

Effects of Straw Mulching on Soil Physicochemical Properties in Saemangeum Reclaimed Land

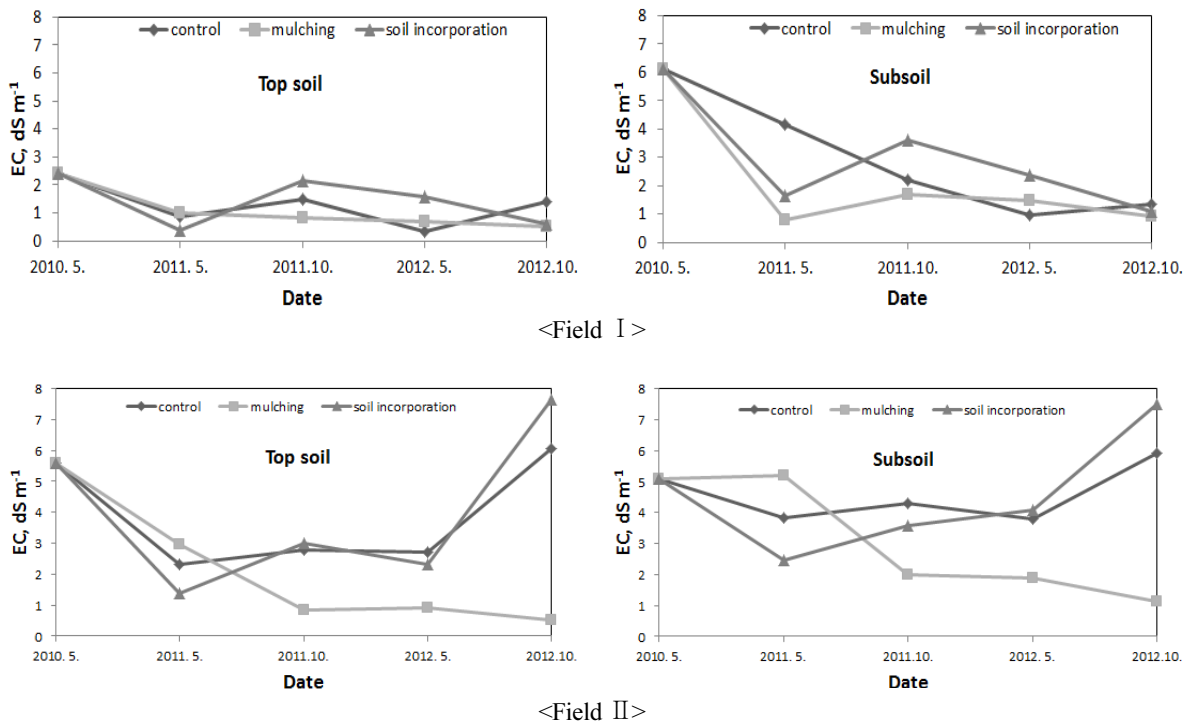
Jin-Hee Ryu*, Jong-Gook Kang, Young-Joo Kim, Yang-Yeol Oh, Su-Hwan Lee, Sun Kim, Ha-cheol Hong,
Young-doo Kim, and Sun-Lim Kim

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

(Received: October 22 2015, Revised: January 25 2016, Accepted: February 18 2016)

To identify the effects of straw mulching on soil physicochemical properties in reclaimed saline soil, field experiment was conducted for 3 years (2010~2012) in Saemangeum reclaimed land. Soil series of the experimental field was Munpo and soil texture was fine sandy loam. The experiment was conducted at a field with EC of 2.4 dS m^{-1} (field I) and the other field with EC of 5.6 dS m^{-1} (field II). Each experimental field was treated with rye straw incorporation, mulching with rye straw and control. In 2010 rye straw produced from other field was used for the experiment and in 2011~2012 rye straw cultivated at the same experimental field was used. After rye straw application, soybean was cultivated. After 3 years field experiment, by rye straw incorporation, soil salinity decreased from 2.4 dS m^{-1} to 0.6 dS m^{-1} at field I but increased from 5.6 dS m^{-1} to 7.6 dS m^{-1} at field II. By mulching with rye straw soil salinity decreased from 2.4 dS m^{-1} to 0.5 dS m^{-1} at field I and also decreased from 5.6 dS m^{-1} to 0.5 dS m^{-1} at field II. By rye straw incorporation and mulching soil organic matter increased from 2 g kg^{-1} to 4 g kg^{-1} . At field I yields of soybean were similar between rye straw incorporation and mulching but at field II yield of soybean increased apparently by mulching with rye straw compared to rye straw incorporation and control.

