

Effect of Sesbania Incorporation as Nitrogen Source on Growth and Yield of Whole Crop Barley and Reduction of N Fertilizer in Saemangeum Reclaimed Tidal Land

Su-Hwan Lee*, Hui-Su Bae, Yang-Yeol Oh, Sang-Hun Lee, Yeong-Joo Kim, Sun Kim, Jin-Hee Ryu, Kang-Ho Jung¹, Choong-Geun Lee, Jae-Hyeon Kim, Yeong-Doo Kim, Weon-Young Choi, Jae-Yeong Cho², Kyoung-Bo Lee, Keon-Hui Lee, and Ki-Do Park

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

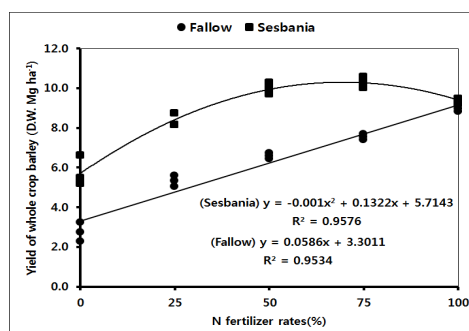
¹National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju, 24226, Korea

²Jeonbuk National University, JeonJu, 54896, Korea

(Received: November 8 2016, Revised: November 17 2016, Accepted: November 18 2016)

It is known that the poor soil fertility of newly reclaimed saline soils is due to the lack of organic matter and available mineral nutrients for crop production. The effect of green manuring with *Sesbania aculeata* in combination with five rates of urea-N treatments (N0, N25, N50, N75, N100) on the productivity of a subsequent whole-crop barley and the fertility of the reclaimed saline soil in Saemangeum was evaluated in the field during 2013-2014 growing season. Sesbania was grown during summer season (June to October). The amount of Sesbania incorporated was 16.2 Mg ha⁻¹. Sesbania contributed to 393 kg N ha⁻¹ to the soils when ploughed down and incorporated before whole-crop barley cultivated. The performances of whole-crop barley following sesbania incorporation were significantly affected by a combination of Sesbania manuring and different N rates. The N fertilizer equivalence without N fertilizer following Sesbania was 42.6% (63.9 kgN ha⁻¹), compared with N100 (150 kg N ha⁻¹) in fallow soils. The whole-crop barley yield responded to N fertilizer rates in both sesbania-amended and fallow soil. The yield response to nitrogen rates in fallow soil was linear ($Y=0.0586X+3.3011$, $R^2=0.9534$), whereas that in sesbania-amended soils was quadratic ($Y=-0.001X^2+0.1322X+5.7143$, $R^2=0.9576$). The yield of whole-crop barley in sesbania-amended with increasing N rates was increased up to SN75 (115 kgN) 10.3 Mg ha⁻¹. Apparent N recovery (ANR) of whole-crop barley showed decreased with sesbania plus increasing rates of N fertilizer. Despite higher yield with sesbania manuring plus increasing N rates, the contributions of N from Sesbania with increasing N rates to whole-crop barley were decreased, whereas those from fertilizer increment due to excessively mineralized Nitrogen. Considering yield, ANR, N contribution from Sesbania and nitrogen fertilizer, the optimum N rate was N50 rate following sesbania incorporation.

Key words: Green manuring, Sesbania, Saemangeum, Nitrogen



Response of whole-crop barley to N fertilizer rates following sesbania incorporation (actual N fertilizer rates to whole-crop barley were N0-N100 : 0, 37.5, 75.0, 112.5, 150 kg ha⁻¹).

*Corresponding author: Phone: +82632385316, Fax: +82632385505, E-mail: suhnlee@korea.kr

§Acknowledgement: This study was carried out with support by National Institute of Crop Science research project (PJ011276012016), Rural Development Administration, Republic of Korea

Introduction

우리나라의 국토는 가용 토지가 적고, 쌀을 비롯한 식량을 생산할 수 있는 우량농경지는 산업화, 도시화에 따른 타 용도 전용 등으로 매년 급속히 감소되고 있는 추세이다 (Kim et al., 2013). 우리나라의 간척지는 벼 생산 목적으로 조성되었는데, 이는 염농도가 낮은 관개수를 이용한 담수를 통해 염을 효과적으로 제거할 수 있으므로 밭으로 이용하는 것보다 토양관리가 상대적으로 쉽기 때문이다. 그러나 최근 간척지를 벼 생산 중심에서 탈피하여 경제성 있는 밭작물을 재배하여 복합영농이 가능하도록 하는 방안이 정부주도로 이루어지고 있다. 간척지는 낮은 유기물 함량과 양분불균형으로 인해 벼에 비하여 생산성이 낮아, 밭작물 재배시 추가적인 양분공급과 체계적인 토양의 질 개선방안이 필요하다 (Yang et al., 2012; Lee et al., 2014). 최근 조성된 새만금간척지는 전체 28,300 ha 육지부에서 30%인 8,570 ha를 농업용지로 사용할 계획이며, 이중 3,500 ha를 복합곡물단지로 개발할 계획이다. 조성초기 벼 재배를 지양하고, 국내 수입의존도가 높은 조사료를 생산하는 방안은 향후 국내 조사료 수급안정화에 크게 기여할 것으로 판단된다. 그러나 새만금간척지에서 대규모 복합곡물단지를 조성하기 위해서는 이를 뒷받침할 수 있는 재배환경조성이 필요하다. Hwang et al. (2012)는 새만금간척지의 토성은 대부분 미사질양토~사양토이고 점토함량은 5%이하로 매우 적은 편이며, 지하수위는 일반농지에 비하여 높고, 수직배수가 불량하며, 용적밀도는 $1.41\sim 1.48 \text{ Mg m}^{-3}$ 으로 높은 반면, 유기물은 $1.7\sim 8.8 \text{ g kg}^{-1}$ 으로 낮다고 하였다. 새만금간척지와 같은 신간척지는 동일 지구 내에서도 염농도 분포가 다양하며 종합적인 제염 및 재염화 방지기술이 필요하며, 토양유기물 함량이 10 g kg^{-1} 이하로 매우 낮아 균형적인 시비기술이 필요하다. 간척지와 같이 토양비옥도가 낮은 조건에서는 지속적인 풋거름작물 및 볏짚투입 등 선제적인 토양개량 대책이 요구된다. 이와 같이 영농조건이 불리한 간척농지를 대상으로 토양개량을 위한 풋거름자원 활용 및 효과구명 관한 기초연구가 일부 수행되었다. Lee et al. (2006)은 간척지 토성 및 염농도별 적응 녹비 선발 평가연구에서 제주재래피 (barnyard grass), 수수 × 수단그라스 교잡종 (sorghum × sudangrass hybrid), 세스바니아 (sesbania) 등을 추천하였고, Kang (2013)은 간척지에서 풋거름작물 연속환원을 통해 유기물 증진 ($1.2 \text{ g kg}^{-1} \text{ year}$) 효과를 구명하였으며, Sohn et al. (2009)은 화옹, 이원, 영산강 간척지구에서 풋거름작물의 현장생산성 평가를 수행하였고, Yang et al. (2012)은 동계풋거름작물 헤어리베치 토양환원을 통해 하계사료작물 재배시 토양개량 및 양분공급효과를 구명하였다. 풋거름작물 (Green manure crop)은 화학비료 대체 및 토양이화학적 개량을 위하여 작물의 생육 최성기에 토양에 환원하여 주는 자원식물이다. 풋거름작물을 활용한 연구는 곡물, 채소, 과

