

점토광물 혼합 사료 급여로 발생된 우분 시용에 따른 옥수수 GK729의 생장

김정규* · 이상환 · 이창호 · 윤영만 · 손용석¹⁾ · 임수길

고려대학교 응용생명환경화학과 · ¹⁾응용동물과학과

Effect of Cow Manure Originated from the Clay Mineral Feeding on the Growth of *Zea mays* GK729

Jeong-Gyu Kim*, Sang Hwan Lee, Chang Ho Lee, YongMan Yoon, ¹⁾Yong Suk Son, and Sookil Lim (Dept. of Agricultural Chemistry, ¹⁾Dept. of Animal Science, College of Natural Resources, Korea University, Seoul, 136-701, lemonkim@mail.korea.ac.kr)

ABSTRACT : This study was conducted to examine the effects of cow manure originated from the clay mineral (porphyrite, zeolite and bentonite) feeding on the growth of *Zea mays* GK729. CEC of the manure after bentonite, zeolite, and porphyrite feeding were 147.5, 137.0, and 114.0 cmol/Kg, respectively. These values were higher than that of non-mineral treated manure, 107.5 cmol/Kg. After 3 month growing, there was significant difference among treatment in the biomass production and the content of minerals in plant tissue of *Z. mays*, but the physico-chemical properties of soils were not showed significant difference. For these results suggested that the clay mineral enhanced the growth of *Z. mays* according to the unknown mechanism, the further studies on the physiological changes will be needed.

Key words : cow manure, *Zea mays*, clay mineral

서 론

근래 축산분뇨의 오염이 문제되고 있는데 축산농가의 전국적 확산에 따른 분뇨의 배출증가, 사양시설의 대형화로 인한 배출량 집중, 배출된 분뇨의 처리 미흡 등과 함께 재순환을 위한 농경지로의 투입량 감소가 그 원인이라고 생각되고 있다.^{1,2)} 따라서 효과적인 축산분뇨관리 대책이 요구되고 있다.

축산분뇨 중 질소는 그 70% 이상이 분뇨, 나머지 30%가 분으로 배설된다. 분뇨 중의 질소는 대부분 무기태이고 배설 직후부터 암모니아태 질소는 분뇨의 높은 pH 때문에 대기 중으로 휘산된다.³⁾ 분 중의 질소는 거의 유기태로 토양 중의 nitrogen pool이 되며 미생물에 의해 무기태로 전환된다. 이러한 무기화작용은 분의 C/N율을 비롯하여, 수분, 온도, pH, 무기양분들과 같은 토양의 화학적특성들의 상호작용에 의해 촉진 혹은 저해된다.^{4,5,6)}

한편, Son²⁾과 Son & Park⁷⁾은 맥반석, zeolite, bentonite 등과 같은 점토광물을 혼합한 사료를 급여하면 가축의 영양상태와 생산능력에 긍정적인 효과가 있음을 보고하면서 점토광물의 사료혼합이 가지는 장점에 대해 강조한 바 있다. 점토광물이 혼합된 사료는 점토광물의 높은 비표면적과 전하를 띠는 성질들 때문에 가축에 긍정적 효과를 가져오는 것이라고 추측되지만, 아직까지 정확한 메커니즘이 밝혀진 것은 아니다.

그러나 서두에서 언급한 바와 같이, 축산폐기물에 의한 환경

오염이라는 사회적 관심사가 존재하기 때문에, 점토광물이 혼합된 사료가 동물영양학적으로 긍정적으로 평가된 데 더하여 환경 측면에서도 검토할 필요가 있다. 점토광물이 혼합된 사료를 급여하여 얻은 우분을 토양에 투여하였을 때 일어날 수 있는 토양의 물리화학적 성질 변화와 주변 환경에 미치는 영향 그리고 식물영양 면에서의 검토가 필요하다.

