

Research Article

Open Access

## 녹비작물 무 환원-벼 작부체계에서 질소와 인산수지 평가

김태영,<sup>1</sup> 아일린,<sup>1</sup> 파리들,<sup>1</sup> 이용복<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>경상대학교 응용생명과학부, <sup>2</sup>경상대학교 생명과학연구원

### Evaluation of Nitrogen and Phosphorus Balance in Green Manure-Rice Cropping Systems without Incorporation of Green Manure Crops

TaeYoung Kim,<sup>1</sup> Aileen Rose Daquiado,<sup>1</sup> Faridul Alam<sup>1</sup> and YongBok Lee<sup>1,2\*</sup> (<sup>1</sup>Division of Applied Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea, <sup>2</sup>Research Institute of Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 660-701, Korea)

Received: 14 November 2012 / Revised: 13 December 2012 / Accepted: 18 December 2012

© 2012 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### Abstract

**BACKGROUND:** The nutrient balance in Korea during 1985-2006 had continually increased and maintained the highest levels among OECD countries. The use of green manure crops such as barley and hairy vetch is common practice for reducing chemical fertilizer application and maintaining soil fertility. However, green manure crops can also be used as a livestock feeding material which may reduce nutrient balance in the national scale. We calculated nitrogen and phosphate balance under green manure-rice cultivating system where all green manure was removed and used for feeding livestock.

**METHODS AND RESULTS:** The barley and hairy vetch grown in pure stands or in mixtures with different sowing rates were tested for rice cultivation without chemical fertilization. The conventional fertilization (NPK) for rice cultivation was selected to compare nutrient balance with green manure-rice cultivation. Nitrogen and phosphate balance were calculated according to the surface balance method of the PARCOM guidelines. Total aboveground

biomass of mixture (barley and hairy vetch) was higher compared to that of pure barley or hairy vetch. Among the mixture with barley and hairy vetch, the highest aboveground biomass was observed in B75H25 (barley 75%+hairy vetch 25%). The nitrogen and phosphate balance in the B75H25 mixture was-104 kg N/ha and-50.3 kg P/ha, respectively.

**CONCLUSION(S):** The barley and hairy vetch mixture proved to be a very effective strategy for biomass production of green manure. The amount of nitrogen and phosphate fertilizer to be applied is estimated to be 104 kg N/ha and 50.3 kg P/ha in order to maintain soil fertility if all green manure and rice straw were removed from rice field for livestock feeding.

**Key Words:** Green manure, Nitrogen balance, Phosphate balance, Rice

#### 서론

우리나라는 고도의 집약농업을 실시하고 있으며, 세계적으로 단위면적당 화학비료 사용량이 가장 많은 국가로 분류되고 있다. 농경지에 시비된 양분은 작물생산에 이용되고, 나머지는 농경지에 축적되어 주변 생태계를 오염시킬 수 있는 잠재적 오염원으로 작용한다. 따라서 농경지 단위면적당 화학비

\*교신저자(Corresponding author),  
Phone: +82-55-772-1967; Fax: +82-55-772-1960;  
E-mail: yblee@gnu.ac.kr

료 사용량 감축은 농정 당국의 당면과제 중 하나이다.

농경지 화학비료 대체 및 절감에 가장 현실적인 방안이 녹비재배이다. 녹비는 작물을 재배하지 않는 휴한기에 재배하여 작물 재배 전 푸를 때 베어서 토양에 넣어 주는 작물이다. 우리나라의 녹비재배는 1930년대부터 실시되었으며, 2000년대 친환경농산물에 대한 수요 급증으로 재배면적이 급격히 증가되고 있다(Lee, 1983). 우리나라의 녹비재배는 양분공급과 토양유기물 증진 측면에서 활발한 연구가 진행되고 있다. 옥수수 재배시 헤어리베치를 녹비로 활용하면 200 kg/ha 이상의 질소를 얻을 수 있고, 옥수수에 대한 질소공급이 150 kg/ha 이상 가능하여 화학비료 없이 옥수수 생산을 할 수 있다(Utomo *et al.*, 1990; Power *et al.*, 1991; Seo *et al.*, 2000). 호밀-벼 작부체계에서 호밀은 높은 C/N율을 가지고 있어 토양유기물 증진효과는 높지만 벼 수량은 관행재배에 미치지 못하고, 헤어리베치-벼 작부체계에서는 헤어리베치를 통한 질소 공급이 높아 수확기 벼 도복이 발생하였다(Jeon *et al.*, 2010). 따라서 논에서 화분과 녹비작물의 유기물 공급효과와 두과 녹비작물의 질소 공급효과를 극대화하기 위해서 화분과 두과의 혼파 작부체계가 연구되었다(Jeon *et al.*, 2012). 그리고 Jeon 등(2012)은 청보리-헤어리베치 혼파지에서 벼재배에 대한 잉여 양분의 가축사료 활용 가능성을 평가하였다.

