

Research Article

Open Access

간척농경지에서 비종에 따른 동계 청보리 재배 포장의 영양물질 수지 비교

송인홍,¹ 이경도,² 김지혜,³ 강문성,^{3*} 장정렬⁴

¹서울대학교 농업생명과학연구원, ²국립식량과학원 벼맥류부,

³서울대학교 조경·지역시스템공학, 농업생명과학연구원 겸임연구원, ⁴한국농어촌공사 농어촌연구원

Comparison of Nutrient Balance in a Reclaimed Tidal Upland between Chemical and Compost Fertilization for the Winter Green Barley Cultivation

In-Hong Song,¹ Kyong-Do Lee,² Ji-Hye Kim,³ Moon-Seong Kang^{3*} and Jeong-Ryeol Jang⁴ (¹Research Institute for Agriculture and Life Sciences, College of Agriculture & Life Science, Seoul National University, Seoul 151-921, Korea, ²Department of rice and winter cereal crop, NICS, RDA, Iksan 570-080, Korea, ³Department of Landscape Architecture and Rural Systems Engineering, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea, ⁴Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan, Gyeonggi 426-908, Korea)

Received: 14 May 2012 / Accepted: 15 June 2012

© 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

Abstract

BACKGROUND: Along with the surplus rice production, introduction of upland crop cultivations into newly reclaimed tidal areas has gained public attentions in terms of farming diversification and farmers income increase. However, its impacts on the surroundings have not been well studied yet, especially associated with nutrient balance from reclaimed upland cultivation. The objective of this study was to investigate water and nutrient balance during winter barley cultivation as affected different fertilization methods.

METHODS AND RESULTS: TN and TP balance for three different plots treated by livestock compost, chemical fertilizer, and no application were monitored during winter green barley cultivation (2010-2011) at the NICS Kyehwa experimental field in Jeonbuk, Korea. Nutrient content in soil and pore water near soil surface appeared to increase, while sub-soil layer remained similar with no fertilization plot. Livestock compost application appeared to increase organic matter content in surface soil compared to chemical

fertilization. Crop yield was the greatest with livestock compost application (10.6 t/ha) followed by chemical fertilization (6.9 t/ha) and no application (1.8 t/ha). The nitrogen uptake rate was also greater with livestock compost (52.4%) than chemical fertilizer (48.1%). Phosphorus uptake rate was much smaller (about 7.0%) compared to nitrogen. Nutrient loss by surface and subsurface runoff seemed to be minimal primarily due to small rainfall amount during the winter season. Most of the remaining nutrients, particularly phosphate seemed to be stored in soil layer. Phosphate accumulation appeared to be more phenomenal in the plot applied by livestock compost with higher phosphorus content.

CONCLUSION: This study demonstrated that livestock compost application to tidal upland may increase barley crop production and also improve soil fertility by supplying organic content. However, excessive phosphorus supply with livestock compost seems likely to cause a phosphate accumulation problem, unless the nitrogen-based fertilization practice is adjusted.

Key Words: Compost, Fertilizer, Nutrient balance, Tidal reclaimed upland, Winter green barley

* 교신저자(Corresponding Author),
Phone: +82-2-880-4582; Fax: +82-2-873-2087;
E-mail: mskang@snu.ac.kr

서론

우리나라는 고려시대 이후부터 지금까지 약 157천 ha 면적의 간척지가 조성되었거나 조성 중에 있다 (KRC, 2007; MAF, 2003). 간척 농지는 고염도의 지하수 수위가 높아 갈수기에 토양의 모세관 현상에 의한 염분상승으로 염해가 우려된다. 따라서 지금까지 대부분의 간척농지는 담수재배로 염분 상승을 막을 수 있는 수도작으로 이용되어 왔다. 하지만 최근 쌀 소비의 감소로 인해 쌀의 구조적 공급과잉 문제가 발생하고 있고, 이에 대한 대응 정책의 하나로 농림수산물부는 간척농지에 전작, 특작, 원예작 등 다양한 작물 도입을 통해 농가소득 향상하기 위해 장려하고 있고, 정책적인 노력을 기울이고 있다 (MIFAFF, 2012; Sohn *et al.*, 2010; RRI, 2006).

수도작을 밭작물 재배로 전환하면 염해나 배수불량에 의한 습해 우려가 있다 (Choi *et al.*, 2010). 또한 화학비료의 장기 연용은 토양의 물리성 저해, 환경의 질 저하 등의 원인으로 작용할 수 있어, 화학비료 사용량을 줄이면서 토양비옥도를 유지하는 대안 마련이 시급하다 (Lee *et al.*, 2008). 한편, 축산퇴비 등 유기성 비료를 작물생산에 이용하는 친환경 농업이 지속가능한 농업형태의 하나로 관심이 증대되고 있다.

2013년부터 폐기물 해양 배출의 전면금지에 대비, 농식품부는 축산폐기물의 해양 투기를 대체하기 위한 가축분뇨의 자원화에 정책적 지원을 기울이고 있다 (MIFAFF, 2010). 돈분 퇴비는 다양한 유·무기물 영양물질을 함유하고 있어 간

척지와 같은 토양환경에 사용될 경우 토양 화학성 개선뿐 아니라 유기와 더불어 가격이 상승한 화학비료의 사용을 대체할 수 있는 유용한 자원으로 인식되고 있다 (Lee *et al.*, 2011; Jo *et al.*, 2010; Park *et al.*, 2008). 퇴비는 가축분뇨에 톱밥을 섞어 부숙시켜 질소함량에 비해 인의 함량이 큰 것이 일반적이다 (Hwang *et al.*, 2007). Choi 등 (2010)은 화학비료, 액비, 석고의 혼합처리가 토양의 물리적 생육 환경을 개선하는 것으로 보고한 바 있다.