맥반석의 결정학적 분석 결과 휘록분암으로 추정되고, 화학적으로 pH가 8.7이며, CEC는 9.0 cmol(+)/Kg으로 일반토양보다 낮으며, zeolite나 bentonite 보다도 현저히 낮아서 단일로 이용되었을 경우 토양개량 물질로는 적절한 재료가 될 수 없고, 수도·땅콩·고추·배추 등에서 맥반석 단독 사용효과가 인정되지 않았다는 보고⁸⁾가 있다. 이러한 시험결과에도 불구하고 사회적으로는 맥반석이 정수, 병충해 방제, 종자코팅, 약취제거 등에 효능이 있다고 받아들여지고 있으며, 이미 밝힌 바와 같이 몇몇 연구^{2,7)}의 결과에서도 가축에게 좋은 생리적 효과가 인정되기도 하였다.

이런 점들은 맥반석 분말은 단일 시용으로는 토양개량효과를 인정하기 어렵고, 또 그 작용메커니즘은 분명하지 않지만 가축의 생리에 도움을 준다는 것으로 요약할 수 있을 것이다. 일명 맥반석이 식물발육촉진, 강건육성, 성분상승 등에 대한 효과를 가지며 잔류농약의 제거와 오염된 토양과 농업용수의 정화에도 효과를 보인다는 점을 구체적인 실험으로 확인하지 않고서는 맥반석의 효과를 특징적으로 정의할 수 없는 것이 현실이다.

본 연구는 합리적으로 이해되지 못하고 있는 맥반석 류의 효과에 대한 정확한 기초자료를 축적한다는 기본적 목적을 가지고, 점토광물을 혼합한 사료를 급여하여 얻은 분뇨를 토양에 투여하였을 때 토양 내에서의 전질소, NO_3^- -N, NH_4^+ -N의 변화양상에 대한 보고⁹⁾에 이어서 점토광물 혼합 사료 급여로 발생된 우분의 투여가 옥수수의 생육에 미치는 영향을 관찰하여 보고한다.

재료 및 방법

점토광물의 사료혼합 및 급여

Son 등²⁾의 연구에서 소에 대한 급여효과가 우수하다고 판단된 국내산 porphyrite, zeolite, bentonite를 고려대학교 부속목장에서 비유 중후기의 2산 이후 착유우 20두를 비유수가 유사한 개체끼리 대조구와 급여구의 2개군으로 구분하고, cross-over design으로 4개월간 사양하였다. 첨가광물이 바뀔 때마다 2주간의 휴식기를 두며, 200 mesh 분말상 점토광물을 30일간 농후사료 건물의 2%가 되도록 $200\text{g} \cdot \text{일}^{-1}$ 급여하였다.

우분과 토양 분석 및 우분의 처리

축분과 토양의 분석은 Kim 등⁹⁾의 방법과 동일하게 실시하였다. 축분의 CEC는 200mg의 과산화된 건조축분을 HCl로 씻어내고, 증류수로 다시 세척한 후에 pH 7.0의 $\text{Ba}(\text{OAc})_2$ 용액을 가하고 하룻밤 방치하여 여과한 후에 다시 $\text{Ba}(\text{OAc})_2$ 용액으로 수소이온을 용출시켜서 여액 중의 수소이온을 potentiometer를 이용하여 표준 NaOH 용액으로 적정하여 측정하였다.¹⁰⁾ 목장에서 발생된 우분은 porphyrite, zeolite, bentonite를 혼합한 사료를 급여하기 시작하여 5일이 경과한 후부터 15일간 발생하는 분뇨를 수집하여 각각 8.5×60 m 포장에 습분을 기준으로 18ton을 살포기로 살포하였다. 처리구는 관행시비구, 일반분처리구와 porphyrite, zeolite, bentonite 혼합사료 급여로 발생된 분처리구 등 5개로 구성하였고, 각 처리구 간에는 무처리구를 1.5m 간격으로 배치하였다. 분뇨의 살포는 2월 15일에 완료하여 밀거름으로 작용토록 하였다.

옥수수 재배, 생육 조사 및 식물체 분석

점토광물 혼합사료 급여로 생산된 분뇨의 사용이 옥수수 생육에 미치는 영향을 조사하기 위해 분뇨살포 토양에 옥수수(*Zea mays* GK729)를 1998년 5월 3일 파종하여 8월 5일까지 3개월간 재배한 후 성장량 및 옥수수내 무기성분의 함량을 조사하였다. 성장량 조사는 각 분뇨 사용 포장에 $3 \times 3 \text{ m}^2$ 의 plot을 3개 설치하여 조사하였다. 초장, 이삭수, 절간수, 잎수를 측정 후 채취하여 생중량을 측정하고 실험실로 운반하여 음지에서 풍건한 후 70°C 열풍건조기로 항량 건조시켜 건중량을 측정하였다. 건조시료는 Walsh와 Beaton¹¹⁾의 방법에 따라서 무기성분을 분석하였다.