우리나라는 OECD 회원국 중에서 농경지 단위면적 당 화학비료 사용량이 가장 높고, 가축사육밀도가 높아 양분수지 또한 높은 국가로 분류되고 있다(Kim *et al.*, 2008). 동절기 녹비재배는 벼 재배시 화학비료 사용량을 크게 저감시키고, 수확후 가축사료로 활용할 경우 사료를 통한 양분 유입량 저감에 의해서 국가단위 양분수지 저감에 크게 기여할 것으로 기대된다. 그러나 지금까지 녹비재배는 화학비료 절감에만 집중되어 가축사료로 활용시 양분수지 저감에 대한 정확한 평가가 이루어지지 않고 있다. 따라서 본 연구는 현재 활발한 연구가 진행되고 있는 화분과-두과 녹비작물재배지에서 녹비작물 전량 회수에 따른 양분수지를 평가하고자 한다.

**재료 및 방법**

본 시험은 경상남도 진주시에 소재한 경상대학교 실습포장에서 실시하였다. 시험에 이용된 토양은 식양토로서 pH가 5.8, 유기물 함량이 9.8 g/kg이 었다 (Table 1).

녹비작물은 답리작으로 2010년 11월 3일 산파였고, 녹비는 수확 후 전량 회수하고 2011년 6월 18일 화학비료 사용 없이 일미벼를 손이앙(재식거리, 15x30 cm) 하였다. 그리고 대조구(NPK)는 녹비작물을 재배하지 않고 벼를 재배하였으며, 비료 사용량은 표준시비량(N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O, 9-4.5-5.8 kg/10a)을 시비 하였다. 그리고 벼는 2011년 10월 21일 수확하였다.

녹비작물 혼파 비율은 Connolly (1986)이 제시한 방법에 따라 녹비보리 100% (18kg/10a, B100), 녹비보리 75% + 헤어리베치 25% (13.5+2.3 kg/10a, B75H25), 녹비보리 50% + 헤어리베치 50% (9.0+4.5 kg/10a, B50H50), 녹비보리 25% + 헤어리베치 75% (4.6+6.8kg/10a, B25H75),

헤어리베치 100% (9.0 kg/10a, H100)를 선택하였다. 이때 이용된 녹비보리는 영양보리, 헤어리베치는 H1 (중국 수입종)이었고, 모든 시험은 완전임의 배치법 3반복으로 수행하였다. 녹비수량은 1 m<sup>2</sup>를 수확하여 보리와 헤어리베치를 나누어 계산하였고, 벼는 3.3 m<sup>2</sup>를 수확하여 벼짚과 정조를 분리하였다. 식물체 질소와 인산함량과 토양의 이화학적 분석은 농촌진흥청 농사시험연구 기준에 따라 분석하였다(RDA, 2003)

양분수지는 Surface balance 기법에 의해서 분석하였다. 양분 유입량은 강우, 종자, 생물학적 질소 고정량, 화학비료 사용량으로 산출하였으며, 양분유출량은 녹비와 벼짚 및 정조 중 양분함량으로 산출하였다. 벼 재배기간 생물학적 질소 고정량은 7.8 kg/ha (Lee and Lee, 1987)을 적용 하였으며, 헤어리베치에 의한 공중질소 고정량은 헤어리베치 중 질소함량의 70%로 계산하였다(Papastylianou, 1988). 본 연구에서 관개수는 질소와 인산함량이 아주 낮은 지하수를 이용하였기 때문에 관개에 의한 양분유입량은 계산에 포함시키지 않았고 벼 재배시 관개수는 유출은 없었기 때문에 유거에 의한 양분 유출량도 계산에 포함시키지 않았다.

