

새만금 간척지에서 석고, 팽화왕겨 및 제올라이트 처리가 토양 중 양이온 함량에 미치는 영향

백승화¹⁾ · 이상욱 · 김대근 · 허종욱 · 김성조*

원광대학교 생명환경학부, ¹⁾충북도립대학 바이오식품생명과학과
(2008년 11월 12일 접수, 2008년 12월 23일 수리)

Influence of Gypsum, Popped Rice Hulls and Zeolite on Contents of Cation in Reclaimed Tideland Soils in Mangyeong

Seung-Hwa Baek¹⁾, Sang-Uk Lee, Dae-Geun Kim, Jong-Wook Heo, and Seong-Jo Kim* (Div. of Life-Environment, College of Life Science and Natural Resources, Wonkwang University, ¹⁾Dept. of Biofood Science and Biotechnology, Chungbuk Provincial University of Science & Technology)

ABSTRACT: Soil conditioner, such as $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (gypsum), popped rice hulls (PRH), and PRH with zeolite, were treated to the silt loam of Mangyeong in Saemangeum tideland reclaimed as 1550 (G1), 3100 (G2) and 6200 (G3) of gypsum kg/10 a, 1000(H1), 2000(H2), and 3000 (H3) of PRH kg/10 a, and 200 (HZ1), 400 (HZ2), 800 (HZ3) of zeolite kg/10 a added to 1500 PRH kg/10 a, respectively, each year until 2006 from 2004 for soil aggregation. Under these conditions with growing bermuda grass (*Cynodon dactylon*) it was analyzed cations in soil, such as K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , and Ca^{2+} , at 60, 90, and 120 days after treatment (DAT) to research how soil conditioners influenced to change those contents in soils, respectively. The change of cations in soil was almost the same things as fine sandy loam that gypsum treated decreased remarkably contents of K^+ , Na^+ , Mg^{2+} in soil. The change of K^+ content in soil by continuous using soil conditioners was gradually decreased in the order of 2004>2005>2006, regardless of the sorts and levels of soil treated conditioners, and K^+ content was high in the order of gypsum<PRH<PRH with zeolite each year. Na^+ content was high in the order of gypsum<PRH<PRH with zeolite regardless of the sorts and levels treatment of soil conditioners each year. Particularly Treatments of PRH and PRH with zeolite was made to increase Na^+ content in soil as compared with fine sandy loam soil. Mg^{2+} content in soil was increased in the order of gypsum<PRH with zeolite<PRH along with continuous using soil conditioner. Ca^{2+} content in soil was remarkably increased with continuous treatment of gypsum, and its level was in the order of 2004<2005<2006.

Key Words: Gypsum, Popped rice hulls, Zeolite, Aggregates, Soil Aggregation, Fine sandy loam, Silt loam, Cations

서론

우리나라 간척지 토양의 토성은 세립질 또는 조립 세립질로 되어 있으며, 이들 간척지 토양은 모두 지하수위가 높아 토양 배수가 불량하고 건조시 염분이 작토 층으로 상승하는 재염화가 반복되고 있다. 특히 세립질 토양에서 토양구조가 발달되지 않은 신간척지는 수직배수가 불량하고 연약지반을 형성

하고 조립질 토양은 토층의 경반화로 수년간 이양작업이 곤란 내지 불가능한 경우도 있다¹⁾. 따라서 이들 신간척지에서의 제염은 물론 물리성 개선을 위한 토양의 입단형성에 대한 연구가 필요하다. 특히 새만금지역의 동진강 수역의 토성이 사질양토 58.3%, 양질사토 38.2%, 사토 3.5%의 토성분포를 나타내고 있어서 사질토양을 입단화 하는 것은 중요한 일이다²⁾.

Dontsova와 Norton³⁾은 토양의 입단형성과 구조적 안정성은 침투성을 증가시켜 유거수의 양을 감소시킨다고 하였다. Na 염해지 토양의 개량을 위해 전해질원으로 부산물 석고의 사용은 잘 알려져 있다. 따라서 나트륨 염류 토양에서 입단의 유지 및 파괴를 방지하는데 석고의 사용이 수화반지름을 감소

*연락처:

Tel: +82-63-850-6676 Fax: +82-63-850-6676
E-mail: sjkim@wku.ac.kr

시켜 점토의 응집에 효과적이다⁴⁾. 그리고 ESP(Exchangable Sodium Percentage) 및 pH 증가는 입단과 공극을 감소시킨다⁵⁾. 토양표면에 처리한 석고는 침투된 빗물 중의 전해질 농도를 증가시키고, 전기적 2중층을 축소시키며, 대부분의 토양에 있는 Na과 Mg에 대해 선택성을 가진 치환성 복합체에 Ca를 공급한다³⁻⁶⁾.

