여 약 pH 9.2에서 최대 흡착량을 보이며, 그 이상의 pH에서는 흡착량이 감소한다 (Hingston et al., 1967). 최대 흡착량을 보이는 pH 값은 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 의 1차 이온화 pKa 값인 9.7에 근접한 값이다.

토양이 환원되면 산화철 광물의 변화에 의하여 규산 흡착 능력에 영향을 미칠 것으로 생각되나 산화 환원 전위는 영향을 미치지 않았다. 한편 온도 증가는 토양의 규산 흡착량을 증가시키나 (Richard & Diana, 1964), pH 만큼 큰 영향을 나타내지는 못하였다 (Lee & Neins, 1992a; Lee & Jung, 1996).

이러한 규산은 식물체에 monosilicic acid 형태로 흡수되고 식물체내에서 이동하여 온도와 pH 반응으로 polysilicic acid로 중합되어 amorphous silica로 되고 polysilicic acid 특성을 갖는 Si-O 네트구조로 조직세포에 부착된다 (Williams, 1986).

Silica gel이나 opal (phytoliths)과 같은 amorphous silica와 quartz같은 crystalline silica는 근본적으로 polysilicic acid이다. 이들은 식물체중의 총 규산의 90% 이상이 되고 orthosilicic acid인 저분자 silicic acids는 뿌리에 주로 분포되어 8%를 차지하고 엽신에는 0.5% 함유된다. 체내 규소의 이동은 분포상태로 평가되지만 어떠한 형태로 이동이 되는지는 불분명하다. 규소는 isotope의 반감기가 2 시간 7분으로 매우 짧기 때문에 효율적으로 이용할 수 없으므로 이동성 연구가 어려운 원소이다.

식물 영양원소로서의 규산에 대한 연구는 온대지역권에서는 단자엽 화분과 식물인 벼에서 대부분 이루어졌고 (Park, 1970; Kang, 1985), 열대지역에서는 사

탕수수에서, 그리고 미주와 서구에서는 주로 쌍자엽인 원예작물을 대상으로 규산 흡수성과 병해 저항성 연구가 많이 이루어졌다.

우리나라에서의 규산질 비료에 대한 연구는 1960년대 후반부터 1980년대 후반까지 벼에 대해 많이 이루어졌으며 (Lee et al., 1986; Lee et al., 1986b), 1980년대 후반부터는 시대적 변화에 따라 밭작물에 대한 시용효과 등의 연구가 이루어지고 있다 (Oh et al., 1987; Oh, 1986). 90년대 중반부터는 산성토양의 개량과 동시에 토양의 유효규산 함량 증가 및 재해 경감을 목적으로 공급량과 사용량이 늘어남에 따라 규산에 대한 관심이 더욱 높아지고 있는 실정이다. 우리나라에서는 쌍자엽 식물에 대해서는 거의 이루어진 적이 없다가 최근 친환경 지속농업의 필요성이 대두되면서 원예작물에 대한 규산의 효과 연구가 많이 이루어지고 (Lee, 2000), 농가에서도 규산질 비료의 이용이 많이 늘어나고 있다.

벼에 대한 규산질 비료의 시용 효과는 지금까지 여러 분야에서 이루어지고 있다 (Kang, 1984; Lee et al., 1973). 규산은 벼에서 도복을 방지하는 효과가 크며, 저온과 불충분한 일조 하에서 규산 시용은 벼의 불임입 감소 효과도 크다고 하였다 (Kang et al., 1986). 한편 Miyamori (1996)에 의하면 논토양에 규산을 시용하면 토양의 표면적이 증대되어 chemical stress에 대한 내성 즉 양분의 결핍과 과잉, pH의 고저, 금속 독성, 살충제와 제초제 등 화학적 물질의 stress에 대한 저항성을 증대시키는 주요한 기능을 갖고 있다고 하였다.

벼의 품질에 미치는 규산의 효과에 대해서는 Miyamori (1996)와 Kim 등 (2002)이 규산질 비료의 시용으로 질소의 현미 생산효율을 증가시킴에 따라 벼 곡실 중 단백질 함량을 감소시켜 미질 향상과 식미치가 증가되었다고 하였으며, 벼 식물체 부위별 영양생리적 특성 및 토양 화학성과의 관련성에 대하여 분석 보고하였다.

Ma and Takahashi (1990a)는 인산 결핍 stress 조건에서 규산의 유용 효과를 벼와 보리 등에서 관찰하였는데, 규산의 공급으로 중간정도 보다 낮은 인산 수준에서 벼 경엽 건물중을 현저히 증가시키고 인산의 흡수도 촉진시켰다고 하였으나, 규산은 토양 인산의 유효도에는 영향을 미치지 않았으며, 또한 뿌리에 의한 인산의 흡수에도 영향을 미치지 않았다. 여기서 규산의 유용 효과는 Mn 흡수의

감소에 따른 식물체내 인산의 유효도 개선에 의한 것으로 추정하였다.

규산질 비료는 벼에서 엽각 직립 유지, 질소 이용율 증진, 엽신 노화 억제 등의 효과로 수량 증가에 기여하는 것으로 밝혀져 있다 (Kang, 1985; Agarie, 1998). 이것은 규산이 엽 표면에 집적됨으로써 엽각이 서게 되고 따라서 엽록소를 파괴시키는 에틸렌 생성이 줄어들어 엽신의 노화를 억제시키고 엽신으로 손실되는 휘산 질소를 줄여서 질소 이용 효율을 높이기 때문이다 (Kang, 1980). 오이에서도 규산 시용이 엽록소 함량을 증가시켰으나 광합성과 수량성에는 기여하지 못하였다. 또한 규산질 비료 공급은 벼 엽신의 기공 크기와 수를 조절하여 수분 이용 효율을 증진시키고, 등숙을 양호하게 하여 품질을 향상시킨다 (Kang et al., 1997; Lee, 1993; Kang, 1991; Kang, 1985).

벼 조직의 cuticle-규산 2중층은 식물 자체가 조절할 수 없는 cuticle을 통해서 증산되는 수분 손실을 규산 시용으로 무규산보다 33%나 줄일 수 있다 (Yoshida, 1965). 이러한 결과는 식물체의 내부 수분 스트레스를 심하게 받을 때 무규산 식물체는 뿌리로부터 흡수하는 것보다 증산이 심하게 될 것이므로 생육에 장애를 받을 것이다. 수경액의 압력을 증가시키면 물 흡수에 장애를 받아 벼의 생장이 억제됨을 알 수 있고, 규산 시용으로 수분 스트레스가 경감되는데 5 bar 에서는 무규산 식물체는 고사 상태에 이른다. 특히 뿌리 활력이 떨어지면 하위엽 고사가 무규소 식물에서 증가하게 된다 (Yoshida, 1965). 포장조건에서도 규산 시용으로 관개량을 14% 줄일 수 있는데, 이것은 증산 억제와 누수 억제 효과에 기인하는 것이며 물 절약형 재배기술을 위한 소재로서도 규산질 비료를 높게 평가할 가치가 있다 (Kang et al., 1997).

벼에서 규산 시용에 의한 증산을 감소는 기공을 통한 증산량 감소에 주로 관여되는데 광도 변화에 따른 leaf conductance 감소가 빠르고 대기 습도가 낮은 건조시에도 stomatal conductance가 낮아지게 되어 증산율이 감소된다. 고온으로 야기되는 세포내 전해질 유출도 규산 시용으로 세포막 점성이 증가되어 수분 결핍에 저항성을 갖게 한다 (Agarie et al., 1998).

기상과 토양 환경을 고려하여 국가별 작물별 규산 시용에 따른 증수 효과를 보면 세계적으로 벼에서는 10-46%, 특히 미국에서 21-46%의 가장 높은 증수효과

를 나타내는 것으로 보고되고 있다. 밀, 보리, 옥수수에서는 10-15%의 증수를, 사탕수수에서는 5-13%, 땅콩은 15-25%(중국), 오이에서는 3-10%, 토마토에서는 82-91%, 장미는 4-8%의 증수를 각각 가져왔다. 토마토에서는 작물 중에서 규산을 가장 적게 흡수하면서도 개화 후 임성과 관련이 커서 수량에 결정적으로 영향을 주게 된다 (Kim et al., 2002).

규산 공급 식물체와 무공급 식물체에서 체내 식물체 온도와 외부 온도와의 관계를 보면 38℃이하의 외기 온도에서는 규산 공급으로 식물체 온도가 증가되거나 43-48℃에서는 반대 현상으로 규산 공급으로 고온이나 저온 경감 방향으로 유지시키며 외부 전기적 자극에 대한 반응이 규산 시용으로 낮게 나타나서 전기적 충격을 줄일 수 있는 것으로 보고되었다 (Kang, 1999; Jeong et al., 1997).

규산질 비료 사용은 벼에서 생물적으로 병해충에 대한 내성을 갖도록 하고 특히 규산과 칼리는 동조적으로 물질의 전류를 촉진시킴으로 일조 부족 스트레스에 대한 경감 효과가 커서 최근 기후 변동으로 늦장마에 따른 일조 부족시 규산질 비료 효과가 등숙에 유리한 역할을 할 수 있을 것이다. 사탕수수에서는 반점, 갈반병 및 Stalk borer에 내성을 갖게 되고 Augustin grass에서는 gray leaf spot에, Paper daisies에 Black mold를, Sargent carbapple의 Beetles를, Cocoa에서는 Theobroma Cacao 병을, 식량작물인 보리, 밀, 옥수수와 Bean, 원예작물인 오이와 딸기, Paper daisies, Snapdragon, 장미에서는 흰가루병을 경감시킨다 (강양순, 2001).

참외 (*Cucumis melo* L.)는 고온 건조한 아프리카 니제르 (niger)강 연안의 기네아 (guinea)가 원산지 또는 재배의 기원이라는 설이 유력하며, 1차 재배중심지역은 아프리카 대륙이고, 2차 중심지역은 인도와 중국으로 알려져 있다. 참외 원종은 고대 이집트와 유럽에 전래되어 멜론이 되었고, 우리나라에서는 삼국시대부터 재배되어 왔으며, 현재 우리나라를 비롯한 중국과 일본등지에서 재배되고 있다 (성주 참외 원예 농업협동조합, 2004).

우리나라에서 참외는 다른 시설원예 작물에 비해 수익성이 높기 때문에 많은 농가에서 재배하고 있으며, 주산지는 경북 성주, 칠곡, 김천 등 이다. 참외는 노

지재배와 시설재배에 의해 생산되고 있으며, 노지재배 면적은 1997년 1,196 ha에서 2003년 372 ha로 급격히 감소하였으나, 시설재배 면적은 1980년대 이후 점차적으로 증가하여 1997년에는 9,199 ha, 2003년에는 7,359 ha에 달하였다 (농림부 농림업 주요 통계, 2004).

재배 중에 참외에 발생하는 주요 병해는 흰가루병, 덩굴 마름병, 덩굴 쪼김병, 역병, 노균병, 세균성 점무늬병, 탄저병, 갈록병 등이 있으며, 이들 중 *Sphaerotheca fuliginea*에 의한 흰가루병, *Pseudoperonospora cubensis*에 의한 노균병, *Didymella bryoniae*에 의한 덩굴 마름병, *Phytophthora capsici*에 의한 역병 등은 방제를 필요로 하는 주요 병해로서 병원균이 침입하기 좋은 고온 다습한 조건이 일정기간 지속되면 다량으로 발생 한다 (박소득 등, 1996). 특히 참외 흰가루병은 전국적으로 분포하며, 재배 중 수시로 발병하는데 시설재배에서 고온 다습 후 건조한 조건에서 발병될 경우 빠른 시간 내에 만연이 되어 방제를 소홀히 할 경우 과실을 수확하지 못할 정도로 피해가 큰 병해다 (이중섭, 1999).

흰가루병균은 자낭균문 (Ascomycota)의 흰가루병균계 (Erysiphaceae)에 속하는 균류에 대한 총칭으로 대부분의 작물에 병을 일으키는 중요한 병원진균이다 (Amano, 1986). 우리나라에서 흰가루병균에 대한 연구는 1910년대에 일본학자들에 의해 시작되었다. 이들에 의한 보고는 주로 보리, 밀, 사과나무, 배나무 등 여러 기주에서 흰가루병이 발생하였다는 사실에 대한 것이었으며, 병원균에 대한 기록은 부족하였다. 해방 이후부터 우리나라 연구자에 의해 흰가루병에 대한 연구가 시작되었는데, 초반에는 병조사가 주였고, 균학적 연구는 1960년대 중반에 이르러서야 시작되었다. 그러나 흰가루병균 및 기주식물에 대한 조사 연구는 짧은 역사에도 불구하고 상당히 진전되었으며, 현재 까지 국내에 기록된 흰가루병균은 총 110종이며, 기주식물은 전체 피자식물의 약 11.7%에 달하는 총 388종으로 보고되었다 (신현동, 1997).

흰가루병균은 순환물기생균으로서 균사는 식물조직 표면에서만 자라며, 식물의 표피 세포 속에 흡기를 집어넣어 식물체의 양분을 흡수할 뿐, 균사가 조직 속으로 뻗어 들어가지는 않는다. 또한 흰가루병균은 식물표면의 균사 위에 짧은 분생자경을 형성하고, 그 끝에 난형 또는 구형의 분생포자를 형성한다. 분생포자는

기류를 타고 다른 식물체로 전염되는데, 환경이 나빠지면 감염된 조직의 균사 위에 하나 혹은 수 개의 자낭을 가진 자낭구를 형성한다. 흰가루병은 다습지역에서도 흔히 발생하지만 주로 온난 건조한 지역에서 발생이 심하고 피해도 크다. 이는 공기 중 상대습도가 낮아 식물표면에 수막이 형성되지 않아도 일반적인 식물병원균들과는 달리 흰가루병균의 포자가 방출되고 발아하여 식물조직을 감염할 수 있기 때문이다. 그리고 일단 감염이 시작되면 대기습도에 관계없이 잎 전체로 퍼져 나가며 심할 경우 줄기까지도 가해한다. 흰가루병균은 병든 조직을 고사시키지는 않으나, 기주식물의 양분을 빼앗고, 광합성을 감소시키며, 호흡 및 증산작용의 증가, 성장 불균일 등의 변화를 일으켜, 참외 수확량에 심각한 감소를 초래하기도 한다. 따라서 흰가루병 방제의 성공여부는 참외재배의 성패를 결정하는 중요한 요인이라 할 수 있다.

참외 흰가루병의 발생은 주로 하위엽부터 시작되어 위쪽으로 진행되며, 초기 병징은 잎과 줄기표면에 밀가루를 뿌려 놓은 듯한 병반이 보이며, 병세가 더욱 진전되면 잎 전체에 포자가 백색으로 뒤덮힌 후 하엽부터 황변하여 고사한다.

흰가루병은 과채류, 맥류, 과수, 화훼 작물 등 거의 모든 재배작물에 발생하며, 전세계적으로 분포하기 때문에 흰가루병의 방제에 관한 연구는 국내외에서 활발히 수행되어져 왔다. 이들 연구는 주로 유기합성농약을 사용하는 화학적 방제에 관한 연구라 할 수 있으며 (백수봉, 1985; 장석원 등., 2001), 계면 활성제, 천연화합물 및 미량요소 등의 예방 및 방제효과 (백수봉 등, 1994, 1996; 이중섭 등, 1999; 조일찬·차병진, 1998; Menzies et al., 1991, 1992; Ruveni et al., 1995, 1997, 1998, 2000a, 2000b; Samuels et al., 1991)와 길항미생물을 이용한 흰가루병의 생물학적 방제에 관한 연구 (신현동, 1994; Abo-Fouler et al., 1996; Elad et al., 1998; Urquhart et al., 1994; Verhaar et al., 1997, 1998a, 1998b) 등이 수행되어 왔으나, 현재 흰가루병의 방제는 대부분 황 미분이나 Demethylation inhibitor (DMI) 같은 살균제 사용에 의한 화학적 방제에 의존하고 있는 실정이다. 유기합성농약에 의존하는 화학적 방제는 농작물에 대한 잔류성 문제, 사용 약제에 대한 내성균주의 출현 및 생태계 파괴 등 많은 문제점을 야기 시켜 왔으며, 농약의 과다 사용에 대한 일반 소비자들의 거부감은 점점 더 커지고 있다 (조일찬 등,

1998).

규산은 석회석 다음으로 흔한 암석 내 교질 물질이다. 식물에 의해 흡수되는 규소의 형태는 $\text{Si}(\text{OH})_4$ 이며, 토양중의 $\text{Si}/\text{Al} \cdot \text{Si}/\text{Fe}$ 비가 클수록 규소의 흡수가 증가한다. 하지만 이것이 식물 생장에 미치는 영향은 미미하고 이에 관한 연구도 빈약하다 (Werner & Roth, 1983). 벼와 같은 수생 화본과 식물의 경우 규소가 필수 원소로 인정되고 있다. 즉, 벼의 경우 규소가 부족하면 성장이 완료된 앞에서 괴사현상이나 위조현상이 나타나고 영양생장이 저해되며 결과적으로 수량이 크게 저하 된다 (Lewin & Reimann, 1969). 그리고 토마토와 오이 등의 작물에서도 규소가 일부 필수원소로 밝혀지고 있는데 (Miyake & Takahashi, 1978), 토마토의 경우 개화기까지는 규소의 영향을 거의 받지 않으나, 개화기 이후 규소가 부족하면 잎의 발생이 정상적이지 못하고 수분작용에 지장이 초래되며 심할 경우에는 결실이 불량해지는 것으로 보고되어 있다 (Miyake & Takahashi, 1983).

규소는 식물체내 뿌리와 잎 그리고 작물의 화관에 축적 되는데 단자엽 식물에서는 세포벽에 집적되어 층을 형성한다 (Parry & Kelso, 1975). Epstein (1994)에 의하면 축적되는 규소의 형태는 주로 무정형의 $\text{SiO}_2 \cdot \text{NH}_2\text{O}$ 또는 단백질의 형태이며, 일단 이러한 형태로 축적되면 규소는 비이동적이어서 재분배되지 않는다고 보고하고 있다. 세포벽 내에서 규소의 역할은 세포벽의 구조적 구성요소인 리그닌의 역할과 비슷한 특성을 나타낸다고 보고하고 있다.

또한 규소를 공급한 식물체 잎은 광의 이용률을 증가시켜 광합성 작용을 상승시키는 것으로 보고되어 있다 (Adata & Besford, 1986). 단자엽식물에서 규소의 부족은 증산 작용의 증가와 관련을 가지고 있어 병원균에 대한 저항성이 저하되는 것으로 알려져 있다 (Volk et al., 1958). 반대로 쌍자엽 식물에서 규소의 물리적인 역할에 대해서는 알려진 것이 거의 없다 (Dayanandan & Kaufman, 1976).

규소가 생물적 스트레스, 즉 병원균이나 해충의 피해를 줄일 수 있다고 보고되었는데, 생육중인 벼에 규소를 사용하면 도열병에 의한 피해가 현저히 감소되었으며, 처리 농도가 높을수록 처리 효과가 큰 것으로 나타났다 (Ito & Chiba, 1994; Miyake & Ikeda, 1932). Yamauchi and Winslow (1989)는 규소가 부족한

토양에 규소를 주면 수량 증수는 물론 벼의 병발생을 현저히 억제시켰다고 보고하고 있다. 이처럼 규질화된 잎 세포는 병원균의 침입을 막아 줄 뿐만 아니라, 병원균이 침입한 후에도 식물체 내에서의 생장과 증식을 억제시키는 작용까지 하므로 병 발생을 크게 억제시키는 것으로 알려져 있다 (Samuels et al., 1991; Sherwood & Vance, 1980). 그러나 이러한 작물의 생식생장에 대한 규소의 정확한 작용 기작은 아직 잘 밝혀져 있지 않다.

현재까지 알려진 규소의 역할 중에서 가장 중요하게 인식되고 있는 것은 잎이나 줄기의 피층 세포에 축적된 규소가 조직의 물리적 강도를 높여 줄 수 있다는 사실이다. 이러한 작용을 통하여 벼, 밀, 보리 등 밀식 재배되는 곡류작물의 경우 규소는 직접적으로 또는 간접적으로 생육과 수량을 증가 시키는 작용을 하는데, 잎이 직립함으로써 잎의 빛 흡수가 좋아져 광합성 효율이 높아지며 도복과 병원균의 감염이 방지되고 충해를 경감시킬 수 있기 때문이다 (Parry & Smithson, 1964). 특히 질소 사용량이 많은 경우 이들 작물의 도복현상이나 균의 감염이 심해지는데, 이때 규소를 사용하면 크게 효과를 볼 수 있다 (Idris et al., 1975). 규산질 비료는 벼에서 도열병, 깨씨무늬병, 뿌리썩음병과 바이러스성, 세균성 병해 및 이화명충 등의 충해를 줄여 줄 수 있는 것으로 잘 알려져 있다 (Deren et al., 1944). 규산질화된 잎 세포는 병원균의 침입을 막아줄 뿐만 아니라, 병원균이 침입한 후에도 식물체 내에서의 생장과 증식을 억제시키는 작용까지 하므로 병 발생을 크게 억제시키는 것으로 알려져 있다 (Volk et al., 1958). 이러한 규소의 작용은 특히 엽면시비를 통하여 여러 작물에 대하여 다수의 연구자들에 의해 검증되었다 (Belanger et al., 1995; Bowen et al., 1992; Menzies et al., 1992; Saigusa et al., 2000).

2. 문제점

우리나라에서 현재 까지 규소의 작용과 효과가 대부분 벼를 대상으로 연구되었으며, 밭작물에 대한 규산질 비료의 사용은 아직 권장되지 않고 있는 실정이다. 그러나 오이, 수박, 참외, 호박 등의 경우 규산질 비료를 사용하면 벼에서와

같이 병충해 발생 억제와 증수 효과가 있는 것으로 농가 현장에서 알려지고 있다. 우리나라에서 발작물에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이지만, 규산질 비료 시용에 따른 병충해 방제 효과는 정도의 차이는 있을 수 있으나, 모든 작물에 공통적으로 적용될 수 있는 것으로 판단된다.

비닐하우스에서 재배되고 있는 참외의 경우 흰가루병에 의한 피해가 매우 심각하지만 방제용 약제에 대한 내성균주의 출현이 빠르기 때문에 농가에서는 방제에 어려움을 겪고 있다. 현재 참외 재배농가에서 일부 규산질 비료를 사용하고 있지만 참외의 흰가루병이 토양에 시용된 규산질 비료에 의해 억제될 수 있는지는 불분명한 실정이다.

지금까지 여러 보고에 의한바 논토양 및 벼에 대한 규산질 비료 시용 및 규산에 대한 효과는 여러 분야에서 이루어져 왔으며, 그 효과는 벼에 있어서 규소가 꼭 필요한 원소임을 알려 주고 있다. 또한 규산질 비료는 석회 및 고토가 포함되어 있어 산성토양 개량, 현미 중에 중금속 함량 감소 효과가 있어 규산질 비료 시용은 환경적인 면에서 긍정적이나 식물체내 규산의 역할에 대해서는 연구가 많이 부족한 실정이다.

또한 규산은 아직까지 논토양에서 사용이 많았고 밭토양에서도 사용은 하고 있으나 논토양에 비해 시용 효과 및 검토 내용은 여전히 부족한 실정이다. 최근에는 농가에서 규산질 비료 사용 증가와 원예작물에 대한 규산 적용 시험이 점차적으로 증가하고 있으며 그 시용 효과도 어느 정도 인정되고 있다

그러므로 밭토양에 대한 적합한 규산 분석법이 요구되며 규산질 비료의 효과적인 시용방법을 구명하기 위하여 규산질 비료의 종류, 적정 시용량 및 시용 주기, 잔효 그리고 규산 성분의 토양화학적 및 식물에 대한 영양생리적 효과에 있어서 명확한 원인 구명이 요구되며, 규산질 비료의 시용량 및 시용 주기 등 합리적 시용 방법 결정에 대한 검토의 필요성이 제기되고 있다.

따라서 규산질 비료를 밭토양에 시용 했을 때 그 적정 시용량과 토양의 이화학적 특성 변화 및 규산의 동태를 충분히 파악할 필요가 있다. 밭토양에서 규산질 비료 처리로 인한 식물의 규산 흡수와 생육 및 수량 반응, 병충해 발생 억제 효과가 명확히 밝혀져야 한다. 그리고 토양의 유효성분 함량에 미치는 영향과 발

토양에 대한 적절한 유효규산 분석법이 확립되어야 하며 또한 이화학적 특성이 다른 발토양에서 규산질 비료의 유효화와 그에 따른 토양 pH 및 유효인산 함량에 미치는 영향 등도 구명되어야 할 과제이다.

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 참외에 대한 규산질 비료 시용수준 설정 및 토양 특성 변화

1. 농가의 규산질 비료 사용실태와 효과 및 토양중의 유효규산 함량

경북 성주 지역의 참외 재배 작목반의 44개 농가를 대상으로 2001년에 설문 조사를 통하여 농가 현장의 시비량 등의 규산질 비료 사용 실태와 사용에 따른 수량 증대 및 병충해 발생 억제 효과를 조사하였으며, 설문조사 대상 참외재배 농가 토양과 참외 잎을 채취하여 토양 중의 유효규산 함량과 작물의 규산 흡수량을 조사하였다.

<Table 1>에 나타난 것과 같이 조사대상 농가의 80%가 규산질 비료를 사용하고 있었으며 평균 50 kg/10a 수준으로 사용하고 있는 것으로 나타났다. 규산질 비료의 시용이 참외의 생육, 수량 및 과실의 품질 그리고 병해발생 억제에 미치는 효과에 대하여도 긍정적인 반응을 나타낸 농가가 많았다. <Table 2>에 나타난 것과 같이 조사대상 농가의 41%가 참외의 증수 및 품질 향상에 대한 규산질 비료의 효과를 인정하였으며, 병충해 발생 억제 효과를 인정한 농가 또한 50%에 달했다.

조사대상 농가 포장에서 채취한 토양 중의 유효규산 함량은 1 N NaOAc 용액을 이용하여 추출하였으며, 30-300 mg SiO₂/kg 범위로 조사되었으며 평균 유효규산 함량은 158 mg SiO₂/kg 이었다. 참외 잎 중의 규산 함량은 2.6-16.1% 범위로 조사되었으며 평균 6.1% 이었다. 벼에 비해 일반적으로 밭작물의 규산 흡수율이 낮은 것으로 알려져 있으나 참외 잎에서 조사된 결과를 보면 벼짚의 규산 함량과 거의 대등한 수준으로 흡수하는 것으로 나타났다.

토양의 유효 규산 함량과 참외 잎 중의 규산 함량과의 관계를 보면 <Fig. 1>과 같았다. 통계적으로 유의성 있는 상관관계는 나타나지 않았으며, 특히 토양

중의 유효규산 함량이 100 mg/kg 이상인 경우 참외의 규산 흡수는 토양 유효규산의 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 100 mg/kg 수준까지는 토양 유효규산 함량이 증가함에 따라서 참외 잎 중의 규산 함량이 증가하는 것으로 볼 수 있었다. 참외에 대한 적정 유효규산 수준을 결정하기 위해서는 밭토양에 적합한 유효규산 측정법의 선정과 토양과 식물체중의 규산함량에 대한 자료의 축적이 필요하다.

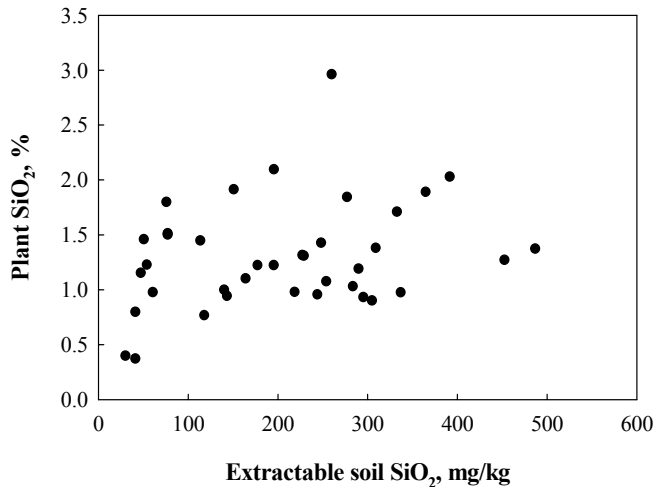
<Table 1> 참외 재배 농가의 규산질 비료 사용 실태

작목반	조사대상 농가수	규산질 비료 사용 농가수	시비량, SiO ₂ kg/10a	
			범위	평균
중리작목반 (칠곡군 지천면 송정리)	16	15	15.2 - 75.8	38.5
구일작목반 (칠곡군 왜관읍)	13	11	20.2 - 100	57.6
성주수출단지 (성주군 성주읍 대흥동)	10	4	31.3 - 66.7	55.8
환경농작목반 (성주군 성주읍 용산2동)	5	5	25.0 - 58.3	41.8
계	44	35	15.2 - 100	49.0

<Table 2> 참외에 대한 규산질 비료의 증수, 품질향상 및 병해충 방제 효과

작목반	규산질 비료 사용 농가수	증수 및 품질 향상 효과 인정 농가수	병충해 발생 억제 효과 인정 농가수
중리작목반 (칠곡군 지천면 송정리)	15	8	12
구일작목반 (칠곡군 왜관읍)	11	7	8
성주수출단지 (성주군 성주읍 대흥동)	4	1	0
환경농작목반 (성주군 성주읍 용산2동)	5	2	2
계	35	18	22

논토양에 대한 유효규산 측정법으로 1 N NaOAc 용액 추출방법이 일반적으로 이용되고 있으며, 본 연구에서도 이 방법에 준하여 1차적으로 토양 유효규산 함량을 조사하였으며 참외의 규산 흡수 현상을 평가하였으나, 발토양 조건에서 작물이 이용할 수 있는 토양 유효규산을 보다 정확히 평가할 수 있는 유효규산 측정방법에 대한 연구가 필요할 것이다.



<Fig. 1> 토양의 유효 규산 함량과 참외 잎 중의 규산 함량과의 관계

경북 성주지역 49개 참외 재배 농가를 대상으로 하여 2002년도에 규산질 비료의 사용에 따른 각종 병해발생 억제 효과를 설문조사와 현장실사를 통하여 조사하였다. 농가별 자세한 조사 내역은 <Table 3>에 나타내었다.

