

Effects of Rice Straw Amendment and Nitrogen Fertilization on Rice Growth and Soil Properties in Reclaimed Tidal Paddy Field

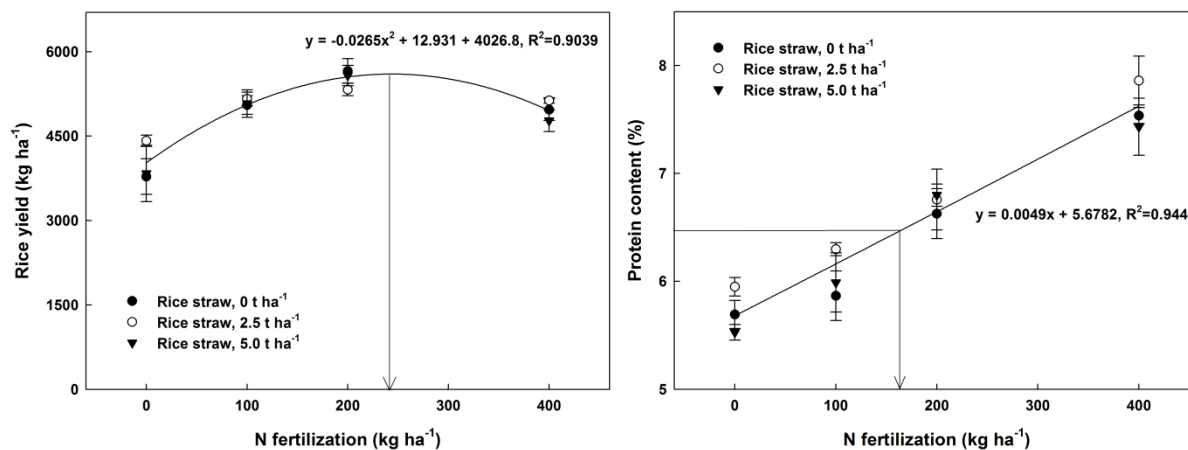
Sanghun Lee, Hui-Su Bae*, Soo-Hwan Lee, Kyeong-Bo Lee, Tae-Hwan Noh, and Geon-Hwi Lee

National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 565-851, Korea

(Received: May 20 2013, Revised: June 17 2015, Accepted: June 17 2015)

Farmers with forage barley (*Hordeum vulgare* L.)-rice (*Oryza sativa* L.) cropping system at reclaimed tidal lands burn crop residues to facilitate seedbed preparation or remove them for feed stock. This study was conducted to investigate the effect of rice straw amendment and N fertilization on soil properties and N uptake of rice under forage barely-rice cropping system at reclaimed tidal paddy field. Rice straw was applied at the rates of 0, 2.5 and 5.0 ton ha⁻¹ and N was fertilized at 0, 100, 200 and 400 kg ha⁻¹. Although there was no significant difference in the growth and yield of rice, fresh and dry weight of forage barely increased with increasing the amount of rice straw. The amount of N uptake of rice at harvesting stage was 65.8-69.2 kg ha⁻¹ by the amount of rice straw amendment, but there were no significant differences among rice straw amendment levels. After harvesting the rice, the soil salinity decreased with rice straw amendment compared to the control. After forage barely and rice cultivation, soil organic matter contents increased to 2.6-2.8 g kg⁻¹ and 3.2-3.5 g kg⁻¹, respectively. The amount of N uptake of rice at harvesting stage increased up to 82 kg ha⁻¹ in 400 kg ha⁻¹ N applied plots which were 37.8 kg ha⁻¹ higher than the control. Nitrogen fertilization decreased N recovery efficiency. The highest yield of rice was observed at 244 kg ha⁻¹ N fertilization level, but the optimum N level was estimated at 168 kg ha⁻¹ in order to keep the protein content of rice under 6.5%. Further researches on N uptake and application of organic matter according to soil salinity will be necessary to increase N use efficiency at reclaimed tidal paddy field.

Key words: Reclaimed tidal paddy field, rice straw, nitrogen uptake, forage barley



Relationships between rice yield and nitrogen fertilization rate in reclaimed tidal paddy field

*Corresponding author : Phone: +82632385277, Fax: +82632385255, E-mail: huisu81@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with the support of "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ00869702)" Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

토양 유기물은 토양의 입단형성과 같은 물리적 개량 뿐만 아니라 작물의 중요한 양분 공급원으로 토양의 지력을 가장 대표할 수 있는 인자 중 하나이다 (Yeon et al., 2007). 이러한 유기물은 토양 중에서 분해되면서 부식으로 변하는데 부식은 작물에 필요한 양분을 공급하는 동시에 저장하는 역할을 한다 (Yoo et al., 2001). 논에서 손쉽게 이용 가능한 유기물 공급원인 벚짚은 토양 양이온 중 칼륨 공급에 효과적이며 벼의 생육 후기에 양분공급의 효과가 커 벼의 수량이 증대되는 것으로 보고하였다 (Oh et al., 1971; Ponnampereuma, 1984). 그러나, 벚짚처리기가 작물의 질소 흡수와 무기화에 미치는 영향은 벚짚에서 공급되는 질소의 양이 적어 단기적인 효과는 미미한 반면 장기적인 벚짚사용은 토양비옥도 향상과 작물생육 및 질소흡수에 효과적이므로 단기적인 벚짚사용의 효과를 보기 위해서는 적절한 무기질 비료의 병행사용이 필요하다 (Takahashi et al., 2003).