결과 및 고찰

공시 우분 및 토양의 화학적 특성

Table 1에 나타낸 바와 같이 공시된 우분의 유기물 함량은 점토광물별로 큰 차이는 없었으나, 맥반석 처리 분이 57.51%로 가장 많았고, zeolite 처리 분이 53.27%로 가장 적었다. 공시된 분의 TKN 함량은 2.21~2.52%의 범위로 점토광물 별로 큰 차이가 없었는데, NH_4^+ -N가 NO_3^- -N보다 월등히 많고, 인산이 2500mg/Kg 이상으로 전형적인 생분 특성을 보였다. C/N율은 맥반석분이 25.9로 가장 높았고 zeolite분이 21.1로 가장 낮았으나, 모두 높은 C/N율을 나타내 토양 중에서의 분해과정이 추적되어야 할 것으로 판단되었다.

CEC는 시험된 우분 중에서도 광물을 혼합한 사료급여로 발생된 분에서 높게 나타났다. 즉, bentonite의 높은 CEC¹²⁾ 때문에 bentonite 혼합 분이 147.5 cmol/Kg로 가장 높은 CEC를 보였으며, 맥반석 혼합 분이 114 cmol/Kg로 낮은 것도 같은 이유이다. 일반분은 맥반석 처리 분보다 약간 낮은 107.5 cmol/Kg으로 나타났는데, 이는 사료에 혼합된 점토광물이 사료의 2% 수준으로 극히 미미하였기 때문으로 생각된다. 따라서 분뇨의 양이온치환용량 대부분은 투여된 점토광물보다 주로 유기물 자체에 기인된 것으로 판단된다.

분의 pH는 모두 8.2 이상의 알칼리이었는데 이는 분의 유기물 자체의 높은 pH와 다량의 무기염들에 의한 영향이라 판단된다. 그리고 우분 내에 상당량의 무기염류 특히, Na와 Mg의 함량이 높은 것으로 나타나 장기간 연용 시의 토양 내 염류집적에 대해서는 신중한 고려가 필요할 것으로 생각되었고 아울러 분의 적정 사용량에 대한 검토가 요구된다고 보인다.

공시된 토양은 유기물 함량 1.97%로 일반적인 경작지 토양의 유기물함량(2.5~3%)¹³⁾에 밀들었으나 TKN은 0.25%로 유기물함량에 비하여 높은 편으로 C/N율도 7.88이었다. 또한 CEC는 우리나라의 일반 토양들이 나타내는 범위 내인 15.2 cmol/Kg을 보였고 토양반응은 중성역의 양호한 조건을 나타냈다.

옥수수 생장량

Fig. 1에 광물투여 분을 살포한 포장에서 옥수수를 3개월간 재배한 후 측정된 옥수수의 초장, 생중량, 건중량을 나타내었다. 초장은 전 처리구간에 유의적인 차이를 인정할 수 없었다. 그러나 생중량과 건중량은 맥반석 처리구에서만 다른 처리구와 유의적인 차이를 인정할 수 있었다. 즉 다른 광물들의 처리구들은 관행시비와 비슷한 생산량을 보였다. 재배된 옥수수는 사료용이므로 건물생산량이 중요한데, 맥반석 처리구에서 주당 537g의 건물량을 나타내 다른 처리구들에 비하여 30% 이상의 증수효과를 가져왔다.

옥수수의 생육상황을 간접적으로 나타내는 지표인 이삭수, 잎수, 절간수(Table 2)도 물질생산량의 결과를 지지하고 있다. 물질생산량의 경우처럼 처리구간에 확실한 통계적 차이를 나타내는 것은 아니지만 맥반석 처리구의 겨우 주당 1.61개의 이삭, 13.17개의 잎, 14.83개의 절간을 나타내 양호한 생육을 보였다. 절간수

Table 1. The physico-chemical properties of the manures originated from porphyrite, zeolite and bentonite feeding and of the soil without any treatment.