Key words: Reclaimed land, Rye straw, Mulching



Changes of soil EC as affected by methods of rye straw application at experimental fields.

*Corresponding author: Phone: +82632385315, Fax: +82632385305, E-mail: jin001kr@korea.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01025802)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

간척지 토양은 일반적으로 지하수위가 높고 수직배수가 불량하며, 높은 염농도를 가지고 있다. 토양 중 높은 염분 함량은 토양 물리성을 악화시키고 식물체에 생리적 기름 (physiological drought)을 일으키며 Na^+ 와 Cl^- 이온과 같은 특정 이온이 독성 효과를 나타내어 식물체를 손상시킨다. 따라서 간척지에서 작물재배를 위해서는 일정 수준까지 제염이 이루어져야 한다.

간척지 토양은 석고의 시용, 담수 및 환수처리, 암거배수 시설 등을 통하여 토양 염농도를 낮출 수 있으나 건조상태를 유지하게 되면 지하부로부터 수분의 모세관 상승과 동반하여 염류의 상승이 일어나 토양의 표면에 염분이 집적되게 된다. 이러한 이유에서 간척지에서의 작물재배는 밭작물보다 담수상태에서 재배하는 벼농사가 더 유리하다. 우리나라는 그동안 식량의 안정적 공급을 위한 농경지 확보를 위해 서남해안의 간척자원을 대상으로 간척사업을 추진하여 대부분 벼를 재배하여 왔다. 그러나 현재 우리나라의 쌀 소비는 감소 추세에 있는 반면 콩, 옥수수 등 밭작물은 수입에 크게 의존하고 있어 간척지에서 벼 재배보다 밭작물 재배가 더 중요한 상황이 되었다.

간척지토양에서 밭작물 재배를 위해서는 염류의 모세관 상승을 차단 또는 경감할 수 있는 염분상승 억제기술의 개발이 필요하다. 지금까지 간척지에서 염분상승 억제와 관련된 연구 내용은 간척지 밭작물 재배 시 관개용수량 추정, 모래 등 유무기 자재의 피복을 통하여 수분 증발을 억제하는 방법, 대공극 소재를 활용한 염분상승 억제방법 등이 있다 (Carter and Fanning, Lee et al., 2000; 1963; Kim et al., 1988; Jo et al., 1993; Koo et al., 1992; Patcharapreecha et al., 1990; Ryu et al., 2014; Tejedor et al., 2003; Sadegh-Zadeh et al., 2009; Sohn et al., 2010; Son et al., 1994). 하지만 이러한 기술들의 현장 적용을 위해서는 효율성이나 경제성 측면에서 아직 보완할 점이 많다.

본 연구에서는 내염성이 강하여 간척지에서 비교적 잘 자라고 토양의 EC 값을 낮추는데 효과가 있다고 알려진 호밀을 활용하여 (Lee et al., 2009) 호밀짚의 처리방법이 토

양 염농도와 콩 수량에 미치는 영향을 구명하고자 호밀짚을 토양환원 및 피복 처리하고 토양 화학성과 콩의 생육 및 수량을 조사하였다.

