

Effect of Soil Salinity Levels on Silage Barley Growth at Saemangeum Reclaimed Tidal Land

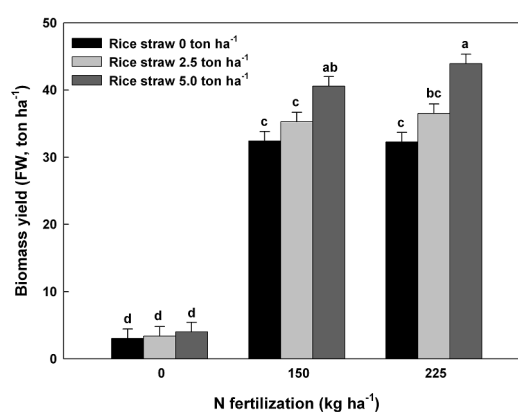
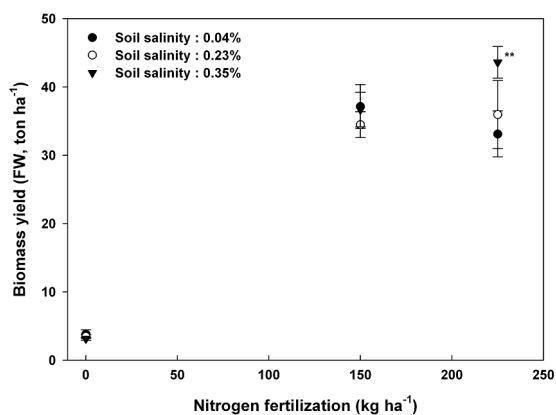
Sanghun Lee*, Hui-Soo Bae, Soo-Hwan Lee, Jong-Gook Kang, Hong-Kyu Kim,
Kyeong-Bo Lee, and Ki-Hoon Park

National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Iksan 570-080, Korea

(Received: September 23 2013, Accepted: October 10 2013)

Crop development and nutrient availability are strongly influenced by soil salinity levels. This study was conducted to investigate the effect of rice straw and nitrogen (N) fertilizer for silage barley under various soil salinity levels at Saemangeum reclaimed tidal land. Three levels of rice straw (0, 2.5, 5.0 ton rice straw ha⁻¹) and N (0, 150, 225 kg N ha⁻¹) were applied at 0.04, 0.23, 0.35% soil salinity levels. Biomass yield of silage barley was influenced by the interactions between rice straw application and N fertilization. Although there was no single effect of rice straw application on biomass yield, it was significantly increased with N application and a rice straw application of 5.0 ton ha⁻¹. Sodium content in silage barley was significantly lower at 0.04% salinity level, and but it was statistically increased with increasing soil salinity levels. Forage qualities such as total digestible nutrients and relative feed value of silage barley were significantly higher with N application at 0.04% salinity level, but there was no effect of rice straw application. Soil organic matter content was increased with N and rice straw application regardless of soil salinity level. The results of this study showed that the effect of rice straw and N fertilization on silage barley was influenced by soil salinity levels, which indicates that the management practice of silage barley at Saemangeum reclaimed tidal land should consider soil salinity levels.

Key words: Reclaimed tidal land, Soil salinity, Rice straw, Nitrogen, Silage barley



Effect of nitrogen fertilization and rice straw application on fresh weight yield of silage barley with different soil salinity levels

*Corresponding author : Phone: +82638402274, Fax: +82638402118, E-mail: sangusa@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ008762)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

우리나라의 총 간척농지 면적은 35만 ha로 우리나라 경지면적의 약 21%를 차지하고 있다 (Lee et al., 2013a). 이들 간척농지 중 이용 가능한 농지는 대부분 벼 생산을 위한 논으로 사용되어 왔으나, 쌀의 자급률이 올라가고 재고량이 늘어나면서 간척농지의 다원적 활용을 위한 밭작물 재배가 이루어지고 있다. 정부도 2013년 1월 간척농지의 효율적인 이용 및 관리를 위한 법률을 제정하고 시행하였다. 그러나 간척지 토양은 염분농도는 높고 이온의 불균형 등 토양 특성에 따라 제염 및 재염화가 다른 특징을 나타내며, 간척농지의 생성연대나 토양통 (soil series) 및 영농활동에 의해 다양한 염농도를 나타내고 있다 (Hwang et al., 2012). 더불어 간척지 토양의 유기물 함량은 일반 밭토양의 1/10 수준으로 매우 낮아 작물의 이용 가능한 양분 보유력이 상대적으로 낮기 때문에 간척농지에서 작물 재배시 염에 의한 피해와 낮은 양분 이용률로 인한 작물의 수량이 매우 낮다. 따라서, 간척농지에서 작물의 수량을 확보하기 위해서는 제염과 더불어 토양 유기물 함량의 증진이 필요하다.

