

Effect of Rice Straw Application on Yield of Whole Crop Barley and Change in Soil Properties under Upland Condition in Saemangeum Reclaimed Tidal Land

Su-hwan Lee*, Pyeong Shin, Hui-su Bae, Jang-Hee Lee, Yang-Yeol Oh, Sang-Hun Lee, Tae-Hwan Rho, Beom-Heon Song¹, Jae-Yeong Cho², Kyoung-Bo Lee, Keon-Hui Lee, and Ki-Hoon Park

National Institute of Crop Science, RDA, Iksan, Jeonbuk 570-080, Korea

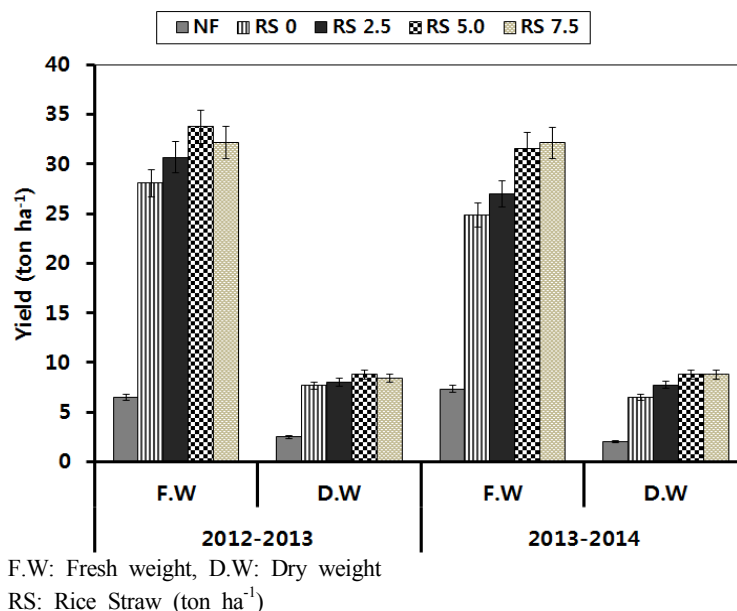
¹Department of Plant resources, Chonbuk National University, Cheong Ju, Chungbuk 362-763, Korea

²Department of Bio-environmental chemistry, Jeonbuk National University, Jeon Ju, Jeonbuk, 561-756 Korea

(Received: November 4 2014, Revised: December 19 2014, Accepted: December 19 2014)

Newly reclaimed tidal land is known to be in low status of soil fertility. The incorporation of crop residue is an effective method to improve soil properties and fertility in reclaimed saline soils. The objective of this study was to evaluate the efficiency of rice straw (RS) application to improve physico-chemical properties of saline-sodic soil and its contribution to productivity of whole crop barley. Increasing rate of rice straw improved growth parameter related to yield of whole crop barley, which increased tiller number significantly ($p < 0.05$). The yield increased by 15% (F.W) and 9% (D.W) in rice straw-amended plots. The content of soil organic matter (SOM) in the surface soil (0-20cm) with rice straw incorporation increased by 5~9% (RS 2.5~RS 7.5) compared to RS 0, in which the content of SOM decreased after two consecutive cultivations. Rice straw incorporation promoted soil physico-chemical properties and nutrient-availability of the test crop, as indicated in change in soil bulk density, porosity and increased nutrient uptake of plant. Especially, the P content and uptake of whole crop barley increased with increasing the rate of rice straw application. In conclusion, the rice straw application at rates of 5.0-7.5 $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ in reclaimed saline soils effectively improved soil properties and crop productivity, which has potentials to reduce the loss of chemical fertilizers and facilitate the favorable condition for crop growth under adverse soil condition.

Key words: Reclaimed saline soil, Rice straw, Soil organic matter, Nitrogen, Phosphorus



Effect of rice straw application on fresh and dry weight yield of whole crop barley in Saemangeum reclaimed land.

*Corresponding author : Phone: +82638402280, Fax: +82638402118, E-mail: suhlee@korea.kr

[§]Acknowledgement: This study was carried out with support by National Institute of Crop Science research project (PJ: 008693), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

우리나라 간척지 면적은 135,000 ha로 우리나라 논 면적의 약 14%를 차지하고 있다. 이 가운데 90,000 ha가 준공 후 분양완료 되었고, 현재 45,000 ha가 조성사업중이다. 최근 도시화, 산업화의 급증으로 국내 농경지는 감소추세이며, 이에 대응하여 식량안정수급을 피할 수 있는 우량농지 개발 및 보전이 필요하다. 간척지는 벼 재배를 목적으로 조성되었기 때문에, 벼에 대한 연구는 내염성 품종 선발 및 개발, 적정시비 등 많은 연구가 발표되었다 (Lee et al., 1999; Ahn et al., 2004; Choi et al., 2005). 그러나 최근 국민 1인당 쌀 소비량이 67 kg으로 감소하고, 늘어만 가는 쌀의 재고량으로 인해 간척지의 벼 생산기반은 축소가 불가피한 실정이다 (KOSIS, 2014). 이에 따라 간척지 범용화를 위해 발작물 재배기술 확립 및 안정생산기반을 위한 연구가 시급한 실정이다. 간척지 (Reclaimed land)는 특수토양의 범주에 포함되며, 염류농도와 지하수위가 높으며, 토양구조의 미발달로 인해 투수성과 통기성이 불리하며, 토양유기물 함량이 낮아 작물이 생육하기에는 조건 불리 토양이고, 간척지 염분 중 비율이 높은 Na^+ 이온으로 인해 염해우려가 가능성이 크고, 생육시기별, 토양특성별로 다양한 염농도 변이를 나타내고 있다 (Hwang et al., 2012). 간척지 발작물 연구결과를 살펴보면 발작물 도입가능성 검토의 일환으로 사료작물 내염성 및 맥종별 생산성 평가 (Lee et al., 2000; Shin et al., 2005; Baek et al., 2012) 등이 추진되었고, 최근에는 간척지재배 발작물 다수확을 위한 제염 및 양분공급 연구가 추진되고 있다 (Sohn et al., 2010; Yang et al., 2012). 그러나 간척지와 같은 염류토양은 토양물리적 특성에 대한 체계적인 개량대책 마련이 필요하며 이를 해결하기 위한 방안으로 유기자원을 활용한 연구가 강화되어야 한다고 판단된다. 퇴비, 작물잔사와 같은 유기자원의 토양투입은 토양 비옥도 및 생산성 향상을 위한 유익한 방법이다 (Wild et al., 1998). 특히 주변에서 손쉽게 구할 수 있는 볏짚과 같은 유기자원은 훌륭한 토양개량용 유기자원으로 추천할 수 있다. 볏짚은 토양입단증가, 용적밀도 감소, 수분보유력 증가, 토양의 수리전도도와 투수성 증대 등 토양의 물리적 특성개량 효과가 우수하고 (Kushwaha et al., 2001; Bulluck et al., 2002), 볏짚의 높은 탄소함량은 토양유기물 함량 증대에 기여도가 높으며 (Yang et al., 2010), 환원된 볏짚은 작물의 질소이용을 개선 효과를 통하여 양분용탈을 경감할 수 있고 (Lee et al., 1997), 볏짚시용은 토양 중 질소고정에 관여하는 미생물의 활동을 왕성하게 하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다 (Yu et al., 1983). 또한 Park et al. (2007)은 볏짚 또는 보릿짚 시용 답리작 보리 재배시의 짚을 건어낸 시험구보다 짚을 환원한 시험구에서 경수와 종실수량이 증대하였다고 보고하였다. 최근에는 논 이외에 노지밭토양, 시

