

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.1.031>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Effects of Gypsum and Fresh Cattle Manure on Physico-chemical Properties of Soil and Yield of Forage Crop in Hwaong Reclaimed Land

Jae-Eun Jang,* Chang-Sung Kang, Jung-Soo Park, Jae-Man Shim, Hee-Dong Kim, and Sun-Jae Kim
Gyeonggi-do Agricultural Research and Extension Services, Hwasong, 18388, Korea

*Corresponding author: jje1049@gg.go.kr

ABSTRACT

Received: May 13, 2016

Revised: October 24, 2016

Accepted: February 24, 2017

The effects of application of gypsum and fresh cattle manure on the yield of forage crop were investigated in Hwaong reclaimed land in Korea for 3 years from 2011 to 2013. This study was conducted to develop the practical application method of livestock manure as a fertilization source and a soil physico-chemical ameliorator for the cultivation of forage crop Sorghum×Sudangrass hybrid in newly reclaimed tidal land soil. Treatments with six applications were established with three replications; chemical fertilizer (CF), gypsum (G) 20 Mg ha⁻¹, G+fresh cattle manure (FCM) 100%, G+FCM 200%, G+FCM 300% and FCM 100% which referred to the application rate equivalent to the recommended amount of phosphate fertilization by soil test. The combined treatments of G+FCM increased soil organic matter, Av.P₂O₅ and exchangeable Ca²⁺ contents while decreased exchangeable Na⁺ and Mg²⁺. The soil bulk density, soil hardness and soil aggregate formation were improved by G+FCM treatments. The dry matter yields of Sorghum×Sudangrass hybrid were significantly increased in proportion to the application rate of FCM. The phosphorus use efficiency showed the highest in the application level of G+FCM 100%, which seemed to be the results of reduced nutrient use efficiency by nutrient immobilization, leaching etc. when applied excessive amount of fresh animal manure.

Keywords: Hwaong reclaimed land, Sorghum×Sudangrass hybrid, Gypsum, Fresh cattle manure

The fresh and dry matter yield of Sorghum×Sudangrass hybrid and phosphorus use efficiency on using with gypsum and fresh cattle manure in Hwaong reclaimed land.

Treatments	Fresh matter yield			Dry matter yield			Phosphorus use efficiency
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	
	----- ton ha ⁻¹ -----			----- ton ha ⁻¹ -----			%
G [†] +CF [‡]	25.0 ^c	63.6 ^{bc}	63.0 ^b	6.5 ^c	14.4 ^{bc}	13.3 ^b	-
G	9.0 ^d	9.7 ^d	6.0 ^d	2.6 ^c	1.0 ^d	1.4 ^d	-
G+FCM [§] 100%	32.8 ^c	71.6 ^b	66.3 ^b	7.3 ^c	15.8 ^{bc}	14.5 ^b	55.4
G+FCM 200%	53.1 ^b	109.5 ^a	84.5 ^{ab}	11.2 ^b	25.6 ^a	16.8 ^{ab}	35.5
G+FCM 300%	68.2 ^a	124.3 ^a	96.6 ^a	14.1 ^a	25.7 ^a	20.5 ^a	33.6
FCM 100%	25.6 ^c	42.5 ^c	32.5 ^c	5.8 ^c	9.2 ^c	6.3 ^c	-

[†]G, gypsum.

[‡]CF, chemical fertilizer (200 kg N-150 kg P₂O₅-150 kg K₂O ha⁻¹).

[§]FCM, fresh cattle manure.

Means with different letters within a column are significantly different at the 5% level.