토양의 유기물 함량을 높여주기 위해서는 볏짚과 같은 농산부산물의 주기적인 투입이 요구된다 (Frank and Roeth, 1996). 볏짚사용은 토양 유기물 함량을 증가시키고, 토양의 물리성을 개선시켜 작물의 수량에 도움을 주는 것으로 보고되고 있다. 예를 들면, Yang et al. (2010)은 간척지 토양의 볏짚 투입으로 토양 유기물 함량의 증가와 약 30%정도의 벼 수량이 증가하는 것으로 보고하였다. 또한 볏짚사용은 공급된 질소비료의 이용률도 증가하는 것으로 나타나 양분의 용탈에 의한 주변환경의 오염을 줄여줄 수 있는 것으로 나타났다 (Lee et al., 1997). 하지만 대부분의 농가에서는 볏짚을 곤포로 만들거나 소각하고 있어 토양에 볏짚 사용이 줄어들고 있는 실정이다 (Park et al., 2007). 이는 유기자원의 낭비로 토양의 지력저하를 초래하고 있어 유기자원의 적절한 활용으로 간척지 토양 관리가 필요하다.

최근 국제 곡물가 상승으로 사료 값이 급등함에 따라 이를 극복하고자 조사료의 의존도가 높아져 농경지에서 사료작물의 생산에 관심이 고조되고 있으며, 사료작물의 재배면적이 증가되고 있는 추세이다 (KOSIS, 2013). 청보리의 최고수량을 위한 적정시비는 질소시비의 경우 140 kg ha⁻¹이

지만, 질소 250 kg ha⁻¹이상이 되는 과다시비가 이루어지는 경우도 있어서 도복에 의한 수량 감소 및 품질저하가 우려되고 있다 (Song et al., 2011). 현재까지 우리나라에서는 청보리의 질소 시비량에 관한 많은 연구가 이루어졌음에도 불구하고 간척지토양의 토양 염농도 따른 청보리의 질소비료와 볏짚사용 효과에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 간척지 토양에서 볏짚과 질소비료의 사용이 토양 염농도별 청보리생육에 미치는 영향을 구명하기 위하여, 간척지 토양염농도별 볏짚 사용량 및 질소시비량을 달리하여 포장시험 후 토양특성, 식물체 수량변화 및 사료가치 등을 조사하였다.

Materials and Methods

시험 포장 및 청보리 재배 본 연구는 새만금 간척지에 조성된 국립식량과학원 벼맥류부 시험포장 (35°46'N, 126°37'E)에서 수행하였다. 시험포장은 하해혼성층적토 (fluvio-marine deposit soil)에서 발달한 점토 함량이 10% 미만인 사양질 토양이었으며, 토양통은 문포통 (coarse loamy, mixed, nonacid, Mesic, Typic, Fluvaquents)에 속하고 있었다. 토양 염농도에 의한 영향을 조사하기 위하여 염농도가 0.1%이하, 0.1~0.3%, 0.3%이상을 나타내는 세 지역을 선정하였다. 시험 토양은 유기물함량, 유효인산 및 치환성 Ca 농도가 일반농경지에 비해 현저히 낮은 반면, 치환성 K와 Na 농도는 높은 전형적인 염해 답의 특성을 나타내고 있었다. 염농도 별 각 토양의 물리화학적 특성은 Table 1에서와 같다.

청보리 (*Hordeumvulgare* var. *hexastichon* (L.) Asch.) 파종을 위해 볏짚을 잘라 염농도별로 각각 1) 무처리, 2) 2.5 ton ha⁻¹, 그리고 3) 5.0 ton ha⁻¹ 수준으로 볏짚을 환원하고 청보리를 220 kg ha⁻¹ 비율로 파종하였다. 청보리는 총체생산성이 높으며 중립종의 특성을 가진 영양보리를 사용하였다. 청보리 재배를 위해 염농도별 볏짚 사용량을 달리한 시험구에 대해서 질소비료를 1) 무처리, 2) 표준 시비량 150 kg ha⁻¹, 3) 표준 시비량의 50% 증량인 225 kg ha⁻¹ 수준으로 달리 시비하였다. 토양조사에 의한 시험포장의 표준 시비량 (N:P₂O₅:K₂O = 150:100:100 kg ha⁻¹)을 기준으로 질소(요소)는 기비로 50%를 시비하였고 유수형성기에 추비 50%를 시비하여 2회 분시하였다. 인산 (용과린)과 칼리 (염

Table 1. Characteristics of Saemangeum reclaimed tidal soil used for this study at pre-experiment stage.

Plot	Soil Salinity	pH	OM	Av. P ₂ O ₅	Av. SiO ₂	Exch. Cation			
						K	Ca	Mg	Na
	(%)	(1:5)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	cmolc kg ⁻¹			
Site 1	0.04	6.6	2.6	31	82	0.69	1.3	2.9	1.2
Site 2	0.23	7.8	2.3	36	85	0.76	1.1	2.6	1.1
Site 3	0.35	7.5	2.1	33	95	0.83	1.0	2.5	1.0

화가리)는 전량 기비로 시비하였으며 잡초 및 병해충 방제는 농촌진흥청 표준재배법 (NIAST, 2000)에 준하였다.

