Evaluation of the Crop Yield and Nutrient Balance by Application of Liquid Manure in Paddy Soil

Young Eun Yoon¹, Hyeon Ji Choe¹, Vimalraj Kantharaj¹, Mi Sun Jeong^{2,3}, and Yong Bok Lee^{2,3*}

¹Student, Division of Applied Life Science (BK21 Plus), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

²Researcher, Division of Applied Life Science (BK21 Plus), Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Professor, Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

*Corresponding author: yblee@gnu.ac.kr

ABSTRACT

Received: February 25, 2020

Revised: May 27, 2020

Accepted: May 28, 2020

ORCID

Young Eun Yoon

<https://orcid.org/0000-0001-5423-9402>

Yong Bok Lee

<https://orcid.org/0000-0002-7651-4556>

The purpose of this study was to evaluate the effects of liquid manure to increase the yield of green manure in winter season, and to investigate the effect of green manure incorporation to increase the yield of maize grain and nutrient balance improvement in upland soil. The green manure used in this experiment was barley and hairy vetch with a mixed ratio of barley and hairy vetch (75:25), respectively. Liquid manure applied 0, 26, 52, 78, and 104 Mg ha⁻¹, respectively, and the half of the total amount was applied as basal fertilizer, and the other half was topdressing. Nitrogen inputs through liquid manure were 0, 7.1, 15.6, 21.5 and 28.4 kg ha⁻¹, respectively, and the phosphorus inputs were 0, 11.3, 22.6, 33.9 and 45.2 kg ha⁻¹, respectively. The yield of green manure crops increased significantly with the increase of liquid manure application, but the yield of hairy vetch decreased. In the summer season, the green manure crops were incorporated, and the compost was used in the conventional treatment. The yield of maize grain increased with increasing green manure yield. The yield of maize grain of green manure crops incorporation treatments was up to 81% compared to conventional cultivation treatment, however the two-year experiments showed an increase on maize grain yields in green manure incorporation treatment. In addition, the incorporation of green manure crops greatly improved the phosphorus balance in compared to conventional cultivation. Therefore, productivity improvement of green manure crops by utilizing liquid manure is thought to have significantly contributed to the improvement of maize grain yield and nutrient balance.

Keywords: Liquid manure, Barley, Hairy vetch, Maize, Nutrient balance

The effect of green manure incorporation on the maize grain yield with different rate of liquid manure application for two years. The maize grain yield of PM4 treatment was 759 kg 10a⁻¹, and up to 81% in compared with the NPK treatment in 2017. However, the maize yield of incorporation green manure treatment in 2017 tended to increase in compared with that of in 2016.

Introduction

작물생산성 및 토양비옥도는 농경지 토양의 지속적인 영농활동에 의해 결정되며, 이러한 활동은 토양의 물리, 화학, 생물학적 특성을 복합적으로 변화시킨다. 작물생산성 유지를 위해서는 토양 비옥도의 지속적인 관리 및 물리, 화학적 특성의 개선의 이루어져야 하며, 이를 위한 여러가지 방안 중 유기물 함량의 증대는 가장 효과적인 방법 중 하나로 평가되고 있다 (Navarro et al., 1993). Lee et al. (2013)의 연구 결과에 의하면 논 토양에서 퇴비 및 무기질 비료의 장기연용에 의한 벼 수량은 퇴비 시용구에서 약 10년 이후 지속적인 수량 증가가 있었으며, 무기질 비료 시용구와 수량 차이가 없었다. 이는 퇴비 시용구에서의 지속적인 퇴비 사용에 의한 토양질 개선 및 유기물 함량 증가가 그 원인으로 평가되고 있으며, 무기질 비료 시용구의 유기물 함량은 점차 감소하는 경향을 보였다. 또한, 밭토양에서 가축분 퇴비, 풋거름 작물과 같은 유기물의 장기시용은 토양내 유기물 함량을 증가시켰으며, 이로 인해 호밀, 옥수수의 생산량을 증가시키는 것으로 보고되었으며 (Wei et al., 2016; Cho et al., 2018; Wang et al., 2019), 음식물 쓰레기를 이용한 유기물 자원의 투입 또한 배추와 토마토의 생육을 증가시키는 것으로 보고되었다 (Yoo et al., 2018) 따라서 지속적인 유기물의 투입은 토양질을 개선하며 토양 내 유기물 함량을 증가시켜 관행재배와 비교하여 작물 생산성의 증가 또는 유지를 기대할 수 있다. 투입가능한 유기물 자원으로는 가축분 퇴비가 가장 널리 이용되고 있으나, 낮은 N/P 비율로 인하여 지속적으로 사용할 시 농경지 인산집적을 심화시킬 수 있다 (Iqbal et al., 2015). 또한, 무기질 비료 사용량 저감을 위한 가축분뇨의 사용은 농경지 양분수지 감소에 크게 영향을 미치지 못하고 있다 (Kim et al., 2008). 따라서 양분수지 및 무기질 비료 사용량 저감을 위한 가축분뇨의 효율적인 활용 방안이 필요하다.