수 등에서 친환경 농산물 생산 및 토양침식방지 등 다양한 농업환경에서 적응성이 평가되었다. 그러나 간척지를 대상으로 한 풋거름작물 활용연구는 미흡한 실정이다. 간척지에 적응성이 높은 풋거름작물을 활용한 토양개량 및 밭작물 생산 기반구축은 장기적으로 간척지의 이용효율 제고를 위해서 반드시 필요한 과정이다. Lee et al. (2013)은 간척지와 같은 척박한 토양환경에서 적응성이 높은 풋거름작물로서 세스바니아를 추천하였다. 세스바니아 (Sesbania)는 가뭄, 침수, 염해토양 등 다양한 토양환경조건에 적응성이 높으며, 여름철에 매우 왕성한 생육과 높은 Biomass를 생성하는 일년생 과풋거름작물이다. 기후조건에 따라 상이하지만, 파종 후 50일 차에 약 20 Mg ha^{-1} (생체중), 질소함량은 2.3~3.2%, 200~250 kg N ha⁻¹의 질소를 공급할 수 있다 (Lim et al., 2005). 본 시험은 새만금간척지에서 하계 풋거름작물로서 세스바니아를 재배하여 토양환원 후 뒷작물로서 청보리 재배시 풋거름 환원에 의한 질소 양분공급 효과구명과 질소비료 절감을 위한 시비기준을 설정하여 간척지 친환경 조사료 생산기술 개발을 위한 기초자료를 얻고자 시험을 수행하였다.

Materials and Methods

시험장소 및 처리내용 본 시험은 전북 부안군 계화면 인근 새만금간척지 공유수면에 조성된 국립식량과학원 간척지시험연구포장 ($35^{\circ}46'N$ $126^{\circ}37'E$)에서 2013~2014년에 수행되었다. 시험포장은 하해혼성충적토에서 발달한 점토함량이 10% 미만인 사양질 토양이었으며, 토양통은 문포통 (coarse loamy, mixed nonacid, Mesic, Fluvaquents)이다. 시험장소의 토양특성은 Table 2와 같다. pH는 7.3, EC 0.52 dS m^{-1} 유기물 3.7 g kg^{-1} , 유효인산 93 mg kg^{-1} , 치환성 양이온 K, Ca, Mg, Na는 0.66, 1.5, 2.6 0.9 cmolc kg⁻¹이었다. 일반농경지 토양에 비해 유기물과 치환성 Ca함량이 현저히 낮은 반면, K, Na 함량은 높은 간척지 토양의 특성을 나타내고 있었다. Table 1은 세스바니아와 사료맥류 청보리의 일반적인 재배법을 나타낸 것이다. 풋거름작물로 사용된 세스바니아 (*Sesbania grandiflora*)는 2013년 6월 5일에 산파하여 10월 15일까지 재배하였고, 파종량은 40 kg ha^{-1} 이었다. 세스바니아 토양 환원은 청보리 파종 5일 전인 2013년 10월 15일에 트랙터를 이용하여 경운하였다. 환원된 세스바니아의 질소공급량을 측정하기 위하여 3반복으로 1 m^2 의 세스바니아의 지상부를 예취하여 생초량을 측정 후, 72시간 건조 후 무게를 측정하여 ha당 무게로 환산하였으며, 일부는 분쇄하여 질소 분석을 실시하여 토양에 환원된 질소공급량을 계산하였다 (Eq. 1). 청보리 (영양) 파종량은 220 kg ha^{-1} 이었다. 청보리 시비량은 $N-P_2O_5-K_2O = 150-100-100 \text{ kg ha}^{-1}$ 이었으며, 질소 (요소)는 기비로 50%, 월동 후 재생기에 50%를 2회분시 하였다. 인산 (용과린)과 칼리 (염화칼리)는 전량기비 하였다.

Table 1. Details of treatments and agronomic practices.

Particulars	Details					
Treatment						
(a) Green manure (main-plot)	Fallow ([†] FN)		Sesbania ([‡] SN)			
(b) N rates	%	[§] N0	N25	N50	N75	N100
(sub-plot)	kg N ha ⁻¹	-	37.5	75.0	112.5	150
Fertilization for whole-crop barley	N-P-K : 150-100-100 kg ha ⁻¹					
Treatment combinations	a×b = 2×5 = 10					
Replications	3					
Agronomic practices	Sesbania : seeding 40 kg ha ⁻¹ , June 5 th 2013					
	incorporation, October 15 th 2013					
	Whole crop barley: Yeongyang cultivar seeding: 220 kg ha ⁻¹ , October 20 th 2013 harvest : May 25 th 2014					

[†]FN means nitrogen fertilization applied following fallow period,

[‡]SN means nitrogen rates applied following Sesbania incorporation

[§]N 0-100 indicates the level of nitrogen fertilization rate

Table 2. Soil chemical properties of study field before experiment.

