

한국산 천연 Zeolite 광물의 토양개량 및 수도생육에 미치는 영향에 관한 연구

임수길
(고려대학교 자연자원대학 농화학과)

Studies on the effects of zeolite on the soil amendment and growth of paddy rice plant

Soo-kil Lim
Dept. of Agric. Chem. Korea University, Seoul, 136-701, Korea

적 요

壤質砂土와 微砂質植壤土에 한국산 천연 Zeolite 광물을 시용량과 입자크기에 따라 처리하여 토양개량과 수도생육 및 수량에 미치는 영향을 pot 실험으로 연구한 결과, 양질사토 및 미사질식양토에서 공히 Zeolite의 최저 시용량인 0.5 ton/10a 이상 시용으로 수량증가를 보였으나 Zeolite 입자크기간의 차이는 인정키 어려웠다. Zeolite 처리에 따른 최대수량은 양질사토에서 106 μ m이하 입자의 2.0 ton /10a 시용에서 보였는데 무시용구에 비하여 11.1%(22.79 g/head)의 정조수량 증가를 보였고(5%수준 유의성), 다음으로는 미사질식양토에서는 역시 106 μ m이하 입자의 1.5 ton/10a 시용으로 9.3%(24.98 g/head)의 수량증가를 보였다. Zeolite 시용은 수도 재배 후 토양 pH의 증가, 양이온치환용량 및 치환성 양이온을 증가시켰으며 이 경향은 시용량을 증가할 수록, 그리고 입자가 작을수록 증가하였다.

수도의 초기생육(최고분얼기)은 Zeolite 시용구와 무시용구간에 그 차이가 경미하였으나 후기생육(출수기)에서는 Zeolite의 시용으로 초장 및 분얼경수 등이 현저히 증가하였다. 전생육기를 통하여 전실표소 및 무기 양이온들(Ca, Mg, K, Na)의 수도체내 함량은 Zeolite의 시용으로 대체로 증가하였으나 인산함량은 처리간 차이를 인정하기 어려웠다.

I. 서 론

우리 나라 농경지의 대부분은 화강암과 화강편마암으로부터 유래된 토양으로 이루어져 있는데 이들 母岩으로부터 생성된 토양은 양분과 양분의 보유력이 약하여 관개용수의 손실이 크고 양분의 溶脫이 심하다. 또 토양 중 각종 양분의 함량이 적은 동시에 염기성·화도가 낮고 점토의 함량이 낮아 肥沃度가 떨어지므로 生産性이 낮다(농업기술연구소 1983).

토양의 물리적 성질이 수도 재배에 부적합하여 정상적인 관리를 하여도 수확량이 적은 논을 저위 생산수답이라 하며, 이들 저위 생산답 중에는 砂質畝가 가장 큰 비율을 차지하여 우리 나라 전체 畝면적의 32.3%에 달하고 있는 실정이다(신 1971). 이러한

저위생산지 토양의 생산량을 증대시키기 위한 적극적인 대책으로 토양의 물리, 화학적 성질을 개선시켜 작물의 생육을 양호하게 할 수 있는 여러 가지 물질을 토양에 직접 투여한다.

조 등(1967)과 임 등(1979)은 사질답 개량에는 점토 함량이 풍부한 粘質土 및 山赤土의 객사가 매우 효과적이라 하였고, 박(1967)과 박 등(1971)은 珪酸시용으로 정조수량이 현저하게 증수된다고 보고하였으며, 오(1966)는 유기물의 施用도 토양의 물리, 화학적 성질을 개선함은 물론 각종 영양소의 공급원이 되므로 증수가 가능한 것으로 보고하였다.

최근에는 비금속성자원 이용개발의 측면에서 Zeolite group이 상당한 주목을 끌고 있는데 Zeolite는 1756년 스위스의 광물학자인 Bron Axel Frendric Crenstedt에 의해 처음 발견되었고 그 후 많은 종류

의 天然 Zeolite와 合成 Zeolite가 알려졌다(Black 1965, Gould 1971).

Zeolite는 제 3기층 지대의 凝灰岩이나 火山 glass 퇴적물이 퇴적 후 암석의 하중압압과 각종 성분을 함유한 지하수나 열수의 작용을 받아 변질되어 생성된 것으로 추정되고 있다(Baldar 1968, Dinauer 1977, Mumpton 1972).

Zeolite는 미국, 일본 등이 主生産國으로 대개 고생대에서 현세통에 이르는 토적암층에 존재하는데(Dinauer 1977) 우리 나라에서는 함경북도 길주군에서 Zeolite류 광물의 일종인 Natrolite가 발견 보고된 사실이 있으며 최근에는 동해안의 영일군, 월성군, 울주군의 제 3기층 지대에 국부적으로 매장된 것 중 일부가 채광되고 있다. 우리 나라의 제 3기층 분포는 전국토의 약 1.5%에 불과하며 해안을 따라 10여개 지역에 분산 분포되어 있고 이 곳에서 산출되는 Zeolite는 Clinoptilolite와 Modenite가 주광물이며 평균 pH가 6.8, 평균 양이온치환용량이 91.9 meq/100g로서 비교적 순도가 높고 결정구조가 안정되어 있는 것으로 알려져 있다(최 1977, 김 1979, 엄 1985, 엄 1978).

Zeolite는 Si 또는 Al 원자를 정점으로 주위에 O원자들이 둘러 쌓인 사면체가 3차원적으로 확장되어 구조적 공극이 형성되는 합수 Aluminosilicate group들로서 각각의 O원자는 두 사면체 사이에 공유되고, 결정구조의 미세공극내에 알칼리 금속과 알칼리 토 금속이 존재한다(신 1978, 신 1971, 손 1977, 엄 1980).

Zeolite의 이론적인 화학 구성은 $(Na_x, K_x, Ca_x, Ba_x, Sr_x, Mg)_x(Al, Si)_yO_2 \cdot n \cdot xH_2O$ 이고 $O/Al + Si = 2 Al_2O_3 / (Na_x, K_x, Ca_x, Ba_x, Sr_x, Mg)_xO = 1$ 로 이 두 비율에 의하여 Zeolite의 화학적 특성이 결정된다(Dinauer 1977). 또한 Zeolite의 結晶水(Zeolitic water)는 분자 상태로 존재하는 것이 특징인데, 고온으로 가열해도 결정구조가 파괴되지 않고 탈수되어 미세다공질구조가 된다. 이 미세다공질의 Zeolite는 공극내의 수분이나 가스를 흡착하는 성질이 있고 양이온을 선택적으로 흡수하는 선택적 흡착작용 및 원래 보유하고 있는 양이온과 외부의 양이온이 쉽게 치환되는 특성을 지니고 있다(Black 1965, Gould 1971, Mumpton 1972).