한편 농경지의 토사나 비료성분 등은 강우 발생시 강우 유출과 함께 거동하게 되는데 이를 비점원 오염물질이다. 즉 농경지내의 비료 성분 등이 농경지 밖으로 나가면 오염물질이 되고, 수체로 유입될 경우 부영양화 등 각종 수질문제를 원인이 된다. 중·장기적으로 간척지에 전작, 원예 등의 도입이 급속하게 늘어날 것으로 전망되며, 따라서 그에 따른 농경지 오염부하에 대한 대책이 요구된다. 지금까지 일반 밭작물 재배에 따른 토양 영양물질 수치 분석에 관한 연구는 상대적으로 많았지만 (Lee *et al.*, 2011), 간척지 밭에서의 연구는 거의 이루어지지 않았으며, 따라서 지속가능한 간척지 밭작물 재배를 위해서는 토양 영양물질 수치 분석이 필요하다.

본 연구에서는 동계 청보리 이모작이 널리 시행되는 계화지구의 간척 농경지에서 화학비료와 축분퇴비를 비료로 이용하여 동계 청보리를 재배하고, 비중에 따른 간척지 밭 포장에서의 영양물질 수치를 분석하고, 또한 영양물질의 유출 잠재성을 비교하고자 하였다.

재료 및 방법

시험포장 조성

본 연구에서는 계화방조제 전면의 새만금 간척지에 조성된 농촌진흥청 (국립식량과학원 간척농지과) 시험포장을 이용하여 비중에 따른 토양 영양물질 수치를 분석하였다. 시험대상지구는 2009년 하반기에 10 ha 규모의 시험연구 포장을 계화도 방조제 해측 간척지에 조성하였다. 대상 포장의 토양은 모래함량이 많은 미사질양토로 문포통에 속하여, 토양은 EC 1.3 dS/m로 일반 밭 토양에 비해 높고, 유기물 함량은 0.26%로 매우 낮은 수준이다(Table 1).

Table 1. Chemical properties of the Kyehwa tidal upland soil

pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exch. cations (cmol ⁺ /kg)			
				K	Ca	Mg	Na
7.7	1.3	2.6	22.0	0.9	1.0	2.2	2.4

시험포장에 5×10m 시험 처리구를 3개 조성하고 각 포장에 다른 비종처리를 하였다(Fig. 1). 시험의 시비처리는 축분퇴비(부산물비료 퇴비; 돈분 60%, 톱밥 40%, 입장농협), 화학비료(슈퍼 21, 남해화학), 무시비를 각 시험처리구에 적용하였다. 축분퇴비의 영양물질 성분은 질소가 1.48 %, 인산 2.75%, 칼리 1.63%이었다. 청보리(*Hordeum vulgare L.*)

품종의 하나인 영양보리를 재배작물로 선택하였는데, 이는 대상 지구에서 동계작물로 널리 재배되고 있고, 맥류의 일종으로 염분에 대한 저항성이 큰 것이 특징이다.

조성된 포장은 먼저 트랙터를 이용하여 로타리를 친 후 시비를 한 다음 청보리를 파종하였다. 청보리는 1ha당 220 kg의 비율로 파종하였으며, 파종일자는 2010년 11월 2일이었다. 시비는 질소기준으로 1 ha당 300 kg을 적용하였다. 처리구별 시비량은 N-P-K 기준으로 화학비료는 300-243-243 kg/ha, 축분퇴비는 300-557-330 kg/ha이었고, 무처리구는 시비를 하지 않았다. 일반 토양의 통상 시비량인 150-100-100 kg/ha보다 질소기준으로 두 배가량 되는데, 이는 간척지 토양은 유기물 함유량이 낮고 영양분 흡수능이 낮기 때문에 대상지구에서 관행적으로 행해지고 있다.

포장단위 물과 물질 수치 모니터링

시험포장으로부터 영양물질의 수치 분석을 위하여 지표유출, 토양수, 토양 내의 영양물질 농도를 조사하였다. 또한 지표 유출로 인한 영양물질의 손실을 측정하기 위하여 지표로 유출되는 강우 유출량도 측정하였다. Fig. 1은 포장에서의 수문 및 수질 측정 요소를 도식적으로 보여주고 있다.

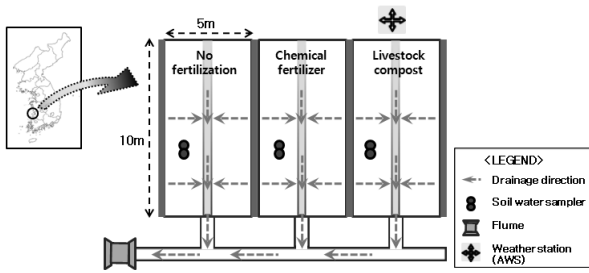


Fig. 1. Schematics of the NPS monitoring systems for the Kyewha upland study.

시험포장으로부터 지표를 통한 유출량을 측정하기 위해 포장 말단에 플룸(RBC Flume, Eijkelkamp Agrisearch Equipment BV, Netherlands)을 설치하여 유량을 측정하였다. 각 처리구 사이에 플라스틱 벽을 세워 지표수 이동을 방지하였고, 또한 각 처리구의 중앙에 배수로를 구성하여 지표수의 배수를 원활하게 하였다. 지표 유출량은 포장 말단의 플룸으로부터 측정된 유출량을 세 개의 처리구로 나누어 산정하였다. 이는 각 처리구의 면적이 같고, 동일 작물을 재배하고 있어 처리구별 지표 유출량의 차이가 크지 않을 것으로 가정한다. 각 처리구별 지표수의 흐름 방향은 Fig. 1의 화살표로 표시하고 있다.