Introduction

경기도 신규 조성 간척지는 화옹지구 4,482 ha, 시화지구 3,636 ha로 총 8,118 ha가 조성되어 있으나 배수가 불량하고 염농도가 높아 일반작물 재배는 곤란한 실정이다. 신간척지는 염농도가 높고 유기물 함량이 적어 작물을 재배하기 위해서는 토양의 제염 및 이화학성 개선을 위한 연구가 필요하다 (Koo et al., 1998; Baek et al., 2009; Choi et al., 2010; Jung et al., 2011; Choi et al., 2011). 토양 중에서 입단형성의 유지 및 생성을 위하여 사용되는 토양개량제로 가축분과 같은 유기물, 석고 등의 사용은 신간척지 토양구조 개선을 위해 효과적이라 알려져 있다. 석고 중 Ca^{2+} 은 Na^+ 과 Mg^{2+} 에 대해 선택성을 가진 치환성 복합체인 토양 콜로이드의 수화 반지름을 감소시켜 입단의 형성 유지 및 파괴를 방지하는 작용을 한다. 또한 입단형성의 유지 및 생성을 위해서 유기물의 사용도 토양의 pH, ESP (Exchangeable Sodium Percentage), 양이온 함량 등과 밀접한 관계가 있어 염해지 토양의 개량에 효과적이라 보고되고 있다 (Sparks, 1995; Shainberg, 1998; Dontsova, 2002; Lebron, 2002; Baek et al., 2008).

특히 화옹지구는 승마체험, 체제형 주말농장, 한우번식단지, 사료작물 재배지 등 친환경축산관광단지인 에코팜랜드 조성이 추진되고 있어 가축 사육으로 발생하는 가축분뇨는 간척지 사료작물 재배 토양에 유기물과 영양원으로 활용하고, 생산되는 사료작물은 가축에게 다시 조사료로 공급하는 자원순환형 농업기술개발이 요구되고 있다. 하지만 화성호는 수질보전 보완대책 (경기도 수자원본부, 2010)에 의해 점오염 및 비점오염, 가축분뇨 등이 엄격히 관리되고 있고 이에 따라 간척지에서의 화학비료 및 가축분 퇴액비 사용이 규제되고 있어 환경오염에 영향을 미치지 않는 수준에서 가축분을 활용하는 적정 사용기준 설정이 필요하였다.

따라서, 본 연구는 염농도가 높고 배수가 불량한 화옹 신간척지 토양에서 사료작물을 안정적으로 생산하기 위하여 염농도 경감과 토양구조 개선 등을 위한 적정 우분 사용기술을 개발함으로써 에코팜랜드 조사료 자급기반 확보와 친환경 순환농업 확대에 기여하고자 실시하였다.

Materials and Methods

본 시험은 2011~2013년의 3년간 화성시 우정면 주곡리에 위치한 한국농어촌공사 농어촌연구원 화옹간척지 시험포장에서 실시하였다. 토성은 배수불량한 복천통이었다. 표토는 모래 7.6%, 미사 83.7%, 점토 8.7%인 미사질토이고, 심토는 표토에 비해 모래입자가 36.5%, 미사함량이 53.5%로 낮으며 점토는 10.0%로 나타나 미사질양토로 분류되었다 (한국농어촌공사, 2007). 시험전 토양의 화학성은 Table 1과 같았다. 처리는 석고 20 Mg ha⁻¹+3요소 표준재배 (N-P₂O₅-K₂O=200-150-150 kg ha⁻¹), 석고 20 Mg ha⁻¹, 석고 20 Mg ha⁻¹+생우분 인산 토양검정시비추천량 (100 kg ha⁻¹)의 100, 200, 300%, 생우분 인산기준 100% 등 총 6처리를 두고 시험구를 난괴법 3반복으로 배치하여 3년간 연용하면서 토양 이화학성, 작물생육 및 수량 등을 조사하였다. 석고는 기존 화옹간척지 연구에서 보고된 20 Mg ha⁻¹을 사용하였다 (한국농어촌공사, 2007). 시험에 사용된 가축분은 시험포장 인근 목장에서 생산된 생우분을 사용하였으며,

Table 1. Chemical properties of soil used in the experiments.

Soil pH	EC	OM	NO ₃ -N	Av.P ₂ O ₅	K	Ca	Mg	Na	ESP
(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----	-----	-----	cmol _c kg ⁻¹ -----	-----	-----	%
7.7	3.7	7	1.8	33	1.3	2.4	5.7	5.1	43.7

생우분의 화학성은 Table 2와 같았다.

Table 2. Chemical properties of fresh cattle manure.