Table 1. Soil properties at the beginning of the experiment

pH (1:5)	OM (g/kg)	Av.-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Ex.-Cations (cmol/kg)			Soil texture
			K	Ca	Mg	
5.8	9.8	63.2	0.28	4.7	1.18	Clay loam

**결과 및 고찰**

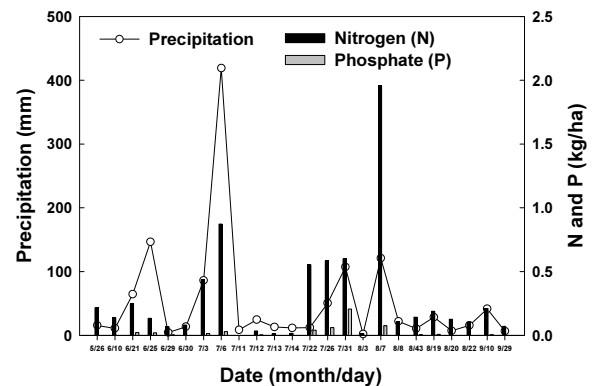


Fig. 1. Nitrogen and phosphate input by precipitation during the experimental period.

2010-2011년 동절기(녹비작물 재배기간) 극심한 가뭄으로 인해 강우 중 질소와 인의 농도 측정을 위한 시료 확보가 어려웠다. 따라서 벼 재배기간 중 강우에 의한 질소 및 인산 유입량을 계산하여, 그 평균값을 녹비재배기간 강우량에 질소와 인산 농도로 계산하였다. 강우 중 질소 농도는 7월 보다 8월이 높게 나타났다. 그리고 벼 재배 기간 동안 강우를 통한 질소와 인산 유입량은 각각 6.9, 0.52 kg/ha 이었고, 녹비재배기간 질소와 인산 유입량은 각각 2.8, 0.2 kg/ha 이었다.

녹비 수량은 B100에서 가장 낮았으며, B75H25에서 가장 높게 나타났다 (Table 2). 녹비보리의 biomass 양은 파종량에 따라서 큰 영향을 받았다. 예를 들어 녹비보리를 100% 파종한 B100의 경우 2722 kg/ha의 생산량을 보인 반면 녹비보리 75, 50, 25% 파종의 경우 각각 1612, 1120, 391 kg/ha로 파종량 감소에 따라서 생산량이 감소하였다. 반면에 헤어리베치의 경우 녹비보리와 혼파지에서 파종량 증가에 따른 생산량 증가가 인정되었지만, 헤어리베치 50, 75% 파종지에서 헤어리베치 단독(H100) 파종지보다 생산량이 높았다. 이와 같이 헤어리베치와 녹비보리 혼파지에서 헤어리베치 단독보다 파종량에 비해 생산량이 높은 것은 헤어리베치가 포복형 작물로 혼파지에서 녹비보리를 지지대로 이용하여 광합성 효율이 향상 되었기 때문으로 판단된다. Jeon 등(2010)도 밭에서 호밀과 헤어리베치 혼파로서 동일한 결과를 발표하였다.

Table 2. Green manure and rice production with different mixture ratio of hairy vetch and barley

Treatments	Green manure yield (kg/ha)			Rice yield (kg/ha)	
	Hairy vetch	Barley	Total	Straw	Rice
NPK	-	-	-	6674 <sup>a</sup>	7652 <sup>a</sup>
B100	-	2722	2722 <sup>d</sup>	3963 <sup>cd</sup>	5712 <sup>d</sup>
B75H25	2589	1612	4202 <sup>a</sup>	4773 <sup>b</sup>	6848 <sup>cb</sup>
B50H50	2987	1120	4108 <sup>ab</sup>	4443 <sup>c</sup>	6958 <sup>b</sup>
B25H75	3478	391	3869 <sup>b</sup>	4612 <sup>b</sup>	6697 <sup>c</sup>
H100	2690	-	2690 <sup>c</sup>	4412 <sup>c</sup>	6758 <sup>cb</sup>

Yield means within a column followed by the same letter are not significantly different(P=0.05) by Duncan multiple range test.