토양 중에서 토양유기물(soil organic matter;SOM) 작용을 조절하는 요인들은 유기물질의 첨가 및 투입과 관련되어 있고, 유기물의 분해는 무기화한 탄소, 미생물자원, 유기물의 가벼운 분획 및 대형유기물 등으로 구성되어 SOM 질과 관련이 있으며, SOM의 질은 토양입자들 간의 관계에 영향을 준다고 하였다. 또 SOM의 기능들은 총 SOM 또는 입단으로 된 SOM에 근거하여 구별된다. 또 토양 유기물은 입단의 안정도 유지, 식물영양분의 보존, 수분의 침투, 공기의 조절 등에 중요한 인자가 되고 있다^{7,8)}. 이러한 SOM의 수준은 동부프랑스의 산림토양 중 토양 Ca와 일차적으로 관련되고 있다고 하였다⁹⁾. Ca이 풍부하고 유기물질을 일정하게 유지시키는 Ca의 기능은 잘 알려져 있다¹⁰⁾. Ca의 첨가는 실험실내에서 glucose를 포장조건에서는 밀집의 무기화작용을 감소시키는 것으로 알려졌다^{11,12)}.

이와 같이 토양 중에서 내수성 입단형성의 유지 및 생성을 위하여 사용되는 토양개량제로 유기물, 석고물질 등의 사용은 토양의 pH, ESP, 양이온 함량 등과 밀접한 관계가 있을 것이다. 따라서 토양개량제가 토성별 특히 간척지 토양에서 물리화학적으로 어떠한 영향을 미치는 가를 조사 분석하는 것은 중요하다.

본 연구는 간척지 토양 중 미사질양토에 대하여 입단형성을 위해 토양개량제가 처리된 토양 중에서 양이온들의 동태를 분석하기 위하여 토양개량제로 이수석고, 팽화왕겨 및 zeolite 등을 처리량 및 조합을 달리하여 사용하고, 버뮤다그래스를 재배한 토양 중에서의 양이온들의 함량변화를 3년 간에 걸쳐 분석한 결과를 보고한다.

재료 및 방법

공시토양

새만금지역의 만경화포 간척지의 토양을 대상으로 버뮤다그래스(*Cymodon dactylon*)를 재배하고, 이수석고, 팽화왕겨,

팽화왕겨+zeolite 처리한 후 화학성 및 입단변화를 분석하였다¹³⁾. 토양 시료는 4 cm core (Eijkelkamp Co., Giesbeek, The Netherlacs)로 채취하고 음건하여 분석에 이용하였다. 입도측정기 (Model DIK-2000, Daiki Rika Kogyo Co. LTD, Tokyo, Japan)에 수돗물을 가하여 20℃ 항온이 되도록 맞춘 사각 수조안의 분리용 원통형 수조에 있는 입도분석용체(2.00, 1.00, 0.50, 0.25 mm)에 토양시료 50 g을 골고루 퍼 넣어 기포가 생기지 않도록 주의하여 하강시켜 물에 잠기도록 하여 10분 동안 토양에 물이 스며들게 한 후 30분 동안 분당 20회 상하운동으로 사분된 토양입자를 105℃로 조절된 dry oven에서 24시간 건조한 후 2.00, 1.00, 0.50, 0.25 mm체에 들어있는 토양입자의 무게를 칭량하여 백분율로 환산하였다. 공시토양의 화학성 및 입단분포는 Table 1 및 Table 2와 같다.

Pot별 토양개량제 처리수준

2004~2006년 3년에 걸쳐 새만금 지역 만경화포 미사질양토를 음건 후 마쇄하여 5 mm체를 통과한 토양 10 kg를 wagner pot(Φ 18 cm, Lenth 30.1 cm, 1/3000 a)에 채워 포트당 지하수 400 ml씩 주입하여 포트수위를 20 cm로 유지되도록 조절하였으며 증발되는 수분을 보충하고자 간단관수하고 버뮤다그래스는 4월 22일 파종 하였다. 토양개량제 및 처리수준은 무시용구, 토양개량제 무시용 bermuda grass 재배구, 이수석고 시용(3수준) bermuda grass 재배구, 팽화왕겨 시용(3수준) bermuda grass 재배구, 팽화왕겨(1500 kg/10 a) + zeolite(3수준) 시용 bermuda grass 재배구로 3반복 처리 (Table 3)하여 원광대학교 생명자원과학대학 식품환경학전공 온실 옆 노지에 난피법으로 임의배치 하였다. 토양시료는 4 cm core로 6월21일(60 DAT), 7월 21일(90 DAT), 8월 21(120 DAT)일에 채취하였다. 또 토양 개량제의 화학적 특성은 Table 4와 같다.

