GOVP1200609862

최 종
연구보고서

규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발

Technique development for reducing of nitrogen fertilizing amount and producing of good qualitative rice by effectively treatment of silicate

연 구 기 관

충 남 대 학 교
순 천 대 학 교
경 상 대 학 교

농 림 부

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 "규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발" 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005 년 11 월 30 일

주관연구기관명 : 충 남 대
총괄연구책임자 : 장 기 운
세부연구책임자 : 장 기 운
연 구 원 : 이 종 진
연 구 원 : 이 종 은
연 구 원 : 홍 주 화
협동연구기관명 : 순 천 대
협동연구책임자 : 배 창 휴
연 구 원 : 조 주 식
연 구 원 : 강 병 화
연 구 원 : 박 양 주
협동연구기관명 : 경 상 대
협동연구책임자 : 양 민 석
연 구 원 : 김 필 주
연 구 원 : 이 창 훈
연 구 원 : 홍 창 오
연 구 원 : 김 상 윤

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

요 약 문

Ⅰ. 제 목

규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

과거 우리의 농업은 증수를 위한 품종개량과 시비 및 토양관리 측면에서 연구가 집중되어 왔다. 그 결과 단위면적 당 논벼 수확량은 60년대 후반(1966~1970) 평균 314 kg/10a에서 1990년 후반(1996~2000) 평균 약 500kg/10a까지 증대시킬 수 있었다(농림통계연보, 1965~2001). 최근 쌀 생산량의 지속적 증가와 젊은이들 식사습관의 서구화는 쌀 소비량 감소와 쌀 재고량 증대라는 새로운 문제를 야기하고 있다. 2001년 말 쌀 재고량은 약 1,000만섬에 육박하고 있어 적정재고량 550만섬을 크게 초과하고 있다. 쌀을 수매해도 저장할 창고가 없는 실정으로 지금까지 많은 량의 미곡을 처리해왔던 종합 미곡처리장(RPC)도 쌀값하락에 의한 경영난에 봉착하고 있다. 정부가 수매한 쌀도 팔리지 않아 양곡특별회계 적자가 매년 5,000억원 씩 누적되어가고 있는 실정이다(대한매일, 2002년 2월 14일자). 우루과이라운드(UR) 협상에 의해 쌀시장의 점진적인 개방으로 매년 일정비율의 쌀을 외국으로부터 수입하고 있으며, 2005년부터 쌀 시장의 추가개방이 예상되고 있다(조선일보, 2001년 11월 1일자 사설). 전면적인 쌀 시장의 개방을 앞두고 현 국내의 쌀값은 톤당 1,622달러로 중국산(276달러)의 5.8배, 태국산(179달러)의 9.1배(대한매일, 2002년 2월 14일자)나 되기 때문에 가격경쟁력은 이미 상실되었다고 해도 과언이 아니다. 이러한 상황에서 외국의 양질미와 경쟁하기 위해서는 米質의 향상을 통한 경쟁력 배양이 최선의 대책으로 판단된다.

米質改善 방법으로는 육종학적인 우수품종의 선발 및 육성, 쌀 가공공정의 최적화 및 경종학적 재배방법의 개선 등으로 구분할 수 있다. 이중 시비관리를 통한 미질개선책으로 규산처리가 미질의 개선에 긍정적 효과가 있는 것으로 몇몇 연구를 통해 밝혀진 바 있다(김 등, 1992; 김 등, 1993; 재, 1983). 규산은 완전미 비율의 증대, 腹白米와 心

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

白米 비율 감소를 통한 외관적 품질향상에 기여하고 있음이 조사되었으나, 米質向上에 관여하는 쌀의 화학적 조성과 食味改善 효과에 대한 조사는 아직 실시되지 못하고 있다. 품종 이외에 경종학적 측면에서 米質에 영향을 주는 인자로서는 질소 시비량이 가장 크게 영향을 주며 시비량이 증가될수록 쌀 중 단백질 함량 증가로 미질이 나빠지는 것으로 알려져 있다(이와 오, 1991; 안과 김, 1996; 정 등, 1996; 차 등, 1984; 최, 1996; 황, 1994; 허 등 1994). 이 등(1987)은 전국 24개 포장을 대상으로 규산시용에 따른 증수효과를 조사한 결과, 화학비료 NPK 처리구에서 최대 정조수량은 644kg/10a이었으며 이때 질소시비량은 15.9kg/10a 이었다. 반면 규산을 130 ppm으로 조절한 개량구에서 최대정조수량은 680kg/10a 이었으며 이때 질소 시용량은 16.5kg/10a 이었다. 이상의 연구결과로부터 우리의 벼 생산목표를 화학비료 NPK 시용구의 최대수량(644kg/10a) 수준으로 하향 조정한다면 규산질과 삼요소(NPK)를 함께 시용시 질소시비수준을 약 9.2 kg/10a까지 절감하여 약 6.7kg/10a의 시비량을 절감할 수 있을 것으로 평가되었다. 이를 통해 질소 사용량을 크게 저감할 수 있을 것으로 기대되며 질소시비량 감소에 따른 쌀 중 단백질 함량 감소에 의한 미질의 개선이 있을 것으로 전망된다.

따라서 본 연구에서는 쌀 재고량의 증가로 범국가적 대책이 필요한 현 시점에서 쌀의 품질향상과 질소 시비량 절감을 위해 규산의 효과적 처리 및 관리방안에 대한 평가를 하였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구는 3개 세부과제로 구성되어 있으며 제 1 세부과제에서는 미질개선을 위한 토양내 적정 유효규산 관리농도 설정, 제 2 세부과제에서는 미질개선을 위한 합리적 규산 시용주기 설정에 관한 연구, 제 3세부과제는 규산시용을 통한 질소시비량 저감 방안 연구로 각각 구성되어 있으며, 각 세부항목의 연구개발 내용은 다음과 같다.

1. 미질개선을 위한 토양내 적정 유효규산 관리농도 설정

현행 농촌진흥청에서 추천하는 논토양의 적정 유효규산 관리농도는 130 ㎎/㎏이다(농업과학기술원, 1999). 그러나 이러한 유효규산 농도는 미질개선을 위한 최적의 규산농도에 대한 평가는 아직 미흡한 실정이다. 따라서 유효규산 관리농도에 따른 벼의 수량 및 생육특성, 미질특성을 조사하여 미질개선을 위한 최적의 토양내 유효규산 관리농도를 설정하고자 하였다.

2. 미질개선을 위한 합리적 규산시용 주기 설정에 관한 연구

4년 1주기로 공급되고 있는 규산질 비료의 시용효과는 시용년수가 경과할수록 감소하여 2~3년 후에는 평균 3.5%의 낮은 증수효과를 보이고 있다(이, 2001). 그러나 이러한 관리방법은 쌀 생산량 증수를 위한 설정이며, 미질개선을 위한 규산질 비료 공급주기가 필요한 시점이다. 또한 최근 볏짚환원으로 인한 규산이 논토양에 환원되고 있으며, 규산공급주기와 볏짚환원에 의한 규산 공급효과와 미질개선을 위한 합리적 규산관리방안의 연구가 있어야 할 것으로 판단된다. 따라서 규산질 비료 공급주기와 볏짚환원이 벼 수량 및 생육특성, 미질특성을 조사하여 미질개선을 위한 최적의 규산 공급주기를 산정하고자 하였다.

3. 규산시용을 통한 질소시비량 저감과 미질개선방안 연구

현재 논 토양에서 질소의 시비기준은 토양내 유기물과 유효규산 함량을 기준으로 최고수량획득을 위해 추천시비량이 설정되어 있다. 이 등(1987)의 연구결과에서처럼 규산을 삼요소와 함께 시용시 최고수량을 680kg/10a 까지 얻을 수 있었으며, 삼요소 처리구에 비해 약 약 10% 증수가 있었다. 현행 우리사회가 쌀 재고량 증대로 어려움

자료출처 : 규산의 흡과정 천리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

을 겪고 있는 것을 감안하여 쌀의 목표수량을 화학비료 시용구의 최고수량 약 644kg /10a으로 하향 조절하다면 규산시용으로 질소시비량을 16.5kg/10a에서 9.2kg/10a까지 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 질소시비량 절감이 쌀중의 질소함량 감소로 미질개선효과를 함께 얻을 수 있을 것으로 전망된다. 지금까지 몇몇의 연구를 통해 규산 시용을 통한 질소질 비료 시용량 저감 가능성은 제시되고 있으나(이 등, 1987), 구체적인 질소시비량 절감과 미질 개선에 대한 연구는 이루어지지 않고 있는 형편이다.

본 과제에서는 규산질 비료시용을 통한 질소시비량 저감효과와 미질개선효과를 검토하여 양질미 생산을 위한 친환경적 질소시비수준을 설정하고자 하였다.

4. 연구개발의 내용 및 범위

가. 규산질 비료 시용에 따른 벼 생육특성

1) 벼 생육 특성

가) 벼 재배기간 중 경수특성

나) 벼 재배기간 중 초장특성

나. 규산질 비료 시용에 따른 벼 수량 및 양분흡수특성

1) 벼 수량 및 수량구성요소 특성

가) 벼 수량 변화

나) 벼 수량 구성요소 변화

2) 벼 양분흡수 특성

가) 벼 양분함량 특성

나) 벼 양분흡수 특성

다) 벼 질소 이용율 및 규산흡수 특성

다. 규산질 비료시용에 따른 미질특성

1) 백미의 품위 특성

2) 백미의 화학적 특성

3) 식미치 특성

라. 토양내 이화학적 특성

자료출처 : 규산의 흡수적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Ⅳ. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발 결과

규산질비료 처리 농도 및 공급주기, 질소시비 수준에 따른 수도의 생육 및 수량 특성과 미질 특성 및 토양 이화학적특성을 통해 미질개선을 위한 3년간의 연구결과를 종합해 보면 다음과 같다.

가. 미질개선을 위한 토양내 유효규산 관리기준 설정

본 연구는 현행 추천되고 있는 논토양에서의 적정 유효규산 관리농도 130 mg/kg (농업과학기술원, 2000)이 최고수량 획득을 위한 설정농도 조건으로 (박, 1970), 미질개선과 관련한 유효규산의 적정관리 농도와는 다소 차이가 있다고 판단되어 수량증대와 미질개선에 적합한 유효규산 농도를 구하고자 그 목적을 두고 본 연구를 3년간 수행하였다. 규산질비료 처리 농도에 따른 수도의 생육 및 수량 특성 그리고 미질 평가 및 토양 화학적 특성을 통해 수량증대의 기대효과와 더불어 미질개선을 위한 토양내 유효규산 관리기준 설정에 대한 3년 연구수행결과를 종합하여 정리한 내용은 다음과 같다.

1) 규산질비료의 처리량에 따른 3년의 수도재배기간 동안 토양내 화학적 변화에 대한 특성을 종합해 보면 유효규산 함량은 이앙후 7일째 조사시 목표치보다 현저히 높은 결과를 보였다. 이러한 경향은 규산질비료 처리량과 정의상관성을 보이며 더 높은 결과로 분석 조사되었으며, 생육후기로 갈수록 유효규산 함량은 점차적으로 감소하여 각 처리구의 설정 목표치의 근사치로 조사되었다. 이러한 토양내 유효규산 함량이 목표치보다 높게 나타난 것은 박 (1970)등의 시험에 사용한 규회석보다 입상규산질비료의 0.5N HCl 가용성규산함량이 높았던 결과로 판단된다. 그리고 토양내 암모니아태 질소의 변화 특성의 결과는 분얼생장시기 모든 처리구에서 높게 조사되었다. 반면 최고분얼기 이후 급격히 감소하여 출수기전부터는 모든 처리구에 약 5mg/kg 이하의 낮은 수준을 유지하였다.

2) 수도의 재배시기별 생육특성 조사에서 토양내 유효규산 설정 기준중 S-130 처리구에서 초장이 가장 높은 결과를 보였으며, 경수 역시 초장과 유사하게 S-130과 S-160 처리구에서 약 10% 정도의 증수효과를 나타냈다. 규산질비료 처리에 따른 정조수량은 S-160 처리구가 관행구에 비해 최대 16% 수량 증대되는 효과를 확인 할 수 있었다. 그리고 천립중, 등숙율 그리고 수당립수 등도 S-160 처리구에서 전반적으로 높은 효과를 나타냈다. 이에 대한 생육과 수량특성 결과들을 종합하여 볼 때 S-160 처리구 수준 만큼 시용되어야 할 것으로 판단된다.

3) 수도 재배기간 중 규산질비료의 처리에 따라 흡수된 식물체 내 양분함량 특성은 규산 시용량이 높아질수록 질소와 인산흡수 함량이 감소하는 경향을 보였고, 규산흡수 함량은 반대로 증가하는 경향을 보였다. 규산 처리량 증가에 따라 토양내 가용화 규산함량이 증가되어 질소 및 인산과의 길항작용으로 식물체내 규산 흡수량이 증가되었고, 인산의 흡수이행이 저해되어 식물체내 인산함량이 감소하는 결과를 초래한 것으로 판단된다 (이, 2002).

4) 식물체내 양분 흡수량과 이용율 변화 특성 결과를 종합하면, 질소 흡수량은 S-160 처리구에서 최대 14.2 kg/10a 로 가장 높은 결과를 보였다. 인산 흡수량 역시 질소 흡수량과 비슷한 경향을 보였는데, S-130 처리구가 S-160 처리구 보다 다소 높은 5.81 kg/10a로 가장 높게 조사되었다. 이러한 처리량들을 생리적 증대효과와 경제적 한계 효용체감 및 환경친화적 농업을 감안할 경우 규산의 이용율은 규산질비료의 처리량이 증가할수록 감소하는 결과를 보였다. 따라서 이러한 결과들을 정리하여 볼 때 규산질비료의 처리량에 대한 흡수량과 이용율을 벼의 수량적인 측면과 경제적 측면을 고려하여 효과적인 시비관리 방안으로 S-130 처리구의 시용량을 기준으로 조절되어야 할 것으로 판단된다.

5) 상기 기술한 수도의 생육적인 특성과 양분흡수 및 이용률의 상관적 관계를 토대로한 미질개선에 가장 큰 영향을 미치는 요인중 백미의 품위 특성과 화학성 분석 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다. 품위 특성중 정조의 완전립 비율은 S-210 처리구

에서 관행구보다 최대 17%의 증가효과를 보였으나, 전체적인 품위 특성인 피해립, 동할립, 그리고 세립 등 부의 상관성을 보이는 높은 결과치들을 고려하여 볼 때 S-160 처리구의 품위 개선효과가 가장 우수하다고 생각된다. 식미치의 경우 규산 시용량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였으며, 토양내 유효규산 S-130 처리구에서 3년 결과를 평균한바 약 74 value로 가장 높은 결과를 보였으며, 이러한 결과는 식미에 영향을 미치는 아밀로스 함량과 단백질 함량이 유효규산 설정농도 처리구들에서 관행구보다 낮은 결과를 보였기 때문인 것으로 판단된다. 그 중 아밀로스 함량과 단백질 함량의 평균수치들을 비교 평가하여 볼 때 S-160 처리구에서 가장 좋은 효과를 보였다고 판단된다. 또한 Mg/K 비는 연차결과들을 조사하면서 최종년도인 3년차에서 가장 높은 결과를 보였으며, 특히 S-130 처리구에서 지속적인 증가와 함께 최종년도 Mg/K 0.96으로 가장 좋은 결과를 나타내었다. 이러한 결과들로 종합하여 볼 때 토양내 유효규산 설정농도 S-130과 S-160 처리구가 가장 좋은 미질개선 효과를 보인 것으로 평가할 수 있었다.

결과적으로 수도의 생육 및 수확량과 미질개선에 대한 연구로 규산질비료의 처리량에 따른 수량증대, 양분흡수와 이용율, 경제성과 환경친화적 한계효용 그리고 양질미의 품질개선 측면 등에 대한 개선효과는 일반적으로 재배되고 있는 관행시험구에 비해 그 효과가 유의성 있게 인정되었던 것으로 평가되었다. 이러한 토양내 규산질비료의 설정농도 처리구들에 대한 수도재배연구의 다양한 조사와 분석 및 통계적 처리에 따른 결과들을 종합하여 볼 때, S-130과 S-160 처리구들에서 긍정적인 효과가 인정되었다. 특히 S-130 처리구에서 미질개선 효과가 3년 연용재배시험 통계처리 결과 가장 우수한 개선효과가 인정되었으며, 규산시비 관리 설정시 S-160 초과하는 시용량은 수도 영양생장기의 과비 처리로 수확량 및 미질에 오히려 역효과를 초래할 가능성이 있으므로 시용량을 고려하여야 할 것으로 결론지을 수 있다.

나. 미질개선을 위한 규산질 비료의 적정 시용주기 설정

본 연구는 현행 4년 1주기로 토양에 시비되고 있는 규산질 비료의 시비효과를 미질개선 측면에서 재검토하여 적정 규산 시비 주기를 설정하고자 볏짚의 환원에 의한 규산 공급효과를 함께 감안하여 양질미 생산을 위한 합리적 규산시비기준을 설정하고자 수행하였다.

1) 벼 초장과 경수특성은 연차간 규산 시용주기에 따른 차이는 나타나지 않았다. 규산 시용 주기 조건에 매년 500 kg ha-1의 볏짚에 의해 초장과 경수는 볏짚 무시용에 비해 다소 증가되었으나, 통계적인 유의차가 인정되지 않았다.

2) 연차간 NPK의 정조수량은 1년차에 5219 kg ha^{-1}, 2년차에 5652 kg ha^{-1}, 3년차에 5232 kg ha^{-1}으로 조사되었고, NPK에 비해 4년 1주기는 4~9%, 2년 1주기는 0~4%, 1년 1주기는 3~5 %의 정조수량이 증가되었다. 규산 시용주기에 볏짚을 매년 500 kg h^{-1}을 함으로써 연차별 NPK에 비해 NPK+Straw의 정조수량은 각각 약 7, 12, 5% 증가되었다. NPK에 비해 볏짚환원된 4년 1주기는 5~15%, 2년 1주기는 9~14%, 1년 1주기는 8~14 %의 정조수량이 증가되었다.

3) 규산 시용주기와 볏짚환원은 질소공급 및 질소 이용율, 주당 입수와 수수를 증가시켰다. 규산 시용주기는 NPK의 정조수량에 비해 평균 3~9% 증가되었고, 4년 1주기는 시용 3년차에 정조수량 증대효과는 나타나지 않았으나, 2년 1주기와 1년 1주기는 평균 2~4%의 정조수량 효과가 있었다. 그러나 2년 1주기와 1년 1주기 규산시용 주기는 NPK에 비해 약 3%, 식미치는 Mg/K 비율 증가에 의해 NPK에 약 8 향상되었다. 볏짚이 환원된 규산 시용주기 조건에서는 볏짚 무시용에 비해 백미의 단백질 함량과 Mg/K 비율이 증가하였으나 식미치는 약 8% 감소하였다. 따라서 NPK의 정조수량과 미질특성에 비해 미질개선을 위한 규산시용주기는 볏짚 무시용 2년 1주기 및 1년 1주기가 가장 적당한 것으로 평가되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

다. 규산질 비료 시용을 통한 질소시용량 절감

본 연구는 현행 유효규산 관리농도 130 mg kg^{-1} (RDA, 2000) 기준으로 4년 1주기로 공급되는 규산질 비료 시용조건에서 질소시비 수준 저감이 벼 수량과 미질개선에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구과제로서 벼 생육 특성, 벼 수량과 양분흡수특성, 미질특성을 조사하여 규산 처리조건에서 미질개선을 위한 질소시비량 저감하는데 연구의 목적이 있으며, 4년 동안 연구수행결과를 종합하여 정리한 내용은 다음과 같다.

1) 연차별 규산질 비료시용 조건에서 질소시비수준에 따른 벼 초장과 경수 특성은 규산질 비료 처리조건에서 질소시비 수준이 증가될수록 약간 증가하였으며, 통계적 유의차는 인정되지 않았다. 연차간 질소시비량을 110 kg ha^{-1} 시비한 NPK 처리구에 비해 규산처리 조건에서 질소시비량(110 kg ha^{-1})의 80% 이상을 시비한 처리구는 초장과 경수 특성은 차이가 나타나지 않았다.

2) 연차별 규산질 비료시용 조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 정조 수량은 증가하였다. 연차별 NPK의 정조 수량은 각각 5230, 5062, 6499 kg ha^{-1}이었고, 규산처리조건에서 NPK의 정조수량(5062 kg ha^{-1})과 같은 정조수량을 나타내는 질소시비량은 1년차 약 98 kg ha^{-1}, 2년차 98 kg ha^{-1}, 3년차 84 kg ha^{-1}로 조사되었다. 이는 규산처리 조건에서 주당 수수와 등숙율 증대와 약 10~25%의 질소이용율 향상으로 인해 NPK의 정조수량에 대비하여 질소시비량을 약 10~20%를 저감할수 있었다.

3) 연차별 규산질 비료 시용 조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 백미 품위특성 중 완전립 비율은 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 NPK에 비해 완전미 비율은 규산을 시비한 처리구가 높은 경향을 나타내었다. 기상조건 악화와 병충해 피해로 인해 2년차의 완전미 비율은 1년차에 비해 약 40% 감소하였다. 규산처리조건에서 1, 2년차에 NPK와 같은 정조수량은 나타낸 질소시비 수준은 각각 5 %와 12%가 향상되었고, 3년차에는 NPK에 비해 약 15~20%의 완전미 비율이 감소되었다. 이는 높은 기온과 일조량에도 불구하고 목도열병의 피해가 NPK에 비해 약 2배 높게 발생되었던 이유로 해석된다.

4) 연차별 규산처리 조건에서 질소시비 수준에 따른 백미의 화학적 특성 중 아밀로스 함량은 18~20%으로 조사되었고, 처리간 아밀로스 함량 차이는 발생하지 않았다. 규산처리 조건에서 질소시비 수준이 증가할수록 미질화학성 중 단백질 함량과 Mg/K 비율이 영향을 받았으며, 이에 식미치가 영향을 받는 것으로 조사되었다. NPK 처리구와 동일한 정조수량을 얻었던 질소시비량의 식미치는 단백질 함량감소와 Mg/K 비율 증대에 의해 NPK에 비해 약 5~15%의 식미치가 향상되었다.

결론적으로 규산질 비료시용 조건에서 NPK와 동일한 정조수량을 나타낸 질소질 비료 시용은 벼 생육에 영향 미치지 않았으며, 주당 수수와 등숙율 증대, 약 10~25%의 질소이용율 향상으로 인해 질소시비량을 약 10~20%를 저감할수 있었다. 또한 백미 품위 중 약 5 ~12%의 완전미 비율 향상과 단백질 함량감소와 Mg/K 비율 증대에 의해 NPK에 비해 약 5~15%의 식미치가 향상되었다. 그러므로 관행처리구에 비해 규산질 처리 조건에서 질소질 비료를 약 90 kg ha^{-1} 시용함으로써 수량 감소 없이 양질미 생산이 가능한 것으로 평가되었다.

이상의 연구결과를 종합해 보면, 규산질 비료 시용을 통해 벼 생육 및 수량 증수효과를 알 수 있었으며, 미질개선을 위한 규산질 비료의 적정 규산 농도는 160 mg kg^{-1}과 볏짚 무시용 2년 1주기와 1년 1주기가 적절할 것으로 판단되었다. 그리고 규산처리를 통해 미질개선을 위한 질소시비량은 90~100 kg ha^{-1}으로 평가되었다. 본 연구결과의 규산관리 조건은 미질개선과 질소시비저감으로 인해 양질의 쌀 생산이 가능할 것으로 판단된다.

2. 연구개발결과의 활용

가. 기대효과

본연구과제의 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 결과 지금까지 쌀의 증수를 위해 관리되어 온 토양내 유효규산의 관리기준과 관리기법을 미질향상과 질소이용율 증대를 통한 환경친화적 질소시비량 관리기준의 설정이 가능하게 할 것으로 판단되며 다음과 같은 효과가 기대된다.

1. 기술적 측면

○ 미질 향상과 일정한 수량성 확보를 위한 토양내 유효규산의 적정관리기준 설정

-. 산발적으로 조사 보고된 규산의 미질개선효과를 체계적으로 입증할 수 있을 것으로 전망됨.

-. 미질개선효과 증대를 위한 규산의 관리기준 설정이 가능할것으로 판단됨.

-. 규산질 비료의 적극적인 활용을 유도할 수 있을 것으로 기대됨.

○ 규산에 의한 질소시비량 절감과 환경친화적 영농기술 수립

-. 기존의 3요소 시용으로 얻었던 최고수량 획득을 위해 규산질 비료와 3요소를 함께 시용시에는 약 20~40% 내외의 질소 시용량 절감이 가능할 것으로 판단됨.

-. 규산 시용에 의한 질소 이용율 증대로 비료 시용량을 절감할 수 있으며, 이에 따른 환경친화적 시비관리체계의 운영이 가능 할 것으로 판단됨.

-. 질소 시비량 절감에 따른 미질개선을 함께 기대할 수 있을 것으로 전망됨.

2. 경제 · 산업적 측면

○ 미질개선에 의한 쌀값 개선과 쌀소비 증대

-. 규산의 적극적인 활용을 통해 미질을 개선하고 국민적 쌀 소비량 증대와 쌀값 개선을 유도하므로 농촌사회의 안정과 대외적 경쟁력을 키울 수 있을 것으로 전망됨.

○ 규산시용에 의한 질소이용율 증대와 질소시비량 절감에 의한 환경친화적 쌀 생산과 생산량 하향 조절에 의한 영농조건 개선

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

-. 질소 이용율 증대에 의한 시비량 감소는 환경친화적 쌀의 생산을 가능케 할 것으로 판단되며, 이를 통한 쌀값의 개선을 기대할 수 있을 것으로 전망됨.

-. 부분적으로나마 질소시비량의 감축에 의한 영농 비용절감과 오염 발생량 감소에 기여할 것으로 전망됨.

-. 질소관리수준의 하향조절은 쌀의 생산량을 저감하므로 써 과잉재고에 의한 국가의 재정적 적자를 크게 개선할 것으로 전망됨.

-. 막대한 국가예산의 지원으로 무상공급되고 있는 규산질 비료의 적극적인 활용을 유도하여 국가예산의 효율적 활용에 기여할 것으로 판단됨.

나. 활용방안

본 연구를 통해 개발된 규산을 이용한 미질개선 기술과 질소질 비료 저감기술은 농촌진흥청에 영농활용자료로 제시하고자 한다. 개발기술을 현장에서 완성하고 전국적인 시범포 운영으로 효과를 적극적으로 홍보하고자 한다.

○ 미질개선을 위한 합리적 규산 관리방안을 영농활용자료로 농촌징흥청에 제시하고 시범포 운영을 통한 적극적인 대농민 홍보 실시

○ 규산시용을 통한 질소 시비량 절감방안을 영농활용자료로 농촌징흥청에 제시하고 시범포 운영을 통한 적극적인 대농민 홍보 실시

SUMMARY

1. Determination of available silicate management in paddy soil for the rice yield and quality improvement

This study was conducted to determine on the standard concentration of available silicate management for the rice yield and quality improvement in paddy soil which was SiO_2 80mg kg^{-1} content.

1) The increasing of application amount with silicate fertilizer was efficient for the growth and yield of rice plant.

In a different growing stages of rice plant according to silicate fertilizer application, the leaf length and tiller number were more remarkable value than control. And in the results of rice yield parameters, a rice grain and straw yields were considerably showed that all of the silicate fertilizer treatments were more predominent levels about 6~16% enhanced. Also, at the nutrient uptake results of nitrogen(N), phosphate(P_2O_5), and silicate (SiO_2) in rice grain and shoot after silicate application, N and P_2O_5 content were decreased by increasing in silicate amount applied. However SiO_2 content was increased at the same conditions.

2) The quality of rice grain and polished rice were effective depending on silicate fertilizer application.

The perfect kernel of rough rice according to silicate fertilizer application was enhanced about 17% but the broken kernel rate was inversely decreased. Amylose and protein contents of the rice taste parameters were lower result than control. Mg/K rate was increased at the same rice grains.

Therefore the application amount of silicate fertilizer for the rice cultivation from these results should be expected to obtain the positive effects as improvement of rice harvest yield and quality on the cooked rice taste. So the amount of silicate fertilizer application could be recommended as approximately 200mg kg^{-1} for

자료출처 : 규산의 흡과정 차단에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

optimal and economical rice cultivation.

2. The study of periodic establishment of reasonable silicate fertilizer application for quality of rice

To improve rice yields and quality, silicate fertilizer with rice straw were applied by regulating cycle such as 1 time per 4 year(4Y1 as 1608 kg ha^{-1}), 1 time per 2 year(2Y1 as 804 kg ha^{-1}), 1 time per 1 year(1Y1 as 402 kg ha^{-1}) and dried rice straw was added about 500 kg ha^{-1} for every year. The investigation of rice yields and rice quality was continued for 3 years. we intended to establish reasonable cycle of silicate fertilizer for improving rice quality.

Rice growth and yields in soil applied silicate fertilizer with different cycles was lower than that of silicate with rice straw due to increase of tiller and panicle number per unit area. Rice yields of NPK treatment with increasing cultivation periods were about 5219, 5652, 5232 kg ha^{-1} for the 1st, 2rd, 3nd years, respectively. Rice yields of 4Y1, 2Y1, and 1Y1 treatments increased yield index of average 4~9%, 0~4%, and 3~5% compared to that of NPK treatment. However, addition of rice straw with silicate fertilizer increased yield index as compared to that of silicate fertilizer treatment.

Among rice quality parameters, perfect rice grains ratio in silicate fertilizer with rice straw treatment were slightly lower than treatments applied with silicate fertilizer. Taste values of 2Y1 and 1Y1 treatment were higher than that of others treatments due to decrease contents of protein and increase content of Mg/K ratio in white grains. Conclusively, silicate fertilizer application cycle without rice straw was reasonable for 1 time per 2 year and 1 time per 1 year as compared to rice yields and quality in NPK treatments.

자료출처 : 규산의 흡과정 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

3. Effects of silicate fertilizer and nitrogen levels on Rice quality in paddy soil

To evaluate the effects of silicate fertilizer on rice quality by regulating nitrogen levels, we conducted field experiment at different levels of nitrogen with silicate fertilizer for 3 years.

Rice growth parameters such as number of ear and ripening rate, nitrogen efficiency increased increasing levels of nitrogen application. Rice grain yields increased according to increase a levels of nitrogen application with silicate fertilizer. Application of nitrogen fertilizer(88-98 kg ha^{-1}) amended with silicate fertilizer resulted in same yields compared to that of NPK treatment. This results was due to increase number of ear and ripening rate, nitrogen efficiency by appling silicate fertilizer at different nitrogen levels.

Rice quality was improved at lower level of nitrogen fertilizer in soil along with silicate fertilizer. Among rice quality parameter, ratio of perfect rice grains increased at different levels of nitrogen treatments with silicate fertilizer. Nitrogen treatments (88-98 kg ha^{-1}) with silicate revealed same yields as NPK treatment showed about 5-10% of higher ratio of perfect rice grains than in NPK treatment. Contents of protein in white rice increased, but Mg/K ratio decreased in white rice with increasing of nitrogen application. Application of 88-98 kg N ha^{-1} with silicate fertilizer improved about 10% of taste value than in NPK treatments due to decrease content of protein, and increase content of Mg/K ratio of white rice. Therefore, Rice yields and quality could be improved by controling levels of nitrogen application with silicate fertilizer in paddy soil.

자료출처 : 규산의 흡과정 해리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 논리부

CONTENTS

SUMMARY 14

CONTENTS 17

Chapter 1. Outline of Research Program 23

Chapter 2. Current Status of This Research Program 28

Section 1. Current Natural Purification in Korea 30

Chapter 3. Investigation and Results 30

Section 1.Determination of available silicate management in paddy soil for the rice yield and quality improvement 30

1. Materials and Methods 31

1) Experimental location and cultivation management 32

2) Investigation contents and methods 32

2. Characteristics of Rice Plant Growth on Application of Silicate Fertilizer 35

3. Characteristics of Rice Yields and Nutrients Uptake on Application of Silicate Fertilizer 40

4. Characteristics of Rice Quality on Application of Silicate Fertilizer 49

5. Characteristics of Physico-chemical Properties in Paddy Soil 53

Section 2. The study of periodic establishment of reasonable silicate fertilizer application for quality of rice 64

1. Materials and Methods 64

2. Characteristics of Rice Plant Growth on Application of Silicate Fertilizer ..73

3. Characteristics of Rice Yields and Nutrients Uptake on Application of Silicate Fertilizer 77

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

4. Characteristics of Rice Quality on Application of Silicate Fertilizer ····· 86
5. Characteristics of Physico-chemical Properties in Paddy Soil ····· 90
Section 3. Effects of silicate fertilizer and nitrogen levels on Rice quality in paddy soil ····· 98
1. Materials and Methods ····· 98
2. Characteristics of Rice Plant Growth on Application of Silicate Fertilizer ·· 105
3. Characteristics of Rice Yields and Nutrients Uptake on Application of Silicate Fertilizer ····· 109
4. Characteristics of Rice Quality on Application of Silicate Fertilizer ····· 122
5. Characteristics of Physico-chemical Properties in Paddy Soil ····· 127
Chapter 4. Accomplishment and Major Contribution ····· 136
Chapter 5. Application Plan of the Research ····· 140
Chapter 6. Information Obtained Oversea during Research ····· 142
Chapter 7. Reference ····· 143

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

목 차

제 1 장 연구개발의 개요 23

제 2 장 국내외 기술개발 현황 28

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 30

제 1절 연구개발 수행 내용 30

1. 미질개선을 위한 토양내 유효규산 관리기준 설정 30

가. 서론 30

나. 재료 및 방법 31

다. 규산질 비료 시용에 따른 벼 생육특성 35

1) 벼 생육특성 35

가) 벼 재배기간 중 초장특성 35

나) 벼 재배기간 중 경수특성 38

라. 규산질 비료 시용에 따른 벼 수량 및 양분흡수특성 40

1) 벼 수량 및 수량구성요소 특성 40

2) 벼 양분흡수함량과 흡수특성 41

가) 벼 양분함량 특성 41

나) 벼 양분흡수 특성 45

다) 벼 규산 이용율 및 규산흡수 특성 47

마. 규산질 비료시용에 따른 미질 특성 50

1) 백미의 품위 특성 50

2) 백미의 화학적 특성 및 식미 특성 52

바. 토양내 이화학적 특성 54

1) 토양내 질소와 규산함량 변화 54

가)벼 생육 기간중 암모니아태 질소함량 54

나) 벼 생육 기간중 유효규산 함량 56

자료출처 : 규산의 흡과정 처리에 의한 양질미 생산과 직소시비량 경감기술개발 / 농림부

2) 토양 이화학적 특성 ····· 58
사. 적요 ····· 60
2. 미질개선을 위한 규산질 비료의 적정 시용주기 설정 ····· 64
가. 연구내용 ····· 64
1) 공시토양의 화학적 특성 ····· 64
2) 주요 처리 조건 및 내용 ····· 64
나. 조사내용 및 방법 ····· 68
1) 조사내용 ····· 68
2) 조사방법 ····· 69
다. 시험포장 지역의 시험기간중 기후특성 ····· 71
라. 규산질 비료 시용 주기에 따른 생육특성 ····· 73
마. 벼 수량 및 수량구성요소 ····· 77
바. 양분흡수 및 이용특성 ····· 81
1) 양분흡수 특성 ····· 81
2) 질소 이용율 및 규산 흡수량 ····· 84
사. 규산질 비료 시용에 따른 미질 특성 ····· 86
1) 규산질 비료 시용에 따른 백미의 품위 특성 ····· 86
2) 규산질 비료 시용에 따른 백미의 화학적 특성 및 식미치 ····· 88
아. 토양내 이화학적 특성 ····· 90
1) 토양 pH 변화 ····· 90
2) 토양내 암모니아태 질소함량 변화 ····· 93
3) 토양내 유효규산함량 변화 ····· 93
4) 토양내 이화학적 특성 ····· 95
사. 적요 ····· 97
3. 규산질 비료 시용을 통한 질소시비량 절감 ····· 98
가. 재료 및 방법 ····· 98
1) 시험장소 및 경종사항 ····· 98
나. 조사내용 및 조사방법 ····· 102

가) 조사내용 ····· 102
나) 조사방법 ····· 103
나. 규산질 비료 시용에 따른 벼 생육특성 ····· 105
1) 벼 생육특성 ····· 105
가) 벼 재배기간 중 초장특성 ····· 105
나) 벼 재배기간 중 경수특성 ····· 107
다. 벼 수량 및 양분흡수특성 ····· 109
1) 벼 수량 및 수량구성요소 특성 ····· 109
2) 벼 양분흡수함량과 흡수특성 ····· 115
가) 벼 양분함량 특성 ····· 116
나) 벼 양분흡수 특성 ····· 117
다) 벼 질소 이용율 및 규산흡수 특성 ····· 119
라. 규산질 비료시용에 따른 미질 특성 ····· 122
1) 백미의 품위 특성 ····· 122
2) 백미의 화학적 특성 및 식미 특성 ····· 125
마. 토양내 이화학적 특성 ····· 127
1) 토양내 질소와 규산함량 변화 ····· 127
가)벼 생육 기간중 암모니아태 질소함량 ····· 127
나) 벼 생육 기간중 유효규산 함량 ····· 129
2) 토양 이화학적 특성 ····· 132
사. 적요 ····· 134
제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 136
제 1 절 연구개발 목표 달성도 ····· 136
제 2 절 평가착안점 ····· 138
제 3 절 추가연구의 필요성 ····· 139

자료출처 : 규산의 흡광적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 절감기술개발 / 농림부

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 140

제 1 절 기대효과 140

1. 기술적 측면 140

2. 경제 · 산업적 측면 140

제 2 절 활용방안 141

제 6 장 연구개발결과과정에서 수집한 해외과학기술정보 142

제 7 장 참고문헌 143

자료출처 : 구상의 흡과정 최적에 의한 양질의 생산과 절수시비량 저감기술개발 / 농림부

제 1 장 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 필요성

1) 연구개발의 배경

과거 우리의 농업은 증수를 위한 품종개량과 시비 및 토양관리 측면에서 연구가 집중되어 왔다. 그 결과 단위면적 당 논벼 수확량은 60년대 후반(1966~1970) 평균 314 kg/10a에서 1990년 후반(1996~2000) 평균 약 500kg/10a까지 증대시킬 수 있었다(농림통계연보, 1965~2001). 최근 쌀 생산량의 지속적 증가와 젊은이들 식사습관의 서구화는 쌀 소비량 감소와 쌀 재고량 증대라는 새로운 문제를 야기하고 있다. 2001년 말 쌀 재고량은 약 1,000만섬에 육박하고 있어 적정재고량 550만섬을 크게 초과하고 있다. 쌀을 수매해도 저장할 창고가 없는 실정으로 지금까지 많은 량의 미곡을 처리해 왔던 종합 미곡처리장(RPC)도 쌀값하락에 의한 경영난에 봉착하고 있다. 정부가 수매한 쌀도 팔리지 않아 양곡특별회계 적자가 매년 5,000억원 씩 누적되어가고 있는 실정이다(대한매일, 2002년 2월 14일자). 우루과이라운드(UR) 협상에 의해 쌀시장의 점진적인 개방으로 매년 일정비율의 쌀을 외국으로부터 수입하고 있으며, 2005년부터 쌀 시장의 추가개방이 예상되고 있다(조선일보, 2001년 11월 1일자 사설). 전면적인 쌀 시장의 개방을 앞두고 현 국내의 쌀값은 톤당 1,622달러로 중국산(276달러)의 5.8배, 태국산(179달러)의 9.1배(대한매일, 2002년 2월 14일자)나 되기 때문에 가격경쟁력은 이미 상실되었다고 해도 과언이 아니다. 이러한 상황에서 외국의 양질미와 경쟁하기 위해서는 米質의 향상을 통한 경쟁력 배양이 최선의 대책으로 판단된다.