Zeolite는 토양개량제로서 작물양분의 보유능력 증대(안 1985, 안 등 1984, Bartz 1983, Lewis 1980, Weber 1983), 水稻를 비롯한 농작물의 수량증수(홍 1979, 장 등 1977, 김 1977, 엄 등 1980, 엄 등 1981)등 농업적 이용뿐 아니라 하사료첨가제(한 등 1975), 농약 및 비

료의 증가제(김 등 1977), 공장폐수의 정화(신 1978), 염색폐수의 탈색(김 등 1981), 경수 연화제(Mumpton 1972), 건조제(mumpton 1972)등 다방면에 그 이용이 증대되고 있다.

이 등(1975)은 砂質漏水畝 개량시험을 통해 질소비조건(N : P₂O₅ : K₂O = 18 : 8 : 10 kg/10a)에서는 Zeolite 1 ton/10a 시용으로 8%, 다비조건(N : P₂O₅ : K₂O = 23 : 10 : 13 kg/10a) Zeolite 0.5 ton/10a 시용으로 8%의 현미가 증수되었으며, 그 시용 적량은 질소보비, 다비 조건 각각에서 0.76, 0.84 ton/10a 이었음을 보고하였다.

손 등(1977)에 따르면 간척지 토양에서 Zeolite의 시용 적량이 600 kg/10a 였으며, 김 등(1977)은 Zeolite첨가 Ball complex 비료의 퇴비효과를 검토한 실험에서 질소, 칼리의 흡수량이 株當 각각 4.8, 7.0mg 높아졌다고 보고하였다.

이 등(1975)은 사질답에 Zeolite를 양이온치환용량별, 입도별로 처리했을 때 양이온치환용량별로는 110 > 74 > 40 meq/100g, 입도별로는 60 > 20 mesh의 순으로 정조수량이 증수되었고 양이온치환용량이 74 meq/100g인 Zeolite는 2 ton/10a, 110 meq/100g인 Zeolite는 1 ton/10a 시용으로 정조수량이 6~7% 증수되었다고 보고하였다.

엄 등(1980, 1981)의 실험결과에 의하면 사양토에 Zeolite를 시용함으로써 透水係數가 감소되고 사양토와 양토에서는 배수조건일 때 Zeolite 시용으로 증수효과가 있었으며 또한 사질답에서는 양이온치환용량이 60 meq/100g인 Zeolite는 1 ton/10a이상, 양이온치환용량이 100 meq/100g인 것은 0.5 ton/10a이상을 시용했을 때 유의적인 증수효과가 있었다.

김 등(1981)은 사질답 토양에 硅酸質 肥料, 왕겨와 함께 Zeolite를 시용했을 때 1%수준의 유의적인 증수가 인정되었다고 하였다.

정 등(1982)도 Zeolite 1 ton/10a 시용으로 증수효과가 있었음을 보고하였고, 최 등(1983)은 양이온치환용량이 100 meq/100g인 세립질 Zeolite 2 ton/10a의 시용으로 당년도에 16% 증수되었고 양이온치환용량 61 meq/100g인 조립질 Zeolite는 2년째부터 7%의 증수효과가 있어 그 경제성이 인정된다고 하였다.

안(1984)은 점토함량이 16%인 토양에 硅酸을 適量 시용하였을 때 질소 20kg/10a를 흡착시킨 Zeolite 0.5 ton/10a 시용이 수도생육과 수량은 畝土 40 ton/10a 시용과 동등한 효과가 있었으며, 이때 최고 수량은

Zeolite 1 ton/10a에서 나타났다고 하였다.

그러나 아직까지 Zeolite의 입자크기에 따른 연구보고는 많지 않으며, 또한 토양조건에 따른 연구결과도 그리 보고된 바가 없다.

Zeolite의 시용량과 입자크기는 경제성과 직접 관련되므로 이에 본 연구에서는 점토함량을 달리하는 두 토양에 Zeolite를 시용량 및 입자의 크기별로 처리하여 토양성질에 미치는 영향과 수도체 생육 및 수량에 미치는 영향을 구명하여 그 결과를 보고하는 바이다.

II. 재료 및 방법

1. 공식토양

수도 및 토양에 대한 자연 Zeolite의 효과실험을 위한 토양은 점토함량을 고려하여 양질사토인 사두통과 미사질 식양토인 파천통을 선정하였다. 이들 토양을 풍건하여 2mm체를 통과한 것은 분석용 시료로 사용하였으며, 4mm체를 통과한 것은 10 kg씩(건중량)을 실험 Pot(1/2000a Wagner pot)에 담아 수도 재배에 사용하였다.

水稻 栽培 土壤에 첨가된 Zeolite는 한국 조라이트공업주식회사 제품을 사용하였다.

2. 수도재배

Zeolite는 1mm~4mm, 250 μ m~1mm, 106 μ m이하의 3개 입자크기로 구분하였으며 각 입자별 시용량구분은 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 ton/10a의 5개 처리로 하였다.

비료는 밀거름으로 질소 인산 칼리의 비율이 21 : 17 : 17인 복합비료 38 kg/10a 상당량을 담수 전에 Zeolite를 토양과 고루 섞어 사용하였고, 이삭거름으로써 황산암모늄 10 kg/10a, 염화칼륨 4kg/10a 상당량을 수용액상태로 사용하였다.

벼 품종은 추청벼로 43일 묘를 pot당 1주 3본씩 3주를 5월 20일에 이앙하였으며 이앙 3일전에 담수하여 이후 항상 침담수상태를 유지하였다. 관개수는 지하수를 사용하였고, 병충해는 미리 예찰하여 방제하였다.

실험은 3반복으로 수행하였고, pot는 완전 임의배치하였다.

3. 토양 및 Zeolite의 물리화학적 성질 및 수도체 분석

가. 토양 및 Zeolite의 물리화학적 성질 분석

pH는 토양과 증류수의 비율을 1 : 5로하여 pH meter로 측정하였고 유기물은 Walkley Black법으로 양이온치환용량은 Ammonium Acetate(pH 7.0)치환침출법으로 각각 정량하였다.

전질소는 Kjeldahl법으로, 유효인산의 정량은 Bray No.1법으로 하였으며 치환성 양이온은 Ammonium acetate(pH 7.0)으로 치환침출하여 원자흡광분석기로 정량하였다. 토양의 입도분석은 pipetting법으로 하여 미능무성법으로 분류하였다.

나. 수도체 분석

이앙 31일 후인 6월 21일(최고분얼기)에 수도의 지상부를 각 pot에서 1포기씩 채취하여 수도체 전체를 1차 시료로 사용하였고 8월 27일(출수기)에 각 pot에서 다시 1포기씩 채취하여 2차 시료로 사용하였다. 채취된 각 시료는 草長과 분얼경수를 조사하고 70℃ 열풍건조기에서 약 72시간 정도 건조시킨 후 건조량을 측정하고 Wiley mill로 분쇄하였다. 9월 27일(수확기)에 3차 시료로서 다시 1포기씩을 채취하여 수량구성요소를 조사하고 위와 같은 방법으로 건조하여 건물중을 측정하고 잎, 줄기의 2부분으로 나누어 분쇄하였다. 분쇄한 각 시료는 플라스틱 병에 보관하여 인(P), 칼륨(K), 및 양이온 분석에 사용하였다.