Soil texture	pH	[§] EC	[¶] OM	Av.P ₂ O ₅	Ex. cations (cmol kg ⁻¹)			
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na
Silt loamy	7.3	0.52	3.7	93	0.66	1.5	2.6	0.9

[§]EC: Electrical conductivity. [¶]OM Organic Matter

분석 및 생육조사 시험전, 후의 토양시료는 각 처리구에서 0~20 cm 깊이에서 채취하여, 음지에서 풍건 후 잘게 부수어 2 mm 표준체를 통과한 시료를 토양 및 식물체 분석법에 준하여 분석하였다 (NIAS, 2000). 토양 pH와 EC측정은 증류수와 시료비율을 1:5 (w:w)로 하여 30분간 진탕 후 pH-EC meter (ORION, US/520A, USA)를 이용하여 초자전극법으로 측정하였고, 토양 유기탄소측정은 건식연소법으로 900°C에서 토양 중 탄소를 연소시켜 발생하는 이산화탄소를 CN automatic analyzer (Elementar analysen systeme, US/Vario max, USA)를 이용하여 분석한 후에 총탄소 (T-C)값에 탄소계수 1.724를 곱하여 토양유기물 값으로 산정하였다. 유효인산은 Lancaster법으로, 치환성 양이온은 1N-NH₄OAc (pH7.0)로 침출한 후에 ICP-OES (Varian, Vista MPX-ICP, USA)를 사용하여 정량분석 하였다. 청보리 생체수량은 1 m²의 청보리를 3반복으로 예취하여 ha당으로 환산하여 계산하였다. 건물수량은 각 처리구별로 약 1 kg의 시료를 취하여 생초중량을 칭량하고 70°C의 열풍순환 건조기에서 72시간 이상 건조한 후 건물함량을 산출한 다음 ha당 수량으로 환산하였으며, 생육조사 등은 농업과학기술 연구조사 분석기준에 준하여 실시하였다 (RDA, 2012). 식물체 질소는 CN automatic analyzer (Elementar analysen systeme, US/Vario max, USA)를 이용하여 정량하였다. 분쇄된 시료를 H₂O₂-H₂SO₄로 습식 분해하여 무기성분 분석에 활용하였다. 인산은 Ammonium

vanadate법으로 비색정량하였고, 칼륨, 마그네슘, 칼슘, 나트륨 무기성분은 ICP-OES (Varian, Vista MPX-ICP, USA)로 측정하였다. 풋거름작물과 질소비료 공급에 의한 청보리의 질소흡수, 질소이용율 및 상대적기여도 산출을 위해 다음과 같은 관계식을 활용하였다 (Sharma and Behera, 2009).

$$\text{질소흡수량} (kg ha^{-1}) = \text{청보리 질소함량} (\%) \times \text{청보리 수량} (\text{건중}, Mg ha^{-1}) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{겉보기 질소이용율} (\%) = \frac{N \text{ 시비구 질소흡수량} (kg ha^{-1}) - N \text{ 무비구 질소흡수량} (kg ha^{-1})}{N \text{ 시비량} (kg ha^{-1})} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{상대적 질소기여도} [\%, (\text{세스바니아})] = \frac{\text{총 질소흡수량} [kg ha^{-1}, (\text{세스바니아} + \text{질소시비}(\%))] - \text{질소흡수량} [kg ha^{-1}, \text{질소시비}(\%)]}{\text{총 질소흡수량} [kg ha^{-1}, (\text{세스바니아} + \text{질소시비}(\%))]} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{상대적 질소기여도} [\%, (\text{질소비료})] = \frac{\text{총 질소흡수량} [kg ha^{-1}, \text{질소시비}(\%)] - \text{질소흡수량} [kg ha^{-1}, \text{질소무비}]}{\text{총 질소흡수량} [kg ha^{-1}, \text{질소시비}(\%)]} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\text{상대적 질소기여도} [\%, (\text{토양})] = 100 - [\text{상대적 질소기여도} (\text{세스바니아}, \%) + \text{상대적 질소기여도} (\text{질소비료}, \%)] \quad (\text{Eq. 5})$$

통계처리 통계분석은 SAS 9.2버전을 이용하여 ANOVA (Analysis of Variance)를 분석하였으며, 처리별 청보리 수량, 토양 이화학적 특성은 LSD (Least Significant Difference) 값을 95% 수준에서 구하고 평균값을 비교하였다.

Results and Discussion

뜻거름 바이오매스 및 질소공급 Table 3은 휴한기 동안 새만금간척지에서 재배된 콩과뜻거름작물 세스바니아의 건물생산량 및 양분공급량을 나타낸 것이다. 세스바니아의 건물수량은 16.2 Mg ha⁻¹, 질소함량은 2.38%, C/N ratio 19.4 이었고, 세스바니아에 의하여 공급된 질소는 385 kg ha⁻¹, 인산 65 kg ha⁻¹, 칼리는 264 kg ha⁻¹이었다. 뜻거름작물의 질소는 토양에 환원되어 분해될 때 미생물에 의하여 양분이용 및 분해과정을 거쳐 작물 질소공급원으로 이용된다. 탄질율은 뜻거름 이용시 분해정도를 알려주는 지표로 탄질율 (C/N ratio)이 25미만이면 토양에 환원되어 쉽게 분해가 이루어진다 (Alison, 1996). Sohn et al. (2009)은 여러 간척지구에서 수행된 연구결과를 토대로, 세스바니아의 수량 (건물)은 토양 염농도별로 생육에 영향을 받는다고 하였고, 화용, 이원, 영산강간척지에서 세스바니아는 토양염농도 7.0 dS m⁻¹ 수준에서 6.0 Mg ha⁻¹을, 토양염농도를 1.0 dS m⁻¹ 이하로 유지하였을 때 최대 17.68 Mg ha⁻¹까지 건물생산이 가능할 것으로 추정되었다 새만금간척지에서 세스바니아는 8.7~11.8 Mg ha⁻¹ 건물생산, 질소함량은 1.92%, 질소공급량은 275 kg N ha⁻¹라