규산질 비료 사용 농가의 비율이 2001년 조사에 비하여 증가하였으며 참외에 대한 규산질 비료의 사용이 매우 보편화되고 있는 것으로 나타났다. 규산질 비료 평균 사용량 또한 증가한 것으로 나타났다. 대부분의 조사 대상 농가가 규산질 비료의 증수효과를 인정하고 있었으며, 흰가루병, 노균병, 탄저병, 역병 등이 규산질 비료의 사용에 따라 억제되는 것으로 나타났다.

<Table 3> 2002년 성주지역 참외농가 규산질 비료 사용실태 및 효과 조사

채취 번호	금년 사용 여부	사용 주기 (년)	시비량 (kg/100평)	수량에 미치는 영향	시 비 효 과			
					병충해 방제효과			억제 병해
					있다	없다	잘모름	
1	x	2년주기		o			o	
2	o	매년	50	o	o			과피가 두꺼워지고 과실이 단단함.
3	x	3년주기		o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
4	x	2년주기		o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
5	x	3년주기		o			o	흰가루
6	x	2년주기		o	o			흰가루, 탄저
7	x	4년주기		o			o	흰가루
8	x	3년주기		x	o			흰가루, 탄저
9	x	2년주기		o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
10	x	4년주기		x			o	역병
11	x			x			o	흰가루
12	x	2년주기		o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
13	x	4년주기		o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
14	x			o			o	흰가루
15	o	3년연속	100	o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
16	x	2년주기		o			o	
17	o	4년연속	100	o			o	
18	o	매년	200	o	o			탄저
19	x	3년주기		o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
20	x	5년주기		o	o			노균
21	o	4년연속	40	o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
22	x	3년주기		o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병
23	x	4년주기		o	o			노균
24	o	4년주기	50	o	o			노균
25	x	3년주기		o	o			흰가루, 노균, 탄저, 역병

<Table 3> (계속)

채취 번호	금년 사용 여부	사용 주기 (년)	시비량 (kg/100평)	수량에 미치는 영향	시비효과			기타
					병충해 방제효과			
					있다	없다	잘모름	
26	o	매년	20	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
27	x	3년주기				o		
28	x	2년주기		o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
29	x	4년주기		o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
30	o	3년연속	80	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
31	o	3년연속	100	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
32	o	3년연속	80	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
33	o	2년연속	100	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
34	o	2년연속	120	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
35	o	4년연속	100	모름	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
36	o	2년연속	120	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
37	o	2년연속	100	o	o		노균, 탄저, 역병	
38	o	4년연속	140	o	o		흰가루, 노균, 탄저	
39	o	1년사용	120	x	o		노균, 탄저, 역병	
40	o	1년사용	200	x	o		노균, 탄저, 역병	
41	o	2년연속	60	o	o		노균, 탄저, 역병	
42	x			o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
43	o	매년	150	o	o		탄저, 역병	
44	o	3년연속	100	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
45	o	2년연속	100	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	
46	o	3년연속	100	o	o		노균, 탄저, 역병	
47	x	2년주기		x		o		
48	o	2년연속	100	o	o		노균, 역병	
49	o	3년연속	100	o	o		흰가루, 노균, 탄저, 역병	

규소는 식물 세포벽에 축적되어 큐티클층을 형성하고 식물의 물리적 강도를 높여 병균이나 해충의 침투를 방지하여 병해에 대한 저항성을 높이는 것으로 알려져 있으며, 곰팡이에 의한 감염이 이루어지면 감염부위 주변으로 규산의 적극적인 축적 현상이 일어나 곰팡이의 증식을 억제할 수 있다는 연구 결과도 있다. 이러한 규소의 역할이 규산질 비료 시용에 따른 병해 발생억제 효과를 유발하는 것으로 볼 수 있을 것이며 보다 자세한 병해발생 억제효과는 계속 연구를 통하여 밝혀져야 할 부분이다.

2. 참외에 대한 토양의 유효규산 분석법 및 적정 유효규산 수준 평가

벼는 다른 작물에 비하여 많은 양의 규소를 흡수한다. 규소가 결핍될 경우 영양생장과 수량이 감소하는데, 오래된 잎의 괴사현상이나 위조현상 등이 나타난다 (Lewin and Reimann, 1969). 규산질 비료의 시용에 따른 효과는 여러 연구자들의 연구결과로 잘 밝혀져 있으며 (Datnoff et al., 1997; Okuda and Takahashi, 1964; Savant et al., 1997), 우리나라에서도 1970년대 이후 벼에 대한 규산질 비료의 시용과 그 효과에 대한 연구가 본격적으로 시작되었다 (Park et al., 1971; Park, 1970; Lee et al., 1973). 우리나라에서는 1967년까지 논토양에서 벼에 대해 0.5 N HCl을 이용한 유효규산 추출방법이 사용되었다. 그러나 0.5 N HCl이 벼에 대한 유효규산을 측정하기에는 너무 강력한 추출용액임이 밝혀진 이후 일본에서 개발된 1 N sodium acetate buffer (pH 4.0) 추출방법이 사용되게 되었으며 (Imaizumi and Yoshida, 1958), 이후 농업과학기술원에서 이를 변형하여 사용하고 있다 (Park, 1970). 1 N sodium acetate buffer를 이용한 방법은 0.5 N HCl 추출방법보다 벼짚의 규산함량과 토양유효규산 관계를 더욱 잘 나타낼 수 있는 방법이 되고 있다.

아직까지 발작물에 대한 규소의 필수성은 인정되고 있지 않지만 최근 참외를 비롯한 여러 가지의 발작물에 규산질 비료를 시용하고 있는 것이 농가 현실이며, 일부 규산질 비료의 효과를 인정하고 있는 실정이다. 그러나 발작물에 대한 규산질 비료의 적정시용수준이나 유효규산 수준을 평가할 수 있는 방법이 확립되어 있지 않다.

벼에 대하여 개발 사용되고 있는 몇 가지 유효규산 측정 방법을 비교하여 참외에 대한 토양 유효규산 함량을 평가할 수 있는 방법을 선정하고 이와 함께 참외에 대한 적정 토양유효규산 수준을 설정하였다.

가. 토양 및 참외 잎 시료

경북 성주군 참외 시설재배 지역 39곳을 선택하여 각각 일정량의 표토 (0-20 cm)를 2002년 4월에 채취하였다. 채취된 토양의 일반적인 물리화학적성은 <Table 4>와 같았다. pH는 1:5 water suspension에서 그리고 유기물함량은 Walkley-Black 방법으로 측정하였는데, 각각 4.0-7.7 and 5.1-30 g/kg의 다양한 범위로 나타났다. 대부분의 토양은 sandy loam 또는 loamy sand의 토성을 보였으며 1 N sodium acetate buffer (pH 4.0)로 추출한 규산함량은 30-487 mg SiO₂/kg의 범위로 나타났다.

토양 시료를 채취한 농가 비닐하우스에서 완전 성숙된 참외 잎 시료를 채취하였으며 60°C 건조기에서 말린 후 분쇄하여 분석시료로 하였다.

나. 토양 유효규산 추출방법

참외에 대한 유효규산분석법으로는 현재까지 국내외에서 주로 벼에 대한 토양 유효규산을 추출하기 위해 개발 사용되고 있는 다음 6 가지의 방법을 비교하였는데, 각 방법의 자세한 내용은 다음과 같다.

1) 0.5 N HCl 용액 침출

풍건세토 5 g을 200 mL screw-cap polyethylene bottle에 옮기고 0.5 N HCl 75 mL를 가하여 30°C의 항온조건에서 250 rpm으로 60분간 진탕하여 Whatman No. 42 filter paper로 여과하였다.

2) 1 N NaOAc (pH 4.0) 용액 침출

풍건세토 5 g을 200 mL 에 옮기고 1 N NaOAc 완충용 (pH 4.0) 50 mL 가하여 60°C의 항온조건에서 250 rpm으로 90분간 진탕하고 냉수로 5분간 급냉시킨 후 Whatman No. 42 filter paper로 여과하였다.

<Table 4> Characteristics of the soil samples.

Sample	pH (1:5)	Available SiO ₂ [†] mg/kg	Organic matter g/kg	Particle separate			Texture
				Clay	Silt	Sand	
				----- % -----			
1	6.1	140	23.6	11.7	38.5	49.8	Loam
2	6.1	113	16.5	9.1	25.8	65.2	Sandy loam
3	5.8	47	22.1	8.9	25.0	66.1	Sandy loam
4	4.7	41	19.7	8.3	26.7	65.0	Sandy loam
5	5.2	61	22.7	14.9	39.8	45.3	Loam
6	6.4	244	24.8	10.5	28.4	61.1	Sandy loam
7	5.9	177	18.5	8.1	16.8	75.1	Loam
8	6.9	164	13.2	12.1	37.8	50.1	Loam
9	6.2	219	20.6	12.1	38.4	49.5	Loam
10	6.2	392	18.7	9.5	21.6	68.9	Sandy loam
11	5.2	54	20.9	17.1	42.7	40.2	Loam
12	6.6	248	22.9	14.9	39.7	45.4	Loam
13	4.9	41	16.8	15.1	40.0	44.9	Loam
14	7.2	309	22.6	4.5	13.2	82.3	Loamy sand
15	7.0	277	10.2	10.7	23.0	66.3	Sandy loam
16	4.0	30	21.1	13.1	38.0	48.9	Loam
17	6.7	229	9.3	9.9	22.2	67.9	Sandy loam
18	6.9	365	9.2	6.9	11.7	81.4	Loamy sand
19	5.5	227	9.3	10.1	16.8	73.1	Sandy loam
20	6.4	453	11.9	22.5	39.5	38.0	Loam
21	3.9	51	14.1	21.9	25.8	52.3	Sandy clay loam
22	5.8	123	5.6	6.3	11.6	82.1	Loamy sand
23	5.7	195	5.1	5.9	12.4	81.7	Loamy sand
24	7.2	284	11.9	7.3	21.9	72.0	Sandy loam
25	7.2	195	12.6	4.9	16.7	78.5	Loamy sand
26	6.5	151	13.2	6.5	22.5	71.1	Sandy loam
27	7.0	333	8.3	1.9	27.9	70.2	Sandy loam
28	6.2	143	7.5	4.1	13.1	82.8	Loamy sand
29	5.5	76	30.0	15.7	39.6	44.7	Loam
30	6.8	305	23.1	13.3	39.4	47.3	Loam
31	5.5	77	5.7	13.9	22.9	63.2	Sandy loam
32	7.7	295	8.6	4.1	11.2	84.7	Loamy sand
33	7.6	487	12.5	12.1	23.1	64.9	Sandy loam
34	6.7	289	14.3	9.1	16.8	74.1	Sandy loam
35	6.7	254	14.9	8.7	23.4	68.0	Sandy loam
36	6.7	337	12.2	13.1	28.6	58.3	Sandy loam
37	5.8	77	9.8	9.5	21.0	69.5	Sandy loam
38	6.7	260	6.2	8.5	22.0	69.5	Sandy loam

[†] Extracted with 1 N sodium acetate buffer method.

3) Citric Acid 1% 용액 침출

풍건세토 5 g을 200 mL screw-cap polyethylene bottle에 옮기고 1% citric acid 용액 50 mL를 가하여 30°C의 항온조건에서 250 rpm으로 120분간 진탕하고 24시간 정치 후 다시 60분간 진탕하여 Whatman No. 42 filter paper로 여과하였다.

4) Water 침출

풍건세토 5 g을 wide-mouth round bottle에 옮기고 demineralized water 50 mL를 가하여 30°C의 항온조건에서 250 rpm으로 120분간 진탕하고 24시간 정치 후 다시 60분간 진탕하여 Whatman No. 42 filter paper로 여과하였다.

5) Tris buffer (pH 7.0) 용액 침출

풍건세토 5 g을 200 mL screw-cap polyethylene bottle에 옮기고 Tris buffer (pH 7.0) 용액 50 mL를 가한 후 10-20초 간 흔든다. 그 후 30°C의 항온조건에서 250 rpm으로 120분간 진탕하고 24시간 정치 후 다시 60분간 진탕하여 Whatman No. 42 filter paper로 여과하였다.

6) Incubation method

풍건세토 5 g을 200 mL screw-cap polyethylene bottle에 옮기고 증류수 50 mL를 가한 후 40°C에서 7일 동안 incubation 후 Whatman No. 42 filter paper로 여과하였다.

다. 규산 분석

각각의 토양 유효규산 추출방법으로 추출된 규산은 비색법으로 분석하였다 (Hallmark et al., 1982). 추출액 5 mL를 50 mL volumetric flask에 옮기고 1 N H₂SO₄ 용액 10 mL를 가하여 산성화시킨 다음 0.3 M ammonium paramolybdate tetrahydrate solution 10 mL를 가하고 증류수로 용량을 맞추었다. 용액을 잘 혼

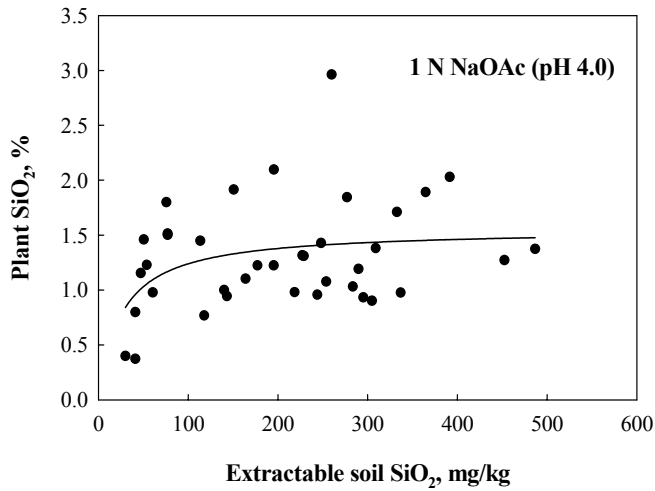
합하고 10분이 경과한 후 400 nm에서 spectrophotometer (HP 8452A Model, Hewlett Packard, Waldbronn, Germany)로 비색 정량하였다.

참외 잎 시료의 규산 함량 autoclave-induced digestion method를 이용하여 분석하였다 (Elliott and Snyder, 1991). 식물체 시료 건물중 100 mg을 50 mL polyethylene tube에 넣고 50% H₂O₂ 2 mL와 50% NaOH 4.5 mL를 첨가하여 autoclave (HS-60, Hanshin Medical, Bucheon, Korea)에 옮긴 후 126°C 조건에서 1시간 동안 분해하였으며 그 액을 Whatman No. 2 filter paper로 여과하였다. 여액 1 mL에 1 N H₂SO₄ 5 mL와 0.3 M ammonium molybdate 5 mL를 가하고, 2분후 20% tartaric acid 2.5 mL와 1-amino-2-naphthol-4-sulfonic acid reducing agent 0.5 mL를 가하여 잘 혼든 다음 30분간 발색시켰으며 UV-VIS spectrophotometer (HP 8452A Model, Hewlett Packard, Germany)로 820 nm에서 비색 정량하였다.

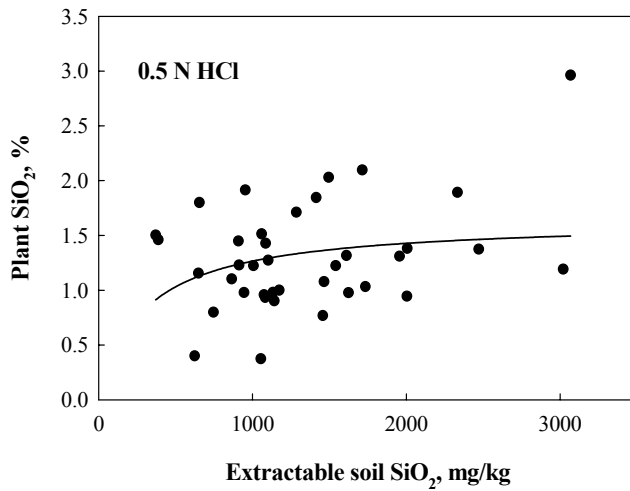
라. 유효규산 분석법의 비교와 참외에 대한 적정 유효규산 수준 평가

1) 유효규산 분석법의 비교

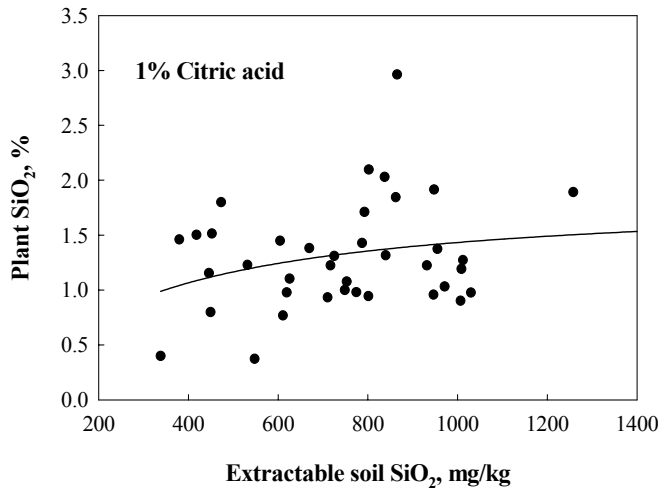
각각의 토양유효규산 추출방법별로 추출된 규산 함량은 <Fig. 2-7>에 나타내었는데 측정방법별로 매우 큰 차이를 보였다. 0.5 N HCl과 1% citric acid의 경우 다른 추출액보다 훨씬 많은 규산을 추출되었으며 water와 Tris buffer pH 7.0 추출액이 가장 낮은 추출효율을 보였다. 이러한 추출액의 규산 추출효율의 차이는 대개 추출액의 산도에 따라서 결정되는 것이며 규산의 용해도는 추출액의 pH가 증가할 수 록 감소하는 것으로 알려져 있다 (Kato and Owa, 1990). 따라서 water와 Tris buffer의 pH가 다른 산성 추출액에 비하여 높으므로 규산 추출 능이 낮은 것이다. water를 이용한 incubation 방법의 경우 water나 Tris buffer 방법보다 약간 높은 추출효율을 보였다. 1 N sodium acetate buffer의 경우 incubation과 citric acid 추출방법의 중간 정도의 추출효율을 보였다.



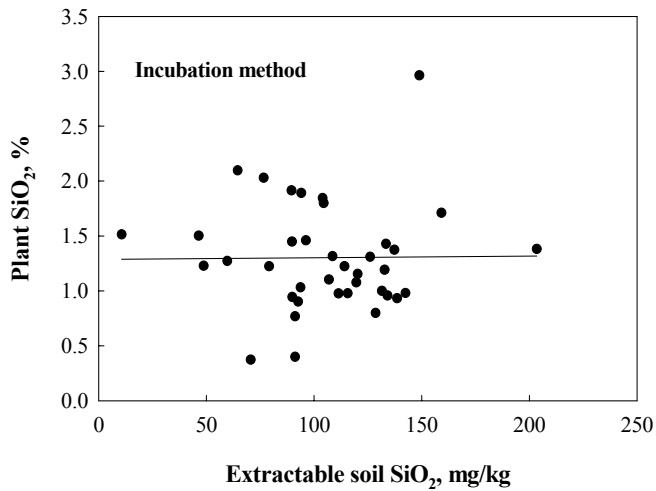
<Fig. 2> Relationship between available SiO₂ extracted by 1 N sodium acetate buffer and SiO₂ in oriental melon leaf.



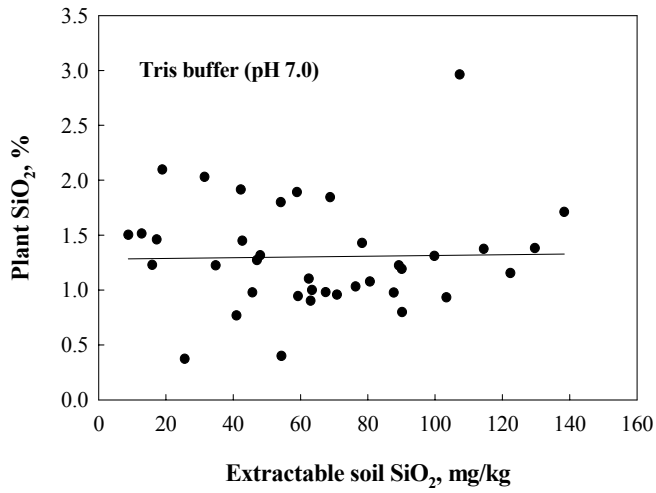
<Fig. 3> Relationship between available SiO₂ extracted by 0.5 N HCl and SiO₂ in oriental melon leaf.



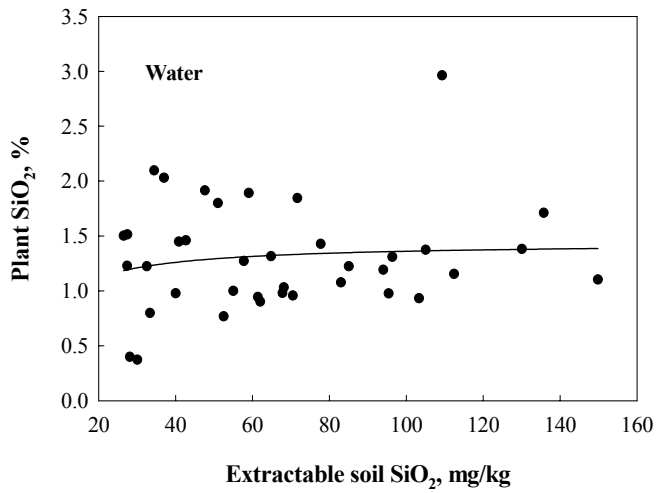
<Fig. 4> Relationship between available SiO₂ extracted by 1% citric acid and SiO₂ in oriental melon leaf.



<Fig. 5> Relationship between available SiO₂ extracted by incubation method and SiO₂ in oriental melon leaf.



<Fig. 6> Relationship between available SiO₂ extracted by Tris buffer (pH 7.0) and SiO₂ in oriental melon leaf.



<Fig. 7> Relationship between available SiO₂ extracted by water and SiO₂ in oriental melon leaf.

Autoclave-induced digestion method로 측정된 참외 잎 중의 규산 함량은 4-30 g SiO₂/Kg의 범위로 나타났다 (<Fig. 2-7>). 참외 잎 중의 규산 함량은 벼 잎 중의 규산함량에 비하여 낮았으나 작물의 필수 무기원소인 Ca, K, N 등의 평균 함량보다는 높게 나타났다.

각 추출방법별로 추출된 토양 규산함량과 참외 잎 중의 총 규산 함량과의 관계를 <Fig. 2-7>에 나타내었다. 1 N sodium acetate buffer의 경우, 가용성 토양 규산함량이 120 mg SiO₂/kg 이하에서는 토양 규산함량이 증가하면서 참외 잎 중의 규산함량이 증가하는 경향을 보였으며 가용성 토양 규산함량 120 mg SiO₂/kg 이상의 범위에서는 참외 잎 중의 규산함량은 더 이상 증가하지 않는 경향을 보였다. Citric acid 1% 추출의 경우, 가용성 토양 규산함량이 증가할수록 참외 잎 중의 규산함량도 증가하는 경향을 보였으나 1 N sodium acetate buffer로 추출한 경우에 비하여 그 경향은 뚜렷하지 못하였다. 식물체내의 무기영양소 함량은 토양이 식물에 공급할 수 있는 무기영양소의 함량 정도를 간접적으로 평가할 수 있는 지표가 되며, 식물체내의 무기영양소 함량과 토양 중의 유효태 무기영양소의 함량은 직접적으로 상관관계를 가지게 된다. 토양 중의 특정 무기영양소의 유효도가 증가하면 식물체 중의 영양소 함량도 일정 수준까지 증가하고 결국 더 이상 증가하지 않는 포화수준에 도달한다. 이러한 관점에서 보면, 1 N sodium acetate buffer를 이용한 토양 유효규산 추출방법이 참외에 대한 유효규산 추출방법으로 가장 적절한 것으로 판단된다. 0.5 N HCl, Tris buffer, Water를 이용한 직접 추출과 incubation 후 추출하는 방법 등은 토양 중의 가용성 규산함량의 변화와 참외 잎 중의 규산함량 변화 관계를 적절히 나타낼 수 없으므로 참외에 대한 토양 유효규산 분석법으로 사용할 수는 없을 것으로 판단된다.

de Lima Rodrigues et al. (2003)은 벼와 사탕수수를 재배하는 137가지의 Florida 토양에 대하여 유효규산 추출방법을 비교하였는데, sodium acetate buffer와 acetic acid가 다양한 토양에서 적절한 추출방법으로 제시되었다. 그리고 Barbosa-Filho et al. (2001)은 벼에 대하여 토양 유효규산 추출방법으로 0.5 M acetic acid extraction, citric acid 1%, deionized water, Tris buffer pH 7.0, water-bath shaking, incubation with water for 1 week at 40°C, and incubation

with water for 4 week at 30°C 등을 검토하였는데, 0.5 M acetic acid 방법이 벧짚중의 규산함량과 토양 규산함량관계를 가장 잘 나타낼 수 있었으며 그 다음으로 1% citric acid가 적절한 방법인 것으로 나타났다. 반면 Water나 Tris buffer pH 7.0으로 추출하는 방법은 벼에 대한 유효규산 추출법으로는 부적절하였다. 중국에서 Xu et al. (2001)은 sodium acetate buffer를 이용한 토양 규산 추출방법이 석회질 토양에서 밀에 대한 유효규산 측정방법으로 적절한 것으로 밝혔다. 그러나 Liang et al. (1994)은 Imaizumi and Yoshida (1958)가 제시한 sodium acetate buffer 방법이 석회질 토양에서 벼나 밀에 대한 토양 유효규산 함량을 평가하는 방법으로는 부적절한 것으로 밝히기도 하였다. 이러한 결과는 결국 여러 가지의 추출액이나 추출방법이 토양 규산을 추출할 수 있는 효율이 다르며 또한 토양 마다 규산함량이 다르거나 토양에 존재하는 규산의 형태가 다양하기 때문 일 것이다. 토양 중의 무기영양소를 추출하는 용액이나 추출하는 방법 자체는 대부분 경험적으로 개발된 것이다. 따라서 추출용액이나 추출방법별로 가용성 무기영양소의 함량이 달리 측정되거나 식물체 중의 함량과의 관계가 또한 달리 나타나는 현상에 대하여 그 이유를 설명하는 것은 매우 어려운 것이다. 그러나 본 연구의 결과와 다른 연구자들의 토양 유효규산 측정 방법을 고려할 때 acetate를 함유하는 추출용액이 여러 작물이나 토양에서 토양중의 규산함량과 작물의 규산 흡수관계를 잘 나타낼 수 있는 것으로 판단된다.

2) 참외에 대한 적정 토양 유효규산 수준 설정

참외 생육에 적정한 토양 유효규산 함량은 아직 알려져 있지 못하다. 적정 토양 유효규산 함량은 토양 유효규산의 수준별 작물의 생육 또는 수량 반응으로부터 결정되어야 한다. 그러나 규소는 참외를 비롯한 발작물의 경우 필수원소가 아니며 또한 생육이나 수량을 결정하는 영양원소가 되지 못하므로 토양 유효규산의 수준별 작물의 생육 또는 수량 반응이 뚜렷이 나타나지 못하며 따라서 적정 토양유효규산 수준을 결정하기가 매우 어렵다.

앞서 살펴본 대로 토양 유효규산 측정방법 중에서 참외의 경우 1 N sodium acetate buffer가 최적의 유효규산 추출방법이 되는 것으로 나타났으며 1 N

sodium acetate buffer로 추출된 토양 규산 함량이 120 mg SiO₂/kg 이하에서는 참외 잎 중의 규산함량이 더 이상 현저히 증가하지 않았다. 따라서 이러한 결과를 고려하면 본 연구에서 조사한 참외 시설재배지 토양 중에는 참외 생육에 필요한 수준 이상의 규산이 함유되어 있는 것으로 판단된다. 이러한 이유는 대부분의 참외재배지 토양이 한 때 벼 재배 논이었으며 규산질 비료가 자주 사용되었기 때문으로 판단된다. 그리고 참외 재배시에도 규산질 비료를 일부 사용하였기 때문일 것이다.

각각의 토양 유효규산 추출법에서 나타난 <Fig. 2-7>의 결과에서 토양 유효규산 함량과 참외 잎 중의 규산 함량 사이의 유의성 있는 상관관계를 구할 수는 없었다. 토양 유효규산 함량이 적정 수준 이하인 범위 또는 비교적 낮은 수준에서는 토양 유효규산 함량과 참외 잎 중의 규산 함량 상이에 직선적인 상관관계가 있어야 할 것이다. 특히 유용한 토양 유효규산 분석방법이 되기 위해서는 그 방법으로 추출된 토양 유효규산 함량과 참외가 흡수한 규산 함량 상이에 유의성이 있는 상관관계가 있어야 한다. 그리고 일반적으로 토양중의 유효태 영양소 함량이 증가하면 식물체 내의 영양소 함량도 포화점까지는 증가한다. 따라서 본 연구에서 비교한 유효규산 추출방법들에 대하여 추출된 토양 유효규산 함량과 참외 잎 중의 규산 함량과의 관계를 참외 잎 중의 규산 함량을 포화시킬 수 있는 수준 이하의 토양 유효규산 함량 범위 이하에서 조사하였다.

<Fig. 2-7>에 나타낸 참외 잎 중의 규산 함량과 토양 유효규산 함량 관계에서 참외 잎 중의 규산 포화농도는 약 14 g SiO₂/kg으로 평가되었다. 그리고 참외 잎 중의 규산 함량이 포화되는 토양 유효규산 함량은 1 N sodium acetate buffer, 1% citric acid, 그리고 0.5 N HCl extraction method에 대하여 각각 120, 700, 및 1000 mg SiO₂/kg으로 추정되었다. 그러나 나머지 토양 유효규산 추출방법에 대해서는 적정 토양 유효규산 함량의 범위를 정하기 어려웠으며 incubation, Tris buffer, water method에 대하여는 각각 100, 60, 40 mg SiO₂/kg 이하의 토양 유효규산 함량 범위에서 상관관계를 조사하였다. 조사된 참외 잎 중의 규산 함량과 토양 유효규산 함량상이의 상관계수는 <Table 5>와 같이 나타났다.

<Table 5> Correlation coefficients between extractable soil Si and oriental melon leaf Si in the soils of relatively low extractable Si levels.[†]

Extraction procedure	Number of soil samples included in the correlation	Range of extractable Si in the selected soil	Correlation coefficient
		mg SiO ₂ /kg	
1 N NaOAc buffer pH 4.0	11	30 - 113	0.712*
1% citric acid	18	338 - 609	0.066
0.5 N HCl	10	305 - 988	- 0.331
Incubation	17	10 - 98	- 0.181
Tris buffer pH 7.0	18	9 - 59	- 0.159
Water	10	27 - 40	0.280

[†] For this correlation analysis, authors selected soil samples containing relatively low extractable Si levels where a linear correlation between extractable soil Si and oriental melon leaf Si was expected.