米質改善 방법으로는 육종학적인 우수품종의 선발 및 육성, 쌀 가공공정의 최적화 및 경종학적 재배방법의 개선 등으로 구분할 수 있다. 이중 시비관리를 통한 미질개선책으로 규산처리가 미질의 개선에 긍정적 효과가 있는 것으로 몇몇 연구를 통해 밝혀진 바 있다(김 등, 1992; 김 등, 1993; 제, 1983). 규산은 완전미 비율의 증대, 腹白米와 心白米 비율 감소를 통한 외관적 품질향상에 기여하고 있음이 조사되었으나, 米質向上에 관여하는 쌀의 화학적 조성과 食味改善 효과에 대한 조사는 아직 실시되지 못하고 있다. 품종 이외에 경종학적 측면에서 米質에 영향을 주는 인자로서는 질소 시비량이 가장 크게 영향을 주며 시비량이 증가될수록 쌀 중 단백질 함량 증가로 미질

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

이 나빠지는 것으로 알려져 있다(이와 오, 1991; 안과 김, 1996; 정 등, 1996; 차 등, 1984; 최, 1996; 황, 1994; 허 등 1994). 규산(SiO_2)은 벼 생육에 필수원소이며(Sommer, 1926) 삼요소와 규산질 비료를 함께 시용하면 약 10% 내외의 쌀수량을 증수시킬 수 있었다. 벼에 대한 질소 추천시비량은 토양내 유기물 함량과 유효규산 함량을 기준으로 하여 설정 운영되고 있다(농업과학기술원, 1999). 이는 벼의 최대수량 획득을 위해 운영하고 있는 기준이라 할 수 있다. 이 등(1987)은 전국 24개 포장을 대상으로 규산 시용에 따른 증수효과를 조사한 결과(Fig. 1), 화학비료 NPK 처리구에서 최대 정조 수량은 644kg/10a이었으며 이때 질소시비량은 15.9kg/10a 이었다.

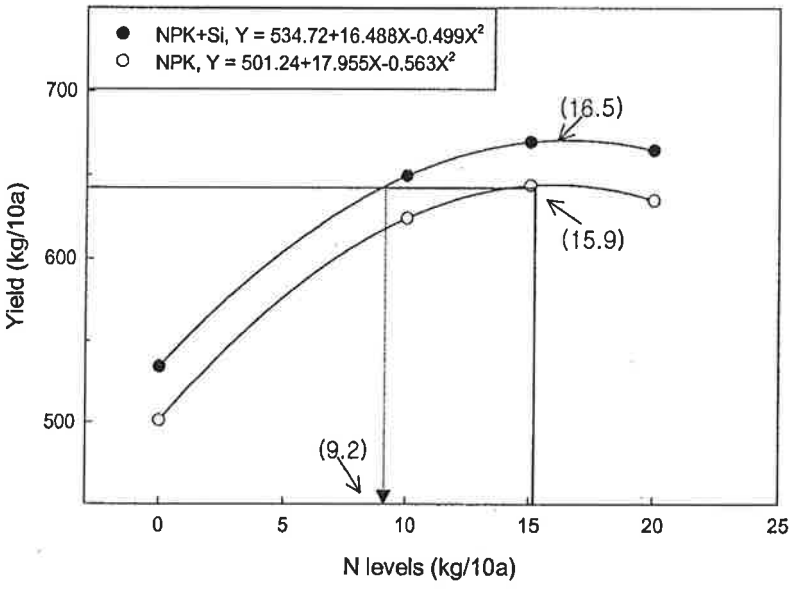

Fig. 1. The yield response to the levels of N-fertilizer under controlled and improved soil. (이 등, 1987)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

반면 규산을 130 ppm으로 조절한 개량구에서 최대정조수량은 680kg/10a 이었으며 이때 질소 시용량은 16.5kg/10a 이었다. 결과적으로 규산시용을 통해 약 27kg/10a의 정조수량을 증대시킬 수 있었다. 이상의 연구결과로부터 우리의 벼 생산목표를 화학비료 NPK 시용구의 최대수량(644kg/10a) 수준으로 하향 조정한다면 규산질과 삼요소(NPK)를 함께 시용시 질소시비수준을 약 9.2kg/10a까지 절감하여 약 6.7kg/10a의 시비량을 절감할 수 있을 것으로 평가되었다. 이를 통해 질소 사용량을 크게 저감할 수 있을 것으로 기대되며 질소시비량 감소에 따른 쌀 중 단백질 함량 감소에 의한 미질의 개선이 있을 것으로 전망된다.

쌀 재고량의 증가로 범국가적 대책이 필요한 현 시점에서 쌀의 품질향상과 질소 이용율 증대에 의한 시비량 절감을 위해 규산의 효과적 처리 및 관리방안 수립이 시기적으로 대단히 필요할 것으로 판단된다.

2) 기술적 측면

1997년 이후 논 토양을 대상으로 규산질 비료는 전액 국고지원하에 4년 1주기로 공급되고 있다. 정부의 적극적인 공급에도 불구하고 상당량의 규산질 비료가 농가 및 농지주변에 그대로 방치되고 있다. 이는 규산질비료 자체의 효과가 크지 않은 데서 오는 농민들의 외면과 높은 하중과 粉狀의 규산질 비료의 施用上 어려움 때문인 것으로 조사되고 있다.

지금까지 규산질 비료는 쌀의 증수를 위해 사용이 권장되었으며 국가 예산상의 어려움 때문에 4년 1주기로 공급하여 왔다. 그간 많은 연구를 통해 규산은 벼의 수광성 향상, 도복저항성 향상, 질소 이용율 증대 및 내병성 증대 등을 통해 벼의 수량 증대에 효과가 있는 것으로 확인되었으나, 4년 1주기로 공급되는 규산질 비료의 효과를 농민이 직접 체감하기에는 미미한 감이 없지 않다. 규산시용 첫해에는 비료의 시용효과를 어느 정도 기대할 수 있으나, 이후 규산 잔류효과에 의존하기 때문에 효과가 점점 감소하게 되는 한계점을 가지고 있다. 현재 논 토양내 규산관리 기준은 박(1970)의 연구결과에 따라 유효 규산(Av. SiO_2)함량 130ppm을 기준으로 하고 있으며, 이는 벼의 최고수량 획득을 위해 설정된 기준이다. 김 등(1992)의 연구에서처럼 규산은 完全米 비율의 증대, 心白米와 腹白米 비율의 감소, 천립중 증대 등 쌀의 외관적 품질을 개선하는데 효과가 있는 것으로 확인된 바 있으나, 食味에 대한 직접적 효과의 평가

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

는 아직 이루어지지 않고 있다. 米質向上을 위한 토양내 유효규산의 관리농도는 지금까지 운영되어온 수량증대를 위한 관리기준과는 다소 차이가 있을 것으로 판단된다. 양질미 생산과 일정 수량성 유지를 위한 토양내 유효규산의 관리기준 설정이 시급히 필요할 것으로 판단된다. 전술한바와 같이 규산은 벼의 질소흡수 이용율을 증대하고 쌀의 목표수량을 하향 조절하여 질소의 시비수준을 크게 줄일 수 있는 것으로 몇몇 연구를 통해 이미 입증된 바 있다. 이와 같이 규산을 이용하여 질소 투입량을 감소하여 질소의 용탈 및 휘산량을 줄임으로써 환경친화적 영농을 가능하게 만들 것으로 판단된다. 이를 위한 규산의 적정관리농도 및 적정공급주기 설정, 질소질 비료의 감비수준 등의 종합적인 검토가 있어야 할 것으로 판단된다.

3) 경제·산업적 측면

정부의 지속적 기술 및 재정적 지원과 영농기술의 비약적 발전으로 쌀 생산량은 계속 증가되고 있는 반면, 우리 국민들의 식생활습관이 서구화되면서 쌀 소비량은 큰 폭으로 감소되고 있다. 통계청 통계에 따르면 1980년 1인 1일 쌀 소비량이 362g 이었으나 2001년 244g 까지 감소하였으며 이러한 감소는 계속될 것으로 전망하고 있다. 쌀 시장의 전면적 개방을 앞두고 현 쌀 생산관리체제의 지속적 운영은 여러가지측면에서 문제가 있을 것으로 예상된다. 즉, 쌀 재고량 조정을 위한 합리적 관리방안이 모색되어야 할 것으로 판단되며, 하나의 대책으로 미질개선을 통한 쌀 소비 증대와 다수확을 위한 증산정책을 양질미의 친환경적 생산으로 관리정책의 전환이 있어야 할 것으로 판단된다.

최근 정부의 무상지원으로 공급되고 있는 규산질 비료의 상당량은 농촌에 방치되고 있다. 이에 따른 국가예산 손실량에 대한 자료는 없지만 엄청난 금액의 세금이 낭비되고 있을 것은 확실하며 이에 대한 대책수립이 요구되고 있다. 농민들이 규산질 비료 사용을 외면하는 측면에는 규산질 비료 효과의 올바른 평가부족, 효과증진을 위한 합리적 이용방안의 연구부족, 효과에 대한 적극적인 홍보부족 등과 같이 연구자들의 책임도 상당부분 내재되어 있다. 그간 수량증대 측면에서 규산질 비료의 사용을 권장해왔다면 이제는 미질향상과 질소 이용율 증대에 의한 비료 사용량 절감 측면에서 규산의 이용을 적극 권장해야 할 것으로 판단된다. 이를 통해 쌀 재고량 감소와 보관비용 절감, 양질미 생산을 통한 경쟁력 확보, 시비량 절감을 통한 오염 부하량 감소 등

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

의 효과를 기대할 수 있을 것으로 전망된다.

4) 사회·문화적 측면

2001년 11년만의 대풍과 그간 보관되어온 재고쌀로 인해 더 이상의 쌀 수매 확대가 불가능하였다. 이로 인한 쌀값 하락이 발생되었으며 농민들의 대규모 집단행동으로 사회적 불안이 초래되었다. 현재의 쌀 생산 운영체제가 지속될 때에는 이러한 측면에서 사회적 불안요소는 늘 잠재할 것으로 전망된다. 규산의 합리적 시용으로 米質을 개선하여 쌀 소비량 증대와 쌀값안정을 꾀하고 화학비료 사용량 절감에 의한 영농비용 절감을 꾀할 수 있을 것으로 기대된다. 시비량 절감에 의한 오염물질 배출 저감은 간접 사회비용 절감에 기여할 것으로 전망된다. 벼농사 중심의 자연발생적으로 발전되어온 농촌사회의 안정과 전통문화 보전에 기여할 것으로 전망된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 2 장 국내외 기술개발 현황

규산질비료는 1970년대부터 본격적으로 사용되기 시작하여 약 10% 내외의 증수효과를 거두고 있다. 논 토양내 유효규산(Available SiO_2)의 적정 관리농도는 박(1970)의 연구에 따라 130 mg/kg을 추천하고 있다. 벼농사의 질소 추천시비량은 토양내 유기물과 유효규산 함량을 기준으로 최대수량 획득을 위해 운영되고 있다. 농업과학기술원의 시책건의에 의해 1997년부터 전액 국고지원하에 규산질비료가 4년 1주기로 전국적으로 공급되고 있다(이 2001). 규산시용 첫해를 제외한 나머지 3년간은 규산의 잔존효과에 의존하고 있는 형편이다.

Table 1. 규산질비료 형태별 년차간 토양중 유효규산 잔존율

구 분	토양중 잔존율 (%)			
	1 년차	2 년차	3 년차	4 년차
서냉광재(분말)	10.6	9.0	7.4	3.7
급냉광재(사상)	11.1	23.9	21.0	6.9

(자료: 농업과학기술원, 1984 - 이기상(2001)의 자료인용)

Table 1에서처럼 규산질 비료 형태에 따라 다소간 차이는 있으나 분말의 규산질비료의 잔존율은 1~2년차 약 10% 내외, 이후 4년차에는 약 4%의 낮은 잔존율을 보이고 있어 규산의 시용효과를 크게 기대할 수 없는 형편이다. Table 2에서처럼 규산질비료를 매년 시용시 평균 8.5%의 증수효과를 얻을 수 있으나 4년 1주기 시용으로 규산의 잔효에 의한 증수효과는 2~3년차에 5~6%, 4년차에는 1%내외의 낮은 효과를 보였다. 이상의 결과로부터 규산의 효과적인 시용방안은 매년 적당량을 계속 시용하는 것이 가장 바람직 할것으로 판단되나 국가 예산상의 어려움, 잦은 토양분석의 번거로움, 시비를 위한 노동력 부족 등으로 4년 1주기로 공급되고 있는 형편이다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2. 규산질비료의 년차별 증수율 (%)

년 차		1 년차	2 년차	3 년차	4 년차	평균
서냉광재 (분말)	매년시용	10	5	11	8	8.5
	잔 효	-	5	6	1	4.0

(자료: 이기상(2001)의 발표자료로부터 인용)

지금까지 규산질 비료의 시용량 산정과 관리방안은 수량증대 측면에 초점이 맞추어져 있었으며, 미질개선 및 친환경적 농업실천을 위한 시용방안 연구는 거의 없었다. 기존의 연구결과를 여러 각도에서 종합하여 분석할 때 규산은 작물의 질소이용율 증대하므로써 시비량을 크게 저감할 수 있으며 미질 개선에도 효과가 높을 것으로 전망되나 이를 위한 체계적 연구사례는 거의 없었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 3장 연구개발수행 내용과 결과

제 1절 연구개발수행 내용

1. 미질개선을 위한 토양내 유효규산 관리기준 설정

가. 서 론

우리 나라 논토양의 가급태 규산함량은 대략 70~80 mg kg^{-1}으로 적정치에 크게 부족하고 일본의 논토양에 비해서 상당히 적은 것 (박, 1970)으로 밝혀져 있다. 안정적 벼 생산을 위한 규산질비료의 시용은 앞으로도 지속적으로 추진되어야 할 것이다. 논토양에 대한 규산성분의 시용효과는 여러 가지가 있겠으나 그 중에서도 벼 식물체 조직내의 가용태 질소 등 각종 양분의 균형조절에 의한 수량 증대효과 (강 등, 1982)가 있다고 하였다. 김 등 .(1986)과 Yoshida et al. (1959)도 벼 식물체 규산함량이 많은 벼는 잎을 직립시켜 수광태세를 좋게 함으로써 등숙율이 향상된다고 하였다. 또한 식물체 조직을 강건하게 함으로써 내도복성을 향상시키는 등 다양한 연구결과에 대하여 많은 보고가 있다. 그리고 규산시용은 엽과 줄기를 튼튼하게 하여 도복방지와 병해충 경감, 하엽의 고사방지 및 수광태세를 좋게하는 동시에 냉해나 건해에 대한 저항을 높이고, 토양중의 고토·망간·붕소·몰리브덴 등의 성분을 가용화시키는 효과가 있는 것으로 밝혀져 있다 (강, 1984).

그 중 시비관리를 통한 미질개선책으로 규산처리가 미질의 개선에 긍정적 효과가 있는 것으로 몇몇 연구를 통해 밝혀진 바 있다 (김 등, 1992; 김 등, 1993; 제, 1983). 규산은 완전미 비율의 증대, 복백미와 심백미 비율 감소를 통한 외관적 품질향상에 기여하고 있음이 조사되었으나, 미질향상에 관여하는 쌀의 화학적 조성과 식미개선 효과에 대한 조사는 아직 실시되지 못하고 있다.

우리나라 농업은 수량증대를 위한 품종개량과 시비 및 토양관리 위주의 연구가 진행되었다. 그 결과 단위 면적당 벼 수확량은 60년대 후반 (1966~1970) 평균 314 kg $10a^{-1}$에서 1990년 후반 (1996~2000) 평균 약 500 kg $10a^{-1}$까지 증수시킬 수 있었다

(농림통계연보, 1965~2001). 최근 쌀 생산량의 지속적 증가와 식생활습관의 변화로 쌀 소비량 감소와 쌀 재고량 증대라는 새로운 문제와 함께 UR 협상에 의해 쌀시장의 점진적개방에 따라 외국으로부터 저가의 쌀을 수입하고 있으며, 2005년 현재 국회에서 쌀비준안이 통과되면 쌀 관세화로 인해 국내쌀과 저가의 수입쌀 가격경쟁은 별 의미가 없게 될 것으로 보인다. 그러므로 외국의 양질미와 경쟁하기 위해서는 미질의 향상을 통한 경쟁력 배양이 최선의 대책으로 판단된다.

이러한 문제를 감안하여 본 연구는 토양을 개량하고, 병충해에 대한 저항성 증대, 쌀의 중금속 흡수를 감소시키는 등의 효과가 있는 것으로 많이 알려진 규산질비료를 이용하여 고품질 쌀 생산에 규산질비료 시용이 어떤 영향을 미치는가에 대한 연구를 수행하는데 그 궁극적인 목적을 두고 수행하였다.

나. 재료 및 방법

본 연구를 위한 수도 재배시험은 충남 논산시 성동면 원북리 소재 덕평통 (미사질식양토) 포장에서 수행하였다. 이 토양의 표토는 암회색이었고, 심토는 적회색을 띠고 있었으며 배수상태가 양호하고 관개시설이 용이한 답토양 10곳을 선정하였다. 이 곳에서 토양시료를 채취하여 유효규산의 함량을 분석한 결과 약 80 mg kg^{-1} 정도의 시험포장을 선발하였다. 시험 전 토양의 이화학적 특성을 조사한 결과 pH는 5.9, 유기물함량 13.7 mg kg^{-1}, 총질소 0.98 mg kg^{-1}, 유효인산 48.7 mg kg^{-1}인 우리나라 논토양의 전형적인 토양 특성을 지니고 있었으나, 유효규산은 79.8 mg kg^{-1}으로 적정수준(박, 1970)보다는 적게 조사되었다 (Table 1-1). 이러한 결과를 바탕으로 본 연구를 수행하기에 적합한 토양이라고 판단하였다. 그리고 실험에 이용된 P회사 제품의 공시비료인 입상규산질비료의 화학적 특성은 Table 1-2와 같다. 공시품종은 중부지방에서 많이 재배되는 주남벼를 이용하였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-1. The physico-chemical properties of the paddy soil before rice cultivation

pH	EC	O.M.	T-N	Av.-P_2O_5	Av.-SiO_2	Ex.-cations ($cmol_c\ kg^{-1}$)				Soil texture
	$dS\ m^{-1}$	$g\ kg^{-1}$		$mg\ kg^{-1}$		Ca	Mg	K	Na	
5.85	0.45	13.7	0.98	48.7	79.8	3.77	0.99	0.38	0.19	SiCL

Table 1-2. Chemical composition of silicate fertilizer used for experiment

(Unit : %)

CaO	MgO	0.5N HCl Soluble SiO_2
41.4	2.3	25.9

포장을 선정한 후에는 2003년 3월에 포장처리구를 6개로 분할하여 설계하였으며, 배수로 및 구획구분을 위하여 PVC 재질의 블록을 이용하였다. 이러한 6개 분할은 처리구별로 관행구 (Control)와 5개 수준의 규산처리구 (S-100, S-130, S-160, S-190, S-210)등으로 구분되었다. 처리구간의 관개수 이동을 억제하기 위하여 둑을 조성하였다. 이 지역의 주요 이앙 시기에 맞도록 1년차 ; 5월 27일, 2년차 ; 6월 2일, 3년차 ; 6월 3일에 기계이앙을 통해 정식하였으며, 이 때의 재식거리는 30×15 cm로 조정하였다. 각 처리구의 재배면적은 3반복으로 총 100 m^2이며 전체 경지면적은 600 m^2이다.

또한 각 처리구별 입상규산질비료의 처리량은 초기 유효규산함량이 약 80 $mg\ kg^{-1}$ 이었기 때문에 관행구는 규산을 처리하지 않았으며, 나머지 규산처리구는 각 처리구 재배면적당 입상규산질비료의 실량으로 S-100 ; 76 kg $10a^{-1}$, S-130 ; 185 kg $10a^{-1}$, S-160 ; 299 kg $10a^{-1}$, S-190 ; 413 kg $10a^{-1}$, 그리고 S-210 ; 489 kg $10a^{-1}$로 전량 기비심층 처리하였다. 그리고 수도재배기간중 처리되는 화학비료의 시비량은 농촌진흥

청에서 추천하고 있는 관행시비처리구 (NPK)를 기준으로 밑거름, 가지거름, 이삭거름 등으로 분할하여 처리하였다.

Table 1-3. Treatments and fertilization background (Unit : kg/10a)

Treatments	Amount of silicate fertilizer	Amount of applied fertilizer (N-P_2O_5-K_2O)			
		Basal dressing	Additional fertilizer		Sum
			Tiller dressing	Top dressing	
Control	-	5.5:4.5:4.0	3.3:0:0	2.2:0:1.7	11:4.5:5.7
S-100	76	5.5:4.5:4.0	3.3:0:0	2.2:0:1.7	11:4.5:5.7
S-130	185	5.5:4.5:4.0	3.3:0:0	2.2:0:1.7	11:4.5:5.7
S-160	299	5.5:4.5:4.0	3.3:0:0	2.2:0:1.7	11:4.5:5.7
S-190	413	5.5:4.5:4.0	3.3:0:0	2.2:0:1.7	11:4.5:5.7
S-210	489	5.5:4.5:4.0	3.3:0:0	2.2:0:1.7	11:4.5:5.7

* SiO_2 kg/10a = (Target level - Available SiO_2 content) × 3.8

본 연구는 크게 4가지로 나눠서 입상규산질비료의 효과를 조사하였다. 수도의 생육과 수량구성요소 그리고 양분흡수 특성으로 규산 및 질소의 양분흡수 양상과 규산 이용율을 조사하였고, 토양의 이화학적 특성으로 시험전후의 이화학성변화와 시기별 유효규산의 농도변화, 미질특성 조사를 통한 도정 및 외관특성과 미질 화학성분 그리고 식미특성을 조사하였다. 백미 품질특성은 쌀 외관 품위측정기 (RS-2000X)를 이용하여 완전립, 분상질, 피해립, 동할립 및 쇄립을 조사하였다. 미질평가를 위해 식미에 직접적인 영향을 미치는 것으로 알려진 아밀로스 함량은 Juliano의 요오드 비색 정량법으로 조사하였으며 (Juliano et al., 1981; Perez and Juliano, 1978), 단백질 함량은

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Kjeldahl 질소정량법을 이용하여 쌀 총 질소함량 (%)에 단백질 환산계수 5.95를 곱하여 환산하였다. Mg/K의 비율은 백미분말을 Ternery solution으로 완전 분해 후 각각의 함량을 조사하여 계산하였다. 식미치는 최근 미질평가에 널리 이용되고 있는 식미계 (Toyo MA-90A)를 이용하여 분석하였다. 시용비료의 토양내 반응특성을 조사하기 위하여 벼 재배기간 중 토양내 치환성 NH_4^+-N과 유효규산 (Av. SiO_2) 함량 변화를 조사하였으며, 시험 후 토양의 이화학성 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원의 토양 및 식물체분석법 (2000)에 준하여 조사하였다. 또한 생육기간중 달관조사를 통하여 도복율과 병충해 발현도를 조사하였다.

Table 1-4. Main checking lists and methods of the research

Items	Main survey means
Charateristics of soil	▸ Changes of chemical properies of the soil(before & after) ▸ Changes of NH_4-N and Avail.-SiO_2 contents in the soil during cultivation ▸ Using and remaining levels of SiO_2 in the soil at harvest period
Properties of growing and yield on rice	▸ Changes of plant height and number of tiller period time ▸ Nutrient uptake(N, P, K and SiO_2) in rice plant at harvest period ▸ Investigation of yield factors on rice (including of pathogen and loding)
Quality parameters of rice	▸ External appearance : Ripening and estimation by RS-2000X instrument ▸ Chemical properties : Protein, AA & Amylose content, Mg/K ratio etc. ▸ Taste testing : Toyo rice quality taster (Toyo MA-90A)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

다. 규산질 비료 시용에 따른 벼 생육특성

1) 벼 생육 특성

고품질 쌀 생산을 위한 규산질비료의 시용이 미질개선과 수량증대에 미치는 영향과 미질개선에 적정한 규산농도 수준을 설정하기 위한 연구과제로써 3년 동안 연구된 수도의 생육 특성을 주요 생육기간(분얼기, 최고분얼기, 유수형성기, 출수기, 수확기)에 걸쳐 수도의 초장과 분얼 특성에 대하여 조사하였다 (Table 1-5, 1-6).

가) 벼 재배기간 중 초장 특성

벼 재배기간 중 초장 특성은 연구 연차별로 관행구와 규산질비료 처리구(S-100, S-130, S-160, S-190, S-210)의 생육특성을 비교하였다. 먼저 1년차에서의 조사결과는 생육초기인 분얼기에는 관행구와 토양내 유효규산 함량 차이에 따른 처리구간의 차이를 거의 보이지 않았으나, 이후 생육기간이 경과할수록 규산질비료를 처리한 모든 처리구가 관행구와 비교하여 초장의 생육이 약간 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 유수형성기에는 유효규산 S-190 처리구에서 초장이 가장 높게 조사되었으나, 수확기에는 관행구와 규산질비료 처리구간의 큰 차이는 보이지 않았다. 동일 포장에서 실시된 2년차에서는 1년차에 비해 초장의 생장속도 차이를 보였다. 유사한 생육시기에 조사된 2차년도의 결과 역시 생육초기에는 처리구간에 초장은 차이를 보이지 않았지만 최고분얼기를 기점으로 규산질비료를 처리한 처리구가 관행구에 비해 초장이 증가하는 경향을 보였다. 토양내 유효규산 S-100 처리구의 초장이 가장 높은 결과를 나타냈다. 그러나 최종 3년차 조사결과를 보면 분얼기에는 관행구와 처리구간의 초장 차이를 확인하기 힘들었지만 최고분얼기에 관행구에 비해 규산질비료를 처리한 처리구에서 초장이 높게 조사되었으며, 그 중 S-190 처리구가 가장 높은 결과를 보였다. 이러한 경향은 생육 후기인 수확기까지 지속되었다.

따라서 3년동안 수도재배기간 중 초장의 생장변화 양상을 볼때 결과적으로 1년차 연구에서의 관행구와 처리구간의 초장은 현저한 차이가 없었다. 2, 3년차 연구에서는 관행구와 규산질비료를 처리한 처리구간 다소 차이가 있는 결과를 보였다. 이는 1년차 수도재배 과정 중 7, 8월의 집중호우와 장마 및 9월의 태풍 등 기상 악화로 인한

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

일조량의 감소와 흑명나방과 잎마름병 등의 병충해가 예년에 비해 발병율이 높게 관찰된 것이 원인으로 판단된다. 그러나 벼의 도복률과 병충해 발병률은 모든 처리구를 비교하였을 때 규산처리구가 관행구보다 낮게 발현됨이 조사되었다. 2, 3차년도에는 벼의 도복이 발생하지 않았으며, 병충해도 거의 발생하지 않았다. 이러한 결과로 볼 때 관행구와 토양내 유효규산함량 수준에 따른 처리구간의 초장은 큰 차이를 보이지 않았으나 규산질비료를 처리한 처리구가 관행구에 비해서 다소 증진되는 결과를 보였다. 그 중 유효규산 S-130 처리구가 벼의 초장 증진효과가 가장 높은 것으로 조사되었다. 전반적으로 규산질비료의 시용 처리구가 이러한 초장의 생육촉진을 가져다 준 것은 규산의 시용과 더불어 함유된 여러 양분들의 상보적인 역할로 증가되었다고 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-5. Changes of rice plant height during cultivation (Unit : cm)

Treatments		Tillering stage	Maximum tillering stage	Panicle formatiom stage	Heading stage	Harvesting season
1st year	Control	16.8	62.2	74.3	96.5	80.0
	S-100	17.3	59.6	75.9	99.4	85.3
	S-130	19.0	58.4	73.9	97.5	79.3
	S-160	19.3	60.1	76.1	96.3	82.4
	S-190	18.2	61.6	77.5	98.4	83.3
	S-210	17.2	58.6	73.9	95.8	79.7
2nd year	Control	16.8	72.4	73.5	95.8	83.2
	S-100	17.1	72.6	79.6	98.4	83.8
	S-130	18.4	74.5	80.7	96.3	84.7
	S-160	18.3	72.9	79.4	97.5	90.3
	S-190	17.6	73.3	79.7	99.4	89.1
	S-210	17.6	74.6	80.2	86.5	92.8
3rd year	Control	29.4	64.6	72.8	85.1	86.9
	S-100	29.8	62.6	70.5	85.1	87.7
	S-130	29.9	61.5	71.9	89.1	90.9
	S-160	30.0	62.6	71.5	86.9	90.1
	S-190	30.2	60.8	71.9	89.1	90.5
	S-210	30.3	64.3	74.7	87.5	89.9
3 years Average	Control	21.0	66.4	73.5	92.7	83.4
	S-100	21.4	64.9	75.3	94.6	85.6
	S-130	22.4	64.8	76.0	96.5	85.0
	S-160	22.5	65.2	75.7	93.2	87.6
	S-190	22.0	65.2	76.3	95.6	87.6
	S-210	21.6	65.8	76.3	95.8	87.8
LSD 0.05		ns*	ns	ns	ns	ns

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나) 벼 재배기간 중 경수특성

3년 연구 결과 중 1년차 경수의 변화 특성은 초장과 유사한 경향을 보였다. 먼저 생육 초기인 분얼기에는 관행구와 규산질비료 처리구와의 경수는 비슷한 수준으로 조사되었지만, 생육기간이 경과되면서 규산질비료를 처리한 처리구가 다소 높은 수치를 보였다. 그 중 S-130 처리구가 가장 많은 경수를 보였다.

2년차에는 1년차에 비해 경수 특성이 뚜렷한 경향을 보였다. 생육 초기에는 토양내 유효규산 함량이 높은 처리일수록 경수가 높게 조사되었으나, 최종수확기에는 S-130 처리구를 전후로 하여 경수 증대효과가 보였다. 최종 3년차 역시 2년차와 유사한 경향의 결과를 보였다. 생육 초기인 분얼기에는 관행구보다 낮은 경수를 보인 처리구가 있었으나, 생육기간이 지날수록 토양내 유효규산함량을 일정수준으로 맞춘 규산질비료 처리구가 관행구보다 높게 조사되었다. 이러한 경향은 생육후기에도 지속되었으며, S-190 처리구가 가장 높은 경수를 보였다.

결과적으로 토양내 유효규산함량을 수준별로 처리한 처리구가 관행구에 비해 최대 약 10% 높은 경수 증대를 보였다. 규산질비료의 시용에 따른 수도의 생육요소인 경수의 증수효과에 영향을 미치는 것으로 판단되며, 3년의 연구 결과 S-190 처리구가 가장 좋은 경수 증가를 보였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-6. Changes of tiller number during rice cultivation (Unit : no./ear)

Treatments		Tillering stage	Maximum tillering stage	Panicle formatiom stage	Heading stage	Harvesting season
1st year	Control	13.0	22.7	16.8	19.7	16.7
	S-100	13.1	20.3	17.9	16.1	20.0
	S-130	13.6	20.5	16.6	19.1	19.7
	S-160	15.7	18.2	18.9	15.8	21.7
	S-190	13.0	19.0	17.1	18.0	18.0
	S-210	16.1	19.7	20.3	15.7	22.3
2nd year	Control	13.3	15.6	16.9	16.5	16.2
	S-100	13.1	17.6	18.0	17.1	17.0
	S-130	13.7	18.0	19.3	18.1	17.4
	S-160	15.7	18.4	19.4	18.0	17.3
	S-190	16.0	18.2	19.4	18.3	17.6
	S-210	16.1	18.5	19.8	18.2	17.1
3rd year	Control	11.0	13.6	15.4	14.7	17.0
	S-100	11.2	14.3	14.5	15.2	18.1
	S-130	11.4	14.5	14.7	15.6	19.1
	S-160	11.3	12.5	14.1	15.8	18.8
	S-190	11.4	13.3	14.7	15.6	18.6
	S-210	11.6	13.5	15.6	15.3	18.7
3 years Average	Control	13.4	17.3	17.5	17.0	16.6
	S-100	12.5	17.4	16.5	16.1	18.4
	S-130	12.9	17.3	17.1	17.6	18.7
	S-160	14.2	16.4	16.7	16.5	19.3
	S-190	13.5	16.8	17.1	17.3	18.1
	S-210	14.6	17.2	17.4	16.4	19.6
LSD 0.05		ns*	ns	ns	ns	ns

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

라. 규산질 비료 시용에 따른 벼 수량 및 양분흡수특성

본 연구의 규산질비료 시용의 적정수준을 설정하기 위한 수도의 수량구성요소와 양분흡수 특성 등의 관련 항목 조사를 통하여 3년간의 연구를 수행하였다. 이러한 연구는 토양내 유효규산함량의 수준별 농도 처리에 따른 수량요소 수당립수, 수당수수, 등숙율 및 천립중 등을 조사하였으며, 양분흡수에 대한 정조 및 볏짚에 생육내 흡수된 성분 등의 특성을 조사하였다. 그리고 수확기 수도의 양분 이용률을 조사하였다.

1) 벼 수량 및 수량구성요소 특성

규산질비료 처리 농도에 따른 수량 및 수량구성요소의 특성을 Table 1-7과 Fig. 1-1에 나타내었다. 1년차 처리구별 정조수량은 유효규산함량을 수준별로 맞춘 모든 처리구가 관행구보다 약 8~13%이상의 수량증대가 있었고, 특히 S-160 처리구가 가장 높은 841.5 kg $10a^{-1}$을 보였다. 2년차에도 1년차와 유사한 수준의 정조수량을 보였는데, 규산질비료 처리가 관행구에 비해 약 6~10% 이상의 수량증대 효과를 보였다. 즉 S-160 처리구가 792.8 kg $10a^{-1}$로 가장 높은 결과를 나타냈다. 또한 최종 3년차 역시 마찬가지로 1, 2년차에서와 비슷한 경향으로 조사되었는데, 관행구에 비해 규산질비료를 처리한 처리구의 정조수량이 약 7~16% 이상의 수량증대 효과를 보였다. S-160 처리구에서 787.4 kg $10a^{-1}$로 가장 높은 정조수량을 보였다. 이러한 결과에 대한 3년간의 정조수량을 합산한 Fig. 1-1을 보면 관행구에 비해 규산질비료를 처리한 모든 처리구가 수량증대를 나타으며. 특히 S-160 처리구는 3년 평균 약 807 kg $10a^{-1}$로 가장 높은 결과로 최대 약 13% 정도의 수량증대효과를 볼 수 있었다.

이는 수량구성요소 중 수당립수와 주당수수의 결과들과 상관성을 통하여 알 수 있었다. 수당립수는 S-160 처리구에서 입수당 약 108개로 다른 처리구보다 높게 조사되었다. 주당수수도 S-160 처리구에서 주당 약 17~20개로 가장 높은 결과를 보였다. 그리고 볏짚수량 역시 정조수량과 비슷한 경향으로 관행구에 비해 규산질비료 처리구에서 더 높은 결과를 보였다. 또한 수량구성요소 중 천립중과 등숙률에서도 관행구보다 처리구가 더 높게 조사되었으며, 처리구 중 S-160 처리구의 천립중과 등숙률 결과가 26.1 g과 91.3%로 가장 높은 수치를 보였던 것으로 그 효과의 유의성이 있다고 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-7. The growth charateristics of rice plant and yeild after harvest

Treat-ments		Grain yield		Straw yield	Ear number	Ear grain no.	1000 grains	Ripening rate
		kg $10a^{-1}$	index	kg $10a^{-1}$	no. ear^{-1}	grain ear^{-1}	g	%
1st year	Control	741.3	100	725.1	17.7	96.2	24.4	80.5
	S-100	799.8	108	776.3	19.0	98.1	23.9	87.6
	S-130	821.6	111	794.8	20.0	103.5	24.0	87.9
	S-160	841.5	113	815.2	20.0	106.2	24.7	87.0
	S-190	816.6	110	809.6	20.3	105.7	23.6	88.3
	S-210	812.1	109	785.2	20.0	103.2	23.7	87.2
LSD 0.05		20.3		ns*	ns	ns	ns	ns
2nd year	Control	721.5	100	667.4	16.7	97.5	24.1	88.5
	S-100	765.1	106	680.0	17.0	99.4	24.6	89.7
	S-130	785.9	109	697.8	17.3	108.4	25.8	91.4
	S-160	792.6	110	691.9	17.3	110.6	26.1	91.0
	S-190	778.5	108	681.5	17.7	106.3	25.4	90.5
	S-210	787.4	109	683.7	17.7	106.4	25.6	91.0
LSD 0.05		35.6		ns	ns	7.05	0.98	ns
3rd year	Control	677.0	100	624.4	16.0	96.6	23.9	87.1
	S-100	725.9	107	672.6	17.1	100.1	24.4	90.0
	S-130	771.1	114	688.1	17.6	107.8	25.1	91.0
	S-160	787.4	116	696.3	17.8	109.5	25.0	91.3
	S-190	767.4	113	679.3	18.1	107.5	24.6	90.8
	S-210	768.1	113	683.7	17.7	106.8	24.7	90.7
LSD 0.05		25.0		20.83	0.77	4.00	ns	2.28

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

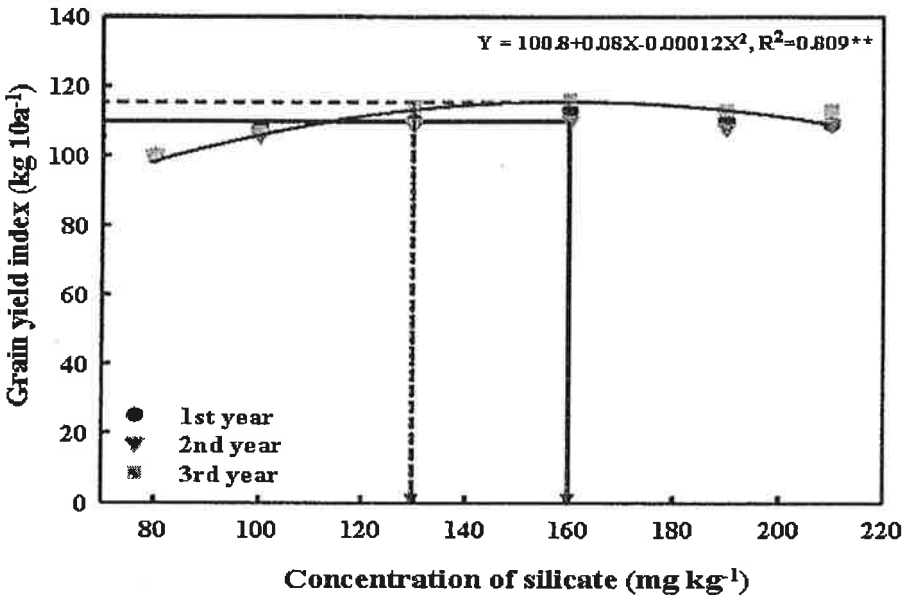

Fig. 1-1 Changes of grain yield index during rice cultivation(3 years).

이와 같은 결과를 종합해 볼 때 수당립수 및 주당수수 등이 규산질비료를 처리한 처리구 중 S-160 처리구가 가장 좋은 수량증대 효과를 보인 것으로 판단된다. 정조수량의 증가는 천립중과 수당수수 및 수당립수 증가에 따라 증가된 것으로 판단된다. 결과적으로 각 연도별 초기 유효규산 함량이 160 mg kg^{-1} 수준인 S-160 처리구에서 최고 정조수량을 보였으며, 안전율을 고려한 90% 정조수량은 130 mg kg^{-1} 수준인 것으로 판단되었다.