시험포장 인근에 AWS(WatchDog Model 2900ET, ENVCO, NZ)을 설치하고 기상자료를 측정하여 일별 증발산량 산정에 이용하였다. 증발산량은 서울대학교 지역용수정보공학연구소(http://ruralwater.snu.ac.kr/11_pet_download/data.html)에서 온라인으로 제공하는 기준증발산량에 청보리 생육단계별 작물계수를 곱하여 산정하였다. 기준증발산량 산정에는 관측 기상자료에 기초한 Penman-Monteith 방정식을 이용하였으며 (FAO, 1998), 작물계수는 세계식량기구에서 보고한 청보리 생육 4단계에 대해 적용하였다. 생육단계는 초기 50일, 발달기 60일, 중기 60일, 후반기 40일로 구분되고 각각에 대한 작물계수 0.30, 0.30, 1.15, 0.25로 보고되고 있다 (FAO, 1998).

비료 성분의 지하 침투영향을 조사하기 위해 토양수 시료를 채취하고, 영양물질 농도를 측정하였다. 토양수 시료 채취는 유공성 세라믹 컵을 끝에 부착한 튜브를 일정 깊이까지 매립하고, 튜브 입구는 밀폐시키고 진공펌프로 내부에 부압을 걸어 토양수를 수집하고 시료를 채취하였다. 각 시비 처리구별로 30, 50, 70 cm의 3개 토층에 대해 토양수 시료를 매월 1회 수집하여 총 7회 토양수 시료를 분석하였다(청보리 재배 기간: 2010년 11월~2011년 5월).

토양에 잔류하는 영양물질 조사를 위해 각 처리구별 표토(0~20cm)와 심토(20~40cm) 2개 토층에 대해 토양 시료를 채취하였다. 시료 채취는 월 1회 실시하였으며, 채취된 토양 시료를 영양물질 농도에 대해 분석하였다.

청보리의 수확량을 조사하기 위해 각 시비처리구별로 1×1m 넓이의 구획내의 청보리를 수확하고 생중량 및 건조중

량을 측정하였다. 또한 주요 영양물질의 물질수지 분석을 위해 수확된 청보리로부터 시료를 채취하여 식물체의 질소와 인산을 포함한 화학 성분을 분석하였다. 식물체의 의한 영양물질의 흡수량은 식물체 영양물질 농도에 단위면적당 청보리 수확량을 곱하여 산정하였다.

포장의 물질수지 분석은 지표 유출 및 작물 흡수량을 중심으로 고려하였다. 이는 지표유출에 의한 영양물질 손실은 하류의 수질에 직접적인 영향을 주고, 또한 작물 흡수량은 양분의 이용효율과 관계를 가지기 때문이다. 이 밖에도 휘산이나 지하침투, 토양 축적 등의 요소는 측정에 어려움이 있어 기타 손실로 처리하였다. 다만, 지하침투 및 토양 축적 부분은 토양수 및 토양의 영양물질 농도 측정을 통하여 간접적으로 고찰하였다. 지표 유출 영양물질량은 표층 토양수의 영양물질 농도에 지표 유출량을 곱하여 산정하였다.

수질, 토양 및 식물체 분석

수질분석은 서울대학교 농업생명과학공동기기원(NICEM)에 위탁하여 실시하였다. 수질 시료의 분석은 환경부 수질오염공정시험법 (ME, 2002)에 따라 주요 비료성분인 TN 및 TP에 대해 분석하였다. TN은 Kjeldahl법(Kjeltec auto 1035/1038 system, Tecator AB, Sweden)을 적용하여 분석하였고, TP는 ICP원소분광법(ICPS-100IV, Shimazu, Japan)을 이용하여 분석하였다.

토양 및 식물체 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 따라 실시하였다. 토양 시료의 화학분석을 위해 채취한 시료는 실내에서 풍건하고, 2mm체를 통과한 것을 분석에 이용하였다. pH 및 EC는 토양과 증류수 비율 1:5로 하여 초자전극법(Orion 520A, Boston, USA)을 적용하여 분석하였고, 유기물과 질소는 원소분석기(Vario MAX CNS, Elementar, Germany)를 이용하여 듀마스법으로 분석하였고, 유효인산함량은 Landcaster법에 의한 UV로 측정하였다. 또한 토양의 치환성 양이온은 ICP-OES(Varian Vistar-MPX, USA)를 이용하여 분석하였다.

청보리 식물체의 영양물질 흡수량은 수확물 시료를 채취하여 70°C에서 건조시킨 후 분쇄 및 습식분해한 후 각 화학물질에 대한 분석을 통해 결정하였다. 영양물질 중 질소는 Elementar사의 원소분석기(Vario MAX CNS)를 이용하여 듀마스법으로 분석하였고, 인산은 Ammonium vanadate법 및 UV로 측정하였으며, 기타 K, Ca, Mg, Na화합물은 ICP-OES(Varian Vistar-MPX, USA)를 이용하여 분석하였다. 시비 처리에 따른 식물체의 영양물질 흡수율은 Lee 등 (2011)에서 제시한 질소이용률(%) = (처리구 질소흡수량-무비구 질소흡수량) / 처리구 질소시비량 × 100 개념을 원용하여 산정하였다.

실험 결과의 통계적 분석은 Microsoft Excel 2010에서 제공하는 t-Test 함수를 이용하여 처리수준 간 비교 및 통계적 유의성을 평가하였다.

결과 및 고찰

기상

청보리 재배 실험은 동계인 2010년 11월부터 2011년 5월 까지 약 7개월간 수행되었으며, 이 기간의 기상자료를 요약 정리하여 Table 2와 같다. 실험기간 동안 평균 기온은 6.5°C 이었고, 최고 및 최저 기온은 각각 10.9°C 및 2.4°C이었다. 이는 이 지역의 최근 30년 기간 (1981~2010년) 동안의 평균

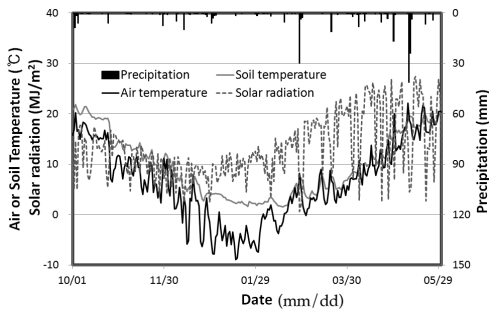
값(평균 기온 6.3°C)과 매우 유사한 값이었다. 다만 실험기간 동안의 총 강수량은 230 mm로 30년 평균값 376mm에 비해 작게 나타났다.