1 N sodium acetate buffer로 추출한 토양 유효규산 함량의 경우 참외 잎 중의 유효규산 함량과 유의성 있는 정의 상관관계를 보였다. 1% citric acid와 Water로 추출한 토양 유효규산 함량은 참외 잎 중의 규산 함량과 정의 상관관계를 보였지만 통계적으로 유의성은 없는 결과이었다. 0.5 N HCl, incubation, 그리고 Tris buffer 방법들은 토양 유효규산 함량 변화에 따른 참외의 규산 흡수 반응을 예측할 수 있는 방법이 되지 못하였다.

참외 잎 중의 규산 함량 (Y, g SiO₂/kg)과 1 N sodium acetate buffer로 추출된 토양 유효규산 함량 (X, g SiO₂/kg)과의 관계는 $Y = 2.964 + 0.141X$ 로 표시할 수 있었다. 이 관계식은 1 N sodium acetate buffer로 추출한 토양 유효규산 함량이 120 mg SiO₂/kg 이하인 범위에서 적용될 수 있으며, 앞으로 보다 많은 토양 시료를 대상으로 보다 구체적인 연구가 더 수행되어야 할 것으로 판단된다.

3. 밭토양에서 규산질 비료의 유효화와 토양반응 교정 효과

규소는 벼에 대하여 필수영양원소로 인정되고 있으므로 벼의 생육과 수량 증대를 위해서는 규산질 비료가 필수적으로 사용되고 있다. 밭작물에 대한 규산질 비료의 사용 효과가 적극적으로 검토되고 있으며 밭토양의 경우 석회질 비료보다는 빠른 효과를 보기에는 어려우나 지속적으로 용해되므로 산성토양 개량제 측면에서도 그 사용 효과가 기대된다.

규산질 비료는 아직까지 벼에 주로 사용되고 있으며 밭토양에서도 일부 사용은 하고 있으나 논토양에 비해 사용 효과 및 검토 내용은 여전히 부족한 실정이다. 밭작물의 규산 요구도나 작물별 적정 사용수준이 구명되어 있지 않은 상태이므로 우선 규산질 비료를 밭토양에 사용했을 때 규산의 동태와 함께 토양의 이화학적 특성 변화를 충분히 파악할 필요가 있다. 본 연구에서는 밭토양에 처리된 규산질 비료의 유효화 정도와 토양 pH에 미치는 영향을 구명하고자 하였다.

가. 토양시료 및 규산질 비료의 처리

유효규산 함량, pH 및 유기물 함량 등이 규산질 비료의 유효화에 영향을 미칠 수 있는 주요 토양 특성임을 고려하였으며, 이들 특성에서 차이를 보이는 밭토양 4 종류를 경북 성주군 대가면과 용암면의 참외재배 비닐하우스 그리고 대구대학교와 영남대학교 실험포장에서 공시토양을 채취하였다. 토양은 풍건 후 2 mm 체에 통과시켜 실험에 사용하였으며 이화학적 특성은 <Table 6>과 같았다.

규산질 비료는 100, 200, 300 kg/10a의 3 수준으로 처리하였고, 규산질 비료 200 kg/10a 수준에는 퇴비 1,000 kg/10a를 함께 처리한 시험구를 따로 두었으며 pH 7.0 조절량의 석회 처리구를 시험에 포함시켰다 (<Table 7>). 규산질 비료는 가용성규산 함량 25%의 입상이었으며, 퇴비는 부숙톱밥퇴비 그리고 석회는 시약급 CaCO₃를 각각 사용하였다. 토양시료 500 g에 대하여 각각의 처리를 하였으며 처리당 3 반복으로 시험을 수행하였다. 규산질 비료, 퇴비 및 석회 처리량은 표토 10 cm 깊이와 용적밀도 1.2 g/cm³를 기준으로 하여 계산하였다. 토양 pH를

7.0으로 조절하는데 소요되는 석회의 양은 완충곡선법으로 구하였으며, 토양 A, B, C, D 500 g 당 CaCO₃를 5.97, 0.46, 10.18, 3.21 g씩 처리하였다. 처리된 각각의 토양은 polyethylene film bag에 담아 수분함량을 10% 내외로 조절하고, 실험 기간 동안 상온에서 암조건으로 60일 동안 보관하면서 시기별로 일정량씩 채취하여 pH와 유효규산 함량 변화를 조사하였다.

<Table 6> Physicochemical properties of soils used for the experiment.

Soil ^{a)}	pH (1:5)	Available P ₂ O ₅	Available SiO ₂	Organic matter	Texture
		----- mg/kg -----	-----	g/kg	
A	5.9	617.8	281.8	18.9	Sandy loam
B	6.1	5.9	93.8	12.0	Sandy loam
C	5.8	409.9	40.2	26.3	Silt loam
D	5.8	242.2	166.2	22.3	Silt loam

^{a)} Soil A, collected from a plastic film house of oriental melon in Daega, Sungju; Soil B, collected from a plastic film house of oriental melon in Yongam, Sungju; Soil C, collected from an experimental field of Daegu University; Soil D, collected from an experimental field of Yeoungnam University.

<Table 7> Application rates of silicate fertilizer, compost and lime for the different treatments.

Treatment	Application rate ^{a)}		
	Silicate Fertilizer	Compost	Lime
	kg/10a	kg/10a	
Control	-	-	-
Silicate fertilizer I	100	-	-
Silicate fertilizer II	200	-	-
Silicate fertilizer III	300	-	-
Silicate fertilizer II + Compost	200	1,000	-
Lime	-	-	for pH 7

^{a)} In the experiment, 500 g soil was used and the actual amounts applied in the soil were calculated on the base of 10 cm soil depth and bulk density of 1.2 g/cm³.

나. 토양 이화학성 및 유효규산 함량 분석

토양 pH는 1 : 5 (토양 : H₂O) 현탁액 상태로 pH meter (Mettler Delta 350, Mettler-Toledo, Urdorf, Switzerland)를 사용하여 측정하였다. 유기물 함량은 Walkley-Black 법을 이용하여 측정하였으며, 유효인산 함량은 Bray No. 1 법으로 추출하여 ammonium paramolybdate법으로 발색시켜 파장 720 nm에서 HP 8452A spectrophotometer (Hewlett Packard, Waldbronn, Germany)로 측정하였다. 유효규산 함량은 1 N NaOAc (pH 4.0)로 추출하여 700 nm에서 비색법으로 분석하였다. 토성은 micropipette 방법으로 입경 분포를 조사하여 결정하였다.

다. 규산질 비료의 유효화

유효규산 함량 및 이화학적 특성이 다른 밭토양에서 규산질 비료를 수준별로 처리한 후 토양 중의 유효규산 함량 변화를 조사하여 <Fig. 8>에 나타내었다. Kim (1982)이 규산물질의 초기 가용화속도가 매우 빠르며 15일 이후에는 평형상태에 도달한다고 보고한 바와 같이 토양에 처리된 규산질 비료는 처리 후 5일 이내에 최대로 가용화되었다. 그리고 처리 후 시간이 경과할수록 점차 유효규산 함량이 낮아지는 경향을 보였으며, 처리 후 초기에는 유효규산 함량의 변화 폭이 일부 크게 나타나기도 하였으나 40일 이후에는 비교적 안정한 수준에서 평형을 유지하는 것으로 나타났다. 따라서 가용화된 규산은 식물에 의한 흡수나 용탈 등으로 토양에서 제거되지 않는 이상 상당기간 초기에 가용화된 수준으로 토양 중에 잔류할 수 있는 것으로 나타났다.

토양 A, B, C, D 모두에서 이화학적 특성과 기존의 유효규산 함량의 다소와는 상관없이 규산질 비료를 처리함으로써 토양 유효규산 함량은 시비수준에 비례하여 증가하였다. <Fig. 9>에 나타난 것과 같이 100-300 kg/10a 수준의 규산질 비료의 처리 범위 내에서 처리수준과 토양 유효규산 함량 사이에는 직선적인 상관관계를 보이므로 처리 수준에 관계없이 규산질 비료의 유효화 정도는 일정하게 일어나는 것으로 판단된다. 토양별 상관관계식은 <Table 8>에 나타내었다.

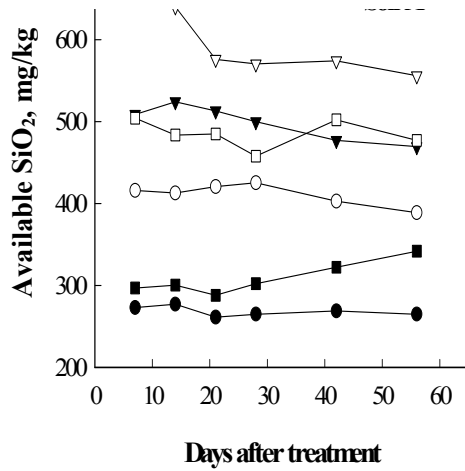


Fig. 8(A). Changes of available SiO₂ concentration in soil A with different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.

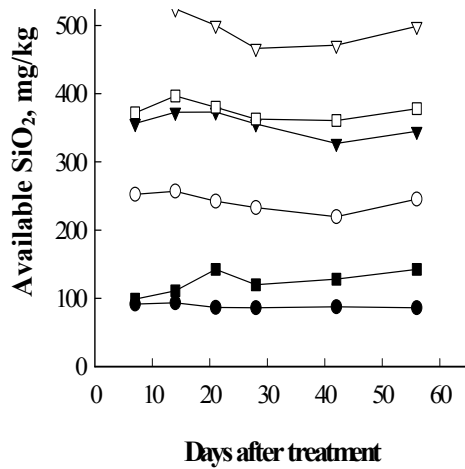


Fig. 8(B). Changes of available SiO₂ concentration in soil B with different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.

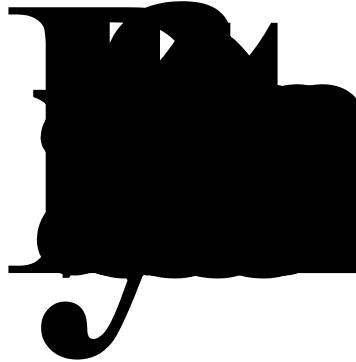


Fig. 8(C). Changes of available SiO₂ concentration in soil C with different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.

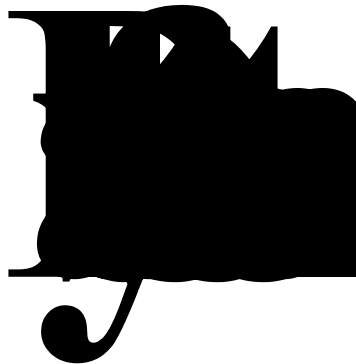
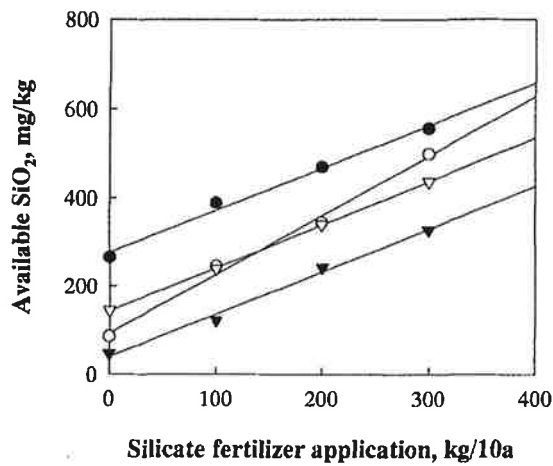


Fig. 8(D). Changes of available SiO₂ concentration in soil D with different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.

<Table 8> Regression equations for the relationships between available soil SiO₂ and silicate fertilizer applied in different upland soils.

Soil	Regression equation ^{a)}	r ²
A	Y = 0.9545X + 276.5	0.9877**
B	Y = 1.3372X + 93.16	0.9916**
C	Y = 0.9661X + 39.73	0.9911**
D	Y = 0.9763X + 143.8	0.9947**

^{a)} Y, available soil SiO₂ (mg/kg); X, silicate fertilizer application rate (kg/10a).



<Fig. 9> Relationships between available soil SiO₂ and amount of silicate fertilizer applied in different soils. The available soil SiO₂ was measured 60 days after silicate fertilizer application. ●, soil A; ○, soil B; ▼, soil C; ▽, soil D.

처리 후 60일째에 조사된 처리별 토양 유효규산 함량에서 규산을 처리하지 않은 대조구 토양의 유효규산 함량을 제한 값을 처리한 규산질 비료로부터 가용화된 규산으로 보고 규산질 비료의 가용화 정도를 계산하여 <Table 9>에 나타내었다. 토양별로 또는 규산질 비료의 처리 수준별로 가용화 정도는 약간씩 달랐으며, 특히 토양 B에서 가용화 정도가 다른 토양에 비하여 크게 나타났다. 토양 B에서는 유효인산 함량이 매우 낮았는데, 규산과 인산은 흡착과정에서 서로 경쟁 관계에 있다 (Baek, 1983). 유효인산의 함량이 높은 토양에 비하여 유효인산의 함량이 낮은 토양에서는 규산의 흡착이 상대적으로 용이할 것이다. 따라서 유효인산의 함량이 낮은 토양에서는 처리된 규산질 비료의 가용화가 상대적으로 높을 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구의 결과, 규산질 비료의 가용화 정도는 9.1-19.2% 범위로 나타났으며, 토양 B를 제외하면 평균적으로 밭토양에 처리된 규산질 비료의 가용화 정도는 11-13%일 것으로 판단된다.

<Table 9> Portions of silicate extracted by 1 N NaOAc 60 days after application of different amounts of silicate fertilizer in soils with or without compost.

Treatment	Availability ^{a)}			
	Soil A	Soil B	Soil C	Soil D
	----- % -----			
Silicate Fertilizer 100 kg/10a	13.9	19.2	9.1	11.2
Silicate Fertilizer 200 kg/10a	12.3	15.5	11.8	11.7
Silicate Fertilizer 300 kg/10a	11.6	16.5	11.3	11.7
Silicate Fertilizer 200 kg/10a + Compost	12.7	17.5	10.9	9.7
Average	12.6	17.2	10.8	11.1

^{a)} (Increment of available SiO₂)/(Applied total SiO₂) × 100.

규산질 비료 200 kg/10a에 퇴비를 함께 처리한 경우와 규산질 비료 200 kg/10a만을 처리한 경우를 비교하면, 토양 유효규산 함량에서 차이를 보이지 않

있다 (<Fig. 8>). 장기적인 퇴비 사용은 토양 유효규산 함량을 증가시킨다는 연구 결과가 있기는 하나 (Kim et al., 1994), 퇴비의 사용이 단기적으로는 규산질 비료의 유효화에 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다. 한편 벚지이나 왕겨 등 규산 함량이 높은 재료의 퇴비를 사용할 경우에는 퇴비 자체에서 공급될 수 있는 규산에 의해 토양 유효규산 함량이 증가할 수 있을 것이나 본 연구에서와 같이 규산 공급원으로서 작용할 수 없는 톱밥퇴비를 사용할 경우에는 단순히 처리된 퇴비의 유기물로서 작용이 규산질 비료의 유효화에 가시적인 효과를 발휘하지 못하는 것으로도 볼 수 있을 것이다.

무처리와 비교했을 때 토양 pH를 7.0으로 조절하는 석회처리는 4가지의 토양 모두에서 토양 유효규산 함량을 증가시켰다. 석회물질로는 규산이 함유되지 않은 시약급 CaCO_3 를 사용하였으므로 석회처리에 따른 토양 유효규산 함량의 증가는 순전히 토양 pH 증가에 기인하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 이러한 석회처리에 따른 가용규산 함량의 증가는 규산물질 자체의 가용화에 대한 pH의 영향과 규산의 흡착에 미치는 pH의 영향이 복합적으로 작용한 결과로 판단된다. 규산물질의 용해도는 pH의 영향을 크게 받지 않는 것으로 알려져 있다 (Kim, 1982). 그리고 규산의 흡착은 결정형 또는 무정형의 토양광물표면에서 OH 또는 OH_2 리간드와의 교환으로 일어나며 (Mott, 1981), pH가 낮을수록 광물표면에 이러한 리간드의 생성이 많아지고 더욱이 OH는 pH가 낮을수록 리간드 교환이 더 잘 일어나는 OH_2 로 변화되므로 토양 pH가 낮을수록 규산의 흡착은 증가할 것이다. 그러나 aluminum hydroxide 표면에서 일어나는 리간드 교환에 의한 규산의 흡착은 pH가 증가함에 따라서 증가하며 약 pH 9.2에서 최대흡착량을 보이고 그 이상의 pH에서는 오히려 흡착량이 감소하는 것으로도 알려져 있다 (Hignston and Raupach, 1967). 이러한 연구 결과들을 고려할 때 토양 pH와 규산물질의 유효화 관계는 규산의 용해와 흡착에 관여하는 다양한 요인을 감안하여 설명되어야 할 것이며, 보다 구체적인 고찰은 본 연구의 범위를 벗어나며 추후 더욱 연구 검토되어야 할 과제일 것이다.

논토양의 유효규산 함량과 벼 수량과의 관계를 설정하는데 있어서 질소를 10a당 10 kg 수준으로 처리하는 경우 토양의 적정 유효규산 함량은 130 mg/kg

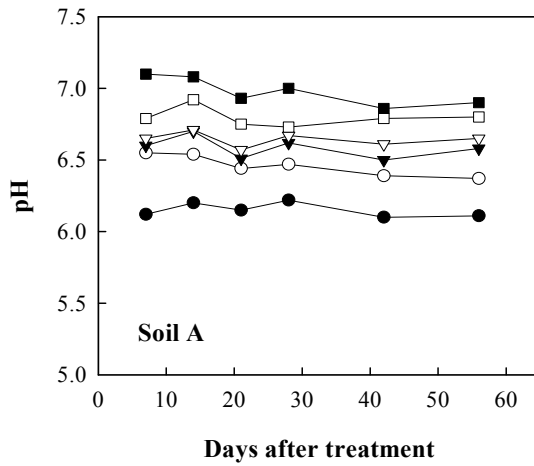
정도로 제시되어 있다 (Park, 1970). 최근 퇴비와 토양개량제를 장기간 연용하거나 축분을 과다 사용하는 경우가 많으므로 적정 토양 유효규산 수준을 일부 150-180 mg/kg 까지 상향 조절할 필요성이 제기되고 있다. 그러나 최근 여러 가지 발작물에 대한 규산질 비료의 시용이 농가 현장에서 빈번히 이루어지고 있으나 작물별 적정 토양 유효규산 수준이 밝혀져 있지 않다. 시설재배 참외에 대한 연구에서 토양 유효규산 함량이 120-150 mg/kg 수준일 때 참외 잎 중의 규산 함량이 최대치를 보이는 것으로 밝혀져 있으며 (미발표 자료), 국내 연구기관에서 수행된 미발표 자료들을 보면 150 mg/kg 내외의 토양 유효규산 수준에서 여러 가지의 발작물에 대한 규산질 비료의 효과를 조사하였다. 이들 자료를 보면 벼에 대한 규산질비료의 시용수준이 발작물에도 큰 차이 없이 적용될 수 있을 것으로 판단되나, 작물별로 보다 정확한 규산질 비료의 시용 수준이 결정되어야 할 것이다.

토양 A, B, C, D에서 나타난 규산질 비료의 유효화 정도를 고려하여 규산질 비료의 시비량을 결정할 경우, <Table 8>에 나타난 바와 같이 규산질 비료의 시용량과 토양 유효규산 함량 사이의 관계식에서 기울기가 1에 매우 근사하므로 25% SiO₂를 함유한 입상규산질 비료를 용적밀도 1.12 g/cm³인 표토 10 cm 깊이에 혼합 처리할 경우 추천시비량 (kg/10a)은 [목표 유효규산 함량 - 기존 유효규산 함량] 값으로 계산될 수 있을 것이다. 여기서 토양 유효규산 함량은 1 N NaOAc로 추출한 후 mg/kg 단위로 정량하여 표시된 값이다.

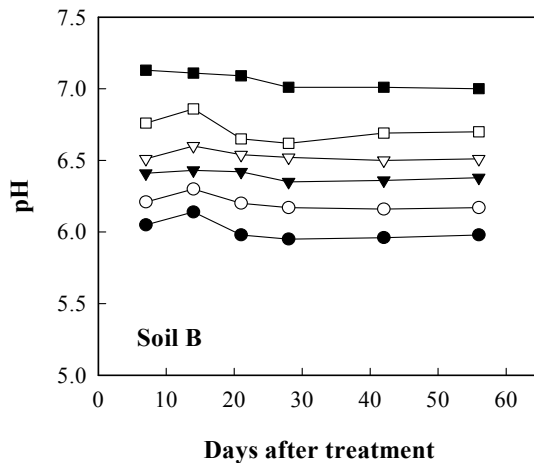
라. 규산질 비료 시용에 따른 토양산성 개량효과

우리나라에서 규산질 비료는 주로 논토양에 시용되고 있으며, 밭토양에서는 토양 산성의 개량목적으로 석회 비료의 시용이 권장되어 왔다. 규산질 비료는 토양 산성 개량 효과도 일부 가지고 있으므로, 밭토양에 시용할 경우 산성 개량 효과도 평가할 필요성이 있다. 작물의 요구도에 맞게 규산질 비료를 처리하였을 때, 특히 산성 토양에서 처리된 규산질 비료에 의해 목표 pH까지 개량되지 못한다면 적절한 석회의 처리가 규산질 비료의 처리와 함께 이루어져야 할 것이다.

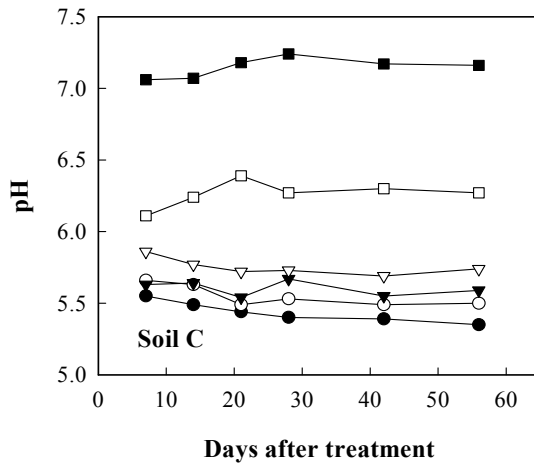
규산질 비료의 처리수준에 비례하여 pH가 증가하였으며, 다른 토양에 비하여 토양 D에서는 상대적으로 pH 증가 폭이 작게 나타났다 (<Fig. 10>). 이러한 pH 변화의 차이는 토양별로 pH 완충력의 차이에 기인하는 것으로 판단되나 완충작용에 관여하는 자세한 요인에 대해서는 본 연구의 결과로는 설명이 불가하다. 규산질 비료 처리 후 60일째에 조사된 토양 pH를 이용하여 규산질 비료 처리 수준별 pH 변화 현상을 <Fig. 11>에 나타내었으며, 토양별 회귀직선식으로부터 100 kg/10a 의 규산질 비료의 처리가 유발하는 토양 pH 증가를 추정하여 <Table 10>에 나타내었다. 결국 규산질 비료의 사용량이 300 kg/10a 수준 정도로 많이 요구되는 토양에서는 0.5 단위 정도의 pH 교정효과를 가져올 수 있을 것으로 판단되나, 토양중의 기존 규산함량이 높은 경우에는 규산질 비료의 처리량이 적을 수밖에 없고 따라서 pH 교정 효과 또한 크지 못할 것이다. 그러므로 기존의 유효규산 함량이 높고 pH 교정이 불가피하게 요구되는 산성 토양의 경우에는 규산질 비료의 처리만으로는 개량이 불가능할 것이므로 pH 교정에 효과가 큰 석회를 필요한 수준으로 혼용하는 것이 효율적일 것이다.



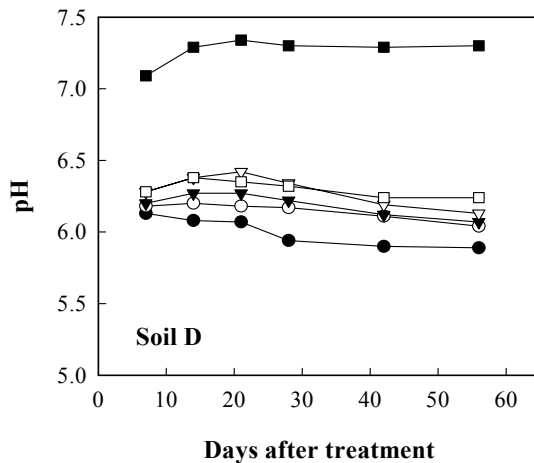
<Fig. 10(A)> pH changes in soil A with different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.



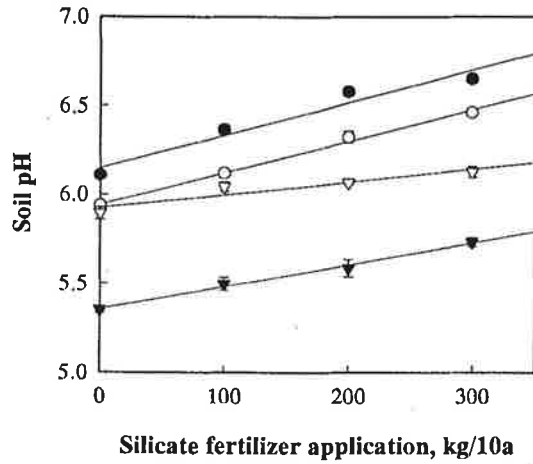
<Fig. 10(B)> pH changes in soil B with different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.



<Fig. 10(C)> pH changes in soil C with different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.



<Fig. 10(D)> pH changes in soil D with different silicate fertilizer treatments. ●, Control; ○, silicate fertilizer 100 kg/10a; ▼, silicate fertilizer 200 kg/10a; ▽, silicate fertilizer 300 kg/10a; ■, lime for pH 7.0; □, silicate fertilizer 200 kg/10a + compost 1000 kg/10a.



<Fig. 11> Relationship between soil pH and amount of silicate fertilizer applied in different soils. Soil pH was measured 60 days after silicate fertilizer application. ●, soil A; ○, soil B; ▼, soil C; ▽, soil D.

<Table 10> Increment of soil pH measured 60 days after silicate fertilizer application.

Soils	Increment of pH per 100 kg/10a silicate fertilizer application
A	0.183
B	0.247
C	0.126
D	0.169

4. 발토양의 pH에 따른 토양 규산의 유효화

가. 토양 시료와 처리

pH가 낮은 발토양을 경산시 대동 영남대학교 실험포장에서 채취하였으며, 풍건 후 2 mm 체에 통과시켜 실험에 사용하였다. 토양의 특성을 <Table 11>에 나타내었다.

<Table 12>와 같이 토양 500 g에 무처리와 석회(CaCO₃)를 pH 6.5, 7.0, 8.0, 9.0으로 조절 할 수 있는 양을 석회 완충곡선법으로 계산하여 처리하였다. 토양 수분 함량을 10% 내외로 조절하고, 조제된 토양은 polyethylene film bag에 담아 상온의 암조건 하에 60일간 보관하면서 시기별 일정량 채취하여 토양 pH, 유효 규산 함량을 앞에서 제시한 방법으로 분석 조사하였다.

<Table 11> Physicochemical properties of soils used for the experiment.

Soil ^{a)}	pH (1:5)	Available P ₂ O ₅	Available SiO ₂	Organic matter	Texture
		----- mg/kg -----		g/kg	
D	5.8	242.2	166.2	22.3	Silt loam

^{a)} Soil A, collected from a plastic film house of oriental melon in Daega, Sungju; Soil B, collected from a plastic film house of oriental melon in Yongam, Sungju; Soil C, collected from an experimental field of Daegu University; Soil D, collected from an experimental field of Yeoungnam University.

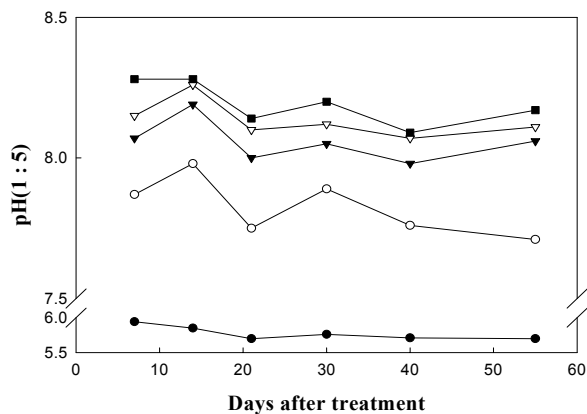
<Table 12> Soils prepared for the experiment.

pH Level	Amount of CaCO ₃ added (g/500g Soil)
Control	
6.5	2.71
7.0	12.72
8.0	32.74
9.0	52.76

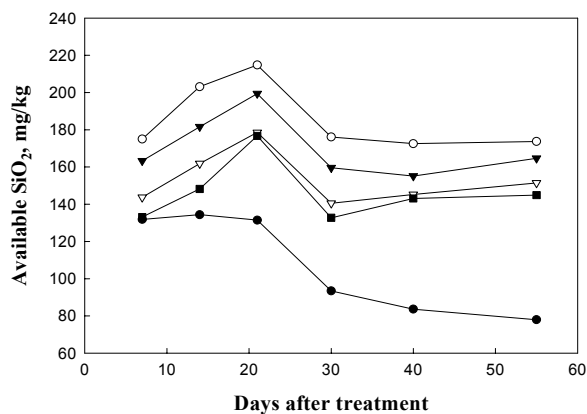
나. 석회처리에 따른 토양 유효규산 함량 변화

석회 처리에 따른 토양 pH 변화는 pH 6.5, 7.0, 8.0 조절량으로 석회를 처리한 경우에는 목표 pH보다 높게 조절되었으며 pH 9.0 조절량 처리의 경우에는 목표치에 도달하지 못하였다. 일부 토양 완충능을 충분히 고려하지 못하였기 때문인 것으로 판단된다 <Fig. 12>. 그러나 석회의 처리로 pH가 다른 토양 조건이 형성되었으며 이들 pH 차이에 따른 유효규산 함량 변화를 조사하여 <Fig. 13>에 나타내었다.