2) 벼 양분함량과 흡수 특성

가) 벼 양분함량 특성

규산질비료의 처리량에 따른 벼의 정조 및 볏짚의 주요 양분함량의 차이를 살펴보면 Table 1-8과 같다. 정조에서의 질소 함량 특성을 보면 규산질비료의 처리량이 증가할수록 질소함량은 감소하는 경향을 보였다. 정조의 규산함량은 3년의 연구가 진행되는 동안 관행구에 비해 규산질비료를 시용한 처리구에서 높은 규산함량을 보였으며, 토양내 유효규산함량이 증가할수록 증가는 경향을 보였다. 반면 정조의 인산함

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

량은 규산함량과 반대로 토양내 유효규산함량이 증가할수록 감소하는 경향이 나타났다. 이것은 논토양의 규산처리량이 증가함에 따라 토양내 유효규산함량이 높아지고, 이에 따라 식물체내 규산 흡수량이 증가되고 인산의 흡수가 저해되어 인산함량이 감소하는 길항작용에 의해 나타난 결과라고 판단된다 (이. 2002). 정조의 칼륨, 칼슘 그리고 마그네슘 등 다른 양분함량은 대부분 규산질비료를 시용한 처리구가 관행구보다 약간 높거나 유사한 경향을 나타냈으며, 처리구간의 유의성은 보이지 않았다.

그리고 볏짚에서의 양분함량 특성을 보면 1년차에서의 질소함량은 토양내 유효규산함량이 증가하면 감소하는 경향을 보였다. 1년차 연구에서의 볏짚내 규산함량은 토양내 유효규산함량이 높아질수록 높게 나타났지만, 처리구간의 유의성은 없었다. 그러나 2, 3년차에서의 볏짚내 규산함량은 1년차와 거의 유사한 경향을 보였으며, 처리구간의 유의성은 인정되었다. 인산의 양분함량은 토양내 유효규산함량이 높아질수록 약간 감소하는 경향을 보였다. 이는 정조에서와 같은 이유인 것으로 판단되며, 다른 양분에서의 함량의 변화는 처리구간 뚜렷한 경향은 보이지 않았다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-8. Characteristics of nutrient uptake in rice plant after harvest

(Unit: %)

Treatments		Grain						Straw					
		N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	CaO	MgO
1st year	Control	1.40	0.50	0.46	1.44	0.02	0.12	0.35	0.23	1.17	8.38	0.07	0.09
	S-100	1.34	0.50	0.47	1.52	0.02	0.14	0.35	0.23	1.26	8.50	0.06	0.10
	S-130	1.29	0.49	0.45	1.57	0.02	0.13	0.34	0.22	1.23	8.63	0.08	0.10
	S-160	1.36	0.48	0.46	1.63	0.02	0.13	0.34	0.21	1.07	8.85	0.07	0.09
	S-190	1.30	0.47	0.44	1.77	0.02	0.13	0.34	0.21	1.03	8.85	0.07	0.09
	S-210	1.27	0.47	0.43	1.83	0.03	0.14	033	0.21	0.89	8.93	0.07	0.09
LSD 0.05		0.06	0.03	ns*	0.39	ns	ns	0.04	0.03	ns	ns	ns	ns
2nd year	Control	1.39	0.52	0.49	1.40	0.02	0.12	0.36	0.23	1.18	6.54	0.07	0.09
	S-100	1.34	0.50	0.48	1.61	0.02	0.14	0.32	0.22	1.24	7.33	0.06	0.10
	S-130	1.32	0.48	0.49	1.90	0.02	0.13	0.31	0.20	1.19	8.36	0.08	0.10
	S-160	1.31	0.47	0.49	1.91	0.02	0.14	0.31	0.20	1.09	8.51	0.07	0.09
	S-190	1.29	0.46	0.47	1.93	0.02	0.14	0.30	0.20	1.06	8.77	0.07	0.09
	S-210	1.28	0.44	0.46	1.95	0.03	0.14	0.29	0.19	0.94	8.80	0.08	0.09
LSD 0.05		0.03	0.02	0.05	0.08	0.01	0.02	0.02	0.01	0.09	0.17	0.02	0.01
3rd year	Control	1.43	0.54	0.49	1.47	0.02	0.12	0.39	0.24	1.18	7.75	0.07	0.08
	S-100	1.35	0.50	0.48	1.70	0.02	0.13	0.36	0.22	1.24	7.95	0.07	0.09
	S-130	1.31	0.49	0.47	1.80	0.02	0.14	0.36	0.21	1.19	8.43	0.08	0.09
	S-160	1.29	0.47	0.47	1.92	0.03	0.14	0.33	0.20	1.09	8.83	0.07	0.10
	S-190	1.28	0.45	0.45	1.97	0.02	0.14	0.31	0.20	1.06	8.98	0.07	0.10
	S-210	1.26	0.44	0.44	1.99	0.03	0.14	0.29	0.19	0.94	9.05	0.08	0.09
LSD 0.05		0.03	0.02	0.02	0.07	0.01	0.01	0.02	0.01	0.1	0.21	0.02	0.01

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나) 벼 양분흡수 특성

정조와 볏짚의 주요양분함량과 수량을 통해 산정된 수확기 수도의 양분흡수량은 Table 1-9와 같다. 1년차 결과에서 질소흡수량은 S-130과 S-160 처리구에서 14.1~14.2 kg $10a^{-1}$로 가장 높은 결과를 보였으며, 그 이상의 처리구에서는 감소하는 경향을 나타냈다. 2, 3년차에서도 질소의 흡수량에는 약간의 차이가 있었지만 S-130과 S-160 처리구에서 가장 높은 흡수율을 보였다. 정조와 볏짚의 질소 양분흡수량의 결과도 합계에서 나타난 것과 유사한 경향을 보였다. 인산흡수량 역시 질소흡수량과 비슷한 경향을 보였는 데, 특히 S-130 처리구에서 5.8 kg $10a^{-1}$로 가장 높게 조사되었다. 볏짚보다는 정조에서 인산흡수량의 감소폭이 크게 나타났다. 규산의 양분흡수량은 토양내 유효규산함량이 높아짐에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 그리고 정조 및 볏짚의 규산 총흡수량에서 1년차에는 S-190 처리구에서 86.1 kg $10a^{-1}$로 가장 높은 결과를 보였다. 2, 3년차에서는 S-210 처리구에서 84.6~84.8 kg $10a^{-1}$로 가장 높은 결과를 나타냈다. 칼륨의 흡수량도 질소의 흡수량과 유사한 경향으로 S-130과 S-160 처리구에서 가장 높은 경향을 나타냈으며, 그 이상의 유효규산함량 처리구에서는 낮아지는 결과를 보였다.

이러한 결과를 볼 때 질소 흡수량과 토양내 유효규산함량을 비교하여 보면 S-160 처리구에서 질소 흡수량이 최대값을 보였으며, 그 이상의 농도에서는 흡수량이 감소하는 경향을 보였다. 인산 흡수량도 질소 흡수량과 비슷한 경향을 보였는데, S-130 처리구 최대 흡수량을 보였다. 규산 흡수량은 질소나 인산 흡수량과는 다른 경향을 보였는데, 토양내 유효규산함량이 증가하여도 감소하는 경향을 보이지 않았다. 그러나 규산질비료 처리량이 증가할수록 흡수되는 규산의 증가폭은 감소하는 경향으로 조사되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-9. Amount of nutrients uptake of grain and straw in rice plant after harvest (Unit : kg $10a^{-1}$)

Treatments		Grain				Straw				Sum			
		N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2
1st year	Control	10.4	3.7	3.4	10.7	2.6	1.7	8.4	60.8	12.9	5.4	11.9	71.4
	S-100	11.0	4.0	3.8	12.2	2.7	1.8	9.8	66.0	13.7	5.8	13.6	78.1
	S-130	11.3	4.0	3.7	12.9	2.8	1.8	9.8	68.6	14.1	5.8	13.7	81.5
	S-160	11.4	4.1	3.9	13.7	2.8	1.7	8.7	72.2	14.2	5.8	12.6	85.9
	S-190	10.6	3.8	3.6	14.5	2.8	1.7	8.3	71.6	13.4	5.5	11.9	86.1
	S-210	10.3	3.8	3.5	14.9	2.6	1.7	7.0	70.1	12.9	5.5	10.5	85.0
LSD 0.05		0.5	0.3	ns*	3.0	0.3	0.2	ns	ns	ns	0.4	ns	ns
2nd year	Control	10.1	3.7	3.5	10.1	2.6	1.6	8.1	47.2	12.6	5.4	11.6	57.2
	S-100	10.2	3.8	3.7	12.4	2.4	1.6	9.5	56.1	12.7	5.5	13.2	68.4
	S-130	10.4	3.7	3.9	14.9	2.4	1.6	9.4	65.7	12.8	5.4	13.3	80.6
	S-160	10.4	3.7	4.0	15.1	2.5	1.6	8.6	67.4	12.8	5.3	12.6	82.5
	S-190	10.1	3.5	3.6	15.1	2.3	1.6	8.3	68.3	12.4	5.1	11.9	83.4
	S-210	10.0	3.5	3.7	15.4	2.3	1.5	7.4	69.3	12.3	5.0	11.1	84.6
LSD 0.05		0.21	0.15	ns	0.64	0.17	0.10	0.87	1.34	ns	0.20	0.97	4.89
3rd year	Control	9.7	3.6	3.3	10.0	2.6	1.6	7.6	52.5	12.3	5.3	10.9	62.4
	S-100	9.8	3.6	3.5	12.3	2.6	1.6	9.0	57.7	12.4	5.2	12.5	70.0
	S-130	10.1	3.8	3.6	13.9	2.8	1.6	9.2	65.0	12.9	5.4	12.8	78.9
	S-160	10.2	3.7	3.6	15.1	2.6	1.6	8.6	69.5	12.8	5.3	12.2	84.7
	S-190	9.8	3.4	3.4	15.1	2.4	1.5	8.2	68.9	12.2	5.0	11.6	84.0
	S-210	9.7	3.4	3.4	15.3	2.2	1.5	7.2	69.5	11.9	4.8	10.6	84.8
LSD 0.05		0.19	0.21	0.23	0.58	0.16	0.11	0.86	1.51	0.22	0.21	0.84	1.53

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

다) 벼 질소와 규산 이용율 및 흡수 특성

질소와 규산의 식물체내 흡수량과 이용율에 대한 결과는 Table 1-10에서 보여주고 있다. 흡수량은 각 부위별 양분함량과 수량을 통해서 계산하였으며, 이용율은 처리구의 규산 시비 함량에 무처리구의 함량을 제하고 난 값에 규산의 시비량을 나눈 후 지수 표준값 100을 곱하여 산정하였다.

1년차 연구결과를 보면 규산의 흡수량은 토양내 유효규산함량이 높아짐에 따라 동일한 상승경향을 보였으나 이용률은 유효규산함량이 증가할수록 감소하는 결과를 보였다. 특히 S-100 처리구의 이용율이 가장 높게 조사되었다. 2, 3년차 연구에서도 이러한 경향을 보였다.

3년동안의 연구결과 규산질비료의 처리량에 대한 흡수량과 이용율을 벼 수량성 측면과 비교할 때 흡수량의 경우 규산질비료 처리량의 증가에 따른 규산의 흡수량은 증가하였다. 그러나 이용율은 위에서 언급되었던 결과를 보였으며, 벼 수량성은 규산 처리량이 증가할수록 정조수량이 증가하다가 S-160 처리구를 기점으로 낮아지는 경향을 보였다. 따라서 규산질비료의 효과적인 시비관리 측면에서 S-160 처리구보다 높게 관리될 경우에는 경제적 손실과 환경친화적 농업방향에서 벗어나는 결과를 초래할 것으로 예상되므로 S-130 처리구로 관리되는 것이 가장 바람직할 것으로 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-10. Uptake and efficiency of nutrients on rice plant at harvest

Treatments		SiO_2	
		Uptake(kg/10a)	Efficiency(%)
1st year	Control	57.3	-
	S-100	68.4	14.6*
	S-130	80.6	12.6
	S-160	82.5	8.4
	S-190	83.4	6.3
	S-210	84.6	5.6
LSD 0.05		ns*	ns
2nd year	Control	71.4	-
	S-100	78.1	8.8
	S-130	81.5	5.4
	S-160	85.9	4.9
	S-190	86.1	3.6
	S-210	85.0	2.8
LSD 0.05		1.18	1.07
3rd year	Control	62.4	-
	S-100	70.0	9.9
	S-130	78.9	8.9
	S-160	84.7	6.7
	S-190	84.0	5.4
	S-210	84.8	4.4
LSD 0.05		1.53	1.51

* ns: Not significant.

** Nutrients use efficiency (%) = (A-B)/(C)×100

A : Amount of nutrient uptake with fertilizers treated

B : Amount of nutrient uptake of Non. fertilizers

C : Amount of fertilizers applied

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

유효규산 함량에 따른 질소 이용율을 Fig. 1-2에 나타내었다. 1년차 질소 이용율은 유효규산 함량이 160 mg kg^{-1}인 수준에서 약 54%로 가장 높은 결과를 보였다. 이러한 경향은 3년간 지속되었다. 3년간 질소 이용율은 유효규산 함량이 130~150 mg kg^{-1} 수준에서 평균 약 46.7%로 가장 높은 이용율을 보였으며, 그 이상의 유효규산 함량에서는 질소 이용율이 감소하는 경향을 나타내었다.

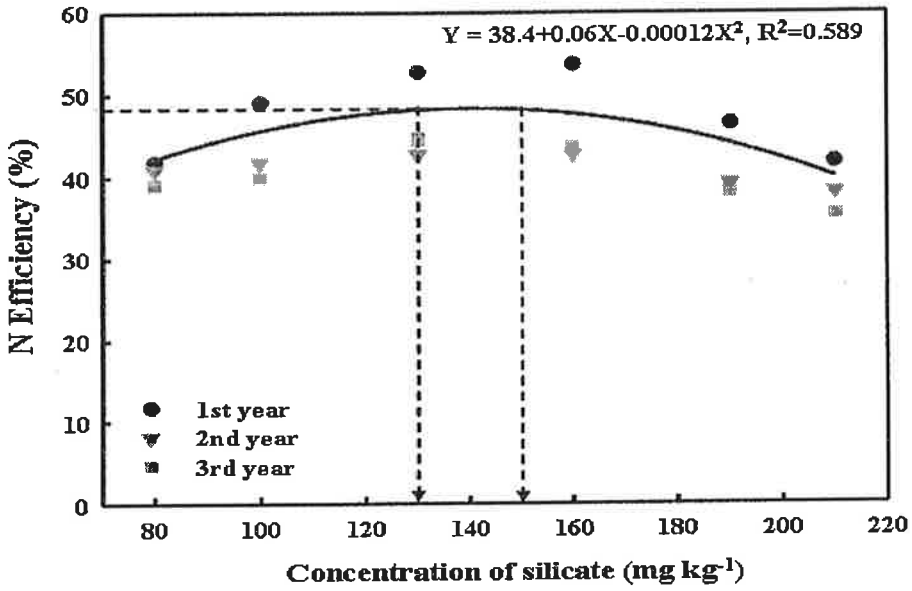

Fig. 1-2. Relationship between N efficiency and concentration silicate by rice plant(3years).

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

마. 규산질비료 시용에 따른 미질 특성

수도재배에 필수인 규산시용이 미질의 특성에서 어떠한 영향을 미칠 것인가를 조사하기 위하여 본 연구를 3년 진행하였다. 연구에 이용된 규산의 형태는 입상규산질비료로서 그 처리량에 따른 미질개선효과를 보기 위하여 외관적 측면인 도정 상태 및 품위 특성을 조사하였고, 화학적 측면은 아밀로스 함량과 단백질 함량 및 Mg/K비를 분석하였으며 식미조사 등을 종합하여 처리량과의 상관관계를 비교하였다.

1) 백미의 품위 특성

백미의 도정 특성 및 쌀 품위 특성은 Table 11에 제시하였다. 백미의 도정 특성은 미질을 평가하는 중요한 요인으로 도정율이 75%이상, 완전미율 90% 이상일 때를 양질미로 보고 있다 (작물과학원. 2003).

1년차 연구에서는 완전립 비율이 토양내 유효규산함량 증가에 따라 완전립 비율도 증가하는 경향을 보였으며, S-210 처리구에서 67.3%로 가장 높게 나타났다. 이는 완전립 형성의 관련 인자로써 등숙률에 의한 규산처리구가 완전립 비율에 보다 높은 결과를 준 것으로 판단된다. 그러나 1년차에는 완전립 비율이 양질미의 기준치인 90% 이상에 현저하게 미치지 못하였던 이유는 수도재배 과정 중 유수형성기와 출수기인 7월과 8월에 장마와 등숙기인 9월 태풍 등의 기상 악화로 일조량의 감소와 이상 저온에 의한 장해형 냉해의 원인으로 해석되었다. 또한 흑명나방과 잎마름병 등의 병충해 발병으로 등숙률이 크게 저하되면서 완전립 비율이 떨어진 것으로 사료된다. 2, 3년차에서도 1년차와 유사한 경향의 증가결과를 보였으나 완전립비율이 1년차보다는 약 15~20% 상승하는 결과를 나타냈다. 등숙기에 안정적인 일조량과 병충해의 감소에 의해 완전립 비율이 증가한 것으로 판단된다. 이러한 완전립 비율 증가로 쇄립 비율에서는 반대의 경향을 보이며 규산질비료의 처리량이 증가할수록 낮아지는 긍정적인 결과를 보였다. 쇄립은 완전한 낱알 평균길이의 1/4~2/3 수준의 쌀로 비율이 낮을수록 모양이 건실하며 둥근 타원형을 양질미로 판단한다. 그러므로 규산질비료의 처리로 쇄립 비율이 감소한 결과는 규산이 완전미 증진 효과가 인정되었음을 보여주는 결과라고 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-11. The rate of quality parameters on the rice (Unit : %)

Treatments		Perfect rice	Powdery	Damaged grain	Cracked grain	Broken grain
1st year	Control	52.4	15.1	2.6	3.0	22.2
	S-100	54.7	25.9	4.6	3.4	16.8
	S-130	57.2	27.5	2.9	2.1	12.9
	S-160	58.1	20.1	2.9	3.4	15.6
	S-190	58.4	24.1	4.9	2.1	10.6
	S-210	63.7	21.1	1.3	2.7	11.3
LSD 0.05		5.2	4.9	1.3	1.0	4.9
2nd year	Control	69.1	15.8	2.4	2.1	10.6
	S-100	76.4	12.7	1.4	2.3	7.2
	S-130	81.0	11.0	1.5	1.5	5.0
	S-160	81.1	9.9	1.9	1.9	5.2
	S-190	81.4	9.8	1.2	1.7	5.9
	S-210	80.6	11.2	1.4	2.4	4.4
LSD 0.05		2.9	2.5	0.5	ns*	2.4
3rd year	Control	75.3	11.9	1.6	1.5	9.7
	S-100	80.7	9.7	1.0	1.5	7.0
	S-130	82.9	9.6	1.0	1.0	5.4
	S-160	83.1	9.0	1.3	1.3	5.3
	S-190	83.9	8.5	1.2	1.5	4.9
	S-210	84.1	8.7	1.5	1.4	4.3
LSD 0.05		1.43	ns	0.43	0.34	1.67

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 백미의 이화학적 특성 및 식미 특성

식미와 관련된 쌀의 이화학적 특성과 식미계로 분석된 식미치 특성을 살펴보면 Table 12와 같다. 식미총평과 밀접한 관계를 나타내는 백미의 화학적 특성 중에서 쌀알의 찰성 지표로 사용되는 아밀로스 함량과 단백질 함량, 그리고 밥의 점성을 나타내는 지표로 Mg/K비 등이 있다 (작물과학원, 2003). 아밀로스 함량은 주로 밥의 경도와 찰성을 나타내며 20% 이하가 양질미에 속하며, 단백질 함량은 밥의 경도와 밀접한 관계를 갖으며 7~9% 범위가 양질미에 속한다. 그리고 알칼리 붕괴도와 Mg/K비는 밥의 점성을 나타내는 척도로 높을수록 양질미로 평가되고 있다. 식미와 유의 상관관계를 나타내는 형질로 볼 때, Mg/K는 쌀의 식미와 정의 상관을 보이지만, 단백질 함량 및 amylose 함량은 부의 상관을 보인다 (김 등. 1990).

1, 2년차 연구에서는 아밀로스 함량이 규산질비료의 처리량 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으며, S-160 처리구에서 아밀로스 함량이 가장 낮은 약 18.7%로 조사되었다. 같은 경향의 결과로 3년차에서 S-130 처리구가 가장 낮은 약 18.4%를 나타냈다. 단백질 함량은 3년간의 연구과정에서 처리구간에 특이적인 차이를 보이지 않았다. 규산질비료 처리구와 관행구간의 큰 차이는 없었으나, 처리구 중 S-130 처리구에서 3년간 계속적으로 최저수치를 보였다. 또한 밥의 점성에 관여하는 Mg/K비 역시 처리구간 유의성이 없는 것으로 나타났다. 1년차에는 전체적인 Mg/K비가 0.5 수준의 낮은 결과를 보였으나, 2, 3년차에서는 Mg/K비가 증가하는 경향을 보였고, 특히 3년차에서는 S-130 처리구가 0.96으로 가장 높은 결과를 보였다.

그리고 이러한 결과들과 함께 식미치의 정확한 평가를 위해서는 백미 중 수분함량이 15% 수준을 유지하는 것이 대단히 중요하며 식미치 75 이상을 기준하여 양질미로 평가하고 있다 (작물과학원, 2003). 본 연구의 1, 2년차에는 백미의 수분함량은 11~13% 내외로 다소 과건조되어 식미치가 낮게 조사되었다. 그러나 최종 3년차에는 수분함량이 15%에 근접하는 수준으로 조사되었고, 식미치도 75를 상회하는 약 80 내외로 양질미 허용기준에 속하는 결과로 조사되었다. 규산질비료를 처리한 처리구가 관행구에 비해서 식미치가 높은 결과를 보였으며, 특히 처리구간에서는 S-130 처리구가 최대 81.0으로 가장 높게 조사되었으며, LSD 검정의 유의수준 5%에서 유의성이 인정되었음을 알 수 있었다. 그러므로 규산질비료 처리에 의한 백미의 품질과 미질에 대한

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

긍정적인 개선효과가 있었다고 판단되었다. 그 중 S-130 처리구와 S-160 처리구가 다른 처리구의 결과치와 비교했을 때 보다 나은 미질 개선효과를 보여준 것으로 판단된다.

Table 1-12. Characteristics of chemical substance and taste on the rice

Treatments		Amylose	Protein	Moisture	Mg/K ratio	Taste value[1)]
		(%)				
1st year	Control	19.5	8.0	11.6	0.53	67.7
	S-100	19.1	8.0	12.1	0.54	68.6
	S-130	18.9	7.5	11.5	0.55	69.0
	S-160	18.7	8.0	11.5	0.57	69.1
	S-190	18.8	8.1	11.3	0.58	69.1
	S-210	18.8	7.9	11.1	0.56	68.9
LSD 0.05		ns*	0.08	ns	ns	ns
2nd year	Control	19.4	8.1	13.0	0.73	69.4
	S-100	19.2	8.0	12.8	0.74	70.4
	S-130	18.9	7.5	12.9	0.75	70.6
	S-160	18.6	7.8	12.9	0.77	71.5
	S-190	18.7	7.7	13.0	0.78	71.2
	S-210	18.7	7.7	12.7	0.75	71.0
LSD 0.05		0.5	ns	ns	0.04	ns
3rd year	Control	19.6	8.8	14.1	0.81	73.2
	S-100	19.1	8.0	14.0	0.85	77.3
	S-130	18.4	7.5	14.6	0.96	81.0
	S-160	18.7	7.8	14.2	0.94	80.2
	S-190	18.6	7.7	15.0	0.94	79.5
	S-210	18.7	7.7	14.5	0.95	79.4
LSD 0.05		0.64	0.49	ns	0.07	3.98

[1)] Measured by TRQT(toyo rice quality taster) instrument

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

바. 토양의 이화학적 특성

1) 토양내 질소와 규산함량 변화

가) 벼 생육 기간중 NH_4-N^+ 함량

수도 뿌리로 흡수되는 질소원의 대부분은 질산태 질소와 암모니아태 질소이다. 그러나 관개에 의한 담수토양에서 재배되는 수도는 전적으로 암모니아태 질소를 주로 이용하게 된다 (논토양 관리, 1976).

토양내 암모니아태질소의 분석 결과에 대한 함량변화는 Fig. 1-3, 1-4 그리고 1-5와 같다. 암모니아태 질소의 함량은 관행구보다 규산질비료 처리구에서 대부분 높게 검출되었고, S-210 처리구가 가장 높게 나타났다. 이앙 약 5일전 기비로 처리된 질소질 비료의 용해로 인해 초기 토양내 암모니아태 질소의 함량이 증가하였으나 이앙후 7일 이후로는 암모니아태 질소의 감소량이 컸으며, 생육중 최고분얼기와 유수형성기에 시비된 추비로 인해 감소량이 적게 나타났다.

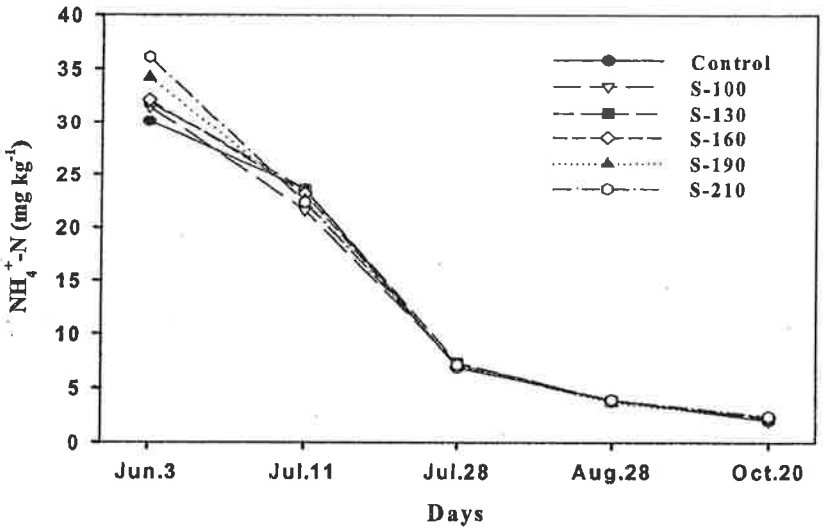

Fig. 1-3. Changes of NH_4^+-N content in soil during rice cultivation (1st year).

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

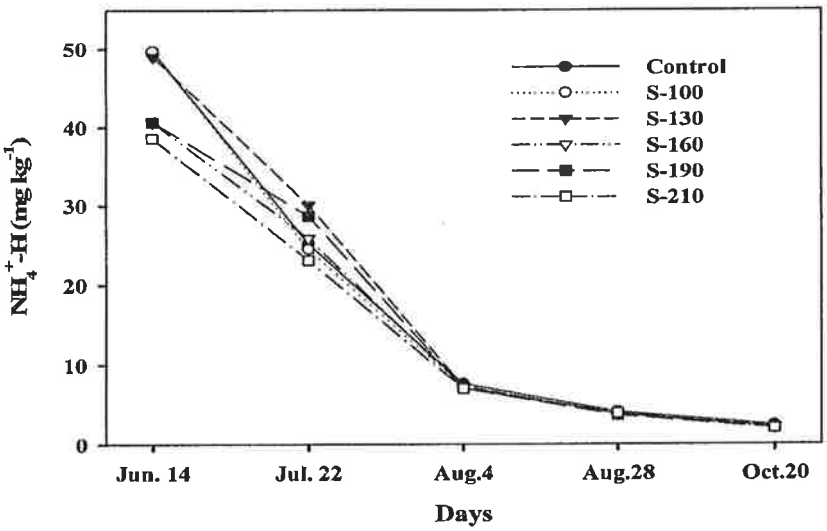

Fig. 1-4. Changes of NH_4^+-N content in soil during rice cultivation (2nd year).

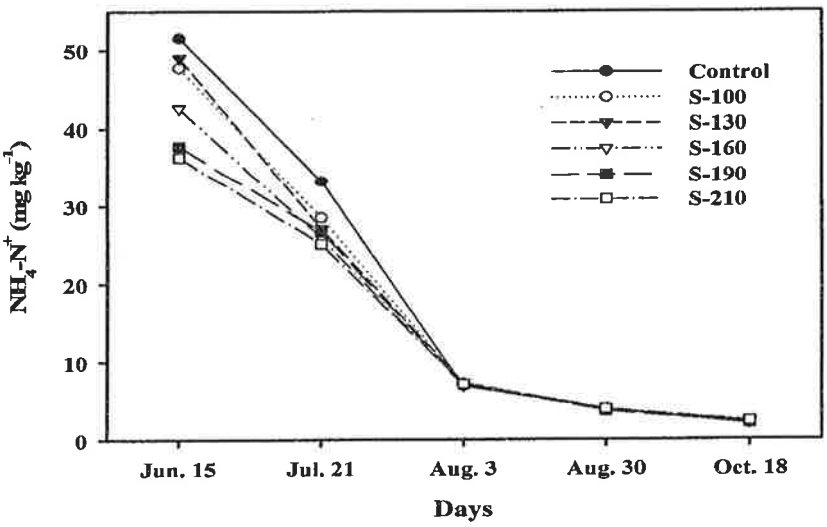

Fig. 1-5. Changes of NH_4^+-N content in soil during rice cultivation (3rd year).

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나) 벼 생육 기간중 Av. SiO_2 함량

입상규산질비료의 처리량에 따른 토양내 유효규산 (SiO_2)의 함량 변화를 분석한 결과는 Fig. 1-6, 1-7, 1-8에서 보는 바와 같다. 재배예정지 논토양의 초기 유효규산 함량은 약 80 mg kg^{-1}인 최적조건의 시험포장지가 선정되었다. 본 시험포장에 처리된 입상규산질비료의 처리량은Table 1-3에 나타냈으며, 수도재배 기간 중 유효규산의 함량 변화의 결과는 Fig. 1-5, 1-6, 1-7에서 보는 것과 같았다.

토양내 유효규산의 함량은 이앙 후 7일째 담수로 인한 규산질비료의 가용화 증대로 인해 선정 목표치보다 상당히 높은 결과를 보였다. 그러나 유효규산의 함량은 이앙 20일 전후인 분얼생장시기를 기점으로 모든 처리구에서 급격히 감소하였으며, 이후 최고분얼시기에서도 큰 경감없이 지속적으로 감소하여 생육후기인 등숙기 전후까지 줄어드는 경향을 나타내었다. 각 처리구의 유효규산함량이 목표치보다 약 60 ppm 이상 높게 조사된 것은 박 (1970)의 시험에 사용된 규회석보다 본 시험에 사용된 입상규산질비료의 0.5N-HCl 가용규산함량이 약 15% 정도 높았던 결과로 미루어 볼 때, 토양내 유효규산의 가용화가 설정한 목표치 보다 높게 검출된 이유라고 판단된다. 그리고 규회석과 규산질비료를 동일한 양으로 처리시 규산 가용화의 차이가 나타날 수 있음을 고려하여야 할 것이다 (이, 2001). 그러므로 토양의 유효규산 함량을 고려하여 시용량을 추천할 때의 기준이 단순한 규산시용량 수식에만 의존한 것이 아니라 규산질비료의 종류와 가용규산 함량을 고려하여 수식이 재검토되어야 할 것으로 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

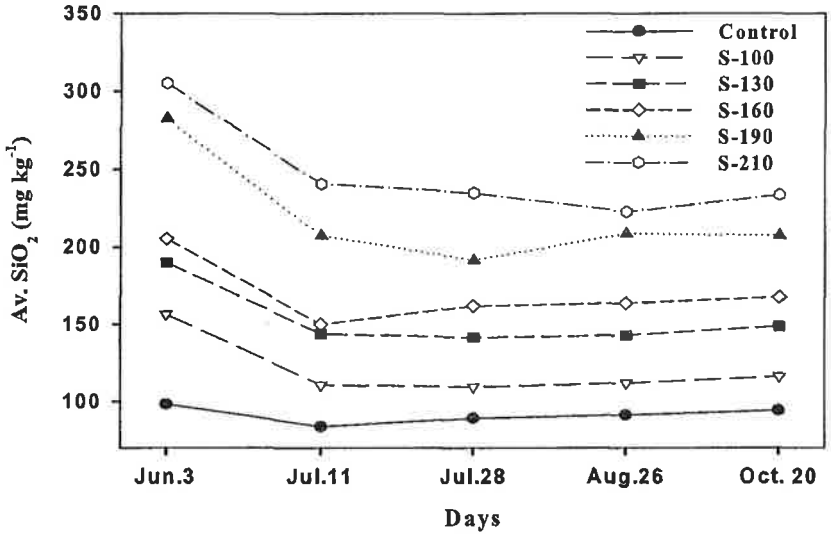

Fig. 1-6. Changes of avail.-SiO_2 content in soil during rice cultivation (1st year).

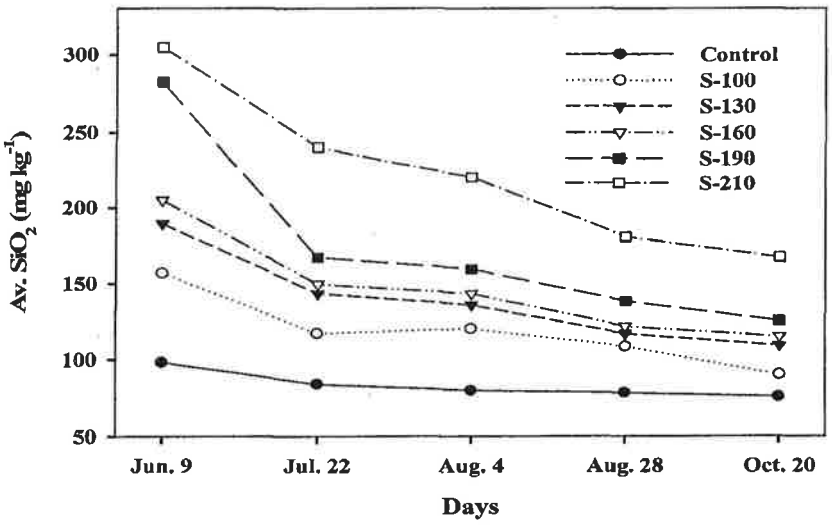

Fig. 1-7. Changes of avail.-SiO_2 content in soil during rice cultivation (2nd year).

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

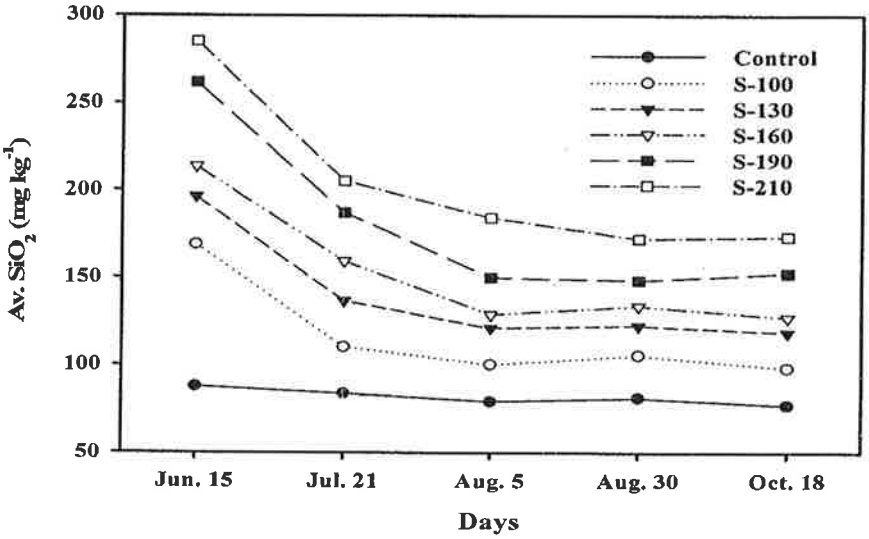

Fig. 1-8. Changes of avail.-SiO_2 content in soil during rice cultivation (3rd year).

2) 토양 화학적 특성

규산질비료의 3년 연용시험에 따른 시험포장의 재배 후 최종토양의 화학적 특성을 조사하여 본 결과는 Table 1-13과 같다. 재배 후 관개절수로 산화적 상태의 토양 pH는 시험 전 토양과 비교하여 큰 차이를 보이지 않았으나, 규산질비료의 처리량이 증가할수록 증가한 경향의 결과를 보였다. pH의 증가는 규산질비료가 알칼리분이 약 44%로 다량 함유하고 있었기 때문에 초기 생육기의 현저한 pH의 상승과 최종 시험후의 토양 역시 상승한 이유로 판단된다. 또한 유기물 함량의 경우 초기 토양에 비해서 수도 뿌리의 잔존으로 인해모든 처리구가 증가하였으며, 규산질비료 처리량의 증가에 따른 수도의 지상부 및 지하부의 생육 발달효과로 인한 경향으로 보여진다 (박 등, 1990). 그리고 처리구간 토양내 유효인산과 유효규산의 함량변화는 규산질비료의 처리량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였고, 치환성 Ca와 Mg 역시 비슷한 경향을 보였다. 토양내 규산질비료의 처리량이 증가할수록 유효인산함량 증가는 규산과 인산 이온간 경쟁관계에 의한 작물의 인산흡수 억제를 가중시켰기 때문이다. 또한 치

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

환성 양이온 Ca, Mg 함량과 유효규산함량의 증가는 규산질비료에 다량으로 함유되어 있는 관련성분의 처리량의 차이에서 오는 잔존량의 증가라고 판단된다. 그러나 치환성 양이온 K는 토양내 잔류량이 줄어드는 경향을 보였는 데, 이는 규산 시용시 칼리 성분의 흡수가 촉진되어 (박 등, 1970) 토양 중 잔존량이 감소한 것으로 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 1-13. The chemical properties of the paddy soil after rice cultivation

Treatments		pH (1:5)	O.M.	Av.-P_2O_5	Av.-SiO_2	Ex.-cations ($cmol_c\ kg^{-1}$)		
			$g\ kg^{-1}$	$mg\ kg^{-1}$		Ca	Mg	K
1st year	Control	5.8	21.1	34.9	95.2	2.66	1.19	0.29
	S-100	5.8	16.6	35.7	115.7	2.72	1.32	0.32
	S-130	5.8	19.0	36.2	148.3	2.96	1.30	0.30
	S-160	5.7	17.8	39.1	167.3	3.02	1.35	0.24
	S-190	5.9	20.6	41.6	207.5	3.04	1.45	0.33
	S-210	6.0	21.7	41.9	233.2	3.42	1.36	0.27
LSD 0.05		ns*	1.12	4.96	5.44	ns	ns	ns
2nd year	Control	5.9	25.5	43.2	75.4	3.13	1.01	0.32
	S-100	5.7	25.6	49.2	90.1	3.45	1.05	0.29
	S-130	5.7	26.3	53.6	109.2	3.62	1.09	0.29
	S-160	5.7	26.6	51.4	115.2	3.86	1.12	0.28
	S-190	5.8	26.9	53.8	125.3	4.03	1.18	0.25
	S-210	6.2	27.0	64.7	167.2	4.21	1.21	0.22
LSD 0.05		0.41	ns	4.75	ns	ns	0.15	ns
3rd year	Control	5.7	24.7	34.9	77.1	2.75	1.00	0.32
	S-100	5.8	25.1	35.7	98.2	3.09	1.05	0.29
	S-130	5.9	25.9	36.2	118.5	3.21	1.09	0.29
	S-160	5.9	26.3	39.1	127.2	3.43	1.12	0.28
	S-190	5.9	27.1	41.6	152.5	3.59	1.13	0.28
	S-210	6.2	27.4	41.9	173.3	3.92	1.17	0.27
LSD 0.05		ns	ns	4.61	5.82	0.25	ns	ns

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

사. 적요

본 연구는 현행 추천되고 있는 논토양에서의 적정 유효규산 관리농도 130 mg/kg (농업과학기술원, 2000)이 최고수량 획득을 위한 설정농도 조건으로 (박, 1970), 미질개선과 관련한 유효규산의 적정관리 농도와는 다소 차이가 있다고 판단되어 수량증대와 미질개선에 적합한 유효규산 농도를 구하고자 그 목적을 두고 본 연구를 3년간 수행하였다. 규산질비료 처리 농도에 따른 수도의 생육 및 수량 특성 그리고 미질 평가 및 토양 화학적 특성을 통해 수량증대의 기대효과와 더불어 미질개선을 위한 토양내 유효규산 관리기준 설정에 대한 3년 연구수행결과를 종합하여 정리한 내용은 다음과 같다.