설재배지에서 볏짚을 활용한 다양한 토양개량 효과구명 연구가 추진되었다. Lim et al. (2011)은 시설재배지 토마토 재배시 볏짚+유박혼용에 따른 토양물리성 개선 및 볏짚부식에 의한 토양질 개선 효과를 구명하였다. 최근 정부는 조사료 해외수입 의존도 경감을 위해 국내 양질조사료 생산면적 확대를 위해 겨울철 논 및 간척지 등 유휴농지 활용을 적극 장려하고 있다 (MAFRA 2013). 새만금간척지와 같은 신간척지는 기존 간척지와 달리 발작물 생산을 목적으로 개발되고 활용될 계획이다. 이와 함께 간척지는 환경보전을 위한 최적영농기술 개발이 필요하다. 간척지 볏짚활용 선행연구에서 Lee et al. (2013)은 간척지 청보리재배시 토양염농도별 볏짚시용 및 질소시비 효과 연구에서 청보리 생산성 증대효과가 질소시비보다 볏짚투입 영향이 크다고 보고하였다. 볏짚은 토양개량 목적과 재배조건에 따라 적정 시용수준을 결정해야 한다. 국내 논토양에서 볏짚환원량은 5.0 ton ha^{-1} 내외를 추천하고 있다 (Hur et al., 1981). 그러나 이는 벼 재배후 전량 현장환원 (on the spot incorporation)이 가능한 논조건에서 실천되는 사항이다. 향후 조성 및 이용될 간척지에 토양지력 증진을 위해 볏짚 등의 유기자원의 외부 투입은 불가피할 것이며, 적정 기준을 넘어서는 시용은 자원의 비효율적 이용은 물론이고, 작물의 생육 이상 등을 초래하여 생산성 저하 등의 문제를 유발할 가능성이 있다. 따라서 본 연구는 새만금간척지에서 청보리 재배시 볏짚시용 수준에 따른 청보리 생육, 수량과 식물체의 양분흡수 양상 및 토양이화학성을 조사하였으며, 이를 토대로 신간척지에서 발작물 재배시 투입되는 볏짚의 적정시용량 설정 및 시용효과를 구명하기 위하여 수행하였다.

Materials and methods

본 연구는 신간척지에서 청보리 재배시 적정볏짚시용 기준 설정 및 볏짚투입효과를 구명하기 위하여 새만금간척지 계획지구에 2008년도에 조성된 농촌진흥청 국립식량과학원 벼맥류부 간척지시험연구포장에서 2012년 10월부터 2014년 6월까지 3년 동안 수행하였다. Table 1은 시험전 토양의 이화학성을 나타낸 것이다. 시험토양은 문포통인 사양토로서 시험전 토양의 pH는 7.4로서 알칼리성을 나타내었고, 토양 EC는 1.4 dS m^{-1} , 토양유기물 함량은 3.1 g kg^{-1} , 유효인산 27 mg kg^{-1} 으로 매우 낮았고, 치환성 마그네슘과 나트륨 함량은 높았다 토양의 용적밀도는 1.42 g cm^{-3} , 공극률은 46.4%이었다. Table 2는 시험에 사용된 볏짚의 화학적 성분량을 나타낸 것이다. 볏짚은 당해 연도에 수확한 볏짚을 세절하여 ha당 2.5, 5.0, 7.5 $\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ 을 (RS 2.5, RS 5.0, RS 7.5) 시용하였고 볏짚무시용구 (RS 0)는 화학비료만 사용한 것과 무비구 (NF)를 두어 총 5 처리를 두었다. 시험작물인 청보리의 공시품종은 영양을 재배하였다. 청보리의 파종량은 220

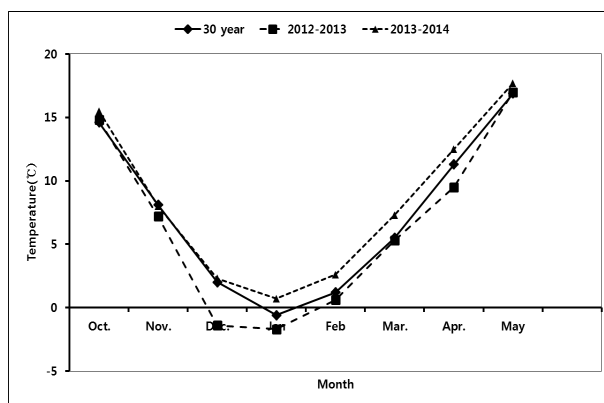
Table 1. Soil chemical properties of study soil in the experiment.