수도체 시료의 분석은 농약기술연구소(1978)의 습식 분해법에 준하였는데 그 방법은 다음과 같다.

식물체 시료 0.5g을 30ml microkjeldahl flask에 넣고 conc. H₂SO₄ 5ml로 flask벽을 닦아내면서 가해 시료를 고루 적신다. 분해로에 넣고 처음에는 낮은 온도로 가열하고 점차 온도를 올려 고온에서 가열하면서 H₂O₂ 0.5 ml씩 넣는다. 분해가 끝나면 냉각시키고 Toyo No.6 여지를 써서 100ml volumetric flask에 여과하고, 여액을 질소, 인(P), 칼륨(K) 및 양이온 정량에 사용한다.

여과액으로부터 질소는 microkjeldahl법으로, 인산은 Vanado molybdate yellow법으로, 그 외의 양이온은 원자흡광분석기로 정량하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 토양 및 Zeolite의 물리·화학적 성질 분석

수도 재배에 사용한 토양의 물리·화학적 성질은 Table 1에서 보는바와 같다. pH는 사두통과 파두통에서 모두 비교적 낮은 값을 보였고 유효인산의 함량은 사두통이, 치환성 양이온의 함량은 파주통이 더 높게 나타났다.

점토의 함량은 사두통이 3.6%였고, 파주통은 30.8%로 나타나 미농무성법에 따른 토성 분류 결과 각각 양질사토와 미사질식양토로 분류되었다.

수도 재배 토양에 첨가된 Zeolite의 물리·화학적 성질 분석 결과는 Table 2에서 보는 바와 같다. 입자의 크기에 따른 분석결과와의 차이는 뚜렷하지 않았으나 단지 양이온치환용량의 경우, 입자크기가 작을수록 그 값이 높게 나타났다. 이것은 점토광물의 분말도를 높임에 따라 음전하 생성이 증가되는데 기인된 것 같다.

2. 수량 및 수량구조요소의 조사

주당 정조수량 및 수량구성요소의 조사 결과는

표 3에서 보는바와 같이 Zeolite를 시용으로 거의 대부분 처리구에서 수량이 증대하였다. 양질사토에서는 Zeolite를 시용한 쏘 처리구에서 수량이 증가하였고 특히 최고 수량을 나타낸 106 μ m 이하 입자크기의 2.0 ton/10a 시용구에서 5%수준의 유의적인 증수효과가 인정되었다. 이것은 무시용구에 비해 11.1%의 수량이 증가한 것이다.

미사질식양토에서는 Zeolite 시용량에 따른 수량의 유의차 없었으나 1mm-4mm 입자크기의 1.5 ton/10a 시용구를 제외한 모든 처리구에서 수량이 증가하였다. 특히 106 μ m 입자크기의 1.5 ton/10a시용구에서 9.3%의 수량이 증대되었다.

수량구성요소들도 전 처리구에서 거의 대부분 무 처리구에 비해 높은 결과를 나타내었다.

특히 각 토양에서 최고수량을 보인 Zeolite 입자크기 처리 내에서 수당입수는 Zeolite 시용량과 고도의 유의성있는 正의 상관관계를 나타내었다. 따라서 본 실험에서는 수당입수가 결정적인 증수요인일 것으로 사료된다.

최 등(1983)은 사질답에 세입질 Zeolite 2.0 ton/ 10a 를 시용함으로써 16%의 수량이 증수되었다고 보고 하였으며 증수요인으로는 수당입수와 수장의 증가를 지적한 바 있다. 이는 본 연구결과와 일치하는 것이

Table 1. Physico-chemical properties of the soils used

Soil series (Great group)	pH (1:5)	O.M. (%)	T-N (%)	Avail.P ₂ O ₅ (ppm)	Ex.cations(meq/100g)				Degree of B.S. (meq/100g) (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	Texture	
					Ca	Mg	K	Na						
Paju (Hapludalf)	5.35	1.5	0.11	12.0	2.45	1.28	1.63	2.12	11.9	62.86	4.4	64.8	30.8	Silty clay loam
Sadu (Udipsament)	5.32	0.5	0.04	247.0	1.44	0.50	0.77	2.25	6.2	80.81	84.0	12.4	3.6	Loamy sand

Table 2. Chemical properties of zeolite used

Particle size	pH (1:5)	O.M. (%)	Avail.P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable catons(meq/100g)				CEC (meq/100g)
				Ca	Mg	K	Na	
1mm-4mm	7.05	0.27	17.9	62.13	11.42	9.78	9.02	113.5
250 μ m-1mm	7.13	0.29	17.4	60.50	12.02	10.23	11.38	115.8
<106 μ m	7.06	0.38	18.1	57.40	12.13	12.64	11.20	125.0

Table 3. Unhulled grain yield and its components.