	OM (%)	TKN (%)	C/N ratio	NH ₄ ⁺ -N NO ₃ ⁻ -N		Av.P (P ₂ O ₅)	CEC (cmol/Kg)	pH	Ex. Cation (cmol(+)/Kg)			
				(mg/Kg)					Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺
Manure ¹	54.83	2.21	24.8	134.96	47.32	2603.86	107.5	8.73	0.42	6.77	1.53	5.20
+Porphyrite ²	57.51	2.22	25.9	140.42	22.40	2957.82	114.0	8.79	0.46	3.53	1.60	7.34
+Zeolite ³	53.27	2.52	21.1	216.30	62.44	2970.03	137.0	8.38	0.33	3.24	1.63	6.30
+Bentonite ⁴	54.65	2.37	23.1	124.88	37.70	2520.35	147.5	8.27	0.46	3.13	1.60	7.34
Soil ⁵	1.97	0.25	7.88	22.82	28.00	394.24	15.2	6.29	0.23	0.09	0.45	1.92

¹Manure originated from the feeding without any clay mineral
^{2,3,4}Manure originated from feeding with ²porphyrite, ³zeolite, and ⁴bentonite

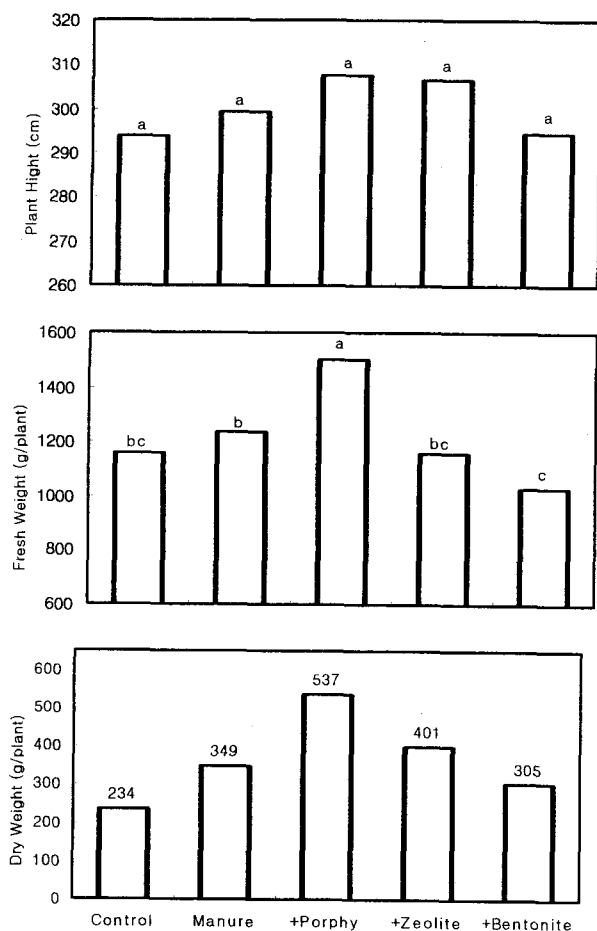


Fig. 1. Plant hight and biomass productions of *Zea mays* GK729 after 3 months growing at soils treated by cow manure. Control treated with conventional fertilization. Manure treated with conventional fertilization and the manure originated from the feeding without any clay mineral. +Porphy, +Zeolite and +Bentonite means treated with conventional fertilization and the manure originated from feeding with porphyrite, zeolite, and bentonite, respectively. The same letter above a rod are not significantly different according to Duncan multiple range test at $P < 0.05$. The number above a rod means exact weight of *Zea mays*.

의 경우 일반분 처리구에서 주당 15.44개로 나타났지만 관행시비구를 제외한 다른 처리구들과는 유의적 차이가 인정되지 않았다. 물론 생산된 옥수수의 영양학적인 검토가 필요하지만 사료로의 사용을 위해서 중요한 물질생산량은 맥반석 처리구의 경우가 양호하였다.