Year	pH	EC [‡]	OM [‡]	Av. P ₂ O ₅	TN	Ex cation (cmol _c kg ⁻¹)			
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	g kg ⁻¹	K	Ca	Mg	Na
2012	7.4	1.4	3.1	27	0.03	1.08	0.9	2.4	1.2
2013	8.1	0.3	3.2	21	0.04	1.21	1.0	2.2	1.2

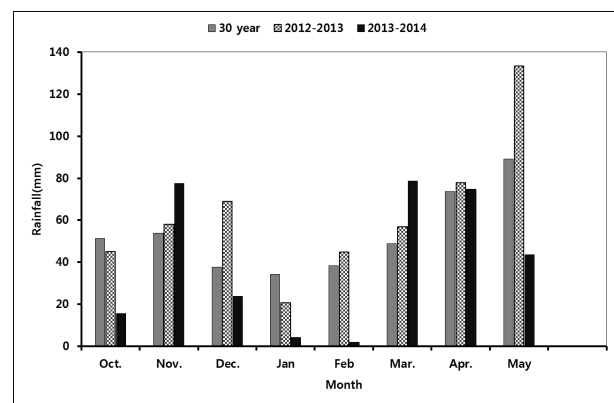
[‡]T-N: Total Nitrogen, [†]EC: Electrical Conductivity, [‡]OM: Organic matter

Table 2. Chemical composition of rice straw used in the experiment (2-year mean).

T-C	T-N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
----- % -----							
37	0.68	57	0.2	1.86	0.6	0.3	0.1



(a) Temperature



(b) Rainfall

Fig. 1. Meteorological variation in whole crop barley cultivation during two growing season in Saemangeum reclaimed land.

kg ha⁻¹를 2012년에는 10월 21일, 2013년에는 10월 25일에 산파하였다. 시험구 면적은 25 m²이었으며, 화학비료시비는 청보리 표준재배법에 기준하여 질소 (요소)-인산 (용성인비)-칼리 (염화加里)를 150-100-100 kg ha⁻¹ 수준으로. 질소는 시비량의 50%를 기비로, 추비는 월동 후 이듬해 재생기에 나머지 50%를 처리하였으며, 인산과 칼리는 전량 기비 처리하였다. 시험구는 난괴법 3반복으로 배치하였다.

토양과 식물체 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법에 준하여 실시하였다 (NIAST, 2000)에 준하여 실시하였다. 토양화학성 분석은 시험전과 수확기에 작토층을 채취하여 건조 조제한 후 pH는 토양과 증류수를 1:5로 하여 pH meter (Orion 520A, Boston, USA)로 측정하였고, 토양유기물은 Tyurin법, 유효인산함량은 Lancaster법에 의한 비색법 (UV-1650PC, Shimadzu Co., Japan)으로 측정하였다. 치환성양이온은 1N-NH₄OAc (pH 7.0)으로 침출하여 ICP-OES (Varian Vistar-MPX, USA)로 측정하였다. 토양용적밀도와 공극을 계산은 100 cc 코어를 활용하여 core법으로 측정하였다. 식물체 분석은 수확기에 식물체 시료를 채취하여 70°C에서 건조 후 분쇄하여 습식분해한 후 분해액을 여지에 여과한 후에 여액은 ICP-OES (Varian Vistar-MPX, USA)로 치환성 K, Ca, Mg, Na를 정량분석하였고, 질소는 C/N분석기 (Elementar Analysen Systeme,

US/VarioMax CNS)를 활용하여 T-N을 구하였으며, 인산은 Ammonium vanadate법으로 비색분석 (UV-1650PC, Shimadzu Co, Japan)하였다. 생초수량은 4 m²을 예취하여 ha 당 수량으로 환산하였으며, 건물수량은 각 처리구별로 1 kg 생초를 취하여 열풍순환 건조기에서 72시간 이상 건조 후 건물함량을 산출하였고, ha 당 수량으로 환산하였다. 생육 및 수량조사 등은 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사 분석기준 (RDA 2012)에 준하여 실시하였다. 양분흡수량은 분석된 식물체의 질소, 인산, 칼리 등의 함량에 건물중을 곱하여 환산하였으며, 질소이용율 (%)은 [처리구 질소흡수량 (kg ha⁻¹)-무비구 질소흡수량 (kg ha⁻¹)]/ 화학비료 질소투입량 (kg ha⁻¹) × 100으로 계산하였다.

통계분석은 SAS 9.2 버전을 이용하여 ANOVA 분석하였고, 작물별 수량 및 수량구성요소 등은 5% 유의 수준에서 Duncan's multiple range test를 이용하여 검정하였다.

Results and Discussion

기상현황 Fig. 1은 청보리 재배기간인 2012~2014년 동안의 월평균 강우량과 기온을 나타낸 것이다. 1년차 (2012~2013년) 월동기 평균 기온은 평년보다 약 2~3°C 낮는데 반

해, 2년차 (2013~2014년)에는 평년보다 1~2°C 높게 경과하였다. 생육재생기와 신장기인 3~4월에 평균기온은 1년차에는 평년과 비슷한 수준이었으나, 2년차에는 1년차와 평년보다 높았다. 강우량은 파종시기인 10월의 강우량은 1년 차에서는 평년과 비슷한 수준이었으나, 2년 차에는 적었으며, 특히 월동시기의 강우량은 2년차에는 평년보다 매우 적었다. 재생기 (3월초) 강우량은 평년보다 낮았으며, 5월 출수기와 수확기에는 평년보다 강우량이 많았으며, 전체 누적강우량은 1년차에는 467 mm, 2년차에는 289 mm이었다.

청보리 생육 및 수량 Table 3은 벧짚사용에 따른 청보리 생육 및 수량을 나타낸 것이다. 초장은 1, 2년차 모두 무비구에서 가장 작았으며, 벧짚사용 및 화학비료 시비구에서는 91~98 cm로 벧짚사용 유무에 따른 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 경수는 1년차와 2년차 모두 무비구에서는 267개 m⁻²와 287개 m⁻²로 가장 적었다. 화학비료만 사용한 벧짚무시용구 (RS0)에서는 1년 차와 2년 차 각각 473개·m⁻², 489개·m⁻²였는데 반해 벧짚투입시 1년차에는 541~562개