결과 및 고찰

간척지 토양의 입단형성 작용을 높이기 위하여 만경 미사질토에 대하여 각각 이수석고, 팽화왕겨, 팽화왕겨+zeolite를 2004~2006년간 연용 하고, 처리별 토양 중 K, Na, Mg, Ca 등 양이온 함량을 조사 분석한 결과를 그림으로 나타내었다.

Table 1. Characteristics of soils used in the experiment

Soil texture	pH (1:5)	OM (%)	CEC (cmol ⁺ /kg)	Ex.cation(cmol ⁺ /kg)			
				K	Ca	Mg	Na
Silt loam	6.50	0.62	12.39	0.47	2.93	2.46	0.37

Table 2. Distribution of aggregates sizes in soils used in the experiment (unit:%)

Soil texture	Sizes of aggregates(mm)					Degree of aggregation
	>2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	<0.5	
Silt loam	0.95	13.30	9.57	5.26	7.85	36.93

Table 3. Level of gypsum, popped rice hulls and zeolite with popped rice hulls to pots

Pots	Level of soil amendments(kg/10 a)			
	Fertilizing (N-P-K)	CaSO ₄ ·2H ₂ O	Popped rice hulls	Zeolite
C	17.2-2.2-4.1 [¶]	-	-	-
G1	17.2-2.2-4.1	1550	-	-
G2	17.2-2.2-4.1	3100	-	-
G3	17.2-2.2-4.1	6200	-	-
H1	17.2-2.2-4.1	-	1000	-
H2	17.2-2.2-4.1	-	2000	-
H3	17.2-2.2-4.1	-	3000	-
HZ1	17.2-2.2-4.1	-	1500	200
HZ2	17.2-2.2-4.1	-	1500	400
HZ3	17.2-2.2-4.1	-	1500	800

[¶] Trenholn, L. E. et al. 2000. Crop Sci. 40: 1350-1357.

Table 4. Ingredients of popped rice hulls and gypsum

Material	CEC (cmol ⁺ /kg)	T-C	T-N	C/N	T-P	P ₂ O ₅ K ₂ O CaO MgO Na ₂ O SiO ₂ (%)					
						Gypsum	-*	-	0.03	-	1.9
Popped rice hulls	-	41.4	1.17	35.4	-	0.62	0.65	0.17	0.20	0.11	-
Zeolite	262.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Not determined

토양개량제 처리 후 60일, 90일, 120일 토양 중 K 함량은 Fig. 1과 같다.

만경 미사질양토의 경우 60, 90, 120 DAT(day after treatment, DAT)의 모든 처리 경과일수에서의 K 함량은 연용 토양개량제의 종류 및 처리수준과 관계없이 년도별 감소 현상이 뚜렷하여서 2004 > 2005 > 2006 순으로 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한 각 년도별 토양 중 K 함량은 안정적 변화를 보이면서 이수석고 < 팽화왕겨 < 팽화왕겨+zeolite 순으로 토양 중 K 함량이 높았다. 무처리구(C)에 비하여 이수석고 사용은 토양 중 K 함량을 낮아지게 하였고, 팽화왕겨 및 zeolite의 사용은 토양 중의 K 함량을 높이는 경향을 보였다(Table 4). 이는 이수석고의 경우 K 함량이 팽화왕겨와 팽화왕겨+zeolite 처리보다 토양 중에 낮았던 원인은 Ca 성분이 토양교질을 개선하여 토양 중의 치환성 Na와 Mg 함량을 줄이고 Ca 함량은 증가 되어 계염이 촉진된다고 한 결과로 부터¹⁴⁾, 판단할 수 있는 사실은 원자의 반지름이 클수록, 이온화 포텐셜이 작을수록 쉽게 유리될 수 있기 때문에 석고로부터 유리된 SO₄²⁻와 결합되어 K₂SO₄로 된 다음 배수와 함께 용탈됨으로써 K의 함량이 감소되는 것으로 생각되었다.