Materials	pH	EC	OM	T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Moisture
	(1:5)	dS m ⁻¹	%				mg kg ⁻¹			%	
2011	8.8	21.4	23.0	0.4	0.4	0.5	0.5	0.2	98.8	30.9	73.3
2012	9.6	20.2	22.8	0.4	0.3	0.8	0.4	0.2	235.0	9.6	73.0
2013	9.1	16.3	18.9	0.4	0.3	0.9	0.8	0.4	249.9	59.6	61.5

시험구는 가로 5 m×세로 5 m로 하여 시험구별 교차오염을 방지하기 위해 썬라이트를 설치하고 시험을 수행하였다. 시험작물은 수수×수단그라스 교잡종 (멀티컷)을 파종 2주전에 석고 (20 Mg ha⁻¹)와 생우분을 기비로 사용하고 경운하여 시험포장 정지 및 구획작성 후 산파하였다. 파종량은 40 kg ha⁻¹로 하여 2011년에는 5월 31일 파종하여 8월 23일 1차 수확, 10월 11일 2차 수확하였고 2012년에는 5월 11일 파종하여 8월 10일 1차 수확, 10월 5일 2차 수확하였으며 2013년에는 5월 8일 파종하고 7월 30일 1차 수확, 9월 27일 2차 수확하였다. 수확은 초장이 150 cm 이상 되었을 때 예취높이를 바닥에서 10~15 cm로 하여 윗부분을 수확하였다. 3요소 표준재배구는 질소를 기비 50%와 1차 수확후 추비 50%, 인산과 칼리는 기비 100%로 사용하였다.

토양은 표토 15 cm를 채취 후 풍건하여 2 mm 체를 통과시켜 분석하였다. 토양 및 식물체 분석은 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (NIAS, 2000)에 준하였다. 토양 pH와 EC는 5배량의 물로 추출하여 초자전극법에 의하여 pH meter와 EC meter로 각각 측정하였으며, 질소는 Kjeldahl 증류법, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다. 치환성양이온은 1N-NH₄OAC (pH 7.0) 원충용액으로 추출하여 ICP (GBC Integra XL, Australia)를 이용하여 분석하였다. 퇴비와 식물체는 H₂SO₄-HClO₄로 습식분해하여 질소는 Kjeldahl법, 인산은 Vanadate법, K, Ca, Mg, Na는 ICP (GBC Integra XL, Australia)를 이용하여 분석하였다. 유기물은 550°C 전기로에서 회화시켜 회화 전후의 감량으로 계산하였다. 생육 및 수량조사는 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2003)에 준하여 실시하였다.

침출수 및 유거수 중 NO₃-N, PO₄-P 용탈량을 조사하기 위해 2013년 석고와 생우분 사용시 지하 50 cm에 세라믹컵을 설치하여 강우 후 2~3일 이내 침출수 시료를 채취하고 시험구 가운데 지름 25 cm, 높이 30 cm 용기를 설치하여 유거수 시료를 채취하여 분석하였다.

Results and Discussion

토양화학성의 경시적 변화 화옹간척지에서 2011년부터 2013년까지 3년간 생우분과 석고를 연용하고 사료작물을 재배한 후 연차간 토양화학성을 조사한 결과는 Table 3과 같다. pH는 7.5~8.0의 알칼리성 토양에서 6.2~7.2로 낮아졌고, 유기물은 석고+생우분 200% 시용구부터 7에서 25 g kg⁻¹ 이상 증가하였다. 인산도 33에서 141 mg kg⁻¹ 이상 증가하였다. 모든 석고 처리구에서 치환성 Ca²⁺ 함량이 증가하고 치환성 Mg²⁺, 치환성 Na⁺, Cl⁻ 이온함량은 감소하였다. 생우분 시용량이 증가할수록 유기물, 유효인산이 증가하고 생우분 단용구에 비해 석고+생우분 혼용구에서 치환성 Ca²⁺ 함량이 증가하고 치환성 Mg²⁺ 및 치환성 Na⁺ 함량은 감소하는 경향이 나타나 생우분과 석고 혼용에 의해 토양화학성이 개선되는 효과를 나타내었다. 치환성 나트륨포화도는 37~51% 범위로 매우 높은 전형적인 신간척지 토

양의 특징을 나타내었으며, 2년간 석고와 생우분을 혼용처리하였을 때 2~7%로 매우 낮아졌다. 또한 생우분만 2년 시용해도 정상토양으로 개선되는 효과가 있었다.

Table 3. The change of soil chemical properties.