m⁻², 2년차에는 513~570개 m⁻² 약 5~19% 증가하였으며, 벧짚사용시 무시용구에 비하여 유의적으로 증가하였다. 그러나 벧짚처리간 비교시에는 통계적인 유의성은 없었으나, 벧짚사용 수준이 높아질수록 경수는 증가하는 경향이였다. 처리에 따른 생초수량 (Fresh wight, F.W)과 건물수량 (Dry weight, D.W)비교에서 무비구에서 1년 차에 FW 6.5 ton·ha⁻¹, D.W 2.5 ton ha⁻¹, 2년 차에 F.W 7.3 ton ha⁻¹, D.W 2.1 ton ha⁻¹로 가장 적었다. 벧짚무시용구에서는 1년 차에는 F.W 28.1 ton ha⁻¹, D.W 7.7 ton·ha⁻¹, 2년 차에는 F.W 24.9 ton·ha⁻¹, D.W 6.5 ton·ha⁻¹이었으나 벧짚투입시 1년 차에는 F.W 28.1~33.8 ton·ha⁻¹, D.W 7.9~8.8 ton·ha⁻¹ 2년 차에는 F.W 27.0~32.1 ton·ha⁻¹, D.W 7.8~8.8 ton·ha⁻¹로 각각 F.W는 9~28%, D.W 2~9% 증가하였다. Kwon et al. (2010)은 사료용 맥류의 건물수량에 대한 식물체 부위별 기여도에서 수확기 이삭>줄기>잎의 건물중 순서로 전체건물수량에 영향을 미치므로, 조사료 수량증대를 위해서는 월동 이후 유효분얼을 최대로 확보하는 유리하다고 하였고, Park et al. (2007)은 답리작 보리재배시 벧짚환원이 벧짚제거에 비하여 유효분

Table 3. Effect of rice straw application on growth characteristics and productivity of whole crop barley for the 2-year cultivation.

Treat. (ton ha ⁻¹)	2012~2013 (1 st year)					2013~2014 (2 nd year)				
	Heading date	Plant height cm	No of Tiller ea m ⁻²	Yield (ton ha ⁻¹)		Heading date	Plant height cm	No of Tiller ea m ⁻²	Yield (ton ha ⁻¹)	
				F.W ^o	D.W				Fresh	Dry
NF ^j	5.7	47a*	267a	6.5c	2.5c	4.17	62a	287a	7.3d	2.1d
RS ^k 0	5.1	91b	473b	28.1b	7.7b	4.15	94b	489b	24.9c	6.5c
RS 2.5	5.1	95b	541c	30.7ab	7.9b	4.15	91b	513c	27.0b	7.8b
RS 5.0	5.1	91b	552c	33.8a	8.8a	4.15	92b	569d	31.5a	8.7a
RS 7.5	5.1	98b	562c	32.2a	8.4a	4.15	93b	570d	32.1a	8.8a

^oF.W: Fresh weight, D.W: Dry weight, ^jNF : Non-Fertilization, ^kRS : Rice Straw application

*Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test, *p*<0.05)

Table 4. Effect of rice straw application on soil chemical properties at whole crop barley field after harvest for the 2-year cultivation.

Treat. (ton ha ⁻¹)	Year	pH 1:5	EC [†] dS m ⁻¹	OM [‡] g kg ⁻¹	Av. P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	TN [§] g kg ⁻¹	Ex cation (cmol _c kg ⁻¹)				Bulk density g cm ⁻³	Porosity %
							K	Ca	Mg	Na		
NF ^j	2013	8.0a*	0.2a	3.0a	31a	0.03a	0.64a	0.9a	2.0a	1.3a	1.47a	44.5a
	2014	7.1A	0.3A	2.5A	33A	0.15A	0.64A	1.0A	2.3A	1.3A	1.41A	46.7A
RS ^k 0	2013	7.5b	0.3a	3.0a	49b	0.05a	0.54a	1.1b	2.2a	1.3a	1.46a	44.9a
	2014	6.6B	0.3A	2.7A	47B	0.20B	0.63A	1.4B	2.9B	1.2A	1.34B	49.5B
RS 2.5	2013	7.8b	0.3a	4.0b	61c	0.05a	0.62a	1.2b	2.2a	1.5a	1.39b	47.4b
	2014	6.6B	0.3A	3.4B	58C	0.23C	0.63A	1.5B	2.9B	0.6B	1.25C	52.7C
RS 5.0	2013	7.6b	0.3a	4.1b	64c	0.05a	0.64a	1.2b	2.2a	1.0b	1.41b	46.8b
	2014	6.5B	0.3A	3.8B	34D	0.23C	0.60A	1.6B	3.1B	0.8B	1.24C	52.9C
RS 7.5	2013	7.7b	0.2a	4.3b	55bc	0.06a	0.63a	1.2b	2.2a	0.9b	1.40b	47.3b
	2014	6.5B	0.3A	3.9B	33D	0.23C	0.64A	1.6B	3.0B	0.8B	1.24C	53.2C

^jNF : Non-Fertilization, ^kRS : Rice Straw application, [§]T-N: Total Nitrogen, [†]EC: Electrical Conductivity, [‡]OM: Organic matter

*Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test, *p*<0.05)

얼이 증가하여 경수 증가와 더불어 종실수량도 증가하였다고 하여 본 결과와 유사하였다. 분얼 (Tillering)은 척박한 토양에서는 적어지고 비옥한 토양에서는 증가한다 (Shin et al. 1996). Kim et al. (1984) 등은 시용된 질소가 벧짚유기물에 결합되어 있어, 유기물 분해와 함께 무기화되어 식물에 흡수 이용됨으로서 질소이용효율 향상과 수량증대 효과가 있다고 보고하였다.

벧짚시용에 따른 토양이화학적 변화 Table 4는 벧짚시용에 따른 토양이화학적 변화를 나타낸 것이다. 토양 pH는 1년차에는 청보리 파종 전에 비하여 높아졌으나, 2년차에는 감소하였다. 1년차 수확기 토양 pH가 시험 전 보다 높아진 이유는 물빠짐이 불량한 간척지 토양에 잦은 강우로 인하여 과습, 토양다짐, 토양통기불량으로 인해 혐기상태가 유발되어 토양질소의 암모니아화 (ammonification), 토양산화환원전위 감소 등으로 pH가 증가된 것으로 사료된다. 1년차에 비하여 상대적으로 강우량이 적었던 2년차에는, 무비구를 제외하고 벧짚시용유무에 관계없이 토양pH가 감소하는 경향이였다. Rui Zhang et al. (2002)은 토양수분증가 및 공극률감소는 토양혐기상태를 초래하고, 이에 따라 낮은 질소무기화, 토양전질소함량 감소 및 암모니아태 질소의 증가를 초래하여 토양pH가 증가한다고 보고하였다. 이는 간척지 토양pH 변화에 토양수분, 통기성 등 토양물리적 특성이 미치는 영향이 크다는 것을 의미한다.