녹비작물을 전량 회수 후 벼 재배에 의한 수량은 Table 2에서 보는 바와 같다. 벼 수량은 NPK 처리구에서 가장 높았으며, B100에서 가장 낮았으며, 헤어리베치 단독 및 혼파 처리구는 비슷한 수준을 보였다. 그리고 화학비료 무시용에 의한 B100, B75H25, B50H50, B25H75, H100 녹비재배지의 정조수량은 화학비료 표준시비구(NPK) 대비 각각 75, 90, 91, 88, 88% 로 나타났다. B100 보다 헤어리베치 혼파지에서 유의성 있는 수량증가는 헤어리베치 뿌리에 의한 질소 공급 능력을 보여 주는 증거로 판단된다(Jeon *et al.*, 2012).

녹비를 통한 질소와 인산의 흡수량은 Table 3과 Table 4에서 보는 바와 같다. 녹비생산을 통한 질소(N)와 인산(P)의 흡수량은 B75H25 처리구에서 각각 70.0, 34.9 kg/ha으로 처리구 중에서 가장 높게 나타났다. 특히, 헤어리베치 100%를 파종한 처리구의 질소(N) 흡수량이 48.1 kg/ha인데 비해서 녹비보리와 헤어리베치 혼파지에서 훨씬 높은 질소 흡수량을 보였다. 그리고 벼를 통해서 흡수된 질소와 인산의 양은 벼짚과 조곡수량이 가장 높은 NPK 처리구에서 가장 높았으며, B100 처리구에서 가장 낮았다.

Table 3. Nitrogen and phosphate uptake by green manure

Treatments	Nitrogen (kg N /ha)			Phosphate (kg P /ha)		
	Barley	Hairy vetch	Total	Barley	Hairy vetch	Total
B100	27.2	-	27.2 <sup>e</sup>	24.5	-	24.5 <sup>b</sup>
B75H25	21.8	48.1	70.0 <sup>a</sup>	13.7	21.2	34.9 <sup>a</sup>
B50H50	14.3	48.3	62.6 <sup>b</sup>	9.9	23.0	32.9 <sup>a</sup>
B25H75	6.3	52.2	58.5 <sup>c</sup>	3.6	28.5	32.1 <sup>a</sup>
H100	-	48.1	48.1 <sup>d</sup>	-	23.7	23.7 <sup>b</sup>

Means within a column followed by the same letter are not significantly different(P=0.05) by Duncan multiple range test.

Table 4. Nitrogen and phosphate uptake by rice grain and straw

Treatments	Nitrogen (kg N /ha)			Phosphate (kg P /ha)		
	Grain	Straw	Total	Grain	Straw	Total
NPK	73.5	35.4	108.8 <sup>a</sup>	17.6	2.0	19.6 <sup>a</sup>
B100	55.4	21.0	76.4 <sup>d</sup>	10.3	1.2	11.5 <sup>d</sup>
B75H25	65.7	25.3	91.0 <sup>b</sup>	14.4	1.9	16.3 <sup>b</sup>
B50H50	65.7	22.6	88.3 <sup>b</sup>	14.7	1.8	16.4 <sup>b</sup>
B25H75	62.3	22.6	84.9 <sup>c</sup>	14.1	1.8	15.9 <sup>bc</sup>
H100	63.5	22.5	86.0 <sup>cb</sup>	13.5	1.3	14.8 <sup>c</sup>

Means within a column followed by the same letter are not significantly different(P=0.05) by Duncan multiple range test.