석회를 처리한 토양에서 무처리에 비하여 유효규산 함량이 높게 나타났으며, 석회 처리로 토양의 pH가 7.8 내외로 조절되었을 때 유효규산 함량이 가장 높게 나타났다. 일반적으로 토양의 pH가 증가할수록 유효규산 함량은 증가하여 약 pH 9.2에서 최대 규산 함량을 보이며, 그 이후로는 다시 감소하는 것으로 알려져 있다. 그러나 무처리에 비해 석회 처리시 pH 증가와 함께 유효규산 함량도 증가하였으나 석회 처리 수준별로 볼 때는 처리량이 증가할수록 유효규산 함량은 감소하였다. 이러한 결과는 과량의 Ca처리로 규산의 침전 형성에 의한 불용화의 가능성을 제시하는 것으로 판단되며, 석회 처리로 pH 증가에 따른 일부 유효규산 함량 증가 효과가 기대되지만 오히려 유효규산 감소를 유발할 가능성도 예측된다. 따라서 규산질 비료와 석회의 혼용시 적정한 석회의 시용이 규산의 유효화에 미치는 영향을 충분히 고려해야 할 것으로 판단된다.



<Fig. 12> Changes of pH with different treatments of lime in soil D. -●- Control, -○- Lime for pH 6.5, -▽- Lime for pH 8.0, -▼- Lime for pH 7.0 , -■- Lime for pH 9.0.



<Fig. 13> Changes of available SiO₂ concentration with different treatments of lime in soil D. -●- Control, -○- Lime for pH 6.5, -▽- Lime for pH 8.0, -▼- Lime for pH 7.0 , -■- Lime for pH 9.0.

5. 밭토양에서 규산질 비료 시용으로 인한 유효인산 함량 변화

보통 토양 중에는 규산과 인산이 공존하게 되며 규산은 토양의 불가급태 인산의 일부를 치환 또는 용출시키거나, 인산을 고정하고 있는 알루미늄, 철 등과 결합함으로써 알루미늄, 철 등의 활성배위를 규산이 점유하여 인산의 불가급화를 방지하는 공통 음이온 효과에 의해 인산의 유효도를 증대시킨다 (Baek, 1983). 그러나 시판되는 규산질 비료는 함유하고 있는 다량의 석회분에 의해 토양 산도가 달라짐에 따라 인산고정이 증대한다 하였다 (Choeng, 1977; Kim, 1970). 규산과 인산은 전자 분포와 원자 크기가 유사하며, 토양 분석에 있어서 PO_4^{3-} 및 SiO_4^{4-} 이온이 발색단과 공통적으로 반응되는 점으로 보아 두 성분이 토양 중에 공존할 경우에는 상호간에 용해도 및 유효도에 있어 영향을 미칠 것으로 생각되며, 규산이 인산의 유효도를 촉진 또는 저해할 것인가에 대해서는 두 이온의 농도 및 환경에 따라 크게 달라질 것이라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 밭토양에서 규산질 비료 처리가 토양의 유효인산 함량 변화에 미치는 영향을 구명하기 위하여 <Table 13>과 같은 특성을 지닌 토양을 <Table 14>와 같이 처리하고 60일 동안 기간별 일정량 채취하여 토양 유효인산 함량을 앞에서 제시한 방법대로 분석 조사하였다.

<Table 13> Physicochemical properties of soils used for the experiment.

Soil ^{a)}	pH (1:5)	Available P ₂ O ₅	Available SiO ₂	Organic matter	Texture
		----- mg/kg -----		g/kg	
A	5.9	617.8	281.8	18.9	Sandy loam
B	6.1	5.9	93.8	12.0	Sandy loam
C	5.8	409.9	40.2	26.3	Silt loam
D	5.8	242.2	166.2	22.3	Silt loam

^{a)} Soil A, collected from a plastic film house of oriental melon in Daega, Sungju; Soil B, collected from a plastic film house of oriental melon in Yongam, Sungju; Soil C, collected from an experimental field of Daegu University; Soil D, collected from an experimental field of Yeoungnam University.

<Table 14> Application rates of silicate fertilizer, compost and lime for the different treatments.

Treatment	Application rate ^{a)}		
	Silicate Fertilizer	Compost	Lime
	kg/10a	kg/10a	
Control	-	-	-
Silicate fertilizer I	100	-	-
Silicate fertilizer II	200	-	-
Silicate fertilizer III	300	-	-
Silicate fertilizer II + Compost	200	1,000	-
Lime	-	-	for pH 7

^{a)} In the experiment, 500 g soil was used and the actual amounts applied in the soil were calculated on the base of 10 cm soil depth and bulk density of 1.2 g/cm³.

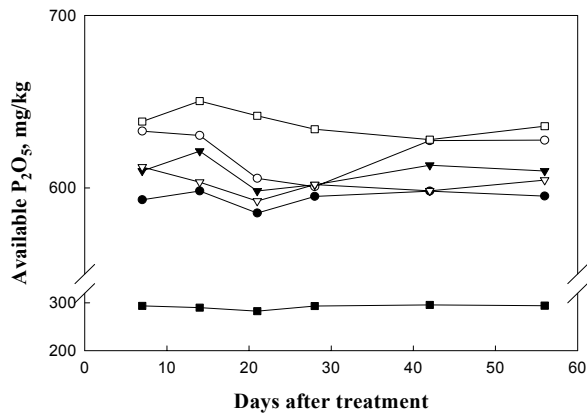
규산질 비료의 처리는 토양의 유효규산 함량을 무처리구에 비해 증가 또는 감소시켰다. 동일한 토양에서 규산질 비료 수준별 비교 시 처리 수준이 높을수록 유효인산 함량은 감소하였으며, 각 토양의 석회 처리구에서는 크게 감소하였다. 또한 규산질 비료 200 kg/10a + 퇴비구에서는 유효인산 함량이 크게 증가하였다 <Fig. 14, 15, 16, 17>. 석회 처리는 토양 pH를 증가 시켜 토양의 고정인산을 가용화 함으로서 유효인산 함량을 증가시킬 것으로 생각되나 오히려 Ca에 의한 인산고정이 우세하였던 것으로 판단된다. 따라서 석회 처리보다 규산질 비료 처리가 토양 인산 가용화를 더욱 촉진시킬 것으로 판단된다. 퇴비 혼용구에서 유효인산 증가는 퇴비 자체의 인산 함량이 큰 영향을 미친 것으로 생각된다.

규산과 인산은 본래 화학적으로 비슷한 성질을 가졌기 때문에 길항적으로 작용하여, 토양 중에서 두 성분의 농도가 높아 충분히 접촉할 경우에는 상호간에 이온으로서 해리를 억제하게 되므로 유효도를 감소시키나 농도가 낮아 충분히 접촉할 수 없는 경우에는 오히려 활성철이나 치환성 알루미늄의 활성배위를 한 성분이 점유하여 다른 성분이 이들에 의해 고정되는 것을 억제하고 가용화를 촉진시킴으로서 상호적인 효과가 우세하다 (Lim & Baek, 1983).

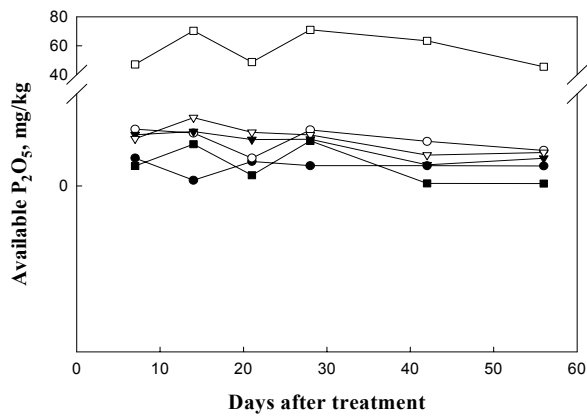
토양 A, B, D에서는 무처리에 비해 규산질 비료의 처리는 유효인산 함량을

증가시켰지만 처리 수준별로 볼 때 처리량이 증가할수록 유효인산 함량은 감소하는 경향을 나타내었다 <Fig. 14, 15, 17>. 이는 Lim and Beak (1983)이 제시한 대로 규산질 비료 처리량이 기존의 토양 인산 함량 보다 상대적으로 많아 규산이 철과 알루미늄의 활성배위를 점유하여 고정되어있던 인산이 상대적으로 일부 가용화 된 것으로 보이며 처리량이 증가할수록 유효인산 함량이 감소하는 것은 처리량의 증가는 규산질 비료에 함유되어 있는 Ca의 함량을 증가시키는 것과 같으므로 Ca에 의한 인산의 고정능이 규산에 의한 인산의 가용화보다 더 우세하게 작용되었던 것으로 판단된다.

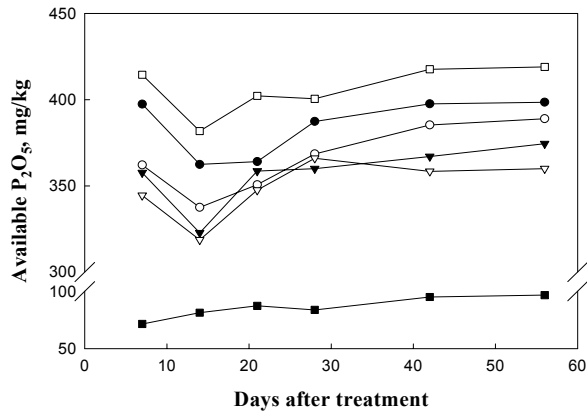
규산질 비료 처리량이 동일한 토양 C에서는 규산질 비료 처리 및 처리량의 증가는 무처리에 비해 유효인산 함량을 감소시켰다 <Fig. 16>. 토양 C는 다른 토양과 비교해 볼 때 상대적으로 유기물 함량이 높아, 토양에 처리한 규산질 비료의 규산이 유기물에 의한 완충능에 부분적으로 영향을 받은 것으로 판단되며, 나머지 유기물과 관여되지 않은 규산은 그 함량이 토양 인산 함량과 직접 접촉하게 되는 양이 충분하게 되어 상호간 이온으로의 해리를 억제하게 되므로 유효인산 함량이 감소하게 된 것으로 판단되며, 처리량 증가에 의한 유효인산의 감소는 토양 A, B, D에서 나타난 결과와 같을 것으로 판단된다.



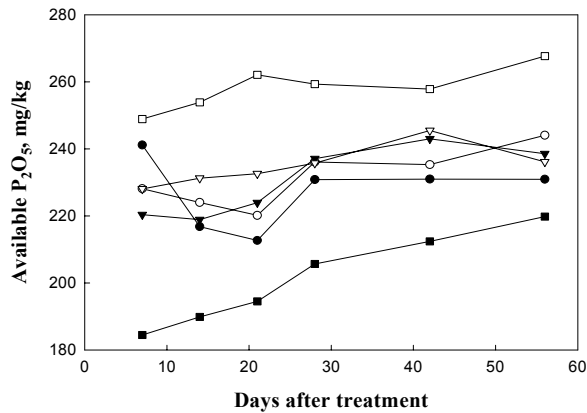
<Fig. 14> Changes of available P concentration in soil A during the experiment. -●- Control, -○- Silicate fertilizer 100 kg/10a, -▼- Silicate fertilizer 200 kg/10a, -▽- Silicate fertilizer 300 kg/10a, -■- Lime for pH 7.0, -□- Silicate fertilizer 200 kg/10a + Compost 1000 kg/10a.



<Fig. 15> Changes of available P concentration in soil B during the experiment. -●- Control, -○- Silicate fertilizer 100 kg/10a, -▼- Silicate fertilizer 200 kg/10a, -▽- Silicate fertilizer 300 kg/10a, -■- Lime for pH 7.0, -□- Silicate fertilizer 200 kg/10a + Compost 1000 kg/10a.



<Fig. 16> Changes of available P concentration in soil C during the experiment. -●- Control, -○- Silicate fertilizer 100 kg/10a, -▼- Silicate fertilizer 200 kg/10a, -▽- Silicate fertilizer 300 kg/10a, -■- Lime for pH 7.0, -□- Silicate fertilizer 200 kg/10a + Compost 1000 kg/10a



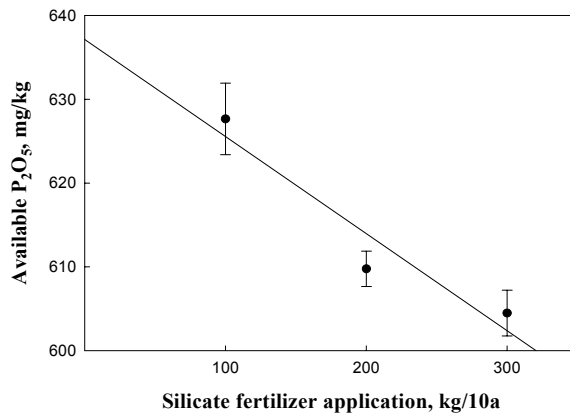
<Fig. 17> Changes of available P concentration in soil D during the experiment. -●- Control, -○- Silicate fertilizer 100 kg/10a, -▼- Silicate fertilizer 200 kg/10a, -▽- Silicate fertilizer 300 kg/10a, -■- Lime for pH 7.0, -□- Silicate fertilizer 200 kg/10a + Compost 1000 kg/10a

규산질 비료 처리량에 따른 밭토양의 유효인산 변화 관계와 우리나라 밭토양의 유효인산 적정 수준을 유지하는데 필요한 규산질 비료 사용량을 알아보기 위해 추정식으로 나타내었다 <Fig. 18, 19, 20, 21>.

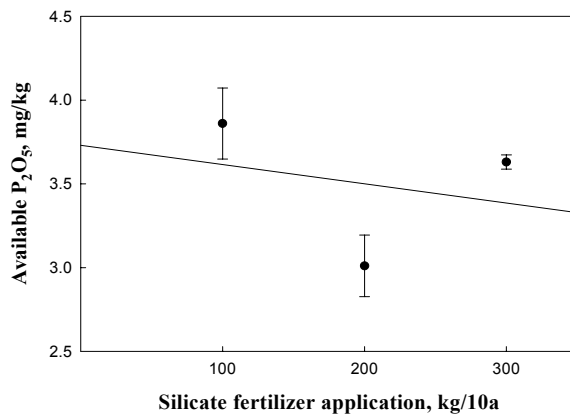
규산질 비료 처리량 증가와 토양 유효인산 함량은 음의 상관관계를 나타내었다. 밭토양의 유효인산 적정 수준을 350 mg/kg으로 보고 추정식에 의한 규산질 비료의 사용량은 토양 A는 10a당 2477 kg 이며 토양 C는 368 kg이 필요한 것으로 추정되었다 <Fig. 18, 20>. 토양 B와 D는 기존의 유효인산 함량이 적으므로 적정 수준을 유지하기 위한 규산질 비료 시비가 무의미하며 특히 토양 B의 경우 기존 유효인산 함량이 극히 낮았기에 사용량에 따른 유효인산 가용화 정도를 논하기엔 어려울 것으로 판단된다 <Fig. 19, 21>.

우리나라 밭토양의 유효인산의 경우 밭작물 생육 적정 범위는 300-500 mg/kg이며, 적정 범위에 포함되는 비율은 27.4%, 적정 범위를 초과하는 비율은 51.6%이며 적정 범위 보다 낮은 비율은 21.2%로 토양 유효인산 함량에 따라 인산질 비료의 가감 조절 시비가 요구된다 (Jung et al., 2001).

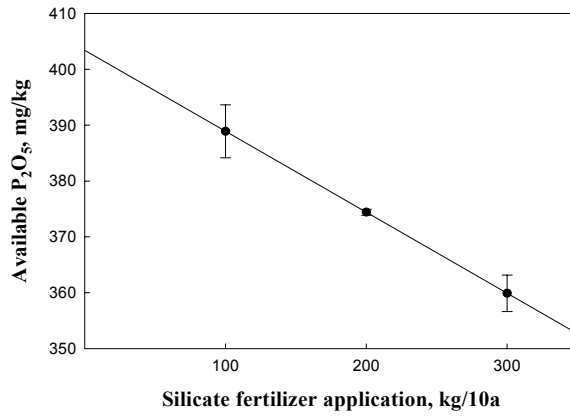
본 연구에서 사용된 토양은 규산 함량에 차이를 두어 선택하였기에 기존 토양의 유효규산 함량 다소의 차이는 크다. 토양 A, B, C, D에서 토양 A는 유효인산 적정 수준을 초과한 상태이고, 토양 B와 D는 부족한 실정이며, 토양 C는 적정 수준에 포함된다. 따라서 연구 결과와 같이 규산질 비료의 처리량 증가는 토양 유효인산 함량을 감소시키므로 유효인산 적정 수준을 유지하기 위해 토양 A는 규산질 비료 사용으로 가능 할 것으로 판단되나, 토양 B와 D는 밭작물 생육 환경을 개선하기 위해 인산질 비료의 조절 시비가 필요할 것으로 판단된다.



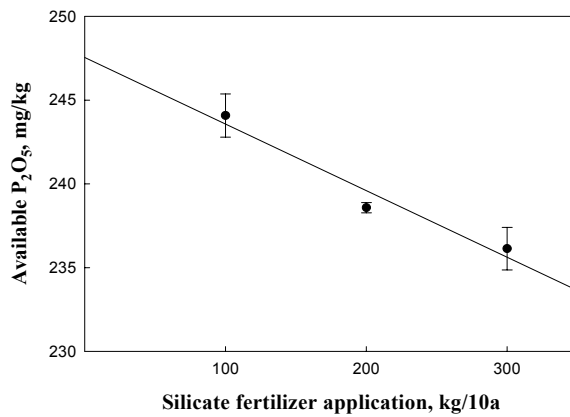
<Fig. 18> Changes of available P concentration in soil A at different silicate fertilizer treatments after 60 days of incubation period.



<Fig. 19> Changes of available P concentration in soil B at different silicate fertilizer treatments after 60 days of incubation period.



<Fig. 20> Changes of available P concentration in soil C at different silicate fertilizer treatments after 60 days of incubation period.



<Fig. 21> Changes of available P concentration in soil D at different silicate fertilizer treatments after 60 days of incubation period.

제 2 절 규산질 비료의 참외 생육 및 병해발생 억제 효과

1. 시설재배 참외의 생육과 수량에 대한 규산질 비료의 효과

벼와 같은 수생 화분과 식물의 경우 규소가 일부 필수원소로 인정되고 있다. 즉, 벼의 경우 규소가 부족하면 성장이 완료된 잎에서 괴사현상이나 위조현상이 나타나고 생장이 저해되며 결국 수량이 감소한다 (Lewin and Reimann, 1969).

밭작물 중에서 토마토와 오이에서도 규소가 일부 필수원소로 밝혀져 있다 (Miyake and Takahashi, 1978 and 1983). 토마토 식물의 경우 규소가 부족한 경우 개화기까지는 영향을 거의 받지 않으나 개화기 이후 잎의 발생이 정상적이지 못하고 수분작용에 지장이 초래되며 심할 경우에는 결실이 불량해진다. 이러한 현상은 오이에서도 마찬가지로 일어나는데 작물의 생식생장에 미치는 규소의 정확한 역할은 아직 잘 밝혀져 있지 않다.

우리나라에서 규산질 비료를 벼에 주로 사용해 왔으며 벼에서의 병충해 방제와 수량을 증대시키는데 있어 규산질 비료가 지대한 기여를 해온 것이 사실이다. 그러나 밭작물에 대한 적정 규소 함량이나 규산질 비료의 시비 기준이 아직 설정되어있지 않은데, 오이, 참외, 호박, 포도 등의 경우 규산질 비료를 사용하면 벼에서와 같이 병충해 방제와 증수 효과가 있는 것으로 연구되고 있으며 (Menzies et al., 1991; Menzies et al., 1992; Cho et al., 1998; Lee and Yiem, 2000), 농가 현장에서도 일부 이러한 효과를 인정하고 있다.

따라서 현재까지 규소의 작용과 효과가 대부분 벼를 비롯한 화분과 작물을 대상으로 연구되었으나 규산질 비료 시용에 따른 병충해 방제 효과는 정도의 차이는 있을 수 있으나 모든 작물에 공통적으로 적용될 수 있는 것으로 보인다. 현재 참외를 비롯한 과채류 작물에 대해 많은 농가에서 규산질 비료를 사용하고 있으나 시용량은 농가별로 크게 차이가 나고 있는 실정이다. 이와 같이 일반 농가에서는 현재 임의로 규산질 비료를 사용하고 있으므로 적정 시비가 이루어질

경우 그 효과가 크나 과다시비가 이루어질 경우에는 오히려 생육저해에 따른 손실이 발생되고 있으며 적정 수준이하의 시비로는 효과를 보지 못하고 있는 실정이다. 과채류 등 발작물의 경우 벼에 비해 규산 흡수량이 상대적으로 적으므로 벼에 비해 그 시용량을 줄여야 할 것으로 판단되며, 규산질 비료를 과다하게 사용할 경우 인산 흡수를 방해하여 오히려 작물 생육을 저해할 수도 있으므로 과채류 작물에 대한 적절한 규산질 비료의 시용 수준이 시급히 확립되어 농가현장의 애로를 해결해야 할 것이다.

본 연구에서는 농가의 임의적인 규산 비료시용에 따른 참외의 생육, 수량, 무기양분 흡수 및 토양 이화학성에 미치는 영향을 조사하였으며, 규산이 축적된 논토양에 조성된 시설참외재배지에서 이루어지고 있는 관행적인 규산 비료의 시용의 타당성을 3년에 걸쳐 동일한 비닐하우스에서 검토하였다.

가. 참외 재배

비닐하우스 토양의 이화학적 특성은 <Table 15>와 같았다. 공시 참외 (*Cucumis melo* L.) 품종으로는 금싸라기은천을 사용하였으며 대목은 신토좌 호박이었다. 입상의 규산질 비료를 사용하였으며 규산질 비료와 N-P-K-퇴비의 처리수준은 <Table 16>과 같았다. 시험포장 토양의 유효규산 함량은 212 mg/kg으로 벼재배에 적절한 수준인 130 mg/kg 보다 높은 수준이었으나, 참외 주산지인 경북성주지역에서는 규산질 비료의 임의적인 연용으로 인해 토양 유효규산 함량이 500 mg/kg까지 축적되어 있는 점을 고려하여 300 kg/10a 수준까지 규산질 비료를 처리하였다. 규산질 비료는 1차년도에만 사용하였으며, 2차년도 및 3차년도에는 규산질 비료의 지속효과를 조사하였다.

시험구당 면적은 16 m²였으며 난괴법 3반복으로 배치하였고, 참외의 재배는 과채류시험장의 표준 방법에 따랐는데, 1차년도에는 참외와 대목용 호박을 각각 2001년 11월 25일과 12월 6일에 파종하였으며, 12월 18일 점목하여 2002년 1월 15일 180×45 cm의 재식 거리로 정식하였다. 2차년도 및 3차년도에는 유사한 일정으로 재배 시험을 수행하였다.

<Table 15> Characteristics of the soil used in the experiment.

pH	Texture	EC	Total N	Available P ₂ O ₅	Available SiO ₂	Extractable cation			CEC
						K	Ca	Mg	
		ds/m	g/kg	--- mg/kg	---	-----	cmol _c /kg		-----
7.19	Silt loam	1.97	3.0	98.9	212	0.2	8.0	3.2	12.5

<Table 16> Treatments.

Treatment	Fertilizer application	
	Silicate	N-P ₂ O ₅ -K ₂ O-Manure
	kg/10a	kg/10a
Control	0	18.7 - 6.3 - 10.9 - 1500
Si-I	100	18.7 - 6.3 - 10.9 - 1500
Si-II	200	18.7 - 6.3 - 10.9 - 1500
Si-III	300	18.7 - 6.3 - 10.9 - 1500

나. 생육 및 수량 조사

재배기간 동안 초기 생육조사와 수량조사는 각각 3회와 4회 실시하였다. 생육 상황은 시험구별로 10주를 대상으로 줄기의 길이, 잎의 수와 크기 등으로 조사하였으며, 수량은 시험구별 총 수확과실의 수와 무게, 발효과와 열과의 비율 등으로 조사하여 규산질 비료의 시용이 상품과 생산에 미치는 영향도 조사하였다. 또한 과실의 크기, 당도 및 색상을 조사하여 상품성이 미치는 영향을 조사하였다. 당도와 색도는 처리구별로 임의로 선정한 10개의 상품과실을 대상으로 Brix 당도계와 Hunter's color value로 각각 조사하였다. 처리 평균들 상호간의 유의성은 Duncan의 다중검정법을 이용하여 검정하였다.

다. 참외의 생육과 수량

시설 내에서 참외를 재배할 경우 순지르기를 해야 하므로 초기 생육만을 조사하였는데, 규산질 비료의 처리수준별로 조사한 참외 식물체의 초기 생육 상황은 <Table 17>에 요약한 결과와 같았다. 초기의 줄기 길이와 잎의 개수는 규산질 비료 처리구에서 대조구에 비하여 일부 증가하는 경향이었으며, 정식 후 50일째에 조사된 결과에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 나머지 조사 항목에서는 규산질 비료의 처리 효과가 없는 것으로 나타났다.

규산질 비료가 과실 수량에 미치는 효과를 4차례의 수확량으로 보면 (<Table 18>), 총 과실 무게는 대조구에서 가장 높았고 규산질 비료 처리구간에는 처리수준이 높을수록 증가하는 것으로 나타났으나 통계적으로 유의성 있는 차이는 볼 수 없었다. 대조구에서 총 과실 무게는 가장 많았으나 상품과실 비율은 규산질 비료 처리구에서 높게 나타났다. 규산질 비료 처리구에서 발효과와 열과의 발생율이 상대적으로 낮았기 때문에 상품과실 비율을 상대적으로 높일 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 상품과실 비율에 미치는 규산질 비료의 효과 또한 통계적으로 유의성이 있는 결과는 아니었다.

이와 같은 결과는 규산이 개화기 이후 잎의 발생이나 수분작용에 영향을 미치고 심할 경우에는 결실을 불량을 초래한다고 하지만 (Miyake and Takahashi, 1978 and 1983), 규산의 이러한 생리적 작용은 작물체내에 매우 미량으로 존재하는 가용성 규산에 의해서 조절될 수 있을 것으로 판단되며, 잎이나 줄기 조직에 결정형으로 축적될 수 있는 정도의 규산 함량인 5-30 g/kg 수준에서 조절되는 작용은 아닐 것이다. Woolly (1957)의 연구 결과에서도 토마토에 대한 규소의 효과는 없는 것으로 나타났으며, 규소가 필요하다고 하더라도 그 요구도는 6 mg/kg 이하의 매우 낮은 농도일 것이라고 하였다. 따라서 토양 중에 존재하는 규산만으로도 작물의 생리적인 작용에 소요되는 규산은 충분히 공급될 수 있을 것이며, 다만 잎이나 줄기에 축적되어 작물의 물리적 강도를 증대시키거나 병해의 발생을 억제하는 효과가 주로 비료로서 시용된 규산에 의해 나타날 것으로 판단된다.

<Table 17> Effect of silicate fertilizer on the growth of oriental melon.

	Date of measurement	Treatment	Stem length	Stem diameter	Number of leaf	Leaf length	Leaf width
			cm	mm		cm	cm
1차년 (2002)	Feb. 28 (30 DAT [†])	Control	24.1	7.0	19.8	9.2	10.3
		Si-1	32.7	7.0	22.2	9.2	9.9
		Si-II	35.5	6.9	21.9	9.3	9.3
		Si-III	36.3	7.0	22.4	9.4	10.3
	Mar. 10 (40 DAT)	Control	69.3	9.4	46.3	13.2	14.9
		Si-1	68.0	8.9	50.2	13.0	14.9
		Si-II	69.4	8.4	48.5	13.1	14.5
		Si-III	72.3	8.7	49.6	13.2	14.5
	Mar. 20 (50 DAT)	Control	74.3	10.8	58.9	14.7	17.0
		Si-1	74.7	10.1	60.7	14.2	16.6
		Si-II	75.6	10.0	58.3	13.9	16.4
		Si-III	77.4	10.0	59.1	14.2	17.1
2차년 (2003)	Mar. 05 (27 DAT [†])	Control	39.9	7.2	23.1	9.2	8.4
		Si-1	38.5	7.4	20.9	9.2	8.3
		Si-II	44.0	7.4	25.5	9.3	8.6
		Si-III	42.2	7.5	23.7	9.2	8.5
	Mar. 21 (36 DAT)	Control	67.7	9.2	59.9	13.4	14.1
		Si-1	70.7	9.0	54.3	13.5	14.6
		Si-II	73.1	9.3	74.5	13.6	14.5
		Si-III	66.1	8.9	60.3	13.4	14.3
	Mar. 28 (50 DAT)	Control	77.1	10.3	64.6	13.8	16.3
		Si-1	78.7	9.8	63.8	14.0	16.4
		Si-II	74.8	10.0	71.5	13.9	16.3
		Si-III	78.8	10.1	66.0	13.8	16.5
3차년 (2004)	Mar. 06 (29 DAT)	Control	38.1	7.2	22.0	9.1	8.3
		Si-1	37.4	7.3	20.0	9.2	8.2
		Si-II	40.5	7.3	24.0	9.2	8.4
		Si-III	40.3	7.4	22.0	9.2	8.3
	Mar. 13 (36 DAT)	Control	53.4	8.2	36.0	12.1	12.2
		Si-1	58.5	8.2	36.0	12.1	12.4
		Si-II	52.3	8.2	42.0	12.3	12.3
		Si-III	60.1	8.2	43.0	12.2	12.3
	Mar. 27 (50 DAT)	Control	73.2	9.8	65.0	13.4	16.3
		Si-1	73.8	9.8	66.0	13.8	16.4
		Si-II	70.8	10.1	70.0	13.8	16.2
		Si-III	76.4	10.1	68.0	13.8	16.5

[†] Days after transplanting.

<Table 18> Effect of silicate fertilizer on the fruit yield of oriental melon.