풋거름 작물은 가축분뇨 외 널리 이용되고 있는 양질의 유기물 자원으로 동절기 풋거름 작물 재배 후 환원은 양질의 유기물 자원 활용뿐만 아니라 양분수지를 개선할 수 있는 방안으로 이용되고 있다 (Khan et al., 2019; Chen et al., 2019; Qaswar et al., 2020). 풋거름 작물은 화본과와 두과작물로 구분할 수 있으며, 화본과 작물은 풋거름 보리, 호밀, 수단그라스, 두과작물은 헤어리베치, 자운영, 크로바 등이 이용되고 있다. 그 중 헤어리베치는 다른 두과작물에 비해 1% 이상 높은 질소함량을 나타내고 있으며 (Smith et al., 1987), 낮은 온도에서도 생육 및 질소 고정력이 높은 것으로 알려져 있다 (Power and Zacharisassen, 1993). 동절기 화본과 풋거름 작물 재배는 피복효과로 인해 토양 침식 방지와 토양 중 질소 용탈 저감 효과가 있는 것으로 보고되어 있다 (Macdonald et al., 2005). 동절기 풋거름 작물 재배는 화본과 (풋거름 보리)와 두과 (헤어리베치)의 혼파 또는 단파를 통해서 이루어질 수 있으며, 단파보다는 혼파를 하였을 때 높은 질소 생산량을 나타냈고, 혼파비율 중 풋거름 보리 75% + 헤어리베치 25% 파종시 가장 높은 질소 생산량을 나타냈다 (Tejada et al., 2008; Cicek et al., 2014). 화본과 작물은 생물학적 분해속도가 느리고 두과작물은 공중질소 고정능력을 지니고 있다. 따라서 화본과 작물은 장기적으로 토양 내 유기물 공급 능력이 뛰어나고 (N'Dayegamiye and Tran, 2001), 두과작물은 공중질소를 고정하여 질소 공급측면에서 효과가 있다 (Waggar et al., 1998; Kuo and Jellum, 2011).

풋거름 작물 재배 및 환원 후 작물 생산성과 양분수지에 대한 평가는 주로 논에서 이루어지고 있으며 (Lee et al., 2013; Hong et al., 2018; Qaswar et al., 2019; Swami and Singh 2019), 가축분뇨를 활용한 풋거름 작물 재배에 대한 연구는 미미한 실정이다. 또한 풋거름 작물의 재배 및 환원에 의한 후작물 생산성 향상을 위한 가축분뇨의 효율적인 활용 방안에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 1) 가축분뇨 사용을 통한 풋거름 작물의 생산성 향상과 2) 동절기 풋거름 작물 재배 후 환원을 통한 하절기 옥수수 작물의 생산성 향상 및 밭토양 양분수지 개선효과를 평가하고자 한다.