옥수수 식물체 중의 무기성분함량

옥수수내 무기성분의 함량을 조사한 결과는 table 3과 같다. 물질생산량이 양호하였던 맥반석 처리구와 zeolite 처리구에서 N, P, K의 함량이 다른 처리구에 비하여 높은 것으로 평가되었다. 기타 무기성분은 전반적으로 처리구간 차이가 현저하지 않은 것으로 나타났는데 이는 본 재배포장이 계속적으로 분뇨를 사용하던 포장이었으며 추비를 한 것에서 비롯되는 결과라 생각된다. N, P, K의 함량은 Cho⁽¹⁴⁾가 보고한 일반 옥수수 내 함량 N 8.8 g/Kg, P 0.2 mg/Kg, K 1.2 mg/Kg과 크게 다르지 않은 범위 내에 존재하고 있어서 사료용으로도 적합하다고 판단되었다.

Table 2. The number of petioles, leaves and nodes of *Zea mays* after 3 months growing at soils treated by the manures originated from porphyrite, zeolite and bentonite feeding.

Numbers/plant	Control ¹	Manure ²	+Porphyrite ³	+Zeolite ⁴	+Bentonite ⁵
Petioles	1.67 a ⁶	1.00 b	1.61 a	1.56 a	1.28 ab
Leaves	11.72 b	11.72 b	13.17 a	13.00 a	13.56 a
Nodes	14.05 b	15.44 a	14.83 ab	14.94 ab	14.83 ab

¹Treated without any manure.
²Treated with the manure originated from the feeding without any clay mineral
^{3,4,5}Treated with the manure originated from feeding with ²porphyrite, ³zeolite, and ⁴bentonite, respectively.
⁶Means followed by the same letters within each row are not significantly different according to Duncan multiple range test at $P < 0.05$.

Table 3. Mineral content of *Zea mays* after 3 months growing at soils treated by the manures originated from porphyrite, zeolite and bentonite feeding.

Treatment	Organs	TKN	P ₂ O ₅	Ca	K	Mg	Na
		%	mg/Kg				
Control ¹	Leaves	2.14	0.15	0.50	1.32	0.25	0.04
	Stem	0.99	0.15	0.13	1.44	0.13	0.04
Manure ²	Leaves	1.39	0.22	0.36	1.29	0.16	0.03
	Stem	0.67	0.16	0.08	0.89	0.08	0.02
+Porphyrite ³	Leaves	2.42	0.23	0.44	1.38	0.20	0.04
	Stem	1.15	0.19	0.12	1.88	0.19	0.03
+Zeolite ⁴	Leaves	2.31	0.23	0.42	1.06	0.21	0.04
	Stem	1.15	0.20	0.16	2.27	0.14	0.04
+Bentonite ⁵	Leaves	2.05	0.21	0.33	1.38	0.16	0.03
	Stem	1.38	0.20	0.10	1.32	0.09	0.02

¹Treated with conventional fertilization and without any manure.

²Treated with conventional fertilization and manure originated from the feeding without any clay mineral

^{3,4,5}Treated with conventional fertilization and manure originated from feeding with ²porphyrite, ³zeolite, and ⁴bentonite, respectively.

옥수수 재배 후 토양의 이화학성

토양의 화학성

옥수수 재배 이후의 토양의 화학성은 table 4와 같다. 앞에서도 언급하였던 것처럼 분뇨가 연용되었던 포장이었으며, 처리기간 후의 시간이 짧았기 때문에 분뇨처리구와 무처리구간, 그리고 처리분뇨간의 토양의 화학성에서 현저한 차이는 보이지 않았다. 다만, 유기물함량과 유효인산의 함량에 있어 다소 차이가 있었는데, 유기물 함량에 있어서는 무처리구가 1.69%인데 비하여 분뇨처리구들의 경우 2.44~2.71의 범위로 일반분이 가장 높은 것으로 나타났다. 유효인산의 경우 Zeolite 처리구가 777mg/Kg으로 가장 높은 것으로 나타났고 Bentonite > 맥반석 > 무처리 > 일반분의 순서였다.

토양에서의 CEC 증가 효과는 투여되는 점토광물의 CEC의 크기¹²⁾대로 bentonite분 > zeolite분 > 맥반석분 > 일반분의 순으로 높아질 것으로 생각되었지만 그 차이는 미미하였다(table 4). 이는 사료에 포함된 점토광물이 사료량의 2% 수준에 그쳐서 점토광물에 의한 CEC 증가효과를 보기 어려웠기 때문으로 판단된다.