Soil texture	Particle size of Zeolite	Level of Zeo-1000 lite (ton/10a)	No. of prain weight(g)	No. of prain per ears	No. of ears per head	Ripening ratio(%)	Unhulled grain yield(g/head)	Dry weight (g/head)	
	1mm - 4mm	0	23.30 b	85.50 b	11.33 a	92.30 b	20.52 a	35.32 a	
		0.5	23.37 c	84.29 a	12.00 a	92.39 b	21.84 a	49.83 a	
		1.0	22.57 e	85.32 a	11.33 a	95.10 ab	21.77 a	40.63 a	
		1.5	22.97 d	77.68 c	12.67 a	95.79 a	22.00 a	47.70 a	
		2.0	23.76 a	81.93 bc	12.33 a	92.63 ab	22.08 a	45.14 a	
	Loamy sand soil	250 μ m-1mm	0	23.30 d	83.50 b	11.33 a	92.30 a	20.52 a	35.32 b
			0.5	23.72 b	84.14 ab	9.70 b	93.87 a	20.97 a	41.84 a
			1.0	23.95 a	84.54 ab	11.00 ab	94.30 a	22.34 a	42.46 ab
			1.5	23.75 b	83.11 b	13.00 a	94.50 a	22.01 a	44.80 ab
			2.0	23.40 c	86.69 a	12.66 ab	94.80 a	22.28 a	50.78 ab
	< 106 μ m	0	23.30 a	83.50 a	11.33 a	92.30 a	20.52 a	35.32 b	
		0.5	23.19 a	85.51 a	12.33 a	92.47 ab	21.86 a	42.05 ab	
		1.0	22.88 a	84.30 a	13.00 a	90.77 b	22.19 a	43.50 ab	
		1.5	23.31 a	87.50 a	11.67 a	92.90 ab	22.66 a	44.22 ab	
		2.0	23.51 a	86.90 a	12.00 a	93.12 a	22.79 a	49.12 a	
	1mm - 4mm	0	24.10 a	91.20 a	11.33 a	91.80 a	22.86 a	35.39 b	
		0.5	25.18 a	92.63 a	9.00 a	91.87 a	23.29 a	40.34 ab	
		1.0	25.63 a	91.72 a	11.33 a	94.50 a	23.34 a	50.34 a	
		1.5	24.43 a	92.11 a	11.33 a	92.60 a	21.74 a	41.55 ab	
		2.0	24.70 a	92.37 a	11.33 a	93.03 a	23.12 a	40.85 ab	
	Silty clay loam soil	250 μ m-1mm	0	24.10 b	91.20 a	11.33 a	91.80 ab	22.86 a	35.39 b
			0.5	24.62 a	91.07 a	13.00 a	91.43 ab	24.66 a	45.22 ab
			1.0	24.33 ab	92.50 a	13.00 a	90.57 b	24.27 a	49.40 a
			1.5	24.65 a	90.94 a	12.67 a	94.60 a	24.26 a	42.80 ab
			2.0	24.04 b	92.50 a	12.33 a	89.29 b	23.66 a	39.09 ab
	< 106 μ m	0	24.10 c	91.20 bc	11.33 a	91.80 ab	22.86 ab	35.39 c	
		0.5	25.47 a	90.81 c	11.00 a	91.43 b	23.26 a	39.11 c	
		1.0	24.54 b	90.68 c	13.00 a	92.21 ab	24.26 a	50.84 ab	
		1.5	24.24 b	93.14 ab	12.00 a	92.47 a	24.98 a	53.89 a	
		2.0	25.20 ab	93.43 a	11.33 a	94.73 a	24.67 a	43.72 bc	

The same alphabet is not significantly different

다.

김 등(1981)은 Zeolite 시용에 의한 증수요인이 등숙률, 수당입수 및 조고비율이라 하였으며 정 등(1982)도 Zeolite 1 ton/ 10a 시용으로 천연중의 차이는 없었으나 주당수수(ear/head), 주당입수(grain No./ear) 및 등숙률이 향상되었다고 보고한바 있다.

이러한 양상은 Zeolite가 수도의 생육후기에 양분을

지속적으로 원활히 공급하는데 기인한 것으로 생각된다.

이 등(1975)도 Zeolite는 양이온치환용량이 커서 NH_4^+ , K^+ 및 Ca^{2+} 등 비료성분을 흡착하였다가 서서히 방출, 공급해 줌으로써 후기생육을 호전시킨다고 보고한바 있다.

한편 수량 및 수량구성요소에 대한 Zeolite의 입자

크기의 효과는 부록1에서 보는바와 같이 유의성이 없었다.

엄 등(1981)은 Zeolite의 입자크기에 따른 수도의 증수효과는 거의 차이가 없었다고 보고하였으며, 이 등(1979)은 Zeolite 60mesh 보다 증수 면에 있어서 다소 효과가 좋았다고 보고하였다.

이상의 연구결과로 보아 사질답에 대한 Zeolite의 사용량은 1.5ton/10a 이상이, 입자의 크기는 1mm 이하가 적당할 것으로 사료된다. 그러나 Zeolite의 사용

량과 입자크기는 수량 면과 경제성 면에 직접적인 영향을 주므로 이 부분에 대한 보다 많은 연구가 뒤따라야할 것이다.

3. 토양의 화학성 개량효과

품질사토와 미사질식양토에 Zeolite를 입자크기별 사용량별로 처리하고 수도재배후 각 처리구 토양의 주요한 화학적 성질을 조사한 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. The chemical properties of the soil after experiment

Soil texture	Level of Zeolite (ton/10 a)	pH (1:5)	Exchangeable cation (meq/100g)				CEC (meq/100g)	
			Ca	Mg	K	Na		
Loamy sand soil	0		5.37	1.34	0.27	0.38	2.04	4.50
		A	5.42	1.64	0.30	0.37	2.13	5.90
		0.5	B	5.65	1.57	0.30	0.37	2.14
	1.0	C	5.55	1.88	0.33	0.40	2.18	6.60
		A	5.39	1.68	0.30	0.40	2.30	6.50
		B	6.07	1.82	0.37	0.41	2.28	6.30
		C	5.55	1.96	0.38	0.44	2.29	6.70
		A	5.53	2.03	0.38	0.47	2.46	6.70
		1.5	B	5.86	2.12	0.38	0.43	2.40
	2.0	C	5.82	2.01	0.40	0.46	2.45	7.40
		A	5.95	2.02	0.38	0.45	2.53	6.20
		B	5.85	2.11	0.61	0.52	2.20	8.12
Silty clay loam soil	0	C	5.80	2.45	0.53	0.52	2.55	7.54
			5.47	2.31	1.22	0.62	2.23	12.40
		A	5.81	2.55	1.27	0.80	2.28	12.46
	0.5	B	5.67	2.53	1.22	0.69	2.31	12.56
		C	5.71	2.54	1.23	0.83	2.36	13.40
		A	5.72	2.56	1.27	0.75	2.46	12.50
	1.0	B	5.77	2.86	1.32	1.02	2.43	12.76
		C	5.72	2.99	1.35	0.83	2.60	12.80
		A	5.52	2.49	1.25	0.84	2.59	12.10
	1.5	B	5.83	3.06	1.33	0.98	2.59	12.80
		C	5.95	3.17	1.35	1.04	2.73	13.44
		A	5.48	2.93	1.33	0.84	2.95	13.00
2.0	B	5.84	3.41	1.38	1.03	2.90	12.90	
	C	5.78	3.65	1.38	1.06	2.90	13.60	

A : 1mm - 4mm Zeolite
 B : 250 μ m - 1mm Zeolite
 C : <106 μ m Zeolite

수도 재배 후 토양의 양이온치환용량은 두 토양 모든 처리구에서 Zeolite의 시용량이 증가할수록 그 값이 증가하였으며 양질사토에 있어서 그 효과는 더욱 뚜렷하였다. 또한 시용한 Zeolite의 입자크기가 작을수록 대체로 양이온치환용량이 증가하는 경향이었다.

토양 pH도 두 토양의 모든 Zeolite 처리구에서 시용량의 증가에 따라 그 값이 증가하는 경향을 보였으며 칼슘, 마그네슘, 칼륨, 나트륨등 치환성 양이온도 Zeolite 시용량의 증가에 따라 대체로 함량이 증가하였다. 그 중 치환성 칼슘의 함량이 특히 증대된 것은 Table 2에서 보는 바와 같이 Zeolite 자체내의 칼슘함량이 타 양이온에 비해 특히 높았기 때문이다. 이와 같은 Zeolite의 토양화학성 개량효과는 Zeolite 본래의 높은 pH 값이 일반 토양에 비해 월등히 높은 양이온치환용량 및 치환성 양이온함량이 토양에 가해졌기 때문이며, 또한 토양 pH가 증가함으로써 불용성이던 이온이 유효화되었기 때문인 것으로 생각된다. 엄 등(1980)은 Zeolite 시용이 사질답의 pH, 양이온치환용량 및 염기함량을 증가시키고 입자의 크기가 미세할 수록 개량효과가 약간 좋아지는 경향이 있었다고 보고하였는데 이는 본 연구결과와도 일치하는 것이다.

