

Research Article

Open Access

## 헤어리베치와 청보리의 단일 및 혼합처리에 따른 토양 내 질소의 동태

임우섭,<sup>1</sup> 이현호,<sup>1</sup> 홍창오<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>부산대학교 생명환경화학과, <sup>2</sup>부산대학교 생명산업융합연구원

### Nitrogen Dynamics in the Soils Incorporated with Single and Mixture Application of Hairy vetch and Barley

Woo Sup Lim,<sup>1</sup> Hyun Ho Lee<sup>1</sup> and Chang Oh Hong<sup>1,2\*</sup> (<sup>1</sup>Department of Life Science and Environmental Biochemistry, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea, <sup>2</sup>Life and Industry Convergence Research Institute, Pusan National University, Miryang 627-706, Korea)

Received: 4 November 2014 / Revised: 10 November 2014 / Accepted: 21 November 2014

Copyright © 2014 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 utilization of green manures as alternatives to reduce the use of chemical fertilizers is considered a good agricultural practice. Effect of incorporation of green manure to soil on change of inorganic nitrogen (N) is well literated. However, there have been few studies on examining entire dynamic of N including inorganic N and N gases in soil incorporated with green manure. The objective of this study was to examine the changes of inorganic N and N gases with single and mixture applications of hairy vetch and barley in the soil.

**METHODS AND RESULTS:** Hairy vetch(H) and barley (B) were applied at the mixture ratio of B:H=0:0, B:H=100:0, B:H=0:100, and B:H=50:50 in soil. The soil-green manure mixtures were incubated in the dark at 25°C for 17 weeks under aerobic conditions. Cumulative emission of NH<sub>3</sub> and N<sub>2</sub>O from soils amended with mixture of barley and hairy vetch(B:H=50:50) were less than those from amended with mono hairy vetch(B:H=0:100). Incorporation of single hairy vetch or mixture of barley and hair vetch

application could significantly increased concentration of plant available N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) in early stage of plant growth and plant available N (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) in later stage. However, high concentration of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> in soil could cause adverse environmental impact through NO<sub>3</sub><sup>-</sup> leaching from soil.

**CONCLUSION:** Conclusively, it might be a good soil management practice to incorporate mixture of barely and hairy vetch in the view point of increase in plant available N concentration and decrease in N losses through volatilization, denitrification, and leaching.

**Key words:** Barley, Hairy vetch, Incorporation, Nitrogen dynamic

#### 서론

토양으로 시비된 무기질 질소비료는 질소의 순환과정을 거치면서 다양한 형태로 전환된다. 토양 내 존재하는 다양한 질소의 형태 중 무기태 질소인 암모늄태의 질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)와 질산태 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)만이 식물에 의해 흡수될 수 있는 유효한 형태의 질소이다. 그러나 화학비료로 시비된 질소의 작물흡수에 의한 회수율은 일반적으로 50-60% 이상이 되지 못하며 (Allison, 1966), 10-40%는 유기태 질소로 전환되며 5-10%

\*교신저자(corresponding author): Chang Oh Hong  
Phone: +82-55-350-5548; Fax: +82-55-350-5549;  
E-mail: soilchem@pusan.ac.kr

는  $\text{NO}_3^-$ 의 용탈로 유실되며 10-30%는 휘산과 탈질과정을 통해 암모니아( $\text{NH}_3$ )와 아산화질소( $\text{N}_2\text{O}$ ) 등의 기체형태로 전환되어 유실된다(Kundler, 1970). 음이온형태로 토양 내 존재하는  $\text{NO}_3^-$ 는 양이온 형태인  $\text{NH}_4^+$ 와 달리 음하전을 띠고 있는 토양고질에 쉽게 흡착되지 못한다(Marschner, 1995). 우리나라와 같이 강우량이 많은 습윤지역의 토양에서 다량의 무기질 질소비료를 시비할 경우  $\text{NO}_3^-$ 는 용탈과정을 통해 쉽게 지하수로 유입되어 주변수계를 오염시킬 수 있다(Kuo and Sainju, 1998; Korsaeht et al., 2002; Scherer and Lorenzen et al., 2003).  $\text{NO}_3^-$ 의 함량이 높은 지하수를 임산부가 음용하게 되면 6개월 이하의 유아에게서 발생하는 청색증을 유발할 수 있어 미국의 환경청에서는 지하수 내  $\text{NO}_3^-$ 의 함량이 10 mg/L가 넘지 못하게 규제하고 있다(USEPA, 1974). 또한  $\text{NO}_3^-$ 가 탈질과정 중 발생하는  $\text{N}_2\text{O}$ 는 온실가스 중의 하나이며 주로 토양에 시비되는 무기질 질소 비료가 발생량을 가중시키고 있다. 비록 이산화탄소와 메탄과 같은 다른 온실가스에 비해 농경지로부터 발생하는 양은 적으나 지구온난화지수가 이산화탄소의 약 300배가량이므로 적은 발생량으로도 지구온난화에 미치는 영향이 커서 농경지로부터  $\text{N}_2\text{O}$  발생량을 절대적으로 감축시켜야 할 실정이다(IPCC, 2013).