토양 및 식물체 분석 토양시료는 각 처리구에서 오거 (auger)를 이용하여 0–20 cm 깊이에서 채취하였고, 시료는 음지에서 풍건 후 잘게 부수어 2 mm 표준체를 통과한 시료는 일반성분 분석용으로 하였고, 이중 일부는 0.05 mm 체를 통과시켜 유기탄소 및 질소함량 분석용으로 사용하였다. 토양 pH와 EC 측정은 시료와 증류수 비율을 1:5 (w/v)로 하여 30분간 진탕한 후 pH meter (ORION, US/520A)를 이용해 초차전극 법으로 측정하였고, 토양 유기탄소 측정은 건식연소법 (dry combustion)으로 800~1,000°C에서 토양 중탄소를 연소시켜 발생하는 이산화탄소를 CN automatic analyzer (Elementar Analysen Systeme, US/VarioMax CNS)를 이용하여 분석하였다. 질산태질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$)는 암모니아태 ($\text{NH}_4\text{-N}$)로 전환시켜 분광측정기 (Shimadzu, JP/UV-2501)를 이용해 665 nm에서 비색 측정하였다. 유효인산은 Lancaster 법으로 분광측정기 (Shimadzu, JP/UV-2501)를 이용해 720 nm에서 비색 측정하였고, 유효규산은 1N-NaOAc (pH 4.0) 침출법으로 분석하였다. 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc (pH 7.0) 침출법으로 추출한 액을 ICP-OES (Varian, Vista MPX-ICP)를 사용하여 정량분석 하였다.

청보리 식물체의 수량은 1 m²의 청보리를 채취하여 ha당 생체중으로 환산하여 계산하였으며, 질소 흡수량 및 질소 이용률을 조사하고 사료가치를 분석하였다. 질소 흡수량은 청보리 수확 후 시료를 채취하여 건조시킨 후 건물중을 측정하고, 분석된 질소함량과 m²당 주수를 곱하여 환산하였다. 질소흡수량 계산은 질소흡수량 (kg ha⁻¹)=건물중×질소농도 식으로 계산하였으며, 질소이용률 계산은 질소이용률 (%)=[(질소시비구 흡수량-질소무비구 흡수량)/질소시비량]×100 식으로 계산하였다 (Moon et al., 2010). 청보리의 사료가치 분석은 수확기 시료를 건조한 후 산성용매 불용성섬유 (ADF)와 중성용매 불용성섬유 (NDF) 함량은 Goering 및 Vansoest법으로 분석하였고 사료의 상대적가치 (RFV)와 총가소화영양 (TDN)은 각각 $\text{RFV}=(\text{DDM}\times\text{DMI})\div 1.29$, $\text{TDN}=88.9-0.79\times\text{ADF}(\%)$ 의 식으로 산출하였다 (Yun et al., 2009). 식물체분석은 70°C 항온건조기에서 72 시간 동안 건조 후 분쇄된 시료를 습식분해 ($\text{H}_2\text{O}_2\text{-H}_2\text{SO}_4$)하였다. 분해액을 여지에 여과한 후 남은 잔류물은 SiO_2 정량에 사용하고, 여액은 N, P, K, Ca, Mg, Na 등의 정량에 사용하였다. 식물체 생육 및 수량조사는 농업과학기술연구조사기준 (NIAST, 2000)에 준하였다.

통계처리 실험 데이터는 JMP (SAS ver. 5.0)를 이용하여 ANOVA (analysis of variance)를 분석하였으며, 처리별 토양의 이화학특성 변화는 Tukey-Kramer HSD를 이용

하여 LSD (least significant difference) 값을 95% 수준에서 구하고 평균값을 비교하였다.

Results and Discussion

청보리 생육특성 새만금 간척지 토양 염농도별 벼짚과 질소비료 시용에 따른 청보리의 생육특성 및 수량은 Table 2와 같다. 청보리의 경수 및 건조수량은 토양 염농도에 따라 크게 차이가 없었다. 일반적으로 간척지 토양의 염농도가 증가할수록 작물은 염 스트레스로 작물의 생육이 불량해지고 이는 수량 감소로 이어진다 (Lee et al., 2013b). 하지만, 본 실험의 최고 토양 염농도인 0.35%내에서는 토양 염농도가 증가하여도 청보리의 생육에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 본 실험의 평균 건조수량 6 ton ha⁻¹는

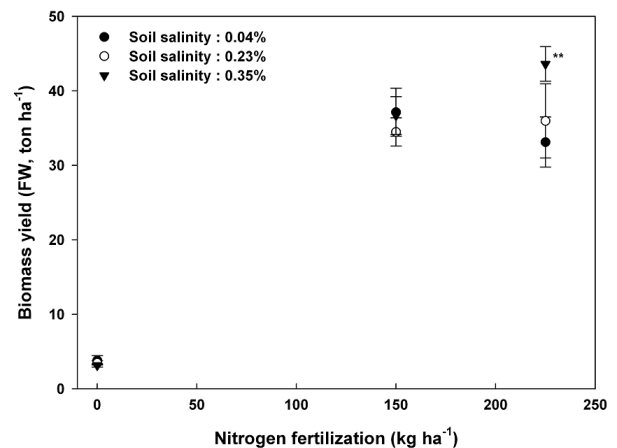


Fig. 1. Effect of nitrogen (N) fertilization on fresh weight yield of silage barley with different soil salinity levels. ** indicates that the mean was significantly different from the value on 150 kg N ha⁻¹ at 95% level.