토양EC는 1,2년 차 모두 파종 당년보다 낮아졌다. Shin et al. (2005)은 간척지 토양의 염류는 포장의 기온과 강수량 등에 영향을 받는데 봄철강우와 작목의 피복률 증가에 따라 낮아진다고 하였다. 본 연구에서는 벧짚시용에 의한 청보리 피복률 증가와 치환성 염기의 용탈 그리고 강우 등의 다양한 요인이 제염과 재염화 역제에 영향을 준 것으로 판단된다. 토양유기물 함량은 벧짚투입에 따라 증가하는 경향이였다. 무비구와 벧짚무시용구는 1년차에는 파종전과 차이가 없었지만, 2년차에는 토양유기물 함량이 감소하는 전년보다 감소하는 양상이였다. 벧짚시용구에서는 벧짚 7.5 ton ha⁻¹ 투입시 1년차와 2년차 모두 토양유기물 함량이 가장 높았지만, 1년차에 비해 2년차에는 유기물함량이 감소하였다. 1년차 벧짚투입시 토양유기물이 증가한 이유는 생육 기간 평균기온이 평년보다 낮았고, 잦은 강우로 인한 토양의 다짐현상으로 공극률이 낮아져 벧짚분해가 지연되어 부속되지 못하고 토양에 축적된 벧짚의 양이 다소 많았을 것이라 사료되며, 2년차에는 평년과 1년차에 비해 평균기온도 높았고, 강우량도 적어 토양다짐현상이 덜하였고 공극률이 증가하여 벧짚의 분해가 전년보다 용이하여 탄소의 무기화가 빠르게 진행되었을 것이라 판단된다. Jorhan et al. (1999)는 토양다짐현상 (soil compaction)은 토양 용적밀도 증가, 탄소의 무기화 감소, 근권의 양수분흡수 감소 및 탈질현상

(denitrification)을 유발한다고 보고하였다. T-N은 1년차에는 시험전 수준으로 낮은 상태였으나, 2년차에는 시험전과 1년차 토양질소에 비하여 크게 증가하였다. 3월 재생기부터 수확기까지 누적강우량은 1년차에서는 265 mm이었고 2년차에서는 185 mm이었다 특히 1년차 잦은 집중 강우는 토양 질소의 용탈, 탈질현상 등의 질소 손실을 촉진하였을 것으로 판단된다. 여러 선행연구에서도 토양용적밀도와 토양수분함량 증가는 질소손실을 유발한다는 결과 본 시험의 결과와 유사하였다 (Pal and Broadbent, 1974; Torbert et al., 1992; Zhang and Wienhold, 2002). 유효인산은 무비구를 제외하고 시험 전에 비하여 증가하였다. 벧짚투입에 따른 뚜렷한 변화는 나타나지 않았다. 치환성 K, Mg 등은 시험전과 비교하였을 때 변화가 없었다. 치환성 Ca는 무비구에 비하여 벧짚시용에 관계없이 시험 전에 비하여 증가하였다. 시험전 용적밀도는 1.42 g cm⁻³ 공극률은 46.4%이었는데, 1년차 수확기 무비구의 용적밀도와 공극률은 1.47 g cm⁻³, 44.5% 벧짚무시용구는 1.41 g cm⁻³, 46.7%이었으며, 벧짚시용시 1.39~1.41 g cm⁻³, 44.9~47.4%로 시험전과 큰 차이가 없었다. 2년차 수확기에는 무비구의 용적밀도는 1.41 g cm⁻³, 46.7%이었고 벧짚무시용구는 1.34 g cm⁻³로 시험 전보다 감소하였고, 벧짚시용시 1.24~1.25 g cm⁻³로 용적밀도가 12% 가량 감소하였다. 1년차에는 용적밀도와 공극률의 변화가 청보리 파종전에 비해 큰 차이가 없었는데 이는 수확기 강우에 의한 토양다짐에 기인한 것으로 판단된다. 2년차에는 벧짚을 사용한 벧짚처리구내에서 벧짚시용량이 증가에 따라서 토양의 용적밀도가 낮아지고, 공극률이 증가하는 경향을 나타내었다. Lim et al. (2004)는 벧짚과 유박 혼용에 의한 토양물리성 개량평가에서 유박단용보다 벧짚 혼용시 토양용적밀도 감소와 내수성 입단이 증가하여 토양물리성 개선 효과가 뚜렷하다고 보고하였고, Zhu et al. (2012) 등은 벧짚시용에 의해 개선된 토양물리성이 토양생산성 향상에 기여하는 바가 크다고 하였다.

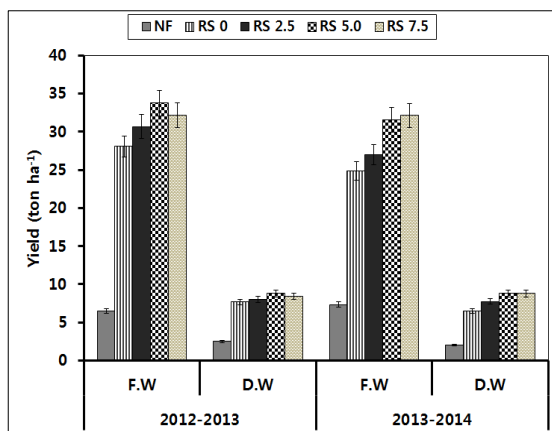
벧짚시용에 따른 양분흡수 및 질소이용 수확기에 채취한 청보리의 무기성분함량은 Table 5에서 보는 바와 같다. 질소, 인산, 칼리 성분함량 모두 1년차보다 2년차에 성분함량이 증가하였다. 무비구의 질소함량은 1년차, 2년차 각각 0.55%, 0.46%로 가장 낮았고, 벧짚무시용구에서 1년차, 2년차 각각 1.06%, 1.22 %로 가장 높았으며, 벧짚투입량이 높아질수록 청보리의 질소함량은 낮았다. Singh et al. (1999)은 높은 C/N율을 가진 벧짚은 투입시 질소부동화 (Nitrogen immobilization)를 초래하여 작물과 미생물간의 질소경합을 통한 질소기아를 유발하며, 질소부동화를 극복하기 위해서는 파종 30일 이전에 벧짚을 사용하거나 요소 등 질소비료의 증비를 통한 방법이 필요하다고 제시하였다. Lim et al. (1997)은 답리작 보리재배시 벧짚환원 후 25% 질소증비를

Table 5. Nutrient content of whole crop barley as affected by rice straw application.