1. 규산질비료의 처리량에 따른 3년의 수도재배기간 동안 토양내 화학적 변화에 대한 특성을 종합해 보면 유효규산 함량은 이앙후 7일째 조사시 목표치보다 현저히 높은 결과를 보였다. 이러한 경향은 규산질비료 처리량과 정의상관성을 보이며 더 높은 결과로 분석 조사되었으며, 생육후기로 갈수록 유효규산 함량은 점차적으로 감소하여 각 처리구의 설정 목표치의 근사치로 조사되었다. 이러한 토양내 유효규산 함량이 목표치보다 높게 나타난 것은 박 (1970)등의 시험에 사용한 규회석보다 입상규산질비료의 0.5N HCl 가용성규산함량이 높았던 결과로 판단된다. 그리고 토양내 암모니아태 질소의 변화 특성의 결과는 분얼생장시기 모든 처리구에서 높게 조사되었다. 반면 최고분얼기 이후 급격히 감소하여 출수기전부터는 모든 처리구에 약 5 mg kg^{-1} 이하의 낮은 수준을 유지하였다.

2. 수도의 재배시기별 생육특성 조사에서 토양내 유효규산 설정 기준중 S-130 처리구에서 초장이 가장 높은 결과를 보였으며, 경수 역시 초장과 유사하게 S-130과 S-160 처리구에서 약 10% 정도의 증수효과를 나타냈다. 규산질비료 처리에 따른 정조수량은 S-160 처리구가 관행구에 비해 최대 16% 수량 증대되는 효과를 확인 할 수 있었다. 그리고 천립중, 등숙율 그리고 수당립수 등도 S-160 처리구에서 전반적으로 높은 효과를 나타냈다. 이에 대한 생육과 수량특성 결과들을 종합하여 볼 때 수량은 유효규산 160 mg kg^{-1} 수준인 S-160 처리구에서 최고 수량을 보였으며, 안전율을 고

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

려한 90% 정조수량은 유효규산 130 mg kg^{-1} 수준인 S-130 처리구이었다. 유효규산 함량이 130~160 mg kg^{-1} 수준으로 시용되어야 할 것으로 판단된다.

3. 수도 재배기간 중 규산질비료의 처리에 따라 흡수된 식물체 내 양분함량 특성은 규산 시용량이 높아질수록 질소와 인산흡수 함량이 감소하는 경향을 보였고, 규산흡수 함량은 반대로 증가하는 경향을 보였다. 규산 처리량 증가에 따라 토양내 가용화 규산함량이 증가되어 질소 및 인산과의 길항작용으로 식물체내 규산 흡수량이 증가되었고, 인산의 흡수이행이 저해되어 식물체내 인산함량이 감소하는 결과를 초래한 것으로 판단된다 (이, 2002).

4. 식물체내 양분 흡수량과 이용율 변화 특성 결과를 종합하면, 질소 흡수량은 S-160 처리구에서 최대 14.2 kg $10a^{-1}$ 로 가장 높은 결과를 보였다. 인산 흡수량 역시 질소 흡수량과 비슷한 경향을 보였는데, S-130 처리구가 S-160 처리구 보다 다소 높은 5.81 kg $10a^{-1}$로 가장 높게 조사되었다. 이러한 처리량들을 생리적 증대효과와 경제적 한계 효용체감 및 환경친화적 농업을 감안할 경우 규산의 이용율은 규산질비료의 처리량이 증가할수록 감소하는 결과를 보였다. 따라서 이러한 결과들을 정리하여 볼 때 규산질비료의 처리량에 대한 흡수량과 이용율을 벼의 수량적인 측면과 경제적 측면을 고려하여 효과적인 시비관리 방안으로 S-130 처리구의 시용량을 기준으로 조절되어야 할 것으로 판단된다.

5. 상기 기술한 수도의 생육적인 특성과 양분흡수 및 이용률의 상관적 관계를 토대로한 미질개선에 가장 큰 영향을 미치는 요인중 백미의 품위 특성과 화학성 분석 결과를 다음과 같이 요약할 수 있다. 품위 특성중 정조의 완전립 비율은 S-210 처리구에서 관행구보다 최대 17%의 증가효과를 보였으나, 전체적인 품위 특성인 피해립, 동할립, 그리고 세립 등 부의 상관성을 보이는 높은 결과치들을 고려하여 볼 때 S-160 처리구의 품위 개선효과가 가장 우수하다고 생각된다. 식미치의 경우 규산 시용량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였으며, 토양내 유효규산 S-130 처리구에서 3년 결과를 평균한바 약 74 value로 가장 높은 결과를 보였으며, 이러한 결과는 식미에 영향을

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

미치는 아밀로스 함량과 단백질 함량이 유효규산 설정농도 처리구들에서 관행구보다 낮은 결과를 보였기 때문인 것으로 판단된다. 그 중 아밀로스 함량과 단백질 함량의 평균수치들을 비교 평가하여 볼 때 S-160 처리구에서 가장 좋은 효과를 보였다고 판단된다. 또한 Mg/K 비는 연차결과들을 조사하면서 최종년도인 3년차에서 가장 높은 결과를 보였으며, 특히 S-130 처리구에서 지속적인 증가와 함께 최종년도 Mg/K 0.96으로 가장 좋은 결과를 나타내었다. 이러한 결과들로 종합하여 볼 때 토양내 유효규산 설정농도 S-130과 S-160 처리구가 가장 좋은 미질개선 효과를 보인 것으로 평가할 수 있었다.

결과적으로 수도의 생육 및 수확량과 미질개선에 대한 연구로 규산질비료의 처리량에 따른 수량증대, 양분흡수와 이용율, 경제성과 환경친화적 한계효용 그리고 양질미의 품질개선 측면 등에 대한 개선효과는 일반적으로 재배되고 있는 관행시험구에 비해 그 효과가 유의성 있게 인정되었던 것으로 평가되었다. 이러한 토양내 규산질비료의 설정농도 처리구들에 대한 수도재배연구의 다양한 조사와 분석 및 통계적 처리에 따른 결과들을 종합하여 볼 때, S-130과 S-160 처리구들의 유효규산 함량인 130~160 mg kg^{-1} 수준에서 긍정적인 효과가 인정되었다. 그러므로 쌀의 수량과 미질개선을 위한 토양내 유효규산함량을 130~160 mg kg^{-1} 수준에서 지속적으로 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2. 미질개선을 위한 합리적 규산시용 주기 설정에 관한 연구

가. 연구내용

1) 공시 토양의 화학적 특성

벼 재배시험을 위한 시험포장은 경남 하동군 횡천면 여의리 소재에 있는 전형적인 우리나라 평균 지력을 가진 논으로 하였다. 공시 논 토양의 시험전 화학적 특성(Table 2-1)은 pH 5.25, EC 0.53 dS/m, 유기물 함량 2.35%, 유효인산 144.7 mg kg^{-1}, 유효규산 87.7 mg kg^{-1}, 양이온치환능력 8.74 $cmol^{+}$ kg^{-1}으로서 우리나라 논토양 적정치(pH 6.5, 유기물 3.0%, 유효인산 100 mg kg^{-1}, 유효규산 130 mg kg^{-1}, 치환성 K 0.30 $cmol^{+}$ kg^{-1}, Ca 5.0 $cmol^{+}$ kg^{-1}, Mg 2.0 $cmol^{+}$ kg^{-1}, CEC 15 $cmol^{+}$ kg^{-1})보다 전반적으로 낮았으나 유효인산과 치환성 Mg은 적정치보다 높았다. 인산은 시비량이 너무 많으면 질소 흡수를 촉진시키는 반면 규산 흡수를 억제하는 것으로 알려져 있으나 본 공시토양에서는 적정수준으로 함유되어 있었다. 벼의 건전한 생육에 꼭 필요한 규산의 함량은 우리나라 평균치였으나 적정수준에는 부족하였다.

Table 2-1. Physical and chemical properties of the soils before the experiment.

pH (1:5)	EC (dS m^{-1})	OM (%)	Av. P_2O_5 (mg kg^{-1})	Av. SiO_2 (mg kg^{-1})	Ex. Cation($cmol^{+}$ kg^{-1})			CEC ($cmol^{+}$ kg^{-1})
					K	Ca	Mg	
5.25	0.53	2.35	144.7	87.7	0.15	3.48	0.57	8.74

2) 주요처리조건 및 내용

공시 벼 품종으로는 주남벼를 이용하였으며 주남벼는 1999년 12월 신품종으로 품종 등록하여 장려품종으로 결정된 중만생종 품종이다. 모내기는 각 년도 동일하게 손이앙하였으며, 이때 재식거리는 30 ㎝ × 15 ㎝ 으로 하였으며, 그 외는 농촌진흥청 표

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

준재배법에 따라 재배 관리하였다. 규산질 비료의 적정 시용주기 및 볏짚환원에 의한 규산 공급효과를 검토하기 위하여 아래와 같은 방법으로 총 8개 처리구를 설정하여 3년 동안 운영하였다.(Table 2-2)

Table 2-2. Treatments of silicate fertilizer and straw to each experiment site.

볏짚 처리	시용주기	처리구	규산시비량(kg ha^{-1})			총합계량	전 볏짚시용량
			1년차	2년차	3년차	(kg ha^{-1})	(kg ha^{-1})
무시용	무시용	NPK	-	-	-	-	-
	4년 1주기	NPK+4Y	1608	-	-	1608	-
	2년 1주기	NPK+2Y	804	-	804	1608	-
	1년 1주기	NPK+1Y	402	402	402	1206	-
5000 (kg ha^{-1})	무시용	NPK+St	-	-	-	-	15,000
	4년 1주기	NPK+4YSt	1608	-	-	1608	15,000
	2년 1주기	NPK+2YSt	804	-	804	1608	15,000
	1년 1주기	NPK+1YSt	402	402	402	1206	15,000

※ 규산시용량 (kg ha^{-1}) = {130 - 토양내 유효규산 농도(88 mg kg^{-1})} × 38

가) 1차년도 시험포장 운영 (2003년)

미질개선을 위한 규산의 적정시용 주기 및 볏짚환원에 의한 규산 공급효과를 검토하기 위하여 볏짚무처리구와 볏짚환원처리구를 주처리구로 하여 각 처리구에 규산무처리와 규산을 4년1주기, 2년1주기 및 1년1주기로 처리한 총 8개 처리구를 설정하여 운영하였다(Table 2-2). 볏짚환원처리구는 논토양에서 1년 중 생산되는 평균 볏짚생산량인 5000 kg ha^{-1}를 전량 환원 처리하였다. 그리고 각 볏짚환원처리 및 볏짚무처리조건에서 농촌진흥청이 권장하고 있는 규산처리수준인 130 mg kg^{-1}을 4년 1주기로 공급하는 것을 기준으로 동량의 규산을 2년 1주기, 1년 1주기로 분배 시용 처리하였다. 질소이용효율을 평가하기 위하여 무질소처리구를 함께 설치하여 비교하였다.

볏짚환원처리구에서는 볏짚(5000 kg ha^{-1})을 약 10~15 cm 길이로 절단하여 2003년 3월 14일 처리 후 경운하였다. 본 시험포장의 규산 적정시용량 산정은 박 (1970)이

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제시한 관계식 {규산시용량 (kg $10a^{-1}$) = 130 mg kg^{-1} - 토양내 유효규산 농도(mg kg^{-1}) × 3.8}을 이용하여 산출하였으며, 그 결과 규산 적정시용량은 1608 kg ha^{-1}으로 산출되었다. 각 처리구별 규산질 비료 시용은 2003년 5월 12일에 4년1주기처리구에는 입상의 규산질 비료 1608 kg ha^{-1}를 전량처리하였다. 그리고 이의 1/2량(804 kg ha^{-1})과 1/4량(402 kg ha^{-1})을 각각 2년1주기와 1년1주기 처리구에 처리하였다.

모내기는 공시 벼 품종인 주남벼를 2003년 5월 31일에 재식거리 30 ㎝ × 15 ㎝ 으로 손 이앙하였다. 화학비료의 기비는 모내기 2일 전(2003년 5월 29일) 전층시비 하였다. 이때 비료의 총 시용량을 기준으로 하여 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 시용하였으며, 분얼비는 이앙 후 2주째 (2003년 6월 14일) 전 처리구를 대상으로 질소 시용량의 20%를 요소로 처리하였다. 이삭거름은 7월 30일 시용하였으며, 이때 요소와 염화가리를 이용하여 전체 시용량의 30%의 질소와 칼리를 처리하였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나) 2차년도 시험포장 운영 (2004년)

2차년도(2004년)의 볏짚환원처리구의 볏짚시용은 1차년도인 2003년 10월에 벼 수확과 함께 볏짚(5000 kg ha^{-1}) 전량을 약 10~15 cm로 절단해서 표면 처리하였다. 규산 처리는 2004년 5월 8일 1년1주기 처리구만 402 kg ha^{-1}로 규산질 비료를 처리하였다. 화학비료의 기비는 벼 이앙 2일 전(2004년 5월 22일) 전층시비를 하였다. 이때 비료의 총 시용량을 기준으로 하여 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 처리하였으며, 분얼비는 2004년 6월 22일 전 처리구를 대상으로 질소 시용량의 20%를 요소로 처리하였다. 이삭거름은 8월 1일 시용하였으며, 이때 요소와 염화가리를 이용하여 전체 시용량의 30%의 질소와 칼리를 처리하였다. 기타 포장 및 벼 재배관리는 1차년도와 동일하게 실시하였다.

다) 3차년도 시험포장 운영 (2005년)

3차년(2004년)의 볏짚환원처리구의 볏짚시용은 1차년도와 동일하게 벼 수확과 함께 볏짚(5000 kg ha^{-1}) 전량을 약 10~15 cm로 절단해서 표면 처리하였다. 규산처리는 2005년 5월 3일에 2년 1주기 처리구에 804 kg ha^{-1}와 1년 1주기 처리구에 402 kg ha^{-1}로 규산질 비료를 처리하였다. 이때 4년 1주기와 2년 1주기 처리구는 1차년도 시용된 규산의 잔류효과를 이용하여 규산시용효과가 검토되었다.

모내기는 2005년 6월 5일 손 이앙으로 모내기하였다. 화학비료의 기비는 벼 이앙 2일 전(2005년 5월 29일) 전층시비 하였다. 이때 비료의 총 시용량을 기준으로 하여 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 처리하였으며, 분얼비는 이앙 후 2주째 (2005년 6월 26일) 전 처리구를 대상으로 질소 시용량의 20%를 요소로 처리하였다. 이삭거름은 8월 6일 시용하였으며, 이때 요소와 염화가리를 이용하여 전체 시용량의 30%의 질소와 칼리를 처리하였다. 기타 포장 및 벼 재배관리는 1차년도 및 2차년도와 동일하게 실시하였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나. 조사내용 및 방법

1) 조사내용

본 연구에서는 총 3부분으로 나뉘어 규산질 비료 처리에 따른 질소저감 및 미질개선 효과를 조사하였다. 규산질 비료처리에 따른 질소시비량 저감 시용이 벼 생육에 미치는 영향을 평가하기 위해 벼 초장과 경수특성, 및 수량구성요소를 조사하였다. 그리고 질소 시비량에 저감에 따른 작물의 양분이용효율을 산정하기 위해서 양분흡수특성을 평가하였다. 규산시용에 따른 질소시비량 저감이 미질개선에 미치는 영향을 조사하기 위해 백미품위와 미질특성을 평가하였다. 그리고 규산 및 질소시비에 따른 토양이화학적 특성 변화를 조사하였다(Table 2-3).

Table 2-3. Main lists and methods in research

Contents	Investigation contents
Soil properties	▷ Soil physico-chemical properties ▷ NH_4^+-N and Av. SiO_2 concentration ▷ Coefficient of utilization of silicate fertilizer
Properties of rice growth and yields	▷ Characteristics of rice growth (Height and tillers) ▷ Nutrients uptake(N, P, K, and SiO_2) in rice grain and plant ▷ Investigation of rice yields and factors (including of pathogene and loading)
Qualities parameters of rice	▷ External appearance : Ripening and estimation by KETT RN-500 instrument ▷ Chemical properties: Protein, Amylose content, Mg/K ratio etc. ▷ Taste testing : Toyo rice quality taster (Toyo MA-90)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 조사방법

가) 토양이화학적 특성

토양분석법은 농촌진흥청의 토양화학분석법에 준하여 다음과 같다. 토양의 pH는 초자전극법, EC는 EC meter(Orion, Model 160, Germany)로 분석하였고, 유기물은 Tyurin 법, 총질소는 Kjeldahl 법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성양이온은 1N ammonium acetate 추출액으로 추출하여 K, Ca, Mg는 ICP를 이용하여 측정하였다. 벼 재배기간 중 토양내 치환성 NH_4^+-N은 2M KCl로 추출하여 Kjeldahl법으로 측정하였다. 유효규산은 삼각 플라스크에 건토 5 g과 1N sodium acetate 추출액 50 mL를 넣어 60 ℃에서 90분간 항온 진탕하여 추출하여 비색 정량하였다. 시험 후 토양의 이화학적 특성을 농업기술연구소의 토양 및 식물체분석법(1988)에 준하여 조사하였다.

나) 벼 생육 및 수량구성요소

벼 생육 및 수량구성요소에 대한 규산처리와 질소시비량 저감효과를 구명하기 위해 분얼기, 최고분얼기, 유수형성기, 출수기, 수확기에 벼 초장과 경수를 각각 30주 측정하였다. 벼 수량은 포장시험구에서 3.3 m^2 면적의 식물체를 채취하여 정조와 식물체 분리하였고, 정조는 수분함량이 약 15% 일때 정조의 무게를 산정하였고, 볏짚은 완전히 건조한후 볏짚무게를 측정하였다. 이삭수는 각 처리당 30개 이삭을 채취하여 이삭수를 세었고 천립중은 1000개 낱알을 세어 무게를 측정하였다. 등숙율은 30 g을 취하여 비중 1.03 소금물로 등숙수립과 불완전립을 선별하여 계산하였다.

다) 양분흡수특성

양분흡수특성을 조사하기 위해 정조와 볏짚을 각각 농촌진흥청의 토양화학분석법에 준하여 다음과 같이 하였다. 정조와 볏짚의 T-N은 conc. H_2SO_4와 분해촉진제(K_2SO_4 : $CuSO_4$ = 9 : 1)으로 분해 후 Kjeldahl법으로 측정하였다. 그리고 정조와 볏짚의 P, K, Ca, Mg 함량 분석을 위해 습식분해액(HNO_3 : $HClO_4$: H_2SO_4 = 10 : 4 : 1)으로 분해하여 P는 Vanado molybdate 법, K, Ca, Mg는 ICP를 이용하여 측정하였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

라) 미질특성

이때 백미의 도정특성은 쌀 외관 품위측정기(KETT RN-500)를 이용하여 정현비, 완전립, 분상질, 싸라기, 피해립 및 동할립를 조사하였다. 미질평가를 위해 식미에 직접적인 영향을 주는 것으로 알려진 아밀로스 함량은 Juliano의 요오드 비색 정량법으로 조사하였으며(Juliano et al., 1981; Perez and Juliano, 1978), 단백질 함량은 쌀 중 총 질소함량(%)에 단백질 환산계수 5.95를 곱하여 환산하였다. Mg/K의 비율은 백미 분말을 Ternery Solution으로 완전분해 후 각각의 함량을 조사하여 계산하였다. 식미의 평가는 최근 미질평가에 널리 이용되고 있는 식미의 평가는 식미계(Toyo MA-90)를 이용하여 분석하였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

다. 시험포장 지역의 시험기간중 기후 특성

시험포장 지역인 하동군의 시험기간(3년간) 동안의 기온과 강수량을 지난 10년간 평균 기온 및 강수량과 비교하여 기후 특성을 조사하였다(Fig. 2-1, 2-2).

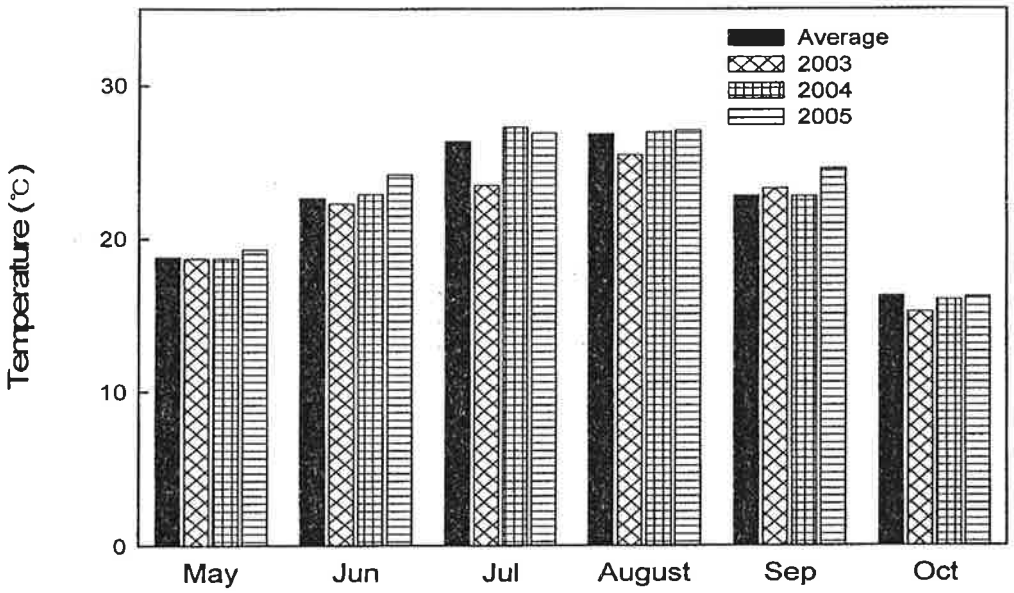

Fig. 2-1. The change in temperatures of Ha-Dong area during cultivation period of rice.

벼농사를 좌우하는 기상요인은 크게 5~6월의 강우량, 7~8월의 일조량, 9~10월의 기온이라 할 수 있다. 그러나 벼 재배시험 기간 동안 하동군 기상특성을 지난 10년간 평균과 비교해 볼 때 전반적으로 강수량은 매우 늘어났고, 일조량은 크게 감소한 것으로 나타났다. 특히 시험 1차년도 7월중 강우량은 평년의 2배에 달하였으며 평균기온도 7월과 8월에는 2~3℃ 정도 낮았다. 이로 인해 평년보다 벼의 초기 생육에 나쁜 영향을 끼쳤으며, 특히 많은 강우는 온도를 저하시키고 일사량을 감소시키며, 공기습도를 높여 광합성을 저해하고, 병해의 만연을 초래할 가능성이 있었다. 시험 2차년도 기후 특성은 8월의 태풍 '메기'의 영향으로 강우량이 증가하였으나 평년과 비슷

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

한 수준이었다. 시험 3차년도는 적당한 강우량과 9~10월의 기온이 양호하여 벼의 생육에 최적의 기상을 보였다.

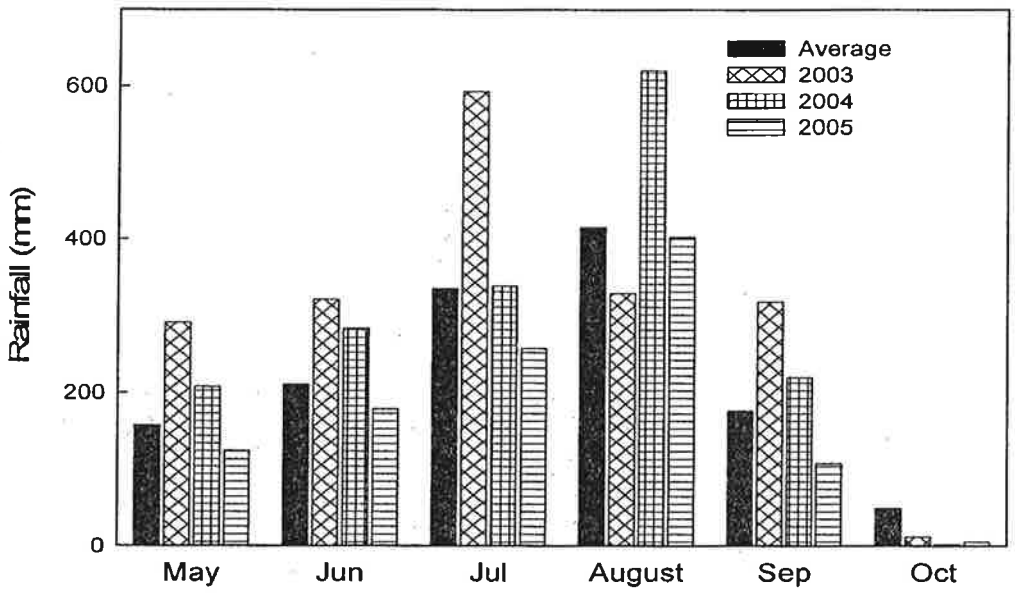

Fig. 2-2. The situation in rainfalls of Ha-Dong area during cultivation period of rice.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

라. 규산질 비료 시용주기에 따른 생육특성

규산 시용주기에 따른 벼 생육 특성은 주요 생육시기인 유효분얼기, 최고분얼기, 유수형성기, 수확기의 총 4회에 걸쳐 초장, 분얼수, 엽색특성 등을 조사하였다.(Table 2-4, 2-5, 2-6)

벼 재배기간 동안 초장의 변화(Table 2-4)는 유수형성기까지 각 처리구간에 뚜렷한 변화는 나타나지 않았으나 유수형성기 이후에 각 처리구간에 약간의 차이가 있었다. 이는 벼의 초장은 출수전 35~20일전부터 출수기 사이에 급격히 이루어지는 것이 일반적이며, 출수기 이후에는 이삭이 분화되어 영양생장을 멈추어 줄기 신장이 둔화되고 생식생장기로 전환되기 때문이다. 전체적으로 1, 2차년도 시험에서는 볏짚무처리에 비하여 볏짚환원처리구에서 초장이 높게 나타나는 경향이었고, 3차년도 시험에서는 볏짚무처리구에서 초장이 약간 증대되는 경향을 보였으나 처리간의 통계적 유의차는 인정되지 않았다.

분얼수(Table 2-5)는 최고분얼기 이후 감소하는 경향을 나타내어 일반적인 생육특성을 보였다. 일반적으로 벼는 유수형성기 이전에 발생한 분얼만이 이삭을 내는 유효분얼이 되기 때문에 최고분얼기의 분얼수보다 출수기 이후의 분얼수가 다수확에 더욱 큰 영향을 끼치므로 유형성기 이전의 분얼이 더 중요하다. 규산시용주기에 따른 분얼수는 4년1주기 처리구와 2년1주기 처리구가 다른 처리구에 비하여 유수형성기 이전에 더 많은 분얼수를 나타내었으며, 1차년도를 제외한 2, 3차년도 시험에서 볏짚환원조건 처리구에서 볏짚무처리구에 비하여 더 많은 분얼수를 나타내었다. 이는 오(1976) 및 Watanabe(1984) 등이 볏짚시용에 의해 나타나는 단발성 유기산과 각종 독성물질의 과다한 집적이 수도의 초기 생육을 억제하는 경우가 있기 때문에 분얼수가 감소된다고 보고한 결과와 유사하였다. 또한 정(1985)은 규산질비료와 볏짚의 공동 시용이 수도의 초형을 이상적으로 발달시키고 특히 최고분얼기 이후에 효과가 커서 정조수량이 증가된다고 보고하기도 하였다.

엽색도(Table 2-6)는 최고분얼기에 가장 높았고 이후 감소하는 경향을 보였으나 생육시기별 각 처리구간에는 뚜렷한 큰 차이는 나타나지 않았다. 일반적으로 엽색은 엽록소 농도와 매우 높은 상관을 보이고, 품종의 특성에 따라 차이를 나타내므로 이를 충분히 고려해야 할 것이다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-4.Changes of rice plant height during cultivation (Unit : cm)

Years	Treatment	Tillering stage	Maximum tillering stage	Panicle formatiom stage	Heading stage	Harvesting season
1st year	Control	25.5	47.8	57.9	85.2	80.5
	Si(4Y1)	24.5	48.4	60.2	87.5	85.5
	Si(2Y1)	25.3	48.7	57.6	84.1	79.1
	Si(1Y1)	24.8	49.5	58.3	82.3	80.0
2nd year	Control	33.4	56.2	73.2	93.4	85.6
	Si(4Y1)	30.3	56.0	69.2	87.6	80.8
	Si(2Y1)	30.0	54.3	68.4	89.9	81.1
	Si(1Y1)	30.6	55.0	69.4	91.0	83.1
3rd year	Control	36.7	63.9	76.3	104.4	97.5
	Si(4Y1)	35.0	60.5	74.6	101.4	93.4
	Si(2Y1)	35.1	58.8	75.6	101.9	93.7
	Si(1Y1)	37.3	60.6	72.8	99.3	93.3
1st year	Straw	25.7	49.1	60.7	87.9	82.3
	Si(4Y1)+Straw	26.9	50.6	61.8	85.6	82.7
	Si(2Y1)+Straw	26.8	50.9	61.1	87.1	85.3
	Si(1Y1)+Straw	27.5	49.1	60.4	88.0	87.4
2nd year	Straw	31.9	59.1	72.8	89.9	81.1
	Si(4Y1)+Straw	30.8	59.7	74.7	95.2	87.4
	Si(2Y1)+Straw	32.3	58.4	71.4	92.1	88.4
	Si(1Y1)+Straw	33.7	57.6	77.6	94.7	87.4
3rd year	Straw	35.5	60.7	77.1	100.1	93.2
	Si(4Y1)+Straw	37.0	63.2	78.2	99.4	93.9
	Si(2Y1)+Straw	35.6	65.0	74.1	97.2	91.1
	Si(1Y1)+Straw	35.7	60.2	77.7	96.3	93.0

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-5. Changes of tiller number during rice cultivation (Unit : no./ear)

Years	Treatment	Tillering stage	Maximum tillering stage	Panicle formatiom stage	Heading stage	Harvesting season
1st year	Control	19.1	22.3	21.0	20.4	16.7
	Si(4Y1)	12.7	23.0	20.6	19.8	18.5
	Si(2Y1)	15.1	23.9	20.5	20.0	16.5
	Si(1Y1)	16.8	21.1	20.9	20.3	18.5
2nd year	Control	18.8	21.1	18.2	19.4	15.0
	Si(4Y1)	18.5	24.3	21.6	18.8	13.1
	Si(2Y1)	17.8	24.8	22.3	20.9	16.2
	Si(1Y1)	16.9	21.4	20.2	20.1	16.0
3rd year	Control	20.3	17.7	18.3	14.2	13.2
	Si(4Y1)	17.9	18.9	19.7	17.3	14.6
	Si(2Y1)	23.7	18.3	18.0	15.0	14.9
	Si(1Y1)	24.0	20.3	18.2	14.3	16.3
1st year	Straw	16.0	23.9	21.0	20.0	17.3
	Si(4Y1)+Straw	17.2	20.7	18.6	18.5	17.3
	Si(2Y1)+Straw	11.3	19.7	18.6	18.3	17.9
	Si(1Y1)+Straw	11.1	21.5	19.3	18.5	17.6
2nd year	Straw	19.9	26.7	22.0	18.4	18.1
	Si(4Y1)+Straw	14.2	31.2	20.7	17.7	14.4
	Si(2Y1)+Straw	16.6	31.7	20.9	16.6	14.1
	Si(1Y1)+Straw	18.3	20.1	19.1	16.4	14.4
3rd year	Straw	23.7	18.4	18.9	15.4	13.8
	Si(4Y1)+Straw	23.2	27.0	20.9	16.1	14.6
	Si(2Y1)+Straw	23.8	21.3	18.7	17.1	13.8
	Si(1Y1)+Straw	22.1	19.6	19.3	15.7	17.6

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-6. Changes of leaf colors during rice cultivation (Unit : SPAD)

Years	Treatment	Tillering stage	Maximum tillering stage	Panicle formatiom stage	Heading stage
1st year	Control	38.2	44.9	38.7	42.6
	Si(4Y1)	41.9	44.0	39.7	43.2
	Si(2Y1)	39.6	44.4	39.8	41.6
	Si(1Y1)	40.9	44.6	40.1	42.3
2nd year	Control	38.5	37.6	35.5	40.5
	Si(4Y1)	38.9	35.0	34.0	42.3
	Si(2Y1)	39.8	37.3	34.0	40.4
	Si(1Y1)	39.5	37.3	34.4	42.5
3rd year	Control	36.3	35.9	37.4	41.3
	Si(4Y1)	36.4	34.9	38.4	44.4
	Si(2Y1)	37.0	35.7	36.6	40.7
	Si(1Y1)	37.2	36.0	37.3	44.9
1st year	Straw	39.6	44.5	38.4	42.9
	Si(4Y1)+Straw	40.0	44.8	38.4	42.5
	Si(2Y1)+Straw	39.8	43.9	39.0	41.8
	Si(1Y1)+Straw	40.5	44.3	38.3	42.7
2nd year	Straw	39.5	35.8	32.9	40.3
	Si(4Y1)+Straw	40.1	38.9	35.1	41.4
	Si(2Y1)+Straw	40.5	39.6	34.6	40.6
	Si(1Y1)+Straw	39.4	38.0	35.3	42.3
3rd year	Straw	36.6	36.5	37.7	44.7
	Si(4Y1)+Straw	36.6	36.7	37.7	43.2
	Si(2Y1)+Straw	36.4	37.2	34.4	43.9
	Si(1Y1)+Straw	35.7	35.4	36.5	44.7

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

마. 벼 수량 및 수량구성요소

관행 처리구(NPK) 정조수량은 1년차에 5219 kg ha^{-1}, 2년차에 5652 kg ha^{-1}, 3년차에 5232 kg ha^{-1}으로 조사되었고, 4년 1주기 규산시용 처리구의 정조수량은 NPK에 비해 1년차에 약 9%, 2년차에 4% 증가되었으나, 3년차에는 NPK와 정조수량 차이는 발생하지 않았다. 2년 1 주기 규산 시용 처리구의 정조수량은 NPK에 비해 1년차에 4%가 증수되었고, 2차년에는 NPK에 비해 정조수량 차이를 나타내지 않았다. 그러나 3년차에 2년 1주기 규산질 비료를 재시용(804 kg ha^{-1})함으로써 NPK의 정조수량에 비해 약 4%의 증수가 있었다. 1년 1주기 규산시용구(402 kg ha^{-1})의 연차별 정조수량은 각각 5371, 5776, 5536 kg ha^{-1}으로 조사되었고, 이는 연차별 NPK의 정조수량에 비해 각각 약 3, 3, 5 %의 정조수량 증가가 있었다.

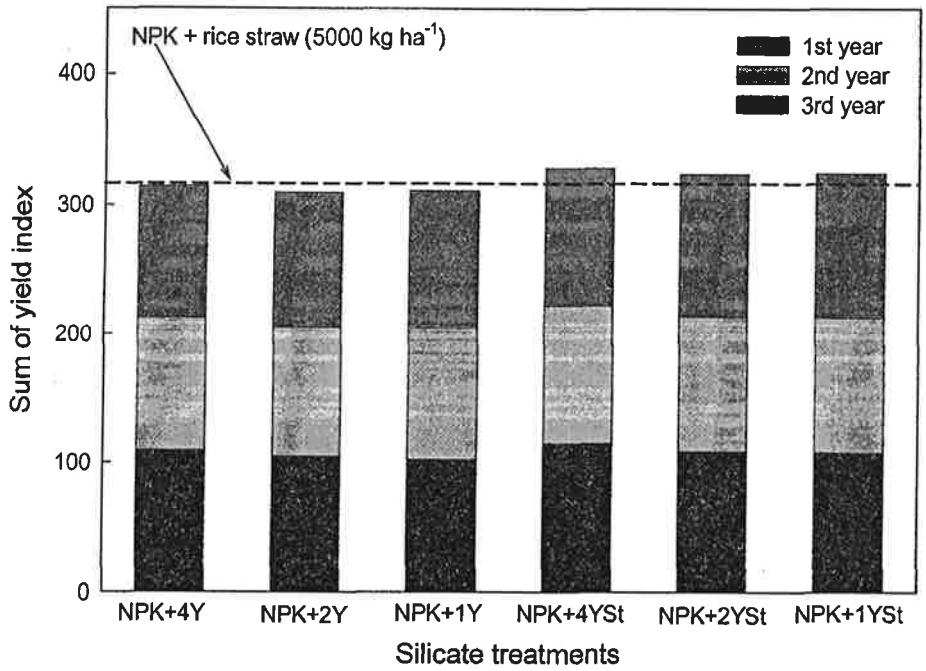

Fig. 2-3. Changes of average of rice grain yield after harvest for 3years.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

규산을 시용함으로 정조수량을 증수할수 있었으나, 4년 1주기 규산처리는 3년차에 정조수량 증대가 없었고, 2년 2주기는 규산 시용 2년차에 정조수량 증대는 없었으나, 2년 1주기 규산 재시용에 의해 정조수량은 증수되었다. 그러나 1년 1주기는 1년차에 정조수량 증대는 미미하였고, 시용횟수가 늘어날수록 정조수량은 증가하는 경향을 나타내었다.

볏짚을 매년 500 kg h^{-1}을 시용한 관행 처리구(NPK)의 연차별 정조수량은 5583, 5858, 5482 kg ha^{-1}으로 볏짚을 무시용한 NPK 처리구에 비해 각각 7, 12, 5%의 정조수량 증수가 있었다. 볏짚을 시용과 함께 4년 1주기 규산을 시용 처리구의 정조수량은 NPK에 비해 연차별 정조수량은 각각 약 15, 16, 6% 증가하였다. 2년 1주기 규산 시용 처리구는(Si2Y1+Starw)는 정조수량은 1년차에 5703 kg ha^{-1}, 2년차 5978 kg ha^{-1}, 3년차 5724 kg ha^{-1}으로 조사되었고, 이는 NPK에 비해 약 9, 14, 9%의 정조수량이 증수되었다. 1년 1주기는 연차별 정조수량은 각각 5651, 5997, 5780 kg ha^{-1}으로 NPK에 비해 각가 약 8, 14, 10 %의 정조 수량이 증가하였다.