청보리 재배기간 동안의 일별 기상 자료를 도시하면 Fig. 2와 같다. 기온, 지온, 일사량은 1월을 최저로 이후 수확기인 5월 하순까지 지속적으로 증가하고 있다. 강수사상은 3월에서 5월 사이에 상대적으로 크게 분포하였다. 습도와 풍속은 계절적 경향보다는 일단위로 지속적으로 편차를 보이고 있다.

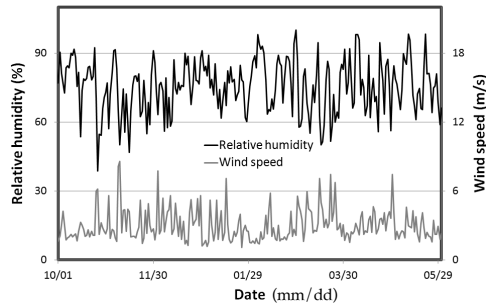
Table 2. Weather summary for the winter barley experiment (2010.11~2011.05)

Temperature (°C)			Relative Humidity (%)	Soil Temperature (°C)	Solar Radiation (MJ/m ²)	Wind Speed (m/s)	Precipitation (mm)
Mean	Max	Min					
6.5	10.9	2.4	75.5	9.8	13.2	3.0	230*

* Winter snowfall included



(a) Air & soil temperature, solar radiation, and precipitation



(b) Relative humidity and wind speed

Fig. 2. Weather data during the winter barley cultivation.

포장 물수지 분석

청보리 재배기간의 11월에서 2월 사이에 주로 강설형태의 강수량을 제외하고, 3월에서 5월 사이에 발생한 총 강수량은 140.5 mm로 관측되었다. 재배기간 동안 실제 지표 유출이 기여한 강수사상은 4월과 5월에 3회 발생하였으며, 총 지표 유

출량은 18.2 mm이었다. 밭 토양의 경우 토양에 의한 강수 흡수로 일정량 이하의 강우시 지표유출이 발생하지 않는다. 또한 4월과 5월은 청보리가 왕성하게 자라는 시기로 식물체에 의한 강수 차단 효과에 의해 실제 지표 유출량은 크지 않은 것으로 나타났다(Fig. 3a). 실험 포장에 간척지 농경지로 경사가 거의 없는 평야지에 위치하여 강우의 배수가 지체되는 현상이 관측되었다. 플룸을 설치한 배수로 역시 배수가 지체되거나 물이 고이는 현상이 관찰되고 배수로 수위 상승으로 나타났다. 이는 결국 유량 측정기구인 플룸의 측정수위의 증가로 나타나 지표 유출량의 과대 산정의 원인이 되었고, 따라서 실제 유출은 산정된 값보다 작아 미미했을 것으로 사료된다.

청보리의 증발산량은 2월 중순까지는 미미하다가 3월~4월 왕성한 성장과 함께 증가하고, 수기인 5월에는 다시 낮아지는 경향을 보였으며, 재배기간 총 증발산량은 195 mm로 산정되었다.

각 물수지 요소별로 재배기간 동안 포장에서의 물 수지를 도식적으로 표현하면 Fig. 4와 같다. 주요 물 수지 항목으로 강수량, 증발산량, 지표유출, 기타 침투 및 토양수분 변화(ΔS)로 구분하였다. 토양 침투 및 수분변화량은 물 수지식에서 강수량, 증발산량, 지표유출을 대입하여 나머지 항목으로 산정하였다. 청보리 재배기간 동안 대부분의 강수량(240 mm)이 증발산 과정(195 mm)을 통해 대기로 방출되고, 일부만이 지표(24 mm)를 통해 유출되는 것으로 조사되었다. 청보리 재배는 겨울철을 통해 이루어져 재배기간 동안 발생 강수 사상이 적고, 또한 지표유출과 관계되는 강수사상은 4~5월에 국한적으로 발생하여 지표 유출에 크게 기여하지 못한 것으로 나타났다.

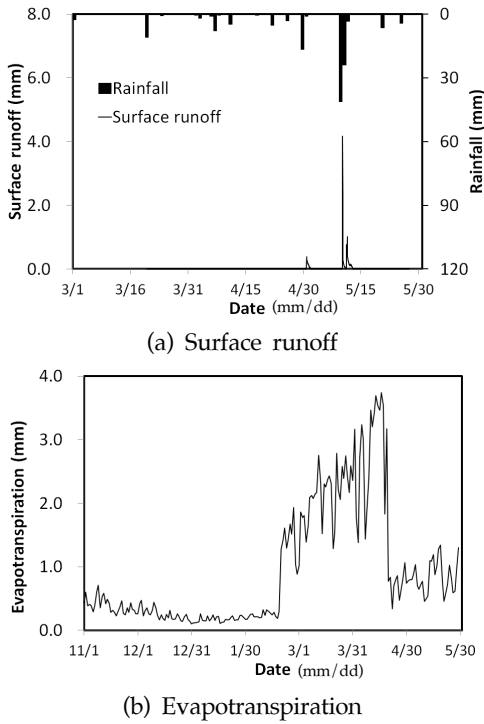


Fig. 3. Surface runoff and evapotranspiration during winter barley cultivation.

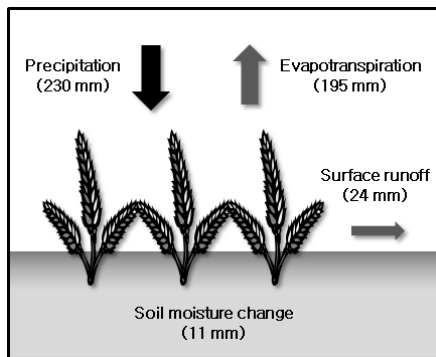


Fig. 4. Water balance for the winter barley cultivation.