토양의 물리성

옥수수 재배 후 각 처리구 별로 토양의 토성은 마농무성법¹³⁾에 의해 분류한 결과 양토이었고, 입단화도는 56~69%, 소성하한에서의 수분함량은 20.3~23.2%의 범위이었다. 맥반석을 사용한 토양에서는 입단화도 69.5%, 소성하한에서의 수분함량 23.2%로 처리구 중 가장 높은 수치를 나타냈다. 식질계 토양의 경우 소성하한에서의 수분함량이 30~35%정도가 일반적인 것으로 알려져 있음¹³⁾에 비추어 볼 때 본 토양의 토성이 양토임을 감안하면 다소 낮게 평가되었다. 투수계수는 조사토양 중 zeolite 처리구에서 $3.29 \times 10^{-5} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 로 가장 높았지만 전반적으로 토성이 점토의 함량이 50~60%에 이르는 양토로서 대부분 $10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 의 값을 가지고 있어 식질계 토양의 특성을 보였다. 토양의 물리성은 분과 같은 유기성 토양개량제의 단기간 처리로 변화될 수 없는 토양의 특성이라 할 수 있다. 따라서 미소하지만 본 실험에서 얻어진 토양물리성의 차이는 분뇨의 사용에 의해 비롯되었다고 말하기는 어렵다고 판단된다.

Table 4. Chemical properties of the soils after 3 months cultivation of *Zea mays* treated by the manures originated from porphyrite, zeolite and bentonite feeding.

Treatment	pH	TKN	OM	Av. P ₂ O ₅	CEC	Exchangeable cation			
						Ca	Mg	Na	K
						cmol(+)/Kg			
Control ¹	5.80	0.16	1.69	386	17.3	3.31	1.56	0.11	0.81
Manure ²	6.13	0.17	2.71	314	20.9	3.76	1.68	0.13	0.73
+Porphyrite ³	6.12	0.18	2.44	358	20.5	3.86	1.49	0.13	0.98
+Zeolite ⁴	5.82	0.16	2.69	777	20.6	2.91	1.12	0.10	1.11
+Bentonite ⁵	6.04	0.15	2.51	663	19.8	2.95	1.23	0.12	1.12

¹Treated with conventional fertilization and without any manure.

²Treated with conventional fertilization and manure originated from the feeding without any clay mineral

^{3,4,5}Treated with conventional fertilization and manure originated from feeding with ²porphyrite, ³zeolite, and ⁴bentonite, respectively.

Table 5. Physical properties of the soils after 3 months cultivation of *Zea mays* treated by the manures originated from porphyrite, zeolite and bentonite feeding.

Treatment	Degree of aggregate	Water content at Lower plastic limit (%)	hydraulic conductivity cm/sec
Control ¹	57.5	22.0	2.42*10 ⁻⁶
Manure ²	65.5	22.9	4.08*10 ⁻⁶
+Porphyrite ³	69.5	23.2	6.04*10 ⁻⁶
+Zeolite ⁴	61.6	22.5	3.29*10 ⁻⁵
+Bentonite ⁵	56.4	20.3	3.02*10 ⁻⁵

¹Treated with conventional fertilization and without any manure.

²Treated with conventional fertilization and manure originated from the feeding without any clay mineral

^{3,4,5}Treated with conventional fertilization and manure originated from feeding with ³porphyrite, ⁴zeolite, and ⁵bentonite, respectively.

종합적으로 이러한 실험결과들은 맥반석을 투여한 사료 급여로 발생된 분뇨의 처리가 옥수수의 생장에 좋은 영향을 미친 것으로 나타나고 있지만, 영향을 미치게 된 요인이나 구체적 메커니즘에 대해서 이해하기 위해서는 생리적 연구들이 뒤따라야 할 것이다.