우리나라 서남부 주요 간척지 토양의 유기물 함량은 4.5~10.8 g kg⁻¹의 범위로 일반 농경지에 비해 매우 낮다 (Lee et al., 2008). 따라서 간척지 토양의 유기물함량을 적정수준으로 유지하기 위해서는 벚짚 등의 지속적인 투입이 필요하다. 그러나, 최근 벚짚은 축산 사료용으로 활용가치가 높아짐에 따라 벚짚을 토양에 환원하지 않고 외부로 반출하는 양이 증가하여 토양비옥도 저하가 우려된다. 토양 염농도가 높고 유기물함량이 낮은 간척지에서 벚짚환원에 따른 작물의 수량증대와 토양비옥도를 향상시키는 것으로 보고되고 있다 (Lee et al., 2013; Lee et al., 2014). 예를 들어, Yang et al. (2010)은 하해혼성층적층의 논토양에서 벚짚을 20년 이상 장기적으로 시용한 시험에서는 토양경도 및 용적밀도가 낮아져 벚짚사용에 의한 토양물리성 개선효과가 있었으며, 유효인산 및 양이온치환용량이 높아져 토양화학성 개량 효과가 인정되었다고 보고하였다.

최근 간척지의 다원적 활용을 위해 다양한 작물재배가 시도되고 있는데, 특히 조사료 연중공급 체계 구축 및 쌀 수급 안정을 위해 충남 석문 등 5개의 간척지에 사료작물 재배단지를 조성하는 등 조사료 생산을 위한 청보리 재배면적이 증가하고 있다 (MIFAFF, 2011). 반면 청보리 재배 시 다수확 및 양질의 조사료 생산을 위해 질소비료를 과량 사용

하여 청보리 후작 벼 재배 시 질소과잉으로 인한 벼의 미질 저하, 도복 발생 및 병충해 증가 등 많은 문제점이 야기되고 있다 (Yang et al., 2009). 질소비료의 시용은 벼의 생육뿐만 아니라 병해충 발생 및 도복 등에 복합적으로 영향을 미쳐 질소가 부족하면 수량이 감소되는 반면 질소의 과잉 공급은 병해충 발생 및 도복증가로 수량이 감소된다 (Lee et al., 2010; Mills and Jones, 1979). 또한 질소 과잉은 완전미 비율이 감소하며 쌀의 단백질 함량이 증가하여 미질이 저하되는 문제가 발생하게 된다 (Jang et al., 2003). 최근에는 친환경농업의 수행, 고품질농산물의 생산 및 환경문제 등을 고려하여 최소한의 비료사용을 목표로 하기 때문에 앞 작물 재배 후 잉여분의 질소량을 포함한 시비수준의 결정은 벼의 재배에 중요한 인자로 시비 수준을 구명하려는 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다 (Yoo et al., 2000). 그러나 간척지 논토양에서 청보리 후작 벼 재배 시 벚짚사용과 연계한 질소시비관리에 관한 연구는 미미한 실정으로 유기물 함량이 낮은 간척지 토양에 벚짚과 같은 유기물 공급과 질소시비량 설정연구가 필요한 시점이다. 따라서 본 연구는 간척지 논토양에서 벚짚처리량에 따른 청보리 후작 벼에 대한 질소 시비수준을 달리하여 토양의 화학성 변화와 벼의 생육특성, 질소흡수량 등을 조사하여 청보리 후작 벼 재배 시 질소시비관리에 대해 검토하고자 하였다.

Materials and Methods

본 시험은 전라북도 부안군에 위치한 국립식량과학원 새만금간척지 시험포장 (35°46'N, 126°37'E)에서 2010년부터 2011년까지 2년간 수행하였다. 시험포장은 하해혼성층적토를 모재로 한 사양질 토양이었으며, 토양통은 문포통 (coarse loamy, mixed, nonacid, Mesic, Typic Fluvaquents)이었다. 시험토양은 시험 당해 년도에 벼 (*Oryza sativa* L.)를 재배한 토양으로 유기물 함량이 2.3 g kg⁻¹으로 매우 낮았고, 토양 pH는 7.3 이었으며, 토양 전기전도도 (EC) 값은 벼 재배 시 담수로 인하여 0.7 dS m⁻¹로 토양 염농도가 낮아진 상태였다. 시험 전 토양의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

시험포장은 주구로 벚짚 사용량 0, 2.5, 5.0 ton ha⁻¹ 3 수준으로 하였으며 세구로 질소시비량을 0, 100, 200, 400 kg ha⁻¹의 4수준으로 처리하였다. 각 시험구의 크기는 16m²

Table 1. Physical and chemical properties of the soil used in this study.

pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Avail.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Avail.SiO ₂ (mg kg ⁻¹)	Exch.cations (cmol _c kg ⁻¹)				Soil texture
					K	Ca	Mg	Na	
7.3 (0.6)	0.7 (0.05)	2.3 (0.3)	33 (3)	87 (7)	0.76 (0.04)	1.1 (0.1)	2.7 (0.1)	1.1 (0.1)	SL [†]