고 보고된 바가 있다 (Kang et al., 2014). 당해연도 16.2 Mg ha⁻¹은 기존 보고된 새만금간척지에서 생산된 수량을 상회하였는데, 이는 생육기간 동안의 강우 및 토양염농도 변이 등 생육환경 차이로 생각된다. Lee et al. (2012)은 새만금간척지는 수리전도도가 25.17 cm day⁻¹로 양호하여 화용, 영산강간척지에 비하여 수직배수에 따른 제염이 유리하다고 하였고, Kang et al. (2014)은 생육기간 동안 강우가 충분하여 습윤한 생육조건을 보인 작기의 녹비 생육이 양호하였다고 하였는데, Fig. 1에서 보는 바와 같이 2013년 6~7월의 강수량이 평년 (30년)대비 20%가량 증가하여 제염을 촉진함과 동시에 초기생육에 충분한 관수를 공급하여 세스바니아 입모을 증진 및 생육에 유리한 조건이 조성되었기 때문으로 판단된다.

청보리 생육 및 수량 Table 4는 청보리 재배 전 세스바니아 토양환원 (SN) 및 휴경 (Fallow)기로 방치된 처리구 (FN)에서 질소절감 시비수준에 따른 청보리 생육 및 수량을 나타낸 것이다. 세스바니아 토양환원에 의한 청보리 생육증진 효과는 생육초·중기부터 나타났다. 청보리 재배 전 세스바니아 토양환원 후 질소시비구 (SN)에서 경수는 5.36~5.64×10² m⁻¹ (평균 5.47×10² m⁻¹), 청보리 재배 전 휴경처리한 질소시비구 (FN)에서 경수는 2.63~4.57×10² m⁻¹ (평균 3.98×10² m⁻¹)으로 조사되어, 세스바니아 토양환원시 경수가 휴경 후 재배된 처리에 비해 37%가량 유의적으로 증가하였다. 휴경 후 질소시비구에서 경수는 질소 시비수준과 비례하여 유의적으로 증가하는 양상을 보여 FN100에서 가장 많았고, 세스바니아 토양환원구에서는 질소시비 수준에 따른 차이가 나타나지 않았다. 수확기 생육을 살펴보면 초장은 FN0에서 76.2 cm로 가장 작았고, SN100에서 107.7 cm로 가장 크게 조사되었다. 초장은 세스바니아 환원구, 휴경구 모두 질소시비수준에 따라 증가하였다. 청보리 수량은 세스바니아 환원과 질소시비 수준에 따라 유의적으로 증가하였다. 세스바니아 토양환원에 따른 질소가용화와 추가로 공급된 질소비료는 초장과 경수 등 청보리 수량구성요소 향상에 유리한 영향을 미치는 것으로 나타났다. Fig. 2는 세스바니아 토양환원 및 휴경처리 시 질소시비수준에 따른 수량반응을 나타낸 것이다. 뜻거름작물 토양환원과 질소시비에 따른 상호작용은 청보리 수량 증가에 유의적인 영향을 끼쳤다. 세스바니아 토양환원 후 질소시비에 따른 건물수량 (Mg ha⁻¹)은 SN75까지는 증가하는 2차 회귀곡선 [Y = -0.001x² + 0.1322x + 5.7143 (R²=0.9576)] 반응을 보였는데 반해, 휴경 후 질소시비구에서의 건물수량

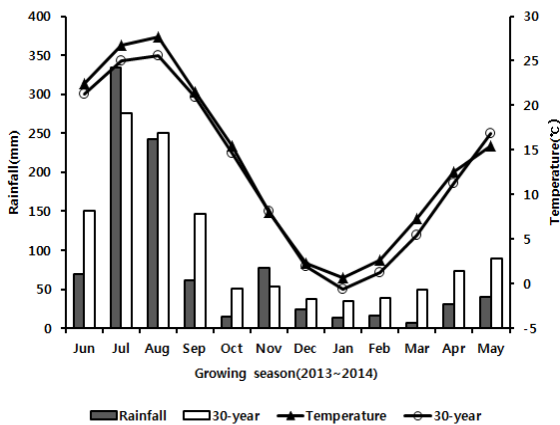


Fig. 1. Weather data (rainfall and air temperature) of growing season (2013-204).

Table 3. Biomass production and Nitrogen supply of Sesbania (based on dry matter).

Green manure	Biomass (D.M Mg ha ⁻¹)	Nutrient content (D.M, g kg ⁻¹)					C/N
		N	P	K	Ca	Mg	
Sesbania	1,619	23.8	4.0	16.3	5.4	2.2	19.4

D.M : Dry Matter

Table 4. Effect of sesbania incorporation and nitrogen fertilizer rates on growth characteristics and productivity of whole-crop barley.