요 약

Porphyrite(일명 맥반석), zeolite, bentonite를 혼합한 사료를 급여하면 가축의 영양에 긍정적 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다. 이렇게 발생된 분뇨를 토양에 투여하고 옥수수의 생육에 미치는 영향과 재배 후 포장의 이화학적 특성을 분석 검토하였다. 공시분은 모두 pH 8.0 이상이었고, CEC는 점토광물 혼합사료로 발생된 분뇨에 비해서 높아 혼합된 광물에 기인한 것으로 판단되었다. 분을 밀거름으로 옥수수를 재배한 결과 porphyrite > zeolite > 일반분 > bentonite 사용 포장의 순서로 생육이 양호하였고, porphyrite와 zeolite 처리구의 옥수수에서 N, P, K의 함량도 높게 나타났다. 옥수수 재배 이후 토양에서 유기물과 유효인산함량을 제외한 화학성은 분뇨처리구와 무처리구간, 그리고 각 광물 혼합 분뇨처리구간에 현저한 차이는 보이지 않았다. Zeolite와 bentonite 처리구에서 인산함량이 특징적으로 높게 나타났다. 토성은 양토, 입단화도는 56-69%, 소성하한은 22-23%, 투수계수는 $3.29 \times 10^{-5} \sim 6.04 \times 10^{-6} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$ 의 범위로 처리구간에 유의적 차이가 나타나지 않았으며, 이는 처리가 1년 이내로 토양 물리성 개선효과를 거두기에는 너무 짧았기 때문으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 농림부의 농림기술 개발사업인 국내산 점토광물의

사료화 및 환경친화 효과에 관한 연구의 일부로 수행되었으며 연구비 지원에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- Eck, H.V. and Stewart, B.A. (1995) Manure. in Soil Amendments and Environmental Quality (ed. by Rechcigl, J.E.) Lewis Pub. Boca Raton, U.S.A., pp. 169-198
- Son, Y.S. (1999) Studies on domestic clay minerals for feed and environmental use. Research Report of ARPC, Korea. p. 142 (in Korean with English abstract)
- Mayers, R.J.K., Campbell, C.A. and Weier, K.L. (1982) Quantitative relationships between net nitrogen mineralization and moisture content in soil. Can. J. soil. Sci. 62 :111-124
- Yun, S.-G., Jung, K.-Y., and Yoo, S.-H. (1993) Transformation of nitrogen derived from solid piggery manure in soil under aerobic or anaerobic incubation condition. Korean J. Soil Sci. Fert. 26(2): 121-126 (in Korean with English abstract)
- Bartholomew, W. V. (1965) Mineralization and immobilization of nitrogen in the composition of plant and animal residues. in Soil Nitrogen (ed. by W.V. Bartholomew, and F.E. Clark) Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin. pp.285-306.
- Kimble, J. M., R. J. Bartlett, J. L. McIntosh, and K. E. Vanney (1973) Fate of nitrate from manure and inorganic nitrogen in a clay soil cropped to continuous corn. J. Environ. Qual. 1: 413-415
- Son, J.H. and Park, C.I. (1997) Effects of dietary quartz popyry supplementation on moisture content of excreta, intestinal ammonia contents and blood composition of growing broilers. Korean J. Poult. Sci. 24(4):179-184
- Choi, D.W., Jung, P.-K., Um, K.-T., Park, N.-K., and Park, S.-D. (1987) A study on the mineralogical characteristics and its agricultural use of barley stone (Diabase porphyrite) J. Korean Soc. Soil & Fert. 20(3): 199-204 (in Korean with English abstract)
- Kim, J.-G., Lee, S.H., Lee, C.H., Lee, N.J., Son, Y.S. and Lim, S. (1999) Land application of the manures from the cow feeded with clay mineral mixed feed stuffs and the nitrogen status in soil. Korean J. of Environ. Agric., 18(4):366-371 (in Korean with English abstract)
- Harada, Y. and Inoko, A. (1980) The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. Soil Sci. Plant Nutr., 26(1):127- 134

11. Walsh, L.M. and Beaton, J.D. (1973) Soil testing and plant analysis, revised ed., SSSA, Madison, Wisconsin, p. 491
12. Olphen, H. (1977) An introduction to clay colloid chemistry, John Wiley & Sons, New York, p. 318
13. Cho, S.J., Park, C.S. and Um, T.I. (1977) Soil Science, 3rd ed., HyangMoonSa, Seoul, p. 396 (in Korean)
14. Cho, J.Y. (1992) Field Crops, HyangMoonSa, Seoul (in Korean)