장 등(1977)도 사과원 토양의 개량효과를 報告하였으며, 최 등(1983)과 이 등(1975)도 이와 유사한 보고를 한 바 있다. 따라서 비교적 양분의 보유력이 낮은 사질계 토양에 Zeolite를 시용함으로써 토양의 pH, 양이온치환용량 및 치환성양이온의 함량을 높여 토양개량이 가능할 것으로 생각된다.

4. 수도의 생육시기별 생육상황 및 체내 무기성분의 함량 조사

양질사토 및 미사질식양토에 대한 Zeolite 입자크기별, 시용량별 처리에 따른 주요 생육시기의 수도생육 상황은 Table 5에 나타난 바와 같다.

최고분얼기에 있어서 Zeolite 시용량 및 입자크기에 따른 초장과 분얼경수의 처리간 차이는 경미하였다. 그러나 草長은 Zeolite 무시용구에서, 분얼경수는 Zeolite 시용구에서 다소 큰 경향이였다. 그러나 출수기에는 Zeolite 시용구가 무시용구에 비해 대체로 생육이 양호하였다. 수도의 생육초기에 Zeolite의 시용효과가 나타나지 않은 것은 높은 양이온치환용량을

보유한 Zeolite가 토양용액중의 유효성분을 흡착하기 때문인 것 같다.

김 등(1981)은 Zeolite 시용구의 분얼경수가 유수형성기까지 무시용구에 비해 다소 작았으나 수확기에 비슷하여 유효분얼경수의 확보가 양호하였다고 보고하였다. 또한 생육초기의 과도한 무효 분얼 발생을 억제하여 생육후기의 건실한 생육이 가능하였다고 보고하였다.

엄 등(1981)도 이와 비슷한 보고를 한 바 있으며 특히 수도의 생육후기에 Zeolite의 무시용구에서 비절현상이 심하게 나타났다고 보고하였다. 또한 최 등(1982)도 Zeolite가 수도의 초기생육보다는 후기생육에 뚜렷한 효과를 주는 것으로 보고하였다.

최고분얼기, 출수기 및 수확기의 수도체내 무기성분의 함량을 조사하여 Duncan의 다중검정 (Duncan's multiple range test)으로 분석한 결과는 Table 6 and 7과 같다. 수도체내의 질소함량은 전 생육시기를 통해 두 토양 처리구 공히 Zeolite 각각의 입자크기내에서 시용량에 따른 유의차가 있었다. 또한 Zeolite의 처리구에서 시용량의 증가에 따라 거의 대부분 질소함량이 증가하였다. 한편 칼륨의 수도체내의 함량은 최고분얼기에는 미사질식양토의 250 μ m-1mm 입자크기의 Zeolite 처리구를 제외한 모든 처리구에서 시용량에 따른 유의차가 있었다. 출수기에는 양질사토의 1mm-4mm와 250 μ m - 1mm입자크기의 Zeolite 처리구를 제외한 모든 처리구에서 시용량에 따른 유의차가 있었다. 수확기에서도 양질사토의 106 μ m 이하 입자크기의 Zeolite 처리구를 제외한 모든 처리구에서 시용량에 따른 유의차가 있었다. 또한 전 생육기의 모든 처리구가 Zeolite의 시용량 증가에 따라 수도체내 칼륨의 함량이 대체로 증가하는 경향을 나타내었다.

엄 등(1981)은 양이온치환용량이 각각 60, 100 meq/100g 인 Zeolite를 1 ton/10a 시용함으로써 출수기 수도의 질소, 인산, 칼리의 흡수량이 Zeolite 무시용구에 비해 증가하였으며 양이온치환용량이 큰 Zeolite가 효과적이었다고 보고한 바 있다. 일반적으로 수도에 있어서 질소는 수수 및 수당입수의 증가에 기인한다는 것이 알려져있다.

한편 음이온인 인산의 수도체내 함량은 전 생육기를 통해 모든 처리구에서 Zeolite 시용량에 따른 유의차가 전혀 없었다.

김(1970), 박(1967), 심 등(1971)은 규산의 증시로 규산 흡수는 증가하나 그로 인해 인산 등 음이온의 흡수

Table 5. The growth of rice plant at different growing stage.

Soil texture	Level of Zeolite (ton/10 a)		Height(cm)		No. of ears per head	
			Max.tillering stage	Heading stage	Max.tillering stage	Heading stage
Loamy sand soil	0		50.8	85.3	15.0	12.8
		A	51.2	90.5	15.7	13.5
		B	50.3	92.5	15.7	13.0
	0.5	C	47.3	92.0	14.8	14.1
		A	48.5	90.3	15.2	13.7
		B	47.7	89.0	15.5	13.0
	1.0	C	47.3	90.0	16.2	14.5
		A	47.7	86.5	16.2	14.2
		B	49.2	90.0	16.2	15.1
	1.5	C	46.7	90.5	15.1	14.5
		A	47.8	80.0	15.5	15.0
		B	47.3	92.5	15.8	15.0
2.0	C	47.2	87.5	15.8	14.4	
	0		46.5	85.0	14.7	12.3
	A	45.2	82.0	14.5	12.3	
Silty clay loam soil	0.5	B	46.5	84.5	14.9	14.5
		C	43.5	95.5	14.5	13.7
		A	44.8	82.5	15.5	13.7
	1.0	B	45.5	78.0	16.2	15.2
		C	45.3	82.5	15.9	14.9
		A	45.7	79.0	15.3	13.9
	1.5	B	45.0	85.5	15.5	14.5
		C	42.7	88.5	15.7	14.8
		A	44.3	83.0	15.5	14.2
	2.0	B	44.0	87.5	15.7	14.5
		C	43.2	88.0	15.5	14.5

A : 1mm - 4mm Zeolite

B : 250 μ m - 1mm ZeoliteC : <106 μ m Zeolite

가 감소된다고 보고한 바 있다. 일반적으로 Zeolite는 유효규산의 함량이 매우 높은 것으로 알려져 있는데 본 실험에 있어서는 Zeolite의 유효규산이 토양에 가해지므로 써 수도의 규산흡수가 증가하여 Zeolite 시용구와 무시용구의 수도체내 인산함량이 뚜렷한 차이가 나타나지 않은 것으로 사료된다.