Treat.	T-N [§]		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		MgO		Na ₂ O	
	ton ha ⁻¹ %											
	1 st year	2 nd year	1 st year	2 nd year	1 st year	2 nd year	1 st year	2 nd year	1 st year	2 nd year	1 st year	2 nd year
NF [↓]	0.55e*	0.46d	0.18d	0.10d	0.80c	0.79c	0.05b	0.05b	0.15bc	0.13c	0.77a	0.60c
RS [¶] 0	1.06a	1.22a	0.22c	0.24c	1.31a	1.92a	0.07a	0.08a	0.15bc	0.15b	0.73a	0.88a
RS 2.5	0.98b	1.17b	0.39b	0.32b	1.31a	1.64b	0.08a	0.08a	0.17a	0.17a	0.60b	0.61b
RS 5.0	0.93b	1.18b	0.38b	0.34a	1.37a	1.71b	0.09a	0.08a	0.18a	0.18a	0.64b	0.82a
RS 7.5	0.79c	1.04c	0.42a	0.36a	1.25b	1.65b	0.08a	0.09a	0.16b	0.17a	0.61b	0.58b

[↓]NF : Non-Fertilization, [¶]RS : Rice Straw application, [§]T-N : Total Nitrogen

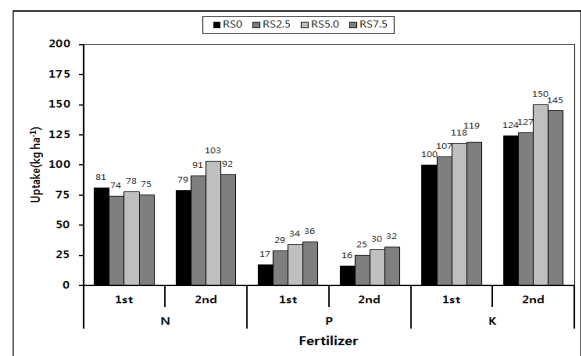
*Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan's test ,p<0.05)



F.W: Fresh weight, D.W: Dry weight
RS : Rice Straw application

Fig. 2. Effect of rice straw application on fresh weight yield and dry weight yield of whole crop barley in Saemangeum reclaimed land.

통해 벧짚의 부숙률이 증가하였고 후기 벧짚분해에 의한 양분 지속공급과 토양수분 보전이 보리 수량증대에 기여하였다고 하였다. 벧짚무시용구의 질소함량이 높은 이유는 증비된 추비의 영향과 더불어 상대적으로 벧짚시용구에 비해 경수가 5~19% 가량 적은 개체가 양분의 경합 없이 다량의 질소소비료를 흡수한 것에 기인한 것으로 판단된다. 벧짚투입량 증가에 따라 감소된 식물체 질소함량을 보전하기 위한 질소 시비법 개선이 필요할 것으로 판단된다. 인산은 무비구에서 가장 낮았고, 벧짚투입량이 높아질수록 증가하였다. 벧짚무시용구의 인산의 함량이 낮은 원인은 사용된 용성인비가 분해가 빠르고 쉽게 토양에 고정되어 작물 이용이 어려운 반면, 벧짚시용구에서는 벧짚이 분해되면서 시비된 인산의 용출량이 증가하여 청보리의 흡수, 이용이 높아진 것으로 판단된다. Lee et al. (2012)는 논토양에서 유기자재 사용시 퇴비 다음으로 벧짚투입에 의한 수용성인산의 용출능이 크다고 하였고, Wu et al. (2007)은 밭조건에서 벧짚 사용시 토양미생물 활성이 빠르게 진전되었고 이로 인해 인산의 유효도가 증가하였다고 보고하였으며, Zhu et al. (2010)은 비



RS : Rice Straw application

Fig. 3. Effect of rice straw application on N,P,K uptake of whole crop barley as affected by different rice straw application for the 2-year growth period.

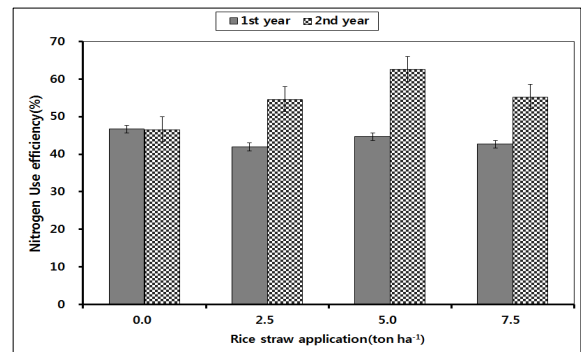


Fig. 4. Comparison of Apparent Nitrogen use efficiency of whole crop barley under different rice straw application for the 2-year growth period

옥도가 낮은 풍식지 밭토양개량시 벧짚을 사용하였을 때 토양 질소와 인산함량이 증가하였고, 작물양분 공급에 유리하였다고 보고하여 본 연구와 일치하였다. K는 무비구에서 가장 낮았고, 벧짚시용구내에서는 벧짚 7.5 ton ha⁻¹에서 가장 낮았다. CaO와 MgO는 무비구를 제외한 벧짚시용유무에 관계 없이 유사하였다. NaO 함량은 벧짚무시용시 높았고, 벧짚투입량이 증가할수록 감소하였으나 투입량간에 유의적인 차이는 없었다. Fig. 3은 벧짚사용에 따른 질소, 인산, 칼리의