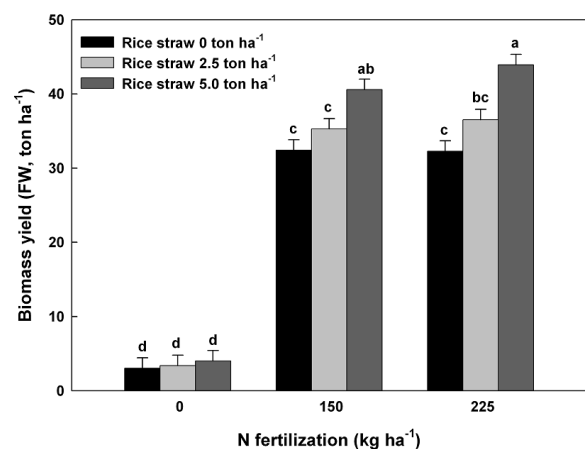


Fig. 2. Interaction effect of nitrogen (N) fertilization and rice straw application on fresh weight yield of silage barley. Mean values with different letters were significantly different at 95% level.

Yun et al. (2009)이 보고한 일반 밭토양에서의 영양보리 수량 (7.4 ton ha^{-1})의 약 80%에 해당되는 수준이었다. 벧짚 시용에 의한 청보리의 생육은 벧짚 시용량이 증가할수록 경수 및 건조수량이 증가하는 경향을 보였지만, 통계적으로 유의성은 보이지 않았다 (Table 2).

질소비료의 시용은 무시용구에 비해 청보리의 경수 및 건조수량이 증대되었지만, 질소 추천량 (150 kg ha^{-1})보다 50% 증비된 처리구에서는 유의성을 나타나지 않았다. 청보리의 수량은 토양 염농도와 질소비료의 시용에 의한 상호작용 효과를 나타냈는데, 염농도가 상대적으로 낮은 0.04%와 0.23 %에서는 질소 시용량이 150 kg ha^{-1} 에서 225 kg ha^{-1} 로 증가할 경우 수량이 변하지 않았지만, 염농도가 0.35%인 경우 추가적인 질소시용에 청보리 수량이 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 1). 청보리의 생육은 벧짚과 질소비료의 상호작용효과를 나타냈다 (Table 2; Fig. 2). 질소 무시용구에서는 벧짚에 의한 청보리 생육에 영향을 미치지 않았지만,

질소 시용구에서는 벧짚의 시용이 증가할수록 청보리의 생육이 좋아지는 것으로 나타나 질소비료의 효과를 높이기 위해서는 벧짚시용을 높여야 할 것으로 판단된다.

간척지 토양 염농도에 따른 벧짚 시용량별 청보리의 질소 흡수량은 Table 3과 같다. 토양염농도 0.04%의 경우 질소 시비량에 따른 질소 흡수량의 변화가 없었고, 2.5 ton ha^{-1} 벧짚과 질소 150 kg ha^{-1} 조합에서 가장 높은 질소 흡수량을 나타냈다. 염농도 0.35%인 경우 5.0 ton ha^{-1} 벧짚 시용이 2.5 ton ha^{-1} 시용보다 더 높은 질소 흡수량을 나타냈고, 5.0 ton ha^{-1} 와 질소비료 225 kg ha^{-1} 의 조합에서 가장 높은 질소 흡수량을 보였다. 이와 같은 결과는 염농도가 높을수록 더 많은 벧짚시용이 작물의 질소 흡수량을 높일 것으로 판단된다. 벧짚 시용량별 질소 이용률은 각 토양 염농도 별로 벧짚시용 처리구에서 무처리구보다 더 높은 질소 이용률을 보였다 (Table 3). 토양 염농도 0.04%에서 질소 이용률이 다른 토양 염농도에서 보다 더 높은 값을 보였지만

Table 2. Number of stems, fresh and dry weight of silage barley with rice straw and nitrogen (N) application under various soil salinity levels.

Treatments	No. of Stem (No. ha^{-1})	Biomass Yield (kg ha^{-1})		Percentage of DW
		Fresh Weight	Dry Weight	
Soil salinity (S, %)				
0.04	4,198	24,688	6,135	19.8
0.23	3,658	24,644	5,665	18.4
0.35	4,574	27,811	6,310	17.5
<i>p-value</i>	0.7962	0.9061	0.9513	0.8619
LSD _{0.05}	NS	NS	NS	NS
Rice straw application (RS, ton ha^{-1})				
0	3,132	22,700	5,329	17.9
2.5	4,406	24,938	6,196	19.6
5.0	4,892	29,506	6,586	18.3
<i>p-value</i>	0.4007	0.6950	0.8300	0.9161
LSD _{0.05}	NS	NS	NS	NS
N fertilization (N, kg ha^{-1})				
0	719	3,478	248	6.9
150	5,738	36,100	8,706	24.2
225	5,974	34,567	9,157	24.6
<i>p-value</i>	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
LSD _{0.05}	1,320	4,720	1,088	2.5
F-value for interaction effect				
Interaction (S X RS)	1.31	0.64	0.64	0.58
Interaction (S X N)	0.73	5.48**	0.82	0.97
Interaction (N X RS)	0.99	4.02**	1.53	2.86

** indicates that the interaction effect was significant at 95% level.

Table 3. Nitrogen (N) absorption amounts and N utilization ratio by silage barley in response to rice straw application and N fertilization under various soil salinity levels.

