

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.1.050>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

## Managing Soil Organic Matter and Salinity by Crop Cultivation in Saemangeum Reclaimed Tidal Land

Hui Su Bae, Hyeonsoo Jang, Jae Bok Hwang, Tae Seon Park, Kyo Suk Lee<sup>1</sup>, Dong Sung Lee<sup>1</sup>, and Doug Young Chung<sup>1\*</sup>

National Institute of Crop Science, RDA, Wanju 55365, Korea

<sup>1</sup>Department of Bio-environmental Chemistry, Collage of Agriculture and Life Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea\*Corresponding author: [dychung@cnu.ac.kr](mailto:dychung@cnu.ac.kr)

### ABSTRACT

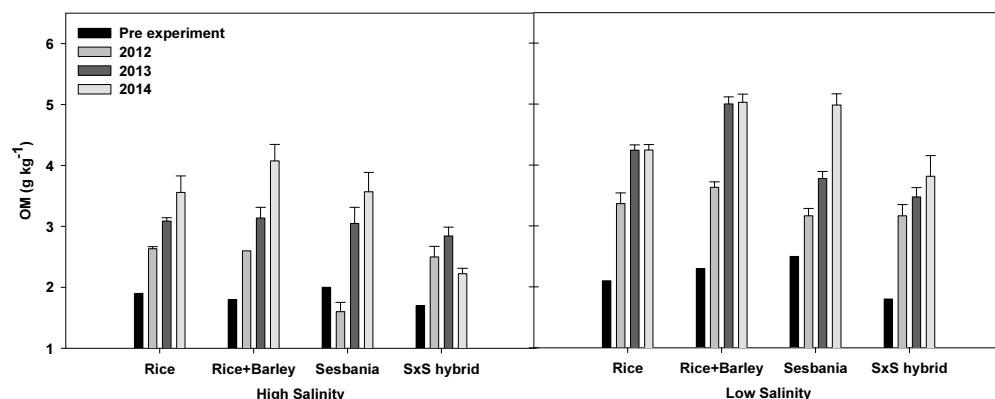
Received: March 28, 2017

Revised: March 2, 2018

Accepted: March 2, 2018

This study was to evaluate the effect of organic amendments incorporation on soil properties and plant growth under two different soil salinity levels and various cultivated crops at Saemangeum reclaimed tidal land for three years from 2012 to 2014. The soil texture of the experimental site was sandy loam. Four different crops, sesbania (*Sesbania grandiflora*), sorghum-sudangrass hybrid (*Sorghum bicolor-Sorghum sudanense*), rice (*Oryza sativa* L.) and barley (*Hordeum vulgare*) were cultivated at low (< 1 dS m<sup>-1</sup>) and high (> 4 dS m<sup>-1</sup>) soil salinity levels. The soil salinity was significantly lowered at the rice cultivation site compared to continuous upland crops cultivation site in high soil salinity level. But the soil salinity was increased as cultivating sesbania continuously in low soil salinity level. The soil organic matter content was increased with the incorporation of straw at the continuous site of rice and barley, and the average of soil organic matter was increased by 0.9 g kg<sup>-1</sup> per year which was effective in soil aggregate formation. The highest biomass yield plot was found in barley (high salinity level) and sesbania (low salinity level) cultivation site, respectively. Our research indicates that rice cultivation in paddy field with high salinity level was effective in lowering soil salinity and sesbania cultivation was useful to biomass production at upland with low salinity. In conclusion, soil salinity and organic matter content should be considered for multiple land use in newly reclaimed tidal land.

**Keywords:** Reclaimed tidal land, Organic matter incorporation, Soil salinity



Changes of soil organic matter as affected by organic matter incorporation under different soil salinity level and land uses for three years in Saemangeum reclaimed tidal land.



## Introduction

식량의 안정적 공급을 위한 우량 농지확보 대책으로 서남해안을 중심으로 간척사업이 진행되어 왔으며 이러한 간척지는 주로 벼를 재배하기 위한 논으로 조성되었다. 이는 간척초기 토양 염농도가 높은 논에서 벼를 재배할 경우 관개수를 이용한 담수로 인하여 제염효과가 크기 때문이다 (Lee et al., 2013). 현재 간척지는 대부분 논으로 이용되고 있으며 밭으로 이용되는 부분은 1.6%에 불과하다 (NICS, 2013). 이는 간척지 토양 특성상 배수가 불량하고 재염화에 의한 염해 발생 등 밭작물 재배에 불리한 환경을 지니고 있기 때문이다. 그러나 최근 간척지의 다원적 활용을 위해 간척지 밭작물 재배 및 토양 관리방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 (Bae et al., 2015; Ryu et al., 2016). 또한 논에서 타 작물 재배 확대와 밭 식량작물 생산량 확대 정책 수립 등 밭작물 자급률 향상을 위한 다각적인 방안이 모색되고 있다 (MAFRA, 2016). 이에 따라 대규모 간척지를 이용한 농지 범용화로 대단위 면적의 밭작물 재배가 이루어질 경우 밭작물 자급률 향상에 크게 기여할 수 있을 것으로 예상된다.

간척지토양은 일반적으로 유기물함량이 매우 낮고 염농도가 높기 때문에 유기물이나 석고 등을 사용해서 토양을 개량해야 안정적인 작물 생산성을 기대할 수 있다 (Hwang et al., 2012). 또한 염류 토양에서 유기물을 사용하면 나트륨의 용탈을 증가시켜 토양의 ESP (exchangeable sodium percentage)와 EC를 낮추며 투수성, 보수력 및 입단 안정화도가 증가되어 토양 개량 효과가 있다 (El-Shakweer et al., 1998). 유기물함량의 증가는 간척지 내 미생물 함량을 증가시키는데, Aotobater와 같은 PGPR이나 내염미생물 등은 염류 토양 내의 종자 발아 및 식물체 성장을 촉진시키는 효과가 있다 (Hussein et al., 2016; Park et al., 2016; Shin et al., 2016).