양분흡수량 (2년 평균)을 나타낸 것이다. 질소와 칼리의 흡수량은 벃짚시용량이 높아질수록 증가하여 5.0 ton ha⁻¹일 때 최대 흡수량이었으나, 7.5 ton ha⁻¹ 수준에서 흡수량이 감소하였다. 인산흡수량은 벃짚투입량이 증가에 따라 증가하였으며, 벃짚투입시 벃짚무시용에 비하여 80~200% 증가하였다. Fig. 4는 벃짚투입량에 따른 청보리의 질소이용효율을 나타낸 것이다. 벃짚무시용구는 46.7%이었고, 벃짚시용구내에서 질소이용율은 1년 차에는 42.0~44.7%, 2년차에는 54.7~62.7%이었으며, 벃짚 5.0 ton ha⁻¹시용시 44.7%, 62.7%로 가장 높았으며, 벃짚시용량이 높아질수록 질소이용율은 감소하였다. 이와 같이 연차간 질소이용율 차이의 발생은 재배환경의 변화에 따른 토양특성과 식물체의 질소흡수 차이로 판단된다. Lee et al. (2006)은 간척지에 발작물을 도입할 경우 토성, 토양염류, 토양투수력과 배수력, 관개수 확보 및 용수공급을 고려해야 하는데 이중 사료작물은 토성, 토양염류도, 토양의 투수력과 배수력만 갖추면 재배가 가능하다고 하였다. Lee et al. (1984) 배수가 양호한 논토양에서 벃짚 시용시 토양산화환원전위가 감소하였고, 유효인산 등의 양분공급 등이 양호하였다고 보고하였다. 특히 1년 차에 경수 증가로 인해 피복률이 높아지고 잦은 강우로 인한 토양의 과습과 다짐현상 심화는 토양내 질소형태 중 질산태 질소의 유실과 암모니아태 질소의 증가를 초래하여 청보리의 질소흡수 및 이용율이 감소를 초래하였다는 점에서 간척지에서 사료작물 재배시 봄철강우에 대비하여 배수 개선이 선행적으로 필요함을 시사하는 바이다. 그러나 강우의 영향을 덜 받은 2년 차에는 벃짚시용에 의한 용적밀도 감소와 공극률 증가로 청보리의 뿌리발달이 개선되고, 통기성이 개선되어 토양 질소손실이 감소하였고, 청보리가 충분한 양분을 흡수하기에 유리한 환경을 조성하였을 것으로 판단된다. 벃짚 7.5 ton ha⁻¹ 시용시 청보리의 유효분얼 증가 등의 초기생육은 촉진하나 수확기 식물체 질소함량의 감소는 적정수준을 넘어선 벃짚의 투입으로 인해 토양질소의 부동화가 발생된 것으로 사료되며, 투입된 벃짚의 효율적인 이용을 위해서 질소 분시 등에 대한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다. Lee et al. (1997)은 벃짚시용시 질소분시 방법 개선을 통해 벃 수량증대와 함께 질소이용율을 향상시켰으며, 이로 인하여 양분유실을 경감할 수 있다고 보고하였다. Lee et al. (2013)은 간척지에서 청보리 수량증대는 질소시비량 보다 벃짚시용에 따른 영향이 크다고 보고하였다. 이상의 결과를 토대로 간척지에서 청보리 등의 사료작물 재배시 벃짚시용은 청보리의 수량증대에 있어서 필수적인 유효분얼의 증대와 더불어 토양물리성 개량 등을 통한 작물의 질소, 인산 등의 양분흡수능의 개선에 탁월한 효과가 있으며 장기적으로 5.0~7.5 ton ha⁻¹ 수준에서 시용시에 토양유기물 증대를 통한 간척지 조기숙전화에 기여하는 바가 클 것으로 판단된다.

Conclusion

간척지 밭토양에서 청보리 재배시 적정 벃짚시용량 설정 및 시용효과를 구명하기 위하여 벃짚을 2.5, 5.0, 7.5 ton ha⁻¹ 시용하여 처리에 따른 청보리의 생육, 수량, 양분흡수 및 토양이화학성 개량효과를 평가하고자 하였다. 수행된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 벃짚투입량이 증가함에 따라 청보리의 유효분얼이 증가하였으며 벃짚무시용에 비하여 경수가 5~19% 가량 증가하였고, 건물수량에서도 2~9% 증가하였다.
2. 벃짚투입량이 증가함에 따라 토양유기물 함량은 증가하였으며, 벃짚 7.5 ton ha⁻¹에서 가장 높은 토양유기물 함량수준을 나타내었다.
3. 벃짚 5.0~7.5 ton ha⁻¹까지 수량은 증가하였으나 청보리의 질소함량은 벃짚시용량이 증가할수록 감소하였다.
4. 질소이용율 (%)은 RS 5.0 > RS 7.0 > RS 2.5 > RS 0 이었다.
5. 청보리의 인산함량 및 흡수량은 벃짚시용수준이 증가함에 따라 증가하였고, 벃짚무시용구에 비해 각각 45~68%, 80~200% 가량 증가하였으며, 인산흡수량 (kg ha⁻¹)은 RS 7.5 > RS 5.0 > RS 2.5 > RS 0 순으로 나타났다.
6. 벃짚시용시 토양용적밀도 감소, 공극률 증가 등 물리성 개선효과로 인해 작물 생육 및 양분흡수, 이용에 유리한 생육환경이 조성되었다.