Treatment		Plant height	No. of tiller	Yield (Mg ha ⁻¹)		Yield index
GM	N rate (%)	(cm)	102 m ⁻¹	[§] F.W	[↓] D.W	(D.W)
Fallow (F)	0	76.2d	2.63c	8.5e	2.7e	30
	25	91.2c	4.04b	19.0d	5.3d	60
	50	97.4b	4.31ab	23.5c	6.6c	74
	75	103.5a	4.34ab	26.5b	7.5b	84
	100	106.7a	4.57a	31.5a	8.9a	100
	Mean		95.0B	3.98B	21.8	6.2
Sesbania (S)	0	97.9b	5.36a	20.0d	5.8d	65
	25	103.5ab	5.48a	28.7c	8.3c	93
	50	105.9a	5.49a	34.0b	10.0a	112
	75	107.3a	5.64a	37.0a	10.3a	116
	100	107.7a	5.40a	36.7a	9.4b	106
	Mean		104.6A	5.47A	31.3A	8.8A
S		**	**	**	**	-
N		<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	-
S×N		**	**	**	**	-

Values within the same column with the same letters were not significantly at different at 95% level

a-d, A-B mean values with different letters were significantly different at 95% level

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

[§]F.W: Fresh Weight

[↓]D.W: Dry weight

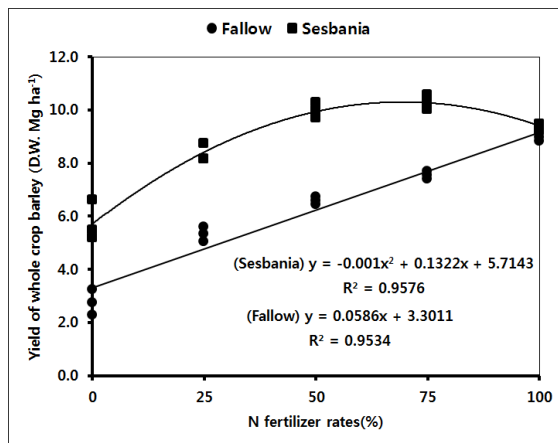


Fig. 2. Response of whole-crop barley to N fertilizer rates following sesbania incorporation (actual N fertilizer rates to whole-crop barley were N0-N100 : 0, 37.5, 75.0, 112.5, 150 kg ha⁻¹).

(Mg ha⁻¹)은 직선적으로 수량이 증가하는 양상을 보였다 [Y = 0.0586x + 3.3011, (R²=0.9534)]. Yang et al. (2012)은 새만금간척지에서 청보리의 건물수량은 8.73 Mg ha⁻¹이라 보고

하였다. 생초수량은 청보리 재배 전 세스바니아 토양환원 처리구와 휴경 처리구 모두 질소시비량이 증가할수록 유의적으로 증가하였으나, 건물수량은 휴경 후 질소시비구에서 직선적으로 증가하였고, 세스바니아 토양환원 처리구에서는 SN75까지 증가하였으나, SN100에서는 감소하는 경향이였다. 세스바니아 토양환원 후 생산성 향상은 SN25-SN50에서 크게 나타났으며, 세스바니아 환원에 의한 질소비료 공급효과는 FN100와 비교하였을 때 42.6% (63.9 kg N ha⁻¹)이었다. 또한 세스바니아 토양환원 후 질소시비 N35 (52.5 kg N ha⁻¹)를 증비하였을 때, FN100 수량과 대등하였다. 최대수량을 나타낸 처리구 SN75이었으나 SN50과 비교시 유의적인 차이가 없어, 최대생산을 위한 질소시비수준은 SN50이 적합할 것으로 판단되었다(Table 4). 세스바니아의 질소 공급효과가 우수하여 간척지에서 세스바니아를 풋거름작물로 이용할 때는 질소비료를 50%까지 절감할 수 있었다. 향후 지력증진과 농업경영비 절감에 유의할 것으로 판단된다. Yun (1998)은 트리티케일 재배시 질소시비량의 증가에 따라 건물물이 증가한다고 하였고, Song et al. (2010)은 유색보리와 호밀 재배시 질소시비량이 증가하면 출수기가 지연되고, 건물물이 감

소한다고 보고하였다. 이는 맥종별로 재배환경에 따라 질소 시비반응의 차이가 있는 것으로 판단되는데, 본 시험에서도 Table 5의 식물체 무기성분에서 제시된 바와 같이 SN100처리구의 청보리의 질소함량이 높았는데, 이는 과잉 공급된 질소로 인하여 영양생장기가 지속되어 숙기가 지연되고, 건물률이 줄어 수량감소를 초래한 것으로 판단된다. Lee et al. (2005)은 고령지 배추 재배시 헤어리베치 환원만으로 관행 표준시비구 대비 67~78% 수량 확보가 가능하다는 결과를 얻었으며 풋거름의 질소대체 효과를 구명하였고, 관행 표준시비 이상의 생산성 확보를 위해서는 풋거름과 화학비료 절감 시비 병용이 필요함을 시사하였다.

질소이용효율 및 상대적 질소기여도 Table 5는 세스바니아 토양환원 및 휴경 후 질소시비수준에 따른 식물체 무기성분 함량을 나타낸 것이다. 질소함량은 세스바니아 토양환원 유무와 질소시비 수준에 따라 뚜렷한 차이가 나타났다. 질소함량은 세스바니아 토양환원구에서는 0.83~1.35%, 휴경구에서는 0.55~1.15%로 질소시비량이 증가할수록 청보리의 질소함량은 증가하였다. 인산은 휴경구에서는 0.06~0.08%, 세스바니아 환원구에서는 0.08~0.11%로 세스바니아 토양환원 시 인산함량이 약간 증가하였다. 칼륨은 휴경구에서는 1.09~1.74%, 세스바니아 토양 환원구에서는 1.20~1.81%, 나트륨

은 휴경구에서는 0.25~0.56%, 풋거름작물 환원구에서는 0.34~0.80%이었으며, 질소시비수준이 증가할수록 칼륨과 나트륨의 함량은 증가하였다. 칼슘과 마그네슘 함량은 처리 간에 차이를 보이지 않았다. 풋거름작물과 같은 유기자원의 분해에 의한 질소성분의 용출은 여러 환경여건에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. C/N율 25미만의 유기자원의 토양환원은 빠른 질소무기화가 가능한데, 이러한 무기화는 고온 또는 적절한 토양수분에 의해서 가속화가 가능하다 (Fillery, 2001). Fig. 1에서와 같이 2014년 2~5월까지의 기온이 평년대비 높았던 재배환경은 환원된 세스바니아 잔사의 분해 및 질소무기화에 촉진에 유리한 영향을 준 것으로 판단된다. 그러나 SN100에서와 같이 지속적인 질소양분의 공급은 뒷작물의 영양생장지속과 황숙기 지연으로 건물축적에 부정적인 영향을 준다는 점을 고려하였을 때, 식물체의 질소함량수준은 시비 관리 및 수확기 결정에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. Ridder and Keulen (1990)은 질소공급 외에 풋거름자원은 작물생육에 유익한 영향을 줄 뿐만 아니라, 다른 무기양분의 가용화를 촉진시킬 수 있다고 하였다. Fig. 3은 풋거름작물 환원과 질소시비수준에 따른 겉보기 질소이용효율을 나타낸 것이다. 세스바니아 토양환원 없이 시비된 질소의 이용효율은 N25, N50, N75, N100에서 각각 74.3%, 57.6%, 49.8%, 57.4%이었다. 그러나 세스바니아 토양환원 후 질소시