신간척지에서 안정적인 작물 생산을 위해서는 토양유기물 함량을 높이고 과량의 토양염류를 제거하여 토양의 비옥도를 증진시키는 것이 우선시 되어야 안정적인 작물생산이 가능할 것으로 보인다. 그러나 간척지의 토양개량에 관한 연구는 주로 수도작 위주로 진행되었으며 논과 밭 조건에서 토양 염농도 수준에 따라 작물을 달리 재배하여 토양개량 효과를 비교 분석한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 시험은 염농도 수준이 상이한 (고염지역, 저염지역) 신간척지에서 논과 밭에 적합한 작물을 재배 후 식물체 잔사의 토양 환원이 토양유기물 공급 및 토양이화학성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행되었다.

## Materials and Methods

**시험포장 조성 및 토양특성** 본 시험은 전라북도 부안군 계화면에 위치한 새만금간척지(35°46'N, 126°37'E)에서 2012년부터 2014년까지 3년간 수행하였다. 시험포장의 토양은 하해혼성층적층을 모재로 한 사양질 토양의 문포통 (coarse loamy, mixed, nonacid, Mesic, Typic Fluvaquents)이었으며 시험구는 시험포장 내에서 토양 염농도가 낮은 저염 지역과 높은 고염 지역의 두 지점을 선정하여 각각 논과 밭을 조성하였다.

시험포장의 토성은 사양토였으며 작물 재배 전 토양의 용적밀도는 고염 및 저염구에서 각각 1.41 및 1.53 Mg m<sup>-3</sup>으로 높은 값을 보였다. 토양 EC는 고염구와 저염구 각각 4.8, 1.0 dS m<sup>-1</sup>였으며 토양 유기물 함량은 고염구와 저염구 각각 2.4, 3.4 g kg<sup>-1</sup>로 일반농경지의 1/10 수준의 매우 낮은 값을 보였다. 토양 pH는 알칼리성을 보였으며 유효인산함량은 고염구와 저염구 모두 적정 수준보다 매우 낮았으며 치환성 양이온중 특히 나트륨 함량이 높은 값을 나타냈다 (Table 1).

**Table 1.** Physical and chemical properties of this experimental field before crop cultivation.

Salinity	pH	EC	SOM	T-N	Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ex. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )				Bulk density	Soil texture
	1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Na	Mg m <sup>-3</sup>	
High	7.3	4.8	2.4	0.25	33	0.80	0.6	1.9	5.0	1.41	Sandy
Low	7.8	1.0	3.4	0.27	18	0.66	1.0	2.1	1.6	1.53	Loam

**작물재배 및 유기물 환원** 작물재배는 논 조건에서 벼 단작과 벼 + 보리 이모작, 밭 조건에서 두과 녹비작물인 세스바니아와 화본과 녹비작물인 수수 × 수단그라스 교잡종을 저염 및 고염 지점에서 각각 재배하였다. 벼 재배는 6월 5일에 30 × 14 cm 간격으로 기계이앙 하였으며 보리는 벼를 수확한 후 10월 하순에 파종량 220 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 휴립 광산파하였다. 세스바니아와 수수 × 수단그라스 교잡종은 6월 상순에 파종량 40 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 줄뿌림 하였으며 기타 재배관리는 간척지 녹비작물 활용기술 (NICS, 2011) 및 간척지 작물 생산기술 (NICS, 2010)에 준하여 수행하였다 (Table 2).

유기물 토양 환원을 위해 벧짚은 10월 상순에 벼를 수확한 후 약 5 cm 길이로 잘게 잘라 환원 하였으며 세스바니아와 수수 × 수단그라스 교잡종은 벧짚 환원과 동일한 시점인 10월에 파쇄기를 이용하여 파쇄 후 전량 토양에 환원하였다. 보릿짚은 벼 이앙 전 5월 하순에 종실을 수확하지 않고 파쇄기를 이용하여 전량 파쇄 하여 토양 환원 한 후 벼를 재배하였다.

**Table 2.** Cultural practices on crops used in this experimental field.

Crops	Planting time	Sowing method	Seeding rate	Planting space	Fertilizer amount (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O)
			kg ha <sup>-1</sup>	cm	kg ha <sup>-1</sup>
Rice	Jun.	Transplant	-	30 × 14	110-51-57
Barley	Oct.	Broadcast	220	-	150-100-100
Sesbania	Jun.	Drill planting	40	40	60-80-60
S × S hybrid <sup>†</sup>	Jun.	Drill planting	40	40	200-150-150

<sup>†</sup>sorghum-sudangrass hybrid.

**토양 및 식물체 분석** 토양시료는 풍건한 분석용 시료를 이용하였다. pH와 EC 측정은 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 30분간 진탕한 후 pH meter (ORION, US/520A) 및 EC meter (OIRON, US/160)를 이용하여 측정하였다. 토양 총 탄소 측정은 건식연소법 (dry combustion)으로 CN automatic analyzer (Elementar Analysen Systeme, US/Vario Max CNS)를 이용하여 분석하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 spectrophotometer (Shimazu, JP/UV-2501)를 이용해 720 nm에서 비색 측정하였고 치환성 양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH7.0)로 추출한 액을 ICP-OES (Varian, Vista MPX-ICP)를 사용하여 정량 분석하였다. 토양 입단분석은 직경이 2.0, 1.0, 0.5, 0.25, 1.0 mm인 토양체로 습식사별법 (wet sieving method)을 이용하여 분석하였다 (NIAST, 2000). 입단분석을 위해 토양시료 50 g을 Yoder-type 진탕기 (Dik-2000, Daki Rika Kogyo Co. Ltd., Tokyo, Japan)에 넣고 30분간 일정속도로 진탕 후 토양체 입경에 따라 분리가 끝난 토양시료를 105°C 온도로 건조하여 무게를 잰 후 각각의 입단 크기에 대한 상대적인 분포 비율을 계산하였다. 식물체 시료는 토양환원 직전에 채취하여 항온 건조기에서 70°C 온도로 72시간 동안 건조 후 40 mesh 크기로 분쇄하여 습식분해 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 하였고 분해액을 여지에 여과한 후 여액을 이용하여 K, Ca, Mg, 및 Na를 분석하였다.