	Treat.	Number of fruit					Total yield	Market. yield
		Total	Fermented	Malformed	Cracked	Marketable		
							kg	kg
1차년 (2002)	Control	381	39	24	34	284	100.5	80.0
	Si-1	288	39	29	18	214	80.5	70.8
	Si-II	329	12	26	17	284	96.6	83.9
	Si-III	355	28	35	35	254	98.6	76.1
2차년 (2003)	Control	232	54	3	-	177	56.7	46.7
	Si-1	299	53	11	-	235	78.3	64.5
	Si-II	230	64	13	-	153	56.2	38.8
	Si-III	320	44	10	-	266	88.7	77.7
3차년 (2004)	Control	197	17	4	-	176	47.2	42.3
	Si-1	249	18	9	-	222	62.6	56.0
	Si-II	218	13	10	-	185	53.0	45.2
	Si-III	297	19	8	-	270	77.0	70.0

본 연구에서는 참외 재배 시 화학적인 방제수단으로 병해충의 발생으로 인한 작물의 피해를 충분히 억제하였으므로 규산질 비료에 의한 병해발생의 억제를 통한 작물생육과 수량 증대 효과는 나타나지 않았을 것으로 보이며, 벼와 같이 도복이 문제가 되는 작물이 아닌 참외의 경우 과량으로 처리된 규산질 비료의 생육 또는 수량 증대 효과는 기대하기 어려운 것으로 판단된다.

따라서 이러한 점을 종합적으로 고려하면, 참외의 경우 생리생화학적인 측면에서 요구되는 규산은 토양 중의 규산으로 충분히 공급될 수 있으며, 병해충에 의한 피해가 없는 경우라면 참외의 생육과 수량에 미치는 규산질 비료의 직접적인 효과를 기대할 수는 없을 것으로 판단된다. 주로 가용성 규산물질의 엽면처리가 오이나 참외의 흰가루병 등을 억제할 수 있다는 연구 결과들이 보고되고 있으나 (Menzies et al., 1991; Menzies et al., 1992; Cho et al., 1998; Lee and Yiem, 2000), 그 효과는 화학적인 방제에 비교 할 수 있는 수준은 아니며, 다만 토양산도의 교정이나 인산의 불용화 억제 효과 등을 통한 간접적인 작물 생육이나 수량 증대 효과는 더욱 검토되어야 할 부분이다.

라. 참외 과실의 품질

과실의 크기, 당도 및 색상을 조사한 결과는 <Table 19>와 <Table 20>에 나타내었다. 규산질 비료의 처리가 당도와 색상 등의 참외 품질을 향상시키는 효과를 보인다는 농가의 주장들이 있으나, 본 연구에서 조사된 결과로 보면 일부 평균적인 조사 값의 증가를 고려하여 품질 향상 효과를 인정할 수도 있을지 모르나, 현재 적정 수준으로 또는 그 이상으로 유효규산이 축적된 토양에 대한 추가적인 규산질 비료의 처리가 통계적으로 유의성 있는 과실 품질 향상 효과를 유발할 수 없는 것으로 나타났다.

<Table 19> Effect of silicate fertilizer on the fruit quality of oriental melon.

	Treatment	Fruit weight	Fruit length	Fruit width	Soluble sugar content	
					Flesh	Placenta
		g	mm	mm	---- °Brix ----	
1차년 (2002)	Control	324	110	72	12	15
	Si-1	328	113	73	13	16
	Si-II	359	116	75	13	16
	Si-III	338	113	73	12	16
2차년 (2003)	Control	245	86	63	12	15
	Si-1	262	101	73	13	17
	Si-II	245	94	70	14	18
	Si-III	277	103	73	13	17
3차년 (2004)	Control	240	83.3	62	12.0	14.5
	Si-1	252	97.8	70	13.1	16.3
	Si-II	242	92.3	68.1	13.4	16.6
	Si-III	261	100.8	70.4	13.0	16.8

<Table 20> Effect of silicate fertilizer on the fruit color of oriental melon.

	Date of Sampling	Treatment	Color characteristics			
			L	a	b	Yellow index
1차년 (2002)	Apr. 29	Control	72.6	-1.14	73.5	106.8
		Si-1	71.6	0.61	71.7	107.9
		Si-II	72.6	-1.09	74.3	107.3
		Si-III	72.9	-1.22	72.4	105.7
2차년 (2003)	May 20	Control	72.5	-1.12	73.4	106.5
		Si-1	72.4	-1.06	73.5	106.7
		Si-II	72.6	-1.03	72.8	105.9
		Si-III	72.5	-1.08	73.6	107.2
3차년 (2004)	May 18	Control	72.5	-1.12	73.4	106.5
		Si-1	72.3	-1.05	73.4	106.7
		Si-II	72.5	-1.07	72.6	105.6
		Si-III	72.3	-1.04	73.4	107.7

규산질 비료는 산성 토양의 개량 효과와 함께 병충해 발생 억제 효과를 나타내므로 농약 사용량을 줄일 수 있어 안전농산물의 생산을 유도할 수 있는 자재로 판단되고 있으며 일부 참외의 수량 증대와 상품성을 향상시킬 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 현재 참외를 비롯한 과채류에 대하여 규산질 비료의 사용 효과가 검증되어있지 않고 또한 적정 사용 기준이 설정되어 있지 못한 상태에서 농가별로 토양 유효규산 함량을 고려하지 않고 임의로 규산질 비료를 사용하고 있다.

본 연구에서 조사된 결과를 보면 참외 재배 포장에서 1 N NaOAc로 추출할 경우 최고 500 mg SiO₂/kg 수준까지 유효규산이 축적되어 있으며, 200 mg SiO₂/kg 수준의 유효규산을 함유하고 있는 토양에 대한 규산질 비료의 사용은 참외의 생육이나 수량 증대에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 또한 1 N NaOAc로 추출한 토양 유효규산 함량이 100 mg SiO₂/kg 이상인 경우 참외의 규산 흡수가 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다.

따라서 토양 유효규산 함량을 무시한 과다 규산질 비료의 사용은 pH와 EC의

증가에 따른 부작용을 유발할 가능성도 높으므로 농가 지도를 통하여 사용량이 적절히 조절되어야 할 것이며, 참외를 비롯한 발작물에 대한 적정 토양 유효규산 함량과 시비 기준 확립을 위한 연구가 더욱 필요할 것으로 판단된다.

2. 규산질 비료 시용에 따른 참외 재배기간중 및 연차별 토양의 특성 변화

가. 토양 이화학성 분석

재배기간 동안 4 차례 20 cm 깊이의 표층 토양 시료를 채취하여 pH, EC, 유효규산과 유효인산 함량 등의 변화를 조사하였다.

pH와 EC는 각각 전극법 (Mettler Toledo 350 pH meter, Essex, England)과 전기저항법 (Checkmate 90 EC meter, Corning Co., Corning, New York, USA)으로 조사하였다. 유효규산과 유효인산은 각각 pH를 4.0으로 조절한 1 N NaOAc와 Bray No. 1 추출액으로 추출한 후 molybdate로 발색시켜 spectrophotometer (Hewlett Packard 8452A, Waldbronn, Germany)로 흡광도를 측정하여 정량하였다 (Hallmark et al., 1982; Olsen and Sommers, 1982). 치환성 양이온은 1 N ammonium acetate로 추출하였으며 (Thomas, 1982), inductively coupled argon plasma emission spectrometer (Varian Liberty Series II, Mulgrave, Australia)로 분석하였다 .

나. 토양의 이화학성 변화

생육조사 기간에 규산질 비료 시용 수준별로 분석용 토양시료를 채취하였으며 유효규산 및 인산 함량과 토양 이화학성을 분석한 결과는 <Table 21>에 나타내었다. 토양의 시험전 pH는 7.2 정도로 일반 밭토양의 평균적인 pH에 비하여 높았는데, 이는 수년간 시설상태로 참외를 재배함으로써 발생한 염류의 집적 때문인 것으로 보이며, 규산질 비료 처리구에서 pH는 더욱 높아졌다. 규산질 비료

에 40% 정도로 함유된 알카리분의 영향으로 인한 pH 증가는 일반적으로 잘 알려져 있는 현상이다. 토양의 EC 또한 규산질비료의 처리로 증가하였으며, 치환성 양이온의 함량을 보면 Ca과 Mg이 일부 규산질 비료 처리구에서 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의성 있는 결과는 아니었다.

시험전 토양에서 유효규산 함량은 200 mg SiO₂/kg 정도로 높은 수준이었는데, 규산질 비료의 처리 수준별로 그 함량이 더욱 증가하였으며 재배기간 동안 지속적으로 증가하는 경향을 보였다. 토양중의 규산 시용 수준이 증가하고 유효 규산 함량이 증가함에 따라서 유효 인산 함량도 증가하는 것으로 조사되었다. 규산과 인산은 토양 콜로이드에 서로 경쟁적으로 흡착될 수 있으며, 유효규산 함량이 높은 토양에서 유효인산이 증가하는 현상은 결국 규산의 흡착이 증가함에 따라서 인산의 흡착이 상대적으로 억제되었기 때문일 것으로 판단되었다 (Baek, 1983).

이러한 결과는 규산의 시용이 작물의 생육에 미치는 영향의 일부가 유효규산의 증가에 따른 인산 이용율의 증가 때문일 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구를 수행한 토양의 유효인산 함량이 발토양의 적정 수준을 유지하고 있는 상태이므로 규산질 비료의 시용에 따른 일부 유효인산의 증가가 참외의 생육에 영향을 미칠 수 있는 정도는 아닌 것으로 판단된다. 규산과 인산이 흡착 측면에서도 경쟁관계에 있지만 작물의 흡수 측면에서도 경쟁관계에 있으므로 과도한 규산질 비료의 처리가 토양 유효인산 함량을 증대시킨다하더라도 그것이 작물의 인산흡수 증대로 이어지지 않을 수도 있다는 점 또한 고려되어야 할 것이다.

따라서 이미 토양 pH와 EC가 적정 수준 이상으로 유지되고 있는 시설재배지에서 토양중의 적정 유효규산 함량을 고려하지 않은 규산질 비료의 처리는 pH와 EC를 불필요하게 더욱 증가시키거나 작물의 인산 흡수 이용을 방해할 수 있다는 점을 고려하여 제한되어야 할 것으로 판단된다.

<Table 21> Effect of silicate fertilizer on soil pH, EC, and contents of some inorganic nutrients.

	Date of Sampling	Treatment	pH	EC	Av. P ₂ O ₅	Av. SiO ₂	Extractable cation		
							K	Ca	Mg
				ds/m	--- mg/kg ---	----- cmol _c /kg -----			
1차년 (2002)	Jan. 29	Control	7.19	1.97	98.9	212.0	0.19	8.03	3.22
		Si-1	7.60	2.20	114.5	264.1	0.22	9.39	3.16
		Si-II	7.65	2.23	109.9	256.8	0.21	9.20	3.10
		Si-III	7.45	2.27	147.0	269.9	0.23	8.50	3.48
	Mar. 30	Control	7.51	1.89	100.3	237.5	0.19	8.26	2.73
		Si-1	7.83	2.19	111.7	274.6	0.22	9.17	2.74
		Si-II	7.74	2.22	130.8	352.1	0.24	9.73	2.98
		Si-III	7.58	2.18	127.2	373.2	0.21	8.55	2.88
	May 02	Control	7.54	1.99	108.4	239.9	0.18	9.20	2.51
		Si-1	7.78	2.24	116.3	284.2	0.18	8.92	2.62
		Si-II	7.94	2.23	121.6	399.1	0.19	9.38	2.48
		Si-III	7.65	2.25	123.8	363.2	0.19	8.92	2.67
2차년 (2003)	Mar. 20	Control	7.35	1.93	170.3	180.2	0.26	12.53	3.95
		Si-1	7.36	2.01	173.0	204.5	0.27	12.39	3.41
		Si-II	7.40	2.56	196.7	218.3	0.27	13.55	3.30
		Si-III	7.37	1.71	192.5	229.4	0.28	10.62	3.51
	Apr. 21	Control	7.34	2.74	130.1	191.1	0.19	11.09	3.81
		Si-1	7.42	1.98	114.7	220.8	0.22	12.41	3.38
		Si-II	7.44	2.09	154.4	253.3	0.23	11.27	3.38
		Si-III	7.40	1.87	154.9	265.0	0.21	10.28	3.78
	May 20	Control	7.51	1.56	144.0	201.8	0.18	9.94	3.55
		Si-1	7.41	2.01	105.4	213.4	0.17	11.39	3.26
		Si-II	7.53	1.99	140.3	249.2	0.21	11.48	3.55
		Si-III	7.39	1.66	125.9	257.2	0.20	9.63	3.60
3차년 (2004)	Feb. 20	Control	6.85	3.19	170.4	200.8	0.27	12.42	3.58
		Si-1	7.14	3.23	173.0	212.2	0.26	12.38	3.62
		Si-II	6.94	3.69	182.7	243.7	0.26	13.21	3.41
		Si-III	6.80	3.85	184.2	254.8	0.27	10.92	3.54
	Mar. 20	Control	7.11	3.08	134.1	215.4	0.18	11.09	3.56
		Si-1	7.40	2.96	124.5	237.9	0.23	12.41	3.42
		Si-II	7.28	3.27	152.3	296.8	0.23	11.27	3.43
		Si-III	7.08	3.38	148.4	303.4	0.20	10.28	3.71
	Apr. 20	Control	7.29	3.04	145.0	202.5	0.18	9.94	3.38
		Si-1	7.44	2.56	118.2	228.4	0.19	11.39	3.29
		Si-II	7.36	3.06	146.1	276.6	0.21	11.48	3.37
		Si-III	6.75	3.12	136.9	280.2	0.20	9.63	3.48

다. 토양의 이화학성 변화에 따른 참외 잎 중의 규산 및 인산 함량

규산질 비료 처리에 따른 참외의 규산과 인산 흡수 현상을 참외 잎의 분석을 통하여 조사하였다 (<Table 22>).

참외 잎 중의 규산 함은 규산질 비료 시용 수준별로 증가하는 경향이었으며 인산의 흡수 또한 일부 증가하는 경향이였다. 인산 흡수의 증가는 앞에서 언급한 바와 같이 규산 처리에 따라서 토양의 유효인산 함량이 증가하였기 때문으로 판단된다. 물론 인산과 규산은 작물에 의한 흡수 과정에서도 경쟁하게 되는데, 이러한 경쟁에 의한 흡수 억제보다 유효규산의 증가에 따른 흡수촉진 효과가 더 크게 나타난 것으로 볼 수 있다.

이러한 인산의 흡수 증가는 통계적으로 유의성은 없는 결과이었으며, 생육과 수량 조사결과에서 언급한 바와 같이 적정 수준 이상의 규산이나 인산이 존재하는 토양 조건에서 규산질 비료의 시용이나 이에 따른 유효인산의 부가적인 증가 현상이 작물의 생육이나 수량 증가로 이어질 수 없을 것이다.

<Table 22> Contents of phosphorus and silicon in oriental melon leaf.

Date of Sampling		Treatment	P ₂ O ₅	SiO ₂
----- g/kg -----				
1차년 (2002)	Feb. 28	Control	6.7	27.2
		Si-1	7.0	28.5
		Si-II	7.7	30.5
		Si-III	7.4	34.3
	Mar. 30	Control	7.3	27.5
		Si-1	7.3	29.5
		Si-II	7.8	30.4
		Si-III	7.5	31.1
	May 02	Control	7.5	27.5
		Si-1	7.9	29.7
		Si-II	8.9	34.9
		Si-III	8.3	33.2
2차년 (2003)	Mar. 20	Control	6.8	51.8
		Si-1	6.9	54.3
		Si-II	7.4	54.6
		Si-III	7.6	53.6
	Apr. 21	Control	6.1	54.3
		Si-1	7.5	54.9
		Si-II	7.2	55.6
		Si-III	7.5	57.9
	May 20	Control	6.5	50.2
		Si-1	8.0	53.3
		Si-II	8.9	54.6
		Si-III	8.3	51.0
3차년 (2004)	Feb. 20	Control	6.8	31.7
		Si-1	7.1	33.7
		Si-II	7.1	31.1
		Si-III	7.5	34.8
	Mar. 20	Control	6.4	30.7
		Si-1	7.6	37.7
		Si-II	7.4	33.5
		Si-III	7.5	41.2
	Apr. 20	Control	6.5	28.3
		Si-1	7.8	26.3
		Si-II	8.2	29.4
		Si-III	8.4	27.8

3. 규산함량이 낮은 토양에서 규산 수준별 참외의 생육과 규산 흡수

본 절 1항에서 수행된 시설재배 참외의 생육과 수량에 대한 규산질 비료의 효과 시험은 유효규산의 함량이 200 mg/kg 수준의 토양에서 수행되었다. 이는 현실적으로 농가에서 유효규산의 함량이 200 mg/kg 수준 내외에서도 규산질 비료를 사용하고 있는 점을 고려한 연구였다. 본 연구에서 참외에 대한 적정 토양 유효규산 함량이 150 mg/kg 정도인 것으로 밝혀졌으므로 이러한 유효규산 함량 범위에서 참외의 생육과 규산 흡수 현상에 대한 조사가 필요하다.

가. 규산질 비료의 참외 생육과 규산 흡수에 미치는 효과

<Table 23>과 같이 유효규산 함량이 20 mg/kg 정도인 토양에 대하여 규산질 비료를 사용하여 유효규산 함량을 50, 100, 150, 200 mg/kg 수준으로 조절하고 pot 시험을 수행하였다. 공시 참외 (*Cucumis melo* L.) 품종으로는 금싸라기은천을 사용하였으며 대목은 신토좌 호박이었다. 입상의 규산질 비료를 사용하였으며 N, P, K 및 퇴비의 처리 수준은 10a당 18.7-6.3-10.9-1500 kg으로 하였다. 유묘를 정식한 후 50일째에 생육상황과 잎 중의 규산 함량을 조사하였다.

토양 유효규산 함량별 참외 잎 중의 규산 함량은 <Table 24>에 나타내었다. 토양 유효규산 함량이 증가할수록 참외 잎 중의 규산 함량은 증가하였으며 통계적으로 유의성 있는 결과로 나타났다. 토양 유효규산 함량 100-150 mg/kg 사이에서 참외의 규산 흡수는 포화점에 도달하는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 본 연구 제1절 2항에서 조사된 결과와 일치하는 것이다. 따라서 참외에 대한 적정 토양 유효규산 수준을 150 mg/kg으로 설정하는 것이 타당할 것이다.

토양 유효규산 함량별 참외의 생육 상황을 조사한 결과는 <Table 25>에 나타내었다. 토양 유효규산 함량이 150 mg/kg 이하인 범위에서 그 함량이 증가할수록 참외의 규산 흡수가 증가하였지만 줄기의 길이, 마디 수, 잎 수, 잎의 크기 등에서는 차이가 없었다. 앞서 조사된 결과와 마찬가지로 규산질 비료의 처리가 참외의 생육에는 별다른 효과를 발휘할 수 없음을 알 수 있었다.

<Table 23> Physicochemical properties of soils used for the experiment.

pH (1:5)	Available P ₂ O ₅	Available SiO ₂	Orgaic matter	Texture
	----- mg/kg -----		g/kg	
5.8	409.9	20.2	26.3	Silt loam

<Table 24> Effect of silicate fertilizer on the content of Si in oriental melon leaf in the soil containing relatively lower available silicate.

Treatment (SiO ₂ level in soil)	SiO ₂ content in oriental melon leaf
SiO ₂ , mg/kg	%
20	3.23 a
50	3.57 a
100	4.14 ab
150	5.54 b
200	5.47 b

<Table 25> Effect of silicate fertilizer on the growth of oriental melon in the soil containing relatively lower available silicate.

Treatment	Stem length	Number of knot	Number of leaf	Length of the largest leaf	Width of the largest leaf
SiO ₂ , mg/kg	cm			cm	cm
20	161	30	47	13	11.6
50	158	29	47	12	12.7
100	154	28	42	12	11.7
150	158	28	45	11	11.3
200	150	29	49	12	11.7

나. 규산질 비료와 인산 비료의 참외 생육과 규산 흡수에 미치는 효과

유효규산과 유효인산 함량이 각각 100 mg/kg 내외인 토양에 대하여 규산질 비료와 인산 비료를 사용하여 pot 시험으로 참외를 재배하였다. 토양 특성은 <Table 26>에 나타내었다. 공시 참외 (*Cucumis melo* L.) 품종으로는 금싸라기은 천을 사용하였으며 대목은 신토좌 호박이었다. 입상의 규산질 비료와 용성인비를 사용하였으며 N, P, K 및 퇴비의 처리 수준은 10a당 18.7-6.3-10.9-1500 kg으로 하였다. 규산과 인산 처리 내용은 <Table 27>과 같다. 완전임의배치 3반복으로 시험을 수행하였으며, 정식 후 30일부터 4회에 걸쳐 생육조사와 함께 토양 및 식물체 시료를 채취하였다. 토양의 유효규산, 유효인산, 교환성 양이온, pH, EC 등을 조사하였으며 잎 중의 인산 함량과 규산 함량을 조사하였다.

<Table 26. Physicochemical properties of soils used for the experiment.

pH	EC ds/m	Av. P ₂ O ₅	Av. SiO ₂	Extractable cation		
				Ca	Mg	K
		mg/kg		----- cmol _c /kg -----		
5.3	1.42	111.4	98.6	2.8	1.15	0.18

<Table 27> Treatments of silicate and phosphate fertilizers.

	S ₀ P ₀	S ₀ P ₁	S ₀ P ₂	S ₁ P ₀	S ₁ P ₁	S ₁ P ₂	S ₂ P ₀	S ₂ P ₁	S ₂ P ₂
		----- kg/10a -----							
Silicate	0	0	0	100	100	100	200	200	200
Phosphate	0	6.3	12.6	0	6.3	12.6	0	6.3	12.6

각각의 처리별로 토양 특성에 미치는 영향을 조사한 결과는 <Table 28>에 나타내었다. pH는 알카리분을 함유하고 있는 규산질 비료의 처리 수준에 따라서

증가하는 경향을 보였으며, EC는 비료 처리량이 증가할수록 증가하였으며 재배 기간이 경과함에 따라서 감소하였다. 유효인산과 유효규산은 각각의 비료처리수준에 따라서 증가하였으며 통계적으로 유의성 있는 상호간의 작용은 나타나지 않았다.

참외 잎 중의 인산 함량은 처리수준별로 통계적으로 유의성 있는 차이를 보이지 않았으며 규산의 함량 또한 규산질 비료의 처리수준별로 통계적으로 유의성 있는 차이를 보이지 않았다 (<Table 29>). 규산과 인산이 흡수 측면에서 상호 경쟁적인 작용을 할 수 있는 것으로 알려져 있으나 본 연구와 같이 토양 중의 규산과 인산의 함량이 적정 수준 내외인 범위에서는 이러한 경쟁관계가 규산 또는 인산의 흡수에 뚜렷한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

참외 잎 중의 1 N NaOAc 가용성 규산 함량을 조사하였는데, 0.2-0.3 mg/kg 수준으로 나타났으며 규산질 비료의 처리수준에 따른 차이는 없었다. 잎 중의 1 N NaOAc 가용성 규산 함량은 총 규산 함량의 0.5% 정도에 해당한다. 잎 중의 가용성 규산 함량은 규소의 생리생화학적인 작용 측면에서 고려하고자 조사하였으나 1 N NaOAc 가용성 규산 함량보다는 수용성 규산 함량의 조사가 더욱 타당할 것으로 판단되며 앞으로 더 자세한 연구가 추가되어야 할 것으로 사료된다.

참외 생육조사 결과는 <Table 30>에 나타내었다. 각 처리별로 모든 조사항목에서 통계적으로 유의성 있는 차이는 나타나지 않았다. 따라서 토양 중의 규산과 인산의 함량이 적정 수준 내외인 범위에서는 규산과 인산의 경쟁관계가 규산 또는 인산의 흡수에 뚜렷한 영향을 미치지 않는 것처럼 참외의 생육에도 별다른 영향을 미치지 못함을 알 수 있으며, 앞서 제시된 연구 결과와 마찬가지로 100-200 mg/kg 범위의 토양 유효규산 수준에서 규산질 비료의 시용이 참외의 생육에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

<Table 28> Effect of silicate and phosphate fertilizer treatments on the soil properties.

Date of sampling	Treatment	pH	EC	Av. P ₂ O ₅	Av. SiO ₂	Extractable cation		
						Ca	Mg	K
			dS/m	--- mg/kg ---		----- cmol _e /kg -----		
Jul. 18	S ₀ P ₀	5.22	2.22	112.7	110.0	3.25	1.24	0.22
	S ₀ P ₁	5.12	2.65	146.8	117.6	3.24	1.28	0.23
	S ₀ P ₂	5.17	2.51	177.8	111.7	3.26	1.27	0.23
	S ₁ P ₀	5.32	2.40	113.4	139.4	3.21	1.25	0.22
	S ₁ P ₁	5.19	2.41	147.7	149.1	3.28	1.26	0.24
	S ₁ P ₂	5.41	2.42	173.6	145.5	3.31	1.30	0.23
	S ₂ P ₀	5.42	2.82	113.5	185.9	3.34	1.23	0.21
	S ₂ P ₁	5.40	2.85	146.5	190.7	3.33	1.28	0.24
	S ₂ P ₂	5.43	2.70	178.9	194.5	3.31	1.24	0.22
Aug. 2	S ₀ P ₀	5.37	1.16	113.1	116.2	3.24	1.21	0.20
	S ₀ P ₁	5.32	1.03	147.9	115.4	3.26	1.26	0.21
	S ₀ P ₂	5.41	1.85	162.7	115.1	3.25	1.24	0.19
	S ₁ P ₀	5.57	1.70	112.2	133.6	3.21	1.23	0.18
	S ₁ P ₁	5.30	1.59	137.6	140.2	3.20	1.26	0.20
	S ₁ P ₂	5.62	1.83	176.5	150.0	3.27	1.27	0.21
	S ₂ P ₀	5.77	1.24	118.3	182.4	3.29	1.25	0.19
	S ₂ P ₁	5.61	1.39	139.3	178.7	3.24	1.27	0.18
	S ₂ P ₂	5.62	1.77	170.0	185.5	3.25	1.21	0.19
Aug. 17	S ₀ P ₀	5.85	0.50	111.2	106.6	3.18	1.16	0.18
	S ₀ P ₁	5.79	0.53	138.1	107.2	3.19	1.18	0.18
	S ₀ P ₂	5.87	0.56	170.0	104.2	3.24	1.09	0.19
	S ₁ P ₀	5.99	0.58	112.1	136.7	3.21	1.08	0.17
	S ₁ P ₁	5.92	0.62	142.0	148.2	3.20	1.13	0.18
	S ₁ P ₂	6.04	0.67	166.7	147.2	3.26	1.16	0.19
	S ₂ P ₀	6.22	0.75	113.1	169.2	3.25	1.01	0.20
	S ₂ P ₁	6.22	0.85	140.5	173.0	3.22	1.21	0.18
	S ₂ P ₂	6.23	0.87	165.2	171.1	3.23	1.23	0.21
Aug. 31	S ₀ P ₀	5.70	0.60	111.9	103.0	3.08	1.12	0.18
	S ₀ P ₁	5.57	0.53	126.2	108.5	3.08	1.13	0.18
	S ₀ P ₂	5.68	0.64	161.4	99.5	3.12	1.15	0.20
	S ₁ P ₀	5.85	0.66	112.9	136.7	3.06	1.10	0.21
	S ₁ P ₁	5.78	0.79	126.6	135.5	3.16	1.09	0.18
	S ₁ P ₂	5.88	0.64	162.0	144.9	3.14	1.08	0.17
	S ₂ P ₀	6.06	0.80	111.9	167.4	3.12	1.12	0.18
	S ₂ P ₁	5.96	1.14	127.1	172.4	3.05	1.15	0.19
	S ₂ P ₂	6.14	0.84	164.1	169.2	3.09	1.16	0.17

<Table 29> Effect of silicate and phosphate fertilizer treatments on the content of silicate and phosphate in oriental melon leaf.

Date of sampling	Treatment	P ₂ O ₅	SiO ₂	1 N NaOAc extractable SiO ₂
		----- % -----		mg/kg
Jul. 18	S ₀ P ₀	0.43	3.62	0.216
	S ₀ P ₁	0.41	3.63	0.214
	S ₀ P ₂	0.47	3.64	0.214
	S ₁ P ₀	0.45	3.17	0.212
	S ₁ P ₁	0.42	2.84	0.212
	S ₁ P ₂	0.44	3.66	0.218
	S ₂ P ₀	0.47	4.00	0.216
	S ₂ P ₁	0.47	3.60	0.205
	S ₂ P ₂	0.51	4.86	0.226
Aug. 2	S ₀ P ₀	0.46	3.93	0.224
	S ₀ P ₁	0.44	3.68	0.221
	S ₀ P ₂	0.48	3.85	0.287
	S ₁ P ₀	0.48	4.51	0.276
	S ₁ P ₁	0.49	4.45	0.285
	S ₁ P ₂	0.51	4.39	0.254
	S ₂ P ₀	0.48	4.76	0.275
	S ₂ P ₁	0.51	4.04	0.216
	S ₂ P ₂	0.59	4.43	0.254
Aug. 17	S ₀ P ₀	0.55	4.62	0.284
	S ₀ P ₁	0.61	4.76	0.291
	S ₀ P ₂	0.60	4.87	0.292
	S ₁ P ₀	0.50	4.88	0.291
	S ₁ P ₁	0.51	4.92	0.271
	S ₁ P ₂	0.53	4.88	0.288
	S ₂ P ₀	0.56	4.18	0.212
	S ₂ P ₁	0.59	4.98	0.202
	S ₂ P ₂	0.57	4.72	0.205
Aug. 31	S ₀ P ₀	0.44	4.81	0.208
	S ₀ P ₁	0.48	4.94	0.295
	S ₀ P ₂	0.43	4.86	0.204
	S ₁ P ₀	0.45	4.10	0.228
	S ₁ P ₁	0.46	4.79	0.223
	S ₁ P ₂	0.53	4.84	0.216
	S ₂ P ₀	0.47	4.75	0.226
	S ₂ P ₁	0.56	4.78	0.214
	S ₂ P ₂	0.47	4.73	0.243

<Table 30> Effect of silicate and phosphate fertilizer treatments on the growth of oriental melon.