Materials and Methods

동절기 풋겨름작물 재배 본 실험은 2016 - 2017년 2년간 시행하였으며 본 실험에 사용된 풋겨름 작물은 보리 (*Hordeum vulgare*)와 헤어리베치 (*Vicia villosa*)이며, 표준 파종량 대비 보리 75% ($10.5 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$) + 헤어리베치 25% ($2.25 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$) 로 혼파하였다. Kim et al. (2012)에 의하면 보리와 헤어리베치의 혼파비율이 보리 75% + 헤어리베치 25% 일 경우 풋겨름 작물의 생산량이 가장 높게 나타난다고 보고하였다. 풋겨름 작물은 2015년 10월 29일, 2016년 11월 3일 파종하였으며, 각각 2016년 5월 9일, 2017년 5월 14일 전량 토양에 환원하였다. 질소와 인산 시비는 돈분액비 사용을 통해 공급하였으며, 돈분액비 사용량은 각각 0 (Control), 26 (PM1), 52 (PM2), 78 (PM3), 104 (PM4) Mg ha^{-1} 로 전체 사용량의 1/2은 각각 2015년 10월 20일, 2016년 10월 26일 기비하였고, 나머지 1/2은 2016년 1월 15일 2017년 1월 13일 추비하였다. 돈분액비를 통한 질소 투입량은 돈분액비 사용량에 따라 각각 0, 7.1, 15.6, 21.3, 28.4 kg ha^{-1} 이며, 인산 투입량은 각각 0, 11.3, 22.6, 33.9, 45.2 kg ha^{-1} 이었다. 풋겨름 작물은 수확 후 전량 토양에 환원하였으며, 시험 전 토양의 이화학적 특성은 pH (1:5) 6.7, 유기물 함량 8.3 g kg^{-1} , 유효인산 28 mg kg^{-1} , 치환성 K, Ca, Mg 함량은 각각 0.2, 7.4, 2.6 $\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$ 이었다.

하절기 옥수수 재배 풋겨름 작물 재배 후 옥수수 재배에 사용된 품종은 찰옥수수 (*Zea mays*)이며, 2016년 5월 23일, 2017년 5월 29일 각각 정식하였다 (재식거리 $0.9 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$). 풋겨름 작물 재배 및 돈분액비 사용 처리구 (Control, PM1, PM2, PM3, PM4)의 풋겨름 작물은 전량 환원하였고 무기질 비료는 시비하지 않았다. 관행재배 처리구 (NPK)에는 매년 가축분 퇴비 2 $\text{ton } 10\text{a}^{-1}$ 와 무기질 비료를 옥수수 재배 표준시비량 (N - P_2O_5 - K_2O : 58 - 30 - 63 $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)으로 시비하였다. 2016년 8월 9일, 2017년 8월 17일 수확하였으며, 수확한 옥수수는 잎, 줄기, 알곡으로 분리하여 60°C, Dryoven에서 건조하였고, 분쇄 후 분석에 사용하였다. 식물체의 질소함량은 Kjeldahl 분석법을 이용하여 분석하였으며 인산함량은 Vanadate법을 이용하여 분석하였다. 토양의 질소함량은 Kjeldahl 분석법을 이용하여 분석하였으며 유기물 함량은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster solution을 사용해 추출한 후 720nm에서 비색측정 하였다. 토양 치환성 양이온 (K, Ca, Mg) 함량은 1M Ammonium acetate로 추출한 후 Inductively Coupled Plasma Spectrometer (OPTIMA 5300DV, PerkinElmer, USA)를 사용하여 분석하였다 (RDA, 2003).

양분수지 평가 본 실험에서는 양분수지 평가를 위해 OECD 양분수지분석의 PARCOM guidelines에 따라 Soil surface balance 기법을 이용하였으며 (PARCOM, 1995), 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{양분수지} = \sum \text{양분 유입인자} - \sum \text{양분 유출인자}$$

양분유입 인자로 무기질비료 사용, 돈분액비 및 가축분퇴비 사용, 강우, 생물학적 고정, 모종, 그리고 헤어리베치에 의한 질소 고정량을 고려하였으며, 양분유출 인자로 옥수수에 의한 양분 흡수량을 고려하여 수지를 산출하였다. 이 중, 헤어리베치에 의한 질소 고정량은 헤어리베치 질소 함량의 70%로 계산하였다 (Papastylianou, 1988).