**통계분석** 본 시험결과의 모든 자료 분석은 JMP 통계분석 프로그램(SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 분산분석(ANOVA test)을 실시하였으며 각 처리간의 차이에 대한 사후 검정은 5% 유의수준에서 Tukey's HSD 검정을 이용하여 분석하였다.

## Results and Discussion

**작물별 생육 및 식물체 성분 변화** 새만금간척지의 염농도가 상이한 두 지점(고염, 저염)에서 수확시 작물별 지상부의 건물생산량은 Fig. 1과 같다. Sohn et al. (2009)은 영산강간척지에서 수단그라스와 세스바니아의 건물수량은 염농도에 따라 차이가 컸으며 최고수량은 염농도가 낮은 곳에서 수수 × 수단그라스 교잡종과 세스바니아 각각 28,720 및 18,860 kg ha<sup>-1</sup>이라고 보고하였다. 본 시험결과 고염구에서는 보리가(9,110 kg ha<sup>-1</sup>) 가장 높은 건물 생산량을 나타냈으며 다음으로 벼(8,490 kg ha<sup>-1</sup>), 세스바니아(5,100 kg ha<sup>-1</sup>), 수수 × 수단그라스 교잡종(1,810 kg ha<sup>-1</sup>) 순으로 수량을 나타냈다. 저염구에서는 세스바니아(14,600 kg ha<sup>-1</sup>)가 가장 높은 건물 생산량을 보였으며 다음으로 수수 × 수단그라스 교잡종(14,580 kg ha<sup>-1</sup>), 보리(11,900 kg ha<sup>-1</sup>), 벼(7,670 kg ha<sup>-1</sup>) 순으로 고염 지점과 다른 양상을 보였다. 논에서 벧짚의 생산량은 고염과 저염 지점에서 유사하게 나타나 토양 염농도 조건에 큰 영향을 받지 않았는데 이는 벼 재배시 논에의 담수조건으로 인한 제염효과로 고염 지점에서 벼의 생육이 양호하였기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 보릿짚의 생산량은 고염 지점에서 다소 낮게 나타났는데 이는 보리 재배기간 중 염해로 인하여 생육이 다소 저해된 것으로 판단된다. 또한 고염 지점에서 논에의 벧짚과 보릿짚의 건물 생산량은 밭에서의 세스바니아와 수수 × 수단그라스의 건물생산량보다 높았으나 반대로 저염구에서 논에의 벧짚과 보릿짚의 건물 생산량은 밭에서의 세스바니아와 수수 × 수단그라스의 건물생산량보다 낮았다. 결과적으로 토양 염농도가 높은 조건에서는 세스바니아와 수수 × 수단그라스를 재배할 경우 염해에 의해 생육이 저조하여 유기물 생산량이 벼와 보리를 재배하는 경우보다 적지만 토양 염농도가 낮은 조건에서는 세스바니아와 수수 × 수단그라스를 재배하는 경우가 벼와 보리를 재배하는 것보다 유기물 생산량이 더 많은 것으로 나타났다.

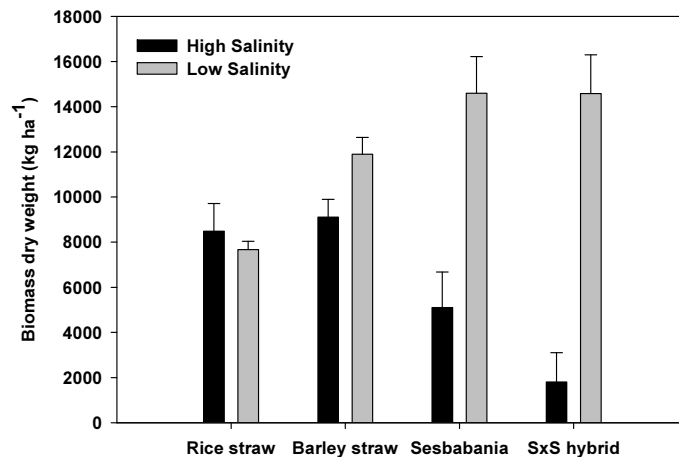


Fig. 1. Average biomass dry weight of crops at each soil salinity level in Saemangeum reclaimed tidal land.

토양 염농도에 따른 수확 및 토양 환원시기의 재배 작물의 식물체 성분특성은 Table 3과 같다. 토양 염농도에 따라

재배작물의 Na<sub>2</sub>O 함량은 유의적인 차이를 보였으며 고염 지점이 저염 지점보다 약 50% 이상 높게 나타났으나 다른 성분의 차이는 보이지 않았다. 작물에 따라서는 세스바니아가 모든 성분 함량이 높은 경향을 보였는데 이는 Lee et al. (2013)의 간척지구별 작물의 식물체 성분 분석 결과와 일치하는 경향을 보였다. 일반적으로 식물체의 탄질율 (C/N ratio)은 값이 높을수록 분해속도가 느린 것으로 알려져 있다. 본 시험결과 토양 염농도에 의한 재배작물의 탄질율은 유의적인 차이를 보이지 않았으나 작물 종류에 따라서 차이를 보여 세스바니아 (18.8), 보릿짚 (49.8), 수수 × 수단그라스 (69.1), 벧짚 (80.5) 순으로 질소 함량이 가장 높은 세스바니아가 가장 낮은 탄질율을 보였다.

**Table 3.** Chemical properties of crops as affected by organic matter incorporation under different soil salinity level in Saemangeum reclaimed tidal land.