Date of sampling	Treatment	Stem length	Number of leaf	Length of leaf	Width of leaf	Stem diameter	SPAD
		cm		cm	cm	mm	
Jul. 18	S ₀ P ₀	37.8	20	8.48	7.84	7.2	43.4
	S ₀ P ₁	37.5	21	8.47	7.84	7.1	43.7
	S ₀ P ₂	37.8	20	8.51	7.84	7.2	43.7
	S ₁ P ₀	37.8	21	8.48	7.86	7.2	43.5
	S ₁ P ₁	38.1	22	8.49	7.86	7.2	43.8
	S ₁ P ₂	38.0	22	8.52	7.87	7.3	43.8
	S ₂ P ₀	37.9	21	8.52	7.87	7.2	43.5
	S ₂ P ₁	39.1	20	8.48	7.86	7.3	43.7
	S ₂ P ₂	39.3	23	8.50	7.85	7.3	43.7
Aug. 2	S ₀ P ₀	56.3	33	12.04	11.48	8.3	49.3
	S ₀ P ₁	57.2	32	12.06	11.49	8.3	49.5
	S ₀ P ₂	57.3	32	12.06	11.46	8.2	49.7
	S ₁ P ₀	56.8	33	12.10	11.58	8.3	48.8
	S ₁ P ₁	57.8	34	12.13	11.58	8.4	49.7
	S ₁ P ₂	58.1	35	12.12	11.59	8.3	49.8
	S ₂ P ₀	56.6	32	12.08	11.49	8.3	48.6
	S ₂ P ₁	58.2	34	12.14	11.57	8.2	49.8
	S ₂ P ₂	57.9	36	12.18	11.58	8.3	50.1
Aug. 17	S ₀ P ₀	63.2	54	12.94	12.13	8.8	52.4
	S ₀ P ₁	63.6	56	13.14	12.12	8.6	52.8
	S ₀ P ₂	63.7	55	13.08	12.13	8.7	52.8
	S ₁ P ₀	63.7	53	13.04	12.13	8.8	52.5
	S ₁ P ₁	65.4	58	13.21	12.13	8.9	53.1
	S ₁ P ₂	66.2	57	13.43	12.14	8.9	53.2
	S ₂ P ₀	64.3	56	13.18	12.16	8.8	52.5
	S ₂ P ₁	65.8	62	13.32	12.15	8.9	52.9
	S ₂ P ₂	67.2	60	13.24	12.16	9.0	53.4
Aug. 31	S ₀ P ₀	70.3	66	13.34	15.28	9.7	54.1
	S ₀ P ₁	70.8	67	13.52	15.26	9.7	54.2
	S ₀ P ₂	70.6	66	13.48	15.31	9.6	54.2
	S ₁ P ₀	70.7	68	13.43	15.31	9.7	53.8
	S ₁ P ₁	72.3	70	13.62	15.29	9.8	54.2
	S ₁ P ₂	74.5	71	13.51	15.29	9.8	54.3
	S ₂ P ₀	70.8	68	13.25	15.28	9.8	53.6
	S ₂ P ₁	73.6	70	13.49	15.31	9.7	54.2
	S ₂ P ₂	77.8	73	13.63	15.48	9.8	53.9

4. 규산질 비료의 참외 흰가루병 발생 억제 효과

참외에 발생하는 주요 병해는 흰가루병, 덩굴 마름병, 덩굴 쪼김병, 역병, 노균병, 세균성 점무늬병, 탄저병, 잘록병 등이 있으며, 이들 중 *Sphaerotheca fuliginea*에 의한 흰가루병, *Pseudoperonospora cubensis*에 의한 노균병, *Didymella bryoniae*에 의한 덩굴 마름병, *Phytophthora capsici*에 의한 역병 등은 방제를 필요로 하는 주요 병해로서 병원균이 침입하기 좋은 고온 다습한 조건이 일정기간 지속되면 다량으로 발생 한다 (박소득 등, 1996). 특히 참외 흰가루병은 전국적으로 분포하며, 재배 중 수시로 발병하는데 시설재배에서 고온 다습 후 건조한 조건에서 발병될 경우 빠른 시간 내에 만연이 되어 방제를 소홀히 할 경우 과실을 수확하지 못할 정도로 피해가 큰 병해다 (이중섭, 1999).

흰가루병균은 자낭균문 (Ascomycota)의 흰가루병균계 (Erysiphaceae)에 속하는 균류에 대한 총칭으로 대부분의 작물에 병을 일으키는 중요한 병원진균이다 (Amano, 1986). 우리나라에서 흰가루병균에 대한 연구는 1910년대에 일본학자들에 의해 시작되었다. 이들에 의한 보고는 주로 보리, 밀, 사과나무, 배나무 등 여러 기주에서 흰가루병이 발생하였다는 사실에 대한 것이었으며, 병원균에 대한 기록은 부족하였다. 해방 이후부터 우리나라 연구자에 의해 흰가루병에 대한 연구가 시작되었는데, 초반에는 병조사가 주였고, 균학적 연구는 1960년대 중반에 이르러서야 시작되었다. 그러나 흰가루병균 및 기주식물에 대한 조사 연구는 짧은 역사에도 불구하고 상당히 진전되었으며, 현재 까지 국내에 기록된 흰가루병균은 총 110종이며, 기주식물은 전체 피자식물의 약 11.7%에 달하는 총 388종으로 보고되었다 (신현동, 1997).

흰가루병균은 순환물기생균으로서 균사는 식물조직 표면에서만 자라며, 식물의 표피 세포 속에 흡기를 집어넣어 식물체의 양분을 흡수할 뿐, 균사가 조직 속으로 뻗어 들어가지는 않는다. 또한 흰가루병균은 식물표면의 균사 위에 짧은 분생자경을 형성하고, 그 끝에 난형 또는 구형의 분생포자를 형성한다. 분생포자는 기류를 타고 다른 식물체로 전염되는데, 환경이 나빠지면 감염된 조직의 균사 위에 하나 혹은 수 개의 자낭을 가진 자낭구를 형성한다. 흰가루병은 다습지역에서

도 흔히 발생하지만 주로 온난 건조한 지역에서 발생이 심하고 피해도 크다. 이는 공기 중 상대습도가 낮아 식물표면에 수막이 형성되지 않아도 일반적인 식물 병원균들과는 달리 흰가루병균의 포자가 방출되고 발아하여 식물조직을 감염할 수 있기 때문이다. 그리고, 일단 감염이 시작되면 대기습도에 관계없이 잎 전체로 퍼져 나가며 심할 경우 줄기까지도 가해한다. 흰가루병균은 병든 조직을 고사시키지는 않으나, 기주식물의 양분을 빼앗고, 광합성을 감소시키며, 호흡 및 증산작용의 증가, 성장 불균일 등의 변화를 일으켜, 참외 수확량에 심각한 감소를 초래하기도 한다. 따라서 흰가루병 방제의 성공여부는 참외재배의 성패를 결정하는 중요한 요인이라 할 수 있다.

참외 흰가루병의 발생은 주로 하위엽부터 시작되어 위쪽으로 진행되며, 초기 병징은 잎과 줄기표면에 밀가루를 뿌려 놓은 듯한 병반이 보이며, 병세가 더욱 진전되면 잎 전체에 포자가 백색으로 뒤덮힌 후 하엽부터 황변하여 고사한다.

흰가루병은 과채류, 맥류, 과수, 화훼 작물 등 거의 모든 재배작물에 발생하며, 전세계적으로 분포하기 때문에 흰가루병의 방제에 관한 연구는 국내외에서 활발히 수행되어져 왔다. 이들 연구는 주로 유기합성농약을 사용하는 화학적 방제에 관한 연구라 할 수 있으며 (백수봉, 1985; 장석원 등, 2001), 계면 활성제, 천연화합물 및 미량요소 등의 예방 및 방제효과 (백수봉 등, 1994, 1996; 이중섭 등, 1999; 조일찬·차병진, 1998; Menzies et al., 1991, 1992; Ruveni et al., 1995, 1997, 1998, 2000a, 2000b; Samuels et al., 1991)와 길항미생물을 이용한 흰가루병의 생물학적 방제에 관한 연구 (신현동, 1994; Abo-Fouler et al., 1996; Elad et al., 1998; Urquhart et al., 1994; Verhaar et al., 1997; 1998a, 1998b) 등이 수행되어 왔으나, 현재 흰가루병의 방제는 대부분 황, 미분이나 Demethylation inhibitor (DMI) 같은 살균제 사용에 의한 화학적 방제에 의존하고 있는 실정이다. 유기합성농약에 의존하는 화학적방제는 농작물에 대한 잔류성 문제, 사용 약제에 대한 내성균주의 출현 및 생태계 파괴 등 많은 문제점을 야기 시켜 왔으며, 농약의 과다 사용에 대한 일반 소비자들의 거부감은 점점 더 커지고 있다 (조일찬 등, 1998).

규모가 생물적 스트레스, 즉 병원균이나 해충의 피해를 줄일 수 있다고 보고

되었는데, 생육중인 벼에 규소를 사용하면 도열병에 의한 피해가 현저히 감소되었으며, 처리농도가 높을수록 처리 효과가 큰 것으로 나타났다 (Ito & Chiba, 1994; Miyake & Ikeda, 1932). Yamauchi와 Winslow (1989)는 규소가 부족한 토양에 규소를 주면 수량 증수는 물론 벼의 병발생을 현저히 억제시켰다고 보고하고 있다. 이처럼 규질화된 잎 세포는 병원균의 침입을 막아 줄 뿐만 아니라, 병원균이 침입한 후에도 식물체 내에서의 성장과 증식을 억제시키는 작용까지 하므로 병발생을 크게 억제시키는 것으로 알려져 있다 (Samuels et al., 1991; Sherwood & Vance, 1980). 그러나 이러한 작물의 생식생장에 대한 규소의 정확한 작용 기작은 아직 잘 밝혀져 있지 않다.

현재까지 알려진 규소의 역할 중에서 가장 중요하게 인식되고 있는 것은 잎이나 줄기의 피층 세포에 축적된 규소가 조직의 물리적 강도를 높여 줄 수 있다는 사실이다. 이러한 작용을 통하여 벼, 밀, 보리 등 밀식 재배되는 곡류작물의 경우 규소는 직접적으로 또는 간접적으로 생육과 수량을 증가 시키는 작용을 하는데, 잎이 직립함으로써 잎의 빛 흡수가 좋아져 광합성 효율이 높아지며 도복과 병원균의 감염이 방지되고 충해를 경감시킬 수 있기 때문이다 (Parry & Smithson, 1964). 특히 질소 사용량이 많은 경우 이들 작물의 도복현상이나 균의 감염이 심해지는데, 이때 규소를 사용하면 크게 효과를 볼 수 있다 (Idris et al., 1975). 규산질 비료는 벼에서 도열병, 깨씨무늬병, 뿌리썩음병과 바이러스성, 세균성 병해 및 이화명충 등의 충해를 줄여 줄 수 있는 것으로 잘 알려져 있다 (Deren et al., 1944). 규산질화된 잎 세포는 병원균의 침입을 막아줄 뿐만 아니라, 병원균이 침입한 후에도 식물체 내에서의 성장과 증식을 억제시키는 작용까지 하므로 병발생을 크게 억제시키는 것으로 알려져 있다 (Volk et al., 1958). 이러한 규소의 작용은 특히 엽면시비를 통하여 여러 작물에 대하여 다수의 연구자들에 의해 검증되었다 (Belanger et al., 1995; Bowen et al., 1992; Menzies et al., 1992; Saigusa et al., 2000).

우리나라에서 현재 까지 규소의 작용과 효과가 대부분 벼를 대상으로 연구되었으며, 밭작물에 대한 규산질 비료의 사용은 아직 권장되지 않고 있는 실정이다. 그러나 오이, 수박, 참외, 호박 등의 경우 규산질 비료를 사용하면 벼에서와

같이 병충해 발생 억제와 증수 효과가 있는 것으로 농가 현장에서 알려지고 있다. 우리나라에서 발작물에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이지만, 규산질 비료 시용에 따른 병충해 방제 효과는 정도의 차이는 있을 수 있으나, 모든 작물에 공통적으로 적용될 수 있는 것으로 판단된다. 오이의 흰가루병에 대한 규산의 방제 효과를 수용성 규산의 엽면살포와 양액을 통한 공급으로 조사한 연구가 수행되었으며, 규산 처리 농도가 증가함에 따라서 잎당 병반수, 병반 면적 또는 분생포자의 발아율 등이 감소하는 것으로 나타났다 (Cho et al., 1998; Dik et al., 1998).

비닐하우스에서 재배되고 있는 참외의 경우 흰가루병에 의한 피해가 매우 심각하지만 방제용 약제에 대한 내성균주의 출현이 빠르기 때문에 농가에서는 방제에 어려움을 겪고 있다. 현재 참외 재배농가에서 일부 규산질 비료를 사용하고 있으므로, 참외의 흰가루병이 토양에 시용된 규산질 비료에 의해 억제될 수 있는지가 구명되어야 할 것이며, 나아가 흰가루병을 억제할 수 있는 규산질 비료의 시용 수준 등도 검토 되어야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 토양에 시용한 규산의 참외 흰가루병에 대한 직접적인 억제 효과와 살균제의 방제 효과를 증진시킬 수 있는 보조효과를 조사하였다.

가. 공시 비료, 약제 및 식물

규산질 비료는 가용성 SiO_2 25%의 입상 제품이었으며, 흰가루병 방제용 약제 triflumizol (30% a.i., WP)은 한국 바스프 아그로 (주)로부터 분양 받았다. 참외 품종은 국내 농가에서 가장 많이 재배되고 있는 금싸라기 은천 계통 (*Cucumis melo* var. *makuwa* cv Eunchun)을 사용하였다.

나. 규산질 비료 및 약제의 처리와 참외 재배

1) 규산질 비료 및 약제의 처리

비닐하우스에서 참외 흰가루병에 대한 규산질 비료 시용 효과를 검정하기 위하여 규산질 비료 처리구, 방제용 약제 처리구, 규산질 비료 및 약제 처리구를

두었으며, 규산질 비료와 약제의 자세한 처리 내용은 다음 <Table 31>과 같았다. 대조구를 포함한 4가지의 시험구는 완전임의배치법으로 배치하였으며, 각 처리구 당 3주씩 3반복으로 하였다.

<Table 31> Treatment included in the experiment.

Treatment	Application rate	
	Si-fertilizer	Triflumizol
Control	-	-
Si-fertilizer	200 mg/kg soil	-
Si-fertilizer+ Triflumizol	200 mg/kg soil	75 g a.i./ha (4,000×)
Triflumizol	-	75 g a.i./ha (4,000×)

2) 참외 재배

규산질 비료의 참외 흰가루병 억제 효과를 검정하기 위해 대구대학교 부속농장 비닐하우스에서 시험을 수행하였다. 비닐하우스 환경은 일반 농가의 관행 비닐하우스와 동일하게 만들었으며, 포장 습도와 지온 관리를 위해 지상부를 흑색 필름으로 1차 피복 후 백색 필름으로 2차 피복하였다.

참외 종자는 2003년 7월 9일에 육묘용 상토를 채운 지름 12 cm 포트에 파종하였고, 파종 후 육묘 온실의 주간온도는 25~30℃, 야간 온도는 18~20℃로 유지하였으며, 수분공급은 1일 2~3회 정도하여 적정 수분을 유지 시켰다. 2003년 7월30일에 본엽이 4매인 유묘를 비닐하우스에 재식거리 120×40 cm로 정식 하였으며, 약제 처리와 병해 조사의 편의성을 위해 유인재배를 하였다.

다. 참외 흰가루병균과 접종

1) 참외 흰가루병균의 채집과 증식

본 실험에 사용한 흰가루병균은 *Sphaerotheca fuliginea*이었으며, 경북 경산시

남산면 소재 시설 참외 재배농가에서 흰가루병이 자연 발생한 것으로부터 채집하였다. 흰가루병균은 본엽이 6매 정도 자란 건전 참외 묘에 인위 접종하여 10일 간격의 계대배양을 통하여 증식 및 보존하였다.

2) 참외 흰가루병균의 접종

참외 흰가루병균의 접종은 2003년 8월 14일에 하였다. 이병 잎의 포자를 붓으로 털어 증류수에 10^6 spore/L 농도로 현탁액을 만들고 계면활성제 Tween-20을 1 mL 혼합한 후 주당 100 mL 씩 분무기로 살포하였다.

규산질 비료는 정식 1주일 전에 유효규산 함량이 200 mg/kg soil 수준이 되도록 표토 20 cm 깊이 까지 잘 혼합하여 처리하였으며, 예방 효과 비닐하우스는 흰가루병균 접종 전 공시약제의 처리시기에 따른 예방 효과를 검증하기 위해 흰가루병균 접종 7일전 (8월 7일), 3일전 (8월 11일), 3시간전 (8월 14일)으로 분류하여 triflumizol을 Table 1과 같은 농도로 처리 하였다. 8월21일 처리 일주일 후 각 처리구의 발병잎 수의 비율, 이병잎 당 균총 수, 그리고 이병잎의 단위 면적당 균총 수를 조사하였다. 치료 효과 검증 온실에서는 예방 효과 검증 온실과 동일하게 triflumizol을 같은 농도로 2003년 8월 13일 1차 살포 하였고, 7일 간격으로 3회 처리하였다.

참외 생육시 발생하는 각종 생리 장애와 해충 방제를 위해 식물 종합영양제(나르젠, 대유)와 살충제(코니도, 미성)를 적절히 살포하였다.

라. 흰가루병 발생의 조사와 관찰

1) 처리별 흰가루병 발생 억제율 조사

처리별 흰가루병의 발생 정도는 참외 한 주당 선발된 하나의 아들가지 중에서 3개의 손자가지를 선발하여 총 잎 수에 대한 발병잎 수의 비율, 이병잎 당 균총 수, 그리고 이병잎의 단위 면적당 균총 수로 조사하였다. 병 발생 정도는 균 접종 후 1주일 간격으로 조사하였다. 처리별 흰가루병 발생 억제율은 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{억제율(\%)} = \frac{\text{무처리구발병율(\%)} - \text{처리구발병율(\%)}}{\text{무처리구발병율(\%)}} \times 100$$

2) 흰가루병균의 성장 관찰

흰가루병 발생 조사와는 별도로 무처리구 및 규산질 비료 처리구의 참외 잎에 흰가루병균의 분생포자를 접종 후 7일째에 채취한 잎에서 균사의 성장과 분생포자 형성을 관찰하였으며, 무처리구 및 규산질 비료 처리구의 참외 잎에 흰가루병균의 분생포자를 접종 후 균사 성장을 관찰하였다. 잎 시료는 Wolf Fric의 방법으로 염색하였다 (Wolf & Fric, 1981). 참외 잎을 탈색용액 (750 mL ethanol + 250 mL chloroform + 1.5 g TCA)에 24시간 동안 침지하여 엽록소를 탈색시켰다. 잎이 투명한 상태로 완전히 탈색될 수 있도록 탈색용액을 2~3회 바꿔주었으며, 탈색 후 염색용액 (600 mg Coomassie brilliant blue R250 + 100 mL methanol + 100 mL 15% TCA)에 10~15분 동안 침지시켜 균사 및 분생포자를 염색하였다. 염색 후 보존용액 (200 mL glycerin + 50 mL acetic acid + 750 mL distilled water)에 2~3회 세척한 다음 보관하면서 현미경으로 관찰하였다.

마. 참외 잎의 규산 함량 분석

참외 잎 중의 규산 함량은 Elliott and Snyder (1991)의 방법으로 분석하였다. 참외 잎 시료 100 mg을 50 mL polyethylene tube에 넣고 50% H₂O₂ 2 mL와 50% NaOH 4.5 mL를 첨가한 후, autoclave (HS-60 Model, Hanshin Medical Co., bucheon, Korea)에서 126℃로 1시간동안 분해하여 Whatman No. 2여과지로 여과하였다. 여액 1 mL에 1 N H₂SO₄ 5 mL와 0.3 M ammonium molybdate 5 mL를 가하고, 2분 후 20% tartaric acid 2.5 mL와 1-amino-2-naphthol-4-sulfonic acid 0.5 mL를 가하여 잘 흔든 다음 30분간 발색시켰다. 규산 함량은 spectrophotometer (HP 8452A Model, Hewlett Packard, Germany)로 820 nm에서 흡광도를 측정하여 조사하였다.

바. 규산질 비료의 참외 흰가루병 억제 효과

1) 참외 잎의 규소 함량

규산질 비료의 처리에 따른 참외 잎 중의 규소 함량은 <Table 32>에 나타내었다. 규산질 비료를 처리한 시험구에서 그 함량이 높게 나타났다. 벚꽃 중의 규소 함량은 건물 기준으로 대개 40~50 g SiO₂/kg 수준인데, 이에 비하면 참외 잎 중의 규소 함량은 상대적으로 낮은 경향을 보였다.

<Table 32> Concentration of silicate in melon leaf.

Treatment	Aug. 21	Aug. 28	Sep. 4
	-----mg SiO ₂ /kg FM-----		
Control	1,115	1,042	1,149
Si-fertilizer	1,453	1,507	1,511
Si-fertilizer+ Triflumizol	1,528	1,547	1,538
Triflumizol	1,062	998	1,173

2) 흰가루병 예방효과

일반 재배농가에서와 동일한 온실에 건전 참외 묘를 정식 후 관행 재배 방식에 의해 재배했다. 규산질 비료의 처리 효과를 검증하기 위해 흰가루병이 발생되지 않은 상태인 정식 1개월 후 흰가루병균의 포자 현탁액을 인위 접종한 결과 접종 5일 후부터 병징이 관찰되기 시작하였다 (<Fig 22>). 예방효과를 비교 검증하기 위해 흰가루병 방제용 약제인 triflumizol의 처리는 접종 7일, 3일 및 3시간 전에 각각 하였다.

접종 7일 후에 조사한 총 잎 수에 대한 발병잎 수의 비율은 <Table 33>에서 볼 수 있다. 무처리 대조구에서는 평균 31.3%의 이병엽율을 보였으며, 규산질 비료 단독 처리구에서는 평균 33.3%의 이병엽율을 보여 병발생 억제 효과가 없는 것으로 나타났다. Triflumizol의 단독 처리구에서는 처리시기별 이병엽율에 다소의 차이가 있었으며, 접종 3시간 전 처리구에서는 가장 낮은 21.0%의 이병엽율을

보여 약 39.5%의 병발생 억제율을 보였다.

접종 3일 전 처리구에서는 28.5%의 이병엽율을 보여 대조구에 비해 13.9%의 억제율을 보였고, 7일 전 처리구에서는 29.9%의 이병엽율을 보여 4.5%의 억제율을 보였다. 규산질 비료의 처리구에 triflumizol을 동일한 방법으로 처리한 구에서는 규산질 비료를 단독으로 처리한 구와 triflumizol을 단독으로 처리한 구에 비해 비교적 낮은 이병엽율을 보였다 (<Fig. 23>).

규산질 비료 처리구에 triflumizol을 처리한 3시간 후에 흰가루병을 접종한 결과 19.4%의 이병엽율을 보여 무처리 대조구에 비해서는 44.1%, 규산질 비료 단독처리구에 비해서는 39.6%, triflumizol 단독처리구에 비해서는 7.6%의 병발생 억제효과를 보였다. 규산질 비료 처리구에 triflumizol을 처리한 3일 후에 흰가루병을 접종한 결과에서는 21.7%의 이병엽율을 보여 무처리 대조구에 비해서는 34.4%, 규산질 비료 단독처리 구에 비해서는 31.1%, triflumizol 단독처리 구에 비해서는 23.9%의 병발생 억제 효과를 보였다.

<Table 33> Preventive efficacy of silicate fertilizer and triflumizol treatments on the infection of powdery mildew in oriental melon leaf measured by infected leaf ratio.

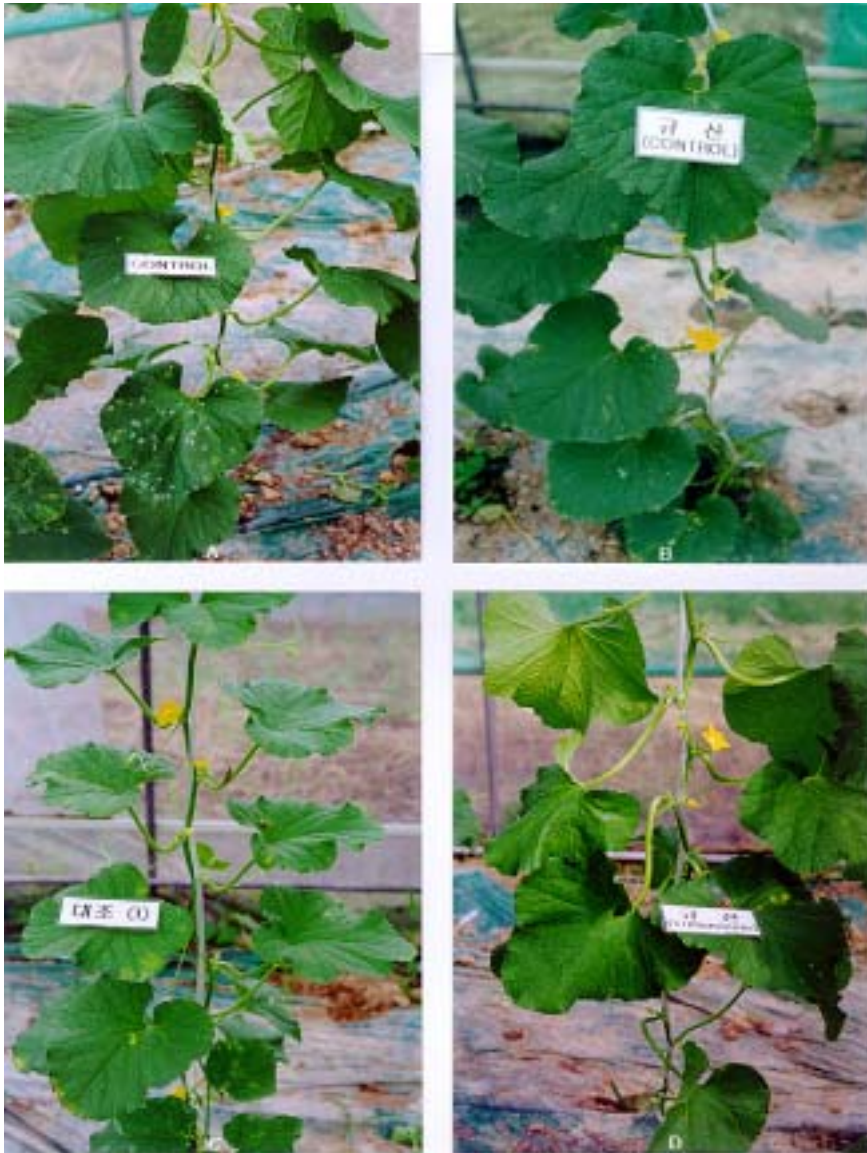
Treatment	Infected leaf ratio ^{a)}		
	7 days ^{b)}	3 days	3 hours
	-----%-----		
Control	31.3±7.4	33.1±8.2	34.7±4.2
Si-fertilizer	33.3±5.6 (0.0)	31.5±6.8 (4.8)	32.1±6.3 (7.5)
Si-fertilizer +Triflumizol	23.1±6.7 (26.2)	21.7±7.5 (34.4)	19.4±5.8 (44.1)
Triflumizol	29.9±8.2 (4.5)	28.5±9.7 (13.9)	21.0±6.3 (39.5)

^{a)} Data are mean±standard deviation and data in () are % suppression.

^{b)} Time of foliar spray of triflumizol. Triflumizol were applied on plants leaves prior inoculation with *Sphaerotheca fuliginea*. Control and Si-fertilizer plants were treated with water. *Sphaerotheca fuliginea* was inoculated at 14 August and assessed 21 August.



<Fig. 22> Powdery mildew diseased plant of oriental melon five days after inoculation with conidia of the powdery mildew.



<Fig. 23> Preventive efficacy of silicate fertilizer and triflumizol treatments on the infection of powdery mildew in oriental melon. (A) control, (B) silicate fertilizer, (C) triflumizol, and (D) silicate fertilizer and triflumizol.

규산질 비료 처리구에 triflumizol을 처리한 7일 후에 흰가루병을 집중한 결과 23.1%의 이병엽율을 보여 무처리 대조구에 비해서는 26.2%, 규산질 단독 처리구에 비해서는 30.6%, triflumizol 단독처리 구에 비해서는 22.7%의 병발생 억제 효과를 보였다. 이러한 흰가루병 발생 억제 효과는 통계적으로 유의성을 나타내지는 못하였다.

병발생 잎 당 균총 수로 조사한 각 처리의 효과도 총 잎 수에 대한 발병 잎 수의 비율로 조사한 효과와 유사한 경향을 보였다 (<Table 34>). 집중 7일후에 조사한 무처리 대조구의 이병잎 당 균총 수는 평균 12.3개였으며, 규산질 비료의 단독처리 구의 이병잎 당 균총 수는 평균 9.8개로 평균 균총 수가 대조구에 비하여 적었으나 통계적으로 유의성을 나타내지는 못하였다. Triflumizol의 단독 처리구에서는 규산질 비료 처리구에 비하여 잎 당 평균 균총 수가 현저히 적었으며, 무처리 대조구에 비하여 통계적으로 유의성 있는 억제를 보였다. 규산질 비료와 약제를 동시에 처리한 구에서는 각각의 단독 처리구에 비하여 잎 당 평균 균총 수가 현저히 적었다 (<Fig. 24>). Triflumizol의 전 처리 기간에 따른 잎 당 평균 균총 수의 비교에서는 3시간 전 처리가 7일 전 처리에 비하여 현저히 적은 균총 수를 보였다. 이러한 경향은 triflumizol의 단독 처리 구 및 규산질 비료와 약제를 동시에 처리한 구에서도 유사하였다.

이병잎의 단위면적당 균총 수를 조사한 결과는 <Table 35>와 같다. 각 처리별 효과는 <Table 34>에서 나타난 이병잎 당 평균 균총 수에 미치는 효과와 유사한 경향을 보였다. 집중 7일후에 조사한 무처리 대조구의 이병잎 단위면적 (cm^2)당 평균 균총 수는 0.073개였으며, 규산질 비료의 단독처리 구의 이병잎 단위면적당 평균 균총 수는 0.047개로 대조구에 비하여 적었으나 통계적으로 유의성을 나타내지는 못하였다. Triflumizol의 단독 처리구에서는 규산질 비료 처리구에 비하여 이병잎 단위면적당 평균 균총 수가 현저히 적었으며, 무처리 대조구에 비하여 통계적으로 유의성 있는 억제를 보였다. 규산질 비료와 약제를 동시에 처리한 집중 3시간전 처리구에서는 이병잎 단위면적당 평균 균총 수가 0.006개로 각각의 단독 처리구의 0.028개와 0.012개에 비하여 현저히 적었다.

Triflumizol의 전 처리 기간에 따른 이병잎 단위면적당 평균 균총 수의 비교

에서는 3시간 전 처리가 7일 전 처리에 비하여 현저히 적은 균총 수를 보였다. 이러한 경향은 triflumizol의 단독 처리 구 및 규산질 비료와 약제를 동시에 처리한 구에서도 유사하였다.