팽화왕겨 2000 kg/10 a (H2) 및 3000 kg/10 a (H3) 단독처리구 보다 zeolite 혼용구는 팽화왕겨 사용량이 낮았음에도 토양 중 K 함량이 높았는데, 이는 팽화왕겨의 공극에

흡착이 이루어 지거나 zeolite의 CEC가 높았기 때문으로 생각되었다(Table 4).

토양개량제 처리 후 60일, 90일, 120일 토양 중 Na 함량은 Fig. 2와 같다.

만경 미사질양토 60 DAT에서의 Na 함량은 토양개량제 처리구만을 비교할 때 이수석고 < 팽화왕겨 < 팽화왕겨+zeolite의 순으로 높아 토양개량제의 종류 및 처리수준이 영향을 미치지 못하였다. 이는 팽화왕겨의 공극에 흡착되거나 zeolite와의 결합이 이루어져 배수와 함께 용탈되지 못한 결과로 생각되었다. 특히 이수석고의 사용은 무처리구(C)와 비교할 때 토양 중 Na 함량을 낮아지게 하였다. 년도별로는 2006년의 토양에서 가장 낮은 Na 함량을 나타냈으나 연용에 따른 년차 변화는 인정하기 어려웠다. 만경 미사질양토 90 DAT에서의 Na 함량도 각 년도에서 이수석고 < 팽화왕겨 < 팽화왕겨+zeolite의 순으로 높았고, 연용기간이 길어질수록 높아지는 경향을 나타내었다. 연도별로는 2006 > 2005 > 2004 순으로 낮아지는 경향이었고, 팽화왕겨의 처리는 처리수준과 관계없이 2005 및 2006년 토양에서 비교적 높은 것으로 나타났다. 만경 미사질양토 120 DAT에서의 Na 함량은 연용기간이 길어질수록 낮아지는 경향이었지만 2006 < 2004 < 2005년 순으로 높았다. 120 DAT에서도 Na 함량변화는 년차간에 차이가 없었다. 토양개량제 처리는 이수석고 < 팽화왕겨 < 팽

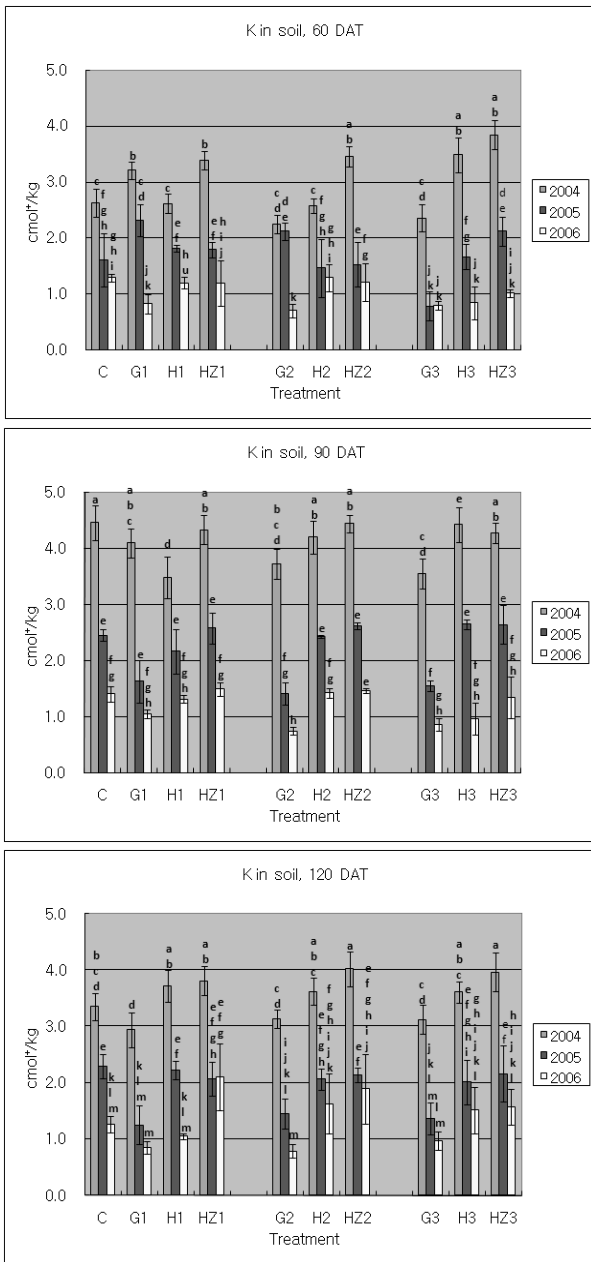


Fig. 1. Exchangeable K⁺ concentration in the soil treated with gypsum(G), popped rice hulls(H), and zeolite with popped rice hulls(HZ).
 *Means with the same lettered superscripts of histogram's are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