Salinity	Crops	C	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	C/N ratio
		%							
High	Rice	38.3	0.5	0.20	1.75	0.32	0.16	0.34	80
	Barley	43.4	1.0	0.14	1.71	0.07	0.13	0.25	49
	Sesbania	45.1	2.5	0.33	1.78	0.81	0.35	0.65	18
	S × S hybrid <sup>†</sup>	42.8	0.7	0.17	1.57	0.27	0.35	0.50	63
Low	Rice	38.5	0.5	0.13	1.84	0.32	0.17	0.26	81
	Barley	43.3	0.9	0.10	1.77	0.09	0.15	0.32	51
	Sesbania	45.4	2.5	0.33	2.03	0.75	0.29	0.39	19
	S × S hybrid <sup>†</sup>	44.3	0.7	0.21	1.61	0.17	0.34	0.09	74
<i>Source of variation</i> <sup>†</sup>									
Salinity (S)		*	ns	ns	ns	ns	ns	***	ns
Crops (C)		***	***	***	ns	*	*	***	*
S × C		*	ns	ns	ns	ns	ns	***	ns

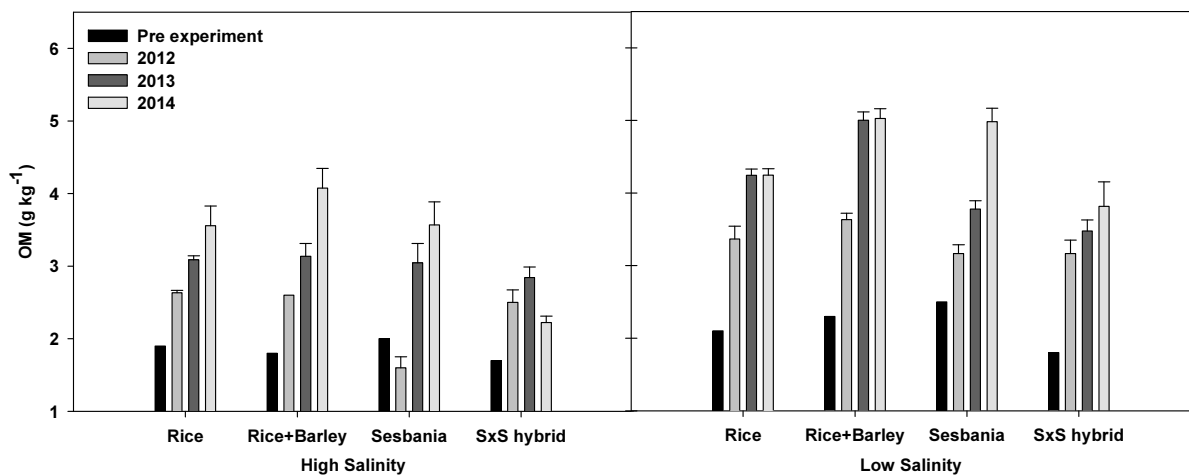
<sup>†</sup>sorghum-sudangrass hybrid.

<sup>†</sup>ns, \*, \*\*, \*\*\*Nonsignificant or significant at 0.05, 0.01 and 0.001 probability, respectively.

**토양유기물 함량 변화** 토양 비옥도에 중요한 영향을 미치는 토양유기물은 작물의 중요한 질소원으로서 토양의 지력을 대표하는 인자로 알려져 있다 (Yeon et al., 2007). 토양 염농도에 따라 작물을 재배한 후 생산된 유기물을 매년 토양에 전량 환원하고 측정된 토양유기물 함량은 Fig. 2와 같다. 토양유기물 함량은 유기물 환원에 따라 연차 간 증가 효과가 뚜렷하게 나타났다. Kang et al. (2012)은 새만금간척지 미사질양토에서 풋겨름작물을 재배할 경우 토양유기물 함량은 매년 평균 1.2 g kg<sup>-1</sup> 씩 증가한다고 보고하였는데 본 시험결과 고염 및 저염 지점에서 각각 연평균 0.5 및 0.8 g kg<sup>-1</sup> 씩 증가하여 토양유기물 증가량이 기존 연구결과와 비교하여 다소 낮은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 본 시험에서 환원된 유기물 함량이 상대적으로 적었고 토성에 따라 유기물의 분해속도가 다르기 때문인 것으로 판단된다. 또한 Yeon et al. (2007)은 논에서 벧짚퇴비를 7,500 kg ha<sup>-1</sup> 수준으로 사용 하면 1년에 증가되는 유기물 함량은 0.45 g kg<sup>-1</sup> 이라고 하였는데 본 시험결과 벧짚 환원에 의해 1년에 증가되는 유기물 함량은 고염구에서는 0.55 g kg<sup>-1</sup>, 저염 구에서는 0.72 g kg<sup>-1</sup> 으로 일반 숙답과 유사하거나 다소 높은 것으로 나타났다.