포장 물질수지 분석

토양수 영양물질 농도

3개 깊이의 토층에서 채취한 토양수의 토심별 영양물질 평균농도를 Fig. 5에 나타내었다. 전체적으로 토양수의 총질소 농도는 축분퇴비 처리구에서 높게 나타났고, 총인 농도는 화학비료 처리구에서 높게 나타났다.

토양수 질소농도를 살펴보면 Fig. 5a에서 보는 바와 같이 축분퇴비 처리구가 화학처리구에 비해 높게 나타났다. 토심이 깊어짐에 따라 토양수의 질소농도가 감소하였으며, 70cm 깊이에서 두 개의 시비처리구 모두 배경농도인 무비구에 비해 약간 높거나 같은 유사한 수준을 보였다. 축분퇴비 처리구의 경우 표층에 가까운 30 cm에서 50 cm 깊이까지 높은 질소 농도를 보였으며, 화학비료구는 30cm 지점에서 질소농도가

증가하고 50 cm 깊이에서는 무비구보다 약간 높았다 ($p < 0.05$). 이는 수용성으로 토양에서 물과 함께 거동하는 질소성분의 대부분이 천층의 근근역에 머물러 지하로 손실되는 부분이 미미함을 의미한다. 토양수에 존재하는 질소는 작물의 생장과 함께 일부 생체량으로 작물에 의해 흡수되지만, 집중 호우 등 일정 수준 이상의 강우 발생시 지하로 침투한 빗물과 함께 토양 공극을 따라 거동하여 지하로 손실될 가능성이 크다 (Rosswall and Paustian, 1984; Han *et al.*, 1998).

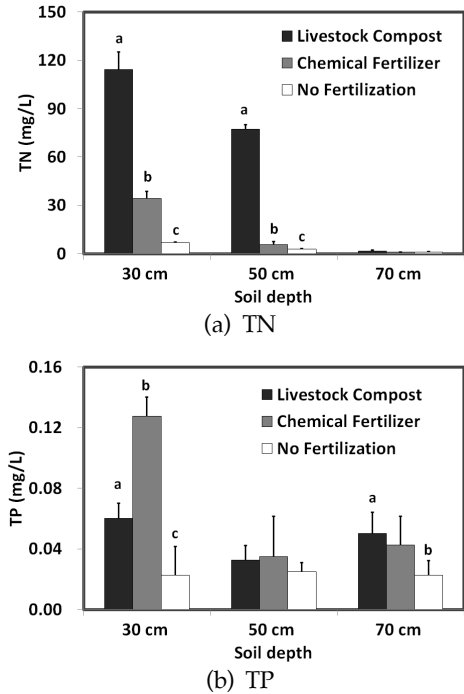


Fig. 5. Nutrient concentrations of soil water for the winter barley cultivation. Different letters above bars indicate statistical difference between the corresponding fertilization types for the given depth at the significance level of 0.05.

TP의 경우 화학비료 처리구에서 높게 나타났다. 질소와 달리 인은 흡착성이 강해 대부분의 인산을 토양입자에 흡착하여 존재하는 것이 일반적이다. 하지만 간척지 토양은 점토 함량이 낮고, 토양의 염분 및 pH가 높아 토립자의 흡착성이 떨어지는 경향이 있다 (Lee *et al.*, 2007; Barrow, 1983). 화학비료 처리구의 경우 토양수의 총인 농도가 표층에 가까운 30cm 깊이에서 높게 나타나는데, 이는 간척토양의 낮은 인 흡착특성에 기인한 것으로 추정된다($p \text{ value} < 0.05$). 반면, 축분퇴비 처리구의 토양수에서는 총인의 농도가 거의 무비구와 유사하게 나타났는데, 이는 퇴비가 함유하고 있는 유기물에 의해 간척 토양의 흡착능력이 향상으로 나타난 결과일 개연성이 있다. 실제 Lee 등 (2007)에 의하면 퇴비 처리후 토양의 인 흡착능력이 11% 가량 증가하는 것으로 보고하고 있다. 가장 깊은 조사 깊이인 70 cm에서는 시비 처리구에서 무비구보다 총인 농도가 약간 높게 나타났다.

토양 화학성분 함량

토양의 영양물질 농도는 표층(0~20cm)와 심층(20~40cm)으로 구분하여 조사하였으며, 평균 토양 영양물질 농도는 Fig. 6에 나타내었다. 토양의 질소농도는 시비 처리구의 표토에서 특히 화학비료 처리구에서 무비구에 비해 높은 경향을 보였다 (p value < 0.05). 화학비료 처리구의 표토에서 가장 높은 0.39 g/kg으로 축분처리구(0.28 g/kg)보다 약간 높게 나타났다. 반면 토양의 인산농도는 축분처리구가 45.0 mg/kg으로 화학비료 처리구의 34.1 mg/kg 보다 약 10 mg/kg 높게 나타났다. 이는 축분퇴비 사용에 의한 토양의 유기물질의 증가로 토양의 인산 흡착능력이 개선된 결과로 사료된다. 실제 축분퇴비 처리구의 표토에서 유기물질 농도가 화학비료처리구나 무비구에 비해 증가한 것을 볼 수 있다(Fig. 6c). 유기물질에 의한 인산의 토양 보유능력이 증가한 반면, 질소는 수용성으로 유기물질에 크게 영향을 받지 않은 것으로 보인다.