매년 500 kg ha^{-1}을 시용한 볏짚 환원은 무시용구의 동일 처리구의 정조수량을 조사한 결과 볏짚시용에 의해 정조 수량은 볏짚무시용구에 비해 약 6 ~ 10%의 정조수량이 증대되었고, 규산 시용주기에 따른 정조수량은 볏짚환원에 의해 정조수량은 무시용에 비해 증대되었으나, 규산시용주기에 따른 정조수량은 볏짚무시용 규산 시용주기와 유사한 경향을 나타내었다. 수량구성요소 중 4년 1주기, 2년 1주기, 1년 1주기의 규산시용주기가 주당수수에 영향을 미쳤고, 매년 볏짚을 500 kg ha^{-1}을 시용에 따른 규산시용주기의 주당 입수와 수수 증가되었다. 볏짚 시용은 아마도 주당 입수에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 또한 수량구성요소 중 천립중과 등숙률은 처리구간에 뚜렷한 차이를 발견할 수 없었다.

그동안 많은 연구를 통해 규산은 벼의 수광성 향상, 도복저항성 향상, 질소이용율 증대 및 내병성 증대 등을 통하여 벼의 수량 증대에 효과가 있는 것으로 확인되었다.

1975년도부터 2002년까지 경상북도 농업기술원에서 150 kg/10a의 규산질 비료를 장기연용시 3요소구에 비하여 10~19%의 지속적인 증수효과가 있었으며, 벼 수량구성요소의 조사결과 단위면적당 수수와 수당입수가 수량과 1% 수준의 고도의 정의 유의상관이 인정되어 수량에 가장 밀접한 관계가 있다고 보고하기도 하였다(김 등, 2002;

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

김과 최, 2002). 본 연구에서 규산시용은 시용주기에 상관없이 정조수량이 증대되었으나, 재배 년수가 경과함에 따라 4년 1주기는 정조수량 증대효과는 미미하였고, 2년 1주기와 1년 1주기의 정조수량은 약간 증대되는 경향을 나타내었다. 또한 볏짚환원시 약 5~10%의 정조수량 증대효과가 있었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-7. The characters and constituent elements of yields.

Years	Treatment	Yield (kg ha^{-1})	Straw (kg ha^{-1})	Spikelets per panicle (ea)	Panicle number (ea m^{-2})	Wt. of 1000grain (g)	Ripened grain (%)
1st year	Control	5219	4868	74	353	25.3	51.7
	Si(4Y1)	5723	4750	77	374	24.8	71.7
	Si(2Y1)	5494	4162	76	363	25.1	69.7
	Si(1Y1)	5371	4566	76	357	25.7	64.6
2nd year	Control	5652	5600	110	327	23.8	83.2
	Si(4Y1)	5889	4946	114	334	23.4	85.7
	Si(2Y1)	5669	5332	110	331	23.7	84.3
	Si(1Y1)	5776	5140	113	331	23.6	85.7
3rd year	Control	5232	4904	99	315	23.5	82.4
	Si(4Y1)	5283	4932	100	317	23.2	82.5
	Si(2Y1)	5446	5244	102	324	23.3	86.2
	Si(1Y1)	5536	4776	100	329	23.5	86.9
1st year	Straw	5583	4528	85	377	25.6	60.2
	Si(4Y1)+Straw	6038	4654	87	386	25.2	70.5
	Si(2Y1)+Straw	5703	5186	88	376	25.3	69.0
	Si(1Y1)+Straw	5651	4494	86	374	25.4	65.2
2nd year	Straw	5858	5796	113	335	22.7	82.5
	Si(4Y1)+Straw	6068	5372	118	344	26.5	83.4
	Si(2Y1)+Straw	5978	5240	118	335	25.5	83.3
	Si(1Y1)+Straw	5997	6134	119	334	23.9	83.8
3rd year	Straw	5482	5608	101	324	23.6	79.9
	Si(4Y1)+Straw	5541	4720	104	321	23.7	80.3
	Si(2Y1)+Straw	5724	4784	102	329	24.1	82.5
	Si(1Y1)+Straw	5780	4565	101	329	24.2	84.4

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

바. 수확기 양분흡수 및 이용특성

1) 양분흡수특성

규산시용주기에 따른 벼 정조 및 볏짚의 양분함량은 Table 2-8과 같다. 규산시용주기에 따른 정조 질소함량은 평균 10.2~11.5 g kg^{-1}으로 조사되었으나, 규산시용 주기에 따른 처리간 차이를 발견할 수 없었다. 연차별 NPK의 볏짚의 질소함량은 각각 7.2, 5.6, 8.2 g kg^{-1} 이었고, 규산시용주기에 따른 볏짚 질소함량은 규산시용주기와 관계없이 NPK에 비해 5~15% 감소하였다. 매년 볏짚이 500 kg ha^{-1}가 환원된 처리구는 볏짚무시용에 따른 규산시용주기와 유사한 경향을 나타내었고, 정조와 볏짚의 질소함량은 볏짚무시용 처리구에 비해 약 5% 증가되었다.

NPK에 비해 규산시용주기에 따른 정조 및 볏짚의 규산함량은 각각 약 3~5% 증가되었고, 볏짚 환원에 따른 규산시용주 처리구의 정조 및 볏짚의 규산함량은 15~30%와 5~15 % 증가되었다. 정조와 볏짚의 칼륨, 칼슘 그리고 마그네슘 등 다른 양분함량은 규산시용주기에 따른 차이가 나타나지 않았으며, 볏짚 시용구에서 볏짚무시용구에 정조와 볏짚의 칼륨, 칼슘 그리고 마그네슘 함량은 처리간 유사한 경향을 보였으며, 통계적인 유의성을 보이지 않았다.

규산시용주기에 따른 질소와 규산 흡수량은 NPK에 비해 약 5 % 증가되었으며, 볏짚을 환원된 규산 처리구에서는 NPK에 비해 약 15 % 와 20 % 의 질소와 규산흡수량이 증대되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-8. Principal nutrient contents in plants in harvesting stage.

Years	Treatment	Nutrient content of paddy rice (g kg^{-1})						Nutrient content of Straw (g kg^{-1})					
		N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	CaO	MgO
1st year	Control	10.5	6.9	5.2	0.53	0.87	22.7	7.2	2.5	22.7	3.04	0.50	60.4
	Si(4Y1)	10.2	6.7	4.9	0.37	0.81	23.4	6.7	1.6	13.6	1.80	0.34	65.3
	Si(2Y1)	10.4	7.3	5.1	0.47	0.88	23.2	6.5	2.1	21.6	2.52	0.58	62.7
	Si(1Y1)	10.5	7.0	5.0	0.39	0.87	23.4	6.4	3.2	27.9	3.42	0.71	62.5
2nd year	Control	10.6	4.0	2.8	0.49	1.33	22.7	5.6	4.25	14.9	3.26	0.81	64.2
	Si(4Y1)	10.6	3.6	1.8	0.43	0.88	24.2	4.4	3.75	13.5	3.42	0.73	68.9
	Si(2Y1)	10.7	4.1	2.2	0.43	0.98	24.4	3.9	3.75	12.7	3.39	0.69	67.2
	Si(1Y1)	10.2	3.4	2.2	0.34	0.89	25.0	4.4	3.85	14.4	3.27	0.80	67.9
3rd year	Control	10.6	3.7	2.6	0.47	0.91	26.8	8.2	3.8	20.6	3.74	1.72	66.0
	Si(4Y1)	11.5	5.2	3.6	0.53	1.39	28.5	8.5	4.6	21.6	2.99	1.88	66.7
	Si(2Y1)	10.6	6.0	4.2	0.46	1.68	28.5	7.9	4.6	19.8	2.33	1.48	71.5
	Si(1Y1)	10.6	4.0	2.4	0.57	1.04	29.5	7.9	3.8	17.5	3.46	1.66	71.0
1st year	Straw	11.2	6.9	5.2	0.41	0.84	25.3	7.3	2.2	26.6	3.40	0.65	61.7
	Si(4Y1)+Straw	10.4	6.7	5.1	0.39	0.83	26.1	7.1	2.1	24.1	2.57	0.59	65.8
	Si(2Y1)+Straw	10.6	6.7	5.1	0.39	0.80	26.5	7.2	1.9	18.5	1.84	0.39	64.6
	Si(1Y1)+Straw	10.7	7.4	5.2	0.39	0.90	26.4	7.2	2.3	16.2	1.97	0.69	62.5
2nd year	Straw	11.2	4.1	2.1	0.42	1.06	24.3	5.2	4.35	14.3	3.44	0.80	69.9
	Si(4Y1)+Straw	11.5	5.2	2.3	0.56	1.43	24.8	4.4	3.60	14.0	3.45	0.83	78.8
	Si(2Y1)+Straw	11.1	3.2	1.8	0.43	0.79	24.9	4.4	3.80	13.6	3.16	0.75	69.1
	Si(1Y1)+Straw	10.5	6.4	2.8	0.57	1.75	25.1	5.0	4.45	15.0	3.42	0.77	68.4
3rd year	Straw	12.7	4.9	3.2	0.52	1.37	27.0	10.5	4.1	16.5	4.34	2.31	73.7
	Si(4Y1)+Straw	11.4	5.3	3.5	0.51	1.54	32.3	10.1	5.4	15.8	3.28	1.32	75.3
	Si(2Y1)+Straw	10.2	5.0	3.1	0.44	1.49	35.4	9.6	4.6	17.8	3.00	1.73	76.5
	Si(1Y1)+Straw	10.3	7.2	4.4	0.53	2.12	35.5	8.7	5.0	17.4	3.88	1.76	75.1

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-9. The characters of principal nutrient contents in plants in harvesting stage. (unit : kg ha^{-1})

Years	Treatment	Nutrient absorbed amount of paddy rice				Nutrient absorbed amount of Straw				Nutrient absorbed amount of Total			
		N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2
1st year	Control	55	36	27	118	35	12	110	294	89	48	137	413
	Si(4Y1)	59	39	28	134	35	9	71	342	94	47	99	476
	Si(2Y1)	57	40	28	128	33	11	109	316	90	51	137	444
	Si(1Y1)	56	38	27	126	32	16	139	311	88	54	165	437
2nd year	Control	60	23	15	131	31	24	83	360	90	46	98	492
	Si(4Y1)	62	21	10	144	25	21	77	389	88	42	87	541
	Si(2Y1)	61	23	12	136	21	20	69	369	81	43	81	501
	Si(1Y1)	58	19	12	143	24	21	79	248	82	40	91	515
3rd year	Control	55	19	13	139	42	19	105	340	97	38	118	482
	Si(4Y1)	61	27	19	151	43	23	110	345	104	51	129	503
	Si(2Y1)	59	34	24	156	42	24	105	254	101	58	129	549
	Si(1Y1)	57	22	13	161	43	21	96	390	101	42	109	553
1st year	Straw	63	38	29	142	40	12	147	341	103	50	176	482
	Si(4Y1)+Straw	63	41	31	158	41	12	141	385	105	53	171	542
	Si(2Y1)+Straw	60	38	29	151	39	11	102	354	100	49	131	505
	Si(1Y1)+Straw	60	41	29	149	39	12	87	342	100	54	116	490
2nd year	Straw	66	25	13	143	31	26	84	402	98	50	96	553
	Si(4Y1)+Straw	70	32	14	150	26	21	81	454	96	53	95	607
	Si(2Y1)+Straw	66	19	11	149	25	21	77	394	91	41	87	541
	Si(1Y1)+Straw	63	37	16	150	29	25	85	387	90	63	101	534
3rd year	Straw	70	27	17	148	55	21	87	392	125	48	105	536
	Si(4Y1)+Straw	63	30	19	179	54	29	85	405	117	58	104	582
	Si(2Y1)+Straw	57	28	18	203	53	26	99	416	110	54	116	615
	Si(1Y1)+Straw	59	41	25	205	49	28	98	421	108	69	123	624

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 질소 이용율 및 규산흡수량

규산시용주기에 따른 질소의 식물체내 흡수량과 이용율에 대한 결과는 Table 2-9, 2-10 에서 보여주고 있다. 질소흡수량은 4년1주기 규산시용은 NPK에 비해 1년차에 약 6%, 2년차에 2% 감소하였고, 3년차에는 약 7%가 증가하였다. 2년 1주기는 1년차에 NPK에 차이가 없었고, 2년차에는 8% 감소, 3년차에는 5% 증가하였다. 1년 1주기는 1년차에는 NPK에 비해 차이가 없었고, 2년차에는 7% 감소, 3년차에는 4% 증가가 있었다.

규산시용시 질소이용율은 NPK에 비해 향상되는데, 본연구에서는 2년차에서 2년1주기와 1년 1주기의 질소이용율이 NPK에 감소되었다. 이는 생육초기 물바구미 피해와 생육중기 이후에 목도열병이 질소소이용에 영향을 주었던 것으로 생각된다.

매년 500 kg ha^{-1}의 볏짚시용한 NPK+Straw의 질소이용율은 NPK에 비해 약 5%가 증가되었고, 볏짚 무시용의 규산처리구에 비해 볏짚시용 규산처리구의 질소이용율이 약 3~6% 증가되었는데, 이는 볏짚에 의해 질소가 공급된 것으로 해석된다.

3 년동안 연구결과를 종합하면 규산시용 주기에 관계없이 규산 시용은 식물체의 질소흡수량 증대에 의한 질소이용율이 향상되었다. 또한 규산 시용주기에 볏짚을 매년 500 kg ha^{-1} 시용함으로써 볏짚 무시용에 비해 질소흡수량과 질소이용율이 증대되었다. 규산 시용주기는 NPK 정조수량을 기준으로 할때 4년 1주기는 1년차에 시용효과가 가장 좋았으나 재배년수가 경과함에 따라 정조수량에 미치는 영향은 미미하였다. 그러나 2년 1주기 및 1년 1주기의 규산 시용은 NPK의 정조수량과 비교할 때 정조수량 감소없이 다소 증가하는 경향의 정조수량을 나타내었다. 그리고 규산시용 주기 처리구에 매년 500 kg ha^{-1}의 볏짚 시용은 볏짚 무시용에 비해 주당입수 증대, 질소흡수량 증대에 인한 질소이용율에 영향을 미쳤고, 볏짚무시용구의 정조수량에 비해 정조수량 증수에 영향을 미치는 평가되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-10. Use effiency of N and silicate fertilizer in plants in harvesting stage.

Years	Treatment	N		SiO_2	
		Absorbed amount (kg ha^{-1})	Use efficiency(%)	Absorbed amount (kg ha^{-1})	Use[3] efficiency(%)
1st year	Control[1]	89	22.5	413	-
	Si(4Y1)	94	26.5	476	3.9
	Si(2Y1)	90	22.9	444	3.9
	Si(1Y1)	88	21.3	437	6.1
2nd year	Control	90	22.9	482	-
	Si(4Y1)	88	20.5	541	3.6
	Si(2Y1)	81	14.5	521	4.9
	Si(1Y1)	82	15.7	515	8.2
3rd year	Control	97	26.8	482	-
	Si(4Y1)	104	33.9	503	1.3
	Si(2Y1)	101	31.3	549	8.3
	Si(1Y1)	101	30.6	553	17.6
1st year	Straw[2]	102	27.4	482	-
	Si(4Y1)+Straw	105	28.9	542	3.7
	Si(2Y1)+Straw	100	24.4	515	4.1
	Si(1Y1)+Straw	100	24.4	510	6.9
2nd year	Straw	98	19.7	513	-
	Si(4Y1)+Straw	99	18.1	607	5.9
	Si(2Y1)+Straw	91	14.0	541	3.4
	Si(1Y1)+Straw	90	12.9	534	5.2
3rd year	Straw	125	36.6	536	-
	Si(4Y1)+Straw	117	29.3	582	2.9
	Si(2Y1)+Straw	110	23.1	615	9.9
	Si(1Y1)+Straw	108	20.7	624	21.9

[1]질소이용율(%) = (처리구의 질소흡수량-PK 질소흡수량)/질소시비량 ×100.

[2]질소이용율(%) = (Starw 처리구의 질소흡수량-PK+Straw 질소흡수량)/질소시비량 ×100

[3]규산이용율(%) = (처리구의 규산흡수량-무규산구의 규산흡수량)/규산시비량 ×100

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

사. 규산질 비료 시용에 따른 미질 특성

1) 규산시용 주기에 따른 백미품위 특성

백미 품위 특성 중 완전미(perfect kernel)는 정상적인 쌀의 3/4 이상의 형태를 가지고 있는 쌀로서 싸라기, 착색립, 불완전 등숙립을 제거한 쌀이므로 완전미의 비율이 높아질수록 미질이 우수해지며 높은 등급을 받을 수 있다.

규산 시용주기에 따른 백미도정특성 및 백미품위특성을 조사한 결과는 Table 2-11와 같다. 완전미의 비율은 규산처리에 의해 다소의 증대가 있었으나 처리간 통계적 유의차는 발견되지 않았다. 볏짚이 환원된 규산 시용주기 조건에서 완전미 비율은 규산 시용량이 증가할수록 완전미의 비율이 상승하는 경향을 볼 수 있었다. 1년차에 완전미 비율은 4년1주기 > 2년1주기 > 1년1주기 순으로 높았다. 2년차(2004)에는 공시지역에 출수기 이후 많은 강우량의 영향으로 규산시용 주기 조건에서 볏짚무시용 및 시용된 모든 처리구에서 완전립 비율이 17~46% 정도로 현저하게 낮게 나타났다. 또한 정조의 건조 불량으로 동할립과 분상질 비율이 높게 나타났다. 따라서 2년차에는 규산 시용 주기에 따른 처리간 백미 품위특성 차이를 확인할 수 없었다. 그러나 규산 시용 주기 조건에서 볏짚 무시용에 비해 완전립의 비율이 11~16% 정도 향상되었으나, 통계적인 유의차가 인정되지 않았다.

3 년차(2005)에는 적당한 강우량과 기온으로 인해 전 처리구의 완전립의 비율이 1, 2년차에 비해 현저하게 증가하였다. 3 년차의 규산시용 주기에 따른 완전미 비율은 NPK에 비해 2년 1주기와 1년 1주기 처리구가 NPK에 비해 약 3% 향상되었으나, 통계적인 유의차는 없었다. 그러나 볏짚이 환원된 규산 시용주기 조건의 완전미 비율은 4년1주기와 2년1주기가 거의 유사하였고 다음으로 1년1주기 순으로 높았다. 완전미 비율은 규산시용 주기에 의해 약 3% 향상을 나타내었고, 규산 시용주기 조건에서 볏짚환원에 의해 볏짚 무시용에 비해 약간 향상되었으나, 통계적인 유의차는 인정되지 않았다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-11. Effects of silicate on rice physical quality.

Years	Treatment	Percent(%)						Whiteness
		Brown/ Rough	Prefect kernel	Powery	Broken rice	Damaged kernel	Broken kernel	
1st year	Control	78.8	47.1	19.7	3.3	29.7	0.1	32.2
	Si(4Y1)	80.7	61.7	27.8	3.5	6.8	0.2	35.7
	Si(2Y1)	79.2	56.3	23.0	4.1	16.5	0.1	34.8
	Si(1Y1)	80.3	56.7	21.8	3.8	17.6	0.1	35.7
2nd year	Control	81.1	34.0	41.9	2.3	0.0	21.7	39.7
	Si(4Y1)	82.3	23.4	50.8	1.8	0.0	24.0	38.9
	Si(2Y1)	81.3	28.8	44.9	2.5	0.0	23.7	38.3
	Si(1Y1)	82.0	17.0	50.4	1.3	0.0	31.4	37.5
3rd year	Control	81.7	90.8	1.6	4.4	0.0	3.2	39.6
	Si(4Y1)	80.1	90.4	1.8	4.7	0.3	2.9	33.3
	Si(2Y1)	80.6	92.8	1.7	3.6	0.1	2.7	35.3
	Si(1Y1)	80.3	92.8	1.7	2.0	0.4	3.2	36.9
1st year	Straw	79.8	53.9	22.2	2.7	21.1	0.1	35.6
	Si(4Y1)+Straw	79.7	56.6	28.2	4.1	11.0	0.1	36.8
	Si(2Y1)+Straw	79.3	53.2	22.9	2.9	21.0	0.1	33.9
	Si(1Y1)+Straw	79.7	53.8	23.0	3.1	20.1	0.0	36.0
2nd year	Straw	82.0	45.8	36.7	1.1	0.0	16.4	39.0
	Si(4Y1)+Straw	82.3	39.6	37.8	1.7	0.0	20.9	39.1
	Si(2Y1)+Straw	82.0	35.2	41.4	2.1	0.0	21.3	38.2
	Si(1Y1)+Straw	82.4	34.3	37.4	2.9	0.1	25.3	39.5
3rd year	Straw	81.7	92.8	1.6	2.1	0.1	3.4	35.7
	Si(4Y1)+Straw	81.6	95.7	1.5	0.8	0.0	2.0	38.3
	Si(2Y1)+Straw	80.9	95.2	1.0	2.1	0.3	1.4	34.2
	Si(1Y1)+Straw	81.2	94.6	1.4	1.8	0.0	2.2	36.3

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 규산시용 주기에 따른 화학적 특성 및 식미치

식미와 관련된 쌀의 이화학적 특성과 식미계로 분석된 식미치 특성을 조사한 결과는 표 2-10과 같다. 식미와 밀접한 관계를 나타내는 쌀의 이화학적 특성에는 아밀로스 함량, 단백질 함량, Mg/K비 등이 있다. 쌀의 주성분은 전체 중량의 약 75%가 전분으로서 이에는 amylose와 amylopectin이 있으며 이 둘의 조성비는 쌀의 식미를 예측할 수 있는 가장 중요한 특성으로서 아밀로스 함량이 높을수록 밥의 경도는 커지고 점성은 떨어지는 것으로 알려져 있으며 아밀로스 함량이 20%이하가 양질미에 속하는 것으로 알려져 있다. 그리고 Mg/K비는 밥의 찰기를 나타내는 척도로 높을수록 양질미로 평가하고 있다. 또 현미의 20%는 규산성분으로 되어 있으며 규산은 질소과잉흡수를 억제하여 단백질 함량을 낮추며, 벼줄기의 강도를 3~4배 높여 등숙조건이 좋아지며, 도열병, 벼멸구, 이화명충에 견디는 힘을 높여 농약을 적게 사용해도 되므로 미질을 높인다고 알려져 있다. 단백질 함량은 밥의 경도와 밀접한 관계를 가지고 있으며 약 7~9%가 양질미로 분류하고 있다.

본 시험에서는 볏짚처리 유무에 따른 아밀로스 함량은 전반적으로 19~20% 이하로서 양질미 기준에 속하였으나 전 처리간 아밀로스 함량의 차이는 찾을 수 없었다. 규산 시용 조건에서 1 년차의 백미의 단백질 함량과 식미치는 차이는 나타나지 않았으며, 2년차에는 백미의 단백질 함량은 처리간 차이가 없었고, 식미치는 2년 1주기와 1년 1주기에서 약 8의 식미치가 향상되었다. 이는 2년 1주기와 1년 1주기 처리구에서 Mg/K 비율이 증가된 이유로 해석된다. 3년차에 는 NPK의 단백질 함량에 비해 4년1주기, 2년1주기, 1년1주기의 단백질 함량은 각각 10%가 감소와 Mg/K 비율이 증가하였고, 이때 식미치는 2년 1주기와 1년 1주기에서 NPK에 비해 약 5%가 향상되었다.

볏짚이 환원된 규산 시용주기 조건에서는 볏짚 무시용에 비해 백미의 단백질 함량 높았으며, Mg/K 비율은 4년 1주기, 2년 1주기, 1년 1주기로 갈수록 증가하는 경향을 나타내었으나, 식미치는 처리간 유사한 경향을 나타내었다. 그러므로 규산시용조건에서 볏짚의 환원은 백미의 단백질함량을 증가함으로써 볏짚무시용의 규산시용주기 조건의 처리구에 비해 식미치가 다소 낮추는 것으로 평가되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-12. Effects of silicate on the chemical quality of milled rice.

Years	Treatment	Moisture content (%)	Amylose (%)	Protein (%)	Mg/K ratio	Tasste value[1)]
1st year	Control	10.6	18.3	5.8	0.67	62
	Si(4Y1)	10.8	18.4	5.8	0.89	66
	Si(2Y1)	10.2	18.3	5.8	0.62	62
	Si(1Y1)	10.6	18.5	5.8	0.69	62
2nd year	Control	10.4	19.2	5.6	0.53	65
	Si(4Y1)	10.8	19.5	5.8	0.58	66
	Si(2Y1)	10.8	19.1	5.8	0.55	70
	Si(1Y1)	10.7	19.2	5.6	0.65	70
3rd year	Control	12.5	19.4	6.7	0.98	68
	Si(4Y1)	12.1	19.9	6.1	0.97	68
	Si(2Y1)	12.4	19.2	6.2	1.08	71
	Si(1Y1)	12.3	19.5	6.2	1.03	71
1st year	Straw	12.6	19.0	6.7	0.95	57
	Si(4Y1)+Straw	12.3	18.4	6.9	0.91	60
	Si(2Y1)+Straw	12.8	19.2	6.9	0.97	62
	Si(1Y1)+Straw	12.8	19.1	6.6	1.00	62
2nd year	Straw	12.5	19.1	6.4	0.56	65
	Si(4Y1)+Straw	12.6	18.9	5.8	0.56	64
	Si(2Y1)+Straw	12.6	19.4	6.1	0.58	65
	Si(1Y1)+Straw	12.4	19.3	5.9	0.55	65
3rd year	Straw	12.9	19.4	8.8	1.00	65
	Si(4Y1)+Straw	12.1	19.8	8.1	1.00	65
	Si(2Y1)+Straw	12.4	21.6	8.3	1.19	66
	Si(1Y1)+Straw	12.4	20.0	7.0	1.01	66

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

아. 토양의 이화학적 특성

1) 토양 pH 변화

규산질 비료는 규산성분 외에 알카리분을 40% 이상 함유하고 있어 pH가 10정도 되는 알카리성 비료이기 때문에 작물의 규산공급 뿐만 아니라 산성화된 토양 개량을 목적으로 많이 사용된다. 우리나라에서는 1965년부터 규산질 비료가 공급되기 시작하였으며 1997년부터 100% 국가 보조사업으로 전환하여 현재까지 규산질 비료를 공급하고 있다. 벼의 생육에 적합한 pH 범위는 4.3~7.0 이며 토양이 산성화되면 식물의 뿌리 자람을 나쁘게 하고, 중금속이 쉽게 녹아 작물에 흡수되기도 하고, 토양미생물의 활동을 불량하게 할 뿐만 아니라 인산흡수도 방해한다. 따라서 적합한 pH 유지는 토양의 이화학성을 개량하는 기본조건이 되고 이에 따라 정상적인 작물 생육을 기대할 수 있게 되는 것이다.

볏짚과 규산질 비료 시용에 의한 토양 pH 변화는 Fig. 2-4과 같다. 전 재배기간 동안 토양 pH는 규산의 공급량이 증가할수록 높게 나타났으며, 볏짚환원처리구의 pH가 볏짚무처리구보다 높게 나타났다. 특히 3차년도(2005년)의 토양 pH는 전처리구에서 pH 6.0 이상을 나타내어 볏짚과 규산을 통하여 토양 pH가 증가되었음을 알 수 있었으며, 박 등(2003)도 규산질비료의 장기 연용에 따른 pH의 변화는 pH 6.0 이상으로 계속 증가하는 경향을 보였다고 보고하였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

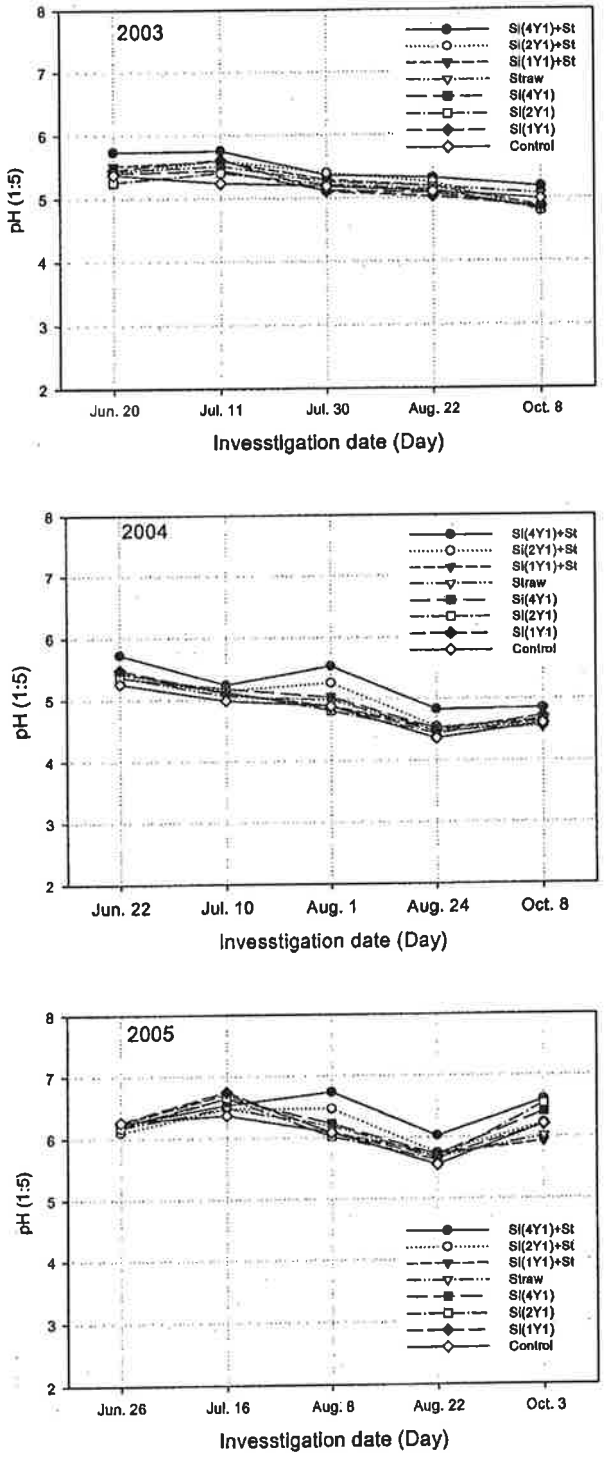

Fig. 2-4. Changes of pH in soils during rice cultivation.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

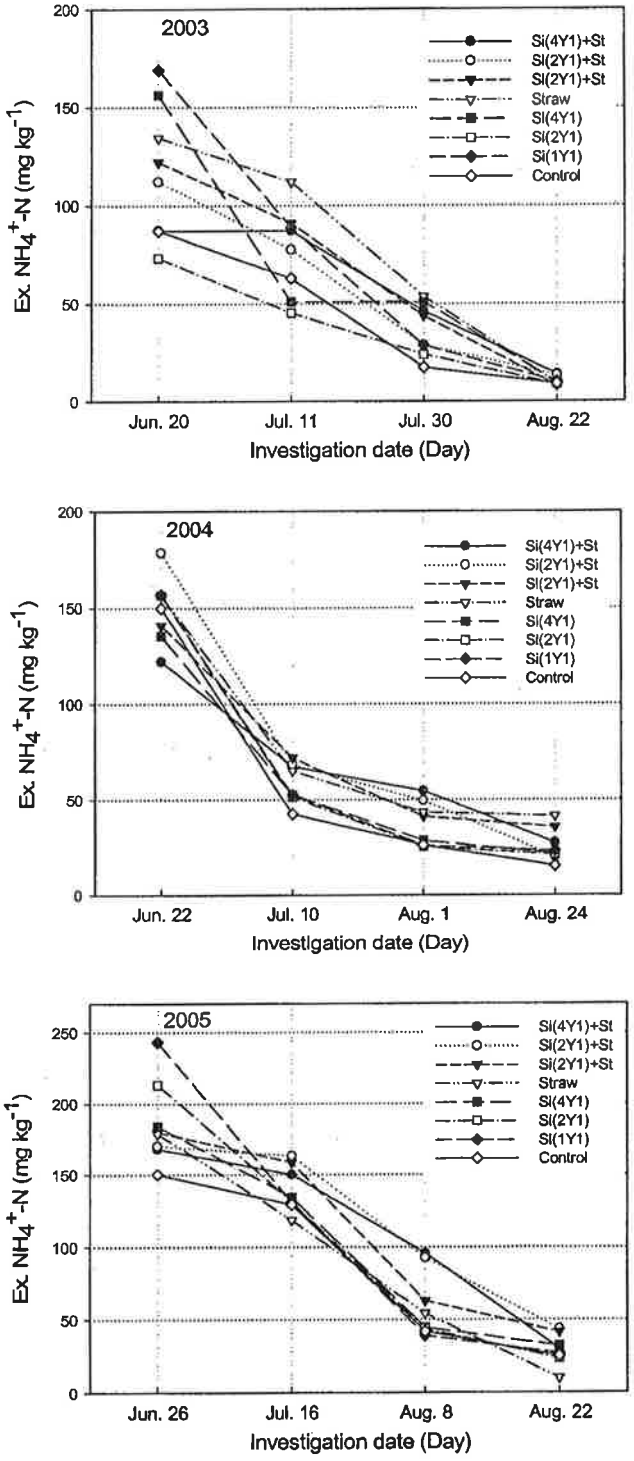

Fig. 2-5. Changes of NH_4-N amounts in soils during rice cultivation.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 토양내 암모니아태질소 함량 변화

벼 재배기간 중 토양내 치환성 NH_4^+-N 함량 변화는 Fig. 2-5와 같다. 벼 생육초기에 토양내 치환성 NH_4^+-N 함량은 전체적으로 생육초기에는 증가하였다가 점점 감소하는 경향을 나타내었으며, 볏짚환원 처리구가 볏짚 무처리구에 비해 다소 약간 높은 경향을 나타내었었다.

3) 토양내 유효규산 함량 변화

볏짚과 규산질 비료 시용에 따른 토양내 유효규산(Av. SiO_2)함량 변화는 Fig. 2-6과 같다. 벼 생육기간 동안 토양내 유효규산함량은 볏짚무처리구에 비하여 볏짚환원처리구에서 높게 나타났으며 볏짚 환원을 통한 규산공급효과가 있는 것으로 평가되었다. 본 시험기간동안 환원된 볏짚중의 규산함량은 전체적으로 약 6~8% 범위였으므로 볏짚환원처리구에는 매년 볏짚을 통하여 약 300~400 kg ha^{-1}의 규산(SiO_2)이 공급되었음을 알 수 있다.

규산시용주기에 따른 토양내 규산함량 변화는 1차년도의 경우 4년1주기 > 2년1주기 > 1년1주기 순으로서 초기 규산투입량 높을수록 토양내 잔존하는 규산함량이 높았으며, 벼 생육시기가 경과할 수록 토양내 규산함량은 감소되었다. 2차년도의 경우에는 규산처리 4년1주기와 2년1주기 처리구의 규산함량이 1년차에 비하여 감소되었으며, 3년차에는 2년1주기처리구의 경우에는 규산재시용에 의해 규산함량이 증가되었으고 4년1주기는 지속적으로 감소되었다. 매년 주기적으로 규산이 시용된 1년1주기는 시험년차가 경과할수록 규산함량이 약간씩 증가되는 경향이었다.

우리나라 적정 규산시용 권장량인 130 mg kg^{-1}을 기준으로 볼 때 규산 처리 4년1주기의 경우에는 시험 3차년도의 토양중 규산함량이 약 115~135 mg kg^{-1}으로서 2년1주기와 1년1주기에 비하여 낮게 나타났다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

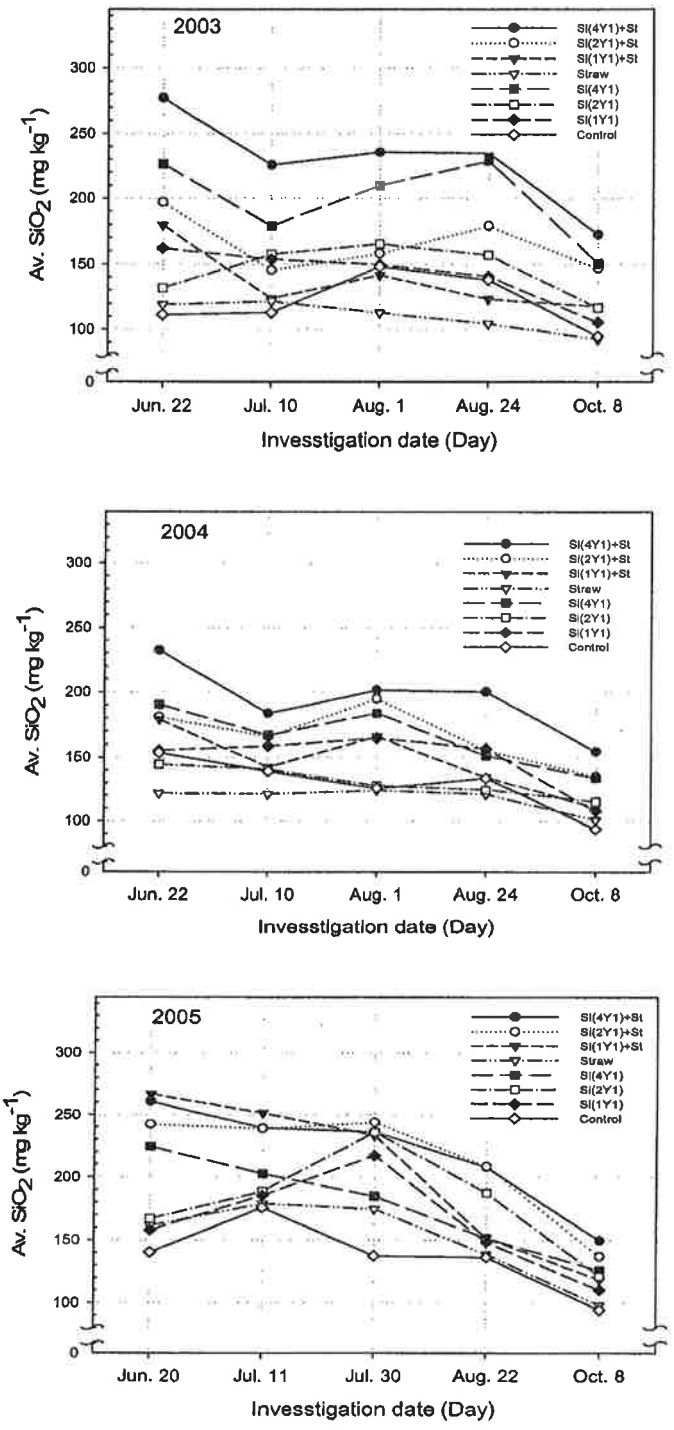

Fig. 2-6. The change of amounts of available silicates in soils.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

4) 시험 후 토양의 이화학적 특성

시험 후 토양의 이화학적 특성을 조사한 결과는 Table 2-13에서 보는바와 같다. 년차별 시험 후 토양 pH는 규산처리와 시험년차가 경과함에 따라 약간 증가하는 경향을 보였다. 유기물 함량은 볏짚환원 처리시 볏짚무처리에 비해 다소 높아지는 경향이었다. 볏짚처리구에서 유효인산과 유효규산 함량이 다소 증가되었으며 토양내 규산함량이 증가할 수록 토양내 유효 인산의 함량도 같이 증가되는 경향을 보였는데 이는 토양내에서 규산이온과 인산이온간의 경쟁관계에 의하여 인산의 토양교질 흡착을 감소시키고, 토양내 기 흡착된 인산을 탈착시켜 가용성 무기태인 함량을 증대시켰기 때문인 것으로 생각되었으며(이, 2002), 이외에도 규산시용량 증가에 의해 산성토양의 pH가 중성쪽으로 크게 향상되었고 무기양분의 공급을 통해 미생물을 포함한 토양생물의 활성이 증대된 것도 한 원인으로 추정된다(Lee, 2003). 인산과 규산을 제외한 치환성 K, Ca, Mg 함량은 처리간 뚜렷한 차이가 없었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 2-13. The physical and chemical character in soils after testing.