Values in parentheses indicate the standard deviation of each mean value

[†]SL stands for sandy loam

(4 m × 4 m)였으며 시험포장내에서 3군데 필지를 선정하여 3반복 수행하였다. 2010년 10월 24일에 청보리 (*Hordeum vulgare* L.) 파종 전 당해년도 벼를 재배하여 생산된 벗짚을 0, 2.5, 5 ton ha⁻¹의 3 수준으로 약 5 cm 길이로 잘게 잘라 토양에 환원하고 청보리를 200 kg ha⁻¹의 파종량으로 산파하였다. 청보리 재배시 사용된 비료의 양은 계화도 간척지의 표준 시비량 (N-P₂O₅-K₂O, 150-100-100 kg ha⁻¹)을 기준으로 질소는 기비 대 추비를 50:50으로 나누어 분시 하였으며, 인산과 칼리는 전량 기비로 사용하였고 비중은 요소, 용과린, 염화칼륨을 각각 사용하였다. 시험에 사용된 벼 품종은 청호벼로 청보리를 수확한 후 2011년 6월 1일에 재식 거리 30×12 cm로 기계 이앙 하였으며 벗짚 0, 2.5, 5 ton kg ha⁻¹로 각각의 처리구별로 질소 시비량을 표준시비량 (200 kg ha⁻¹)을 기준으로 하여 0, 100, 200, 400 kg ha⁻¹ 수준으로 달리하여 처리하였다 (RDA, 1999). 질소는 요소비료를 사용하여 기비 40%, 분얼비 30%, 수비 30%로 3회 분시 하였으며, 인산은 용과린을 사용하여 전량 기비로, 칼리는 염화칼륨을 사용하여 기비 70%, 추비 30%로 2회 분시하였다.

시험 전후에 채취한 토양은 풍건 후 분석용 시료로 이용하였고, 토양 이화학특성은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 2000)에 준하여 분석하였다. pH와 EC 측정은 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 30분간 진탕한 후 pH meter (ORION, US/520A) 및 EC meter (OIRON, US/160)를 이용해 초자전극 및 전기 전도도법으로 측정하였고, 토양 총 탄소측정은 건식연소법 (dry combustion)으로 800~1,000°C에서 토양 중 탄소를 연소시켜 발생하는 이산화탄소를 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 측정하였다. 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc (pH 7.0)로 추출한 후 추출한 액을 ICP-OES (Varian, Vista MPX-ICP)를 사용하여 정량 분석하였다 (RDA, 2000). 수확기 건물중은 경엽과 이삭 부분으로 나누어 조사하였다. 수확기에 식물체 시료를 채취하여 70°C 항온건조기에서 72시간 동안 건조 후 40 mesh로 분쇄한 시료를 습식 분해 (H₂O₂-H₂SO₄)하였다. 분해액을 여지에 여과하여 여액을 K, Ca, Mg, 및 Na 등의 정량에 사용하였다. 지상부의 질소 흡수량은 수확기의 벼 종실과 벗짚을 분리하여 무기성분을 분석하여 정조중과 벗짚 중에 곱한 값을 사용하였다. 벼의 단백질 함량은 질소함량을 분석 후 질소 보정계수 (5.95)를 곱하여 단백질 함량을 환산하였다 (RDA, 2012). 식물체 생육 및 수량조사는 농촌진흥청 농업과학기술 연구조사기준에 준하여 조사하였다 (RDA, 2012).

본 실험결과와 자료 분석은 JMP 통계분석 프로그램((SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 으로 분산분석 (ANOVA test)

을 실시한 후 최소유의차검정 (Least Significant Difference: LSD)으로 평균간의 유의성 (P<0.05)을 검정하였다.

Results and Discussion

벼의 생육특성 Table 2는 청보리 후작으로 재배한 벼의 생육과 수량을 나타낸 것으로 벼의 생육은 벗짚의 사용에 의한 차이를 보이지 않았으나 질소 시비량이 증가할수록 건물중, 초장, 분얼수, 수확량은 유의성이 있는 것으로 나타났다. Lim et al. (1997)은 월동 후 보리 절간신장기의 벗짚 부숙률은 16~31% 범위라고 하였으며 토양에 투입된 벗짚의 부숙을 촉진하기 위해 질소비료를 표준량보다 증비하면 벗짚 분해율을 2~6.9%까지 높일 수 있다고 하였다. 또한 Lee et al. (2004)은 벗짚 처리시 경운처리가 벗짚의 분해를 촉진시킨다고 보고하였는데, 본 시험에서는 벗짚환원 후 청보리 재배를 위해 투입된 질소비료와 경운작업으로 벗짚이 청보리 재배기간 중 대부분 분해되어 벼 재배기간까지 영향을 미치지 못한 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 밀-벼 작부체계에서 벗짚사용이 밀 후작으로 재배한 벼의 생육에 영향을 미치지 못했다는 결과와도 일치한다 (Yadvinder-Singh et al., 2004).