화왕겨+ zeolite 순으로 토양 중 Na 함량이 낮아지는 경향이 있었다. 그러나 무처리구에 비하여 팽화왕겨 및 zeolite의 사용은 토양 중 Na 함량을 높이는 원인이 되었고, 특히 zeolite 사용은 토양 중 Na 함량을 높이는 결과가 되었다.

토양개량제 처리 후 60일, 90일, 120일 토양 중 Mg 함량은 Fig. 3과 같다.

만경 미사질양토 60 DAT에서의 Mg 함량은 처리수준 및

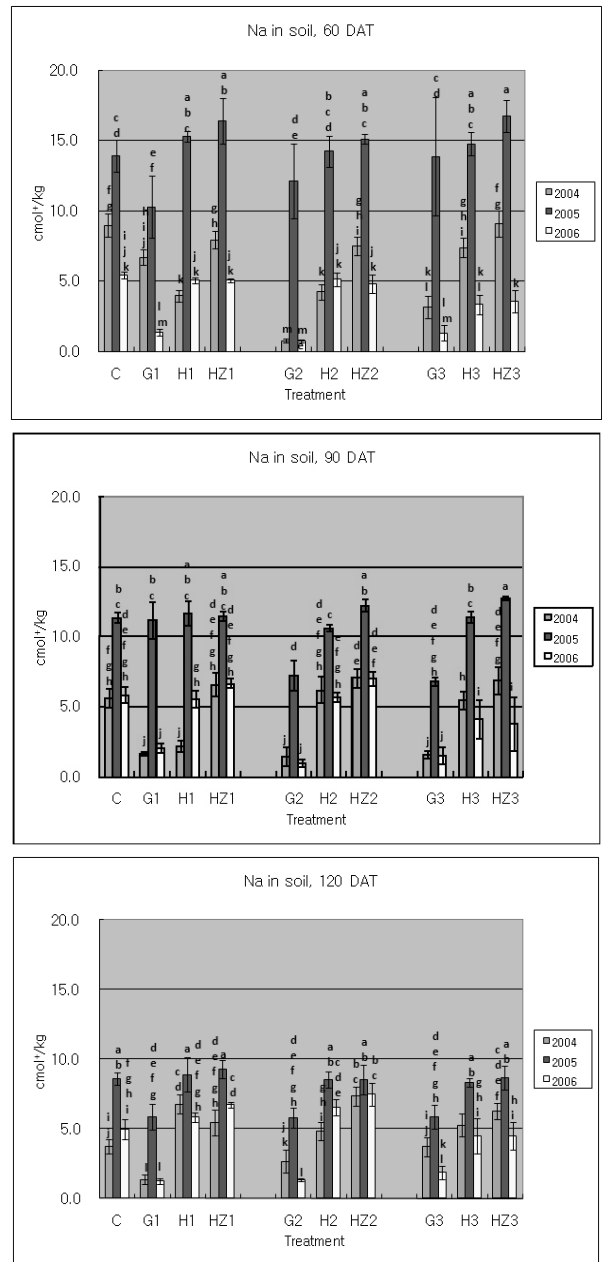


Fig. 2. Exchangeable Na⁺ concentration in the soil treated with gypsum(G), popped rice hulls(H), and zeolite with popped rice hulls(HZ).
 *Means with the same lettered superscripts of histogram's are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

종류에 따른 년도별 변화를 예측하기 어려웠다. 그러나 무처리구에 비하여 이수석고 처리는 토양 중 Mg 함량을 감소시키는 효과가 뚜렷하였고, 팽화왕겨 및 zeolite 처리는 어느 정도 토양 중 Mg 함량을 거의 유지시켜주는 것으로 나타났다. 이 현상은 90 DAT에서도 비슷한 결과였으나, 팽화왕겨 수준이 높아지고(H3) zeolite 처리량이 높을 때(HZ3)는 낮아지는 경향이었고, 3년 연용한 2006년 토양 중 Mg 함량이 년