Treatments	pH				OM				
	Year	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
		----- (1:5) -----				----- % -----			
G [†] +CF [‡]		8.0	6.9	6.4	6.2	7	7	11	13
G		7.5	6.9	6.7	6.5	7	7	8	10
G+FCM [§] 100%		7.7	6.9	6.4	6.6	7	8	15	23
G+FCM 200%		7.6	6.9	6.5	6.5	7	9	23	25
G+FCM 300%		7.8	7.1	6.7	6.7	7	10	30	30
FCM 100%		7.5	7.2	7.1	7.2	7	8	18	18
No Treatment		8.0	8.2	7.5	7.4	7	6	8	9

Treatments	Av.P ₂ O ₅				Ca				
	Year	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
		----- mg kg ⁻¹ -----				----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
G [†] +CF [‡]		37	54	117	64	2.4	10.5	21.6	30.6
G		33	32	22	20	2.3	8.8	26.5	39.4
G+FCM [§] 100%		34	45	56	83	2.4	9.3	23.7	31.6
G+FCM 200%		33	45	130	141	2.3	6.8	23.6	26.4
G+FCM 300%		33	82	246	251	2.4	7.5	26.1	25.4
FCM 100%		30	58	66	66	2.4	2.4	3.8	4.9
No Treatment		30	34	23	23	2.4	2.4	2.4	2.6

Treatments	Mg				Na				
	Year	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
		----- cmol _c kg ⁻¹ -----				----- cmol _c kg ⁻¹ -----			
G [†] +CF [‡]		5.5	4.0	1.8	1.4	5.0	2.4	0.9	0.3
G		5.7	4.2	3.1	2.1	5.9	3.6	3.6	1.7
G+FCM [§] 100%		5.7	4.3	1.5	1.3	5.0	2.5	0.8	0.4
G+FCM 200%		5.6	4.2	1.1	1.5	5.2	2.0	0.3	0.3
G+FCM 300%		5.6	4.2	1.2	1.8	4.2	2.2	0.3	0.4
FCM 100%		5.8	5.7	5.2	4.9	5.2	4.4	1.7	1.1
No Treatment		5.7	5.6	5.0	5.5	5.2	4.6	2.5	3.2

Treatments	Cl				ESP ¹⁾				
	Year	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013
		----- mg kg ⁻¹ -----				----- % -----			
G [†] +CF [‡]		541.3	261.1	161.5	61.9	41.6	19.5	6.6	2.4
G		877.4	575.3	581.5	420.4	50.6	29.5	30.2	14.2
G+FCM [§] 100%		670.9	288.5	172.2	67.0	41.6	20.6	6.2	3.0
G+FCM 200%		979.2	335.0	88.3	34.2	45.1	16.0	1.9	1.9
G+FCM 300%		499.0	725.7	75.8	54.4	36.9	17.5	2.0	2.6
FCM 100%		982.8	629.3	176.6	103.0	46.4	36.8	13.8	8.8
No Treatment		516.6	238.0	216.8	308.5	44.2	26.9	22.6	27.3

[†]G, gypsum.

[‡]CF, chemical fertilizer (200 kg N-150 kg P₂O₅-150 kg K₂O ha⁻¹).

[§]FCM, fresh cattle manure.

¹⁾ESP(Exchangeable sodium percentage)

토양 물리성의 변화 석고와 생우분을 3년간 처리별로 연용하여 작물을 재배한 후 2013년 시험후 토양의 물리성을 조사한 결과는 Table 4와 같았다. 석고+3요소 표준재배구에 비해 석고+생우분 혼용구에서 토양의 용적밀도는 통계적으로 유의성있게 낮아지고 토양경도도 낮아지는 경향을 보였으며, 입단율은 높아졌다. 이 결과는 생우분 사용이 토양 물리성 개선에 크게 영향을 미치며 특히 석고와 혼용한 경우 효과를 더 증가시킨다는 것을 보여주고 있다. 이는 석고를 토양에 처리하면 치환성 나트륨이 치환성 칼슘으로 대체되어 염분이 제거되고 (Sohn et al., 2007; Shin et al., 2005; Hwang et al., 1990; Lebron, 2002), 생우분 사용으로 토양에 유기물이 공급되어 작물 생육과 뿌리발달이 촉진되며, 생우분이 부속되는 과정에서 미생물의 작용으로 생산된 점액질의 물질이 토양 입단화를 촉진시켜 토양물리성이 개선되었기 때문인 것으로 판단된다 (Park et al., 2008; Jo et al., 2010).