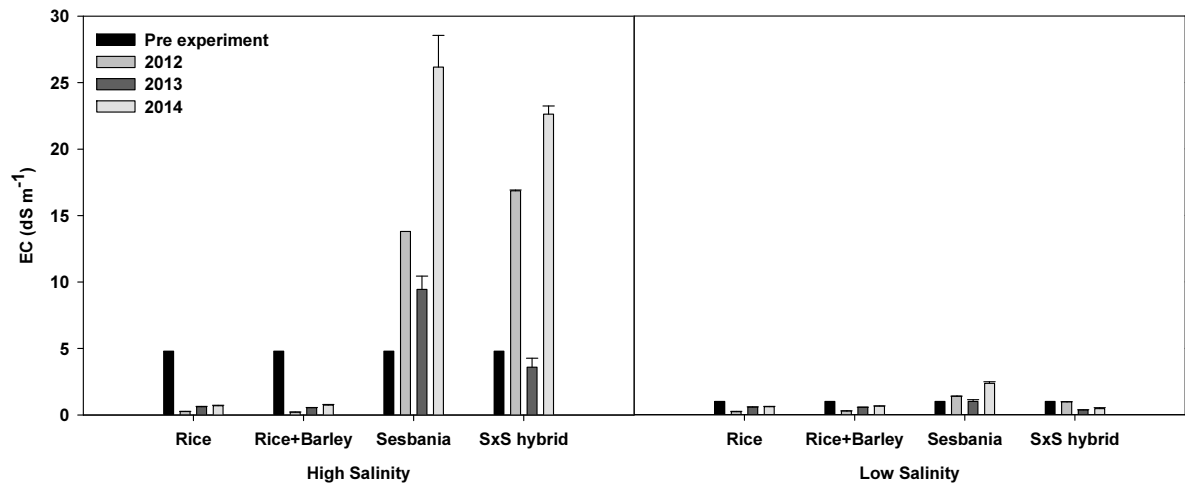
작물별 연평균 토양유기물 증가량은 고염구에서 벼 + 보리 (0.76 g kg<sup>-1</sup>), 벼 (0.55 g kg<sup>-1</sup>), 세스바니아 (0.52 g kg<sup>-1</sup>), 수수 × 수단그라스 (0.17 g kg<sup>-1</sup>) 이었으며 저염구에서는 벼 + 보리 이모작 (0.91 g kg<sup>-1</sup>), 벼 (0.72 g kg<sup>-1</sup>), 세스바니아

( $0.83 \text{ g kg}^{-1}$ ), 수수 × 수단그라스 ( $0.67 \text{ g kg}^{-1}$ ) 순으로 고염과 저염구 모두 벼 + 보리이모작 재배구에서 가장 높았다. 이는 벼 + 보리 이모작 재배구에서 유기물의 토양 환원량이 가장 많았기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 토양 유기물 함량 증진을 위해서는 논상태에서 벼 + 보리, 밭상태에서 세스바니아 재배가 토양유기물 증가에 유리할 것으로 보이며 특히 토양 염농도가 높은 고염지역에는 벼 + 보리 재배가 벼 재배에 의한 담수제염 효과와 보리재배 후 보릿짚 투입효과로 유기물 증진에 가장 효과적인 것으로 나타났다. Yoon et al. (2007)은 풋거름작물의 토양 환원시 유기물의 분해 속도는 논토양보다 밭토양이 높았다고 보고하였다. 본 시험 결과에서도 특히 저염 지역에서 투입된 유기물의 양이 논 재배보다 밭 재배가 더 많음에도 불구하고 토양 유기물 증가량은 논에서 더 높게 나타났는데 이는 논 보다 밭 토양에서 유기물의 분해 속도가 빠르기 때문인 것으로 판단된다.



**Fig. 2.** Changes of soil organic matter as affected by organic matter incorporation under different soil salinity level and cultivating crops for 3 years in Saemangeum reclaimed tidal land.

**토양 염농도 변화** 토양 염농도에 따라 작물을 재배 한 후 생산된 유기물을 토양에 전량 환원하고 매년 10월에 토양 EC를 측정 한 결과는 Fig. 3과 같다. Lee et al. (2013)은 새만금간척지 사양토에서는 토양특성상 강우에 의한 자연적인 제염이 용이하여 수수 × 수단그라스 교잡종과 세스바니아를 재배할 경우 토양 EC는  $5.3 \text{ dS m}^{-1}$ 에서  $0.1\text{-}0.9 \text{ dS m}^{-1}$  정도까지 낮아져 80% 이상 제염효과가 있다고 하였으며 Kim et al. (2012)은 토양 염농도가  $4.77 \text{ dS m}^{-1}$  내외인 논에서 벼를 재배하여 3일 간격으로 환수할 경우 토양 염농도가  $1.6\text{-}3.87 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 낮아진다고 보고하였다. 본 시험 결과 토양 EC변화는 초기 토양 EC에 의한 영향이 매우 컸으며 고염 지점에서 벼를 재배한 곳은 담수로 인하여 토양 EC가 급격히 감소하여 시험 전  $4.8 \text{ dS m}^{-1}$ 에서 3년차에는  $0.7 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 낮아졌으나 세스바니아와 수수 × 수단그라스 교잡종을 재배한 곳은 연차간 지속적으로 증가하여 작물 생육이 불가능한 수준까지 상승하였다. 그러나 저염 지점에서 벼, 벼 + 보리, 수수 × 수단그라스 교잡종 재배구의 토양 EC는 시험 전 수준을 유지하였으나 세스바니아 재배구에서는 시험전  $0.4 \text{ dS m}^{-1}$ 에서 3년차에  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$ 로 증가하였다. 이러한 결과는 사양토로 제염이 용이한 새만금간척지에서 세스바니아 재배시 토양 EC가 자연강우에 의해 감소된다는 Lee et al. (2013)의 연구와 상반되는 결과를 보였는데 이는 토양 EC는 재배기간 중 강우량 이외에 미세 지형, 지하수위의 상승 및 증발산량 등 다양한 환경 요인이 복합적으로 영향을 받기 때문인 것으로 판단되며 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.



**Fig. 3.** Changes of soil EC as affected by organic matter incorporation under different soil salinity level and cultivated crops for 3 years in Saemangeum reclaimed tidal land.