이상에서 언급한 바와 같이 농경지에 시비된 무기질 질소 비료의 일부는 작물생산에 이용되나 나머지는 토양으로부터 유출되어 주변 생태계를 오염시킬 수 있는 잠재적 오염원으로 작용한다. 우리나라는 OECD 회원국 중에서 농경지 단위 면적 당 무기질 비료를 가장 많이 사용하는 국가로 분류되고 있어 농업환경 및 주변 생태계 보전을 위해서는 무기질 비료의 절감을 통해 휘산과 탈질 및 용탈 등에 의한 질소의 유실량을 최소화하고 토양 내 유효태 질소의 함량을 높일 수 있는 방안의 개발이 절실히 요구된다.

농경지에서 화학비료 대체 및 절감에 가장 현실적인 방안은 녹비작물의 재배로 판단된다. 두과의 녹비작물 중 헤어리베치(*Vicia villosa* Roth)는 내한성과 생산성이 높고 특히 질소 고정능력이 두과작물 중 가장 높은 것으로 조사되어 예로부터 동절기 녹비작물로 많이 추천되어져 왔다(Seo et al., 2000a; Seo et al., 2000; Kim et al., 2002). 화분과 녹비작물인 청보리는 작물에 질소를 공급하는 능력은 적으나 토양 유기탄소를 증가시키는 것으로 알려져 있다(Shipley et al., 1992; Lee et al., 2008; Sung et al., 2008). 파종 시 녹비작물 두 종 이상을 혼합하여 파종하는 것을 말하는 혼파는 녹비작물 단파의 단점을 보완하고 장점을 극대화할 수 있는 효과적인 방법으로써 토양 내 양분함량의 증대 및 후작물의 수량을 증대시킬 수 있다(Tejada et al., 2008; Cicek et al.,

2014). 현재까지 녹비작물을 단파 및 혼파를 하여 토양 내 무기태 질소의 함량을 조사한 연구는 많이 이루어져 왔다(Herrera et al., 1997; Toomsaw et al., 2000; Piotrowska and Wilczewski., 2012). 하지만 질소의 유실량과 작물의 유효태인 무기태 질소의 함량의 분석을 통한 질소의 전반적 동태에 대한 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 실내의 일정한 조건하에서 녹비작물인 헤어리베치와 청보리를 토양에 단일 투입 혹은 혼합 투입하여 토양 내 무기태 질소 및 가스 형태의 질소 배출 정도를 조사하여 전체 질소 동태를 살펴보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 공시토양 특성

본 연구를 수행하기 위해 경남 밀양시 북북면 오례리에 소재하는 부산대학교 부속농장 밭토양(35°30'07.6"N 128°43'16.0"E)을 공시토양으로 선정하였다. 대상지역의 토양은 용지통에 속하는 토양이었으며 pH는 6.7이었으며 총질소 함량은 1.05 g/kg이었다. 자세한 공시토양의 화학적 특성은 Table 1에 나타냈다.

### 실내시험

채취된 토양을 풍건세토한 후 2 mm 체로 걸러낸 후 시험에 사용하였다. 토양 내 환원되는 녹비작물의 투입량을 40 Mg/ha로 맞추기 위해 300 mL의 삼각플라스크에 건토 200 g을 넣고 청보리(B, 4.264 g)와 헤어리베치(H, 4.264 g)를 B:H로 0:0, 100:0, 50:50, 0:100의 비율로 처리하여 완전히 혼합하였다. 인큐베이션 시험은 17 주간 실시되었으며 1주, 3주, 5주, 17주에 토양시료를 채취하였다. 시험기간 동안 인큐베이터 내 온도는 25°C로 유지되었고 토양의 수분은 전용적 밀도 1.25 g/cm<sup>3</sup>과 입자밀도 2.65 g/cm<sup>3</sup> 이용하여 pore volume 84.48 cm<sup>3</sup>을 얻어 포장용수량의 70%를 만들기 위해 물 59 mL를 넣어주었다. 수분을 유지하기 위해 이틀마다 무게를 재어 유실된 수분의 양을 보충하였다.