Table 5. Effect of sesbania incorporation and nitrogen fertilizer rates on nutrient content of whole-crop barley.

Treatment		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
GM	N rate (%)	----- (%) -----					
Fallow (F)	0	0.55e	0.08a	1.09b	0.08c	0.14a	0.38c
	25	0.75d	0.08a	1.11b	0.10ab	0.16a	0.25d
	50	0.85c	0.07a	1.15b	0.12a	0.14a	0.41c
	75	0.96b	0.06a	1.54a	0.09b	0.14a	0.56a
	100	1.15a	0.07a	1.74a	0.12a	0.16a	0.48b
Mean		0.85A	0.07B	1.32B	0.10A	0.15B	0.42B
Sesbania (S)	0	0.83d	0.11a	1.20d	0.09a	0.19a	0.34b
	25	0.95c	0.11a	1.35d	0.11a	0.18a	0.44b
	50	1.03bc	0.09a	1.56c	0.11a	0.16b	0.58ab
	75	1.14b	0.08a	1.74b	0.10a	0.14b	0.80a
	100	1.35a	0.08a	1.81a	0.12a	0.16b	0.65ab
Mean		1.05B	0.10A	1.53A	0.11A	0.17A	0.57A
		**	**	**	ns	**	**
S		<.0001	0.043	0.0001	0.4470	0.0003	0.0058
		**	ns	**	**	**	**
N		<.0001	0.3643	<.0001	0.0193	0.0017	0.0011
		ns	ns	ns	ns	**	ns
S×N		0.4498	0.8366	0.1408	0.6965	0.0093	0.4038

Values within the same column with the same letters were not significantly at different at 95% level

a-d, A-B mean values with different letters were significantly different at 95% level

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

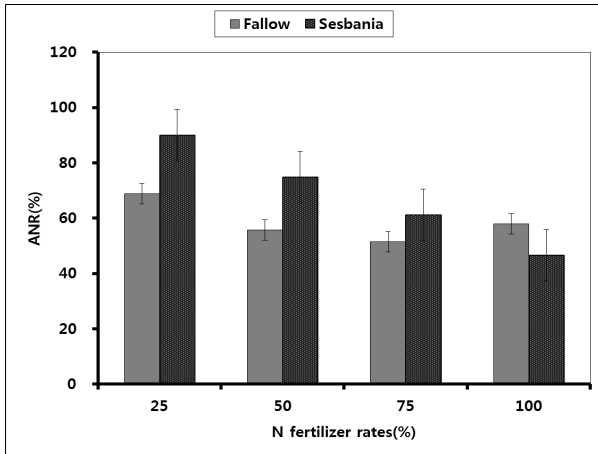


Fig. 3. Comparison of apparent nitrogen recovery by whole-crop barley cultivated in sesbania-amended and fallow soils
 *ANR (%) Apparent Nitrogen Recovery (%)

비 수준을 달리하였을 때, 이용효율은 N25, N50, N75, N100으로 N75 시비수준까지는 세스바니아를 토양 환원한 처리구의 질소이용효율이 증가하였으나 N100에서는 휴경구 보다 낮아졌다. 휴경구보다 풋거름 토양환원 후 질소시비수준을 증가시켰을 때 질소이용효율이 낮아진 것은 재배기간 동안 용탈과 유거 등으로 인해 상당량의 질소양분 손실과 작물별 질소 요구에 부합하지 못한 시비관리라 보고된 바 있다 (Cassman et al., 2002). 그러나 본 연구가 수행된 기간 동안의 기상자료를 살펴보면 양분유실에 큰 영향을 끼치는 것으로 알려진 강우량이 평년보다 적었던 관계로 유실에 의한 영향보다는 청보리 생육기에 질소과다 공급에 의한 영양생장 지속 및 황숙기 지연으로 인한 건물축적량 부족으로 질소흡수량 축적에 부정적인 영향을 미친 것으로 판단된다. 또한 세스바니아 토양환원구의 식물체 질소함량이 FN100다 높은 점으로 미루어 볼 때, 외부로부터 공급된 질소성분의 상당량이 토양에 잔류하고 있을 것으로 판단된다. Sharma and Behera (2009)는 풋거름작물 토양환원 후 옥수수+밀을 연속재배하였을 때, 휴경구 재배보다 풋거름 토양환원구에서의 잔류성 질소 (Residual Nitrogen)의 이용효율이 높았다고 하였고, Lim et al. (2012)는 시설재배환경에서 세스바니아 토양환원+질소 50% 시비 처리 후 상추와 양배추 연속 재배시 수량성이 관행질소 시비구의 수량보다 양호하다고 보고하였다. 이는 유기질소의 점진적인 무기화가 지속됨을 시사하는 바이다. 간척지에서도 양분공급 가능한 풋거름녹비 자원을 활용한 발작물 연속재배 작부체계에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다. Fig. 4는 풋거름작물 환원 유무와 질소시비 수준에 따른 상대적 질소기여도를 나타낸 것이다. 별도의 질소공급이 없었던 휴경의 FN0의 질소흡수량은 토양으로부터 공급된 것이다. 휴경구에서는 질소시비량이 증가할수록 토양으로부터 공급되는 질소의 상대적 기여도가 감소하고, 질소비료의 상대적 기여도가 증가하여 FN25, FN50, FN75, FN100에서 각