<Table 34> Preventive efficacy of silicate fertilizer and triflumizol treatments on the powdery mildew in oriental melon plants.

Treatment	Numbers of powdery mildew colonies on each leaf ^{a)}		
	7 days ^{b)}	3 days	3 hours
Control	12.3±0.4	12.6±5.2	9.2±2.9
Si-fertilizer	9.8±3.1 (20.3)	10.0±4.9 (20.6)	6.5±2.2 (29.3)
Si-fertilizer +Triflumizol	2.4±1.1 (80.5)	1.8±1.2 (85.7)	1.3±1.4 (85.9)
Triflumizol	4.1±1.8 (66.7)	3.9±2.3 (69.0)	2.4±3.4 (73.9)

a) Data are mean±standard deviation and data in () are % suppression.

b) Time of foliar spray of triflumizol. Triflumizol were applied on plants leaves prior inoculation with *Sphaerotheca fuliginea*. Control and Si-fertilizer plants were treated with water. *Sphaerotheca fuliginea* was inoculated at 14 August and powdery mildew colonies were counted at 21 August.

<Table 35> Preventive efficacy of silicate fertilizer and triflumizol treatments on the powdery mildew in oriental melon plants.

Treatment	Numbers of powdery mildew colonies/cm ² leaf ^{a)}		
	7 days ^{b)}	3 days	3 hours
Control	0.073±0.020	0.076±0.046	0.045±0.036
Si-fertilizer	0.047±0.036 (35.6)	0.052±0.021 (31.6)	0.028±0.019 (37.8)
Si-fertilizer +Triflumizol	0.011±0.014 (84.9)	0.009±0.012 (88.2)	0.006±0.002 (86.7)
Triflumizol	0.021±0.016 (71.25)	0.017±0.011 (77.6)	0.012±0.007 (73.3)

a) Data are mean±standard deviation and data in () are % suppression.

b) Time of foliar spray of triflumizol. Triflumizol were applied on plants leaves prior inoculation with *Sphaerotheca fuliginea*. Control and Si-fertilizer plants were treated with water. *Sphaerotheca fuliginea* was inoculated at 14 August and powdery mildew colonies were counted at 21 August.



<Fig. 24> Preventive efficacy of silicate fertilizer and triflumizol treatments on the infection of powdery mildew in oriental melon. (A) control, (B) silicate fertilizer, (C) triflumizol, and (D) silicate fertilizer and triflumizol.

3) 치료 효과 검정

예방 효과 검정을 위한 참외 재배와 동일한 방법으로 건전 참외 묘를 정식하여 온실에서 약 1개월 동안 재배하였다. 흰가루병이 자연발생하기 시작한 발병 초기인 8월 13일에 triflumizol을 1차 처리 하였다. Triflumizol을 1주일 간격으로 처리하면서 총 잎 수에 대한 발병 잎 수의 비율을 조사한 결과를 <Table 36>에 나타내었다.

1차 처리 8일 후 (8월 21일) 총 잎 수에 대한 발병잎 수의 비율을 조사한 결과 규산질 비료 처리구 (<Fig. 25(B)>)의 이병엽율은 34.8%로 무처리 대조구 (<Fig. 25(A)>)의 34.6%와 큰 차이를 보이지 않았다. 규산질 비료 처리구에 triflumizol을 처리한 시험구 (<Fig. 25(C)>)의 이병엽율은 26.5%로 22.2%의 방제 효과를 보였다. Triflumizol의 단독처리구 (<Fig. 25(D)>)의 이병엽율은 30.2%로 12.7%의 방제효과를 나타내었다.

Triflumizol을 2차 처리 (8월 21일)한 다음, 1주일 후에 조사한 결과 대조구에서는 44.0%, 규산질 비료 단독 처리구 및 triflumizol의 단독 처리구에서는 각각 44.1% 와 42.2%의 이병엽율을 보여 방제 효과가 각각 0.0% 및 3.6%로 나타났다. 그러나 규산질 비료 처리구에 triflumizol을 처리한 구에서는 34.2%의 이병엽율로 22.3%의 방제효과를 보였다.

Triflumizol을 3차 처리 (8월 28일)한 다음 1주일 후에 조사한 결과 대조구에서는 57.4%, 규산질 비료 단독 처리구 및 triflumizol의 단독 처리구에서는 각각 54.0% 와 51.6%의 이병엽율을 보여 처리 효과가 낮은 것으로 나타났다. 그러나 규산질 비료 처리구에 triflumizol을 처리한 구에서는 39.5%의 이병엽율을 보여 대조구에 비해 31.2%의 방제효과를 나타냈다.

이병잎 당 흰가루병의 균총 수로 조사한 각 처리의 효과도 총 잎 수에 대한 이병잎 수로 조사한 이병엽율과 유사한 경향을 보였다 (<Table 37>). 규산질 비료 단독 처리구의 이병잎 당 평균 균총 수는 8월 21일 6.8개에서 9월 4일 43.0개로 증가하여 9.1개에서 51.0개로 증가한 무처리 대조구에 비하여 적었으나, 통계적으로 유의성 있는 차이를 보이지는 않았다.

<Table 36> Curative efficacy of silicate fertilizer and triflumizol treatments on the infection of powdery mildew in oriental melon leaf measured by infected leaf ratio.

Treatment	Infected leaf ratio ^{a)}		
	Aug. 21	Aug. 28	Sep. 4
	-----%-----		
Control	34.6±7.5	44.0± 3.7	57.4±5.4
Si-fertilizer	34.8±2.8 (0.0)	44.1±1.5 (0.0)	54.0±7.7 (5.9)
Si-fertilizer +Triflumizol	26.5±5.9 (22.2)	34.2±6.9 (22.3)	39.5±8.7 (31.2)
Triflumizol	30.2±7.7 (12.7)	42.2±7.9 (3.6)	51.6±0.1 (10.1)

^{a)} Data are mean±standard deviation and data in () are % suppression.

<Table 37> Curative efficacy of silicate fertilizer and triflumizol treatments on the infection of powdery mildew in oriental melon leaf measured by number of colony per infected leaf.

Treatment	Number of colony/ infected leaf ^{a)}		
	Aug. 21	Aug. 28	Sep. 4
Control	9.1±3.7	24.4±12.7	51.0±18.6
Si-fertilizer	6.8±3.8 (25.3)	22.2±4.7 (9.0)	43.0±4.3 (15.7)
Si-fertilizer +Triflumizol	1.9±0.8 (79.1)	7.1 ±0.8 (70.9)	10.2±4.1 (80.0)
Triflumizol	2.9±1.4 (68.1)	11.7±4.6 (52.0)	21.5±13.8 (57.8)

^{a)} Data are mean±standard deviation and data in () are % suppression.



<Fig. 25> Curative efficacy of the silicate fertilizer and triflumizol for the control of powdery mildew in oriental melon. (A) control, (B) silicate fertilizer, (C) triflumizol, and (D) silicate fertilizer and triflumizol.

Triflumizol 처리구에서는 규산질 비료 처리구에 비하여 잎당 평균 균총 수가 훨씬 적었으며, 대조구에 비하여 통계적으로 유의성 있는 억제 효과를 보였다.

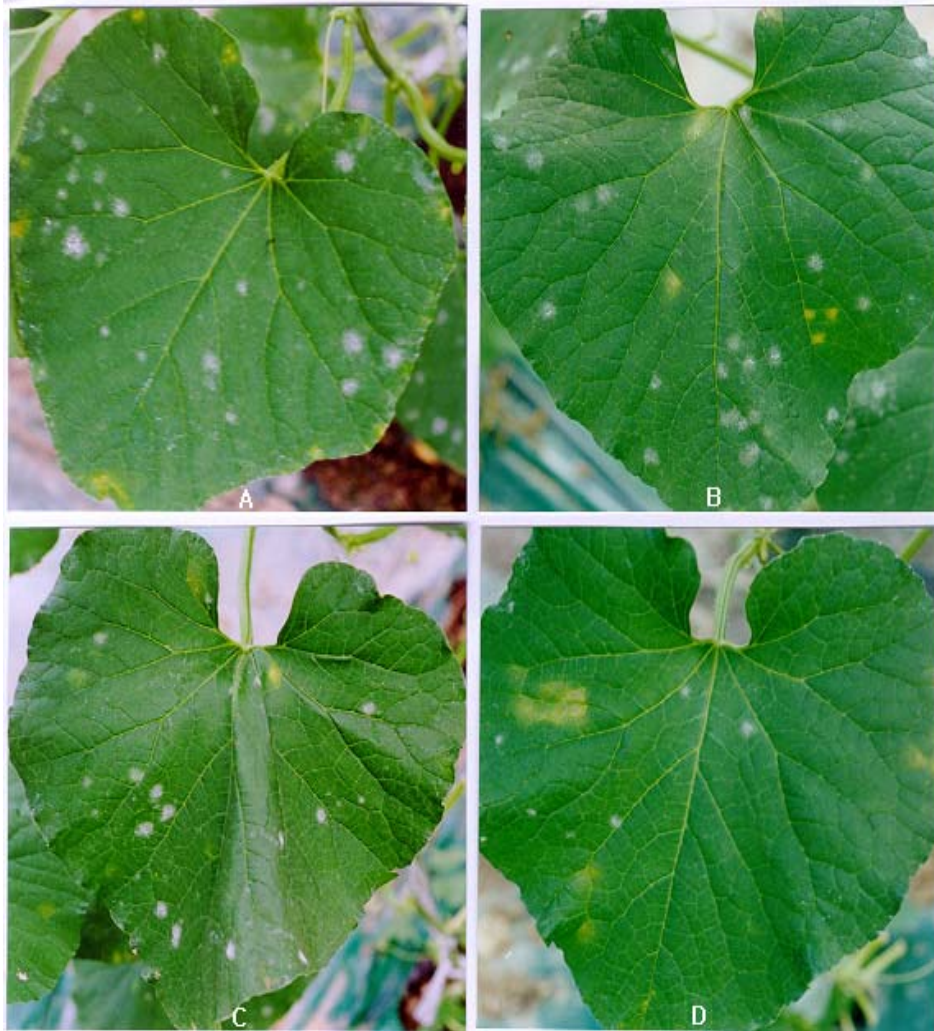
규산질 비료와 약제를 동시에 처리한 경우에는 각각의 단독 처리에 비하여 이병잎당 평균 균총 수가 현저히 적었으며, 3주째에 조사된 결과를 보면 대조구에 비하여 약 80.0% 정도의 억제 효과를 나타내었다 (<Fig. 26>).

<Table 38>에는 각 처리별 이병잎의 단위면적당 균총 수를 조사한 결과를 나타내었다. 각 처리별 효과는 <Table 37>에 나타난 잎당 평균 균총 수에 미치는 효과와 유사한 경향으로 나타났다. 규산질 비료 단독 처리의 경우에는 평균값으로 비교하여 일부 억제 효과를 나타내었으나, 통계적인 유의성을 갖지 못하였고, 규산질 비료와 triflumizol을 동시에 처리한 경우에는 균총 발생을 현저히 억제할 수 있는 것으로 나타났다.

<Table 38> Curative efficacy of silicate fertilizer and triflumizol treatments on the infection of powdery mildew in oriental melon plant measured by number of colony per unit leaf area.

Treatment	Number of colony/cm ² infected leaf ^{a)}	
	Aug. 28	Sep. 4
Control	0.114±0.04.	0.131±0.038
Si-fertilizer	0.106±0.048 (7.0)	0.123±0.087 (6.1)
Si-fertilizer +Triflumizol	0.037±0.046 (67.5)	0.040±0.020 (69.5)
Triflumizol	0.063±0.010 (44.7)	0.078±0.023 (40.35)

^{a)} Data are mean±standard deviation and data in () are % suppression.



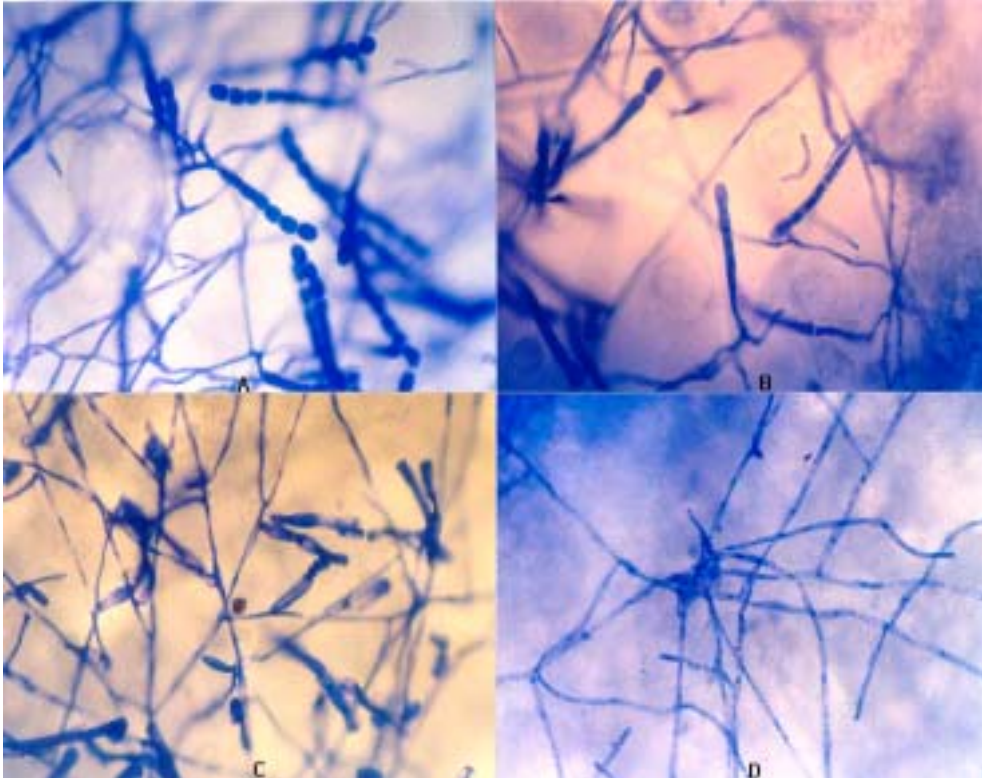
<Fig. 26> Curative efficacy of the silicate fertilizer and triflumizol for the control of powdery mildew in oriental melon. (A) control, (B) silicate fertilizer, (C) triflumizol, and (D) silicate fertilizer and triflumizol.

4) 참외 잎에 감염된 흰가루병균의 생장

규소의 식물 병해 발생 억제 기작은 주로 잎 세포의 규질화를 통해 이루어진다. 세포의 규질화로 균의 침입을 막을 수 있으며 또한 규소는 침입한 균의 체내 증식을 억제시키는 작용까지 하므로 병발생을 크게 억제시킬 수 있는 것으로 알려져 있다 (Volk et al., 1958). 식물체의 조직이 균에 의해 감염되었을 때 polyphenol이나 lignin의 합성과 축적이 촉진되는 현상과 동일하게 규소의 침적이 촉진되는 현상도 알려져 있다 (Heath, 1979).

본 연구의 결과로 나타난 규산질 비료와 triflumizol의 처리에 따른 흰가루병 발생 억제 효과의 기작을 일부 검토하기 위하여 참외 잎에 감염된 흰가루병균의 생장 현상을 현미경으로 관찰하였다.

무처리구의 참외 잎에 흰가루병균의 분생포자를 접종 후 7일째에 채취한 잎에서는 정상적인 균사의 생장과 분생포자가 다량 형성되는 것을 관찰할 수 있었으나 (<Fig. 27(A)>), 대조구에 비해 일부 흰가루병의 발생이 억제된 규산질 비료 처리구의 잎에서는 균사 생장과 분생포자 형성 정도가 무처리구 대조구에 비해 억제됨을 관찰할 수 있었다 (<Fig. 27(B)>). 감염이 이루어지고 균사 생장이 활발한 접종 4일 후에 triflumizol을 살포한 다음 3일 후에 균사 생장을 관찰한 결과 triflumizol 처리구에서는 생장 중이던 균사가 일부 용해되는 것이 관찰되었으며, 분생포자의 형성은 관찰되지 않았다 (<Fig. 27(C)>). Triflumizol에 의한 균사의 용해 현상은 규산질 비료 처리구에서 더 많이 관찰되었으며 (<Fig. 27(D)>), 이는 규산 처리구에 triflumizol을 처리하였을 때 흰가루병 방제 효과가 가장 높은 결과와 일치하는 경향이였다.



<Fig. 27> Effect of silicate fertilizer and fungicide Triflumizol on the growth of *Sphaerotheca fuliginea* in oriental melon leaves. (A) control, (B) silicate fertilizer, (C) triflumizol, and (D) silicate fertilizer and triflumizol.

사. 규산질 비료의 참외 흰가루병 발생 억제 효과 판정

규산질 비료의 처리 효과를 총 잎 수에 대한 이병엽 수로 조사한 이병엽율로 검정한 결과에서는 규산질 비료의 단독 처리가 참외 흰가루병 발생을 통계적 유의성 없이 미약하게 억제할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 이병엽 당 흰가루병의 균총 수 및 이병엽 단위 면적 당 균총 수로 조사한 결과에서는 각각 29.3%와 37.8%의 예방효과를 보여 규산질 비료의 처리가 흰가루병의 발생을 다소 억제할 것으로 판단된다.

이러한 규소의 토양 시비에 의한 흰가루병 억제 효과는 Cho 등이 조사한 수용성 규산의 엽면 살포에 의한 오이 흰가루병 억제 효과에 비하여 매우 낮은 결과이다 (Cho et al., 1988). 규산 (monosilicicacid)의 물에 대한 용해도는 120 mg SiO_2/L 정도이며, xylem을 통한 식물체내 이동이 제한되어 있으며, 성숙된 잎에 주로 축적되고 어린잎에 그 농도가 낮다 (Lewin et al., 1969).

따라서 어린잎에서의 감염이 제대로 억제되지 못하면 규소의 토양 시비 효과가 엽면시비에 비하여 낮게 나타날 수밖에 없다. 다만 규산질 비료의 처리는 약제의 흰가루병 방제 효과를 증진시켜줄 수 있는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 농가 현장에서 밝혀지고 있는 규산질 비료의 참외 병해 발생 억제 효과를 일부 구체적으로 확인시켜주는 것이다.

본 연구에 사용된 흰가루병 방제용 약제 triflumizol은 Table 6에 나타난 것과 같이 대조구에 비교하여 그 효과가 통계적으로 유의성이 없는 정도로 미약했는데, 규산질 비료 처리구에 triflumizol을 처리한 구의 참외에서 검정한 이병엽율에 의한 예방 및 치료효과는 무처리 대조구에 비하여 각각 44.1%와 31.2% 병발생 억제율을 보였다. 이병엽 당 균총 수에 의한 병발생 억제율은 대조구에 비해 85.9%와 80.0%로 높은 예방 및 치료 효과가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 규산질 비료 처리구에 triflumizol을 처리한 구의 흰가루병에 대한 억제효과는 triflumizol을 단독으로 처리한 구에 비해서도 이병엽율과 이병엽 당 균총 수로 조사한 결과 각각 7.0% 및 45.0% 이상 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과에서 보다 효과적인 방제용 약제와 함께 규산질 비료를 사용하면 참외의 흰가루병

을 효율적으로 방제할 수 있을 것으로 판단된다.

오이에 대한 수용성 규산의 엽면시비와 양액을 통한 공급은 흰가루병을 억제할 수 있는 것으로 조사되었으며, 이러한 억제 효과는 규산의 처리 농도에 따라서 달리 나타났다 (Cho et al., 1998; Lee et al., 2000). 따라서 본 연구에서는 규산질 비료 처리 한 수준으로만 하였으므로 차후 시비 수준을 더욱 높였을 때 그 억제 효과가 어떻게 나타날 수 있을 것인가 또는 병해 발생 억제에 필요한 참외 잎 중의 적정 규소 함량에 대한 검토가 필요할 것으로 보인다.

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

1. 연구개발 목표 달성도

시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 효과와 적정 시용 수준을 결정하기 위한 본 과제는 규산질 비료의 시용이 시설재배참외의 생육과 수량 및 병충해 발생에 미치는 영향의 구명, 시설재배 참외에 대한 적정 토양 유효규산 함량과 규산질 비료 시용수준 설정 등을 주요 연구목표로 하여 수행되었다. 주어진 연구기간동안 연구목표 달성을 위해 충실히 노력하였으며 본 과제의 연구계획에 담긴 위와 같은 주요 연구목표들을 충분히 달성하였다. 다만 규산질 비료가 참외의 생육이나 수량 증대 그리고 병해발생에 미치는 영향이나 효과가 농가 현장에서 기대하고 있는 수준에 미치지 못하였으므로 당초 계획되었던 세부적인 규산질 비료의 작용 기작에 대하여는 구체적인 연구를 진행하지 않았다.

주요 세부연구분야별 목표 달성도는 다음과 같은 연구결과로 요약할 수 있다.

가. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 생육, 수량 증대 효과 구명

규산질 비료의 처리수준별로 참외 식물체의 초기 생육 상황은 줄기 길이와 잎의 개수에서 규산질 비료 처리구에서 대조구에 비하여 일부 증가하는 경향이었으나, 정식 후 50일째에 조사된 결과에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 나머지 생육 조사 항목에서도 규산질 비료의 처리 효과가 없는 것으로 나타나 규산질 비료는 참외의 영양생장에 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

규산질 비료가 과실 수량에 미치는 효과를 보면, 총 과실 무게로 측정한 수량에서 규산질 비료 처리 효과는 통계적으로 유의성을 나타내지 못하였다. 다만 규산질 비료 처리구에서 발효과와 열과의 발생율이 상대적으로 낮았기 때문에 상품과실 비율을 상대적으로 높일 수 있는 것으로 판단된다. 그러나 상품과실 비율에 미치는 규산질 비료의 효과 또한 통계적으로 유의성이 있는 결과는 아니었다.

나. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 병충해 발생 억제 효과 구명

규산질 비료 자체만의 흰가루병 발생 억제 효과는 매우 미약한 수준이었다. 다만, 규산질 비료 처리구에 살균제를 처리할 경우 흰가루병에 대한 예방 및 치료효과가 살균제를 단독 처리구에 비하여 높게 나타나 규산질 비료의 처리가 살균제의 참외 흰가루병 방제 효과를 증진시켜줄 수 있는 것으로 나타났다.

이러한 규산질 비료의 효과는 잎에 흡수된 규소가 흰가루병균에 의해 감염된 참외 잎에서 균사의 성장과 분생포자의 형성을 억제함으로써 흰가루병 발생을 일부 억제할 수 있는 것으로 조사되었다.

따라서 현재 농가 현장에서 알려져 있는 규산질 비료의 참외 병해 발생 억제 효과는 주로 이러한 살균제의 효과를 증진시킬 수 있는 규산의 보조적인 작용에 기인하는 것으로 밝혀졌다.

다. 시설재배 참외에 대한 토양중의 최적 유효규산 함량의 구명

참외 잎 중의 규산 함량을 기준으로 하여 참외 재배에 적절한 토양 유효규산 수준을 설정하였는데, 1 N sodium acetate buffer를 이용한 토양 규산 추출방법이 토양 규산과 식물체 규산 관계를 가장 뚜렷한 포화곡선으로 나타내었다. 포화 곡선으로부터 산출된 참외 잎 중의 포화 규산 함량은 약 $14 \text{ g SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$ 이었고 1 N sodium acetate buffer 방법으로 추출할 경우 토양 규산 함량 $120 \text{ mg SiO}_2 \text{ kg}^{-1}$ 내외가 참외에 적절한 수준인 것으로 구명되었다.

라. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료의 적정 시비 기준의 설정

토양의 이화학적 특성과 기존 유효규산 함량에 상관없이 토양 유효규산 함량은 규산질 비료 시용량에 비례하여 증가하였으며, 규산질 비료의 유효화 정도는 토양마다 일부 차이가 있었으나 대략 10% 내외였다. 규산질 비료 100 kg/10a 수준의 처리는 용탈 등으로 제거되지 않는 한 10 cm 깊이 표토에 평균적으로 100

mg/kg 정도 의 유효규산을 공급할 수 있는 것으로 나타났으며, 규산질 비료의 사용량과 토양 유효규산 함량 사이의 관계식의 기울기가 1에 매우 근사하므로 25% SiO₂를 함유한 입상규산질 비료를 용적밀도 1.12 g/cm³인 표토 10 cm 깊이 에 혼합 처리할 경우 추천시비량 (kg/10a)은 [목표 유효규산 함량 - 기존 유효규산 함량] 값으로 계산될 수 있을 것이다. 여기서 토양 유효규산 함량은 1 N NaOAc로 추출한 후 mg/kg 단위로 정량하여 표시된 값이다.

2. 관련분야에의 기여도

규산질 비료의 효과에 대한 연구가 그동안 벼에 대하여 집중되어 있었으며 일부 발작물에 대한 효과를 검정한 연구들이 매우 단편적으로 이루어졌다. 본 연구는 밭토양에서의 규산질 비료의 유효화율을 비롯하여 유효규산 측정방법의 확립과 사용수준을 결정할 수 있는 기초 자료들을 확립하였으며 발작물의 생육과 수량 및 병해발생에 규산질 비료의 효과에 대하여 구체적인 연구들을 수행하여 객관적인 연구결과들을 도출하였다.

규산질 비료의 사용이 발작물에 널리 확산되고 있는 실정이므로 참외 이외의 작물이나 시설재배 토양 이외의 환경조건 등에 대하여 규산질 비료의 효과나 사용 기술들이 검정되거나 확립되어야 한다. 본 연구의 결과는 이러한 추가적인 규산질 비료의 연구에 널리 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 결과는 그동안 국내 학술발표회를 통하여 발표되었으며 전문학술지에 논문으로 발표 게재되었다.

<전문학술지 논문 발표>

Hyun-Jong Cho, Hee-Youl Choi, Yong-Woo Lee and Jong-Bae Chung.
Evaluation of available soil silicon extracting procedures for oriental melon,

Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, Korean Society of Soil Science and Fertilizer, 37(4), pp. 251-258, 2004. 08

조현중, 최희열, 이용우, 이윤정, 정종배. 밭토양에 처리된 규산질 비료의 유효화와 토양반응 교정효과, 한국환경농학회지, 23권 2호, pp. 104-110, 2004. 06

류나현, 최미영, 류연주, 조현중, 이용세, 이영득, 정종배. 규산질 비료의 참외 흰가루병 발생 억제 효과, 한국환경농학회지, 22권 4호, pp. 255-260, 2003. 12

이승호, 조현중, 신현진, 신용섭, 박소득, 김복진, 정종배. 시설재배 참외에 대한 규산질 비료 시용 효과, 한국토양비료학회지, 36권 6호, pp. 407-416, 2003. 12

<학술대회 발표>

조현중, 최희열, 이용우, 이윤정, 정종배. Availability of silicate fertilizer and its effect on soil pH in upland soils. 2004 학술논문 발표대회, 한국환경농학회, pp. 214, 2004.07.

Seung-Ho Lee, Hyun-Jin Shin, Bok-Jin Kim, Jong-Bae Chung. Evaluation of available silicon extracting procedures for upland soils. 2004 춘계학술발표회, 한국토양비료학회, pp. 120, 2004. 05.

조현중, 진선재, 정종배. 밭토양에서 규산질 비료 처리에 따른 유효규산과 인산 및 pH 변화. 2003 학술논문발표대회, 한국환경농학회, pp. 206, 2003. 07.

조현중, 진선재, 정종배. 밭토양에서 규산질비료의 유효화와 pH 교정효과. 2003년 춘계학술발표회, 한국토양비료학회, pp. 127, 2003. 05.

조현중, 진선재, 정종배. 밭토양에서 규산질 비료의 유효화와 pH 교정 효과. 2003년 춘계학술대회, 한국농화학회, pp. 199, 2003. 04.

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

1. 연구개발 결과 활용

경북 성주 지역을 비롯한 농가들에서 참외, 딸기, 오이 등의 작물을 시설 내에서 재배할 때 규산질 비료를 사용하여 병충해의 발생을 감소시키며 더불어 수량도 증가시키는 결과를 얻고 있는 것으로 알려지고 있는데, 아직 참외 등 과채류를 비롯한 발작물에 대한 규소의 효과가 학문적으로 검증되어 있지 못하며 우리나라에서는 발작물에 대한 규산질 비료의 시비 기준도 없는 실정이다.

본 연구는 이러한 농가 현실을 고려하여 참외의 생육과 수량 및 병충해 방제에 대한 규산질 비료의 효과와 토양중의 적정 유효규산 함량 및 시비수준 결정 방법들을 구명하였다.

본 연구의 결과 규산질 비료는 참외의 생육과 수량 또는 병충해 방제에 있어서 실제 농가에서 기대하고 있는 정도의 현저한 효과를 발휘할 수 없는 것으로 나타났으며, 또한 대부분의 참외 재배 토양이 참외가 흡수할 수 있는 규산을 천연적으로 충분히 함유하고 있다는 사실도 밝혀졌다. 규산함량이 낮은 토양의 경우에는 규산질 비료의 사용이 허용될 수는 있겠지만 규산질 비료의 효과가 비교적 장기간 지속될 수 있으므로 규산질 비료의 연용은 극히 제한되어야 할 것이다.

2. 참외에 대한 규산질 비료의 사용 지침

본 연구의 결과를 이용하여 참외에 대한 규산질 비료의 사용 지침을 제시할 것이며 이러한 규산질 비료 사용 지침이 농가 현장에 적용될 수 있기를 기대한다.

[참외에 대한 규산질 비료의 사용 지침]

1. 일반사항

가. 규산질 비료는 벼에 대하여 필수적으로 요구되는 것이지만 발작물인 참외의 경우 일부 초기 생육 촉진효과와 발효효과와 열과의 발생율을 억제하여 상품과실의 비율을 상대적으로 높일 수 있으나 전체적인 수량 증대에는 뚜렷한 영향을 미치지 못한다.

나. 규산질 비료 자체만의 흰가루병 발생 억제 효과는 매우 미약하지만 규산질 비료를 토양에 시용함으로써 살균제의 흰가루병 방제 효과를 증진시켜줄 수 있다.

다. 규산질 비료가 논토양에 대하여 규산 공급에 더하여 산도교정 등 토양 개량제로서의 역할을 한다. 그러나 밭토양에서는 규산질 비료의 토양 반응(pH)의 교정효과가 매우 미미하므로 산성토양인 경우 규산질 비료를 사용하더라도 산도교정이 필요할 경우에는 적절한 석회비료 사용이 전제되어야 한다.