Table 4. Physical properties of soil after 3 years of experiments.

Treatments	Physical Property of Soil			
	Bulk density g cm ⁻³	Porosity %	Aggregate	Solidity mm
G [†] +CF [‡]	1.45 ^{ab}	45.1 ^{de}	15.3 ^b	19.1 ^{ab}
G	1.55 ^a	41.6 ^e	13.0 ^b	21.9 ^a
G+FCM [§] 100%	1.31 ^{cd}	50.5 ^{bc}	25.1 ^{ab}	19.1 ^{ab}
G+FCM 200%	1.23 ^{de}	53.8 ^{ab}	39.2 ^a	17.0 ^b
G+FCM 300%	1.17 ^e	55.8 ^a	34.1 ^a	18.7 ^b
FCM 100%	1.36 ^{bc}	48.5 ^{cd}	26.0 ^{ab}	18.4 ^b
No Treatment	1.46	45.0	13.6	20.3

[†]G, gypsum.

[‡]CF, chemical fertilizer (200 kg N-150 kg P₂O₅-150 kg K₂O ha⁻¹).

[§]FCM, fresh cattle manure.

Means with different letters within a column are significantly different at the 5% level.

사료작물 수량 사료작물 1차, 2차 수확후 총수량을 보면 2013년 생초수량 및 건물수량이 석고+생우분 100%에 서 각각 66.3, 14.5 톤 ha⁻¹이고 석고+생우분 300%에서는 96.6, 20.5 톤 ha⁻¹으로 생우분 사용량이 증가할수록 생초수량과 건물수량이 유의성있게 증가하였다 (Table 5). 이는 생우분 사용량 증가에 의해 유기물과 인산의 토양 공급량이 증가되어 사료작물 수량이 증가되었으며, 인산이 생육제한 인자로 작용하여 생우분 사용량이 증가할수록 사료작물 수량이 증가된것으로 판단된다. 하지만 연도별로 생육 및 수량에는 변이가 컸으며, 이는 석고와 생우분 연용에 의한 토양이화학성 개선 정도 및 기온과 강수량 등 기후조건에 따른 차이로 생각된다.

생우분 사용량에 따른 인산이용효율 석고와 생우분을 3년간 연용한 후 수수×수단그라스 교잡종의 수량은 Table 5와 같이 생우분 사용량 증가에 따른 사료작물 수량 증가폭이 둔화되었고, 인산이용효율은 석고+생우분 100% 사용에서 55.4%로 가장 높고 석고+생우분 200% 부터는 35.5%로 오히려 감소하였다. 이러한 결과로 적정수준 이상의 생우분 사용은 오히려 양분부동화에 따른 양분이용효율 저하와 수량감소 및 환경오염을 초래할 수 있으므로 적정 사용량 설정이 중요함을 알 수 있었다.

Table 5. The fresh and dry matter yield of Sorghum×Sudangrass hybrid and phosphate use efficiency on using with gypsum and fresh cattle manure in Hwaong reclaimed land.

Treatment	Fresh matter yield			Dry matter yield			Phosphorus use efficiency
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	
	----- ton ha ⁻¹ -----			----- ton ha ⁻¹ -----			%
G [†] +CF [‡]	25.0 ^c	63.6 ^{bc}	63.0 ^b (65)	6.5 ^c	14.4 ^{bc}	13.3 ^b	-
G	9.0 ^d	9.7 ^d	6.0 ^d (6)	2.6 ^c	1.0 ^d	1.4 ^d	-
G+FCM [§] 100%	32.8 ^c	71.6 ^b	66.3 ^b (69)	7.3 ^c	15.8 ^{bc}	14.5 ^b	55.4
G+FCM 200%	53.1 ^b	109.5 ^a	84.5 ^{ab} (88)	11.2 ^b	25.6 ^a	16.8 ^{ab}	35.5
G+FCM 300%	68.2 ^a	124.3 ^a	96.6 ^a (100)	14.1 ^a	25.7 ^a	20.5 ^a	33.6
FCM 100%	25.6 ^c	42.5 ^c	32.5 ^c (34)	5.8 ^c	9.2 ^c	6.3 ^c	-

[†]G, gypsum.