녹비작물-벼재배 작부체계에서 벼짚과 녹비작물을 전량회수 할 경우 질소수지는 Table 5에서 보는 바와 같다. 먼저 화학비료 표준시비구(NPK)의 질소 수지는 2.0 kg N/ha로 2000년 영남지역(RDA, 2000) 벼 재배지 8.0 kg/ha보다 낮았다. 이는 2000년 벼 재배지 질소(N) 표준시비량이 110 kg/ha에서 2012년 90 kg/ha로 감소했기 때문이다. 처리별 질소 유입량은 화학비료 표준시비구에서 110.9 kg N/ha로 가장 높았고, B100 처리구에서 22.8 kg N/ha로 가장 낮았다. 그리고 헤어리베치 혼파 및 단독구에서 약 80 kg N/ha 내외의 질소 유입량을 보였다. 반면 녹비와 벼짚을 전량 회수 할 경우 질소 제거량은 B75H25 처리구에서 104.0 kg N/ha로 가장 높았으며, 두과 녹비작물을 재배하지 않은 NPK 처리구와 B100 처리구에서 각각 108.9, 103.6 kg N/ha를 보였다. 따라서 녹비작물과 벼짚을 전량 회수할 경우 농경지 비옥도 관리 측면에서 약 80 kg N/ha 이상의 질소 시비량이 필요한 것으로 평가되었다.

Table 5. Nitrogen balance under green manure-rice cropping systems

Nitrogen balance (N, kg/ha)														
Input (A)								Output (B)					Balance (A-B)	
Green manure cropping			Rice cropping					Green manure cropping		Rice cropping		Total		
Seed	Rainfall	Biological fixation	Seed	Rainfall	Biological fixation	Chemical fertilizer	Total	Barley	Hairy Vetch	Straw	Rice			
NPK	0	2.8	0	4.1	6.5	7.5	90	110.9	0	0	35.4	73.5	108.9	2.0
B100	1.9	2.8	0	4.1	6.5	7.5	0	22.8	27.2	0	21.0	55.4	103.6	-80.8
B75H25	2.3	2.8	33.7	4.1	6.5	7.5	0	83.1	21.8	48.1	25.3	65.7	160.9	-104.0
B50H50	2.7	2.8	33.8	4.1	6.5	7.5	0	83.7	14.3	48.3	22.6	65.7	150.9	-93.5
B25H75	3.1	2.8	36.5	4.1	6.5	7.5	0	89.5	6.3	52.2	22.6	62.3	143.4	-82.9
H100	3.4	2.8	33.7	4.1	6.5	7.5	0	84.2	0	48.1	22.5	63.6	134.2	-76.2

Table 6. Phosphate balance under green manure-rice cropping systems

Phosphate balance (P, kg/ha)													
Input (A)							Output (B)					Balance (A-B)	
Green manure cropping		Rice cropping					Green manure cropping		Rice cropping		Total		
Seed	Rainfall	Seed	Rainfall	Chemical fertilizer	Total	Barley	Hairy Vetch	Straw	Rice				
NPK	0	0.2	0.1	0.5	19.6	20.4	0	0	2.0	17.6	19.6	0.8	
B100	0.41	0.2	0.1	0.5	0	1.2	24.5	0	1.2	14.4	40.1	-38.9	
B75H25	0.41	0.2	0.1	0.5	0	1.2	13.7	21.2	1.9	14.7	51.5	-50.3	
B50H50	0.41	0.2	0.1	0.5	0	1.2	9.9	23.0	1.8	14.1	48.8	-47.6	
B25H75	0.41	0.2	0.1	0.5	0	1.2	3.6	28.5	1.8	13.5	47.4	-46.2	
H100	0.41	0.2	0.1	0.5	0	1.2	0	23.7	1.3	17.6	42.6	-41.4	