간척지 논토양에서 벗짚처리량 및 질소시비수준에 따른 벼의 수확기 질소흡수량 변화는 Fig. 1과 같다. 벗짚처리량에 따른 수확기 벼의 질소흡수량은 65.8-69.2 kg ha⁻¹로 벗짚처리량에 따른 차이를 나타내지 못하였다. 그러나 질소 시비수준에 따른 수확기 벼의 질소흡수량은 질소시비량에 따라 질소 흡수량이 증가하여 N 400 kg ha⁻¹ 처리구에서 82 kg ha⁻¹을 나타내 질소 무처리구의 44.2 kg ha⁻¹ 보다 37.8 kg ha⁻¹ 증가하였다. 벗짚 처리에 따른 청보리 후작 벼의 질소 이용율은 차이가 없었지만, 질소 시비량이 증가할수록 질소 이용율은 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 암모니아의 휘발 (volatilization)과 탈질 (denitrification) 작용에 의한 질소의 손실이 컸기 때문인 것으로 판단된다. Park et al. (2007)의 연구에 의하면 보리 후작 벼 재배에서의 보릿짚과 보리재배에서 벗짚을 토양에 환원한 경우 토양 개량효과는 장기적인 연용에 의해 나타나며, 단기간에 나타나지 않아 가시적인 효과가 뚜렷하지 않다고 보고하였다. 본 시험의 경우에서도 단기간 벗짚처리가 벼의 생육 및 수량에 미치는 가시적인 효과는 나타나지 않았으나 유기물 함량이 매우 낮은 간척지 논 토양에서 유기물 함량 증가 및 토양 이화학성 개선을 위하여 장기적으로 벗짚을 환원하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

토양 특성 변화 간척지 논토양에서 벗짚 0, 2.5, 5 ton ha⁻¹ 수준으로 환원하고 청보리와 벼를 재배 후 토양의 화학적 특성은 Table 3와 같다. 청보리 재배 후 토양특성은 벗

Table 2. Growth characteristics of rice in accordance with rice straw application and nitrogen fertilization at harvesting stage in reclaimed tidal paddy field.

Rice straw (Mg ha ⁻¹)	N levels (kg ha ⁻¹)	Plant height (cm)	No. of panicle per hill (ea.)	1,000-grain Weight (g)	Rice yield (kg ha ⁻¹)
0	0	88.0	13.4	23.0	3,780
	100	100.3	15.6	22.2	5,053
	200	106.3	17.6	21.5	5,657
	400	113.7	15.0	22.1	4,970
2.5	0	90.3	14.9	22.7	4,413
	100	106.3	16.4	22.7	5,160
	200	108.7	18.7	22.2	5,330
	400	114.0	16.6	21.4	5,133
5.0	0	88.3	16.3	22.6	3,837
	100	104.3	16.5	22.5	5,080
	200	113.0	16.5	22.0	5,577
	400	115.7	16.7	22.6	4,777
Rice Straw	0	102.1	15.4	22.2	4,865
	2.5	104.8	16.6	22.2	5,009
	5.0	105.3	16.5	22.4	4,818
	<i>p-value</i>	NS ^{††}	NS	NS	NS
N Level	0	88.9 c	14.9	22.7 a	4,010 c
	100	103.7 b	16.2	22.4 ab	5,098 b
	200	109.3 ab	17.6	21.9 b	5,521 a
	400	114.4 a	16.1	22.0 b	4,960 b
	<i>p-value</i>	***	NS	*	***
Interaction (RS x N)	<i>p-value</i>	NS	NS	NS	NS

RS, rice straw

Means followed by the same letter are not significantly different by ANOVA at the 5% level.

NS, *, **, *** Non-significant or significant at P ≤ 0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

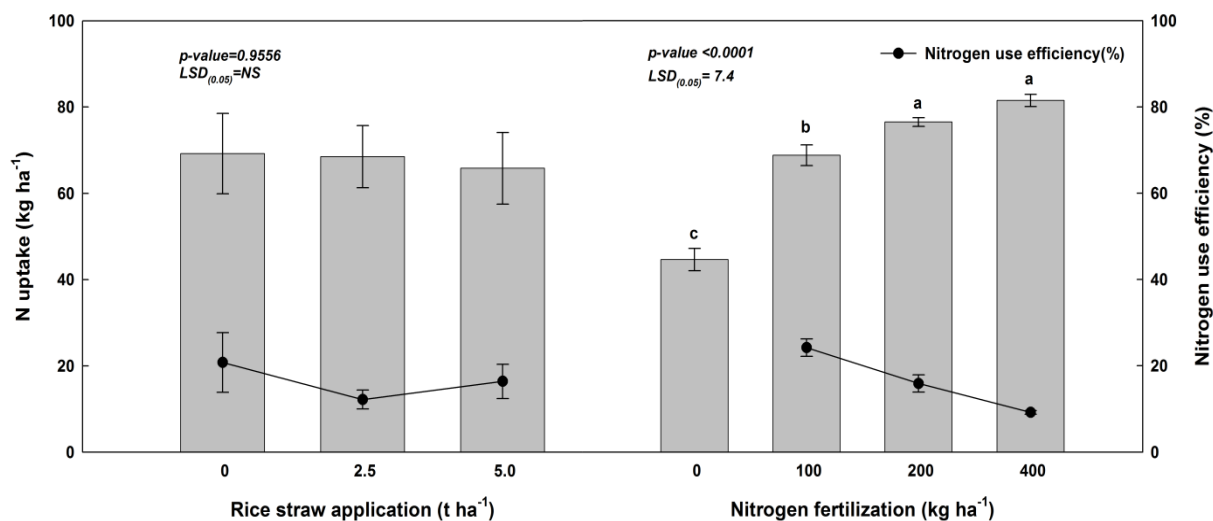


Fig. 1. Nitrogen uptake of rice in accordance with rice straw amendment and nitrogen fertilization in reclaimed tidal paddy field.