Treatment	Rice straw (ton ha ⁻¹)	Levels of N fertilization (kg ha ⁻¹)		
		0	150	225
Soil salinity 0.04%	RS 0	6.0	118 (73.4)	107 (45.1)
	RS 2.5	2.2	141 (88.0)	126 (59.1)
	RS 5.0	1.0	133 (83.7)	132 (52.9)
Soil salinity 0.23%	RS 0	2.8	106 (65.6)	95 (45.6)
	RS 2.5	1.4	96 (65.2)	145 (61.3)
	RS 5.0	2.3	84 (76.2)	120 (50.1)
Soil salinity 0.35%	RS 0	1.8	101 (62.2)	109 (53.6)
	RS 2.5	1.1	104 (70.6)	121 (61.1)
	RS 5.0	2.2	105 (72.4)	134 (67.0)

^{a-b} mean values with different letters were significantly different at 95% level.

Values in parenthesis indicates N utilization ratio (%).

Table 4. Chemical composition of silage barley in response to rice straw application and nitrogen (N) fertilization under various soil salinity levels.

Treatment	TN	TP	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O	
Soil salinity 0.04%	RS 0	1.36 ^a	0.42 ^a	2.06 ^a	0.09 ^a	0.17 ^a	0.41 ^a
	RS 2.5	1.36 ^a	0.43 ^a	1.99 ^a	0.09 ^a	0.19 ^a	0.50 ^a
	RS 5.0	1.21 ^a	0.44 ^a	1.99 ^a	0.09 ^a	0.20 ^a	0.47 ^a
	N0	1.06 ^b	0.46 ^a	1.70 ^b	0.11 ^a	0.24 ^a	0.37 ^a
	N 150	1.42 ^a	0.43 ^a	2.11 ^a	0.08 ^b	0.16 ^b	0.52 ^a
	N 225	1.46 ^a	0.40 ^a	2.24 ^a	0.08 ^b	0.16 ^b	0.50 ^a
	<i>Mean</i>	<i>1.31A</i>	<i>0.43A</i>	<i>2.01A</i>	<i>0.09A</i>	<i>0.19A</i>	<i>0.46B</i>
Soil salinity 0.23%	RS 0	1.22 ^a	0.39 ^a	2.20 ^a	0.09 ^a	0.17 ^a	0.59 ^a
	RS 2.5	1.12 ^a	0.44 ^a	1.96 ^a	0.09 ^a	0.20 ^a	0.61 ^a
	RS 5.0	1.13 ^a	0.38 ^a	2.11 ^a	0.09 ^a	0.19 ^a	0.55 ^a
	N0	0.89 ^b	0.46 ^a	1.82 ^b	0.11 ^a	0.24 ^a	0.50 ^b
	N 150	1.22 ^a	0.35 ^b	2.18 ^a	0.07 ^b	0.16 ^b	0.63 ^a
	N 225	1.36 ^a	0.39 ^{ab}	2.28 ^a	0.08 ^b	0.16 ^b	0.61 ^a
	<i>Mean</i>	<i>1.16A</i>	<i>0.04A</i>	<i>2.09A</i>	<i>0.09A</i>	<i>0.19A</i>	<i>0.58A</i>
Soil salinity 0.35%	RS 0	1.10 ^a	0.38 ^a	2.06 ^a	0.10 ^a	0.19 ^a	0.58 ^a
	RS 2.5	1.07 ^a	0.38 ^a	1.97 ^a	0.10 ^a	0.21 ^a	0.53 ^a
	RS 5.0	1.19 ^a	0.43 ^a	1.96 ^a	0.10 ^a	0.23 ^a	0.57 ^a
	N0	0.96 ^b	0.43 ^a	1.64 ^b	0.12 ^a	0.26 ^a	0.39 ^c
	N 150	1.15 ^a	0.37 ^a	2.13 ^a	0.09 ^b	0.19 ^b	0.59 ^b
	N 225	1.24 ^a	0.38 ^a	2.22 ^a	0.09 ^b	0.19 ^b	0.70 ^a
	<i>Mean</i>	<i>1.12A</i>	<i>0.39A</i>	<i>2.00A</i>	<i>0.10A</i>	<i>0.21A</i>	<i>0.56A</i>

[†]TN: total nitrogen, TP: total phosphorus.

^{a-c, A-B} mean values with different letters were significantly different at 95% level.

(68.8% vs. 60.5%), 통계적 유의성은 보이지 않았다. 질소 시비량별 질소이용률은 모든 토양 염농도에서 150 kg ha⁻¹가 225 kg ha⁻¹보다 더 높은 질소이용률이 나타났다.

청보리 식물체내 화학조성을 보면 벧짚시용에 의한 청보리 식물체내 화학조성은 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다 (Table 4). 그러나, 질소비료의 사용은 총질소량과

K 함량을 증가시켰으며, Ca과 Mg의 함량은 감소하는 것으로 나타났다. 청보리 식물체내 Na 함량의 경우 토양 염농도가 가장 낮은 0.04%에서 다른 두 토양농도에서 보다 낮은 함량을 보이고 있었다. 토양 염농도 0.04% 시험구에서의 Na의 함량은 질소비료 사용에 의해 영향을 받지 않았지만, 토양 염농도가 증가할수록 질소비료에 의한 Na 함량을 증가하는 경향을 보였다.