**토양입단분포 및 토양물리성 변화** 새만금간척지에서 유기물을 3년간 토양에 환원한 후 입단 크기별 분포비율과 입단화도 (> 0.1 mm)를 조사한 결과는 Table 4와 같다. 토양 염농도 수준에 따라서는 토양 입단화도는 저염 지점이 20.4%로 고염 지점의 10.8%보다 2배정도 높은 값을 보여 토양 염농도가 토양 입단형성에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 입경크기에 따라 2.0 mm 이상 입단에서는 염농도와 재배 작물에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았으며 0.25-0.1 mm 크기의 입단량이 가장 많은 것으로 나타났다. 고염 지점에서는 벼와 벼 + 보리 이모작 재배구에서 입단화도가 각각 16.8, 17.9%로 세스바니아와 수수 × 수단그라스 교잡종 재배구의 4.6, 3.7%보다 높게 나타났으며 특히 벼 + 보리 재배구에서 가장 높은 값을 보였다. 이는 재배기간 중 염해에 의해 세스바니아와 수수 × 수단그라스 교잡종의 생육이 매우 저조하여 투입된 유기물의 양이 적었고 토양 중 나트륨 이온에 의해 분산효과로 토양입단 형성이 저해되었기 때문인 것으로 판단된다. 저염 지점에서는 벼 + 보리 이모작 재배구에서 입단화도가 29.8%로 가장 높았으며 세스바니아 재배구에서 10.0%로 가장 낮게 나타나 벼 + 보리 재배가 토양 입단 형성에 유리한 것으로 나타났다. 결과적으로 간척지에서 토양 입단화를 통한 물리성 개선을 위해서는 논 상태에서 벼와 벼 + 보리 이모작 재배가 효과적 이었으며 또한 밭 상태에서는 수단그라스 재배가 세스바니아 재배보다 토양 입단 형성에 효과적인 것으로 나타났다. Son and Cho (2009)는 유기물 종류에 따라 입단 형성물질에 차이가 있으며 유기물의 시용효과는 토양특성이나 토지 이용 형태에 따라 다르게 나타난다고 하였다. 본 시험에서도 토양입단은 토양 염농도 및 환원된 작물 종류에 따라 다른 양상을 보였다.

토양물리성은 작물의 생육과 양분 이용측면에서 매우 중요하며 특히 용적밀도는 작물의 생육에 영향을 미칠 수 있다(Cho et al., 2012). 작물 재배 후 표토에서 공극률과 용적밀도는 재배 작물간의 유의적인 차이는 보이지 않았다. 그러나 토양 염농도에 따라 저염구에서 평균 공극률 49%와 용적밀도 1.35 Mg m<sup>-3</sup>이었으며 고염구에서 공극률 47%와 용적밀도 1.42 Mg m<sup>-3</sup>으로 고염구에서 공극률은 감소하고 용적밀도는 증가하는 경향을 보여 토양물리성은 토양 염농도에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다(Table 5). Cho et al. (2012)의 보고에 의하면 국내 농경지 사양질 토양의 논과 밭의 평균 용적밀도는 각각 1.32 및 1.23 Mg m<sup>-3</sup> 알려져 있다. 본 시험결과 저염구에서는 국내 농경지의 평균 수준에 근접한 값을 보였으나 고염구에서는 다소 높은 값을 보여 신간척지에서 국내 농경지 평균 수준의 용적밀도를 유지

하기 위해서는 토양 제염과 지속적인 유기물 투입으로 토양 물리성을 개선해야 할 것으로 보인다.

**Table 4.** Size distribution of aggregates as affected by organic matter incorporation under different soil salinity level and cultivating crops after 3 years experiment in Saemangeum reclaimed tidal land.

Salinity	Crops	Size distribution of aggregates (%)					Total
		> 2.0 mm	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	
High	Rice	0.3	0.7	1.6	4.7	9.4	16.8
	Rice + Barley	0.4	0.8	1.7	5.0	9.9	17.9
	Sesbania	0.8	0.9	0.4	0.5	2.0	4.6
	S × S hybrid <sup>†</sup>	0.9	0.5	0.3	0.3	1.8	3.7
	Control	0.1	0.5	0.4	2.1	7.0	10.2
Low	Rice	0.4	1.2	2.9	6.2	10.7	21.4
	Rice + Barley	0.4	1.6	4.1	10.5	13.2	29.8
	Sesbania	0.3	0.9	1.1	2.1	5.7	10.0
	S × S hybrid <sup>†</sup>	0.5	1.9	2.1	5.3	10.4	20.3
	Control	0.1	0.2	1.3	2.9	9.0	13.5
<i>Source of variation</i> <sup>‡</sup>							
Salinity (S)		ns	**	***	***	***	***
Crops (C)		ns	ns	***	***	***	***
S × C		ns	ns	ns	*	*	*

<sup>†</sup>sorghum-sudangrass hybrid.

<sup>‡</sup>ns, \*, \*\*, \*\*\*Nonsignificant or significant at 0.05, 0.01 and 0.001 probability, respectively.

**Table 5.** Physical properties of soil as affected by organic matter incorporation under different soil salinity level and crops after 3 years experiment in Saemangeum reclaimed tidal land.

Salinity	Crops	Three phase			Bulk density	Porosity
		Soild	Liquid	Gaseous		
		(%)			Mg m <sup>-3</sup>	(%)
High	Rice	55.1	30.6	14.4	1.46	44.9
	Rice + Barley	54.6	29.3	16.4	1.44	45.6
	Sesbania	51.4	25.3	23.3	1.37	48.3
	S × S hybrid <sup>†</sup>	52.6	25.0	22.9	1.39	47.6
Low	Rice	52.1	30.7	17.3	1.38	48.0
	Rice + Barley	50.0	30.7	19.1	1.33	49.9
	Sesbania	51.4	16.6	32.3	1.36	48.8
	S × S hybrid <sup>†</sup>	50.1	19.3	30.4	1.33	49.8
<i>Source of variation</i> <sup>‡</sup>						
Salinity (S)		**	**	***	**	*
Crops (C)		ns	***	***	ns	ns
S × C		ns	***	*	ns	ns

<sup>†</sup>sorghum-sudangrass hybrid.

<sup>‡</sup>ns, \*, \*\*, \*\*\*Nonsignificant or significant at 0.05, 0.01 and 0.001 probability, respectively.