Table 3. Chemical properties of soils after forage barley and rice cultivation with rice straw application in reclaimed tidal paddy field.

Rice straw application (ton ha ⁻¹)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Avail.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	Na
----- After forage barley harvesting -----								
0	7.3	1.1	2.6	39	0.46	1.4	2.5	0.9
2.5	6.9	1.5	2.8	39	0.45	1.3	2.7	1.2
5.0	6.9	1.1	2.8	29	0.58	1.2	2.8	1.3
<i>p-value</i>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
----- After rice harvesting -----								
0	5.7	0.72	3.4	31	0.33b	1.2	2.0	0.7
2.5	5.8	0.62	3.2	33	0.34b	1.2	1.9	0.7
5.0	5.6	0.60	3.2	29	0.38a	1.2	1.9	0.7
<i>p-value</i>	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS	NS

Means followed by the same letter are not significantly different by ANOVA at the 5% level.

NS, *, **, *** Non-significant or significant at $P \leq 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

짚처리에 따른 유의성을 보이지 않았다. Huh et al. (1981)는 ha당 10 ton의 볏짚을 사용할 경우 증가되는 칼륨의 양은 0.49 cmol_c kg⁻¹으로 보고하였는데, 본 실험에서 청보리 재배 후의 치환성 K 함량은 볏짚 5.0 ton ha⁻¹ 처리구에서 0.58 cmol_c kg⁻¹로 볏짚 무처리구와 2.5 ton ha⁻¹ 처리구보다 약간 높았지만, 유의성은 없었다. 이와 같은 결과는 볏짚에서 방출된 K가 사양질 토양에서 벼 재배기간 동안 근권층 밖으로 용탈 되었을 것으로 판단된다. Yadvinder-Singh et al. (2004) 역시 사양질 토양에서 볏짚처리 후 밀-벼 재배 시 벼 재배기간 동안 볏짚에서 공급된 K가 근권층 밖으로 용탈될 가능성이 있다고 보고한 결과와 일치한다. 벼 재배 후 토양에 존재하는 치환성 K 함량은 볏짚 5.0 ton ha⁻¹ 처리구에서 0.38 cmol_c kg⁻¹로 볏짚 무처리구 0.33 cmol_c kg⁻¹에 비해 통계적 유의성을 나타내 볏짚처리에 의한 K의 공급효과를 확인할 수 있었다. 하지만, 볏짚 2.5 ton ha⁻¹ 처리구는 통계적으로 차이를 보이지 않아 볏짚처리에 의한 K의 공급효과는 5.0 ton ha⁻¹ 처리 이상에서 나타나는 것으로 판단된다. 벼 재배 후의 토양 중 K함량은 청보리 재배 후에 비해 감소하는 것으로 나타났다. 질소시비 수준에 따른 벼 재배 후의 치환성 K 함량의 차이는 통계적 유의성이 없었으며, 질소 시비량이 볏짚의 분해속도에 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 벼 재배 후 볏짚 처리량에 따른 토양의 EC값은 유의성은 없었으나 볏짚 2.5와 5 ton ha⁻¹ 처리구에서 각각 0.62와 0.60 dS m⁻¹로 무처리구의 0.72 dS m⁻¹보다 다소 감소하는 경향을 보였다. 이는 탄질비가 높은 유기물 자원 사용에 의한 토양 EC의 경감효과로 판단된다. 이와 같은 결과는 Lee et al. (2014)이 보고한 바와 같이 볏짚환원에 의한 토양내 대공극률의 형성과 강우에 의한 치환성 염

기의 용탈 등 다양한 요인에 의한 제염과 재염화 억제에 영향을 받아 볏짚사용이 사양질 간척지에서 토양 염농도를 낮추는데 영향을 미친 것으로 판단된다.