Years	Treatment	pH (H_2O, 1:5)	OM (g kg^{-1})	Av.P_2O_5 (mg kg^{-1})	Ex. Cation ($cmol^+$ kg^{-1})			Av SiO_2 (mg kg^{-1})
					K	Ca	Mg	
	Control	5.0	36.7	118	0.14	2.6	0.54	95
1st	Si(4Y1)	4.9	40.3	155	0.12	3.6	0.63	151
year	Si(2Y1)	4.8	37.5	144	0.14	3.0	0.59	117
	Si(1Y1)	4.9	33.9	134	0.13	3.0	0.64	106
	Control	5.7	31.4	175	0.64	4.1	0.50	94
2nd	Si(4Y1)	5.9	32.1	171	0.65	5.3	0.62	126
year	Si(2Y1)	6.0	32.4	156	0.63	5.0	0.60	121
	Si(1Y1)	5.7	31.1	146	0.66	5.1	0.55	110
	Control	4.6	28.1	100	0.17	2.1	0.40	94
3rd	Si(4Y1)	4.7	38.1	78	0.17	2.7	0.51	134
year	Si(2Y1)	4.6	30.0	83	0.18	2.4	0.46	115
	Si(1Y1)	4.7	30.3	82	0.17	2.4	0.48	108
	Straw	4.5	31.0	139	0.17	2.5	0.54	101
1st	Si(4Y1)+Straw	4.8	38.7	155	0.23	3.2	0.63	155
year	Si(2Y1)+Straw	4.6	31.9	152	0.19	2.4	0.50	136
	Si(1Y1)+Straw	4.5	31.7	158	0.20	2.5	0.49	111
	Straw	5.0	36.7	128	0.16	3.1	0.68	101
2nd	Si(4Y1)+Straw	5.2	39.0	163	0.12	3.9	0.74	172
year	Si(2Y1)+Straw	4.8	38.8	152	0.17	3.0	0.53	146
	Si(1Y1)+Straw	4.9	36.7	145	0.14	2.9	0.54	118
	Straw	5.5	32.7	166	0.65	4.5	0.50	98
3rd	Si(4Y1)+Straw	6.1	31.8	149	0.80	4.7	0.64	150
year	Si(2Y1)+Straw	5.7	31.9	167	1.00	3.7	0.52	137
	Si(1Y1)+Straw	5.4	33.2	166	1.03	4.5	0.50	119

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

사. 적 요

본 연구는 현행 4년 1주기로 토양에 시비되고 있는 규산질 비료의 시비효과를 미질 개선 측면에서 재검토하여 적정 규산 시비 주기를 설정하고자 볏짚의 환원에 의한 규산 공급효과를 함께 감안하여 양질미 생산을 위한 합리적 규산시비기준을 설정하고자 수행하였다.

벼 초장과 경수특성은 연차간 규산 시용주기에 따른 차이는 나타나지 않았다. 규산 시용 주기 조건에 매년 500 kg ha^{-1}의 볏짚에 의해 초장과 경수는 볏짚 무시용에 비해 다소 증가되었으나, 통계적인 유의차가 인정되지 않았다.

연차간 NPK의 정조수량은 1년차에 5219 kg ha^{-1}, 2년차에 5652 kg ha^{-1}, 3년차에 5232 kg ha^{-1}으로 조사되었고, NPK에 비해 4년 1주기는 4~9%, 2년 1주기는 0~4%, 1년 1주기는 3~5 %의 정조수량이 증가되었다. 규산 시용주기에 볏짚을 매년 500 kg h^{-1}을 함으로써 연차별 NPK에 비해 NPK+Straw의 정조수량은 각각 약 7, 12, 5% 증가되었다. NPK에 비해 볏짚환원된 4년 1주기는 5~15%, 2년 1주기는 9~14%, 1년 1주기는 8~14 %의 정조수량이 증가되었다.

규산 시용주기와 볏짚환원은 질소공급 및 질소 이용율, 주당 입수와 수수를 증가시켰다. 규산 시용주기는 NPK의 정조수량에 비해 평균 3~9% 증가되었고, 4년 1주기는 시용 3년차에 정조수량 증대효과는 나타나지 않았으나, 2년 1주기와 1년 1주기는 평균 2~4%의 정조수량 효과가 있었다. 그러나 2년 1주기와 1년 1주기 규산시용 주기는 NPK에 비해 약 3%, 식미치는 Mg/K 비율 증가에 의해 NPK에 약 8 향상되었다. 볏짚이 환원된 규산 시용주기 조건에서는 볏짚 무시용에 비해 백미의 단백질 함량과 Mg/K 비율이 증가하였으나 식미치는 약 8% 감소하였다. 따라서 NPK의 정조수량과 미질특성에 비해 미질개선을 위한 규산시용주기는 볏짚 무시용 2년 1주기 및 1년 1주기가 가장 적당한 것으로 평가되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

3. 규산시용을 통한 질소시비량 저감과 미질개선방안 연구

현재 논 토양에서 질소의 시비기준은 토양내 유기물과 유효규산 함량을 기준으로 최고수량획득을 위해 추천시비량이 설정되어 있다. 이 등(1987)의 연구결과에서처럼 규산을 삼요소와 함께 시용시 최고수량을 680kg/10a 까지 얻을 수 있었다. 이는 삼요소 처리구의 최고수량 644kg/10a보다 약 36kg/10a가 향상된 것이었다. 이와 같이 규산시용을 통한 수량증대는 환경에 대한 저항성 증대, 수광율 등의 향상이 부분적으로 관여했을 것으로 판단되나 그 보다는 질소 등의 양분 이용율 증대 때문으로 해석하고 있다. 현행 우리사회가 쌀 재고량 증대로 어려움을 겪고 있는 것을 감안하여 쌀의 목표수량을 화학비료 시용구의 최고수량 약 644kg/10a으로 하향 조절하다면 규산시용으로 질소시비량을 16.5kg/10a에서 9.2kg/10a까지 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 약 7.3 kg/10a의 질소시비량 절감이 기대되며 이에 따른 질소성분의 수계유출을 크게 줄일 수 있을 것으로 전망된다. 이외에 쌀중의 질소함량 감소로 미질개선효과를 함께 얻을 수 있을 것으로 전망된다. 지금까지 몇몇의 연구를 통해 규산 시용을 통한 질소질 비료 시용량 저감 가능성은 제시되고 있으나(이 등, 1987), 구체적으로 어느 정도의 절감효과가 있으며 질소시비수준의 적정관리 수준에 대한 연구는 이루어지지 않고 있는 형편이다. 본 과제에서는 규산질 비료시용을 통한 질소시비량 저감효과와 미질개선효과를 함께 검토하여 양질미 생산을 위한 친환경적 질소시비수준을 설정하고자 한다.

가. 재료 및 방법

1) 시험장소 및 경종사항

본 연구를 위한 벼 재배시험 공시토양은 경남 하동군 횡천면 여의리 소재 지산통(양토)의 배수약간 불량지 숙전답을 선택하였다. 시험 전 토양의 주요 이화학적 특성은 pH 5.1 유기물함량 20.3 g kg^{-1}, 유효인산 82 mg kg^{-1}, 유효규산의 함량 93 mg kg^{-1}의 전형적 우리나라 논 토양의 특성을 가지고 있었으며, 유효규산 함량은 적정수준(박, 1970) 130 mg kg^{-1}에 비해 낮게 함량을 나타내었다.(Table 3-1).

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-1. The physico-chemical properties of the paddy soil before test

pH	OM	T-N	Av.P_2O_5	Ex. Cation ($cmol^+ kg^{-1}$)			Av.SiO_2
(H_2O, 1:5)	($g\ kg^{-1}$)	($g\ kg^{-1}$)	($mg\ kg^{-1}$)	K	Ca	Mg	($mg\ kg^{-1}$)
5.1	20.3	1.83	82	0.15	1.4	0.21	93

본 연구를 수행하기 위해 농촌진흥청 벼 표준재배법(RDA, 2000) 에서 추천하고 있는 관행 처리구(NPK)의 비료 추천량을 기준으로 하였고, 이때 규산질 비료 시용에 따른 질소 시비량 저감과 미질개선 효과를 검토하기 위해 관행처리구의 질소(N 110 $kg\ ha^{-1}$)시비량의 60, 70, 80, 90, 100%의 총 6 처리구를 Table 3-2와 같이 설치하였고, 질소시비량에 따른 작물의 질소 이용율을 산정하기 위해 무질소구(PK)를 설정하였다.

Table 3-2. Treatments and fertilization background

Treatments	Fertilization ($kg\ ha^{-1}$)			Silicate fertilizer($kg\ ha^{-1}$)	
	N	P_2O_5	K_2O	2002	2005
NPK	110	45	58	-	-
N(0) + Si	0	45	58	1,406	2090
N(60) + Si	66	45	58	1,406	2090
N(70) + Si	77	45	58	1,406	-
N(80) + Si	88	45	58	1,406	2090
N(90) + Si	99	45	58	1,406	-
N(100) + Si	110	45	58	1,406	2090

※ Application of Silicate fertilizer (kg/10a) = (130-Av.SiO_2 concentration in soil)×3.8

시험 1년차에 시용한 규산처리량은 다음과 같은 식{(130 $mg\ kg^{-1}$ - 공시토양 유

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

효규산 93 mg kg^{-1}) × 3.8}으로 계산하여 2002년 6월 2일 입상 규산질 비료를 1406 kg ha^{-1} 4년 1주기로 시비하였다(Table 3-3). 그리고 포장시험구의 비료 시용은 벼 이앙 하루전날에 기비를 전층시비 하였다. 이때 기비 시용량은 N-P_2O_5-K_2O=110-45-58 kg ha^{-1}을 기준으로 하여 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 처리하였다. 처리구 크기는 10 m × 10 m 로 3반복 처리하였으며, 주남벼를 재식거리 30 cm × 15 cm 간격으로 기계 이앙 하였다. 추비시용은 각각 처리구에 분얼비와 이삭거름을 분시하였다. 분얼비 시용은 벼 이앙 후 2주째에 질소 처리구를 대상으로 벼 표준재배를 위한 질소 시용량 20%를 요소비료로 시비하였고, 이삭거름은 벼 이앙 55일 경과 후 요소와 염화가리를 이용하여 질소와 칼리는 벼 재배 표준시비량의 30%를 각각 처리하였다.

1년차에 시용된 규산질 비료의 잔효 효과를 이용하여 시험 2, 3년에는 벼 이앙 하루전날에 기비를 전층시비 하였고, 기비 시용량은 N-P_2O_5-K_2O=110-45-58 kg ha^{-1}을 기준으로 하여 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 처리하였다. 처리구 크기는 10 m × 10 m 로 3반복 처리하였으며, 공시품종은 주남벼를 사용하여 재식거리 30 cm × 15 cm 간격으로 손이앙 하였다. 추비시용은 1년차와 같은 방식으로 분얼비 시용은 벼 이앙 후 2주째에, 이삭거름은 요소와 염화가리를 이용하여 질소와 칼리는 벼 재배 표준시비량의 30%를 각각 처리하였다.

4년차에는 규산질 비료 시용에 따른 질소 시비량 저감과 미질개선 효과를 재검토하기 위해 관행처리구의 질소(N 110 kg ha^{-1})시비량의 60, 80, 100, 150%의 총 5 처리구를 설치하였고, 질소시비량에 따른 작물의 질소 이용율을 산정하기 위해 무질소구(PK)를 설정하였다. 입상 규산질 비료의 시용량은 다음과 같은 식{(130 mg kg^{-1} - 공시토양 유효규산 75 mg kg^{-1}) × 3.8}으로 계산하여 2005년 5월 20일 규산 2090 kg ha^{-1}을 4년 1주기로 재시비하였다. 기비 시용량은 N-P_2O_5-K_2O=110-45-58 kg ha^{-1}을 기준으로 하여 질소 50%, 인산 100%, 칼리 70%를 처리하였다. 공시품종은 남평벼를 사용하여 10 m × 10 m의 처리구에 재식거리 30 cm × 15 cm 간격으로 손이앙 하였다. 분얼비 시용은 벼 이앙 후 2주째에 질소 처리구를 대상으로 벼 표준재배를 위한 질소 시용량 20%를 요소비료로 시비하였고, 이삭거름은 요소와 염화가리를 이용하여 질소와 칼리는 벼 재배 표준시비량의 30%를 각각 처리하였다.(Table 3-3)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-3. Fertilization managements

Years	Fertilizer managements
1st year (2002)	▷ Application of silicate fertilizer: 2. June ▷ Rice species : *Junam* ▷ Application of chemical fertilizer - 1st: N(50%), P_2O_5(100%), K_2O(70%) on 9 June - 2nd: N(20%) on 24 June - 3rd: N(30%), K_2O(30%) on 3 August
2nd year (2003)	▷ Application of silicate fertilizer: Not applying ▷ Rice species : *Junam* ▷ Application of chemical fertilizer - 1st: N(50%), P_2O_5(100%), K_2O(70%) on 3 June - 2nd: N(20%) on 19 June - 3rd: N(30%), K_2O(30%) on 2 August
3rd year (2004)	▷ Application of silicate fertilizer: Not applying ▷ Rice species : *Junam* ▷ Application of chemical fertilizer - 1st: N(50%), P_2O_5(100%), K_2O(70%) on 3 June - 2nd: N(20%) on 19 June - 3rd: N(30%), K_2O(30%) on 2 August
4th year (2005)	▷ Application of silicate fertilizer: 20. May - Content of Av.SiO2 in soil : 75 mg kg^{-1} - Silicate fertilizer trials : 2090 kg ha^{-1} ▷ Rice species : *Nampyeong* ▷ Application of chemical fertilizer - 1st: N(50%), P_2O_5(100%), K_2O(70%) on 19 June - 2nd: N(20%) on 24 june - 3rd: N(30%), K_2O(30%) on 3 August

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나. 조사내용 및 방법

1) 조사내용

본 연구에서는 총 3부분으로 나뉘어 규산질 비료 처리에 따른 질소저감 및 미질 개선 효과를 조사하였다. 규산질 비료처리에 따른 질소시비량 저감 시용이 벼 생육에 미치는 영향을 평가하기 위해 벼 초장과 경수특성, 및 수량구성요소를 조사하였다. 그리고 질소 시비량에 저감에 따른 작물의 양분이용효율을 산정하기 위해서 양분흡수특성을 평가하였다. 규산시용에 따른 질소시비량 저감이 미질개선에 미치는 영향을 조사하기 위해 백미품위와 미질특성을 평가하였다. 그리고 규산 및 질소시비에 따른 토양이화학적 특성 변화를 조사하였다(Table 3-4).

Table 3-4. Main lists and methods in research

Contents	Investigation contents
Soil properties	▷ Soil physico-chemical properties ▷ NH_4^+-N and Av. SiO_2 concentration ▷ Coefficient of utilization of silicate fertilizer
Properties of rice growth and yields	▷ Rice growth characteristics (height and tillers) ▷ Nutrients uptake of rice grain and plant ▷ Yields characteristics and factors (including of pathogene and loading)
Qualities parameters of rice	▷ External appearance : Ripening and estimation by KETT RN-500 instrument ▷ Chemical properties: Protein, Amylose content, Mg/K ratio etc. ▷ Taste testing : Toyo rice quality taster (Toyo MA-90)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 조사방법

가) 토양이화학적 특성

토양분석법은 농촌진흥청의 토양화학분석법에 준하여 다음과 같다. 토양의 pH는 초자전극법, EC는 EC meter(Orion, Model 160, Germany)로 분석하였고, 유기물은 Tyurin 법, 총질소는 Kjeldahl 법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성양이온은 1N ammonium acetate 추출액으로 추출하여 K, Ca, Mg는 ICP를 이용하여 측정하였다. 벼 재배기간 중 토양내 치환성 NH_4^+-N은 2M KCl로 추출하여 Kjeldahl법으로 측정하였다. 유효규산은 삼각 플라스크에 건토 5 g과 1N sodium acetate 추출액 50 mL를 넣어 60 ℃에서 90분간 항온 진탕하여 추출하여 비색 정량하였다. 시험 후 토양의 이화학적 특성을 농업기술연구소의 토양 및 식물체분석법(RDA, 1988)에 준하여 조사하였다.

나) 벼 생육 및 수량구성요소

벼 생육 및 수량구성요소에 대한 규산처리와 질소시비량 저감효과를 구명하기 위해 분얼기, 최고분얼기, 유수형성기, 출수기, 수확기에 벼 초장과 경수를 각각 30주 측정하였다. 벼 수량은 포장시험구에서 3.3 m^2 면적의 식물체를 채취하여 정조와 식물체 분리하였고, 정조는 수분함량이 약 15% 일때 정조의 무게를 산정하였고, 볏짚은 완전히 건조한후 볏짚무게를 측정하였다. 이삭수는 각 처리당 30개 이삭을 채취하여 이삭수를 세었고 천립중은 1000개 낟알을 세어 무게를 측정하였다. 등숙율은 30 g을 취하여 비중 1.03 소금물로 등숙수립과 불완전립을 선별하여 계산하였다.

다) 양분흡수특성

양분흡수특성을 조사하기 위해 정조와 볏짚을 각각 농촌진흥청의 토양화학분석법에 준하여 다음과 같이 하였다. 정조와 볏짚의 T-N은 conc. H_2SO_4와 분해촉진제(K_2SO_4:$CuSO_4$=9:1)으로 분해 후 Kjeldahl법으로 측정하였다. 그리고 정조와 볏질의 P, K, Ca, Mg 함량 분석을 위해 습식분해액(HNO_3 : $HClO_4$: H_2SO_4 = 10 : 4 : 1)으로 분해하여 P는 Vanado molybdate 법, K, Ca, Mg는 ICP를 이용하여 측정하였다.,

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

라) 미질특성

이때 백미의 도정특성은 쌀 외관 품위측정기(KETT RN-500)를 이용하여 정현비, 완전립, 분상질, 싸라기, 피해립 및 동할립를 조사하였다. 미질평가를 위해 식미에 직접적인 영향을 주는 것으로 알려진 아밀로스 함량은 Juliano의 요오드 비색 정량법으로 조사하였으며(Juliano et al., 1981; Perez and Juliano, 1978), 단백질 함량은 쌀 중 총 질소함량(%)에 단백질 환산계수 5.95를 곱하여 환산하였다. Mg/K의 비율은 백미 분말을 Ternery Solution으로 완전분해 후 각각의 함량을 조사하여 계산하였다. 식미의 평가는 최근 미질평가에 널리 이용되고 있는 식미의 평가는 식미계(Toyo MA-90)를 이용하여 분석하였다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나. 규산질 비료처리와 질소시비량 저감에 따른 벼 생육특성

1) 벼 생육특성

규산시용을 통한 질소시비량 저감이 벼 수량과 미질에 미치는 영향을 조사하기 위한 연구과제로써 3년 동안 연구된 수도의 생육 특성을 주요 생육기간(최고분얼기, 유수형성기, 출수기, 수확기)에 걸쳐 수도의 초장과 분얼 특성에 대하여 조사하였다 (Table 3-5, 3-6).

가) 벼 재배기간 중 초장특성

벼 재배기간 중 규산질 비료시용 조건에서 질소시비수준이 초장 특성에 미치는 영향을 비교하였다(Table 3-5). 연차별 초장 생육특성은 생육기간이 증가할수록 규산질 비료 처리조건에서 질소시비 수준이 증가될수록 약간 증가하였으며, 규산처리구는 관행처리구(NPK)에 비해 초장생육은 약간 높았으나 통계적 유의차는 인정되지 않았다. 규산처리 조건에서 질소시비량(110 kg ha^{-1})의 70% 이상을 시비한 처리한 N(70)PK+Si, N(80)PK+Si, N(90)PK+Si, N(100)PK+Si 처리구의 초장은 벼 생육기간 동안에 NPK에 비해 다소 높았다. 동일 포장에서 실시된 2, 3년차는 1년차의 초장생육 특성과 차이를 나타내지 않았다.

4년차에는 4년 1주기 규산질 비료를 재시용한 조건에서 질소 시비량 증가할수록 초장은 증가하는 경향을 나타내었으며, 1, 2, 3년차에 비해 초장이 증대되었는데, 이는 4년차의 공시품종(남평벼) 차이인 것으로 생각되며, 관행처리구에 비해 질소시비량 (110 kg ha^{-1})의 80% 이상 처리시에는 초장의 차이는 발견되지 않았다.

3년차에 비해 1, 2년차의 초장 특성은 약간 감소하였는데, 이는 1년차(2002년)의 상반기 동안(5월~7월 사이) 강우량이 예년의 평균치에 비해 적고 높은 기온과 많은 일조량으로 벼의 초기생육 발달에 매우 긍정적 영향을 주었으나, 태풍루사에 의해 피해를 입었다. 그리고 2년차(2003년)에는 벼 재배기간 내내 지속된 강우는 전체적으로 평균 기온을 나추고 일조조건을 불량하게 만들어 벼의 생육부진과 수량감소를 초래했다. 벼 생유기간 중 지속된 잦은 강우는 생육초기 물벼룩 피해, 중·후기에는 흥명나방 피해 등이 발생하여 적극적 방제에도 불구하고 수량감소의 원인이 되었다. 따라서 규산처리 조건에서 질소시비량(110 kg ha^{-1})의 80%이상 시용시 NPK 처리구의 초장 특성과 차이를 발견하지 않았다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-5. Characteristics of plant height during rice cultivation

Years	Treatments	Maximum tillering stage	Panicle formation stage	Heading stage	Harvesting season
1st year	NPK	44.7	71.2	72.8	75.5
	N(0)+ Si	44.7	65.8	72.2	75.4
	N(60)+Si	44.2	66.5	75.3	75.9
	N(70)+Si	45.8	66.2	75.0	77.7
	N(80)+Si	46.3	66.2	78.3	79.2
	N(90)+Si	45.8	70.3	75.2	77.1
	N(100)+Si	46.2	69.2	76.2	78.7
2nd year	NPK	44.7	71.2	72.8	77.90
	N(0)+ Si	44.7	65.8	72.2	77.87
	N(60)+Si	44.2	66.5	75.3	80.57
	N(70)+Si	45.8	66.2	75.0	78.57
	N(80)+Si	46.3	66.2	78.3	80.17
	N(90)+Si	45.8	70.3	75.2	75.77
	N(100)+Si	46.2	69.2	76.2	78.53
3rd year	NPK	44.7	71.2	72.8	82.0
	N(0)+ Si	44.7	65.8	72.2	87.7
	N(60)+Si	44.2	66.5	75.3	85.0
	N(70)+Si	45.8	66.2	75.0	81.6
	N(80)+Si	46.3	66.2	78.3	80.3
	N(90)+Si	45.8	70.3	75.2	78.1
	N(100)+Si	46.2	69.2	76.2	82.1
4th year	NPK	54.7	75.2	88.2	91.3
	N(0)+ Si	54.7	75.8	90.2	88.0
	N(60)+Si	54.2	76.5	87.8	88.4
	N(80)+Si	56.3	76.2	88.3	91.5
	N(100)+Si	56.2	79.2	88.2	91.5
	N(150)+Si	57.2	79.2	89.2	91.4

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나) 벼 재배기간 중 경수특성

벼 생육기간 최고분얼기, 유수형성기, 출수기, 수확기의 총 4회에 걸쳐 벼 경수 조사를 실시하였으며, 년차별 경수 특성은 Table 3-6과 같다. 연차간 벼 생육기간 동안 규산질 비료 시비량을 130 mg kg^{-1}으로 조절하여 규산질 비료를 처리한 처리구의 경수발달은 질소시비수준이 증가와 함께 증대하였다. 1, 2, 3년차 간 질소시비량을 110 kg ha^{-1} 시비한 NPK 처리구에 비해 추천 질소시비량의 80%이상을 처리한 N(80), N(90), N(100)PK+Si 처리구가 출수기부터 수확기까지 경수발달이 다소 향상되었다. 4년차(2005)에는 관행처리구(NPK)에 비해 질소수준량 80% 처리한 N(80)PK+Si 처리구의 경수는 약간 감소하였으나, 통계적인 유의차가 인정되지 않았다.

벼 생육 기간 중 기상변화는 1, 2년차(2002, 2003)에 벼의 유수형성기인 8월초 대형태풍(라마순, 루사, 매미) 영향과 평균 기온 저하, 일조량 감소에도 불구하고 영향을 받지 않았다. 그리고 3, 4년차에는 벼의 주요 영양생장기에 지속된 고온과 높은 습도와 벼 생육초기 물바구미 피해발생, 중기 이후 목도열병과 벼멸구 피해가 발생되었다.

기상조건의 악화에도 불구하고 벼 생육특성은 NPK의 초장과 경수 특성에 비해 규산질 비료가 시용된 조건에서는 질소시비량(110 kg ha^{-1})의 약 20%까지 저감하여도 외형적 발달차이는 나타내지는 않는 것으로 평가되었다. 규산질 비료 시용은 벼 조직내의 가용태 질소 등 각종 양분의 균형조절에 의한 수량증대효과(Kim et al., 1982), 벼 잎의 직립을 통한 수광성 향상(Kim et al., 1986)과 근권의 증대, 도복저항성 및 내병성 증대에 영향을 주는 것으로 알려져 있으며, 규산처리 조건에서 질소시비수준에 따른 벼 생육의 차이는 벼 잎각의 증대로 인한 수광성 향상과 질소이용율 증대 및 내병성 증대로 인한 결과로 해석된다. 본 연구에서는 토양내 유효규산 함량을 130 mg kg^{-1} 기준하여 규산질 비료 시용한 결과 NPK의 질소 시비량(110 kg ha^{-1})에 비해 질소시비량을 20% 저감하여도 벼 생육발달에는 영향을 미치지 않았다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-6. Characteristics of plant tiller during rice cultivation

Years	Treatments	Maximum tillering stage	Panicle formation stage	Heading stage	Harvesting season
1st year	NPK	27.7	18.7	16.5	14.5
	N(0)+ Si	24.8	14.5	18.0	12.3
	N(60)+Si	28.8	17.3	18.2	13.9
	N(70)+Si	25.8	20.7	15.7	15.1
	N(80)+Si	28.0	22.0	18.5	15.2
	N(90)+Si	25.5	23.7	22.7	15.6
	N(100)+Si	26.9	22.7	20.0	17.1
	LSD $_{0.05}$	2.8	2.5	4.5	3.5
2nd year	NPK	25.4	21.2	18.2	16.5
	N(0)+ Si	22.8	11.3	18.0	13.7
	N(60)+Si	26.4	17.3	18.2	18.2
	N(70)+Si	25.8	20.7	17.7	16.4
	N(80)+Si	28.0	22.0	18.5	16.7
	N(90)+Si	25.5	23.7	18.3	16.5
	N(100)+Si	26.9	22.7	19.2	17.1
	LSD $_{0.05}$	3.8	4.5	ns	3.1
3rd year	NPK	26.5	20.5	16.2	14.2
	N(0)+ Si	24.2	16.5	14.5	11.6
	N(60)+Si	26.2	17.3	15.2	13.1
	N(70)+Si	26.3	20.7	15.7	14.3
	N(80)+Si	28.0	22.0	16.5	14.5
	N(90)+Si	26.0	23.7	17.2	14.9
	N(100)+Si	26.9	22.7	17.1	15.2
	LSD $_{0.05}$	ns	4.5	ns	3.5
4th year	NPK	27.7	24.5	17.2	16.1
	N(0)+ Si	24.8	20.3	18.0	14.5
	N(60)+Si	28.8	23.2	18.2	15.1
	N(80)+Si	28.0	22.0	18.5	15.6
	N(100)+Si	26.9	22.7	18.1	16.8
	N(150)+Si	28.2	22.2	17.2	17.8
	LSD $_{0.05}$	3.1	2.5	ns	2.5

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

다. 질소질 비료 저감에 따른 벼수량 및 양분흡수 특성

규산시용을 통한 질소시비량 저감이 벼 수량과 미질에 미치는 영향을 조사하기 위한 연구 과제로써 4년 동안 연구된 수량 및 수량구성요소와 양분흡수 특성, 그리고 양분 이용률을 조사하여 규산처리 조건에서 질소시비수준이 벼 수량에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

1) 벼 수량 및 수량구성요소 특성

규산처리 조건에서 질소시비수준이 벼 수량에 미치는 영향은 Fig. 3-1과 같다. 규산 처리조건에서 질소 시비수준이 증가함에 따라 벼 정조수량은 증가하였다. 1 년차(2002)에 관행처리구(NPK)의 정조수량은 평균 5230 kg ha^{-1} 로 평년에 비해 약 10~15% 낮았다. 이는 2002년 경남지역의 평균 수량과 비슷한 수준으로, 유수형성기와 출수기 직후 대형태풍 라마순과 루사에 의한 수정불안과 낮은 등숙율의 영향으로 판단된다. NPK의 정조수량에 비해 N(100)+Si 처리구의 정조수량은 5540 kg ha^{-1}로 규산질 비료 처리에 의해 약 6%의 수량증대가 있었다. 규산처리 조건에서 NPK 처리구의 정조수량(5230 kg ha^{-1})과 같은 정조수량을 나타내는 질소시비량은 약 98 kg ha^{-1} 이었다. 2년차(2003)의 규산질 비료는 시용하지 않았으며, 1년차에 시용된 규사질비료의 잔효 를 이용하였다. 정조수량은 1년차와 유사한 경향을 나타내었고, 규산 잔효 처리조건에서 NPK의 정조수량(5062 kg ha^{-1})과 같은 정조수량을 나타내는 질소시비량은 약 98 kg ha^{-1} 이었다. 불량한 기상조건에도 불구하고 규산시용 2년차에 약 12 kg ha^{-1}(관행처리구의 약 11%) 질소시비량을 저감이 가능할 것으로 평가되었다. 3년차(2004)에는 NPK의 정조수량은 평균 6499 kg ha^{-1}로 1, 2년차에 비해 약 25%의 수량 증수가 있었고, 이는 3년차 예년에 비해 높은 기온 및 일조량과 태풍의 영향을 작게 받았던 이유로 해석되며, 목도열병이 발생하였으나 벼 생육 및 수량에는 영향을 미치지 않았다. 이는 식물체의 규산흡수에 의해 도열병에 저항성을 나타낸 것으로 판단된다. 규산 잔효 처리조건에서 NPK의 정조수량 6499 kg ha^{-1}와 같은 정조수량을 나타내는 질소시비량은 약 84 kg ha^{-1} 이었다. 규산질 비료 잔효 조건에서 3년차에 약 25 kg ha^{-1}(관행처리구의 약 22%) 질소시비량을 저감이 가능할 것으로 평가되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

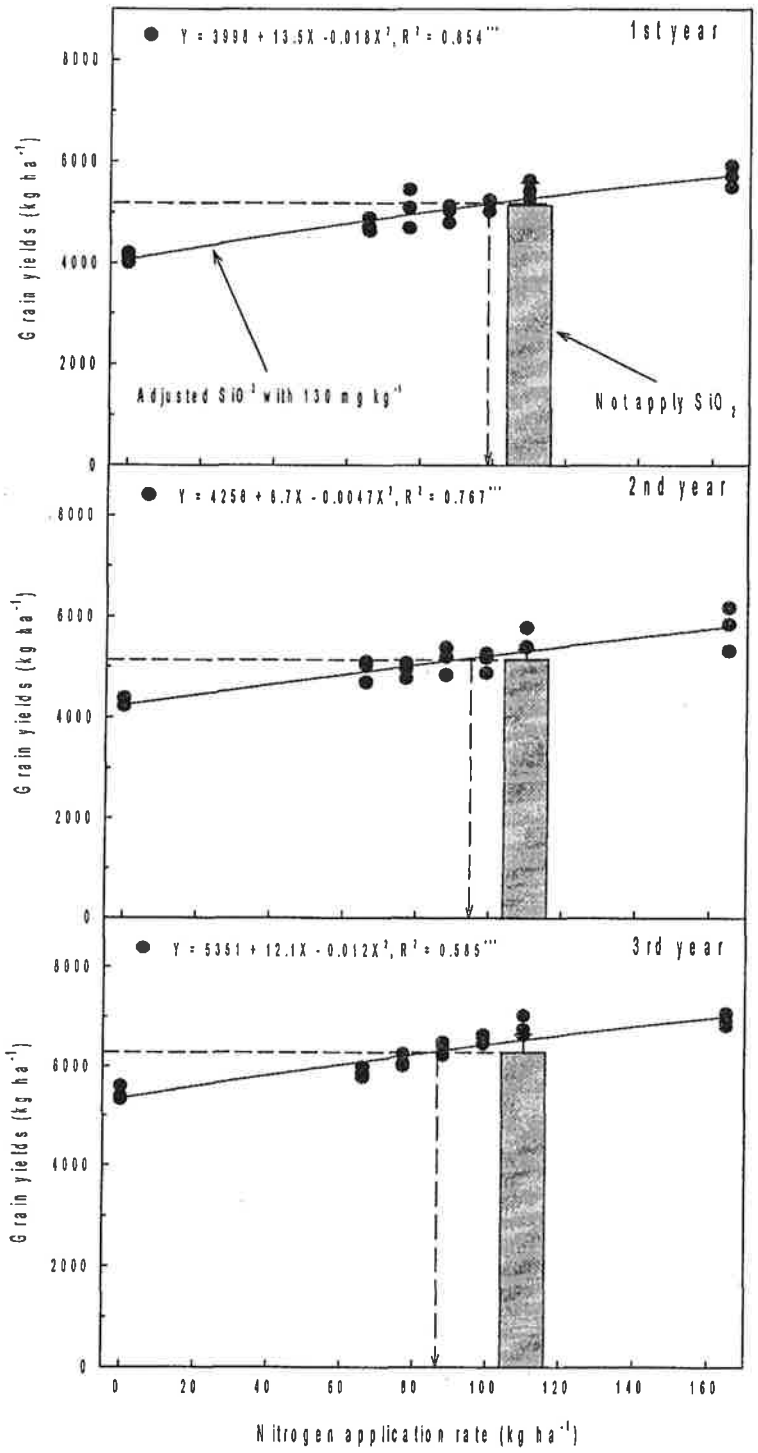

Fig. 3-1. Changes of grain yields during rice cultivation

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

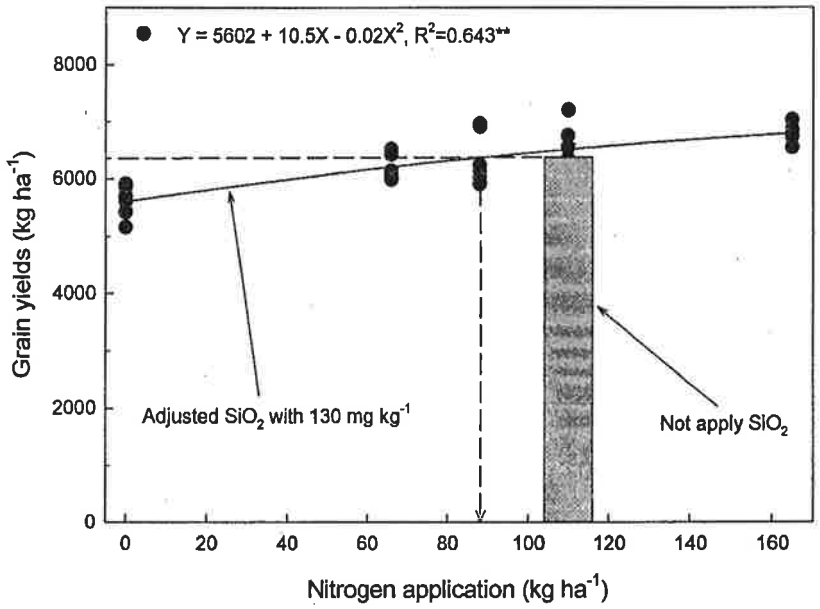

Fig. 3-2 Changes of grain yields during rice cultivation(4th year)

4년 1주기 규산질 비료 시용에 따른 벼수량은 1년차에 이후에 감소한다고 하였으나, 본 연구에서 3년차의 벼수량이 가장 높게 나타났다. 이는 평년에 비해 높은 기온과 일조량의 증가로 인해 규산질 비료를 시비한 처리구의 벼 수광상태가 NPK에 비해 촉진된 것으로 해석된다. 4년차(2004)에는 4년1주기 규산질비료 재시용 조건에서 질소시비수준에 따른 정조 수량을 재검토 하였다(Fig. 3-2). NPK의 정조수량(6132 kg ha^{-1})에 비해 N(100)+Si 처리구의 정조수량은 6549 kg ha^{-1}로 규산질 비료 처리에 의해 약 7%의 수량증대가 있었고, 유효규산을 130 mg kg^{-1}으로 조절하여 규산질 비료를 재시용함으로써 정조수량은 증대되었다. 규산처리 조건에서 NPK 처리구의 정조수량(6132 kg ha^{-1})과 같은 정조수량을 나타내는 질소시비량은 약 88 kg ha^{-1} 이었다. 토양 유효규산을 130 mg kg^{-1}으로 조절하여 규산질 비료를 시용과 더불어 질소시비량(110 kg ha^{-1})을 약 10~20%을 저감하여도 관행처리구(NPK)와 같은 정조수량을 얻을 수 있었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-7. The growth characteristics of rice grain and plant after harvest

Years	Treatments	Grain (kg ha^{-1})	Yields index	Straw (kg ha^{-1})	Grain of ear(No.)	Ear number (No $.m^{-2}$)	1000 grain(g)	Ripening rate(%)
1st year	NPK	5230	100	5101	91	319	25.3	81
	N(0)+ Si	4091	78	4566	91	270	25.4	89
	N(60)+Si	4733	90	4721	78	306	25.7	87
	N(70)+Si	4834	92	4812	83	316	25.6	86
	N(80)+Si	4972	95	5195	79	335	25.0	82
	N(90)+Si	5256	100	5460	80	359	25.1	85
	N(100)+Si	5540	106	5934	85	376	25.0	83
	LSD $_{0.05}$	450		530	ns	19	ns	ns
2nd year	NPK	5062	100	5456	99	345	23.8	69
	N(0)+ Si	4265	84	4333	79	298	24.2	92
	N(60)+Si	4691	93	5000	88	325	24.8	89
	N(70)+Si	4958	98	5596	84	333	22.7	86
	N(80)+Si	5118	101	5885	91	354	21.9	85
	N(90)+Si	5011	99	5859	84	362	24.5	82
	N(100)+Si	5144	102	5867	80	368	24.7	79
	LSD $_{0.05}$	205		430	ns	24	ns	9.5
3rd year	NPK	6550	100	6272	108	292	24.1	87
	N(0)+ Si	5591	85	5888	110	231	23.7	88
	N(60)+Si	6424	98	6453	114	285	24.0	86
	N(70)+Si	6515	99	6605	105	313	24.9	86
	N(80)+Si	6588	100	6667	111	318	23.9	86
	N(90)+Si	6666	102	6777	115	320	24.0	87
	N(100)+Si	6778	103	7211	110	322	24.2	86
	LSD $_{0.05}$	415		382	ns	15	ns	ns
4th year	NPK	6132	100	6032	102	351	23.5	83
	N(0)+ Si	5740	94	5821	103	316	23.6	87
	N(60)+Si	5990	98	6000	104	327	23.4	86
	N(80)+Si	6246	102	6312	103	338	23.5	86
	N(100)+Si	6549	107	6411	105	367	23.4	85
	N(150)+Si	6645	108	6455	104	388	23.5	85
	LSD $_{0.05}$	230		310	ns	31	ns	4.1

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

연차간 수량구성요소중 규산처리 조건에서 단위면적당 수수 개수는 질소시비수준이 증가할수록 높아졌다. 규산처리 조건에서 NPK 처리구의 수수 개수와 비슷한 질소시비수준은 약 70~90 kg ha^{-1} 이었다. 주당 입수는 1, 2년차에 비해 3년차에서 증대되었다. 그리고 천립중은 1년차에 가장 높았고, 시간이 경과할수록 감소하였으나, 조사기간중 처리간 차이를 발결할수는 없었다. 연차간 등숙율은 규산처리 조건에서 질소를 처리하지 않은 N(0)PK+Si 처리구에서 가장 좋았으며, 규산 처리조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 등숙율은 감소하는 경향을 나타내었으나 NPK 처리구에 비해 다소 향상되었다. 그리고 기상상태가 가장 나빴던 1, 2년차에는 NPK 처리구에 비해 규산을 처리한 처리구의 등숙율이 높았으나, 기상상태가 가장 좋았던 3년차에는 모든 처리구에서 등숙율 차이를 발견할 수는 없었다. 따라서 규산처리는 낮은 온도와 일조량 조건에서는 NPK에 비해 등숙율 향상에 효과가 있는 것으로 판단된다.