References

- Ahn, J. H., J. I. Cheung, K. S. Lee, T. S. Kim, M.C. Lee, T. O. Kwon, J. H. Lee, and S. Y. Lee. 2004. Salinity Tolerance of Rice Seedling by Different Saline Conditions. *J. Life Sci & Nat. Res.* 27(1):37-44.
- Arvidsson, J. 1999. Nutrient uptake and growth of barley as affected by soil compaction. *Plant Soil.* 208:9-19.
- Back, N. H., T. K. Kim, C. H. Yang, S. Kim, J. K. Nam, S. B. Lee, W. Y. Choi, S. J. Kim, and K. B. Lee. 2011. The growth and yield of winter Fodder crop by soil salinities at Saemangeum Reclaimed Land in Korea.
- Bulluck, L. R., M. Brosius, G. K. Evanylo, and J. B. Ristaino. 2002. Organic and Synthetic fertility amendments influence soil microbial, physical and chemical properties on organic and conventional farms *Appl Soil Ecol* 19:147-160.
- Choi, W. Y., K. S. Lee, J. C. Ko, S. H. Moon, and C. K. Kim. 2004. Nitrogen fertilizer management for improving rice quality under different salinity conditions in reclaimed tidal are, *Korean J crop Sci.* 49(3):194-198.
- Hur, B. L. and C. D. Lee. 1981. Effect of Rice straw application on Tillering of Paddy Rice. *J. Korean Soc. Soil Fert.* 14(3):146-156.
- 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.* 45:444-450.
- Kim, Y. W. and K. S. Kim. 1984. Effect of Rice straw on the Microflora in Submerged Soil: III Microflora in Relation to Nitrogen Fixation and Acetylene Reducing Activity. *Korean J Soil Sci. Fert.* 17(4):399-405.
- KOSIS. 2014. Food Grain Consumption in 2013. Korean Statistical Information Service. Available at <http://kostat.go.kr/portal>.
- Kushwa, C. P., S. K. Tripathi, and K. P. Singh. 2001. Soil organic matter and water-stable aggregates under different tillage and residue conditions in a tropical dryland agroecosystem. *Appl Soil Ecol* 16:229-241.
- Kwon, Y. U., H. H. Park, S. B. Baek, K. G. Park, J. G. Kim, J. E. Lee, and J. H. Seo. 2010. Contribution Rate of Plant Parts to Dry matter Yields in Winter Forage Crops. *Korean J. Crop Sci.* 55(4):292-298.
- Lee, K. B., S. K. Kim, J. G. Kang, D. B. Lee, and J. G. Kim. 1997. Effect of rice straw treatment and nitrogen split application on nitrogen uptake by direct seeding on dry paddy rice. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 30:309-313.
- Lee, K. S., S. Y. Choi, and W. Y. Choi. 1999. Salt Tolerance of Rice During Germination and Early Seedling Stages. *Korean J. Breed.* 31(3):301-305.
- Lee, S. H. 2006. Plant taxonomic approach and soil salinity class for evaluation of crop salt tolerance in reclaimed tidelands. Ph. D. Seoul National University. Seoul, Korea.
- Lee, S. H., B. D. Hong, Y. An, and H. M. Ro. 2003. Relation between Growth conditions of six upland-crops and soil salinity in Reclaimed Land. *Korean J Soil Sci. Fert.* 36(2):66-71.
- Lee, S. H., H. S. Bae, S. H. Lee, J. G. Kang, H. K. Kim, and K. B. Lee. 2013. Effect of soil salinity levels on whole crop barley at Saemangeum Reclaimed Tidal Land. *J Soil Sci. Fert* 46(5):365-372.
- Lee, S. K., S. B. Ahn, and K. H. Park. 1984. Studies on the Suitable Paddy Soil for Application of Rice straw. *J. Korean Soc. Soil Fert.* 17(2):101-107.
- Lee, Y., H. S. Choi, and S. M. Lee. 2012. Estimation and N- and P-Mineralization of Organic Materials under a Paddy Condition. *Korean J Intl Agri.* 24(3):299-302.
- Lim, S. G., J. T. Kim, B. J. Kim, S. P. Hong, D. Y. Suh, and W. S. Kim. 1997. Effect of Rice straw application on Barley growth and Grain Yield in Paddy field. *Crops, Korean J. Crop Sci.* 42(1):49-55.
- Lim, T. J., J. M. Lee, S. E. Lee, H. C. Jung, S. H. Jeon, and S. D. Hong. 2012. Optimal Application rate of Mixed Expeller Cake and Rice straw and Impacts on Physical Properties of soil in Organic Cultivation of Tomato. *Korean J Environ Agric.* 30(2):105-110.
- MOFRA. 2013. Fundamental planning for utilization of Large-scaled reclaimed land. available at <http://www.mafra.go.kr>.
- NIAST. 2000. Method of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, Suwon, Korea.
- Pal, D. and F. E. Broadbent, 1975. Influence of Moisture on Rice Straw decomposition in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 39(1):59-63.
- Park, H. K., N. H. Baek, W. Y. Choi, J. H. Lee, Y. D. Kim, S. S. Kim, and C. K. Kim. 2007. Effects of Rice and Barley Straw application on Growth and Yield of Rice. *Korean J. Intl. Agri* 19(2):132-136.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Analysis standards for the research investigation of agricultural science and technology. RDA, Suwon, Korea.
- Shin, J. S., S. H. Lee, W. H. Kim, S. H. Yoon, J. G. Kim, and J. W. Nam. 2005. Comparison of Dry matter and Feed value of major winter forage crops in the reclaimed tidal land. *J Korean grassl. sci.* 25(2):113-118.
- Shin, M. G. and H. Kurihara. 1996. Effective Tillering and Grain Yield on Different Fertilizer Application Level In Barley. *Korean J. Crop Sci.* 41(1):1-12.
- Singh, B., K. F. Bronson, Y. Singh, T. S. Khera, and E. Pasugin. 2001. Nitrogen-15 balance and use efficiency as affected by rice residue management in a rice wheat system in a northwest India. *Nutr cycl agroecosys* 59:227-237.
- Sohn, Y. M., H. T. Kim, G. Y. Jeon, J. D. Song, J. H. Lee, and M. E. Park. 2010. Effect of flooding Treatment on the Desalting Efficiency and the growth Soiling and Forage crops in a sandy soil of the Iwcheon Reclaimed tidal Land in Korea. *Korean J. Crop Sci Fert.* 43(1):16-24.
- Torbert, H. A. and C. W. Wood. 1992. Effect of soil compaction and water-filled pore space on soil microbial activity and N losses. *COMMUN. SOIL. SCI. PLANT ANAL* 23(11):1321-1331.
- Wild, A. 1998. Russel's soil conditions and plant growth. Longman. Newyork pp. 564-607.
- Wu, J., M. Huang, X. Ha, Y. R. Su, and C. L. Huang. 2007. Dynamics in microbial immobilization and transformations of phosphorus in highly weathered subtropical soil following organic amendments. *Plant Soil.* 290:333-342.
- Yang, C. H., S. Kim, J. H. Lee, N. H. Baek, T. K. Kim, W. Y. Choi, J. H. Jeong, S. B. Lee, and G. B. Lee. 2012. Effects of Nitrogen Fertilization Increment on Forage Crops Cultivation in Saemangeum Reclaimed Land. *Korean J Soil Sci. Fert.* 45(2):235-240.
- Yang, C. H., T. K. Kim, J. H. Ryu, S. B. Lee, S. Kim, N. H. Baek, W. Y. Choi, D. Y. Chung, and S. J. Kim. 2010. Effects of rice straw incorporation by cutting methods on soil properties and rice yield in a paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:1047-1050.
- Yu, I. D. and T. Matsuguchi. 1998. Effect of rice straw annual application on the biological activities on nitrogen fixing microbial flora. *Korean J Soil sci. fert.* 21(4):443-449.
- Zhang, R. and B. J. Wienhold, 2002. The effect of soil moisture on mineral nitrogen, soil electrical conductivity and pH. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 63:251-254.
- Zhu, H., J. Wu, D. Huang, Q. Zhu, S. Liu, Y. Su, W. Wei, and Li Yong. 2010. Improving fertility and productivity of a highly weathered upland soil in subtropical China by incorporating rice straw. *Plant Soil* 331:427-437.