Results and Discussion

돈분액비 시용에 따른 풋거름 작물 수량 및 양분함량 돈분액비 시용량에 따른 풋거름 작물의 생산량은 Fig. 1에서 보는 바와 같다. 돈분액비 시용량 증가에 따라 풋거름 작물의 생산량은 증가하였으며, 돈분액비 시용량이 높은 PM3, PM4 처리구에서는 연차간 차이를 보이지 않았다. 2016년도 풋거름 작물의 생산량은 Control에서 5.0 Mg ha⁻¹로 가장 낮았으며 PM3, PM4 처리구에서 12.3, 11.9 Mg ha⁻¹로 가장 높은 값을 나타내었다. 2017년도에서는 Control에서 3.8 Mg ha⁻¹로 가장 낮았고, PM4 처리구에서 12.9 Mg ha⁻¹로 가장 높았다. 2년간 풋거름 작물의 수량은 돈분액비 시용량 증가에 따라 증가하였지만, 헤어리베치의 수량은 돈분액비 시용량 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다. Raese et al. (2007)에 의하면 두과 작물보다 화본과 작물이 시비에 영향을 크게 받으며, 본 실험에서는 돈분액비 시용에 의한 풋거름 보리 생육 향상이 헤어리베치 생육 저해에 영향을 미친 것으로 판단된다.

돈분액비 시용량 증가에 따른 풋거름 작물의 생산량 증가에 의해서 질소 및 인산의 생산량 또한 증가하였다. 풋거름 보리와 헤어리베치 생산에 의한 질소 생산량은 2016년도에서는 PM3 처리구에서 최고 150.8 kg ha⁻¹로 무기질 비료 표준시비량 157 kg ha⁻¹에는 미치지 못하는 수준이었으나 2017년도에서는 PM1, PM2, PM3, PM4 처리구에서 각각 148.9, 181.5, 199.5, 278.8 kg ha⁻¹로 무기질 비료 표준시비량과 비슷하거나 더 높은 값을 나타내었다(Table 1). 2017년도 PM4 처리구에서 헤어리베치의 질소 생산량은 80.8 kg ha⁻¹로 2016년도 질소 생산량 (65.2 kg ha⁻¹)에 비해 15.6 kg ha⁻¹가 증가하였으나, 풋거름 보리의 질소 생산량은 2017년도 171 kg ha⁻¹, 2016년도 77.1 kg ha⁻¹로 93.9 kg ha⁻¹로 풋거름 보리의 질소 생산량의 증가가 헤어리베치의 증가에 비해 약 6배 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 공중질소를 고정하는 능력이 있는 두과작물인 헤어리베치가 화본과 작물인 풋거름 보리에 비해 돈분액비 시용에 영향을 적게 받는 것으로 판단된다. Lee et al. (2014)에 의하면 풋거름 작물 재배시 돈분액비의 시용에 의해 화본과 작물의 생산량 증가율이 두과작물에 비해 더 높았으며, 특히 화본과 작물의 양분공급량 증가율은 두과작물에 비해 3배 이상 높은 결과를 나타내었다. 또한, 돈분액비 시용에 의한 화본과 작물인 라이그라스와 두과작물인 자운영의 생산량을 연구한 시험에서 화본과 작물인 라이그라스의 생산량 증가가 더 높다고 보고한 바 있다 (Lee et al., 2011).

Fig. 1. Green manure (barley and hairy vetch) yield with different rate of liquid manure application in the upland soil for two years. The appearance of the same letter(s) over matching bars means that there are not significantly ($p > 0.05$) different according to Tukey's test.

Table 1. Nitrogen and phosphorus content of barley and hairy vetch with different rate of liquid manure application in two years.