사료가치 분석 간척지에서 토양 염농도에 따른 볏짚 사용량 및 질소 시비량별 청보리의 사료가치 평가는 Table 5와 같다. 조단백질의 함량은 처리구에 따라 5.9%에서 12.2% 사이로 나타났으며 질소비료의 사용으로 조단백질 함량은 증가하는 경향을 보였다. 토양 염농도의 증가에 따른 조단백질의 함량은 감소하는 경향을 보였지만, 통계적으로 유의성 (p -value = 0.1247)은 보이지 않았으며 볏짚사용 역시 조단백질의 함량에는 유의성을 보이지 못했다. 조사료의 가치를 평가하는데 있어 중성세제 불용성섬유소 (NDF)와 산성세제 불용성섬유소 (ADF)는 중요한 지표가 되며 (Song et al., 2009) 이들을 이용하여 조사료의 상대적 사료가치

(RFV), 총가소화영양분 (TDN)등을 추정할 수 있다. 본 실험에서 NDF와 ADF는 질소함량이 적을수록, 토양 염농도가 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 모든 토양 염농도에서 유의성은 보이지 않았지만 볏짚무사용구에서 NDF함량과 ADF함량이 가장 낮게 나타났다. 이는 NDF가 건물섭취량 (DMI)과 부의 상관관계를 나타내며, 조사료 내 NDF 함량이 증가하면 DMI가 감소하게 되며 ADF는 기소화건물함량 (DDM)과 부의 상관관계를 가져 ADF 함량이 증가하면 DDM이 감소하게 되는 것과 관련이 있다. TDN과 RFV은 토양 염농도 0.04%에서 각각 70.3%와 138로 가장 높은 값을 보였으며 토양 염농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. TDN이 높을수록 가축의 소화되는 영양분이 증가하여 사료로서 유리한 조건이 되며 RFV값이 높을수록 사료로서의 가치가 높은 것을 의미한다 (Song et al., 2009). 질소 비료사용에 의한 TDN과 RFV 값은 질소 비료사용에 의해 증가하는 경향을 보였으며, 특히 염농도가 가장 낮은 0.04%에서는 질소비료의 사용으로 TDN과 RFV 값이 증가하는 것으로 나타나 염농도가 낮은 지역에서 질소비료 사용에 의한 청보리의 사용가치가 증가하는 경향을 보였다. 청보리 조사료의

Table 5. Forage quality of silage barley in response to rice straw application and nitrogen (N) fertilization under various soil salinity levels.

Treatment		CP [†] (%)	NDF (%)	ADF (%)	TDN (%)	RFV
Soil salinity 0.04%	RS 0	10.2 ^a	46.9 ^a	22.8 ^a	70.9 ^a	141 ^a
	RS 2.5	10.5 ^a	48.4 ^a	23.7 ^a	70.2 ^a	135 ^a
	RS 5.0	9.8 ^a	47.9 ^a	24.2 ^a	69.8 ^a	136 ^a
	N0	7.1 ^b	50.7 ^a	24.9 ^a	69.3 ^b	128 ^b
	N 150	11.2 ^a	45.7 ^b	22.6 ^b	71.1 ^a	145 ^a
	N 225	12.2 ^a	46.9 ^b	23.2 ^{ab}	70.5 ^{ab}	140 ^a
	Mean	10.2A	47.7B	23.6B	70.3A	138A
Soil salinity 0.23%	RS 0	8.7 ^a	49.1 ^a	23.9 ^a	70.0 ^a	133 ^a
	RS 2.5	8.7 ^a	50.0 ^b	25.0 ^a	69.1 ^a	129 ^a
	RS 5.0	8.5 ^a	50.1 ^b	24.9 ^a	69.2 ^a	129 ^a
	N0	5.9 ^c	53.4 ^a	26.5 ^a	68.0 ^a	119 ^a
	N 150	9.6 ^b	47.4 ^a	23.2 ^b	70.6 ^a	139 ^a
	N 225	10.5 ^a	48.4 ^a	24.1 ^b	69.8 ^a	135 ^a
	Mean	8.7A	49.7AB	24.6AB	69.5AB	131A
Soil salinity 0.35%	RS 0	8.3 ^a	50.4 ^a	25.3 ^a	68.9 ^a	128 ^a
	RS 2.5	7.5 ^a	51.4 ^a	26.2 ^a	68.2 ^a	124 ^a
	RS 5.0	8.7 ^a	51.5 ^a	26.5 ^a	68.0 ^a	123 ^a
	N0	6.4 ^b	53.5 ^a	26.5 ^a	68.0 ^a	120 ^a
	N 150	8.6 ^a	50.8 ^a	26.0 ^a	68.4 ^a	126 ^a
	N 225	9.5 ^a	49.4 ^a	25.6 ^a	68.7 ^a	130 ^a
	Mean	8.2A	51.1A	26.0A	68.3B	125B

[†]CP: crude protein, NDF: neutral detergent fiber, ADF: acid detergent fiber, TDN: total digestible nutrients, RFV: relative feed value. a-c, A-B mean values with different letters were significantly different at 95% level.