Materials and Methods

본 시험은 2010년부터 2012년까지 전북 부안군 새만금 제화지구에 위치한 간척지 시험포장에서 시험 전 토양의 염농도가 2.4 dS m^{-1} 인 시험포 (시험포 I)와 5.6 dS m^{-1} 인 시험포 (시험포 II)에서 수행되었다. Table 1에 시험토양의 이화학적 특성을 나타내었다. 시험토양은 미사질양토 (Silt loam)로 유기물, 유효인산 함량이 매우 낮고 치환성 Na와 K는 높은 반면, 치환성 Ca 함량은 낮은 특징을 가지고 있었다. 전기전도도 (Electric conductivity; EC)는 시험포 I에서 표토 2.4 dS m^{-1} , 심토 6.1 dS m^{-1} 을 나타내었고, 시험포 II에서 표토 5.6 dS m^{-1} , 심토 5.1 dS m^{-1} 을 나타내어 시험포 II 표토의 EC가 시험포 I 보다 약 2.3배 높았다. 시험처리는 호밀짚 토양환원, 토양피복 그리고 대조구 (호밀짚 무처리) 처리를 하였고 호밀짚 처리 후 콩을 재배하였다. 호밀짚은 2010년에는 타 포장에서 수확한 것을 건조로 7.0 ton ha^{-1} 을 처리하였고, 2011년과 2012년에는 전년도 10월 하순에 호밀을 파종하여 재배하고 시험재료로 활용하였는데 처리량은 Table 2와 같다. 호밀의 토양환원은 5월 하순에 하였고 피복처리는 콩 파종 후 실시하였다. 호밀의 파종은 240 kg ha^{-1} 을 산파하였고 시비량은 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 성분량으로 $150\text{-}100\text{-}100 \text{ kg ha}^{-1}$ 이었다. 콩 파종은 6월 상순에 파종간격 $60\times 15 \text{ cm}$ 로 점파하였고 시비는 $\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ 성분량으로 $60\text{-}80\text{-}60 \text{ kg ha}^{-1}$ 을 전량 기비로 사용하였다.

작물 수량 조사 및 분석 작물 생육 및 수량조사는 농업과학기술 연구조사 분석기준 (RDA, 2003)에 준하여 실시하였다. 호밀의 생체수량 조사는 1 m^2 의 식물체 지상부를 채취하여 생체중을 측정하였고 건물수량은 생초 1 kg 을 60°C 에서 60시간 건조한 후 무게를 측정하여 건물물을 구하고 생체수량에 건물률을 곱하여 구하였다. 식물체 분석시료는 채취한 식물체를 60°C 로 60시간 온풍건조기에서 건조한 후

Table 1. Soil chemical properties of experimental fields.

Experimental field	pH (1:5)	EC	OM [†]	Av.P ₂ O ₅	Ex. cations				
					K	Ca	Mg	Na	
		dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				
I	Top soil	7.8	2.4	2.2	18	0.68	0.5	1.6	3.3
	Subsoil	7.1	6.1	1.9	15	0.86	0.6	2.2	5.7
II	Top soil	7.3	5.6	2.0	33	0.80	0.6	1.9	4.8
	Subsoil	7.6	5.1	1.4	24	0.78	0.7	1.9	4.4

[†] Organic Matter.

Table 2. Tiller number and biomass of rye grown in experimental fields.

Experimental plots	years	Field I			Field II		
		No. of tiller No. m ⁻²	Fresh weight ----- ton ha ⁻¹ -----	Dry weight	No. of tiller No./m ²	Fresh weight ----- ton ha ⁻¹ -----	Dry weight
Rye straw mulching	2011	358	25.33	7.48	435	26.77	7.73
	2012	544	33.20	7.69	424	25.84	6.74
	Average	451	29.27	7.59	430	26.31	7.24
Rye straw soil incorporation	2011	334	21.00	6.74	358	19.47	5.58
	2012	443	27.04	7.50	276	16.80	5.04
	Average	389	24.02	7.12	317	18.14	5.31

60 mesh로 마쇄하여 무기성분 분석에 사용하였다. 식물체 성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 질소와 탄소는 원소분석기 (Vario Max CNS, elementar Analysensysteme GmbH, Germany)를 사용하여 분석하였고 인산 (P_2O_5)은 Vanadate 법, 양이온은 ICP (Varian Vista-MPX, Varian Inc., USA)로 분석하였다.