Treatments	2016						2017					
	Nitrogen (kg N ha ⁻¹)			Phosphorus (kg P ha ⁻¹)			Nitrogen (kg N ha ⁻¹)			Phosphorus (kg P ha ⁻¹)		
	Barley	Hairy vetch	Total	Barley	Hairy vetch	Total	Barley	Hairy vetch	Total	Barley	Hairy vetch	Total
Control	12.1	65.0	77.1d	3.50	7.2	10.7d	5.40	105	110d	3.80	3.5	7.30d
PM1	29.3	67.3	96.6c	8.40	5.5	13.9c	26.9	122	149c	8.00	2.3	10.3d
PM2	57.5	66.6	124b	19.4	5.5	24.9b	65.9	116	181b	14.1	2.9	17.0c
PM3	85.5	65.2	151a	29.2	6.1	35.4a	119	80.8	199b	23.7	3.4	27.1b
PM4	77.1	68.2	146a	35.5	6.9	35.5a	171	107	279a	31.0	4.1	35.1a

Means with the same matching letter(s), in the same column are not significantly ($p > 0.05$) different according to Tukey's test.

풋거름 작물 환원에 따른 풋옥수수 수량변화 2016년도 풋거름 작물 환원 처리구의 풋옥수수 수량은 관행재배 처리구 (898 kg 10a⁻¹) 대비 Control, PM1, PM2, PM3, PM4에서 각각 43, 46, 50, 51, 54%로 관행재배 대비 절반 수준이었으며, 풋거름 작물 환원 처리구간 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 2017년도 풋거름 작물 환원 처리구의 풋옥수수 수량은 풋거름 작물 환원량 증가에 따라 풋옥수수 수량이 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 관행재배 처리구 (932 kg 10a⁻¹) 대비 Control, PM1, PM2, PM3, PM4에서 풋옥수수 수량은 각각 58, 60, 72, 73, 81% 수준으로, 2년간의 시험에서는 풋거름 작물 환원 처리구의 옥수수 수량은 무기질 비료 처리구에 미치지 못하였다 (Fig. 2). Egodawatta et al. (2012)에 의하면 2년간 풋거름 작물의 환원 처리구의 옥수수 및 콩 수량은 무기질 비료 처리구에 미치지 못하였다고 보고한 바 있으나, 풋거름 작물 재배 후 환원의 장기연용은 토양 내 유기탄소, 질소, 인산의 함량을 증가시키며 후작물의 생산량 또한 증가한다고 보고하였다 (Qaswar et al. 2019). 2017년도 풋옥수수 수량은 PM4 처리구에서 최고 759 kg 10a⁻¹로 2016년도에 비해 개선의 효과가 있는 것으로 나타났다. 이는, 돈분액비 시용량 증가에 따른 풋거름 작물의 수량 및 질소 생산량 증가에 의해서 풋옥수수 수량이

Fig. 2. The effect of green manure incorporation on the maize grain yield with different rate of liquid manure application for two years. The appearance of the same letter(s) over matching bars means that there are not significantly ($p > 0.05$) different according to Tukey's test.

증가한 것으로 판단되며, 이를 장기연용 할 시 풋거름 작물 환원에 의해 토양 유기물 함량 증가 (Gao et al., 2018) 및 토양 양분 이용률 증가로 인해 후작물 생산성 증가 효과가 있을 것으로 판단된다 (Torstensson et al., 2006; Gómez et al., 2009).

풋거름 작물-옥수수 작부체계에서 양분수지 특성 풋거름 작물-옥수수 작부체계에서의 질소수지는 Fig. 3에서 보는 바와 같다. 2016, 2017년도 관행재배 처리구의 평균 질소수지는 115.1 kg ha^{-1} 로 무기질비료 및 가축분 퇴비 사용으로 인한 과량의 질소가 투입되어 질소수지를 악화시키는 것으로 나타났다. 돈분액비를 사용하지 않은 Control 처리구와 PM1 처리구의 2년간 평균 질소수지는 각각 $34.5, 35.0 \text{ kg ha}^{-1}$ 로 PM2, PM3, PM4 처리구의 평균 질소수지 ($10.2, 7.1, 9.2 \text{ kg ha}^{-1}$)보다 높은 값을 나타내었다. 이는 Control과 PM1 처리구의 풋거름 작물에 의한 양분투입량이 PM2, PM3, PM4 처리구에 비해 낮았으며, 이로 인한 옥수수 수량 저하가 질소수지에 영향을 미친 것으로 판단된다.