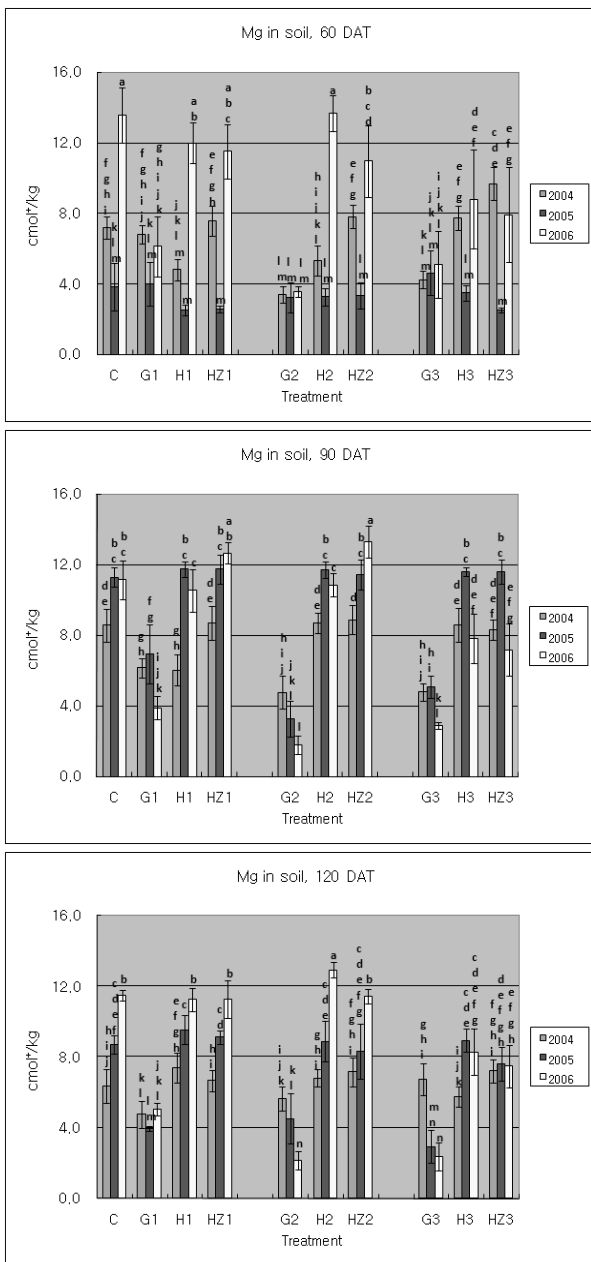


Fig. 3. Exchangeable Mg²⁺ concentration in the soil treated with gypsum(G), popped rice hulls(H), and zeolite with popped rice hulls(HZ).

*Means with the same lettered superscripts of histogram's are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

도별로는 가장 낮은 함량을 보였다. 처리수준이 낮을 경우는 2005 및 2006년 토양의 Mg 함량이 높아졌다가 토양개량제 수준을 높인 G3, H3 및 HZ3의 다량처리는 2006년 토양 중 Mg 함량을 가장 낮게 하는 결과를 보였다. 이러한 변화들은 이수석고 < 팽화왕겨+zeolite < 팽화왕겨 순으로 높아지고 있었다. 만경 미사질양토 120 DAT의 Mg 함량은 연용기간이 길어질수록 이수석고 처리구를 제외하면 무처리구에 비해