[‡]CF, chemical fertilizer (200 kg N-150 kg P₂O₅-150 kg K₂O ha⁻¹).

[§]FCM, fresh cattle manure.

Means with different letters within a column are significantly different at the 5% level.

침출수 및 유거수 화학성 가축분에 함유된 N-P-K는 작물에 이용되고 이용되지 못한 양분 N은 NO₃-N 등으로 유실되어 수질오염에 영향을 미치게 된다. 우리나라는 하절기에 강수량의 분포도가 집중되기 때문에 가축분 사용시 질산염과 인산염이 지하로 용탈되거나 침식과 함께 유실될 우려가 있으므로 가축분의 사용량에 따른 NO₃-N 등의 용탈량에 대한 연구가 필요하다 (Van der Meer, 1987). 따라서 생우분 사용량이 많을수록 사료작물 수량이 증가하나 침출수 및 유거수 중 NO₃-N, PO₄-P 용탈량이 증가될 우려가 있어 사용량에 따른 환경오염에 영향을 미치지 않는 범위에서 사용기준을 설정하고자 용탈량을 조사하였다. 이를 위해 2013년 석고와 생우분을 사용하고 침출수 및 유거수 시료를 채취하여 분석한 결과는 Table 6, Table 7과 같다. 생우분 사용 후 침출수 중 NO₃-N 용탈량은 석고+생우분 300% 사용구까지 6.1 mg L⁻¹ 이하로 NO₃-N 음용수 기준 10 mg L⁻¹ 이하, 농업용수 기준 20 mg L⁻¹ 이하로 나타났다. PO₄-P 용탈량은 0.9 mg L⁻¹ 이하로 나타났으며 유거수중 NO₃-N 용탈량은 6.3 mg L⁻¹ 이하, PO₄-P 용탈량은 9.6 mg L⁻¹ 이하로 나타났다. 따라서 생우분 사용량이 증가할수록 침출수 중 NO₃-N, PO₄-P 함량도 증가하므로 적정수준의 가축분을 사용하여 환경오염을 최소화하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

Table 6. Changes of NO₃-N, PO₄-P concentration in leaching water as application of fresh cattle manure.

Treatment	Date	NO ₃ -N					PO ₄ -P				
		7.11	7.26	7.3	8.30	9.12	7.11	7.26	7.3	8.30	9.12
		----- mg l ⁻¹ -----					----- mg l ⁻¹ -----				
G [†] +CF [‡]		2.2	1.9	1.8	1.3	1.1	0.8	0.4	0.2	0.3	0.2
G		1.5	1.8	1.0	1.0	1.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0
G+FCM [§] 100%		4.1	3.1	3.9	2.2	2.0	0.3	0.1	0.1	0.5	0.1
G+FCM 200%		6.0	5.2	6.1	5.8	4.0	0.2	0.0	0.1	0.4	0.1
G+FCM 300%		5.3	4.5	5.8	4.0	3.6	0.4	0.2	0.3	0.9	0.1
FCM 100%		4.8	5.2	5.0	3.4	4.7	0.2	0.1	0.1	0.9	0.3

[†]G, gypsum.

[‡]CF, chemical fertilizer (200 kg N-150 kg P₂O₅-150 kg K₂O ha⁻¹).

[§]FCM, fresh cattle manure.

Table 7. Changes of NO₃-N, PO₄-P concentration in surface runoff water as application of fresh cattle manure.

Treatment	Date	NO ₃ -N			PO ₄ -P		
		7.26	9.12	9.26	7.26	9.12	9.26
		----- mg l ⁻¹ -----			----- mg l ⁻¹ -----		
G [†] +CF [‡]		2.9	2.5	2.7	1.6	1.5	2.0
G		0.6	1.3	1.6	0.0	0.6	0.1
G+FCM [§] 100%		1.4	4.8	2.4	0.2	4.0	1.6
G+FCM 200%		4.4	6.3	5.1	1.7	7.3	1.9
G+FCM 300%		4.9	6.1	4.0	3.3	9.6	6.4
FCM 100%		5.9	3.7	3.8	1.0	2.9	0.9

[†]G, gypsum.