본 실험에서 사용된 농경지는 인산 유효도가 매우 낮은 토양이었으며, 인산의 경우 외부 양분 유입량이 적어,

Fig. 3. Nitrogen balance dynamics during 2016-2017 in the green manure-maize cropping system with different rate of liquid manure application. The appearance of the same letter(s) over matching bars means that there are not significantly ($p > 0.05$) different according to Tukey's test.

Fig. 4. Phosphorus balance dynamics during 2016-2017 in the green manure-maize cropping system with different rate of liquid manure application. The appearance of the same letter(s) over matching bars means that there are not significantly ($p > 0.05$) different according to Tukey's test.

관행재배 처리구를 제외한 모든 처리구의 인산수지는 음의 값을 나타내었다 (Fig. 4). 관행재배 처리구에서는 무기질비료와 가축분 퇴비에 의한 영향으로 2년간 평균 인산수지는 48.3 kg ha^{-1} 로 나머지 처리구에 비해 높은 값을 나타내었다. 돈분액비를 사용하지 않은 Control 처리구와 PM1, PM2, PM3 처리구의 평균 인산수지는 각각 -14.0 , -11.6 , -10.1 , -7.1 kg ha^{-1} 로 추가적인 인산 투입이 필요한 것으로 평가되었으나, PM4 처리구의 인산수지는 -0.7 kg ha^{-1} 로 추가적인 인산 투입 없이 농경지 인산수지를 개선시키는 것으로 나타났다.

Conclusions

본 연구는 가축분뇨 사용을 통한 풋거름 작물의 생산성 및 동절기 풋거름 작물 재배 후 환원을 통해 하절기 옥수수 작물의 생산성 향상과 밭토양 양분수지의 개선효과를 평가하였다. 가축분뇨 사용에 의한 풋거름 작물의 생산성은 PM3, PM4 처리구에서 가장 높았으며, 풋거름 작물에 의한 양분 생산량은 2017년도 PM2, PM3, PM4 처리구에서 무기질비료 표준시비량 (157 kg ha^{-1})보다 더 높은 값을 나타내었다. 풋거름 작물 환원 후 옥수수 수량은 관행재배 대비 최고 81% 수준이었으나, 연차간 개선의 효과가 있는 것으로 평가되었다. 풋거름 작물-옥수수 재배 작부체계에서의 질소수지는 PM2, PM3, PM4 처리구에서 각각 10.2 , 7.1 , 9.2 kg ha^{-1} 로 관행재배 처리구 (115.1 kg ha^{-1})보다 낮았으며, 인산수지의 경우 PM4 처리구에서 -0.7 kg ha^{-1} 로 농경지 인산수지를 개선시키는 것으로 판단된다. 따라서 돈분액비 활용에 의한 풋거름 작물의 생산성 향상은 농경지 토양에 유기물 함량을 증진시키며, 이로 인해 후작물 생산성 향상과 양분수지 개선에 기여할 수 있을 것으로 평가된다.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF-2015R1A6A1A03031413).