사료가치를 분석한 결과 TDN과 RFV값은 토양 염농도 0.23% 이내에서 가장 좋게 나타났으며, 특히 토양 염농도가 0.04%의 경우 TDN과 RFV값이 150 kg ha⁻¹의 질소비료 시용구에서 가장 높아 이들 처리가 고품질의 조사료가 생산될 것으로 판단된다.

토양 특성 변화 간척지에서 토양 염농도별 볏짚과 질소 시용에 따른 시험 후 토양의 이화학적 특성은 Table 6과 같다. 토양 염농도 0.04, 0.23, 0.35% 시험구 모두 pH는 질소 시비량이 증가할수록 감소되는 경향이 나타났다. 질소비

료의 시용으로 토양내 질산태 질소의 함량이 증가되었지만, 150 kg ha⁻¹과 225 kg ha⁻¹ 시용의 차이는 보이지 않았다. 질소의 함량은 염농도가 낮은 0.04%에서 다른 두 조건에 비해 높은 함량을 나타내고 있었으나, 볏짚시용에 의한 유의성은 보이지 않았다. 유효인산과 규산의 함량은 볏짚 시용량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였으며, 볏짚 5 ton ha⁻¹ 시용구에서 가장 높은 값을 나타냈다. 또한, 유효인산과 규산의 함량은 질소 시비량이 증가할수록 증가하는 경향을 보이며 225 kg ha⁻¹에서 가장 높게 측정되었다. 치환성 K, Na는 질소 무시비에서 각각 가장 높은 값을 나타내었다.

Table 6. Soil chemical properties at post-harvesting of silage barley in response to rice straw and nitrogen (N) fertilization under various soil salinity levels.

Treatment	pH	NO ₃ -N (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Av. SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Exch. Cation				
					K	Ca	Mg	Na	
					----- cmol _c kg ⁻¹ -----				
Soil salinity 0.04%	RS [†] 0	6.6 [§]	1.28	43	153	0.63	1.4	2.3	1.1
	RS 2.5	6.7	1.68	45	155	0.55	1.4	2.5	0.9
	RS 5.0	6.3	0.69	53	159	0.50	1.2	2.4	0.8
	N0	7.2	0.64	30	141	0.62	1.3	2.3	1.1
	N 150	6.4	1.79	34	155	0.51	1.3	2.4	0.9
	N 225	6.0	1.59	58	167	0.47	1.3	2.4	0.8
Soil salinity 0.23%	RS 0	6.8	0.64	45	156	0.63	1.5	2.6	1.6
	RS 2.5	6.9	0.84	47	159	0.55	1.4	2.7	1.1
	RS 5.0	7.3	0.75	51	165	0.51	1.2	2.7	1.3
	N0	7.1	0.66	33	144	0.63	1.4	2.8	1.4
	N 150	7.0	0.77	43	155	0.52	1.3	2.7	1.0
	N 225	6.9	0.81	58	174	0.46	1.3	2.6	1.1
Soil salinity 0.35%	RS 0	7.7	0.78	34	157	0.65	1.4	2.7	1.7
	RS 2.5	7.6	0.82	39	165	0.57	1.2	2.8	1.5
	RS 5.0	7.6	0.98	42	169	0.56	1.2	2.7	1.5
	N0	7.9	0.64	30	151	0.65	1.3	2.8	1.9
	N 150	7.5	0.96	35	161	0.56	1.3	2.8	1.4
	N 225	7.4	0.98	40	167	0.51	1.2	2.6	1.4

[†]RS: rice straw application (ton ha⁻¹), N: nitrogen fertilization (kg ha⁻¹)

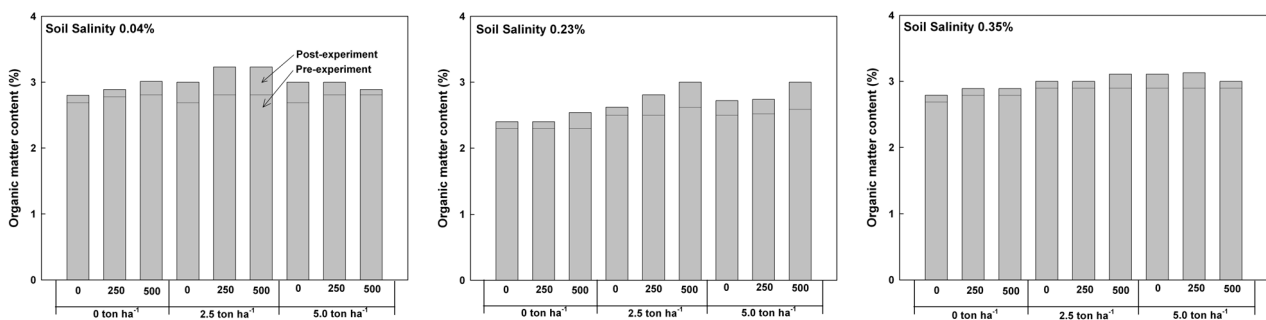


Fig. 3. Changes on organic matter content in response to rice straw application and nitrogen (N) fertilization under various soil salinity levels.