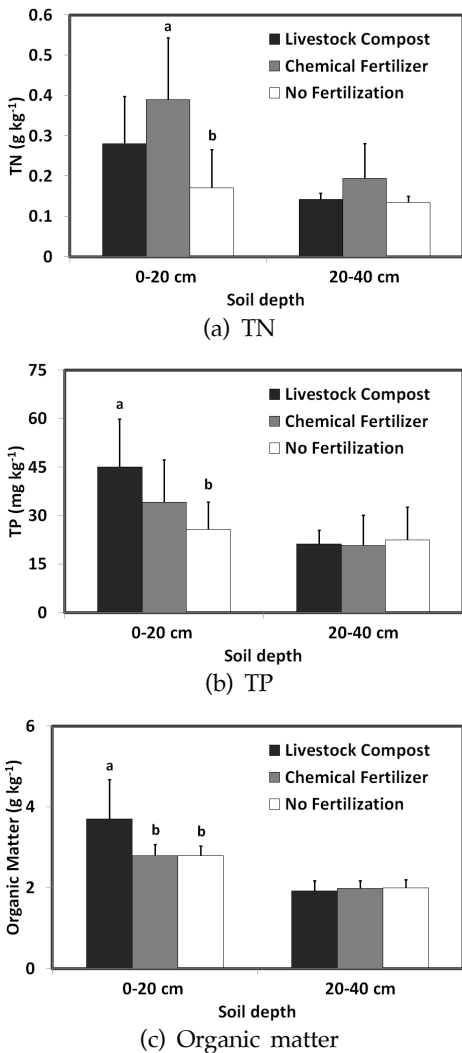


Fig. 6. Nutrient concentrations in soils of different soil depths. Different letters above bars indicate statistical difference between the corresponding fertilization types for the given depth at the significance level of 0.05.

식물체 화학성분 및 양분이용률 비교

청보리 수확 식물체의 일부를 시료 채취하여 화학적 성분을 분석하여 Table 2에 나타내었다. 식물체의 질소 성분은 화학비료처리구가 2.31%로 가장 높게 나타났고, 무비구가 0.90% 가장 낮게 나타났다. 인산의 경우는 무비구가 0.48%로 가장 높은 반면, 화학처리구가 0.37%로 가장 낮게 분석되었다. 탄소와 기타 양이온 성분들은 모든 처리구에서 전반적으로 유사하게 나타났다. 다만, 식물체의 나트륨 함량은 축분퇴비 처리구에서 가장 높은 것으로 분석되었다.

Table 2. Chemical constituents of green barley plant for the different fertilizer treatments (Unit : %)

Treatment	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
Livestock Compost	39.88	1.63	0.43	2.09	0.09	0.16	1.65
Chemical Fertilizer	40.25	2.31	0.37	1.45	0.09	0.15	1.02
No Application	39.33	0.90	0.48	1.21	0.07	0.16	0.80

Table 3. Crop yield and nutrients uptake

Treatment	Crop yield		Crop nutrient uptake			Crop nutrient uptake ratio*		
	Fresh	Dry	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg/ha		kg/ha					
No fertilization	7,300	1,802	16.2	8.6	21.8	-	-	-
Livestock compost	42,100	10,636	173.6	45.6	222.4	0.524	0.066	0.608
Chemical fertilizer	32,300	6,952	160.5	25.6	101.0	0.481	0.070	0.326

* Crop nutrient uptake ratio=(Treatment uptake-Control uptake)/(Fertilization amount)×100

비중에 따른 청보리의 수확량 및 작물체의 영양물질 흡수량을 산정하면 Table 3과 같다. 청보리 수확량은 건조중량 기준으로 축분퇴비 처리구가 10.6 t/ha로 가장 컸고, 다음으로 화학퇴비 처리구가 6.9 t/ha였고, 무비구는 1.8 t/ha로 축분처리구에 약 17% 수준이었다. 질소 기준으로 작물에 의한 질소흡수량을 보면, 시비구가 무비구에 비해 약 10 이상 많은 양의 비료를 흡수한 것으로 나타났다. 축분퇴비 처리구에서의 작물 질소 흡수량이 173 kg/ha로 화학비료 처리구에 비해 약 13 kg/ha 많이 흡수한 것으로 분석되었다. 시비량 대비 무비구의 질소 흡수량을 고려하여 질소의 작물 흡수율을 산정해보면 축분퇴비가 52.4%로 화학비료의 48.1%보다 약간 높게 나타났다. Lee 등 (2011)은 간척농경지 조성 후 33년 간 벼재배로 숙답화가 진행된 문포동 농지에 화학비료와 퇴·액비를 이용하여 청보리 재배 시험을 한 바 있다. 이 연구는 화학비료 사용(질소기준 150 kg/ha)에 의한 질소 흡수량이 121 kg/ha (흡수율 55.3%)로, 퇴·액비를 분시한 경우 질소 흡수량 108 kg/ha(흡수율 약 48.8%)보다 높게 보고하고 있다. 이와 비교하면 본 연구의 질소 흡수량은 174 kg/ha

로 크게 분석되는데 이는 본 연구 대상농지는 숙전화가 이루어지지 않은 간척지 밭 토양으로 양분보유능력을 고려하여 시비량을 일반에 비해 2배 적용하였기 때문이다.

포장 영양물질 수지 분석

포장의 물질수지 분석은 지표 유출량과 작물 흡수량을 중심으로 고려하였으며, 휘산이나 지하침투에 의한 손실은 직접 산정하지 않고 토양 영양물질 변화 항목과 더불어 나타내었다. 청보리 재배 포장의 물질수지를 도식적으로 표현하면 Fig. 7과 같다.