**토양화학성 변화** 새만금간척지에서 유기물을 3년간 토양에 환원한 후 토양의 화학성분의 평균 함량은 Table 6 과 같다. 토양 pH는 시험전 고염 및 저염 각각 7.3 및 7.8이었으나 시험 후 모든 처리구에서 낮아지는 경향을 보였다. 특히 벼, 보리 재배구에서 4.8-5.1로 감소폭이 가장 큰 것으로 나타났다. Park et al. (2003)은 논토양에서 벼 재배시 무기질비료를 36년간 장기연용 하였을 경우 토양의 pH는 5.7-5.8로 큰 변화를 보이지 않는 것으로 보고하였다. 그러나 본 시험결과에서 토양 pH는 큰 폭으로 감소하였는데 시험토양의 특성이 유기물함량이 매우 낮은 사양질 토양으로 완충 능력이 낮아 pH의 급격한 변화를 막지 못한 것으로 판단된다. 요소비료를 사용할 경우 토양의 pH는  $\text{NH}_4^+$  이온이 질 산화 되어  $\text{NO}_3^-$  이온으로 변하는 과정에서 생성되는 수소이온으로 인하여 토양 산성화를 초래할 수 있으며 작물에 의한 Ca, Mg, K 등의 염기성 양이온들의 작물에 의한 흡수와 제거로 인하여 토양의 pH가 낮아지는 것으로 알려져 있다 (Yang et al., 2006). 본 시험결과에서도 일반비료의 지속적인 사용과 작물에 의한 양분흡수로 토양의 pH가 낮아지는 결과를 보였으며 그 차이는 재배작물과 토지이용 형태에 따라 다르게 나타났다. 고염 지점에서 유효인산 함량은 세스바니아와 수수 × 수단그라스 교잡종 재배구에서 상대적으로 높게 나타났는데 이는 작물 생육이 매우 부진하여 사용한 비료를 흡수하지 못하여 지속적으로 누적되었기 때문인 것으로 판단된다. 또한 저염구에서도 세스바니아와 수수 × 수단그라스 교잡종 재배구에서 벼와 벼보리 재배구보다 높게 나타났는데 이는 작물에 따른 시비량의 차이와 흡수력의 차이로 인하여 나타난 현상으로 보인다.

**Table 6.** Chemical properties of soil as affected by organic matter incorporation under different soil salinity level and crops after 3 years experiment in Saemangeum reclaimed tidal land.

Salinity	Crops	pH	T-N	Avail. $\text{P}_2\text{O}_5$	Ex. cations ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )			
		1:5	$\text{g kg}^{-1}$	$\text{mg kg}^{-1}$	K	Ca	Mg	Na
High	Rice	5.1	0.42	27	0.48	1.5	2.1	0.5
	Rice + Barley	4.9	0.45	36	0.43	1.4	2.0	0.6
	Sesbania	7.2	0.45	105	1.44	3.3	7.0	20.3
	S × S hybrid <sup>†</sup>	6.9	0.37	131	1.47	2.1	5.8	23.2
Low	Rice	5.0	0.49	24	0.50	1.5	2.1	0.4
	Rice + Barley	4.8	0.53	31	0.54	1.5	2.1	0.4
	Sesbania	6.5	0.49	60	0.68	1.7	2.8	2.5
	S × S hybrid <sup>†</sup>	6.8	0.41	53	0.77	1.6	2.4	0.7
<i>Source of variation</i> <sup>†</sup>								
Salinity (S)		**	***	***	***	***	***	***
Crops (C)		***	***	***	***	***	***	***
S × C		*	ns	**	***	***	***	***

<sup>†</sup>sorghum × sudangrass hybrid.

<sup>†</sup>ns, \*, \*\*, \*\*\*Nonsignificant or significant at 0.05, 0.01 and 0.001 probability, respectively.

## Conclusions

새만금간척지에서 토양 염농도가 다른 두 지점 (고염, 저염)에서 각각 벼, 보리, 세스바니아 및 수수 × 수단그라스 교잡종을 재배한 결과 유기물 환원에 의한 토양유기물은 고염 및 저염 지점에서 각각 연평균 0.5 및 0.8  $\text{g kg}^{-1}$ 씩 증가하였으며 벼 + 보리 재배구에서 고염과 저염구에서 각각 0.8 및 0.9  $\text{g kg}^{-1}$ 로 증가량이 가장 높았다. 토양 염농도는 고

염구에서 벼를 재배한 토양 EC가 급격히 감소하여 실험 3년 차에는  $0.7 \text{ dS m}^{-1}$ 까지 낮아졌으나 세스바니아와 수수 × 수단그라스 교잡종을 재배한 곳은 연차 간 지속적으로 증가하여 작물 생육이 불가능한 수준까지 상승하였다. 또한 저염구에서 벼 재배시 토양 EC는 시험 전 수준을 유지하였으나 세스바니아 재배구에서는 시험전  $0.4 \text{ dS m}^{-1}$ 에서 시험 3년 차에  $2.4 \text{ dS m}^{-1}$ 로 증가하였다. 토양 입단화도는 저염구가 20.4%로 고염 지구의 10.8%보다 2배정도 높은 값을 보여 토양 염농도가 토양 입단 형성에 미치는 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 재배작물에 따른 토양 입단화도는 벼 + 보리 재배구에서 고염 및 저염 평균 각각 17.9 및 29.8%로 가장 높은 값을 보였다. 작물 재배 후 표토에서 공극률과 용적 밀도는 재배 작물간의 유의적인 차이는 보이지 않았으며 토양 염농도에 따라 저염 지점에서 공극률 49%와 용적밀도  $1.35 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로 고염 지점에서 공극률 47%와 용적밀도  $1.42 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로 고염구에서 공극률은 감소하고 용적밀도는 증가하는 경향을 보여 토양물리성은 유기물 종류보다 토양 염농도에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다. 결과적으로 초기 토양 염농도가 높은 곳은 벼와 벼 + 보리 재배시 토양관리측면에서 유리하였으며 토양 염농도가 낮은 곳은 세스바니아를 재배하여 환원할 경우 토양유기물 증가량이 높았으나 토양 염농도가 다소 증가하는 현상을 보였다. 이상의 결과를 바탕으로 신간척지의 농지 범용화를 위해서는 토양 염농도에 따라 토지이용 형태를 결정하여 재염화를 경감하기 위한 답전유환 등의 적절한 토지이용 계획수립이 필요할 것으로 보인다. 또한 유기물 함량이 매우 낮은 신간척지의 토양개량을 위해서는 장기적인 유기물 투입으로 토양유기물 함량을 적정수준까지 높여야 할 것으로 판단된다.

## Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01192801)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

## References

- Bae, H.S., J.B. Hwang, H.S. Kim, B.I. Gu, I.B. Choi, T.S. Park, H.K. Park, S.H. Lee, Y.Y. Oh, S.H. Lee, and G.H. Lee. 2015. Effect of drip irrigation level on soil salinity and growth of broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) in Saemangeum reclaimed tidal land. *Protected Hort. Plant Factory*. 24(4):275-280.
- Cho, H.R., Y.S. Zhang, K.H. Han, H.J. Cho, J.H. Ryu, K.Y. Jung, K.R. Cho, A.S. Ro, S.J. Lim, S.C. Choi, J.I. Lee, W.K. Lee, B.K. Ahn, B.H. Kim, C.Y. Kim, J.H. Park, and S.H. Hyun. 2012. Soil physical properties of arable land by land use across the country. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):344-352.
- El-Shakweer, M.H.A., E.A. El-Sayad, and M.S.A. Ewees. 1998. Soil and plant analysis as a guide for interpretation of the improvement efficiency of organic conditioners added to different soils in Egypt. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 29:2067-2088.
- Hussein, K.A., J.H. Yoo, and J.H. Joo. 2016. Tolerance to salt stress by plant growth-promoting rhizobacteria on *Brassica rapa* var. Glabra. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):776-782.
- Hwang, S.W., J.G. Kang, K.D. Lee, K.B. Lee, K.H. Park, and D.Y. Chung. 2012. Division of soil properties in reclaimed land of the Mangyeong and Dongjin river basin and their agricultural engineering management. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(3):444-450.
- Kang, J.K., S.H. Lee, K.B. Lee, K.D. Lee, G.H. Gil, J.H. Ryu, K.H. Park, S.H. Lee, H.S. Bae, S.A. Hwang, S.W. Hwang, H.K. Kim, and G.H. Lee. 2014. Effect of cultivation and application of green manure crop on soil physico-chemical properties in Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean Soc. Int. Agric.* 26(1):54-61.

- Kim, Y.D., M.K. Choi, K.D. Lee, M.G. Baek, B.I. Ku, S.G. Kang, H.K. Park, and B.K. Kim. 2012. Growth and yield of rice in levels of nitrogen and water management of reclaimed saline soil in southwestern area. *Korean J. Crop Sci.* 57(3):203-208.
- Lee, K.B., J.G. Kang, K.D. Lee, SH Lee, S.A. Hwang, S.W. Hwang, and H.K. Kim. 2013. Soil characteristics of newly reclaimed tidal land and its changes by cultivation of green manure crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46(2):129-135.
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2016. Medium and long term development plan of upland food crop. <http://www.mafra.go.kr>
- National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Analysis method of soil and plant. 90-93. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- NICS (National Institute of Crop Science), 2010. Crop production technology in reclaimed tidal land. 49.
- NICS (National Institute of Crop Science), 2011. Utilization technology of green manure crop in reclaimed tidal land. 54.
- NICS (National Institute of Crop Science), 2013. Look in the reclaimed tidal land. 78.
- Park, C.Y., Y.T. Jeon, G.D. Park, Y.S. Cho, and W.G. Kang. 2003. Long-term effect of chemical fertilizer in alluvial paddy soil. *Soil Fert.* 15:29-44.
- Park, M.N., K.M. Yang, J.H. Ryu, T.M. Sa, and J.H. Choi. 2016. Microbial differentiation on chemical properties of paddy soils in reclaimed tidal lands at western-coast area of Korea, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(4):381-387.
- Ryu, J.H., J.G. Kang, Y.J. Kim, Y.Y. Oh, S.H. Lee, S.Kim, H.C. Hong, Y.D. Kim, and S.L. Kim. 2016. Effects of straw mulching on soil physicochemical properties in Saemangeum reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(1):12-16.
- Shin, W.S., A. Sddikee, M.M. Joe, A. Benson, K.Y. Kim, G. Selvakumar, Y.Y. Kang, S.Y. Jeon, S. Samaddar, P. Chatterjee, D. Walitang, M. Chanratana, and T.M. Sa. 2016. Halotolerant plant growth promoting bacteria mediated salinity stress smelioration in plants. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(4):355-367.
- Sohn, Y.M., G.Y. Jeon, J.D. Song, J.H. Lee, and M.E. Park. 2009. Effect of spatial soil salinity variation on the growth of soiling and forage crops seeded at the newly reclaimed tidal lands in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(3): 179-186.
- Son, J.G. and J.Y. Cho. 2009. Effect of organic material treatments on soil aggregate formation in reclaimed tidelands. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42(3):201-206.
- Yang, J.E., K.R. Yu, and C.J. Park. 2006. Soil acidity. *Soil Fert.* 25:3-22.
- Yeon, B.Y., H.K. Kwak, Y.S. Song, H.J. Jun, H.J. Cho, and C.H. Kim. 2007. Changes in rice yield and soil organic matter content under continued application of rice straw compost for 50 years in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40(6):454-459.
- Yoon, M.Y., D.S. Ha, S.H. Jeong, C.W. Lee, and B.H. Song. 2007. Rates and velocities of decomposition and mineral solubilization of hairy vetch and rye as green manure treated into paddy fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 171-172 (Abstr.).