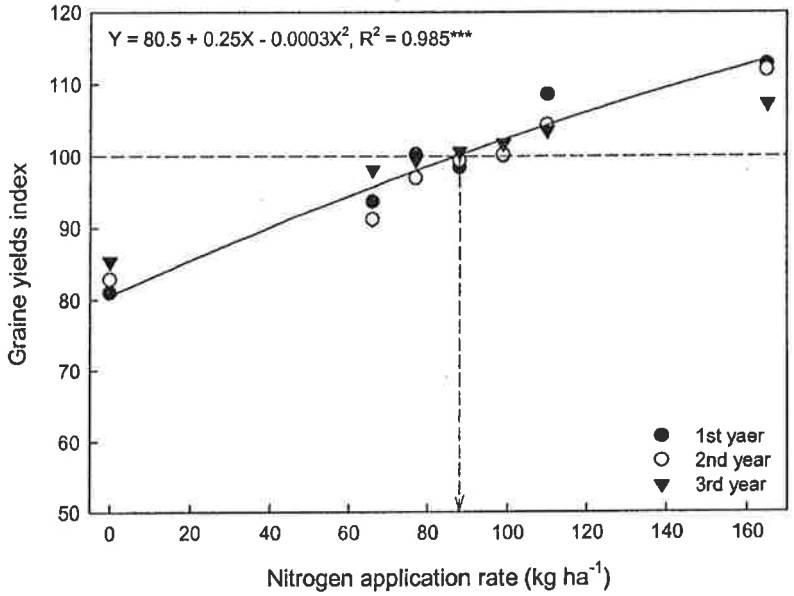

Fig.3-3 Changes of yield index during rice cultivation(3 years)

수도에 있어서 다수확의 요인은 수수의 확보, 규산의 공급, 생육후기의 질소공급이 중요하다고 하였다(김 등, 1975). 홍 등(1999)은 질소시비량 감비에 대한 벼 생육 보고

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

에서 질소시비량 감비에 따른 수량의 감소한다고 하였고, 수량증가의 가장 큰 요인은 단위 면적당 수수였다(김 등, 1978). 질소시비량이 적을 때 수당입수의 증가 및 등숙기에도 활발한 광합성이 이루어져 낟알 크기에 영향을 미친다고 하였다(Yoshida, 1981). 결론적으로 규산 시용은 질소 시비량 감비 조건에서 단위 면적당 수수 증대와 등숙율 및 질소 이용율 증대 효과에 인해 본 연구에서는 벼 재배를 위한 질소 시비량 (110 kg ha^{-1}) 10~20% 저감에도 불구하고 NPK 정조수량과 같은 수량을 나타낸 것으로 평가되었다.(Fig. 3-3).

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 벼 양분흡수 특성

가) 벼 양분함량 특성

규산처리 조건에서 수확기 벼의 정조와 볏짚의 주요 양분함량 특성은 Table 3-8과 같다. 연차간 규산처리 조건에서 질소시비수이 증가함에 따라 정조 질소함량의 차이는 나타내지 않았다. 1년차의 정조 질소함량이 가장 높았으며, 벼 재배년수가 경과함에 따라 2, 3 년차의 정조질소 함량은 1년차의 정조 질소함량에 비해 감소하는 경향을 보였다.

NPK와 같은 정조수량을 나타낸 N(80)PK+Si와 N(90)PK+Si 처리구의 정조질소함량은 1, 4년차에는 NPK에 비해 약 3%의 정조질함량이 높았고, 2, 3년차에는 약 5~8%의 정조질소함량이 감소하였으나 통계적인 유의차는 나타나지 않았다. 정조 규산함량은 N(0)PK+Si 처리구가 가장 높았으며, 규산 시비조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 정조 규산함량은 뚜렷한 경향을 찾을수는 없었다. 그러나 1, 4년차의 정조규함량이 2, 3년차에 비해 가장 높았다. 정조의 인산, 칼리, 칼슘, 마그네슘 함량은 모든 처리구에서 뚜렷한 나타내지 않았다.

볏짚 질소함량은 규산시비 조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 높아졌다. 1년차에 규산 처리조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 볏짚 질소함량 2, 3년차에 비해 가장 높았다. 1년차의 NPK와 NPK+Si 처리구의 볏짚 질소함량은 차이가 없었으나, 2년차와 3년차에는 NPK+Si의 볏짚질소 함량은 NPK에 비해 약 20~30%가 감소하였다. NPK와 같은 정조수량을 나타낸 N(80)PK+Si와 N(90)PK+Si 처리구의 볏짚 질소함량은 1 년차에는 NPK에 비해 차이가 없었고, 2, 3, 4년차에는 약 9~30%의 볏짚 질소함량이 감소하였다. 연차간 볏짚인산함량은 규산처리 조건에서 질소시비 수준이 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 볏짚의 칼리, 칼슘, 마그네슘 함량은 연차에 따른 처리구간 차이를 발견할 수 없었다.

Table 3-8. Characteristics of nutrients contents in rice grain and plant after harvest

Years	Treatments	Grain contents (g kg^{-1})						Straw contents (g kg^{-1})					
		N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	CaO	MgO	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	CaO	MgO
1st year	NPK	11.1	6.1	3.7	27	0.5	1.4	9.2	4.4	19	70	4.1	1.0
	N(0)+ Si	7.5	6.1	3.8	30	0.4	1.3	6.4	7.2	18	83	3.8	0.7
	N(60)+Si	11.1	6.1	3.8	27	0.5	1.4	6.7	6.8	18	73	3.8	1.0
	N(70)+Si	11.2	6.0	3.7	30	0.5	1.4	8.9	7.0	20	70	4.1	1.1
	N(80)+Si	11.5	5.9	3.8	28	0.4	1.3	9.2	6.4	18	71	3.8	1.2
	N(90)+Si	11.4	6.0	3.6	27	0.4	1.4	9.2	6.8	20	73	4.5	1.2
	N(100)+Si	11.7	5.9	3.6	26	0.4	1.3	9.3	6.8	20	73	4.1	1.3
	$LSD_{0.05}$	0.21	ns	ns	ns	ns	ns	1.11	0.05	ns	3.2	ns	ns
2nd year	NPK	10.9	5.8	5.5	18	0.7	1.1	8.3	4.1	25	60	6.0	0.8
	N(0)+ Si	9.2	5.8	5.4	21	0.6	1.1	5.1	3.4	27	75	6.7	0.6
	N(60)+Si	10.4	5.8	4.9	20	0.6	1.1	5.8	3.6	22	64	6.3	0.8
	N(70)+Si	10.1	5.7	5.5	21	0.6	1.1	5.9	3.6	25	66	6.2	0.7
	N(80)+Si	10.6	5.6	5.8	20	0.6	1.1	6.2	3.6	24	62	6.2	0.8
	N(90)+Si	10.4	5.8	5.5	20	0.6	1.2	6.6	3.0	25	63	6.1	0.7
	N(100)+Si	10.9	5.8	5.2	20	0.6	1.2	6.6	3.0	25	61	6.2	0.8
	$LSD_{0.05}$	0.8	ns	ns	ns	ns	ns	1.05	0.05	ns	9.2	ns	ns
3rd year	NPK	9.5	5.7	4.1	20	1.1	1.5	9.2	4.6	31	69	7.4	1.5
	N(0)+ Si	7.8	6.0	3.8	30	0.7	1.6	5.2	4.0	32	83	8.7	1.4
	N(60)+Si	8.5	5.4	4.0	23	0.6	1.5	5.3	4.0	34	72	7.7	1.5
	N(70)+Si	8.6	5.5	3.9	24	0.7	1.6	6.1	3.7	35	73	8.2	1.3
	N(80)+Si	8.8	5.7	3.9	24	0.7	1.6	6.1	3.4	30	74	7.6	1.4
	N(90)+Si	9.3	5.8	4.1	24	0.7	1.6	6.6	3.3	31	72	7.5	1.5
	N(100)+Si	9.6	5.5	3.9	24	0.7	1.5	6.7	3.3	32	71	7.7	1.4
	$LSD_{0.05}$	1.3	ns	ns	3.5	0.3	ns	2.3	0.5	ns	5.3	1.2	ns
4th year	NPK	10.1	5.8	3.9	27	0.6	1.4	8.2	4.4	24	67	5.1	1.0
	N(0)+ Si	8.5	5.8	4.0	27	0.5	1.3	6.4	6.2	23	72	4.8	0.7
	N(60)+Si	10.1	5.8	4.0	27	0.6	1.4	6.7	5.8	23	73	4.8	1.0
	N(80)+Si	10.5	5.5	4.0	28	0.5	1.3	7.5	5.4	23	71	4.8	1.2
	N(100)+Si	10.7	5.5	4.0	26	0.5	1.3	8.3	5.4	25	73	5.1	1.3
	N(150)+Si	10.8	5.3	3.9	26	0.5	1.3	8.5	5.4	26	72	5.2	1.3
	$LSD_{0.05}$	1.1	ns	ns	ns	ns	ns	1.3	1.2	ns	3.5	0.6	0.3

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

나) 벼 양분 흡수 특성

연차간 규산 처리 조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 질소와 규산흡수량은 증가하는 경향을 나타내었고, NPK 처리구와 같은 정조수량은 나타낸 N(80)PK+Si와 N(90)PK+Si처리구의 정조 질소흡수량은 NPK와 유사하였다. NPK 처리구의 정조흡수량은 1년차에 비해 3년차에 비해 낮았는데, 이는 토양내 유효규산의 함량이 매년 일정한 수준으로 감소하여 벼에 의한 규산 흡수량이 1년차에 비해 낮았던 것으로 해석된다. 또한 연차간 정조 질소흡수량은 NPK 처리구에 비해 NPK+Si 처리구에서 약간 증가하였으나, 통계적인 유의차를 발견할수 없었다. 그러나 규산처리 조건에서 질소시비 수준이 증가함에 따라 정조 인산과 칼리 흡수량은 처리간 뚜렷한 차이를 나타내지는 않았다.

연차간 규산 처리조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 볏짚의 질소와 규산 흡수량은 증가하는 경향을 나타내었고, NPK+Si 처리구에 비해 NPK 처리구의 연차간 볏짚 질소흡수량은 1년차에는 약간 감소하였으나, 2, 3년차에는 약간 증가하였다. 볏짚의 인산과 칼리흡수량은 규산흡수량 비슷한 경향을 나타내었다.

연차간 정조와 볏짚에 의한 흡수된 질소와 규산흡수량은 규산처리조건에서 질소시비수준이 증가할수록 높아지는 경향을 나타내었다. NPK와 동일한 수량을 나타내는 N(80)PK+Si와 N(90)PK+Si 처리구의 질소흡수량은 1년차에는 비슷한 경향이었고, 2, 3년차에는 약간 감소하였으나, 통계적인 유의차를 나타내지 않았다. 정조와 볏짚에 의해 흡수된 규산흡수량은 NPK에 비해 N(80)PK+Si와 N(90)PK+Si가 1년차에 8%, 2년차에 11%, 3년차에 16%가 증가하였다.

Table 3-9. Characteristics of nutrients uptake in rice grain and plant after harvest

Years	Treatments	Graine uptake (kg ha^{-1})				Plant uptake (kg ha^{-1})				Total uptake (kg ha^{-1})			
		N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2	N	P_2O_5	K_2O	SiO_2
1st year	NPK	58	32	19	141	47	22	97	357	105	54	116	498
	N(0)+ Si	31	25	16	123	29	33	82	379	60	58	98	502
	N(60)+Si	53	29	18	128	32	32	85	345	84	61	103	472
	N(70)+Si	54	29	18	145	43	34	96	337	97	63	114	482
	N(80)+Si	57	29	19	139	48	33	94	367	105	63	112	508
	N(90)+Si	60	32	19	142	50	37	109	399	110	69	128	541
	N(100)+Si	65	33	20	144	55	40	119	433	120	73	139	577
	LSD $_{0.05}$	11.0	2.3	ns	15	8.5	5.2	12	35	21	4.5	15	41.0
2nd year	NPK	55	29	28	91	45	22	136	327	101	52	164	419
	N(0)+ Si	39	25	23	90	22	15	117	325	61	40	140	415
	N(60)+Si	49	27	23	94	29	18	110	320	78	45	133	414
	N(70)+Si	50	28	27	104	33	20	140	369	83	48	167	474
	N(80)+Si	54	29	30	102	37	21	141	365	91	50	171	467
	N(90)+Si	52	29	28	100	39	18	147	369	91	47	174	469
	N(100)+Si	56	30	27	103	39	18	147	358	95	47	173	461
	LSD $_{0.05}$	8.3	2.6	2.5	5.4	10.1	3.2	8.9	23.5	12.1	6.3	23.0	28.1
3rd year	NPK	62	37	27	130	58	29	194	433	119	66	221	563
	N(0)+ Si	44	34	21	168	31	24	188	489	74	57	210	656
	N(60)+Si	55	35	26	148	34	26	219	465	89	61	245	612
	N(70)+Si	56	36	25	156	40	24	231	482	96	60	257	639
	N(80)+Si	59	38	26	161	41	23	200	493	100	61	226	655
	N(90)+Si	64	40	28	165	45	22	210	488	109	62	238	653
	N(100)+Si	68	39	28	169	48	24	231	512	116	63	258	681
	LSD $_{0.05}$	12.5	ns	1.8	8.5	8.2	2.6	25.1	36.7	9.5	5.8	24.1	31.0
4th year	NPK	62	36	24	166	49	27	145	404	111	62	169	570
	N(0)+ Si	49	33	23	155	37	36	134	419	86	69	157	574
	N(60)+Si	60	35	24	162	40	35	138	438	101	70	162	600
	N(80)+Si	66	34	25	175	47	34	145	448	113	68	170	623
	N(100)+Si	70	36	26	170	53	35	160	468	123	71	186	638
	N(100)+Si	72	35	26	173	55	35	168	465	127	70	194	638
	LSD $_{0.05}$	10.5	ns	1.5	13	8.3	3.2	21.5	31.0	10.1	4.2	28.1	35.1

* ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

다) 벼 질소 이용율 및 규산흡수 특성

연차간 규산처리 조건에서 질소시비수준에 따른 질소와 규산이용율은 Table 3-10과 같다. 연차간 관행(NPK)처리구의 질소 이용율은 각각 31.8, 27.7%, 30.9%이었다. 규산 처리 조건에서 NPK와 같은 질소 시용한 N(100)+Si처리구의 연차간 질소 이용율은 각각 45.5, 30.4, 37.9%으로 NPK에 비해 질소 이용율이 증가하였다. 이는 규산질 비료 시용에 의한 정조와 볏짚의 수량 증대로 해석되었다.

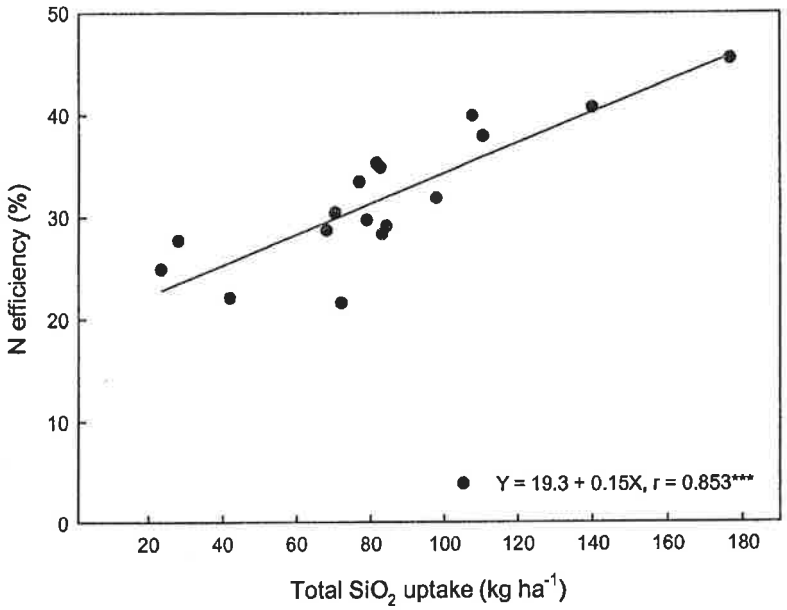

Fig. 3-4 Relationship between N efficiency and total SiO_2 uptake by rice plant

NPK 처리구와 동일 수준의 정조수량을 얻었던 N(90)PK+Si 처리구의 년차간 질소이용율은 40.7, 30.7, 34.9%로 조사되었고, 이는 연차간 NPK의 질소 이용율에 비해 약 27, 11, 12 % 가 증가하였다. N(90)PK+Si 질소이용율은 1, 3년에 비해 2년차에서 감소하였다.

규산 처리 조건에서 질소시비수준에 따른 규산흡수량과 질소이용율간의 상관관계는 고도의 정의 상관관계를 나타내었다.(Fig. 3-4), 규산 처리조건에서 N(80) PK+Si와

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

N(90)PK+Si는 NPK에 비해 질소시비량이 약 10~20%가 낮음에도 불구하고 NPK와 동량의 정조 수량을 나타내었는데, 홍 등(1999)은 수도의 수량은 질소비료에 대한 이용율을 증가시킴으로써 질소 시비량을 줄 일수 있다고 하였고, 이 등(1987)은 규산시용을 통해 환경에 대한 저항성 증대, 수광율등의 향상이 부분적으로 수량에 관여했을 것으로 판단되나 그 보다는 질소 등의 양분 이용율 증대 때문으로 해석하고 있다. 따라서 질소이용율의 증대는 식물체의 규산흡수량이 증대된 것으로 판단된다. 또한 규산시용을 통한 질소 이용율의 증대는 질소 시비량을 저감하거나 토양내 잉여 질소성분을 줄여 질소의 수계유출을 저감에 기여할 수 있을 것으로 전망된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-10. Uptake and efficiency of nutrients in rice plant after harvest

Years	Treatments	N		SiO_2	
		Uptake (kg ha^{-1})	Efficiency (%)	Uptake (kg ha^{-1})	Efficiency (%)
1st year	NPK	35.0	31.8	97.9	-
	N(0)+ Si	-	-	101.3	7.21
	N(60)+Si	14.3	21.6	72.0	5.12
	N(70)+Si	27.1	35.2	81.5	5.79
	N(80)+Si	35.1	39.9	107.7	7.66
	N(90)+Si	40.3	40.7	140.1	9.96
	N(100)+Si	50.1	45.5	176.8	12.58
2nd year	NPK	30.5	27.7	28.0	-
	N(0)+ Si	-	-	24.1	1.71
	N(60)+Si	16.5	24.9	23.4	1.66
	N(70)+Si	21.8	28.3	83.0	5.90
	N(80)+Si	29.4	33.4	76.8	5.46
	N(90)+Si	30.4	30.7	78.9	5.61
	N(100)+Si	33.5	30.4	70.3	5.00
3rd year	NPK	33.9	30.9	-	-
	N(0)+ Si	-	-	85.9	6.11
	N(60)+Si	14.6	22.1	41.9	2.98
	N(70)+Si	22.1	28.7	68.0	4.84
	N(80)+Si	25.6	29.1	84.2	5.99
	N(90)+Si	34.5	34.8	82.5	5.87
	N(100)+Si	41.7	37.9	110.6	7.86
4th year	NPK	34.7	31.5	55.1	-
	N(0)+ Si	-	-	59.5	2.85
	N(60)+Si	14.7	22.2	85.2	4.07
	N(80)+Si	26.9	30.5	108.5	5.19
	N(100)+Si	37.2	33.8	123.7	5.92
	N(150)+Si	40.6	24.6	123.0	5.88

** 질소이용율(%) = (처리구의 질소흡수량-무질소구의 질소흡수량)/질소시비량 ×100

*** 규산이용율(%) = (처리구의 규산흡수량-무처리 규산흡수량)/규산시비량 ×100

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

라. 질소 시비량 저감에 따른 미질특성

쌀의 품질은 크게 나누어 청미가 적고 쌀알이 윤기가 나는 등의 외관적 특성과 밥을 지어 먹을 때의 맛의 양호를 기준으로 하는 식미 품지로 구분하고 있다. 이에 규산 처리조건에서 질소시비수준이 미질개선에 미치는 영향을 평가하기 위해 외관적 측면인 도정 상태 및 백미 품위 특성과 화학적 측면인 아밀로스 함량과 단백질 함량 및 Mg/K비, 그리고 식미치를 조사하여 규산처리 조건에서 질소시비수준에 따른 미질 개선 효과를 평가하고자 하였다.

1) 백미의 품위특성

규산처리 조건에서 질소시비수준에 따른 백미 도정 및 외관적 품위특성은 Table 3-9와 같다. 규산처리와 질소 시비수준에 따른 연차간 각 처리구의 정현비율은 차이를 나타내지 않았다. 이는 규산처리와 질소시비량 증가에 따른 수당 입수와 천립중 차이가 발생하지 않았던 이유로 해석된다.

1년차 쌀의 외관적 품위특성 중 완전립 비율은 NPK 처리구에 비해 규산을 시비한 처리구가 높았으며, 규산처리 조건에서 질소시비수준이 증가할수록 완전미 비율은 감소하는 경향을 나타내었다. 그리고 분상질, 싸라기, 피해립, 동할립의 차이는 발생하지 않았다. 2년차의 완전미 비율은 1년차에 비해 약 40% 감소하였고, 분상질과 피해립 비율은 1년차에 피해 각각 약 10배와 2배가 증가되었다. 그러나 규산처리 조건에서 질소시비량 증가할수록 분상질과 피해립 비율은 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 아마도 낮은 기온과 일조량, 출수기와 등숙기 기간동안 흑명나방이 벼 생육에 영향을 미친 것으로 판단된다. 3년차에는 완전미 비율은 규산을 처리한 처리구가 NPK에 비해 감소하였고, 규산 처리 조건에서 질소시비 수준이 증가함에 따라 완전미 비율은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 높은 기온과 일조량에도 불구하고 규산을 처리한 처리구는 NPK 처리구(멸구 피해 약 15~20%)에 비해 약 2배 높은 멸구 피해를 받았던 이유로 해석된다. 연차간 규산처리 조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 백미의 완전립 비율은 감소하는 경향을 나타내었다.

NPK와 같은 정조수량은 나태낸 N(80) PK+Si와 N(90) PK+Si 완전미 비율은 NPK에 비해 1년차와 2년차에 각각 5 %와 12%가 향상되었고, 3년차에는 NPK에 비

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

해 약 15~20%의 완전미 비율이 감소되었다. 이는 높은 기온과 일조량에도 불구하고 목도열병의 피해가 NPK에 비해 약 2배 높게 발생되었던 이유로 해석된다.

4년차에 4년 1주기 규산질 비료의 재시용에 따른 질소시비수준이 백미의 외관적 품위특성에 미치는 영향을 조사하였다. 규산처리 조건에서 질소시비수준이 증가할수록 완전미 비율은 감소하는 경향을 나타내었다. 1년차와 마찬가지로 분상질, 싸라기, 피해립, 동할립의 차이는 발생하지 않았다. NPK와 비슷한 정조수량을 나타내는 N(80)PK+Si의 완전미 비율은 NPK에 비해 약 4% 향상되었다.

연차간 규산 처리조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 백색도는 차이는 나타나지 않았다. 그러나 1년차에는 백색도는 가장 높았으며, 기상악화와 병충해 발생으로 인해 2, 3년차의 백색도는 1년차에 비해 각각 약 60%와 10% 감소하였다. 일반적으로 쌀의 외관은 입형, 심복백투명도 및 색택으로 평가되며, 이중의 심복백은 등숙기 미립이 동화산물의 공급량이 불량하거나 미립의 발육이 쇠퇴하는 조건이 되면 쌀알에 백색 불투명한 부분이 생기는 것으로, 복백미와 쌀의 투명도나 색택에 상관관계가 있다고 하였다(김 등, 1992). 아마도 연차간 규산처리에 따른 백색도의 감소는 등숙율 불량에 의한 백미중 심복백의 비율이 증대된 것으로 생각된다. 그러나 김 등(1990)은 심복백이 많아도 밥이 좋으며, 심복백 발생율이 쌀알의 이화학적 특성이나 밥맛의 물리성과 식미에 튼 영향을 미치지 않는다고 하였다. 삼요소와 규산, 퇴비, 석회를 시용하여 심복백미 발생율을 조사한 결과 규산과 석회 시용은 삼요소에 비해 심복백미의 비율이 감소하였다. 1년차와 4년차의 완전미 비율과 백색도의 향상은 아마도 규산질 비료에 시용에 의한 벼 등숙율 향상과 심복백미의 감소된 결과로 해석된다. 그러므로 규산 처리시용과 질소시비량(110 kg ha^{-1}) 의 10~20% 저감은 백미의 외관적 품질 향상에 효과가 있는 것으로 평가되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-11. The rate of quality parameters on the white rice

Years	Treatments	Ratio(%)						
		Brown	Perfect rice	Powdery	Broken grain	Damaged grain	Cracked grain	Whiteness
1st year	NPK	82.6	83.6	3.3	4.7	4.3	0.1	42.8
	N(0)+ Si	82.5	92.5	2.3	3.5	4.5	0.1	42.4
	N(60)+Si	83.4	89.1	3.9	7.1	1.7	0.2	43.7
	N(70)+Si	83.0	88.7	4.8	4.2	1.9	0.1	41.7
	N(80)+Si	83.1	88.0	5.1	7.0	3.5	0.2	42.6
	N(90)+Si	83.4	86.9	3.8	7.8	3.1	0.3	42.5
	N(100)+Si	82.8	85.8	3.7	7.0	3.2	0.2	43.4
	$LCD_{0.05}$	ns	1.3	ns	ns	ns	ns	ns
2nd year	NPK	81.5	49.0	36.2	3.6	10.9	0.3	14.1
	N(0)+ Si	82.9	65.7	25.7	1.2	7.3	0.1	12.4
	N(60)+Si	83.1	62.2	26.4	2.4	8.8	0.2	13.7
	N(70)+Si	82.9	59.2	29.1	2.2	9.2	0.3	13.1
	N(80)+Si	82.6	55.5	32.6	2.0	9.6	0.3	12.9
	N(90)+Si	83.4	53.4	33.4	2.5	10.4	0.3	13.5
	N(100)+Si	83.4	50.4	35.7	3.0	10.7	0.3	14.3
	$LCD_{0.05}$	ns	1.30	ns	ns	ns	ns	ns
3rd year	NPK	81.1	88.8	3.8	3.4	3.9	-	38.7
	N(0)+ Si	79.5	88.2	4.7	3.0	4.1	-	38.1
	N(60)+Si	82.8	72.5	15.4	9.1	3.1	-	37.7
	N(70)+Si	81.4	71.0	16.1	9.7	3.2	-	36.7
	N(80)+Si	81.0	64.4	18.6	12.8	4.3	-	37.5
	N(90)+Si	80.4	71.6	14.5	10.1	3.7	-	37.5
	N(100)+Si	81.5	73.8	15.0	7.8	3.5	-	37.8
	$LCD_{0.05}$	ns	3.5	4.2	3.1	ns		ns
4th year	NPK	81.2	91.1	1.6	2.2	1.6	3.5	42.2
	N(0)+ Si	83.2	95.7	1.2	0.5	0.1	2.5	43.2
	N(60)+Si	82.8	95.2	1.0	1.0	0.6	2.2	42.5
	N(80)+Si	82.6	94.6	1.2	1.3	0.8	2.1	42.5
	N(100)+Si	81.4	92.5	1.3	1.5	1.9	2.8	42.5
	N(150)+Si	81.5	92.3	1.5	2.0	1.2	3.0	42.5
	$LCD_{0.05}$	ns	2.5	ns	1.0	0.5	1.0	ns

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 백미의 화학적 특성 및 식미 특성

일반적으로 양질미를 결정하는 인자들은 쌀의 도정 및 외관적 특성이외에 이화학적 특성과 식미특성 등의 다양한 요소에 의해 결정된다. 밥의 찰기를 결정하는 주요 성분은 아밀로스 함량으로 일반 양질미 중 17~20%가 함유되어 있다. 단백질 함량은 7~9%, Mg/K의 비율이 높을수록 우수 양질미로 평가하고 있다. 그리고 최근 食味 평가의 객관화를 위한 다양한 방안이 모색되고 있으며, 식미측정 장치를 이용한 食味値가 밥맛평가에 간접적으로 폭넓게 이용되고 있다. 식미의 정확한 평가를 위해서는 쌀 중 수분함량이 15% 수준을 유지하는 것이 중요하며 식미치가 75 이상은 되어야 양질미로 평가되고 있다. 또한 식미와 유의 상관관계를 나타내는 형질로 볼 때, Mg/K는 쌀의 식미와 정의 상관을 보이지만, 단백질 함량 및 amylose 함량은 부의 상관을 보인다 (김 등. 1990).

규산처리 조건에서 질소시비 수준에 따른 백미의 화학적 특성과 식미계로 분석된 식미치 특성은 Table 3-12와 같다. 연차간 규산처리조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 백미 중 아밀로스 함량은 18~20%으로 조사되었고, 처리간 아밀로스 함량 차이는 발생하지 않았다. 연차간 규산처리 조건에서 단백질 함량과 Mg/K 비율은 질소시비수준이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 그리고 식미치는 규산처리 조건에서 질소시비 수준이 증가할수록 감소되었다. 1년차에는 백미의 수분함량은 12% 내외로 다소 과다 건조되어 식미치를 크게 떨어뜨리는 원인이 되었다. 규산처리 조건에서 질소시비 수준이 증가할수록 미질화학성 중 단백질 함량과 Mg/K 비율이 영향을 받았으며, 이에 식미치가 영향을 받는 것으로 조사되었다.

NPK 처리구와 동일한 정조수량은 나타내는 N(80)PK+Si와 N(90)PK+Si 처리구는 백미의 단백질 함량감소와 Mg/K 비율 증대에 의해 NPK에 비해 약 5~15%의 식미치가 향상되었다. 이 상의 결과로 규산처리조건에서 질소시비량의 저감은 백미의 미질개선에 효과가 있는 것으로 평가되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-12. Characteristics of chemical substance and taste on white rice

Years	Treatments	Moisture (%)	Amylose (%)	Protein (%)	Mg/K ratio	Taste Value
1st year	NPK	11.8	19.1	5.1	0.79	58
	N(0)+ Si	11.0	19.2	4.3	0.87	80
	N(60)+Si	11.4	19.0	4.4	0.89	75
	N(70)+Si	10.9	19.2	4.6	0.89	73
	N(80)+Si	11.2	19.4	4.7	0.84	69
	N(90)+Si	11.3	19.7	4.9	0.81	69
	N(100)+Si	10.7	20.4	5.2	0.79	67
	$LSD_{0.05}$		ns	0.56	0.11	2.66
2nd year	NPK	14.1	19.1	6.7	0.90	61
	N(0)+ Si	12.4	19.7	4.4	0.79	69
	N(60)+Si	13.7	19.5	4.8	0.85	65
	N(70)+Si	13.1	19.6	5.3	0.86	65
	N(80)+Si	12.9	19.6	5.7	0.90	65
	N(90)+Si	13.5	19.5	5.8	0.87	65
	N(100)+Si	14.3	18.4	6.0	0.85	63
	$LSD_{0.05}$	ns	ns	0.7	0.11	3.5
3rd year	NPK	14.5	19.1	6.2	0.77	67
	N(0)+ Si	14.1	18.7	4.5	0.85	76
	N(60)+Si	14.5	19.1	4.6	0.84	71
	N(70)+Si	13.3	18.9	4.8	0.84	70
	N(80)+Si	14.9	18.9	5.2	0.83	71
	N(90)+Si	14.2	19.1	5.9	0.82	69
	N(100)+Si	14.1	19.1	6.3	0.80	67
	$LSD_{0.05}$	ns	ns	0.6	ns	2.1
4th year	NPK	14.1	18.5	7.2	0.87	69
	N(0)+ Si	14.2	18.3	5.8	0.95	76
	N(60)+Si	14.4	18.5	6.5	0.94	73
	N(80)+Si	13.9	18.4	6.7	0.93	72
	N(100)+Si	14.2	18.5	7.3	0.90	70
	N(150)+Si	14.1	18.5	7.5	0.90	70
	$LSD_{0.05}$	ns	ns	0.61	0.11	1.8

** ns: Not significant.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

마. 토양내 이화학적 특성

1) 토양내 질소와 규산함량 특성

가) 벼 생육기간 중 NH_4^+-N 함량 변화

벼 생육기간 동안 연차간 토양내 암모니아태 질소함량 변화는 Fig. 3-8, 3-9, 3-10과 같다. 년차간 암모니아태 질소함량은 NPK 처리구와 N(100)PK+Si 처리구간에 뚜렷한 경향을 찾을수 없었다. 이에 비해 규산처리 조건에서 질소시비수준에 증가할수록 암모니아태 질소함량은 약간 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 암모니아태 질소함량은 벼 생육중기(유수형성기)이후에는 감소하여 처리간 차이를 발견할 수는 없었다. NPK 처리구와 동일한 정조수량을 나태나는 N(90)PK+Si 처리구는 NPK 처리구에 비해 암모니아태 질소함량 차이를 발견할 없었다.