토양 분석 토양시료는 표토 (0~20 cm)와 심토 (20~40 cm)로 구분하여 콩 파종 전인 5월 하순과 콩 수확 후인 10월 중순에 채취하였으며 채취시료를 음건한 후 2 mm 체를 통과한 것을 화학성 분석에 사용하였다. 토양분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양 및 식물체분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 pH와 EC는 초자전극법, 유효인산 (Av. P_2O_5)은 Lancaster법으로 분석하였고 치환성양이온 (Ex. Ca, K, Mg, Na)은 1N-NH₄OAC (pH 7.0)으로 추출하여 ICP (Varian Vista-MPX, Varian Inc., USA)로 분석하였으며 총질소 (T-N)와 토양유기물 (OM)은 원소분석기 (Vario Max CNS, elementar Analysensysteme GmbH, Germany)를 사용하여 분석하였다.

Results and Discussion

호밀의 생육과 수량 토양피복 및 환원 처리를 위해 재배된 호밀의 생육 및 수량을 Table 2에 나타내었다. 호밀의 평균 건물수량은 시험포 I에서 토양피복구가 7.59 ton ha⁻¹, 토양환원구가 7.12 ton kg ha⁻¹이었고 시험포 II에서는 토양피복구가 7.24 ton ha⁻¹, 토양환원구가 5.31 ton ha⁻¹이었다. 전체적으로 볼 때 시험포 II의 토양환원구를 제외하고는 수량 차이가 크지 않았으며 호밀의 단위면적당 경수와 생체수량도 건물수량과 비슷한 경향을 나타내었다. 시험포 II의 토양환원구에서 호밀의 생육 및 수량이 다른 처리에 비해 다소 저조하였던 것은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 시험포 II 토양환원구의 EC가 다른 처리구에 비해 높게 유지되었기 때문으로 생각된다.

토양 화학성 변화 호밀짚 처리방법별 토양염농도의 경시적 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 시험포 I에서 토양 EC는 모든 처리에서 시험 전보다 감소하였는데 감소 정도는 토양피복 > 토양환원 > 대조구의 순으로 크게 감소하였다. 시험포장의 EC는 대체로 토양피복 처리구가 토양환원과 대조구 보다 변동의 폭이 적으면서 일정하게 낮은 경향을 나타내었다. 시험포 II에서는 대조구와 토양환원 처리에서 토양 EC가 큰 폭으로 변동하면서 높은 EC 수치를 나타낸 반면, 토양피복 처리에서는 EC가 지속적으로 감소하는 경향을 나타내면서 크게 감소하였다. 시험포 I과 II에서 시험 전과 후의 EC 변화를 종합하여 보면 호밀짚 토양피복 처리에 의하여 표토는 EC가 2.4~5.6 dS m⁻¹에서 0.50~0.53 dS m⁻¹로, 심토는 5.1~6.1 dS m⁻¹에서 0.91~1.12 dS m⁻¹로 크게 낮아진 결과를 나타내었다. 토양피복 처리에 의한 EC 감소는 시험포 I과 같이 토양 염농도가 비교적 낮은 간척지 토양보다는 시험포 II와 같이 토양 염농도가 높은 토양에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. 이는 호밀짚 피복처리가 토양의 지온을 낮추고 수분증발을 감소시켜 토양 중 염류의 모세관 상승을 경감시키기 때문으로 생각되며, 이와 같은 시험 결과는 파쇄목, 억새, 솔잎, 벚짚, 모래, 화산 테프라, 자갈 등을 이용한 다양한 피복처리가 토양수분의 증발량을 감소시키고 염분의 용탈을 촉진하여 토양 염농도를 크게 낮춘다는 다수의 연구결과와 일치하였다 (Fanning and Carter, 1962; Carter and Fanning, 1963; Kim et al., 1988; Kim et al., 1990; Patcharapreecha et al., 1990; Tejedor et al., 2003; Zhang et al., 2008; Sadegh-Zadeh et al., 2009).