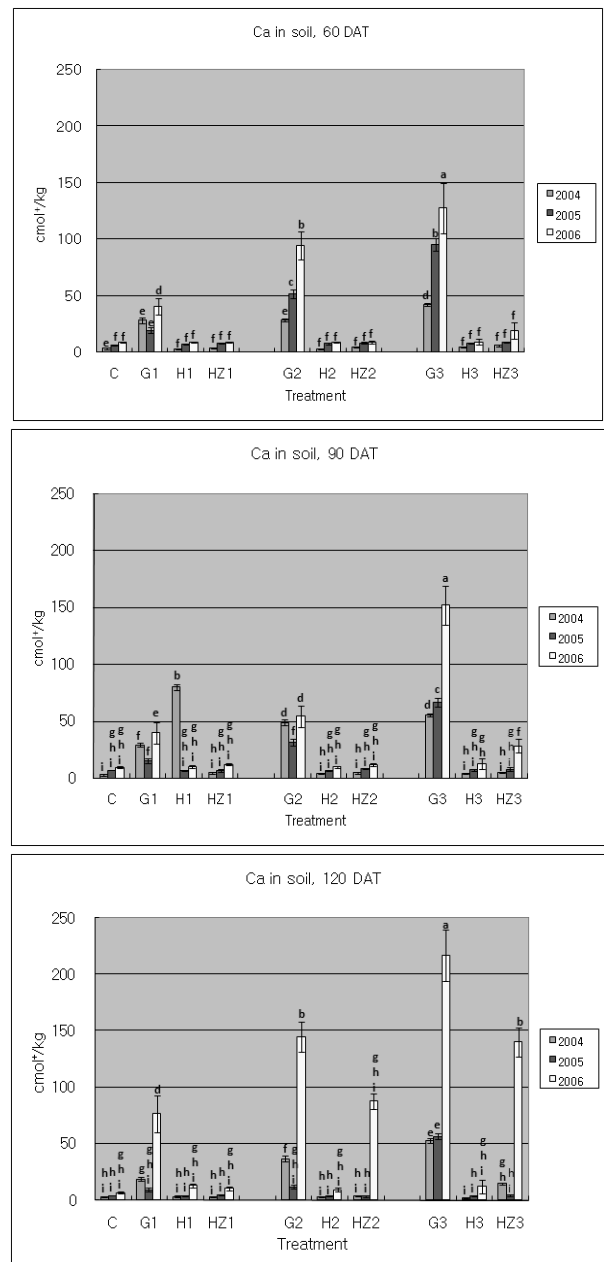


Fig. 4. Exchangeable Ca²⁺ concentration in the soil treated with gypsum(G), popped rice hulls(H), and zeolite with popped rice hulls(HZ).

*Means with the same lettered superscripts of histogram's are not significantly different at 5% level by Duncan's multiple range test.

여 낮아지는 경향을 보기가 어려웠다. 120 DAT에서 년도별 Mg 함량 변화는 이수석고 < 팽화왕겨+zeolite < 팽화왕겨 순으로 높아지고 있었다. 이는 토양개량제 및 처리수준에 따른 연용이 토성에 따라 토양 중 Mg 함량을 달라지게 할 수 있음을 나타내는 결과였다.

토양개량제 처리 후 60일, 90일, 120일 토양 중 Ca 함량은 Fig. 4와 같다.

만경 미사질양토 60 DAT에서 팽화왕겨와 zeolite를 연용한 처리는 토양 중의 Ca가 토양개량제의 처리수준에 관계없이 무처리구의 수준으로 일정하였다. 이수석고 연용처리는 세사양토에서 보여준 결과와 유사하게 처리수준이 높을수록 토양 중 Ca이 높아지는 결과가 되었으며, 년도별 변화도 2004 < 2005 < 2006년의 순으로 연용년수에 따라 높아졌고, 처리수준이 높으면 토양 중의 Ca 함량도 높아지는 결과가 잘 나타나고 있었다. 90 DAT에서는 이수석고 6200 kg/10 a 처리구인 G3, 팽화왕겨 3000 kg/10 a 처리구인 H3, 팽화왕겨 1500+zeolite 800 kg/10 a를 처리한 HZ3에서 2004 < 2005 < 2006년의 순으로 토양 중 Ca 함량이 높아지는 경향이 있었다. 120 DAT에서의 Ca 함량은 60 DAT와 90 DAT의 결과와는 달리 연용연한에 따른 일정한 경향을 보기 어려웠다. 이것은 토성의 차이에서 기인된 것으로 추정되었다.

적 요

본 연구는 간척지 토양 중 미사질양토에 대하여 입단형성을 위해 가해진 토양개량제가 토양 중 양이온 함량변화에 미치는 영향을 분석하기 위하여 토양개량제로 이수석고 1550 (G1), 3100 (G2), 6200 (G3) kg/10 a, 팽화왕겨 1000 (H1), 2000 (H2), 3000 (H3) kg/10 a, 팽화왕겨 1500 kg/10 a에 zeolite 200 (HZ1), 400 (HZ2), 800 (HZ3) kg/10 a가 되도록 처리량을 달리하여 3년간 연용사용하고, 버뮤다그래스를 재배한 토양을 60, 90, 120일 경과 후 채취하여 토양개량제 연용이 토양 중 양이온 함량변화에 미치는 결과를 보고한다.