간척지에서 볏짚 사용량에 따른 청보리-벼 작부체계에 서 작물 재배 후 토양 유기물 함량 변화는 Fig. 2와 같다. 시험 후 토양 유기물 함량은 시험 전 토양유기물 함량인 2.3 g kg⁻¹에서 청보리 재배 후에는 2.6-2.8 g kg⁻¹, 벼 재배 후에는 3.2-3.4 g kg⁻¹으로 작물 재배 후 지속적으로 증가하는 경향을 나타냈다 (P -value < 0.0001, LSD_{0.05}=0.23). 이는 투입된 볏짚과 청보리 및 벼 수확 후 토양 내 잔존한 뿌리와 남아있는 지상부 잔사로 인해 유기물 함량이 증가한 것으로 생각되며 볏짚처리량 증가에 따른 청보리 재배 후 토양유기물은 볏짚처리량 증가에 의해 증가하였지만, 벼 재배 후 볏짚처리량의 증가에 따른 토양유기물 함량의 차이는 유의성을 나타내지 않았다. Sorensen (1981)과 Ladd et al. (1985)는 점질토보다 사질토에서 투입된 유기물의 분해가 더 빠르다고 하였으며 Jenkinson (1988)은 동일량의 유기물을 투입하였을 경우 점질토에서 보통 유기물 함량이 더 높게 나타난다고 하였다. 본 실험을 수행한 새만금 간척지는 유기물 함량이 매우 낮은 사양질 토양으로 논토양 적정 유기물 함량 범위인 25-30 g kg⁻¹ 수준에 도달하기 위해서는 볏짚의 장기적인 환원이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

적정 질소 시비량 Fig. 3은 청보리 후작 벼 재배 시 볏짚 처리량별 질소 시비에 따른 쌀 수량 및 단백질 함량과의 관계를 나타낸 것이다. 본 시험에서는 볏짚 처리량에 따른 벼 수확량은 유의성 (F -value=0.0924, p -value=0.9126)을 보이지 않았으며, 질소비료를 244 kg ha⁻¹까지 사용 시 벼

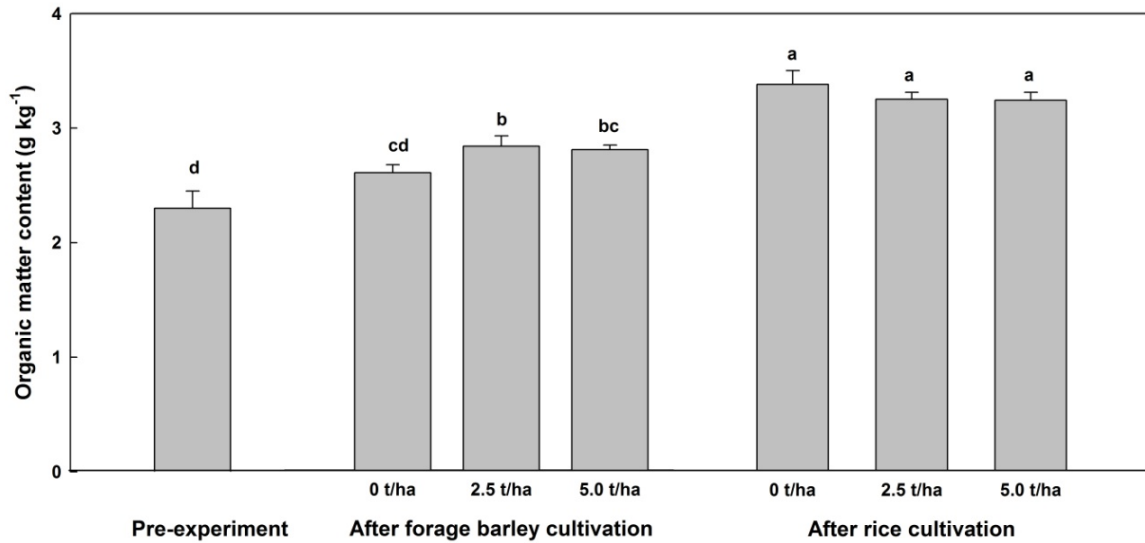


Fig. 2. Changes on soil organic matter contents in accordance with rice straw amendment in reclaimed tidal paddy field.

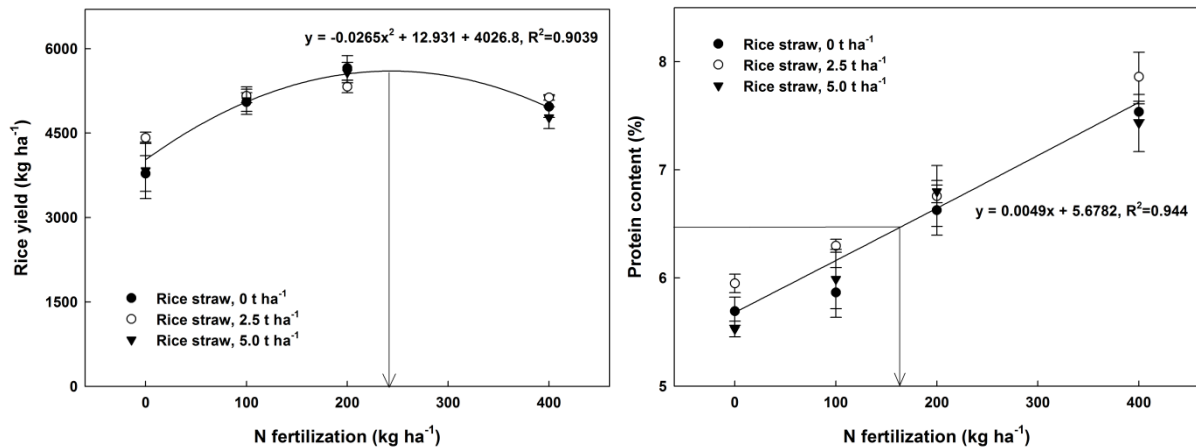


Fig. 3. Relationships between rice yield and nitrogen fertilization rate in reclaimed tidal paddy field.