References

- Chen, Y., N. Hu, Q. Zhang, Y. Lou, Z. Li, Z. Tang, Y. Kuzyakov, and Y. Wang. 2019. Impacts of green manure amendment on detritus micro-food web in a double-rice cropping system. *Appl. Soil Ecol.* 138:32-36.
- Cho, H.S., M.C. Seo, J.H. Kim, W.G. Sang, P. Shin, and J.K. Baek. 2018. The changes of soil carbon as affected by several kinds of organic material in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):586-595.
- Cicek, H., J.R. Thiessen Martens, K.C. Bamford, and M.H. Entz. 2014. Effects of grazing two green manure crop types in organic farming systems: N supply and productivity of following grain crops. *Agric. Ecosyst. Environ.* 190:27-36.
- Egodawatta, W.C.P., U.R. Sangakkara, and P. Stamp. 2012. Impact of green manure and mineral fertilizer inputs on soil organic matter and crop productivity in a sloping landscape of Sri Lanka. *F. Crop. Res.* 129:21-27.
- Gao, S.J., J.S. Gao, W.D. Cao, C.Q. Zou, J. Huang, J.S. Bai, and F.G. Dou. 2018. Effects of long-term green manure application on the content and structure of dissolved organic matter in red paddy soil. *J. Integr. Agric.* 17(8):1852-1860.
- Gómez, J.A., M.G. Guzmán, J.V. Giráldez, and E. Fereres. 2009. The influence of cover crops and tillage on water and sediment yield, and on nutrient, and organic matter losses in an olive orchard on a sandy loam soil. *Soil Tillage Res.* 106:137-144.

- Hong, X., C. Ma, J. Gao, S. Su, T. Li, Z. Luo, R. Duan, Y. Wang, L. Bai, and X. Zeng. 2019. Effects of different green manure treatments on soil apparent N and P balance under a 34-year double-rice cropping system. *J. Soils Sediments* 19(1):73-80.
- Iqbal, H., M. Garcia-Perez, and M. Flury. 2015. Effect of biochar on leaching of organic carbon, nitrogen, and phosphorus from compost in bioretention systems. *Sci. Total Environ.* 521-522:37-45.
- Khan, M.I., H.S. Gwon, M.A. Alam, H.J. Song, S. Das, and P.J. Kim. 2019. Short term effects of different green manure amendments on the composition of main microbial groups and microbial activity of a submerged rice cropping system. *Appl. Soil Ecol.* 147:103400.
- Kim, M.C., J.Y. Song, K.J. Hwang, S.T. Song, C.H. Hyun, and T.H. Kang. 2008. The effects of application of liquid swine manure on productivity of rye and subsequent soil quality. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 28(2):81-88.
- Kim, T.Y., A.R. Daquiado, F. Alam, and Y.B. Lee. 2012. Evaluation of nitrogen and phosphorus balance in green manure-rice cropping systems without incorporation of green manure crops. *Korean J. Environ. Agric.* 31:308-312.
- Kuo, S. and E.J. Jellum. 2002. Influence of winter cover crop and residue management on soil nitrogen availability. *Agron. J.* 501-508.
- Lee, C.H., K.Y. Jung, S.S. Kang, M.S. Kim, Y.H. Kim, and P.J. Kim. 2013. Effect of long-term fertilization on soil carbon and nitrogen pools in paddy soil. *Korean J. Soil Sci. Fertil.* 46:216-222.
- Lee, S.G., D.C. Seo, S.W. Kang, Y.J. Seo, I.W. Choi, M.O. Kim, W.T. Jeon, U.G. Kang, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2011. Optimum application level of liquid pig manure for increasing green manure crop yield. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:1103-1106.
- Lee, S.G., D.C. Seo, S.W. Kang, Y.J. Seo, J.H. Ryu, H.W. Kang, W.T. Jeon, M.T. Kim, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2014. Effect of liquid pig manure on growth and nutrient contributions of green manure crops of gramineae and leguminous species in paddy soil. *J. Agric & Life Sci.* 48(2):175-184.
- Macdonald, A.J., P.R. Poulton, M.T. Howe, K.W.T. Goulding, and D.S. Powlson. 2005. The use of cover crops in cereal-based cropping systems to control nitrate leaching in SE England, *Plant and Soil.* 273:355-373.
- N'Dayegamiye, A. and T.S. Tran. 2001. Effects of green manures on soil organic matter and wheat yields and N nutrition. *Can. J. Soil Sci.* 81:371-382.
- Na, H.C., M.W. Jung, Y.S. Choi, K.C. Choi, and W.B. Yook. 2006. Studies on the types and rates of application of cattle slurry and swine manure fermented with sawdust on productivity of silage corn and leaching of nutrients. *J. Korean Grassl. Sci.* 26(4):177-186.
- Navarro, A.F., J. Cegarra, A. Roig, and D. Garcia. 1993. Relationships between organic matter and carbon contents of organic wastes. *Bioresour. Technol.* 44:203-207.
- Papastylianou, I. 1988. The ^{15}N methodology in estimating N_2 fixation by vetch and pea grown in pure stand or in mixtures with oat. *Plant Soil.* 107:183-188.
- PARCOM. 1995. PARCOM guidelines for calculating mineral balance. Oslo and Paris conventions for the prevention of marine pollution programs and measures committee (PRAM). Oviedo. 20-24. February.
- Power, J.F. and J.A. Zachariassen. 1993. Relative nitrogen utilization by legume cover crop species at three soil temperatures. *Agron. J.* 85:1134-140.
- Qaswar, M., H. Jing, W. Ahmed, L. Dongchu, L. Shujun, S. Ali, L. Kailou, X. Yongmei, Z. Lu, L. Lisheng, G. Jusheng, and Z. Huimin. 2019. Long-term green manure rotations improve soil biochemical properties, yield sustainability and nutrient balances in acidic paddy soil under a rice-based cropping system. *Agronomy.* 9(12):780.
- Qaswar, M., H. Jing, W. Ahmed, L. Dongchu, L. Shujun, Z. Lu, A. Cai, L. Lisheng, X. Yongmei, G. Jusheng, and Z. Huimin. 2020. Yield sustainability, soil organic carbon sequestration and nutrients balance under long-term