한편 칼슘의 함량은 최고분얼기와 수확기의 전 처리구에서 Zeolite 시용량에 따라 유기차가 있었으며

또한 Zeolite 시용구가 무시용구에 비해 함량이 컸다. 마그네슘과 나트륨의 수도체내 함량도 일부 처리구를 제외하고는 대부분 시용량 증가에 따라 가하는 경향이였다.

이와 같이 양이온들의 수도체내 함량이 Zeolite 처리에 의해 증가한 것은 Zeolite 자체가 다량의 치환성 양이온을 함유하기 때문인 것 같다.

Table 6. The contents of nitrogen, phosphorus and potassium in rice plant at different growing stage.

Soil texture	Particle size of Zeolite	Level of Zeolite (ton/10 a)	N(%)			P(ppm)			K(ppm)		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III
Loamy sand soil	1mm-4mm	0	2.81 b	1.30 b	0.28 b	0.48 a	0.48 a	0.10 a	224.29 b	156.66 c	109.45 b
		0.5	3.46 a	1.31 b	0.30 b	0.51 a	0.50 a	0.10 a	301.61 a	169.42 bc	125.48 ab
		1.0	3.25 a	1.40 a	0.35 ab	0.40 a	0.51 a	0.17 a	308.14 a	191.09 ab	130.91 ab
		1.5	3.42 a	1.41 a	0.41 ab	0.47 a	0.51 a	0.14 a	304.77 a	182.54 abc	144.18 a
		2.0	3.36 a	1.45 a	0.48 a	0.53 a	0.39 a	0.13 a	313.32 a	196.88 a	140.05 ab
	250 μ m-1mm	0	2.81 a	1.30 b	0.28 c	0.48 a	0.48 a	0.10 a	224.29 b	156.66 a	109.45 b
		0.5	3.37 ab	1.33 b	0.33 bc	0.58 a	0.51 a	0.19 a	292.99 a	193.27 a	117.58 ab
		1.0	3.40 ab	1.35 b	0.46 ab	0.53 a	0.38 a	0.12 a	301.61 a	178.33 a	130.01 ab
		1.5	3.51 a	1.45 a	0.47 ab	0.57 a	0.50 a	0.11 a	315.88 a	187.65 a	130.02 ab
		2.0	3.25 b	1.45 a	0.55 a	0.60 a	0.38 a	0.10 a	325.41 a	191.92 a	137.64 a
	<106 μ m	0	2.81 c	1.30 c	0.28 c	0.48 a	0.48 a	0.10 a	224.29 b	156.66 a	109.45 a
		0.5	3.37 b	1.34 bc	0.34 c	0.61 a	0.49 a	0.11 a	301.68 a	192.80 a	143.86 a
		1.0	3.40 ab	1.44 ab	0.41 bc	0.50 a	0.51 a	0.10 a	308.46 a	217.59 a	130.78 a
		1.5	3.54 a	1.47 a	0.53 ab	0.62 a	0.49 a	0.11 a	301.73 a	207.48 a	138.11 a
		2.0	3.44 ab	1.48 a	0.58 a	0.50 a	0.52 a	0.14 a	301.69 a	200.97 a	139.83 a
Silty clay loam soil	1mm - 4mm	0	3.00 c	1.37 b	0.34 b	0.37 a	0.46 a	0.08 a	292.85 b	183.12 b	119.30 b
		0.5	3.19 bc	1.43 b	0.52 ab	0.37 a	0.43 a	0.09 a	319.45 ab	235.79 a	127.20 b
		1.0	3.35 b	1.44 b	0.61 a	0.40 a	0.35 a	0.09 a	310.06 ab	209.70 ab	160.49 a
		1.5	3.55 a	1.52 a	0.60 a	0.40 a	0.37 a	0.16 a	329.76 a	211.84 ab	153.12 a
		2.0	3.62 a	1.56 a	0.59 a	0.43 a	0.43 a	0.10 a	328.10 a	200.20 ab	153.41 a
	250 μ m-1mm	0	3.00 c	1.37 b	0.34 c	0.37 a	0.46 a	0.08 a	292.85 a	183.12 b	119.30 b
		0.5	3.25 b	1.43 b	0.53 b	0.38 a	0.34 a	0.10 a	321.23 a	200.19 ab	144.14 ab
		1.0	3.56 a	1.51 ab	0.58 ab	0.42 a	0.35 a	0.10 a	328.71 a	221.99 a	156.67 ab
		1.5	3.67 a	1.54 ab	0.67 ab	0.42 a	0.44 a	0.10 a	321.19 a	213.74 ab	161.87 a
		2.0	3.69 a	1.65 a	0.70 a	0.44 a	0.33 a	0.10 a	325.22 a	201.71 ab	167.08 a
	<106 μ m	0	3.00 c	1.37 b	0.34 b	0.37 a	0.46 a	0.08 a	292.85 b	183.12 b	119.30 b
		0.5	3.37 b	1.48 b	0.60 a	0.41 a	0.34 a	0.09 a	327.15 a	206.17 ab	136.56 ab
		1.0	3.56 ab	1.51 b	0.61 a	0.39 a	0.34 a	0.10 a	327.54 a	206.17 ab	136.56 ab
		1.5	3.69 ab	1.54 ab	0.62 a	0.41 a	0.35 a	0.12 a	330.73 a	217.27 a	165.46 a
		2.0	3.82 a	1.70 a	0.69 a	0.44 a	0.34 a	0.10 a	331.12 a	215.41 a	175.10 a

I : Maximum tillering stage II : Heading stage III : Harvesting stage

The same alphabet is not significantly different

Table 7. The contents of calcium, magnesium and sodium in rice plant at different growing stage.