라. 1 N sodium acetate (NaOAc) buffer를 이용한 토양 규산 추출방법으로 적절하며, 1 N NaOAc buffer 방법으로 추출한 토양 규산 함량이 120 mg SiO₂/kg 이상이면 참외의 규산 흡수가 더 이상 증가하지 않는다. 따라서 토양중의 유효규산함량이 120 mg SiO₂/kg 내외이면 규산질 비료의 시용은 불필요하다. 따라서 규산질 비료의 시용 여부를 판단하기 위해서는 사전에 토양의 유효규산 함량은 분석을 하는 것이 바람직하다.

2. 참외에 대한 토양 유효규산 분석법

참외에 대한 토양 유효규산 분석법으로는 1 N NaOAc 완충용액 (pH 4.0)으로 추출하는 적절한데, 이 방법은 현재 벼에 대하여 논토양의 유효규산을 추출하는 방법과 동일하다. 유효규산 추출 방법과 규산 분석 방법은 다음과 같으며 자세한 분석 과정은 농촌진흥청 농업과학기술원의 표준분석법을 참고하면 된다.

풍건세토 5 g을 200 mL 에 옮기고 1 N NaOAc 완충용 (pH 4.0) 50 mL 가하여 60°C의 항온조건에서 250 rpm으로 90분간 진탕하고 냉수로 5분간 급냉시킨 후 Whatman No. 42 filter paper로 여과한다.

여액중의 규산은 다음과 같이 비색법으로 분석한다. 추출액 5 mL를 50 mL volumetric flask에 옮기고 1 N H₂SO₄ 용액 10 mL를 가하여 산성화시킨 다음 0.3 M ammonium paramolybdate tetrahydrate solution 10 mL를 가하고 증류수로 용량을 맞춘다. 용액을 잘 혼합하고 10분이 경과한 후 400 nm에서 spectrophotometer로 비색 정량한다.

3. 규산질 비료의 시용량 결정

참외 재배의 경우 규산질 비료의 시용량은 아래 식으로 계산할 수 있다. 제시된 규산질 비료 추천시비량 결정식은 25% SiO₂를 함유한 입상규산질 비료를 용적밀도 1.12 g/cm³인 표토 10 cm 깊이에 혼합 처리할 경우를 가정하고 만들어진 것이며, 토양의 기존 유효규산 함량은 1 N NaOAc로 추출한 후 mg/kg 단위로 정량하여 표시된 값이다.

추천시비량 (kg/10a)

$$= [\text{목표 유효규산 함량 (mg/kg)} - \text{기존 유효규산 함량(mg/kg)}]$$

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술 정보

1. 토양 유효규산 분석법 관련 연구

- de Lima Rodrigues, L., S. Daroub, R. Rice, and G. Snyder. (2003) Comparison of three soil test methods for estimating plant-available silicon. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34:2059-2071.
- Barbosa-Filho, M. P., G. H. Snyder, C. L. Elliott, and L. E. Datnoff. 2001. Evaluation of soil test procedures for determining rice-available silicon. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:1779-1792.
- Xu, G., X. Zhan, C. Li, S. Bao, X. Liu, and T. Chu. (2001) Assessing methods of available silicon in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:787-801.
- Liang, Y. C., T. S. Ma, F. J. Li, and Y. J. Feng. (1994) Silicon availability and responses of rice and wheat to silicon in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:2285-2297.

de Lima Rodrigues et al. (2003)은 벼와 사탕수수를 재배하는 137가지의 Florida 토양에 대하여 유효규산 추출방법을 비교하였는데, sodium acetate buffer와 acetic acid가 다양한 토양에서 적절한 추출방법으로 제시되었다. 그리고 Barbosa-Filho et al. (2001)은 벼에 대하여 토양 유효규산 추출방법으로 0.5 M acetic acid 방법이 볏짚중의 규산함량과 토양 규산함량관계를 가장 잘 나타낼 수 있는 것으로 제시하였다. 중국에서 Xu et al. (2001)은 sodium acetate buffer를 이용한 토양 규산 추출방법이 석회질 토양에서 밀에 대한 유효규산 측정방법으로 적절한 것으로 밝혔다. 그러나 Liang et al. (1994)은 sodium acetate buffer 방법이 석회질 토양에서 벼나 밀에 대한 토양 유효규산 함량을 평가하는 방법으로는 부적절한 것으로 밝히기도 하였다. 이러한 결과는 결국 여러 가지의 추출액이나 추출방법이 토양 규산을 추출할 수 있는 효율이 다르며 또한 토양 마다 규

산 함량이 다르거나 토양에 존재하는 규산의 형태가 다양하기 때문일 것이다. 국내에서도 기존의 토양 유효규산 분석법에 대하여 다양한 토양 특성과의 관계 등을 연구 검토해야 할 것이다.

2. 규소의 병해발생 억제 효과 연구

- Saigusa, M., Yamamoto, A. and Shibuya, K. (2000) Agricultural use of porous hydrated calcium silicate. *Plant Prod. Sci.* 3:51-54.
- Belanger, R. R., Browen, P. A., Ehert, D. L. and Menzies, J. G. (1995) Soluble silicon. Its role in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Dis.* 79:329-336.
- Reuveni, R., Dor, G., Raviv, M., Reuveni, M. and Tuzum, S. (2000) Systemic resistance against *Sphaerotheca fuliginea* in cucumber plant exposed to phosphate in hydroponics systemic, and its control by foliar spray of mono- potassium phosphate. *Crop Protection.* 19:355-361.
- Reuveni, M., Agapov, V. and Reuveni, R. (1997) A foliar spray of micronutrient solutions induces local and systemic protection against powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in cucumber plants. *European Journal of Plant Pathology.* 103:581-588.

규산질화된 잎 세포는 병원균의 침입을 막아줄 뿐만 아니라, 병원균이 침입한 후에도 식물체 내에서의 생장과 증식을 억제시키는 작용까지 하므로 병 발생을 크게 억제시키는 것으로 알려져 있다. 이러한 규소의 엽면시비를 통하여 여러 작물에 대한 병해방제 효과를 다수의 연구자들이 검정하고 있으며 일부 실험실 수준에서 실질적인 효과가 인정되고 있다. 또한 규소 외 무기영양원소의 엽면 처리 효과도 검정되고 있다. 본 연구에서 토양에 시용한 규산질 비료의 병해발생 억제효과는 미미하였으나 수용성 규산의 엽면 처리 효과에 대한 연구는 앞으로 계속 수행될 필요가 있을 것이다.

제 7 장 참고문헌

강양순 (2001) 식물에 대한 규산의 효과. 토양과 비료(제 7호), pp. 23-35, 한국토양비료학회, 수원.

농림부 농업주요통계자료실 (2004) <http://www.maf.go.kr/html/pds/pds01.htm>.

박소득, 권태영, 임양숙, 정기채, 최부술 (1996) 연작연수에 따른 시설재배 참외, 수박 및 오이의 병해 발생 양상. 한국식물병리학회지. 12:428-431.

백수봉, 경석현, 김종진, 오연선 (1996) 대황에서 추출한 생리 활성 물질의 오이 흰가루병 방제 효과. 한국식물병리학회지. 12(1):85-90.

백수봉, 경석현, 도은수, 오연선, 박병근 (1994) 약용식물로부터 오이 흰가루병에 대한 항균성물질 탐색 및 동정. 한국환경농학회지. 13:301-310.

백수봉 (1985) 오이류 흰가루병에 대한 약제 방제효과. 농자원개발논집. 제10 집, 39-45.

성주참외원에농업협동조합 (2004) <http://www.melon.or.kr/story/story-04.php>.

신현동 (1994) 우리나라에서 흰가루 병균을 침해하는 중복기생균의 분리 및 동정. 한국균학회지. 22, 355-365.

신현동 (1997) 한국의 흰가루병균과 기주식물. 자연자원연구. 5, 165-183.

오세환 (2001) 규산질 비료에 대한 범규와 수급제도에 대한 검토. 토양과 비료(제 7호), pp. 44-58, 한국토양비료학회, 수원.

이기상 (2001) 벼에 대한 규산질 비료의 시용 효과와 비효 평가. 토양과 비료 (제 7호), pp. 10-22, 한국토양비료학회, 수원.

이중섭 (1999) 수용성 실리콘 처리에 의한 오이흰가루병 발병억제. 시설원예연구. 12(2), 59-69.

장석원, 김성기, 김희동 (2001) 단호박 흰가루병의 약제방제. 식물병연구. 7(1):31-36.

조일찬, 차병진 (1998) 오이 흰가루병의 환경 보전형 방제법 개발. 첨단원예기술 개발센터, 연차보고서.

한기학, 박준규, 정인근, 이춘수, 윤정희, 김원출, 이상규 (1988) 토양화학분석법. 농촌진흥청, 수원.

Abo-Foul, S., Raskin, V. I., Sztejnberg, A. and Marder, J. B. (1996) Disruption of Cucumber Leaves and Its Control by Hyperparasite *Ampelomyces quisqualis*. *Phytopathology*. 86:195-200.

Adatia, M. H., and R. T. Besford. (1986) The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating solution. *Ann. Bot.* 58:343-351.

Agarie, S. (1998) Effects of silicon on tolerance to water deficit and heat stress in rice plants. Monitored by electrolyte leakage. *Plant Prod. Sci.* 1:96-103.

Amano, K. (1986) Host Range and Geographical Distribution of the Powdery Mildew Fungi. *Japan Sci. Soc. Press. Tokyo.* 741.

Anderson, D. L., D. B. Jones, and G. H. Snyder. (1987) Response of a rice-sugarcane rotation to calcium silicate slag on Everglade Histosol. *Agron. J.* 79:531-535.

Baek, N. I. (1983) The interaction between silicate and phosphate fertilizers applied in the paddy soils. Master's Thesis, Seoul National University, Suwon, Korea.

Barbosa-Filho, M. P., G. H. Snyder, C. L. Elliott, and L. E. Datnoff. (2001) Evaluation of soil test procedures for determining rice-available silicon. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:1779-1792.

Belanger, R. R., Browen, P. A., Ehert, D. L. and Menzies, J. G. (1995) Soluble

silicon. Its role in crop and disease management of greenhouse crops. *Plant Dis.* 79:329-336.

Bodurtha, P., & Brassard, P. (2000) Neutralization of acid by steel-making slags. *Environ. Technol.*, 21:1271-1281.

Bowen, P., Menzies, J., Ehert, D., Samuels, L. and Glass, A. D. M. (1992) Soluble silicon spray inhibit powdery mildew development on grape leaves. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117:902-905.

Cho, I. C., Lee, S. H. and Cha, B. J. (1998) effects of soluble silicon and several surfactants on the development of powdery mildew of cucumber. *Korean J. Environ. Agric.* 17:306-311.

Choeng, H. S., Kim, J. J., & Han, S. G. (1977) Studies on the effect of phosphorus application and availability of silicate in basalt soil applied lime. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 10:49-53.

Datnoff, L. E., C. W. Deren, and G. H. Snyder. (1997) Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Prot.* 16:525-531.

Dayanandan, P. and Kaufman, P. B. (1976) Trichomes of *Cannabis sativa* L. (Cannabaceae). *Amer. J. Bot.* 63:578-591.

De Lima Rodrigues, L., S. Daroub, R. Rice, and G. Snyder. (2003) Comparison of three soil test methods for estimating plant-available silicon. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34:2059-2071.

Deren, C. W., Datnoff, L. E., Snyder, G. H. and Martin, F. G. (1994) Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic Histosols. *Crop Sci.* 34:733-737.

Dik, A. J., Verhaar, M. A. and Belanger, R. R. (1998) Comparison of three biological control agents against cucumber powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in semi commercial scale glasshouse trials. *Eur. J. Plant Pathol.*

104:413-423.

Edward, S. H., G. J. Gascho, and J. J. Street. (1982) Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. *Agron. J.* 74:481-484.

Elad, Y., Kirshner, B., Yehuda, N. and Sztejnberg, A. (1998) Management of powdery mildew and gray mold of cucumber by *Trichoderma harzianum* **T39** and *Ampelomyces quisqualis* **AQ10**. *Bio. Control.* 43:241-251.

Elgawhary, S. M., & Lindsay, W. L. (1972) Solubility of silica in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36:439-442.

Elliott, C. L., & Snyder, G. H. (1991) Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *J. Agric. Food Chem.* 39:1118-1119.

Epstein, E. (1994) The abnormality of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* 91:11-17.

Giles, C. H., Smith, D., & Huitsen, A. (1974) A general treatment and classification of the solute adsorption isotherm. *J. Colloid Interface Sci.* 47:755-765.

Hallmark, C. T., L. P. Wilding, and N. E. Smeck. (1982) Silicon. p. 263-273. In A. L. Page et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties.* Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Heath, M. C. (1979) Partial characterization of the electron-opaque deposits formed in the non-host plant, French bean, after cowpea rust infection. *Physiol. Plant Pathol.* 15:141-148.

Hingston, F. J., Atkinson, R. J., Posner, A. M., & Quirk, J. P. (1967) Specific adsorption of anions. *Nature* 215:1459-1461.

Hingston, F. J. and Raupach, M. (1967) The reaction between monosilicic acid

and aluminum hydroxide. I. Kinetics of adsorption of silicic acid by aluminum hydroxide. *Aust. J. Soil Res.* 5:295-309.

Horst, W. J., and H. Marschner. (1978) Effect of silicon on manganese tolerance of bean plant. *Plant Soil* 50:287-303.

Idris, M., M. M. Hossain, and F. A. Choudhury. (1975) The effect of silicon on lodging of rice in presence of added nitrogen. *Plant Soil* 43:691-695.

Iler, R. K. (1979) *The chemistry of silica*. Wiley-Interscience, New York, NY, USA.

Imaizumi, K., and S. Yoshida. (1958) Edaphological studies on silicon supplying power of paddy soils. *Bull. Natl. Inst. Agric. Sci. (Jpn.) B.* 8:261-304.

Ito, K., and K. Chiba. (1994) Relationship between silicate fertility of soil and irrigation water and the occurrence of rice blast disease. *Tohoku Agric. Res.* 47:7-8.

Jeong, E. G., Choi, H. C., Hong, H. C., Moon, H. P., & Shin, Y. B. (1997) Influence of low temperature at reproductive stage on rice grain quality. *Korean J. Crop Sci.* 42:805-809.

Jung, B. G., Choi, J. W., Yun, E. S., Yoon, J. H., & Kim, Y. H. (2001) Monitoring on chemical properties of bench marked upland soils in Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 34:326-332.

Jung, K. Y., Cho, S. J., & Kim, J. J. (1985) Effects of rice straw and wollastonite application on the growth and yield of the rice plant. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 18:148-155.

Kang, Y. S. (1984) *The influences of silicon on growth of the rice plant*. Doctoral Dissertation, Kyungpook National University, Daegu, Korea.

Kang, Y. S., Lee, J. H., Kim, J. I., & Lee, J. S. (1997) Influence of silicate

application on rice grain quality. Korean J. Crop Sci. 42:800-804.

Kang, Y. S., Jung, Y. T., & Chung, G. S. (1986) Effect of silicate application on the reduction of summer drought phenomenon of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.). Korean J. Crop Sci. 31:238-241.

Kang, Y. S. (1991) Effects of silicon on stomatal size and frequency in rice plants. Korean J. Crop Sci. 36:70-73.

Kang, U. G., & Ha, H. S. (1985). Effect of lime and temperature on the changes of available soil nutrients in acid sulfate soil under submergence. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 18:282-288.

Kato, N., and N. Owa. (1990) Dissolution mechanism of silicate slag fertilizers in paddy soils. XIV Intern. Congr. Soil Sci., Kyoto, Japan. 4:609-610.

Kim, C. B., & Choi, J. (2002) Changes in rice yield, nutrient's use efficiency and soil chemical properties as affected by annual application of slag silicate fertilizer. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 35:280-289.

Kim, C. B., Park, N. K., Lee, S. H., Park, S. D., & Choi, B. S. (1994) Changes in barley yield and some physico-chemical properties of upland soil by long-term application of silicate fertilizer and compost. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 27:195-200.

Kim, C. B. (2003) Determination of the optimum application rate of silicate materials based on rice yield and soil chemical properties. Doctoral Dissertation, Kyungpook National University, Daegu, Korea.

Kim, J. K. (1982) A study on the dissolution rate for the siliceous materials from Korea, MS Thesis, Korea University, Seoul, Korea.

Kim, J. Y., & Park, Y. S. (1997) Effects of application of calcium silicate fertilizer by absorption of cadmium on chinees cabbage (*Brassica pekinensis* Rupr.) and lettuce (*Lactuca sativa* L.). Res. Natural Sci. Kon-Kuk. 8:41-50.

Kim, M. K. (1970) Studies on the effects of silicate and phosphate application on the growth of rice seedling. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 3:17-21.

Kim, Y. C., Kim, K. Y., Park, K. W., Yun, H. K., Seo, T. C., Lee, J. W., & Lee, S. G. (2002) Effect of granular silicate application on the growth and yield of tomato grown in perlite substrate. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 43:21-24.

Kittrick, J. A. (1969) Soil minerals in the $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ system and a theory of their formation. Clays Clay Miner. 17:157-167.

Kozo, I., Peter, M., Marion, F. & Walter, J. H. (2002) Effects of silicon supply on apoplastic manganese concentrations in leaves and their relation to manganese tolerance in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.). Plant Soil 238:281-288.

Lee, J. J., & Chang, K. W. (2001) Study on development of horticultural media using macroporous calcium-silicate mineral. J. KOWREC 9:101-107.

Lee J. S., and M. S. Yiem. (2000) Effects of soluble silicon on development of powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in cucumber plants. Korean J. Pestic. Sci. 4:37-43.

Lee, J. S., Park, J. H., & Han, K. S. (2000) Effects of potassium silicate on growth, photosynthesis, and inorganic ion absorption in cucumber hydroponics. J. Kor. Soc. Hort. Sci. 41:480-484.

Lee, K. S., Ahn, Y. S., Rhee, G. S. & Ha. H. S. (1986b) Change of silica solubility in the suspension of sandy loam soil treated with silicate fertilizers. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 19:321-325.

Lee, K. S., Ha, H. S., Ahn, S. B., & Huh, B. L. (1986) Effects of different silicate fertilizers on rice plant. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 19:32-37.

Lee, K. S. (1993) Effects of silicate and potassium application on the yield of rice irrigated with polluted water and underground water. J. Korean Soc. Soil

Sci. Fert. 26:304-307.

Lee, S. E., & Jung, K. Y. (1996) Two stage process mechanism of silica adsorption by soil in adsorption kinetics. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 29:107-112.

Lee, S. E., & Heins, U. N. (1992a) Effects of pH and redox condition on silica sorption in submerged soils. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 25:111-126.

Lee, S. E., & Heins, U. N. (1992b) Kinetics of silica sorption and desorption in soil as affected by pH and temperature. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 25:342-356.

Lee, Y. H., & Choi, D. U., Han, K. H. (1973) Effect of wollastonites on silica uptake by rice plant. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 6:221-226.

Lewin, J., and B. E. F. Reimann. (1969) Silicon and plant growth. Ann. Rev. Plant Physiol. 20:289-304.

Liang, Y. C., T. S. Ma, F. J. Li, and Y. J. Feng. (1994) Silicon availability and responses of rice and wheat to silicon in calcareous soils. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 25:2285-2297.

Lim, S. U., & Baek, N. I. (1983) Interaction between silicate and phosphate fertilizers applied in the paddy soils. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 16:325-332.

Ma, J. & Takahashi, E. (1990) Effect of silicon the growth and phosphorus uptake of rice. Plant Soil 126:115-119.

Marschner, H. (1995) Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, San Diego, CA, USA.

McBride, M. B. (1994) Environmental chemistry of soils. Oxford University Press, New york, USA.

Mckeague, J. A. and Cline, M. G. (1963) Silica in soil solution, (II) The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances, *Can. J. Soil Sci.* 43:83-96.

Menzies, J. G., D. L. Ehert, A. D. M. Glass, T. Helmer, C. Koch, and F. Seywerd. (1991) Effects of soluble silicon on the parasitic fitness of *Sphaerotheca fuliginea* on *Cucumis sativus*. *Phytopathol.* 81:84-88.

Menzies, J., P. Bowen, D. Ehert, and A. D. M. Glass. (1992) Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 117:902-905.

Miller, W. P., & Miller, D. M. (1987) A micro-pipette method for soil mechanical analysis. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 18:1-15.

Miyake, K. and M. Ikeda. (1932) The relationship between addition of silica and Dactylaria disease of rice. *J. Sci. Soil and Manure.* 6:53-76.

Miyake, Y., and E. Takahashi. (1978) Silicon deficiency of tomato plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 24:175-189.

Miyake, Y., and E. Takahashi. (1983) Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. *Soil Sci. Plant Nutr.* 29:71-83.

Miyamori, Y. (1996) Role and guideline of silicon nutrition in low protein rice production. *Jap. J. Soil Sci. Plant Nutr.* 67:696-700.

Miyamori, Y. (1996) Role and guideline of silicon nutrition in low protein rice production. *Jap. J. Environ. Agric.* 5:61-66.

Morel, P. B-F., George, H. S., Curtis, L. E., & Lawrence, E. D. (2001) Evaluation of soil test procedures for determining rice-available silicon. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32:1779-1792.

Mott, C. J. B. (1981) Anion and ligand exchange, p. 179-220. In D. J.

Greenland and M. H. Haynes (ed.) The chemistry of soil processes, Wiley, New York, NY, USA.

Nelson, D. W., and L. E. Sommers. (1982) Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539-579. In A. L. Page et al. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Nonaka, K., and K. Takahashi. (1990) A method of assessing the need of silicate fertilizers in paddy soils. XIV Intern. Congr. Soil Sci., Kyoto, Japan. 4:513-514.

Oh, W. K. (1986) Effect of combined application of lime and organic matter, and of calcium silicate on the growth and cadmium content of chinese cabbage. Korean J. Environ. Agric. 5:61-66.

Oh, W. K., Kim, J. Y., & Kim, S. B. (1987) Effects of urea, ammonium nitrate and calcium silicate on the absorption, translocation of potassium and yield of chinese cabbage. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 20:337-340.

Okuda, A., and E. Takahashi. (1964) The role of silicon. p. 123-146. In The mineral nutrition of the rice plant. Proc. Symp., International Rice Research Institute, Los Banos, Laguna, Philippines.

Olsen, S. R. and Sommers, L. E. (1982) Phosphorus, p. 403-430. In A. L. Page et al. (ed.) Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Park, C. S. (1970) Studies on the relation between available silica content and effect of silicate distribution pattern of available silica content and requirement in Korean paddy top soil. Res. Rept. RDA (Plant Environment) 13:1-30.

Park, C. Y., Choi, J., Park, K. D., Jeon, W. T., Kwon, H. Y., & Kang, U. G. (2000) Change of physical properties on long-term fertilization of compost and silicate in paddy soils. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 33:175-181.

Park, N. J., Park, Y. S., Lee, K. H., & Kim, Y. S. (1972) The effect of lime and wollastonite on an acid sulfate soil. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 5:25-32.

Park, N. J., Park, Y. S., & Kim, Y. S. (1971) Effect of lime growth of rice and changes in pH, Eh, Fe²⁺ and Al in an acid sulfate soil. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 4(2):167-175.

Park, Y. D., Y. S. Kim, and D. W. Mang. (1971) The effect of increased application of silica, nitrogen, and potassium on rice growth on Akiuchi soils. J. Korean Soc. Soil. Fert. 4:161-166.

Parry, D. W. and Smithson, F. (1964) Types of opaline silica deposition in the leaves of British grasses, Ann. Bot. 28:169-185.

Parry, D. W. and Kelso, M. (1975) The distribution of silicon deposits in the roots of *Molinia caerulea* (L.) Moench. and *Sorghum bicolour* (L.) Moench. Ann. Bot. 39:995-1001.

Raymond, W. M. (1967) Soluble silica in soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 31:46-50.

Richard, O. G., & Diana, M. F. (1964) Silica source in soil solutions. Science 145:386-388.

Reuveni, M., Agapov, V. and Reuveni, R. (1995) Controlling powdery mildew caused by *Sphaerotheca fuliginea* in cucumber by foliar sprays of phosphate and potassium salts. Crop Protection. 15:49-53.

Reuveni, M., Agapov, V. and Reuveni, R. (1997) A foliar spray of micronutrient solutions induces local and systemic protection against powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in cucumber plants. European Journal of Plant Pathology. 103:581-588.

Reuveni, M., Harpaz, M. and Reuveni, R. (1998) Integrated control of powder mildew on field-grown mango trees by foliar spray of mono-potassium phosphate fertilizer, sterol inhibitor fungicides and the strobilurin Kresoxym-

methyl. *European Journal of Plant Pathology*. 104:853-860.

Reuveni, R., Dor, G., Raviv, M., Reuveni, M. and Tuzum, S. (2000) Systemic resistance against *Sphaerotheca fuliginea* in cucumber plant exposed to phosphate in hydroponics systemic, and its control by foliar spray of mono-potassium phosphate. *Crop Protection*. 19:355-361.

Reuveni, M. (2000) Efficacy of trifloxystrobin(Flint), a new strobilurin fungicides, in controlling powdery mildew on apple, mango and nectarine, and rust on prune trees. *Crop Protection*. 19:335-341.

Saigusa, M., Yamamoto, A. and Shibuya, K. (2000) Agricultural use of porous hydrated calcium silicate. *Plant Prod. Sci.* 3:51-54.

Samuels, A. L., Glass, A. D. M., Ehret, D. L. and Menzies, J. G. (1991) Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fuliginea*). *Canadian J. of Botany*. 69:140-146.

Savant, N. K., G. H. Snyder, and L. E. Datnoff. (1997) Silicon management an sustainable rice production. *Adv. Agron.* 58:151-199.

Seo, Y. J., Kim, J. S., Kim, C. B., Park, M., Lee, D. H., Choi, C. L., & Choi, J. (2002). Evaluation of input and output amount of silica in sandy paddy soil during growing periods of rice plant. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 35:162-168.

Sherwood, R. T. and Vance, C. P. (1980) Resistance to fungal penetration in Gramineae, *Phytopathol.* 70:273-279.

Sposito, G., & Shindler, P. W. (1987). Reactions at the soil colloid-soil solution interface. *Trans. 13th Congr. Int. Soil Sci. Soc.* 6:683-699.

Suehisa, R. H., O. R. Young, and D. G. Sherman. (1963) Effects of silicates on phosphorus availability to sudangrass grown on Hawaiian soils. *Hawaii Agric. Exp. Stn. Tech. Bull.* 51.

Sumida, H. (1992) Silicon supplying capacity of paddy soils and characteristics of silicon uptake by rice plants in cool regions in Japan. Bull. Tohoku Natl. Agric. Exp. Stn. 85:1-46.

Takahashi, E., and J. F. Ma, and Y. Miyake. (1990) The possibility of silicon as an essential element for higher plants. Comments Agric. Food. Chem. 2:99-102.

Thomas, G. W. (1982) Exchangeable cations. p. 159-165. In Page, A. L. et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.

Toth, S. J. (1939). The stimulating effects of silicates on plant yields in relation to anion displacement. Soil Sci., 47:123-141.

Urquhart, E. J., Menzies, J. G. and Punja, Z. K. (1994) Growth and biological control activity of *Tilletiopsis* species against powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) on greenhouse cucumber. Phytopathology. 84(4):341-351.

Valmis, J., and D. E. Williams. (1967) Manganese and silicon interactions in the Gramineae. Plant Soil 27:131-140.

Verhaar, M. A., øStergaard, K. K., Hijwegen, T. and Zadoks, J. C. (1997) Preventative and curative application of *Verticillium lecanii* for biological control of cucumber powdery mildew. Biological Science and Technology. 7:543-551.

Verhaar, M. A., Dik, A. J. and Belanger, R. R. (1998a) Comparison of three biological control agents against cucumber powdery mildew (*Sphaerotheca fuliginea*) in semi-commercial-scale glasshouse trials. European Journal of Plant Pathology. 104:413-423.

Verhaar, M. A., Hijwegen, T. and Zadoks, J. C. (1998b) Selection of *Verticillium lecanii* isolates with high potential for biocontrol of cucumber powdery mildew by means of components analysis at different humidity regimes. Biocontrol Science and Technology. 8:465-477.

Verhaar, M. A., Hijwegen, T. and Zadoks, J. C. (1999) Improvement of the efficacy of *Verticillium lecanii* used in biocontrol of *Sphaerotheca fuliginea* by addition of oil formulations. *Biocontrol*. 44:73-87.

Volk, R. J., Kahn, R. P. and Weintraub, R. L. (1958) Silicon content of the rice plant as a factor influencing its resistance to infection by the blast fungus, *Piricularia oryzae*. *Phytopathol*. 48:179-184.

Vorm, P. D. J. van der. (1980) Uptake of Si by five plant species as influenced by variations in Si-supply. *Plant Soil* 56:153-156.

Werner, D. and R. Roth. (1983) Inorganic plant nutrition, p. 682-694. In: Lauchli, A. and R. L. Bielecki (eds.). *Encyclopedia of plant physiology*. Springer, Berlin.

Wilding, L. P., Hallmark, C. T., & Smeck, N. E. (1979). Dissolution and stability of biogenic opal. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43:800-802.

Williams, R. J. P. (1986). Introduction to silicon chemistry and biochemistry. in : *Silicon Biochemistry*, Ciba. Foundation Symposium 121. PP. 24-39.

Wolf, G. and Fric, F. (1981) A rapid staining method for *Erysiphe graminis* f. sp. hordei and whole barley leaves with a protein-specific dye. *Phytopathol*. 71:596-598.

Woolly, J. T. (1957) Sodium and silicon as nutrients for the tomato plant. *Plant Physiol*. 32:317-321.

Xu, G., X. Zhan, C. Li, S. Bao, X. Liu, and T. Chu. (2001) Assessing methods of available silicon in calcareous soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*. 32:787-801.

Yamauchi, M. and M. D. Winslow (1989) Effect of silica and magnesium on yield of upland rice in the humid tropics. *Plant Soil* 113:265-269.

Yoshida, S. (1965) Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant bull. Not. Agr. Sci. (Japan) Ser. B. 15:1-58.

Yoshida, S., Y. Ohnishi, and K. Kitagishi. (1962) Chemical forms, mobility, and deposition of silicon in rice plant. Soil Sci. Plant Nutr. 8:107-111.

주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.