- combined application of manure and inorganic fertilizers in acidic paddy soil. *Soil Tillage Res.* 198:104569.
- Raese, J.T., S.R. Drake, and E.A. Curry. 2007. Nitrogen fertilizer influences fruit quality, soil nutrients and cover crops, leaf color and nitrogen content, biennial bearing and cold hardiness of “Golden Delicious.” *J. Plant Nutr.* 30:1585-1604.
- RDA, 2003. Standard methods for agricultural experiments, Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Smith, M.S., W.W. Frye, and J.J. Varco. 1987. Legume winter cover crops. *Advances in Soil Sci.* 7:95-139.
- Swami, S. and S. Singh. 2019. Effect of nitrogen application through urea and Azolla on yield, nutrient uptake of rice and soil acidity indices in acidic soil of Meghalaya. *J. Enviro. Biol.* 41(1):139-146.
- Tejada, M., J.L. Gonzalez, A.M. García-Martínez, and J. Parrado. 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. *Bioresour. Technol.* 99:1758-1767.
- Torstensson, G., H. Aronsson, and L. Bergström. 2006. Nutrient use efficiencies and leaching of organic and conventional cropping systems in Sweden. *Agron. J.* 98:603-615.
- Wagger, M.G., M.L. Cabrera, and N.N. Ranells. 1998. Nitrogen and carbon cycling in relation to cover crop residue quality. *J. Soil Water Conserv.* 53:214-218.
- Wang, H., J. Xu, X. Liu, D. Zhang, L. Li, W. Li, and L. Sheng. 2019. Effects of long-term application of organic fertilizer on improving organic matter content and retarding acidity in red soil from China. *Soil Tillage Res.* 195:104382.
- Wei, W., Y. Yan, J. Cao, P. Christie, F. Zhang, and M. Fan. 2016. Effects of combined application of organic amendments and fertilizers on crop yield and soil organic matter: An integrated analysis of long-term experiments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 225:86-92.
- Yoo, J.H., Y.D. Lee, K.A. Hussein, and J.H. Joo. 2018. The effect of food waste compost on chinese cabbage (*Brassica rapa* var. *glabra*) and tomato (*Solanum lycopersicum* L.) growth. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 51(4):596-607.