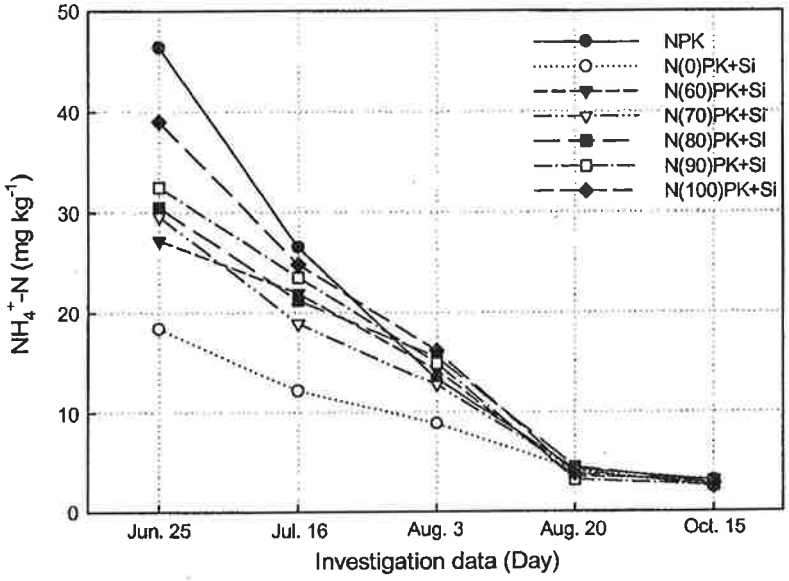

Fig. 3-5 Changes of NH_4^+-N concentration in soil during rice cultivation (1st year)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

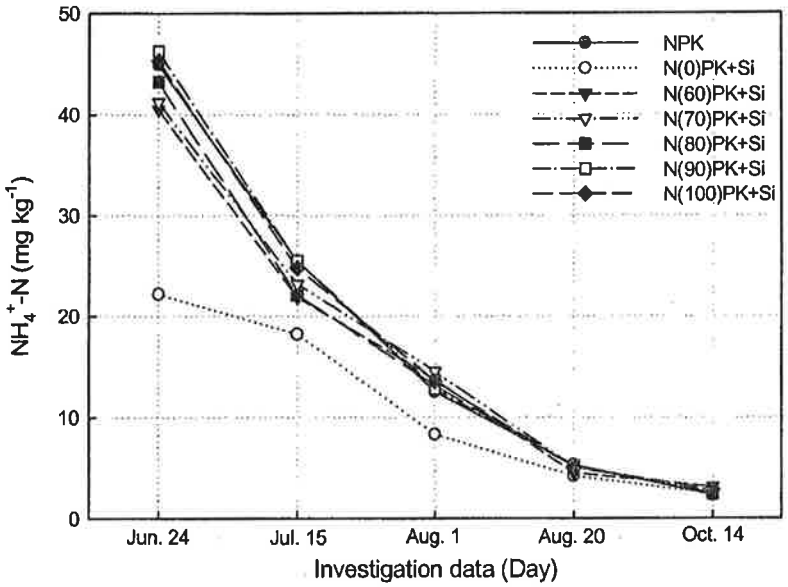

Fig. 3-6 Changes of NH_4^+-N concentration in soil during rice cultivation (2nd year)

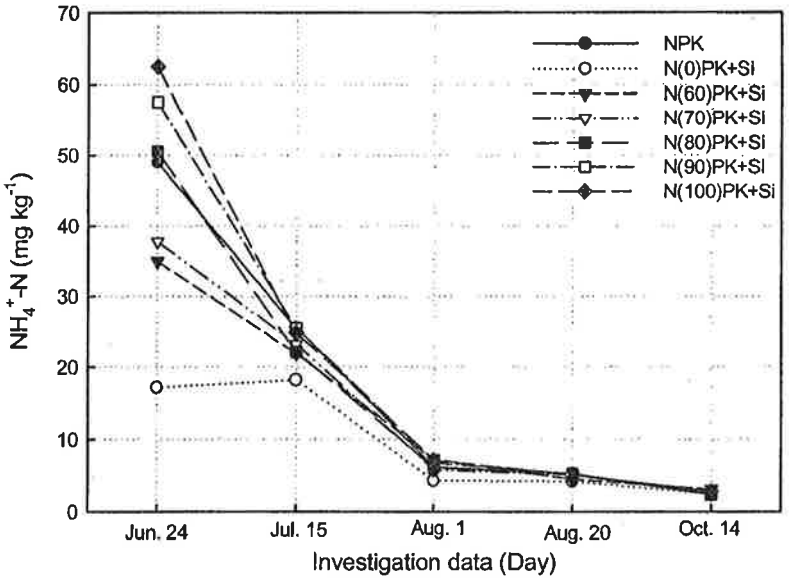

Fig. 3-7 Changes of NH_4^+-N concentration in soil during rice cultivation (3rd year)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

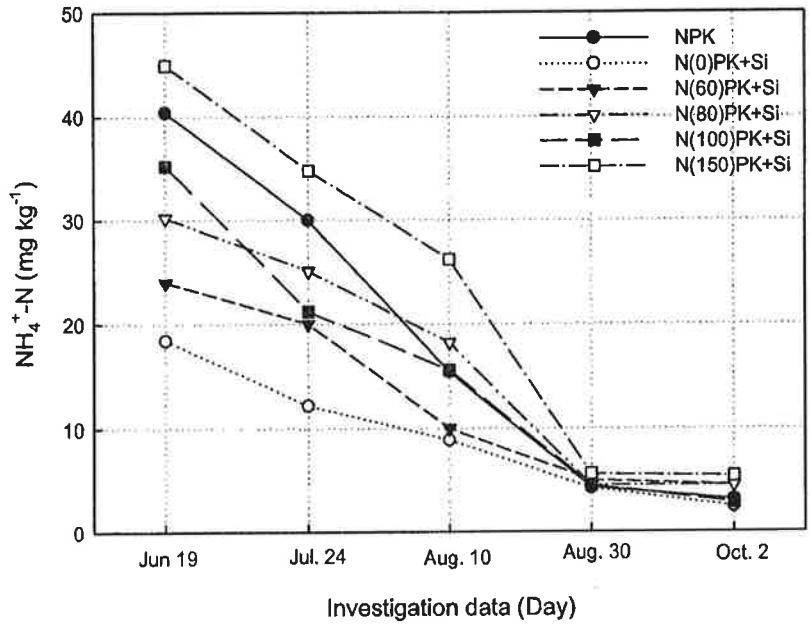

Fig. 3-8 Changes of NH_4^+-N concentration in soil during rice cultivation (4th year)

나) 벼 생육기간 중 유효 규산 함량 변화

연차간 벼 재배기간 동안 NPK 처리구의 토양 유효규산(Av. SiO_2) 함량은 1 년차에 약 90~100 mf kg^{-1}을, 2 년차에는 약 90~80 mg kg^{-1}, 3 년차에는 약 80~70 mg kg^{-1} 으로 감소하였다. 규산처리 조건(130 ㎎/㎏ 조절구)에서는 1년차에는 규산처리구의 토양 유효규산 함량은 평균 150~200 mg kg^{-1}을 유지하였고, 벼 식물체의 규산흡수량은 질소시비 수준이 증가함에 따라 높아졌음에도 불구하고 규산처리 조건에서 질소시비 수준 증가함에 따라 토양내 유효규산 함량 차이는 나타나지 않았다. 2년차와 3년차의 규산처리구의 토양 유효규산 함량은 질소시비수준이 증가함량에 감소하는 경향을 경향을 나타내었고, 이때 유효규산 함량은 각각 평균 130~140 mg kg^{-1}, 90~110 mg kg^{-1}을 나타내었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

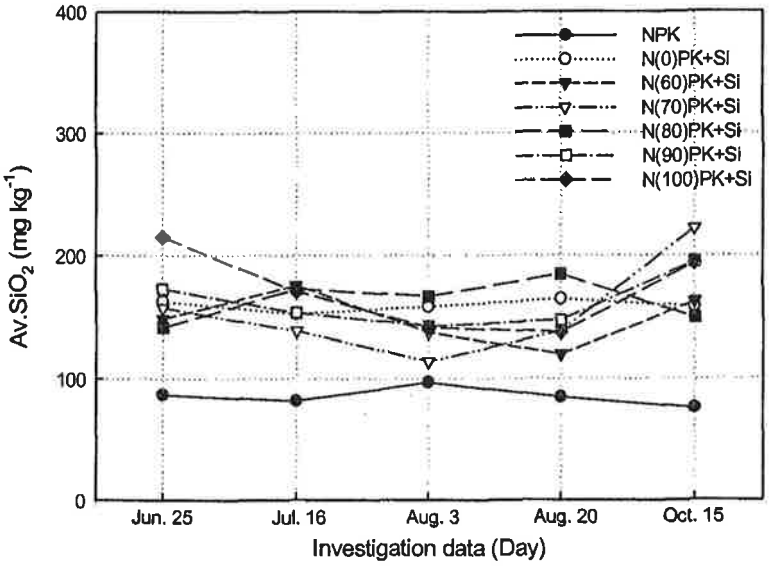

Fig. 3-9. Changes of $Av.SiO_2$ concentration in soil during rice cultivation (1st year)

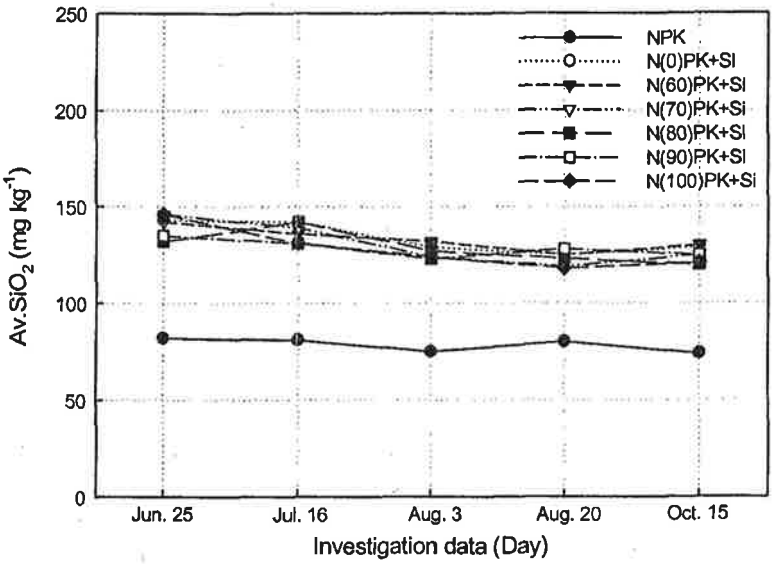

Fig. 3-10. Changes of $Av.SiO_2$ concentration in soil during rice cultivation (2nd year)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

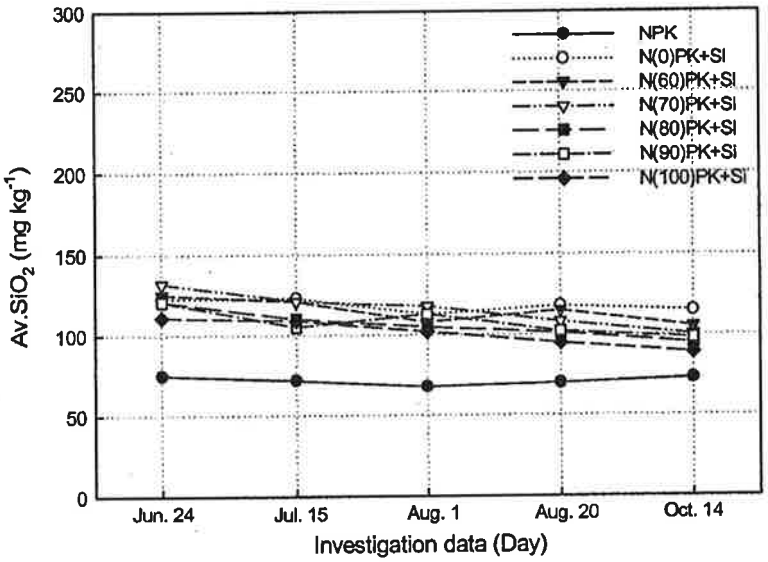

Fig. 3-11. Changes of $Av.SiO_2$ concentration in soil during rice cultivation (3rd year)

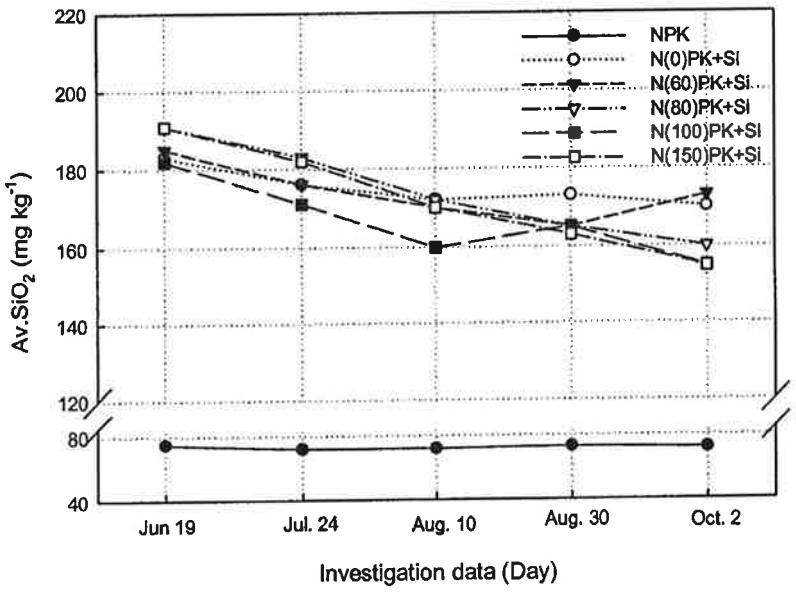

Fig. 3-12. Changes of $Av.SiO_2$ concentration in soil during rice cultivation (4th year)

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

2) 토양의 이화학적 특성

규산처리 조건에 질소시비수준이 증가함에 따른 시험 후 토양의 이화학적 특성은 Table 3-13과 같다. 시험 후 토양 pH는 모든 처리구간 차이가 발생하지 않았으며, 1년차의 토양 pH에 비해 2, 3년차의 토양 pH는 약간 감소하였다. 년차간 모든 처리구에서 유기물의 함량의 차이를 발견할 수 없었다. 년차간 유효인산함량은 규산처리 조건에서 질소시비 수준이 증가함에 따라 증가하였다.

시험 전 공시 토양내 유효규산 함량(98 mg kg^{-1})을 목표치 130 mg kg^{-1}으로 개량하기 위해 약 1406 kg/ha의 규산질비료를 시용하여 벼를 재배한 결과, 1년차 벼 수확 후 토양내 유효규산 함량은 약 140~163 mg kg^{-1}으로 목표치를 다소 초과하였고, 2년차에는 논 토양내 규산관리 기준(130 mg kg^{-1})과 비슷한 유효규산 함량을 나타내었다. 그러나 3년차에는 토양 내 규산관리기준에 비해 다소 낮았다. 종전에 비해 현재 주로 공급되고 있는 규산질 비료의 형태 분상에서 입상으로 변화되었고, 규산질 비료 제조공정도 사상, 입상, 분상 등 회사에 따라 다양한 방식으로 운영되고 있어 30여 년 전과는 여건이 크게 변화되었던 이유로 판단되며, 합리적인 미질개선을 위해서는 질소시비수준과 더불어 규산질 비료 합리적 시용량 및 시용주기 등에 대한 추가조사가 필요할 것으로 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 3-13. Physico-chemical properties of soil after harvesting rice plant

Years	Treatments	pH (H_2O, 1:5)	OM (g/kg)	Av.P_2O_5 (mg/kg)	Ex. Cation ($cmol^+/kg$) K	Ca	Mg	Av SiO_2 (mg/kg)
1st year	NPK	5.1	32.6	48.2	0.2	1.9	0.3	80
	N(0)+ Si	5.1	30.7	43	0.2	1.9	0.3	160
	N(60)+Si	5.2	29.0	52	0.2	2.0	0.3	163
	N(70)+Si	5.1	26.4	60	0.1	1.9	0.3	140
	N(80)+Si	5.2	27.0	58	0.2	1.8	0.3	150
	N(90)+Si	5.1	28.3	55	0.1	1.9	0.3	156
	N(100)+Si	5.1	27.4	67	0.1	1.6	0.2	145
	LSD 0.05	ns	ns	6.6	ns	0.29	0.08	22.1
2nd year	NPK	4.8	30.3	51	0.1	1.4	0.2	78
	N(0)+ Si	4.9	30.3	42	0.2	1.9	0.3	139
	N(60)+Si	4.8	28.4	49	0.1	2.0	0.3	143
	N(70)+Si	4.8	31.2	56	0.1	1.9	0.3	132
	N(80)+Si	4.8	30.7	62	0.1	1.9	0.3	125
	N(90)+Si	4.8	31.9	66	0.1	1.8	0.3	130
	N(100)+Si	4.8	28.8	68	0.1	1.7	0.3	132
	LSD 0.05	ns	ns	8.5	ns	0.31	ns	12.3
3rd year	NPK	4.8	29.3	58	0.1	1.4	0.2	73
	N(0)+ Si	4.9	30.4	45	0.2	1.9	0.3	115
	N(60)+Si	4.8	29.5	50	0.1	2.0	0.3	105
	N(70)+Si	4.8	30.5	54	0.1	1.9	0.3	100
	N(80)+Si	4.8	30.4	60	0.1	1.9	0.3	95
	N(90)+Si	4.8	30.2	64	0.1	1.8	0.3	98
	N(100)+Si	4.8	29.8	66	0.1	1.7	0.3	89
	LSD 0.05	ns	ns	5.5	ns	0.31	ns	18.3
4th year	NPK	4.8	31.3	61	0.1	1.4	0.2	70
	N(0)+ Si	5.1	31.7	53	0.2	2.1	0.3	170
	N(60)+Si	5.2	30.0	58	0.2	2.2	0.3	173
	N(80)+Si	5.2	31.0	61	0.2	2.1	0.3	160
	N(100)+Si	5.1	30.4	62	0.1	2.0	0.2	155
	N(150)+Si	5.1	31.4	66	0.1	2.0	0.2	155
	LSD 0.05	0.2	ns	4.2	ns	0.25	ns	25

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

바. 적요

본 연구는 현행 유효규산 관리농도 130 mg kg^{-1} (RDA, 2000) 기준으로 4년 1주기로 공급되는 규산질 비료 시용조건에서 질소시비 수준 저감이 벼 수량과 미질개선에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구과제로서 벼 생육 특성, 벼 수량과 양분흡수특성, 미질특성을 조사하여 규산 처리조건에서 미질개선을 위한 질소시비량 저감하는데 연구의 목적이 있으며, 4년 동안 연구수행결과를 종합하여 정리한 내용은 다음과 같다.

연차별 규산질 비료시용 조건에서 질소시비수준에 따른 벼 초장과 경수 특성은 규산질 비료 처리조건에서 질소시비 수준이 증가될수록 약간 증가하였으며, 통계적 유의차는 인정되지 않았다. 연차간 질소시비량을 110 kg ha^{-1} 시비한 NPK 처리구에 비해 규산처리 조건에서 질소시비량(110 kg ha^{-1})의 80% 이상을 시비한 처리구는 초장과 경수 특성은 차이가 나타나지 않았다.

연차별 규산질 비료시용 조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 정조 수량은 증가하였다. 연차별 NPK의 정조 수량은 각각 5230, 5062, 6499 kg ha^{-1}이었고, 규산 처리 조건에서 NPK의 정조수량(5062 kg ha^{-1})과 같은 정조수량을 나타내는 질소시비량은 1년차 약 98 kg ha^{-1}, 2년차 98 kg ha^{-1}, 3년차 84 kg ha^{-1}로 조사되었다. 이는 규산처리 조건에서 주당 수수와 등숙율 증대와 약 10~25%의 질소이용율 향상으로 인해 NPK의 정조수량에 대비하여 질소시비량을 약 10~20%를 저감할수 있었다.

연차별 규산질 비료 시용 조건에서 질소시비수준이 증가함에 따라 백미 품위특성 중 완전립 비율은 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 NPK에 비해 완전미 비율은 규산을 시비한 처리구가 높은 경향을 나타내었다. 기상조건 악화와 병충해 피해로 인해 2년차의 완전미 비율은 1년차에 비해 약 40% 감소하였다. 규산처리조건에서 1, 2년차에 NPK와 같은 정조수량은 나타낸 질소시비 수준은 각각 5 %와 12%가 향상되었고, 3년차에는 NPK에 비해 약 15~20%의 완전미 비율이 감소되었다. 이는 높은 기온과 일조량에도 불구하고 목도열병의 피해가 NPK에 비해 약 2배 높게 발생되었던 이유로 해석된다.

연차별 규산처리 조건에서 질소시비 수준에 따른 백미의 화학적 특성 중 아밀로스

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

함량은 18~20%으로 조사되었고, 처리간 아밀로스 함량 차이는 발생하지 않았다. 규산처리 조건에서 질소시비 수준이 증가할수록 미질화학성 중 단백질 함량과 Mg/K 비율이 영향을 받았으며, 이에 식미치가 영향을 받는 것으로 조사되었다. NPK 처리구와 동일한 정조수량을 얻었던 질소시비량의 식미치는 단백질 함량감소와 Mg/K 비율 증대에 의해 NPK에 비해 약 5~15%의 식미치가 향상되었다.

결론적으로 규산질 비료시용 조건에서 NPK와 동일한 정조수량을 나타낸 질소질 비료 시용은 벼 생육에 영향 미치지 않았으며, 주당 수수와 등숙율 증대, 약 10~25%의 질소이용율 향상으로 인해 질소시비량을 약 10~20%를 저감할수 있었다. 또한 백미 품위 중 약 5 ~12%의 완전미 비율 향상과 단백질 함량감소와 Mg/K 비율 증대에 의해 NPK에 비해 약 5~15%의 식미치가 향상되었다. 그러므로 관행처리구에 비해 규산질 처리 조건에서 질소질 비료를 약 90 kg ha^{-1} 시용함으로써 수량 감소 없이 양질미 생산이 가능한 것으로 평가되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 4 장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

제 1 절 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

현행 농촌진흥청에서 추천하는 논토양의 적정 유효규산 관리농도는 130 ㎎/㎏이다(농업과학기술원, 1999). 그러나 이러한 유효규산 농도는 미질개선을 위한 최적의 규산농도에 대한 평가는 아직 미흡한 실정으로 유효규산 관리농도에 따른 벼의 수량 및 생육특성, 미질특성을 조사하여 미질개선을 위한 최적의 토양 유효규산관리 농도를 설정하고자 하였다. 또한 최근 볏짚환원으로 인한 규산이 논토양에 환원되고 있으며, 규산공급주기와 볏짚환원에 의한 규산 공급효과와 미질개선을 위한 합리적 규산관리 방안의 연구가 있어야 할 것으로 판단된다. 따라서 규산질 비료 공급주기와 볏짚환원이 벼 수량 및 생육특성, 미질특성을 조사하여 미질개선을 위한 최적의 규산공급주기를 산정하고자 하였으며, 지금까지 몇몇의 연구를 통해 규산 시용을 통한 질소질 비료 시용량 저감 가능성은 제시되고 있으나(이 등, 1987), 구체적인 질소시비량 절감과 미질 개선에 대한 연구는 이루어지지 않고 있는 형편이었다. 따라서 본 과제에서는 규산질 비료시용을 통한 질소시비량 저감효과와 미질개선효과를 검토하여 양질미 생산을 위한 친환경적 질소시비수준을 설정하고자 하였다.

Table 4-1. Accomplishment and major contribution

구 분	연구개발 목표달성도		관련분야에의 기여도
	연구개발목표	달성도 (%)	
1차년도 (2002. 10.15~ 2003.10.14)	○ 미질개선을 위한 토양내 유효규산 적정 관리농도 설정	100	○ 규산처리에 의한 미질개선 방안 중 토양내 적정 유효규산관리 조건에 대한 기초자료를 확립
	○ 미질개선을 위한 적정 규산질비료 시용주기 설정	100	
	○ 규산에 의한 질소시비량 저감수준 결정	100	

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Table 4-1. Accomplishment and major contribution

구 분	연구개발 목표달성도		관련분야에의 기여도
	연구개발목표	달성도 (%)	
2차 년도 (2003. 10.15~ 2004.10.14)	○ 미질개선을 위한 토양내 유효규산 적정 관리농도 설정	100	○ 미질개선을 위한 토양내 볏짚 환원 및 규산 공급 주기에 대한 기초자료 확립
	○ 미질개선을 위한 적정 규산질비료 시용주기 설정	100	
	○ 규산에 의한 질소시비량 저감수준 결정	100	
3차년도 (2004. 10.15~ 2005.10.14)	○ 미질개선을 위한 토양내 유효규산 적정 관리농도 설정	100	○ 규산처리에 의한 질소질비료 시비량 저감이 미질특성에 미치는 영향을 구명
	○ 미질개선을 위한 적정 규산질비료 시용주기 설정	100	
	○ 규산에 의한 질소시비량 저감수준 결정	100	
종 합	○ 연구계획대 진행 여부	100	○ 미질개선을 위한 토양내 규산처리조건인 적정유효규산 관리·공급주기 및 질소시비량 저감에 대한 기초자료를 확립
	○ 결과도출의 타당성	100	
	○ 연구목적 달성 여브	100	
	○ 사회 기여도	100	

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 2 절 평가 착안점

경종방법에 의한 토양 유효규산 관리·볏짚환원 및 규산공급주기·규산처리에 따른 질소시비량 저감이 미질개선에 미치는 영향에 대한 연구는 미미한 실정이었으며, 본 연구에서는 규산처리에 따른 벼의 수량 및 생육특성, 미질특성을 조사하여 미질개선을 위한 최적의 토양 유효규산농도 관리 및 규산공급주기·질소시비저감효과에 미치는 영향을 조사하였다. 토양 유효규산관리 농도·공급주기·질소시비량 절감 효과를 평가하여 규산질 비료시용을 통한 미질개선효과와 양질미 생산을 위한 최적의 규산관리 방안을 설정하고자 하였다.

Table 4-2. Indicator of evaluation

평 가 착 안 사 항	척 도 (점수)				평가
	A	B	C	D	
○ 규산 시용에 따른 생육 특성	10	8	6	4	10
○ 규산 시용에 따른 수량 특성	10	8	6	4	10
○ 규산 시용에 따른 양분흡수 특성	10	8	6	4	10
○ 규산 시용에 따른 백미 품위 특성	10	8	6	4	10
○ 규산 시용에 따른 미질 화학적 특성	10	8	6	4	10
○ 규산 시용에 따른 토양 화학적 특성	5	4	3	2	10
○ 미질개선을 위한 규산 관리농도 기준 설정	15	12	10	8	15
○ 미질개선을 위한 규산 공급주기 기준 설정	15	12	10	8	15
○ 미질개선을 위한 질소시비수준 기준 설정	15	12	10	8	15
평가 총점	100				100

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 3 절 추가연구의 필요성

미질개선을 위한 규산질비료 처리 농도 및 공급주기, 질소시비 수준에 따른 수도의 생육 및 수량 특성과 미질 특성을 연구하였다. 규산질 비료 시용은 벼 생육과 수량증수효과를 나타내었으며, 백미 품위의 완전미 비율 및 단백질 함량과 Mg/K 비율에 영향을 미치므로 미질개선에 효과가 있는 것으로 판단되었다. 그러나 본 연구에서 규산 관리 기준으로 설정될 조건에 대한 상세한 미질개선에 대한 검증이 부족하였다. 이에 토양내 규산 관리 농도 160 mg kg^{-1}을 기준으로 2년 1주기와 1년 1주기 규산시용에 조건에서 질소시비수준이 미질 개선에 미치는 영향을 구명이 필요할 것으로 판단된다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 5 장 연구개발의 활용계획

제 1 절 기대효과

본연구과제의 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 결과 지금까지 쌀의 증수를 위해 관리되어 온 토양내 유효규산의 관리기준과 관리기법을 미질향상과 질소이용율 증대를 통한 환경친화적 질소시비량 관리기준의 설정이 가능하게 할 것으로 판단되며 다음과 같은 효과가 기대된다.

1. 기술적 측면

○ 미질 향상과 일정한 수량성 확보를 위한 토양내 유효규산의 적정관리기준 설정

-. 산발적으로 조사 보고된 규산의 미질개선효과를 체계적으로 입증할 수 있을 것으로 전망됨.

-. 미질개선효과 증대를 위한 규산의 관리기준 설정이 가능할것으로 판단됨.

-. 규산질 비료의 적극적인 활용을 유도할 수 있을 것으로 기대됨.

○ 규산에 의한 질소시비량 절감과 환경친화적 영농기술 수립

-. 기존의 3요소 시용으로 얻었던 최고수량 획득을 위해 규산질 비료와 3요소를 함께 시용시에는 약 20~40% 내외의 질소 시용량 절감이 가능할 것으로 판단됨.

-. 규산 시용에 의한 질소 이용율 증대로 비료 시용량을 절감할 수 있으며, 이에 따른 환경친화적 시비관리체계의 운영이 가능 할 것으로 판단됨.

-. 질소 시비량 절감에 따른 미질개선을 함께 기대할 수 있을 것으로 전망됨.

2. 경제 · 산업적 측면

○ 미질개선에 의한 쌀값 개선과 쌀소비 증대

-. 규산의 적극적인 활용을 통해 미질을 개선하고 국민적 쌀 소비량 증대와 쌀값 개선을 유도하므로 농촌사회의 안정과 대외적 경쟁력을 키울 수 있을 것으로 전망

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

됨.

○ 규산시용에 의한 질소이용율 증대와 질소시비량 절감에 의한 환경친화적 쌀 생산과 생산량 하향 조절에 의한 영농조건 개선

-. 질소 이용율 증대에 의한 시비량 감소는 환경친화적 쌀의 생산을 가능케 할 것으로 판단되며, 이를 통한 쌀값의 개선을 기대할 수 있을 것으로 전망됨.

-. 부분적으로나마 질소시비량의 감축에 의한 영농 비용절감과 오염 발생량 감소에 기여할 것으로 전망됨.

-. 질소관리수준의 하향조절은 쌀의 생산량을 저감하므로 써 과잉재고에 의한 국가의 재정적 적자를 크게 개선할 것으로 전망됨.

-. 막대한 국가예산의 지원으로 무상공급되고 있는 규산질 비료의 적극적인 활용을 유도하여 국가예산의 효율적 활용에 기여할 것으로 판단됨.

제 2 절 활용방안

본 연구를 통해 개발된 규산을 이용한 미질개선 기술과 질소질 비료 저감기술은 농촌진흥청에 영농활용자료로 제시하고자 한다. 개발기술을 현장에서 완성하고 전국적인 시범포 운영으로 효과를 적극적으로 홍보하고자 한다.

○ 미질개선을 위한 합리적 규산 관리방안을 영농활용자료로 농촌징흥청에 제시하고 시범포 운영을 통한 적극적인 대농민 홍보 실시

○ 규산시용을 통한 질소 시비량 절감방안을 영농활용자료로 농촌징흥청에 제시하고 시범포 운영을 통한 적극적인 대농민 홍보 실시

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학정보 기술

1. 일본에서는 논토양의 유효태규산의 평가법으로 담수황온정치법과 토양용액법을 제시하여 현재까지 계속 보완 연구 중에 있다.

2. de Lima Rodrigues et al. (2003)은 벼와 사탕수수를 재배하는 137가지의 Florida 토양에서 대하여 유효규산 추출방법을 비교하였는데, sodium acetate buffer와 acetic acid가 다양한 토양에서 적절한 추출방법으로 제시되었다.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

제 7 장 참고문헌

강양순. 1984. 수도생육에 있어서 규소의 영향. 경북대학교 박사학위 논문.

강양순, 이종훈, 김정일, 이재생. 1997. 규산 시용이 미립의 품질에 미치는 영향. 한국작물학회지. 42(6) : 800-804

金光鎬, 朱鉉圭. 1990. 벼 품종의 재배지역에 따른 미질특성변이. II. 미질관계형질 상호관의 관계. 한국작물학회지. 35(2) : 137~145

김광호, 최해춘. 1990. 쌀 고급화 및 다양화 개발. 심포지엄. 84~85

金有燮, 黃善雄, 延秉熱, 朴永大, 金東水. 1992. 미질향상에 관한 연구. 1. 현미중 화학성분의 영향. 한국토양비료학회지. 25(4) : 357~363

김정교, 하호성. 1987. 인산과 규산비료 시용이 벼 생육 및 무기성분 흡수에 미치는 영향. 농연보 21-2

김종수, 박경배, 최정. 1993. 오염 관계수가 벼 생육 및 미질에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 26(2) : 132~137

김창배, 최정. 2002. 규산질비료의 매년연용이 벼수량, 양분흡수 특성 및 토양화학성 변화에 관한 연구. 한국토양비료학회지. 35(5) : 280~289

김창배, 이동훈, 최정, 2002. 논토양개량이 벼의 양분함량과 쌀 품질과의 관계. 한국토양비료학회지. 35: 296-305.

김창배, 최정. 1981. 사질답 토양에서 수도생육 및 수량에 미치는 토양개량제의 효과. 한국토양비료학회지 Vol 14(2):95-103

김한명, 이기영, 엄대익. 1983. 답유형별 규산시용효과에 관한 연구. 농시연보. 25(토비) : 85~95

金光鎬, 朱鉉圭. 1990. 벼 품종의 재배지역에 따른 미질특성변이. II. 미질관계형질 상호관의 관계. 韓作誌. 35(2):137-145

김종수, 박경배, 최정. 1993. 오염 관계수가 벼 생육 및 미질에 미치는 영향. 韓土肥誌 26(2):132-137.

농림통계연보. 1965-2001. 농림부

農村振興廳 農業技術研究所. 1988. 土壤化學分析法.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

農村振興廳. 1995. 農事試驗硏究調査基準.

대한매일. 2002년 2월 14일. 사설

박창영, 전원태, 박기도, 조영손, 강위금. 2003. 하성충적지 논토양에서 벼에 대한 동일 비료 장기연용 효과. 토양과비료 제 15호 29~44

박천서. 1970. 한국 논 토양 갈이흙(作土)의 유효규산 함량과 규산질 비료의 효과와의 관계, 유효규산 함량 분포 및 시용량에 관한 연구. 농사시험연구보고. 농촌진흥청. 13집 : 1~27

안시영, 김도훈. 1996. 수도에 있어서 시비조건이 미질에 미치는 영향. 동아대 농업자원연구 3(1):9-16.

오왕근. 1976. 논토양관리. 가리연구회. 서울. p.42-75. 339-348.

이기상, 김용웅, 김필두. 2003. 규산질비료 시용에 따른 미질향상과 연구. 한국토양비료학회

吳汪根, 朴養造. 1980. 土壤의 pH에 따른 암모니아의 揮散에 關한 硏究. 兩田 孫 龍敎 褧 回甲記念論文集 : 267~271

이기상. 2001. 벼에 대한 규산질비료의 시용효과 및 비효의 평가. 한국토양비료학회 2001 Workshop. 1~23

이상은. 2001. 규산질 비료의 원료별 형태별 특성과 효과의 평가. 한국토양비료학회 2001 Workshop. 43~58.

이용복. 2002. 규산과 인산의 경쟁적 흡착관계를 이용한 토양내 난용성 인산의 이용율 증대. 경상대학교 박사학위 논문

이기상. 1984. 벼에 대한 규산질비료 비종별 시용효과와 토양중에서 규산의 행동

이상은, 정광용. 1996. 토양의 규산흡착 카이네틱에서 2단계 흡착 기작. 한국토양비료학회지 Vol 29(2): 107-112

이용복. 2002. 규산과 인산의 경쟁적 흡착관계를 이용한 토양내 난용성 인산의 이용율 증대. 경상대학교 박사학위 논문. 진주.

임선구, 백남인. 1983. 답토양에서의 시비규산과 인산의 상호작용에 관한 연구. 한국토양비료학회지 Vol 16 No.4 : 327-332

임준택, 이인, 박인진, 이충일, 현규환, 권병선, 김학진. 1999. 논토양 벼재배에서 제강

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

슬래그의 토양개량제로서의 시용 효과. 한국토양비료학회 Vol 32(3): 295-303

이윤환, 허일봉. 1970. 병에 대한 합성규산물질에 관한 시험. 식물환경연구소 보고서. 15~31

이윤환, 허일봉, 한기학, 김영섭. 1973. 광재중 Al 및 Fe의 함량이 벼의 규산흡수에 미치는 영향. 농시연보(토비). 16 : 1~34

李種薰, 吳潤鎭. 1991. N,P,K 및 유기물의 23년간 연용이 수도의 수량생산성과 미질에 미치는 영향. 한국작물학회지. 36(4) : 332~339

李春秀. 1986. 畓土壤에서 水稻增收를 위한 질소시비량 결정에 관한 연구. 농시논문집 (植環・균이・農加) 28(2) : 6~21

李春秀, 黃氣性, 郭漢剛, 朴俊奎, 韓基鶴. 金有燮. 1987. 畓土壤의 유기물 및 규산함량이 질소비효에 미치는 영향. 농업과학기술원. 농시논문집(식환・균이・농가) 29(1) : 172~178

李種薰, 吳潤鎭. 1991. N,P,K 및 유기물의 23년간 연용이 수도의 수량생산성과 미질에 미치는 영향. 韓作誌. 36(4):332-339

林東圭, 愼濟晟, 박영선. 1985. 急冷鑛滓의 비료화에 관한 연구. Ⅲ. 水稻에 대한 急冷鑛滓의 直接 시용효과. 韓土肥誌. 18 : 312~317

정진일, 석순종, 최원영, 권태오. 1995. 호남평야 벼 재배유형별 미질특성 변이. 농촌진흥청. 농업과학논문집. 37(2) : 61~67

정구복, 이종식, 김원일, 연병렬, 유인수. 1998. 토양개량제를 장기연용한 논토양에서 구리와 아연의 분획화 및 유효도. 한국토양비료학회지 Vol 31(2): 107-113

정진일, 석순종, 최원영, 권태오. 1995. 호남평야 벼 재배유형별 미질특성 변이. 농촌진흥청. 농업과학논문집. 37(2):61-67

제상율. 1994. 비료시용방법이 동할발생과 미질에 미치는 영향. 경북대농학지. 1:19-26.

조선일보. 2001년 11월 1일. 사설

차광홍, 김영신, 이돈길. 1984. 전남 지방에 있어서 시비수준이 벼 품종별 백엽고병 감수성과 수량 및 미질에 미치는 영향. 한국식물보호학회지. 21(4) 216-221

崔泳根. 1996. 벼 품종 및 재배환경에 따른 벼알 충실도 분포와 충실도별 미질특성. 전북대학교. 박사학위논문.

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

崔鉉玉, 裵聖浩, 朴來敬, 李鍾熹, 崔相鎭. 미질에 관한 연구. (제1보) 쌀의 Amylose 함량과 관능검사 諸要素와의 관계. 농사시험연구보고. 농촌진흥청. 제16집(작물편).

조선일보. 2001년 11월 1일. 사설

黃興九. 1994. 쌀의 품질관계 이화학적 특성에 의한 벼 품종군 분류. 농업과학기술원. 농업논문집. 36(1) : 52~62

허문회, 서학수, 김광호, 박순직, 문헌팔. 1994. 미립내의 단백질과 Amylose 함량 및 Alkali 붕괴성의 환경에 따른 변이. 서울대농학연구지. 1(1) : 21~37

鄭連圭. 2000. 作物營養學 槪要. 正文社

鄭連圭. 1999. 肥料의 理解와 施肥. 正文社

토양과 비료. 2000. 한국토양비료학회

Asakawa, M., K. Okuno and H. Fuwa. 1985. Agric. Biol. Chem. 49 : 373~379

Agarie, S., Agata, W., Uchida, H., Kaufman, P.B.1996. Function of silica bodies in the epidermal system of rice(*Oryza sativa* L.): testing the window hypothesis.J. Exp. Bot.47:655-660.

Bowen, P.,Menzies, J.,and Ehret, D.1992.Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117:906-912.

Beckwith, R. S. and Reeve. 1963. Studies on soluble silica in soils Ⅰ. The sorption of silica acid by soils and minerals. Aust. J. Soil. Res. 1 : 157~168

Chierif, M., Asselin, A., and Belanger, R. R. 1994. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium spp.* Phytopathology 84:236-242.

Cocker, K.M., Evans, D. E., and Hodson, M. J.1998. The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: solution chemistry or an *in planta* mechanism? Physiol.Plant. 104:608-614

Epstein, E.1994. The anomaly of silicon in plant biology. Proc. Natl. Acad. Sci.91:11-17.

Elgawhary, S. M., and W. L. Lindsay. 1972. Solublility of silica in soils Ⅰ. Soc. Amer. Proc. Vol. 36 : 439~442

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Epstein, E. 1999. Silicon annual review of plant physicology. Plant Molecular Biology. 50 : 641~664

Hall, A. D. and Morison, C. G. 1906. On the function of silica in the nutrition of cereals-Part 1. Proc. Roy. Soc, London, B77:455-477.

Hewitt, E. J. 1963. The essential nutrient elements plant physicology. An advanced treatise Ⅲ : 137

Hoshikawa, K. 1989. The growing rice plant : An anatomical monograph. Nobunkyo. Tokyo. p. 310

Horiguchi, T. and Morita, S. 1987. Mechanism of manganese toxicity of barley. J. Plant Nutr. 10:2299-2310.

Iwasaki, K. and Matsumura, a. 1999. effect of silicon on alleviation of manganese toxicity in pumpkin(*Cucurbita moschala* Duch cv, shintosa). Soil Sci. Plant Nutr. in press.

Juliano, B. O., C. M. Perez, A. B. Blakeney, T. Castillo, N. Kongeseree, B. Laignellet, E. T. Lapis, V. V. S. Murty, C. M. Paule, and B. D. Webb. 1981. International cooperative testing on the amylose content of milled rice. Staerke. 33 : 157~162

Kim C.B., N.K. Park, D.U. Choi, S.G. Son and J. Choi, 1986, Change in rice yield and soil Physico-Chemical properties as affected by annual application of silicate fertilizer to the paddy soil. Korean J. soil sci. Fertilizer. 19(2) : 123-131.

Ki-Sang Lee. 1984. Effects of Different Silicate Fertilizers on Rice Plant and Behavior of Silica in Paddy Soil. M.S. thesis. GyeongSang National University. in Korea.

Kwang-Yuong Jung, Seong-Jin Cho, Jai-Jeong Kim. 1985. Effects of Rice Straw and Wollastonite Application on the Growth and Yield of the Rice Plant. *J.KOREAN SOC. SOIL. SCI. FERT.* Vol. 18(2): 148-155..

Kim C. B., N. K. Park, S. D. Park, D. U. Choi, S. G. Son, and J. Choi. 1986. Changes in rice yield and soil physico-Chemical propertie as affected by annual

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

application of silicate fertilizer to the paddy soil. Korean J. Soil sci. Fertilizer. 19(2) : 123~131

Ma, J. F. 1988. study on physiological role of silicon in rice plants. Master thesis, Kyoto University.

Ma., J. F. 1990. Studies on beneficial effects of silicon on rice plants. Ph. D. Thesis, Kyoto University.

Ma, J. F., Nishimura, K., and Takahashi, E. 1989.Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. Soil Sci. Plant Nutr. 35:347-356.

Ma, J. F., Sasaki, M., and Matsumoto, H. 1997. Al-induced inhibition of root elongation in corn, *Zea mays* L. is ovrcome by Si addition. Plant Woil 188:171-176.

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

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

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

MIn-Suk Yang, Han-Dae Yun, Jong-Soo Heo. 1983. Effect of Silicates on the Fatty Acid and Sterol Composition of Paddy Rice. *J.KOREAN SOC. SOIL. SCI. FERT.* Vol. 16(4): 333-342.

Park J. K., W. K. Oh and W. C. Kim. 1990. Effect of long-term application of ammonium sulfate, urea, composts and calcium silicate on macroelements and rice yields in paddy soil. Korean J. Soil. Sci. Fertilizer. 23(4) : 287~292

Park Y. D. 1967. The effect of silica on the growth of rice plant. Korean J. Soil Sci. Fertilizer. 10(3) : 55~61

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

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부

Perez, C. M. and B. O. Juliano. 1978. Modification of the simplified amylose test for milled rice. Staerke 30 : 424~426

Sang-Eun Lee, Heins Ulitz Neue. 1992. Kinetics of Silica Sorption and Desorption in Siol as affected by pH and Temperature. *J.KOREAN SOC. SOIL. SCI. FERT.* Vol. 25(4): 342-356.

Watanabe, I., 1984. Anaerobic Decomposition of Organic Matter in Flooded Rice Soil, in "Organic Matter and Rice", IRRI., Los Banos, Philippiness,, pp. 237-258

Yoo S. H., M. E. Park, L. D. Park, and H. M. Ro. 1982. Residual effect of silicate fertilizer on rice. Korean J. Soil sci. Fertilizer. 15(2) : 95~100

자료출처 : 규산의 효과적 처리에 의한 양질미 생산과 질소시비량 저감기술개발 / 농림부