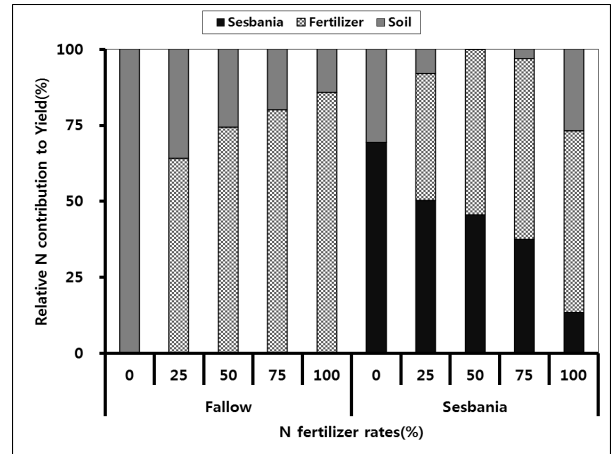


Fig. 4. Relative N contribution from fertilizer N and Sesbania to N uptake of whole-crop barley in different treatments.

각 64.8, 73.1, 79.5, 83.9%로 나타났다. 그러나 풋거름작물 토양환원 후 질소비료가 공급되었을 시에는 SN0에서 풋거름작물에 의한 질소 상대적 기여도는 68.1%이었으나, 질소시비수준이 증가할수록 풋거름작물에 의한 질소의 상대적 기여도는 SN25, SN50, SN75, SN100에서 각각 46.0, 45.1, 37.0, 25.8%로 감소하였고, 질소비료에 의한 상대적 기여도는 SN25, SN50, SN75, SN100에서 40.4, 53.7, 59.6, 62.6%으로 증가하였다. 질소비료의 상대적 기여도는 세스바니아 토양환원구보다 휴경구에서 높았다. Fig. 2에서와 같이 휴경구에서는 질소시비수준에 따라 수량이 직선적으로 증가하였는데 반해, 세스바니아 환원구에서는 SN75까지는 수량이 최대로 증가하고, SN100에서는 감소하였다. 간척지 토양은 토양유기물 함량이 매우 낮아 이로 인해 양·수분 보유력 또한 낮다. 일반 농경지의 질소이용효율은 30~50% 수준인데 간척지의 질소이용효율은 FN100과 SN100에서 각각 57.4, 52.8%로 높았다. 그러나 청보리의 수량, 겉보기 질소이용효율 (ANR), 풋거름과 질소비료의 상대적 질소기여도를 고려하였을 때, 세스바니아 질소시비 50% (SN50)이 최대 작물생산과 질소비료 절감을 위해서 적합한 수준으로 판단되었다.

토양이화학성 변화 Table 6은 청보리 재배후 수확기 토양의 화학성을 나타낸 것이다. 농경지에 유기물을 환원하게 되면 토양구조를 개선하여 물리성을 좋게 하고 양분 보존능력을 증가시켜 양분이용효율을 높여주는 역할을 한다 (Jeon et al., 2008; Bronick and Lai, 2005). 세스바니아 토양환원에 의한 토양개량효과는 pH감소와 토양유기물 증진효과에서 나타났다. 토양 pH는 시험 전에 7.3, 유기물함량은 3.7 g kg⁻¹이었는데 질소 시비수준이 높을수록 토양 pH는 감소하여 휴경구는 6.6~7.2, 세스바니아 토양환원구 6.5~6.9이었다. 이는 질소비료와 풋거름의 질소무기화 작용의 영향으로 판단된다. 유기질소는 초기에 다량의 암모니아태질소 (NH₄⁺)를

Table 6. Soil chemical properties of study field after whole-crop barley cultivation.

Treatment		pH	EC	OM	Avi.P ₂ O ₅	Ex. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
GM	N rate (%)	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	K	Ca	Mg	Na
	0	7.2	0.48	3.08	54	0.76	2.1	3.1	0.8
Fallow (F)	25	7.1	0.44	3.01	61	0.75	2.1	3.2	0.7
	50	6.9	0.37	3.05	65	0.65	1.6	2.8	0.8
	75	6.9	0.36	3.08	61	0.63	1.7	2.8	0.8
	100	6.6	0.33	3.14	64	0.63	1.8	2.9	0.6
	mean	6.9	0.40	3.08	61	0.68	1.9	3.0	0.7
Sesbania (S)	0	6.9	0.49	4.77	72	0.75	2.0	3.0	0.7
	25	6.8	0.41	4.68	53	0.66	1.9	2.8	0.6
	50	6.7	0.37	4.76	51	0.64	1.8	2.9	0.5
	75	6.6	0.37	4.82	59	0.61	1.9	2.9	0.6
	100	6.5	0.32	4.77	64	0.65	1.9	3.0	0.5
	mean	6.7	0.39	4.76	60	0.66	1.9	2.9	0.5

[§]F.W: Fresh Weight

[†]D.W: Dry weight

방출하고, 이후 질산화작용에 의해 질산태질소 (NO₃⁻)로 변환된다. 이 때 발생하는 H⁺는 토양의 pH를 감소시킨다 (Brady and weil, 2010). 또한 토양에 환원된 풋거름이 분해되면서 방출된 유기산에 의해서도 토양 pH가 감소할 수 있다. 토양유기물함량은 휴경구에서는 3.01~3.14 g kg⁻¹으로 시험 전에 비해 감소하였으나, 세스바니아 토양환원구에서는 4.76~4.82 g kg⁻¹으로 증가하였다. 이는 토양에 환원된 풋거름의 탄소에 기인한 것으로 판단된다. 유효인산, 치환성양이온은 풋거름 토양환원유무와 질소시비수준에 따라 차이가 나타나지 않았다.