Soil texture	Particle size of Zeolite	Level of Zeolite (ton/10 a)	N(%)			P(ppm)			K(ppm)		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III
	1mm-4mm	0	5.63 b	14.59 a	5.17 c	4.64 b	3.47 c	4.23 c	21.51 b	18.21 b	34.92 b
		0.5	5.80 b	10.73 a	6.03 b	6.43 a	5.64 abc	4.92 b	23.03 b	21.06 ab	75.33 a
		1.0	5.91 b	9.89 a	5.99 b	6.72 a	7.81 a	4.90 b	26.32 ab	23.74 ab	74.67 a
		1.5	7.63 a	12.43 a	6.01 b	7.50 a	6.26 ab	5.51 ab	28.75 ab	25.86 ab	70.56 a
		2.0	7.72 a	10.80 a	7.72 a	7.67 a	5.45 bc	5.49 a	32.29 a	28.32 a	89.22 a
Loamy sand soil	250 μ m-1mm	0	5.63 c	14.59 a	5.17 c	4.64 b	3.47 b	4.23 b	21.51 a	18.21 a	34.92 b
		0.5	2.23 bc	9.18 a	6.17 b	7.30 a	7.15 ab	5.14 a	25.41 a	21.56 a	84.65 b
		1.0	6.79 abc	10.67 a	6.22 b	7.63 a	7.81 a	5.09 a	25.58 a	27.96 a	85.50 b
		1.5	8.17 a	10.62 a	6.80 ab	7.58 a	6.57 ab	5.28 a	34.73 a	26.19 a	87.91 b
		2.0	7.45 ab	12.57 a	6.90 a	8.30 a	7.36 ab	5.39 a	29.90 a	26.89 a	97.41 a
	<106 μ m	0	5.63 bb	14.59 a	5.17 b	4.64 b	3.47 b	4.23 c	21.51 c	18.21 a	34.92 a
		0.5	6.23 ab	11.82 a	6.25 a	7.22 a	6.27 b	4.91 b	28.01 bc	25.94 a	76.98 a
		1.0	7.05 a	11.95 a	6.37 a	7.20 a	5.98 b	5.10 b	32.39 ab	30.40 a	98.73 a
		1.5	8.38 ab	13.58 a	6.31 a	7.04 a	7.21 ab	5.48 a	40.95 a	30.47 a	89.89 a
		2.0	7.80 a	18.16 a	6.66 a	7.54 a	12.81 a	5.47 a	36.10 ab	37.36 a	94.34 b
	1mm - 4mm	0	5.31 c	9.16 a	5.80 a	5.85 c	4.69 a	3.99 b	22.51 a	12.15 b	32.96 b
		0.5	5.77 bc	10.00 a	6.49 bc	6.42 c	7.33 a	5.43 a	23.38 a	11.65 b	51.55 a
		1.0	8.09 a	11.95 a	6.29 c	7.11 b	5.49 a	5.13 ab	26.02 a	16.89 ab	47.56 ab
		1.5	7.53 ab	11.30 a	6.68 ab	8.23 a	6.70 a	5.21 ab	26.27 a	15.48 b	45.71 ab
		2.0	7.33 ab	10.52 a	6.83 a	8.33 a	7.57 a	5.40 a	29.88 a	21.29 a	52.72 a
Silty loam soil	250 μ m-1mm	0	5.31 a	9.16 a	5.80 b	5.85 b	4.69 a	3.99 b	22.51 a	12.15 b	32.96 b
		0.5	6.87 ab	9.75 a	6.39 ab	7.03 ab	6.36 a	5.05 a	33.03 a	15.04 b	51.77 a
		1.0	7.97 a	11.10 a	6.53 ab	6.80 ab	6.86 a	5.12 a	24.78 a	15.38 b	49.93 ab
		1.5	7.22 ab	14.67 a	6.91 a	7.49 a	8.66 a	5.22 a	26.63 a	16.66 b	56.39 a
		2.0	7.87 a	11.62 a	6.94 a	7.99 a	8.78 a	5.37 a	30.14 a	22.59 a	57.32 a
	<106 μ m	0	5.31 c	9.16 a	5.80 b	5.85 b	4.69 b	3.99 b	22.15 a	12.15 b	32.96 c
		0.5	5.85 bc	11.48 a	6.33 ab	7.24 ab	5.65 b	5.17 a	24.44 a	13.95 b	45.03 bc
		1.0	7.13 b	10.18 a	6.52 a	6.84 ab	6.34 b	5.22 a	29.97 a	17.41 b	46.67 bc
		1.5	6.97 b	14.83 a	6.15 ab	7.27 ab	11.03 a	5.40 a	30.89 a	18.72 b	56.84 ab
		2.0	8.80 a	11.90 a	6.51 a	8.10 a	11.67 a	5.76 a	31.57 a	26.06 a	61.42 a

I : Maximum tillering stage II : Heading stage III : Harvesting stage

The same alphabet is not significantly different

연구한 결과는 다음과 같다.

V. 결론

양질사토와 미사질식양토에 한국산 천연 Zeolite 광물을 시용량과 입자크기에 따라 처리하여 토양개량과 수도생육 및 수량에 미치는 영향을 pot 실험으로

1. 양질사토 및 미사질식양토에서 공히 Zeolite의 최저 시용량인 0.5 ton/10a 이상 시용으로 수량 증가를 보였으나 Zeolite 입자크기간의 차이는 인정키 어려웠다.

2. Zeolite 처리에 따른 초대수량은 양질사토에서 106 μ m이하 입자의 2.0 ton/10a 시용으로 무시 구분 에 비하여 11.1%(22.79 g/head)의 정조수량 증가를 보였고(5%수준 유의성), 미사질식양토에 서는 역시 106 μ m이하 입자의 1.5 ton/10a 시용으로 9.3% (24.98 g/head)의 수량증가를 보였다.
3. Zeolite 시용은 수도 재배 후 토양 pH의 증가, 양 이온치환용량 및 치환성 양이온을 증가시켰으며 이 경향은 시용량d 증가할 수록, 입자가 작을수 록 증가하였다.
4. 수도의 초기생육(최고분얼기)은 Zeolite 시용구 와 무시용구간에 그 차이가 경미하였으나 후기생 육(출확기)에서는 Zeolite의 시용으로 草長 및 분얼 경수 등이 현저히 증가하였다.
5. 전생육기를 통하여 전질소 및 무기 양이온들(Ca, Mg, K, Na)의 수도체내 함량은 Zeolite의 시용으로 대체로 증가하였으나 인산함량은 처리간 차이를 인정하기 어려웠다.

인용 및 참고문헌

1. 안상배. 1985. 사질 답토양에 대한 객토자원으로 서의 Zeolite 시용효과에 관한 연구. 석사학위 논 문. 충북대학교.
2. 안상배, 조성진, 강장수. 1984. 사질 답토양에 대 한 객토자원으로서의 Zeolite 시용효과에 관한 연 구. 한국토양비료학회지 17(4) : 381-389
3. Baldar, N. A., and L. D. Whittig. 1968. Occurrence and synthesis of soil zeolite. Soil. Sci. Soc. Am. Proc. 32 : 235-238
4. Black, C. A., D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ens minger, and F. E. Clark. 1965. Method of soil analy sis, part2. Chemical & microbiological properties. Amer. Soc. of Agronomy, USA.
5. Bartz, J. K., and R. L. Jones. 1983. Availability of ni trogen to sudan grass from ammonium saturated clinoptilolite. Soil Sci. Soc. Am. J. 47 : 259-262.
6. Breck, D. W. 1974. Zeolite molecular sieve. John wiley & Sons, Inc.
7. 최대용, 정필균, 엄명호. 1977. 제 3기층에 분포한 우량점토광물에 대한 조사연구. 농업기술연 구소 시험연구보고서 p155-160.
8. 최주현, 조강진, 문을호, 정연태. 1983. 사질습답에