시험 후 토양화학성을 Table 3에 나타내었다. 표토의 유기물 (OM) 함량은 시험 전 (Table 1)에 비해 모든 처리에서 증가하였는데 증가 정도는 시험포 I에서는 토양환원 > 피복 > 대조구 순이었고 시험포 II에서는 토양피복 > 토양환원 > 대조구 순이었다. 표토의 유기물 함량은 호밀을 사용하지 않고 콩만 재배하였을 경우 (대조구)에는 시험포 I과 II에서 모두 0.2 g kg⁻¹/년 증가하였고, 호밀짚 환원 후 콩을 재배하였을 때는 시험포 I에서 0.7 g kg⁻¹/년, 시험포 II에서는 0.5 g kg⁻¹/년이 증가하였으며 호밀짚 피복 후 콩

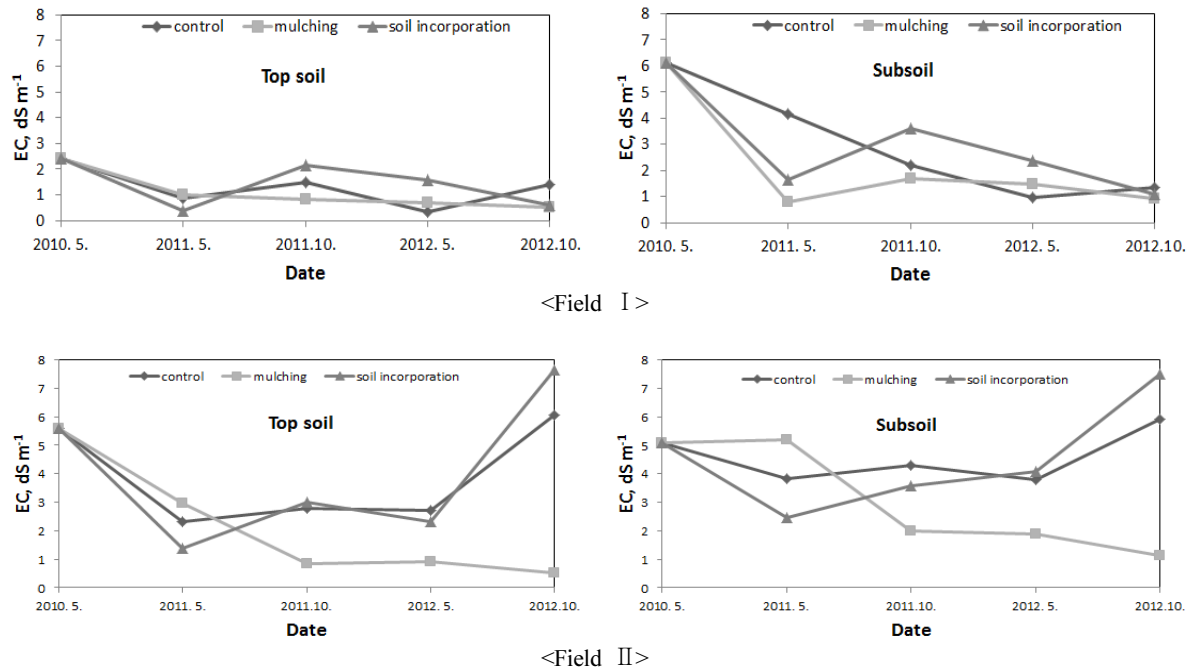


Fig. 1. Changes of soil EC as affected by methods of rye straw application at experimental fields.

Table 3. Soil chemical properties of experimental fields after experiment.