Conclusion

간척지에서 하계 풋거름작물 활용한 덮작물 동계사료작물 질소비료 절감효과를 구명하기 위해서 새롭게 조성된 새만금간척지에서 재배된 세스바니아를 토양환원 처리한 포장과 휴경처리 포장을 대상으로 질소절감시비 5처리 (N0, 25, 50, 75, 100%)를 하여 풋거름의 질소대체효과 구명과 풋거름 토양환원 후 청보리 질소비료절감을 위한 시비기준 설정을 위한 시험을 수행하였다. 동계작물 재배 전인 여름철 휴경기에 간척지에서 생산된 세스바니아 생산량 (건물)은 16.2 Mg ha⁻¹, 질소공급량은 393 kg N ha⁻¹, C/N율은 19.2이었다. 휴경 후 재배된 청보리는 FN0-FN100에서 2.7~8.9 Mg ha⁻¹으로 질소시비수준 증가에 따라 직선적으로 수량이 증가하였고 (Y=0.0586X+3.3011, R²=0.9534), 세스바니아 토양환원구에서는 5.8~10.3 Mg ha⁻¹으로 SN75 (10.3 Mg ha⁻¹)까지 수량이 증가하였으나, SN100 (9.4 Mg ha⁻¹)에서는 수량이 감소하는 회귀식으로 수량이 반응하였다 (Y= -0.001X²+0.1322X+5.7143, R²=0.9576). 세스바니아 토양환원에 의해 청보리에 공급된

질소량은 FN100과 비교시 42.6% (63.9 kgN ha⁻¹)이었다. 휴경구에서 질소시비수준에 따른 청보리의 결보기 질소이용효율과 비료에 의해 공급된 질소의 상대적 질소기여도는 직선적으로 증가하였으나, 풋거름 토양환원구에서는 질소시비수준이 증가함에 따라, 풋거름작물에 의한 질소의 상대적 기여도는 감소하고, 질소비료의 상대적 기여도는 증가하였다. FN100에 준하는 생산량을 얻기 위한 풋거름 토양환원 후 질소절감시비량은 SN35이었으며, 최대생산을 위한 질소절감시비수준은 SN50으로 판단되었다.

References

- Allison, F.E. 1996. The fate of nitrogen applied to soils. *Adv. Agro.* 18:219-258.
- Brady, N.C. and R.R. Weil. 2010. *Elements of the nature and properties of soils*, third edition. MacMillan, New York.
- Bronick, C. J. and R. Lai. 2005. Soil structure and management; a review. *Geoderma* 124:3-22.
- Cassman, K.G., A. Dobberman, and D.T. Walters. 2002. Agroecosystems, nitrogen-use efficiency and nitrogen management. *Ambio: A Journal of Human Environment* 31(2):132-140.
- Fillery IRP. 2001. The fate of biologically-fixed nitrogen I. legume-based dryland farming systems: a review. *Aust J Exp Agric* 41:361-381. doi:10.1071/EA00126.
- Jeon, W.T., M.T. Kim, K.Y. Seong, and I.S. Oh. 2008. Changes of Soil properties and temperature by green manure under rice-based cropping system. *Korean K. Crop Sci* 53:413-416.
- Kang, J.G., 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 Korea J. Int. Agri. 26(1): 54-61.
- Kim, B.R., M.H. Kim, S.H. Han, J.S. Cho, and T.W. Kim. 2013. Agricultural trends and prospect, Agricultural prospect 2013. KREI. Seoul.
- Lee, J.T., G.J. Lee, C.S. Park, S.W. Hwang, and Y.R. Yeoung. 2005. Effect of hairy vetch (*Vicia villosa Roth*) sod culture on reducing soil loss and providing nitrogen for chinese cabbage in highland. Korean J. Soil Sci. Fert. 38(5):294-300.
- Lee, K.B., J.G. Kang, J. Li, D.B. Lee, C.W. Park, and J.D. Kim. 2007. Evaluation of salt-tolerance plant for improving saline soil of reclaimed land. Korean J. Soil Sci. Fert. 40:173-180.
- Lee, K.B., J.G. Kang, K.D. Lee, S.H. 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.
- Lim, T.J., K.I. Kim, J.M. Park, S.E. Lee, and S.D. Hong. 2012. The use of green manure crops as a nitrogen source for lettuce and chinese cabbage production in greenhouse. Korean J Environ Agric. 31(3):212-216.
- NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, suwon, Korea.
- RDA. 2012. Standard farming handbook for corn cultivation. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Ridder, N. and H. Keulen. 1990. Some aspects of the role of organic matter in sustainable intensified arable farming systems in the West-African semi-arid tropics (SAT). Fert Res 29:299-310. doi:10.1007/BF01048768.
- Sharma and Behera. 2009. Nitrogen contribution through Sesbania green manure and dual purpose legumes in maize-wheat cropping system : agronomic and economic considerations. Plant Soil 325:289-304.
- 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 42:179-186.
- Song, T.H., O.K. Han, T.I. Park, Y.K. Yang, K.J. Kim, and K.H. Park. 2012. Effect of nitrogen top dressing top dressing levels on productivity, feed value and anthocyanin content of colored barely. J. Kor. Grassl. Forage Sci 32(2):149-156.
- Yang, C.H., J.H. Lee, N.H. Baek, J.H. Jeong, K.M. Cho, S.B. Lee, and G.B. Lee. 2012. Incorporation effect of green manure crops on improvement of soil environment on saemangeum reclaimed land during sorghum × sudangrass hybrid cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(6):744-748.
- Yang, C.H., J.H. Lee, S. Kim, J.H. Jeong, N.H. Baek, W.Y. Choi, S.B. Lee, S.J. Kim, Y.D. Kim, and G.B. Lee. 2012. Study on forage cropping system adapted to soil characteristics in reclaimend tidal land. Korea J. Soil Sci. Fert. 45(3):385-392.
- Yun, S.G. and A. Kzauo. 1998. Effect of planting and nitrogen fertilization rates on the forage yield and feeding value of introduced tricale. J. Korean Grassl. Forage Sci 18(2):113-112.