[‡]CF, chemical fertilizer (200 kg N-150 kg P₂O₅-150 kg K₂O ha⁻¹).

[§]FCM, fresh cattle manure.

Conclusion

화용 신간척지 사료작물 생산을 위한 가축분 사용기술 개발로 염농도 경감과 토양구조 개선 및 친환경 순환농업 확대에 기여하고 애그로파크 조사료 자급기반 확보에 기여하고자 본 연구를 수행하였다. 2011년부터 2013년까지 3년간 한국농어촌공사 농어촌연구원 화용간척지 시험포장에서 수수×수단그라스 교잡종을 대상으로 석고와 생우분을 연용하면서 토양 이화학적, 작물생육 및 수량 등을 조사하였다. 석고와 생우분을 3년간 연용한 결과 2011년 pH 7.5~8.0에서 2013년 pH 6.2~7.2로 낮아졌으며, 석고+생우분 200% 사용부터 유기물이 7에서 25 g kg⁻¹ 이상 증가하고 유효인산은 33에서 141 mg kg⁻¹ 이상 증가하고 석고+생우분 혼용구에서 Ca²⁺가 증가하고 Mg²⁺, Na⁺, Cl⁻이 감소하였다.

3요소 표준재배에 비해 석고+생우분 사용시 토양의 용적밀도와 경도는 낮아지고 공극률 및 입단율은 높아지는 경향을 나타내었다. 생우분만 2년 사용해도 치환성 나트륨포화도가 15% 이상에서 정상토양으로 개선되는 효과가 있으므로 석고는 2~3년 정도만 추천하는 것이 적합할 것으로 생각되었다. 생우분 사용량이 증가할수록 수수×수단그라스 교잡종 생초수량과 건물수량이 유의성 있게 증가하였으나 작물의 인산이용효율은 석고+생우분 100% 사용시에서 가장 높고 석고+생우분 200% 사용부터는 오히려 감소하였다. 생우분 사용량이 많을수록 침출수 중 NO₃-N, PO₄-P 함량도 증가하나 침출수 중 NO₃-N 용탈량은 석고+생우분 300% 사용구까지 6.1 mg L⁻¹ 이하, PO₄-P 용탈량은 0.9 mg L⁻¹ 이하로 나타났으며 유거수중 NO₃-N 용탈량은 6.3 mg L⁻¹ 이하, PO₄-P 용탈량은 9.6 mg L⁻¹ 이하로 나타났다.

따라서 적정수준 이상의 생우분 사용은 오히려 양분부동화에 따른 양분이용효율 저하와 수량감소 및 환경오염을 초래할 수 있으므로 간척지에서 가축분을 사용할 때에는 적정사용량 설정이 중요하다. 작물 수량, 양분이용효율과 침출수 및 유거수 중 NO₃-N, PO₄-P 등 용탈량을 전체적으로 고려할 때 신간척지인 화용간척지에서의 석고와 생우분 사용량은 작물재배 1년부터 3년간은 석고+우분 200%를 사용하고 그 이후는 토양 화학성 변화를 경시적으로 조사하여 생우분 사용량을 감소시키는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