간척지에서 토양 염농도에 따른 볏짚 사용량별 유기물함량 변화는 Fig. 3과 같다. 모든 토양 염농도에서 유기물 함량은 시험 전 토양에 비해 유기물 함량이 증가되었으며, 토양 염농도 0.04%의 볏짚 2.5 ton ha⁻¹ 처리가 가장 높은 유기물함량을 나타냈다. 유기물 함량 증가는 볏짚 사용량과 토양 염농도에 의해 영향을 받았다. 토양 염농도 0.35%에서의 유기물함량 증가율 (5.2%) 은 다른 두 토양의 증가율 (8.9%와 9.3%) 보다 낮은 값을 나타냈다. 또한 볏짚 처리구에서 무처리구에 비해 높은 유기물 증가율을 보였으며, 볏짚 2.5 ton ha⁻¹ 사용구에서 가장 높은 유기물 함량을 나타냈으며, 볏짚 5.0 ton ha⁻¹ 사용구에서 질소비료 150 kg ha⁻¹ 보다 225 kg ha⁻¹ 사용 시 유기물 함량이 낮게 나타났다. 이러한 결과는 질소비료 시비로 인한 유기물분해가 촉진되어 유기물함량이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

Conclusions

본 연구는 새만금 간척지에서 사료작물인 청보리 재배를 위한 볏짚과 질소비료의 사용 시 토양 염농도의 효과를 알아보고자 토양 염농도가 0.04, 0.23, 0.35%인 각각의 시험구에서 볏짚 사용량 0, 2.5, 5.0 ton ha⁻¹와 질소 시비량 0, 150, 225 ton ha⁻¹ 수준으로 각각 사용하여 청보리의 생육특성, 수량 및 사료가치를 조사하였다. 토양 염농도가 증가할수록 청보리의 사료가치는 감소하는 것으로 나타나 토양 염농도가 0.35%일 경우 사료가치가 가장 낮은 값을 보였다. 토양 염농도가 낮은 0.04%에서는 질소 비료 사용효과가 두드러지게 나타났으며, 토양 염농도가 증가할수록 질소 사용효과는 감소하는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 종합해 보면, 간척지 토양에서 청보리 재배 시 수확량의 증대를 위해서는 볏짚 및 질소비료의 적정 사용량 수준이 0.04% 염농도 토양의 경우 볏짚 5.0 ton ha⁻¹와 질소비료 150 kg ha⁻¹, 0.23%와 0.35% 염농도 토양의 경우 볏짚 5.0 ton ha⁻¹와 질소비료 225 kg ha⁻¹ 조합으로 사용하는 것이 효율적 것으로 판단되며, 작물의 수확량 증대와 품질 향상을 위한 질소비료와 볏짚 사용은 토양의 비옥도 증진과 청보리의 수량 증가에도 큰 영향을 미치며, 특히 간척지 토양 염농도에 따른 볏짚과 질소비료와의 적절한 병용으로 토양 비옥도를 향상시키고 청보리의 질소 흡수량 증가로 질소이용률을 높이는 데 기여할 것으로 판단된다.

References

Frank, K.D. and F.W. Roeth. 1996. Using soil organic matter to help make fertilizer and pesticide recommendations. SSSA

Special publication 46: 33-40.

- Hwang, S.W., J.G. Kang, K.D. Lee, K.B. Lee, K.H. Park, 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.
- KOSIS. 2013. Agricultural land area survey. Korean Statistical Information Service. Available at <http://kosis.kr>. Daejeon, Korea.
- 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.B., S.W. Hwang, H.K. Kim, J.G. Kang, H.S. Bae, S.H. Lee, and K.H. Park. 2013a. Soil characteristic assessment of large-scale reclaimed land and their management plan. Soc. Agri. Res. Reclaimed Land. 11:15-34.
- Lee, K.B., J.G. Kang, K.D. Lee, S. Lee, S.A. Hwang, S.W. Hwang, H.K. Kim. 2013b. Soil Characteristics of newly reclaimed tidal land and its changes by cultivation of green manure crops. Korean J. Soil Sci. Fert. 46:129-135.
- Moon, Y.H., Y.R. Kwon, B.K. Ahn, J.H. Lee, and D.C. Choi. 2010. Determination of nitrogen fertilizer recommendation rates estimated by soil-testing for different types of paddy soils. J. Korean Soc. Environ. Agri. 29:33-38.
- NIAST. 2000. Method of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA, Suwon, Korea.
- 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. J. Korean Soc. Inter. Agri. 19:132-136.
- Song T.H., O.K. Han, T.I. Park, J.H. Seo, S.K. Yun, and K.H. Park. 2009. Effects of cutting height on productivity, feed value and economic efficiency of winter cereal crops for forage. J. Korean Soc. Inter. Agri. 21:322-326.
- Song, Y.S., W.K. Park, Y.J. Lee, J.S. Lee, and H.B. Yun. 2011. Estimation of nitrogen optimum level for rice planting after Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* Lam.) cultivation. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 44:448-451.
- 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.
- Yun, S.K., T.I. Park, J.K. Seo, K.H. Kim, T.H. Song, K.H. Park, and O.K. Han. 2009. Effect of harvest time and cultivars on forage yield and quality of whole crop barley. J. Korean Grass. Forage Sci. 29:121-128.