인산의 경우 질소와 달리 자연 고정량이 없기 때문에 외부에서 유입량이 없어 NPK 처리구를 제외한 나머지는 유입량이 미미하였다(Table 6). NPK 처리구의 인산수지는 0.8 kg P/ha로 화학비료 사용에 의한 인산수지는 증가되는 것으로 나타났다. 그리고 녹비작물을 전량 회수할 경우 약 40 kg P/ha 이상의 인산 투입이 필요한 것으로 평가 되었다. 그리고 NPK 처리구에서 벼재배를 통한 인산 제거량은 19.6 kg P/ha 였고, 녹비보리에 의한 제거량이 24.5 kg P/ha, 녹비보리와 헤어리베치 혼파에 의해서 약 32 kg P/ha 이었다. 따라서 현재 우리나라 농경지에 가장 큰 문제로 대두되고 있는 인산집적을 완화시키는데 동절기 녹비작물 재배가 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 녹비작물-벼 재배 작부체계에서 볏짚과 녹비작물을 전량 회수하여 사료작물로 활용시 농경지 비옥도 관리를 위한 양분수지를 평가하였다. 녹비보리와 헤어리베치 혼파비율에 따른 녹비작물 생산량은 B75H25에서 가장 높게 나타났다.

B75H25 처리구의 벼 수량은 NPK 처리구 대비 90%를 보였다. 녹비작물과 볏짚을 전량 회수시 NPK, B100, B75H25, B50H50, B25H75, H100 처리구의 질소 수지는 각각 2.0, -80.8, -104.0, -93.5, -82.9, 76.2 kg N/ha 이었다. 그리고 질소 수지가 가장 낮은 B75H25 처리구의 인산수지는 -50.3 kg P/ha로 가장 낮았다. 따라서 녹비작물-벼 재배 작부체계에서 녹비작물과 볏짚을 전량 사료로 활용시 농경지 비옥도 유지를 위해서 각각 약 90 kg N/ha, 50 kg P/ha의 질소와 인산 시비가 필요한 것으로 나타났다. 그리고 금후 녹비작물을 사료로 활용하고자 할 경우 화학비료 사용량과 적정 녹비작물의 회수량에 관한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

## 감사의 글

This study was supported by Rural Development Administration, Republic of Korea (Project No. PJ906961).

### 참고문헌

- Connolly, J., 1986. On difficulties with replacement-series methodology in mixture experiments. *Journal of Applied Ecology*, 23, 125-137.
- Jeon, W.T., Seong, K.Y., Kim, M.T., Oh, G.J., Oh, I.S., Kang, U.G., 2010. Changes of soil physical properties by glomalin concentration and rice yield using different green manure crops in paddy, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43, 119-123.
- Jeon, W.T., Seong, K.Y., Oh, G.J., Kim, M.T., Lee, Y.H., Kang, U.G., Lee, H.B., Kang, H.W., 2012. Changes of biomass of green manure and rice growth and yield using leguminous crops and barley mixtures by cutting height at paddy, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45, 192-197.
- Kim, P.J., Lee, Y.B., Lee, Y., Yun, H.B., Lee, K.D., 2008. Evaluation of livestock manure utilization rates as agricultural purpose in developed OECD countries by using nutrient balances, *Korean J. Environ. Agri.* 27, 337-342.
- Lee, H.J., 1983. Korean Agricultural Technology History, pp. 433-457, Jungmins, Korea.
- Lee, S.K., Lee, M.G., 1987. Studies on physiological nitrogen fixation. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fertil.* 20, 185-192.
- Papastylianou, I., 1988. The <sup>15</sup>N methodology in estimating N<sub>2</sub> fixation by vetch and pea grown in pure stand or in mixtures with oat, *Pant and Soil*, 107, 183-188.
- Power, J.F., Doran, J.W., Koerner, P.T., 1991. Hairy vetch as a winter cover crop for dryland corn production, *J. Prod. Agric.* 4, 62-67.
- RDA, 2003. *Standard methods for agricultural experiments*, Rural Development Administration, Korea.
- Seo, J.H., Lee, H.J., Hur, I.B., Kim, S.J., Kim, C.K., Jo, H.S., 2000. Comparisons of Soil Nitrate and Corn Nitrogen Uptake According to Winter Forage Rye and Green Manure Hairy Vetch, *J. Korean Grassi. Sci.* 20(3), 199-206.
- Utomo, M., Frye, W.W., Blevins, R.L., 1990. Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. *Agron. J.* 82, 979-983.