의 수확량은 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다 (Fig. 3). 최대 벼 수확량은 질소 비료를 244 kg ha⁻¹ 시용할 경우 최대 수량 5,604 kg ha⁻¹를 얻는 것으로 나타났으며, 그 이상 시비할 경우 벼 수량이 감소하는 것으로 나타나 벼의 최대수량을 얻기 위해서는 질소비료 244 kg ha⁻¹를 시용해야 할 것으로 판단된다. 그러나, 소비자의 관심이 쌀의 품질을 중요시하기 시작하면서 쌀의 단백질 함량이 중요시되고 있다. 일반적으로 쌀의 단백질 함량은 벼의 품종, 기상환경 및 재배방법에 의해 영향을 받는데, 그 중에서도 질소비료 사용량과 높은 부의 상관관계가 있는 것으로 알려져 있다 (Heu et al., 1969). 본 실험에서도 쌀의 단백질 함량은 질소비료 사용량과 비례관계를 나타내고 있었으며 (Fig. 3), 고품질 벼의 기준인 6.5% 이하를 유지시키기 위해서는 168 kg ha⁻¹ 이하로 시용해야 할 것으로 판단된다. 이와 같은 결과는 간척지에서의 적정 벼 수량을 위한 질소 시비수준과 큰 차이를 보이지 않았다. 예를 들어, Choi et al. (2004)는 염농도가 0.1%를 유지하는 간척지 토양에서는 적정질소 시비량이

160 kg ha⁻¹로 나타났지만, 토양 염농도 0.3–0.4%에서는 질소 시비량 240 kg ha⁻¹까지 분얼수가 증가하고, 수량이 꾸준히 증가하는 결과를 나타냈다. 새만금 간척지 사양질 토양에서 질소 비료효과는 토양 염농도에 따라 다르게 나타나 염농도가 0.23% 이하에서는 150 kg ha⁻¹에서 최대 수량을 나타낸 반면, 염농도 0.35%에서는 225 kg ha⁻¹까지 수량이 증가하였다 (Lee et al., 2013). 본 시험의 결과를 종합해 볼 때 토양 염농도 0.1% 이하의 사양질 간척지 토양에 청보리 후작 벼 재배 시 최대수량 및 적정 단백질함량을 유지하기 위한 적정 질소비료 공급량은 168 kg ha⁻¹가 적정 수준인 것으로 판단된다.

Conclusion

본 연구는 새만금 간척지에서 청보리-벼 이모작 재배 시 벼싹원예에 따른 토양 특성변화와 청보리 후작 벼에 대한 작물생육을 조사하기 위하여 수행되었으며 결과를 요약하

면 다음과 같다.

1. 청보리 후작 벼 재배 후 토양의 화학적 특성은 벅짚 처리 구에서 무처리구보다 토양 염농도가 다소 낮아지는 경향을 보였지만, 질소처리량 수준에 따른 토양의 화학성 차이는 관찰되지 않았다.
2. 시험 전 토양의 유기물함량 2.3 g kg^{-1} 에 비해 청보리와 벼 재배 후 토양 유기물 함량이 $2.6 \sim 2.8 \text{ g kg}^{-1}$ 과 $3.2 \sim 3.5 \text{ g kg}^{-1}$ 로 각각 증가하였으나, 청보리 재배시 벅짚시용이 유기물함량을 증가시켰지만, 벼 재배시에는 벅짚처리량이 유기물함량 변화에는 영향을 미치지 못했다.
3. 벅짚 처리량에 따른 수확기 벼의 질소 흡수량은 $66 \sim 69 \text{ kg ha}^{-1}$ 로 벅짚처리량에 따른 질소흡수량 및 질소이용율은 유의성을 나타내지 않았다. 그러나 질소시비수준에 따른 수확기 벼의 질소 흡수량은 질소 시비량에 따라 질소 흡수량이 증가하여 $\text{N } 400 \text{ kg ha}^{-1}$ 처리구에서 82 kg ha^{-1} 까지 증가하여 질소 무처리구보다 37.8 kg ha^{-1} 증가하였으나 질소이용율은 질소시용량에 반비례하였다.
4. 벼의 수량은 벅짚처리에 의한 차이를 보이지 않았으며, 244 kg ha^{-1} 질소시비 수준까지 수량은 증가하다 그 이상 시용시 벼수량이 감소하였다. 벼의 단백질 함량은 질소시비로 시용량의 증가에 따라 비례적으로 증가하는 것으로 나타나 신간척지에서 벼의 단백질 함량을 6.5% 이하로 유지하기 위해서는 질소시비량을 168 kg ha^{-1} 이하로 시용해야 할 것으로 판단된다.