9. Dinauer, R. C. 1977. Minerals in soil environment, 2nd Ed. Soil Sci. Soc. of Amer. Madison, Wisconsin. USA. p453-466.
10. Gorbunov, N. L., and Bobrovitskiv. 1973. Distribution, genesis structure and properties of zeolite. Soviet Soil Science : 351-360.
11. Gould, R. F. 1971. Molecular seive zeolite I, Ame rican Chemical Society.
12. Grim, R. E. 1968. Clay mineralogy, 2nd Ed. McG row-Hill Book Company.
13. 한인규, 하종규, 김춘수. 1975. Zeolite 사료화에 관 한 연구. 한국축산학회지 17 : 595-599
14. 홍성희. 1979. Zeolite 시용이 채소의 생육과 수량 에 미치는 영향. 석사학위논문, 건국대학교.
15. 장남일, 이재석, 박노권. 1977. 사질토양 사과원에 대한 점토광물 시용효과 시험. 경북 농진원 시험 연구보고서 p499-503.
16. 정필균, 고문환, 박용수. 1982. 토양광물의 개량제 효과시험. 농업기술연구소 시험연구보고서 p377-385.
17. 조성진, 육창수. 1967. 답지력 증진시험(객토가 답 지력에 미치는 영향). 한국농화학회지 8 : 61-63.
18. 김창배, 최정. 1981. 사질답 토양에서 수도생육 및 수량에 미치는 토양개량제의 효과. 한국토양비료 학회지 14(2) : 95-103.
19. 김종택, 이종렬. 1981. 천연개량 Zeolite에 의한 염 료흡착효과. 경북대학교 산업개발연구소보고 9 : 1-10.
20. 김문규. 1970. 수도묘에 시용한 규산과 인산의 영 향에 관한 연구. 한국토양비료학회지 3(1): 17-21.
21. 김태순, 유장걸. 1977. 수도에 대한 심층추비효과 에 대한 연구-Zeolite 첨가 Ball complex 비료의 비 효. 한국토양비료학회지 10 : 61-67.
22. 김명운. 1977. Zeolite가 배추성장에 미치는 영향. 건농학보 18 : 52-58.
23. 김명운. 1979. 한국산 Zeolite에 관한 연구-화학적 조성과 X-선 분석. 건국대학교 농자원연구소 논문 집 2 : 7-11.
24. 이재석, 박노권, 장남일. 1975. 우량점토광물의 농 업적 이용에 관한 연구. 경북농촌진흥원 시험 연 구보고서 p361-499.
25. 이재석, 윤용석. 1979. 사질답토양에 대한 Zeolite 시용효과시험. 경북농촌진흥원 시험연구보고 서

- p444-455.
26. Lewis, M. D., F. D. Moor, and K. L. Goldberry. 1980. Zeolite-fertilizer N relationships. Hortsci. **15** : 411 (Abstract)
 27. 임재현, 박경배, 이일호, 정연태, 박래경. 1979. 사질답에 있어서 개량제 시용이 수도 증수에 미치는 영향. 한국토양비료학회지 **12**(2) : 83-89.
 28. 농업기술연구소. 1978. 토양화학분석법 p265-275. 삼미인쇄.
 29. 농업기술연구소. 1983. 한국토양총설. 토양조사자료 9.
 30. Mumpton. F. A., and R. A. Sheppard. 1972. Zeolite. Geotimes **17** : 16-17
 31. 오왕근. 1966. 유기물의 시용이 답토양의 이화학적 성질에 미치는 영향에 대한 연구. 농시연보 **9** (1) : 175-208.
 32. 박천서, 송재하, 김영섭, 이춘영, 최영순. 1971. 습답에 대한 개량제의 효과와 유효개량제 시험이 수도 증수 원인에 관한 연구. 한국토양비료학회지 **4**(1) : 13-19.
 33. 박영대. 1967. 수도의 생육에 미치는 규산의 효과. 농시연보 **10**(3) : 55-59.
 34. 박영대, 김영섭. 1976. 추락답 수도에 대한 규산의 증수효과. 한국토양비료학회지 **4**(1): 95-100.
 35. 심상철, 송기준, 김정자. 1971. 저위 생산답 토양에 대한 개량제와 인산의 효과. 한국토양비료학회지 **4**(1) : 21-26.
 36. 신은배. 1978. 제오라이트에 의한 증금속 페수처리 공정개발. 한국과학기술연구소 보고 p1-7.
 37. 신용화. 1971. 저위 생산답의 토양 유형별 특성과 분포. 한국토양비료학회지 **4**(1) : 95-100.
 38. 손희명, 김기준. 1977. 간척지 수도작에 있어서 Zeolite 시용효과에 관한 연구. 한국작물학회지 **22**(2) : 37-41.
 39. 엄명호, 정필균. 1980. 우량점토광물의 개량제 시험. 농업기술연구소 시험연구보고서 p161-165.
 40. 엄명호, 정필균, 임정남. 1981. 우량점토광물의 개량제 시험. 농업기술연구소 시험연구보고서 p207-223.
 41. 엄명호, 정필균, 임정남, 엄기태, 최대용. 1985. 제3기층에 분포한 Zeolite 및 Bentonite의 특성 조사연구. 농시논문집 (식환, 균이,농가) **27**(1) : 28-34.
 42. 엄명호, 이종목. 1978. 제3기층에 분포한 우량점토광물에 대한 조사연구. 농업기술연구소 시험 연구보고서 p218-233.
 43. Weber, M. A., K. A. Barbarick, and D. G. Westfall. 1983. Ammonium adsorption by a zeolite in a static and a dynamic system. J. Environ. Qual. **12** : 549-552.

Appendix 1. ANOVA for yield component by soil texture, particle size and level of zeolite.(zeolite.)

Source	1000 grain weight	No. of grain per paear	No. of particle per head	Ripening ratio	Total weight per head	grainDry weight per head
Soil texture	15.72***	48.24****	1.08 ^{NS}	6.29*	0.75 ^{NS}	3.96 ^{NS}
Particle size of Zeolite	0.01 ^{NS}	2.88 ^{NS}	1.37 ^{NS}	2.75 ^{NS}	0.80 ^{NS}	0.32 ^{NS}
Level of Zeolite	9.35****	5.09**	2.52 ^{NS}	4.12**	3.81**	9.29****
S.T× P.S.Z	3.64*	1.94 ^{NS}	2.54 ^{NS}	0.15 ^{NS}	1.19 ^{NS}	0.67 ^{NS}
S.T×L.Z	1.38 ^{NS}	2.01 ^{NS}	0.38 ^{NS}	1.40 ^{NS}	1.01 ^{NS}	3.33*
P.S.Z×L.Z	0.79 ^{NS}	3.21**	0.39 ^{NS}	2.28*	0.55 ^{NS}	0.59 ^{NS}
S.T×P.S.Z×L.Z	1.23 ^{NS}	0.71 ^{NS}	1.28 ^{NS}	0.66 ^{NS}	0.38 ^{NS}	1.03 ^{NS}

S.T : Soil texture

L.Z : Level of Zeolite

P.S.Z : Particle size of Zeolite