질소의 포장 물질수지를 살펴보면, 주요 유입경로로 시비가 있고 강우에 의한 기여는 미미하다. 유출 경로를 보면 청보리 작물에 의한 흡수가 가장 크고, 토양의 질소함량 변화, 휘산 및 침투 손실을 포함하는 ΔS 항목이 다음을 차지하였다. 질소의 ΔS 중에서 일부 휘산에 의해 대기로 방출되고, 나머지는 대부분 토양 내 축적이 되었을 것으로 사료된다. 이는 지하침투를 통한 질소의 손실이 크지 않았기 때문인데, 토양수의 질소 농도를 보면 시비중인 표층에서 높은 반면 심토에서는 무비구와 유사한 수준으로 지하 이동이 활발하지 않음을 유추할 수 있다. 청보리의 재배가 동계에 이루어져 강우 사상이 많지 않았고, 따라서 전반적으로 지표유출을 통한 질소의 손실량 또한 미미한 것으로 분석되었다. 축분퇴비구의 지표유출 손실이 화학비료구보다 크게 나타났는데, 이는 지표층의 토양수 질소농도가 높았고 이를 이용하여 지표 유출량을 산정하였기 때문이다. 무비구의 경우 토양의 질소함량이 적어 작물 생육부진으로 수확이 미진하였고, 따라서 작물 흡

수량도 적었다. 다만, 시비구 특히, 축분퇴비구의 경우 토양수의 질소 농도가 높게 나타났는데, 이는 하계의 집중 강우시 지하 침투에 의한 손실 가능성이 있으므로 적절한 영농관리를 통해 손실을 저감하는 노력이 요구된다.

인산은 일반적으로 흡착성이 크고, 질소에 비해 토양에서의 유동성이 적은 특성을 보인다 (Kim *et al.*, 2005; Lee, 2011). 시비가 주요 유입경로이고, 주요 유출경로로는 작물에 의한 일부 흡수되고 대부분이 토양 내에 축적되는 것으로 나타났다. 이는 인산은 작물에 흡수되는 양이 시비의 약 7% 수준으로 낮고, 흡착성이 강해 토양 내에 축적이 용이하기 때문이다. 특히 축분퇴비 처리구의 경우 인의 시비량이 화학처리구에 비해 약 2.3배가량 크고, 따라서 토양내 축적량도 훨씬 크게 나타났다. 퇴비 사용 시 비료 성분 중 질소를 기준으로 시비량을 결정하는 경우가 많은데, 인산의 함량이 질소에 비해 상대적으로 높은 유기성 퇴비 사용 시 토양 내 인산 축적이 문제가 될 수 있어 작물 이용 향상 등의 관리가 필요한 것으로 보고되고 있다 (Park *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2004). 질소, 인, 칼리 중 함량이 가장 낮은 성분을 기준으로 시비량을 결정하고 나머지를 화학비료로 대체하는 토양검정에 의한 퇴비 시비량 결정 방법이 효과적인 방안이 될 수 있을 것이다.

결국 토양이나 토양수에 축적된 비료성분은 집중호우 등 환경 조건에 따라 포장을 이탈하여 환경, 특히 물환경에 부담 요인으로 작용할 수 있으므로, 토양의 비료축적을 저감할 수 있는 시비관리 및 영농기법을 통한 저감방안에 대한 고려가 필요할 것이다.

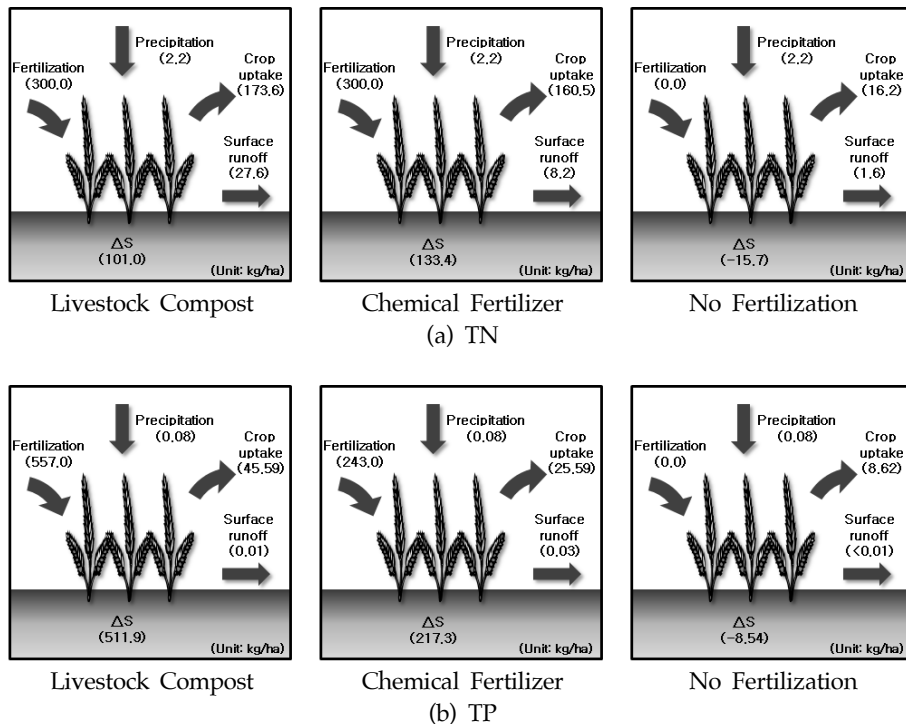


Fig. 7. Nitrogen balance for the winter barley experiment (Unit : kg/ha). ΔS is a collective term representing soil nutrient change as well as nutrient losses by volatilization and infiltration.