References

- Choi, W.Y., K.S. Lee, J.C. Ko, H.K. Park, S.S. Kim, B.K. Kim, and C.K. Kim. 2004. Nitrogen fertilizer management for improving rice quality under different salinity conditions in tidal reclaimed area. *Korean J. Crop Sci.* 49:194-198.
- Heu, M.H., C.Y. Lee, J.Y. Choe, and S.I. Kim. 1969. Variability of protein content in rice grown at several different environments. *Korean J. Crop Sci.* 7:79-84.
- Huh, B.L. and C.D. Lee. 1981. Effect of rice straw application on the tillering of paddy rice. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 14:146-156.
- Jang, B.C., H.G. Park, M.K. Choi, J.H. Lee and N.H. Back. 2003. Effect of silica application on rice yield and quality in lowland paddy field. *Korean J. Crop Sci.* 48:138-139.
- Jenkins D.S. 1988. Soil organic matter and its dynamics. In: Wild A. (ed) *Russell's Soil Conditions and Plant Growth*. 11th Edn, pp. 564-607. Longman, New York.
- Ladd J. N., M. Amato, and J. M. Oades 1985. Decomposition of plant material in Australian soils III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. *Australian J. Soil Research* 23: 603-611.
- Lee S.B., J.K. Kim, K.B. Lee, D.B. Lee, and J.D. Lee. 2004. Decomposition of rice straw in paddy soil as affected by application of liquid pig manure. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:104-108.
- Lee, K.B., J.K. Kang, K.D. Kee, G.H. Gil, J.H. Lee, and J.D. Kim. 2008. Soil physic-chemical properties of reclaimed land in southwestern Korea. *2008 Korean J. Soil Sci. Fert. Proc.* 9:143.
- Lee, C.K., J.H. Kim, M.K. Choi, K.S. Kwak, and J.C. Shin. 2010. Nitrogen application method for high quality and labor saving in rice production under amended standard N application level. *Korean J. Crop Sci.* 55:70-75.
- Lee, S., H.S. Bae, S.H. Lee, J.G. Kang, H.K. Kim, K.B. Lee, and K.H. Park. 2013. Effect of soil salinity levels on silage barley growth at Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 46:365-372.
- Lee, S.H., P. Shin, H.S. Bae, J.H. Lee, Y.Y. Oh, S. Lee, T.H. Lee, B.H. Song, J.Y. Cho, K.B. Lee, K.H. Lee and K.H. Park. 2014. Effect of rice straw application on yield of whole crop barley and changes in soil properties under upland condition in Saemangeum reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:586-593.
- Lim, S.G., J.T. Kim, B.J. Kim, S.P. Hong, D.Y. Shu, and W.S. Kim. 1997. Effects of rice straw application on barley growth and grain yield in paddy field. *J. Korean Soc. Crop Sci.* 42:49-55.
- MIFAFF (Ministry for Food Agriculture Forestry Fisheries). 2011. Other livestock statistics. MIFAFF, Gwacheon, Korea.
- Mills, H.A. and J.B. Jr. Jones. 1979. Nutrient deficiencies and toxicities in plants; nitrogen. *J. Plant Nutr.* 1:101-122.
- Oh, W.K. and S.K. Lee. 1971. Studies on the effect of compost and fresh rice straw on the paddy field. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 4:177-186.
- 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. Int. Agric.* 19:54-61.
- Ponnamperuma, F.N. 1984. Straw as source of nutrients for wetland rice. In *Organic matter and rice*. Eds. S. Barta and C.V. Mondeza. pp. 117-136. IRRI, Los Banos, Philippines
- RDA (Rural Development Administration). 1999. Fertilization standards in accordance with crops. RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2000. Method of soil and plant analysis. RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2012. Analysis standards for the research investigation of agricultural science and technology. RDA, Suwon, Korea.
- Sorensen L. H. 1981. Carbon-nitrogen relationships during the humification of cellulose in soils containing different amounts of clay. *Soil Biol. Biochem.* 13, 313-321.
- Takahashi, S., S. Uenosono, and S. Ono. 2003. Short-and long-term effects of rice straw application on nitrogen

- uptake by crops and nitrogen mineralization under flooded and upland conditions. *Plant Soil* 251:291-301.
- Yadvinder-Singh, Bijay-Singh, J.K. Ladha, C.S. Khind, and T.S. Khera. 2004. Effects of residue decomposition on productivity and soil fertility in rice-wheat rotation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:854-864.
- Yang, C.H., Kim, T.K., Ryu, J.H., Lee, S.B., Choi, Y.W., Kim, S., Back, N.H., Kim, S.J. and Hwang, H.G. 2009. Optimum fertilization management considered residual nitrogen fertilizer on rice cultivation after green barley in paddy field. 2009 Korean J. Soil Sci. Fert. Proc. 160.
- Yang, C.H., J.H. Jeong, T.K. Kim, S. Kim, N.H. Back, W.Y. Choi, Y.D. Kim, W.K. Jung and S.J. Kim. 2010. Effect of long-term annual dressing of organic matter on physico-chemical properties and nitrogen uptake in the paddy soil of fluvio-marine deposit. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:981-986
- Yoo, C.H., C.H. Yang, S.B. Lee, S.W. Kang, S.S. Han, and S.J. Kim. 2000. Effects of amount of nitrogen application on decomposition of barley straw and growth and yield of rice in paddy field of double cropping. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 33:167-174.
- Yoo, C.H., J.H. Jeong, and B.W. Sin. 2001. Effects of the successive application of organic matters on soil properties and rice yield. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 34:129-133.