이수석고의 처리는 토양 중 K, Na, Mg의 함량을 현저히 감소시키는 것으로 나타났다. K 함량은 연용 토양개량제의 종류 및 처리수준과 관계없이 년도별 감소현상이 뚜렷하여서 2004 > 2005 > 2006 순으로 낮아지는 경향을 나타내었다. 또한 각 년도별 토양 중 K 함량은 안정적 변화를 보이면서 이수석고 < 팽화왕겨 < 팽화왕겨+zeolite 순으로 토양 중 K 함량이 높았다. Na 함량은 이수석고 < 팽화왕겨 < 팽화왕겨+zeolite의 순으로 연용 토양개량제의 종류 및 처리수준과 관계없이 각 년도에서에서 높게 나타났다. 특히 팽화왕겨 및 팽화왕겨+zeolite의 각각 처리는 이수석고 처리구와는 달리 대조구의 Na 함량 보다 높아지고 있는 현상이 계화도 세사양토의 결과와 비교가 되었다. Mg 함량은 년도별 변화는 이수석고 < 팽화왕겨+zeolite < 팽화왕겨 순으로 높아지고, 연용기간이 길수록 높아지는 경향이 있었다. 이수석고 연용처리와 세사양토에서 보여준 결과와 유사하게 처리수준이 높을수록 토양 중 Ca이 높아지는 결과가 되었으며, 년도별 변화도 2004 < 2005 < 2006년의 순으로 연용년수에 따라 높아졌다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 원광대학교 학술연구조성비에 의해서 연구되었습니다. 토양샘플링 및 분석을 도와준 원광대학교

생명자원과학대학 생명환경학부 식품·환경학 전공의 나영준, 김진호, 박경철, 임석희 학생들에게 감사의 말을 전합니다.

인용문헌

- Ahn, Y., Lee, S. H., Ji, K. J., Hong, B. D., Rho, H. M., Ryu, S. H., Lee, S. M., Han, K. H., Choi, W. J., Yun, S. I. and Choi, Y. D. (2002) Studies on changes of soil characteristics and utilization after tidal land reclamation. *KARICO Project No. 2002-05-09*, 31-41.
- Son, Y. M. and Song, S. H. (2005) Optimal farmland use and environmental-friendly farming in Saclaimed farmland. *SARRL 3*, 43-57.
- Dontsova, K. M. and Norton, L. D. (2002) Clay dispersion, infiltration, and erosion as influenced by exchangeable Ca, and Mg. *Soil Sci.* 163, 184-193.
- Sparks, D. L. (1995) *Environmental soil chemistry*. Academic Press, San Diego.
- Lebron, I., Suarez, D. L. and Yoshida, T. (2002) Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 92-98.
- Shainberg, I., Sumnur, M. E., Miller, W. P., Farina, M. P. W., Pavon, M. A., and Fey, M. V. (1989) Use of gypsum on soils: A review p.2-111. In Stewart, B. A.(ed.) *Advances in soil science*. Springer-Verlag, New York.
- Carter, M. R. (2002) Soil quality for sustainable land management: Organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94, 38-47.
- Mathur, S. P. (1991) Some comments on loss or accumulation of soil organic matter and their effects on soil quality. p. 50-53. In Mathur, S. P., and Wang, C. (ed.) *Soil quality in the Canadian context-1988 discussion papers. Tech. Bull. 1991-1E. Res. Branch, Agric. Canada, Ottawa, ON.*
- Tavant, Y., Tavant, H. and Bruckert, S. (1994) Variation du carbone organique en fonction des proprietes des sols et de l'altitude dans le Jura (France). *Geoderma* 61, 133-141.
- Baldock, J. A. and Skjemstad, J. O. (2000) Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Org. Geochem.* 31, 697-710.
- Muneer, M. and Oades, J. M. (1989 a) The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability.

-
- I. Laboratory studies with ^{14}C -glucose, CaCO_3 , and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Aust. J. Soil Res.* 27, 389-399.
12. Muneer, M. and Oades, J. M. (1989 b) The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. II. Field studies with ^{14}C -labelled straw, CaCO_3 , and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. *Aust. J. Soil Res.* 27, 401-409.
13. Park, M. U., Cho, I. S., Yoon, J. H., Kim, E. Y., Gwak, H. G., Oh, D. S., Song, K. C., Jeong, B. G., Yeon, B. Y., Lee, C. S., Song, Y. S., Cho, H. J., Kim, Y. H., Eom, G. C., Heon, B. G., Jang, Y. S., Eom, M. H., Kim, S. H., Seo, J. S., Kueon, J. S., Harn, S. S., Ryu, C. H., Cho, K. H., Lee, D. C., Yoon, E. S., Lee, J. S. (2000) Analysis methods of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, 89-93, 103-131.
14. Oh, W. K. (1990) Liming materials and desalination of marine originated tidal soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 23, 107-113.
-