요 약

간척 농경지에 발작물을 도입하려는 노력은 쌀 과잉 생산 문제와 더불어 작물 다양화를 통한 농가소득 증진을 위해 오랫동안 관심의 정책지원 대상이었다. 본 연구에서는 장래 간척 농경지 전작의 도입에 따른 수질환경 영향을 평가하기 위해 청보리를 대상 작물로 비료 종류에 따른 경지 내 비료성분 물질수지를 분석 비교하였다. 비종처리는 화학비료, 축분퇴비, 무시비 세 수준에 대해, 지표수, 토양수, 토양, 작물체 영양물질을 조사하여, 포장단위 물질수지 분석을 수행하였다. 동계 청보리 재배로 강우 유출 상상이 적어 지표 유출을 통한 비료 성분 유출은 미미하였다. 토양수의 질소와 인산 농도는 각각 축분퇴비와 화학비료 시비구 표층에서 높게 나타났지만, 토심이 깊어짐에 따라 그 농도가 낮아져 70cm 깊이에서는 무처리구와 유사하여 지하침투가 크지 않은 것으로 사료된다. 축분퇴비를 시비한 경우 토양유기물 농도가 다른 처리구에 비해 증가하였고, 인산농도 또한 증가하였다. 이는 축분퇴비의 높은 유기물 함량이 토양 인산보유능력의 향상에 일부 기여하기 때문으로 사료된다. 청보리 수확량은 축분퇴비구가 10.6 t/ha로 화학처리구에 비해 약 3.7 t/ha 컸고, 질소 이용율도 52%로 화학비료 처리구 48%보다 높게 나타났다. 동계 청보리 재배에 따른 영양물질의 포장 물질수지 분석 결과 지표 유출이나 지하침투에 의한 손실은 미미하였고, 작물 흡수와 토양 축적이 주요 유출 경로이었다. 다만, 표층 토양 및 토양수의 영양물질 축적은 하계 집중 호우 시 지표나 지하로 손실될 수 있어 적절한 영농관리가 필요하다. 또한 인산의 경우 질소에 비해 작물 흡수율이 낮아 토양 축적 가능성이 크고, 특히, 질소 대비 인산의 함량이 높은 축분퇴비 시용 시 토양 인산축적을 고려한 시비량 결정이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

This study was supported by funds provided to the Rural Research Institute of the Korea Rural Community Corporation by the Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries as part of the project of "Development of Agricultural Non Point Source Pollution Reduction Measures in the Saemangeum Watershed".

참고문헌

- Barrow, N. J., 1983. A mechanistic model for describing the sorption and desorption of phosphate by soil, *J. of Soil Sci.*, 34, 733-750.
- Choi, K.C., Yoon, S.H., Shin, J.S., Kim D.K., Han, H.S., Supanjani, Lee, K.D., 2010. Effects of soil amendment application on soil physico-chemical properties and yields of summer forage crops in the Sukmoon reclaimed tidal land in Korea, *Korean J Environ Agric*, 29(4), 354-361.
- Han, K.W., Cho, J.Y., Son, J.K., 1998. Losses of chemical components by infiltration water during the rice cultivation at silt loam paddy soil, *Korean J Environ Agric*, 17(3), 268-273.
- Hwang, K.S., Lee, I.B., Park, J.M., Yoo, B.S., 2007. Fractional recovery as extractable form of nutrient in composted livestock manure application on soil distributed in Jeju, *Korean J Environ Agric*, 26(1), 49-54.
- Jo, N.C., Shin, J.S., Kim, S.H., Yoon, S.H., Hwang, B.S., Jung, M.W., Lee, K.D., Kim, W.H., Seo, S., Kim, J.G., Song, C.E., Choi, K.C., 2010. Study on summer forage crop cultivation using SCB(Slurry composting-biofiltration) liquid fertilizer on reclaimed land, *J. Kor. Grassl. Forage Sci.*, 30(2), 121-126.
- Kim, M.K., Roh, K.A., Lee, N.J., Seo, M.C., Koh, M.H., 2005. Nutrient load balance in large-scale paddy fields during rice cultivation, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 38(3), 164-171.
- KRC, 2007. Agricultural infrastructure development and improvement project, Korea Rural Community and Agricultural Corporation.
- Lee, I.B., Kang, S.B., Park, J.M., 2008. Effect of soil incorporation of graminaceous and leguminous manures on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth and soil nutrient balances, *Korean J Environ Agric*, 27(4), 343-348.
- Lee, I.B., Chang, K.W., Park, J.M., 2007. Estimation of phosphorus adsorption capacity of allum-amended and composted paper mill sludge, *Korean J Environ Agric*, 26(2), 124-130.
- Lee, S.B., Cho, K.M., Baik, N.H., Lee, J.J., Oh Y.J., Park, T.I., Kim K.J., 2011. Effects of application method of pig compost and liquid pig manure on yield of whole crop barley (*Hordeum vulgare* L.) and chemical properties of soil in Gyehwa reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 44(3), 353-360.
- Lee, Y.J., Choi, D.H., Kim, S.H., Lee, S.M., Lee, Y.H., Lee, B.M., Kim T.W., 2004. Long-term changes in soil chemical properties in organic arable farming systems in Korea, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 37(4), 228-234.
- MAF(Ministry of Agriculture and Forestry), 2004. Studies on changes of soil characteristics and utilization after tidal land reclamation.
- MIFAFF, 2012. Budget and fund management plan overview for the year of 2012, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, South Korea.

- MIFAFF, 2010. Environmentally friendly livestock policy in environmental-friendly livestock for natural recycling system, Ministry of Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, South Korea.
- NAIST, 2000. Analytical methods for soil and plant, National Institute of Agriculture Science and Technology, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Oa, S.W., 2011. Nutrients transport pathway for watershed impact analysis of livestock wastes and its resources, *Korean Wetlands Society*, 13(3), 465-470.
- Park, J.M., Lim, T.J., Kang, S.B., Lee, I.B., Kang, Y.I., 2010. Effect of pig slurry fertigation on soil chemical properties and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.), *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 43(5), 610-615.
- Park, J.H., Yeo, J.K., Koo, Y.B., Lee, W.W., Kim, H.C., Park, C.H., 2008. Effects of slurry composting and biofiltration liquid fertilizer on growth characteristics of poplar clones in a reclaimed land mounding soil, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 41(5), 318-323.
- Rosswall, T., Paustian, K., 1984. Cycling of nitrogen in modern agricultural systems, *Plant and Soil*, 76, 3-21.
- RRI, 2006. Agricultural complex development for upland & Horticultural crops in the Saemangeum reclaimed farmland. Res. Rpt. Rural Research Institute. Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- Sohn, Y.M., Song, J.D., Jeon, G.Y., Kim, D.H., Park, M.E., 2010. Effect of soil salinity and culturing condition on the maintenance of ridge and the growth of upland crops in the Saemangeum reclaimed tidal land, *Korean J. Soil Sci. Fert.*, 43(5), 529-539.