Experimental field	Treatment	pH (1:5)	EC	OM [†]	Av.P ₂ O ₅	Ex. cations				
						K	Ca	Mg	Na	
			dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmolc kg ⁻¹				
I	Control	7.0	1.39	2.9	52	0.74	1.1	2.2	1.7	
	Top soil	Mulching	7.5	0.50	4.1	92	0.83	1.2	2.2	0.9
	Soil incorporation	7.4	0.60	4.4	128	1.00	1.3	2.1	1.1	
	Control	7.4	1.36	1.9	22	0.78	0.8	2.2	2.3	
	Subsoil	Mulching	8.0	0.91	2.2	26	0.79	0.8	2.2	2.0
	Soil incorporation	7.6	1.10	1.9	28	0.79	0.9	2.2	1.7	
II	Control	6.9	6.06	2.7	41	1.05	1.2	2.5	5.1	
	Top soil	Mulching	7.9	0.53	3.9	148	0.86	1.3	2.2	1.0
	Soil incorporation	7.0	7.64	3.5	166	1.28	1.6	3.2	5.7	
	Control	7.0	5.92	2.1	24	0.94	1.6	2.6	4.9	
	Subsoil	Mulching	8.2	1.12	2.2	38	0.83	0.9	2.3	2.1
	Soil incorporation	6.9	7.49	2.1	31	1.06	1.3	3.0	5.9	

[†] Organic Matter.

을 재배하였을 경우에는 시험포 I 과 II 에서 모두 0.6 g kg⁻¹/년이 증가하였다. 이러한 토양유기물 증가속도는 여름철과 겨울철 모두 녹비작물을 재배하여 토양에 환원하였을 경우의 유기물 증가속도인 1.2 g kg⁻¹/년 (국립식량과학원, 2011) 대비 대조구는 17% (시험포 I , II), 토양환원은 58% (시험포 I)와 42% (시험포 II), 토양피복은 50% (시험포 I , II) 수준이었다. 유효인산과 치환성 K 함량은 모든 처리에서 시험 전에 비해 증가하였는데 이는 호밀과 콩을 재배할 때 화학비료를 사용하였기 때문으로 생각된다. 치환성 Ca와 Mg 함량은 시험 전과 후에 큰 차이가 없었으나 치환성 Na

함량은 EC의 변화와 유사하게 호밀짚 토양피복처리에서 가장 낮았는데 이는 또한 Fig. 1에서 보듯이 호밀짚 피복에 의해 토양 염농도가 낮게 유지되었기 때문으로 판단된다.

콩 수량 호밀짚 처리방법에 따른 2012년도 콩 수량을 Table 4에 나타내었다. 시험포 I 에서 콩 수량은 처리 간 차이를 나타내지 않았으며 84~92 kg 10a⁻¹의 종실수량을 나타내었는데 이러한 콩 수량은 일반농경지의 절반 수준에 불과하였다. 이는 시험포장이 새로 조성된 간척지 토양이어서 토양비옥도가 매우 낮았기 때문으로 Sohn et al. (2010)이 새만

Table 4. Seed yield and dry weight of soybean as affected by methods of rye straw application in 2012.

Treatment	Field I		Field II	
	Dry weight	Soybean yield	Dry weight	Soybean yield
	----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----	
Control	1,970	870a [†]	100	30b
Mulching	1,810	920a	1,590	710a
Soil incorporation	1,450	840a	0	0b

[†] Means separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

금간척지에서 얻은 19~90 kg 10a⁻¹의 콩 종실수량과 비슷하였다. 시험포 II에서 콩 종실수량은 토양환원 처리와 대조구에서 0~3 kg 10a⁻¹로 극히 낮은 반면, 토양피복 처리에서는 71 kg 10a⁻¹로 크게 증가하였다. 이와 같이 토양피복 처리에서 콩의 생육 및 수량이 가장 좋았던 것은 Fig. 1에서 보듯이 호밀짚 토양피복 처리에 의하여 토양 염농도가 지속적으로 낮아졌기 때문으로 생각된다. 이와 같은 결과는 간척지에서 모래를 피복하고 작물을 재배하면 토양의 염농도가 저하되고 수수의 건물수량이 증대되며, 목초의 염면적, 건물중이 증대된다는 Kim et al. (1988)과 Kim et al. (1990)의 연구결과와 경향이 같았다. 시험결과, 간척지에서 밭작물 재배 시 호밀짚과 같은 유기자재의 피복방법은 토양의 지온을 낮추고 토양수분의 증발과 염류의 모세관 상승을 억제하여 토양의 제염 및 작물 생산성을 높이는데 유용할 것으로 판단되었다.