References

- Ahn, Y., S.H. Lee, K.J. Ji, B.D. Hong, H.M. Rho, S.H. Ryu, S.M. Lee, K.H. Han, W.J. Choi, S.I. Yun, and Y.D. Choi. 2002. Studies on changes of soil characteristics and utilization after tidal land reclamation. KARICO Project. 31-41.
- Baek, S.W., S.U. Lee, H.B. Lim, D.G. Kim, and S.J. Kim. 2008. Influence of Gypsum, Popped Rice Hulls and Zeolite on Contents of Cation in Reclaimed Tideland Soils in Mangyeong. Korean Journal of Environmental. Agriculture. 27(4):321-327.
- Baek, S.W., S.U. Lee, H.B. Lim, D.G. Kim, and S.J. Kim. 2009. Influence of Gypsum, Popped Rice Hulls and Zeolite on Contents of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ in Reclaimed Tideland Soils in Kyehwado. Korean Journal of Environmental. Agriculture. 28(1):25-31.
- Choi, K.C., M.W. Jung, C.C. Nam, H.S. Park, S.H. Yoon, J.G. Kim, C.E. Song, E.M. Choi, C.M. Kim, and Y.C. Lim. 2011. Effect of Application of Swine Slurry on Productivity of Sorghum \times Sorghum Hybrid and Soil Environment in Reclaimed Land. J. Kor. Grassl. Forage Sci. 31(2):159-166.
- Choi, K.C., S.H. Yoon, J.S. Shin, D.K. Kim, H.S. Han, S. Supanjani, and K.D. Lee. 2010. Effects of Soil Amendment Application on Soil Physico-chemical Properties and Yields of Summer Forage Crops in the Sukmoon Reclaimed Tidal Land in Korea. Korean Journal of Environmental. Agriculture. 29(4):354-361.
- Dontsova, K.M. and L.D. Norton. 2002. Claydispersion, infiltration, and erosion as influenced by exchangeable Ca, and Mg. Soil Sci. 163:184-193.
- Hwang, S.W., C.S. Lee, Y.J. Lee, H.K. Kwak, and N.J. Park. 1990. The influences of rice straw and gypsum applied to a saline soil on the growth status of rice seedlings when flooded direct sowing, Korean J. Soil Sci. Fert. 23:34-39.
- Jo, N.C., J.S. Shin, S.H. Kim, S.H. Yoon, B.S. Hwang, M.W. Jung, K.D. Lee, W.H. Kim, S. Sung, J.G. Kim, C.E. Song, and K.C. Choi. 2010. Study on summer forage crop cultivation using SCB(Slurry composting-biofiltration) liquid fertilizer on reclaimed land, J. Kor. Grassl. Forage Sci. 30(2):121-126.
- Jung, M.W., K.C. Choi, H.Y. Pyo, E.M. Choi, C.M. Kim, J.G. Kim, C.E. Song, M.J. Kim, W.H. Kim, and Y.C. Lim. 2011. Effect of Cattle Manure and Chemical Fertilizer Application on Productivity and Nutritive Value of Silage Corn in Reclaimed Paddy Field. Korea J. Lives. Hous. & Env., 17(2):123-130.
- Koo, J.W., J.K. Choi, and J.G. Son. 1998. Soil Properties of Reclaimed Tidal Lands and Tide Lands of Western Sea Coast in Korea. J. Korean Soc. Soil Sci. FERT. 31(2):120-127.
- KRC. 2007. Multiple Utilization of Tidal Reclaimed Farmland for Advanced Agriculture.
- Lebron, I., D.L. Suarez, and T. Yoshida. 2002. Gypsum effect on the aggregate size and geometry of three sodic soils under reclamation, Soil Sci. Soc. Am. J. 66:92-98.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2003. Investigation and standard for agriculture experiment. RDA. Suwon, Korea.
- NIAS. 2006. Fertilizer recommendation for crops. RDA, Suwon, Korea.
- Park, J.H., J.K. Yeo, Y.B. Koo, W.W. Lee, H.C. Kim, and C.H. Park. 2008. Effects of slurry composting and biofiltration liquid fertilizer on growth characteristic of poplar clones in a reclaimed land mounding soil. Korean J. Soil Sci. Fert., 41:318-323.
- Radovich, T.J.K. and N.V. Hue. 2012. Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth, Scientia horticulturae. 148:138-146.
- Shainberg, I., M.E. Sumnur, W.P. Miller, M.P.W. Farina, M.A. Pavon, and M.V. Fey. 1989. Use of gypsum on soils. A review:2-111.
- Shin, J.S., S.H. Lee, W.H. Kim, J.G. Kim, S.H. Yoon, and K.B. Lim. 2005. Effects of ammonium sulfate and

potassium sulfate fertilizer on dry matter yield and forage quality of sorghum x sudangrass hybrid in reclaimed tidal land, *J. Korean Soc. Grass. Sci.* 25(4):245-250.

Sohn, B.K., D.J. Lee, B.K. Park, and K.S. Chae, 2007. Effects of phospho-gypsum fertilizer as reclamation material in the newly reclaimed paddy fields, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(2):145-150.

Sparks, D.L. 1995. *Environmental soil chemistry*. Academic Press, San Diego.