References

- Carter, D.L., and C.D. Fanning. 1963. Combining Surface mulches and periodic water applications for reclaiming saline soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 28:564-567.
- Cho, Y.K., I.S. Jo, and K.T. Um. 1992. Effects of decreasing methods of salt content in root zone on soil properties and crop growth at the reclaimed tidal soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 25:127-132.
- Fanning, C.D., and D.L. Carter. 1962. The effectiveness of a cotton bur mulch and a ridge-furrow system in reclaiming saline soils by rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 27:703-706.
- Jo, I.S., Y.K. Jo, and K.T. Um. 1993. Red earth addition and sand mulching at the newly reclaimed tidal soil and plant growth. *RDA. J. Agri. Sci.* 35: 270-275.
- Kim, J.G., M.S. Han, S.B. Lee, and H.J. Han. 1988. Effects of sand mulching on forage production in newly reclaimed tidal lands. I. Desalination of the soils and crop performance. *J. Korean Grassl. Sci.* 8:55-60.
- Kim, J.G., and M.S. Han. 1990. Effects of sand mulching on forage production in newly reclaimed tidal lands. II. Studies on growth, dry matter accumulation and nutrient quality of selected forage crops grown on saline soils. *J. Korean Grassl. Sci.* 10:77-83.
- Koo, J.W., K.W. Han, J.G. Son, and D.W. Lee. 1992. Determining irrigation requirements and water management practices for normal growth of dry field crops in reclaimed tideland. *Korean J. Environ. Agric.* 34:80-96.
- Lee, S.B., C.H. Lee, C.O. Hong, S.Y. Kim, Y.B. Lee, and P.J. Kim. 2009. Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. *Korean J. Environ. Agric.* 28:397-402.
- Lee, S.H., S.H. Yoo, S.I. Seol, Y.S. Jung, and S.M. Lee. 2000. Assesment of salt damage for upland-crops in Dae-Ho reclaimed land. *Korean J. Environ. Agric.* 19:358-363.
- NIAS (National institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Methods of analysis of soil and plant, NIAS, Suwon, Korea.
- NICS (National Institute of Crop Science). 2011. Green manure technology in reclaimed land. NICS, Korea.
- Patcharapreecha, P., B. Topark-Ngarm, I. Goto, and M. Kimura. 1990. Studies on saline soils in Khon Kaen region, northeast Thailand. III. Effects of amelioration treatments on physical and chemical properties of the saline soil. *Soil Sci Plant Nutr.* 36:363-374.
- RDA (Rural Development Administration). 2003. Standard methods of analysis and survey for agricultural research. Suwon, Korea.
- Ryu, J.H., D.Y. Chung, S.K. Ha, S.B. Lee, S.J. Kim, M.T. Kim, K.D. Park, and H.W. Kang. 2014. Capillary characteristics of water and cations in multi-layered reclaimed soil with macroporous subsurface layer utilizing coal bottom ash. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:406-411.
- Sadegh-Zadeh, F., B.J. Seh-Bardan, A.W. Samsuri, A. Mohammadi, M. Chorom, and G. Yazdani. 2009. Saline soil reclamation by means of layered mulch. *Arid Land Res. Manag.* 23:127-136.
- Son, J.G., J.W. Koo, and J.K. Choi. 1994. Soil salt prediction modeling for the estimation of irrigation water requirements for dry field crops in reclaimed tidelands. *J. Korean Soc. Agri. Eng.* 36:96-110.
- Sohn, Y.M., J.D. Song, G.Y. Jeon, D.H. Kim, and M.E. Park. 2010. Effect of soil salinity and culturing condition on the maintenance of ridge and the growth of upland crops in the Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:529-539.
- Tejedor, M., C.C. Jiménez, and F. Díaz. 2003. Use of volcanic mulch to rehabilitate saline-sodic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:1856-1861.
- Zhang, Q.T., M. Inoue, K. Inosako, M. Irshad, K. Kondo, G.Y. Qiu, and S.P. Wang. 2008. Ameliorative effect of mulching on water use efficiency of Swiss chard and salt accumulation under saline irrigation. *J. Food Agric. Environ.* 6:480-485.