암모니아 및 아산화질소 가스를 포집하기 위해 300 mL의 삼각 플라스크의 윗 부분을 고무마개로 막았으며, 호기적 조건을 유지하기 위해 1일 3회 10 mL의 실린지로 공기를 주입하였다. 1주, 3주, 5주, 17주의 토양에서 가스 시료를 채취하였다. 암모니아 가스는 50 mL 코니칼 튜브에 0.1 N 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 20 mL에 포집하였고, 아산화질소 가스는 10 mL 실린지를 이용하여 10 mL의 가스를 포집하여 Headspace vial(20 mL Flat bottom 100/pk, Agilent)에 주입하였다.

Table 1. Selected chemical properties of the studied soil

pH (1:5, H <sub>2</sub> O)	OM <sup>Z</sup> (g/kg)	T-N <sup>Y</sup> (g/kg)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>X</sup> (mg/kg)	Exchangeable cations (cmol <sub>c</sub> /kg)		
				K	Ca	Mg
6.7	17.6	1.05	142	0.42	5.76	1.25

<sup>Z</sup>OM: organic matter; <sup>Y</sup>T-N: total nitrogen; <sup>X</sup>Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Available P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

**토양의 화학적 특성 및 공시작물 특성 조사**

공시토양 및 시험 후 토양의 이화학적 분석방법은 다음과 같은 방법으로 수행하였다. pH(1:5 토양:물), 유기물 함량 (Walkley and Black method; Allison, 1965), 총질소 함량(Kjeldahl method; Bremner, 1965), 치환성 양이온 K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> (1 N NH<sub>4</sub>-acetate pH 7.0, AAS, atomic absorption spectroscopy, Perkin elmer model 3300, Norwalk, CT, USA). 유효인산의 함량은 Lancaster 법 (RDA, 2000)을 이용하여 분석하였다.

공시작물의 화학적 분석방법은 다음과 같은 방법으로 수행하였다. 채취한 청보리와 헤어리베치는 건조 후 분말화하여 탄소(C)의 함량은 회화법(loss-on-ignition method; Ben-Dor and Banin, 1989)으로 분석하였고, N의 함량은 킬달분해증류법으로 정량하였다. 식물체 내 P의 함량은 혼합 분해액(H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-HClO<sub>4</sub> 1:5:9)으로 분해하여 ammonium metavanadate 법으로 측정하였다. 칼륨함량은 혼합분해액을 이용하여 분해한 후 원자흡광광도계로 정량하였다(RDA, 2000).

**토양 내 무기태 질소 및 질소가스 발생 함량 조사**

토양 내 무기태 질소 분석 방법은 다음과 같이 수행하였다. 토양 건조시료 5 g에 25 mL의 2 M KCl을 넣고 30분 동안 진탕한 후 Whatman No. 2로 여과하여 침출액을 각각의 실험에 이용하였다.

암모늄태 질소(NH<sub>4</sub>-N)는 Indophenol-Blue 비색법 (Searle, 1984)으로 측정하였다. 침출액 2 mL에 EDTA 용액을 0.5 mL, Salicylate 용액을 2 mL, Hypochlorite 용액 1 mL, 증류수 7 mL을 넣고 혼합한 후 37°C에 30분간 증탕시킨 후 UV/VIS Spectrophotometer (Optizen 3220UV, Mecasy Co.Ltd, Korea)를 이용하여 667 nm의 파장에서 측정하였다. 질산태 질소(NO<sub>3</sub>-N)는 brucine법(Wolf, 1944)으로 측정하였다. 침출액 5 mL에 30% NaCl 1 mL와 5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(4:1 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:H<sub>2</sub>O)을 넣고 혼합한 후 10분간 수냉한다. 다음으로 brucinesulfanilic acid 0.25 mL를 넣고 혼합한 후 90°C에 20분간 증탕시킨 후 수냉한다. 충분히 식힌 다음 UV/VIS Spectrophotometer를 이용하여 410 nm의 파장

에서 측정하였다.

0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20 mL에 포집된 암모니아태 질소(NH<sub>3</sub>-N)는 킬달분해증류법으로 정량하였다. 아산화질소(N<sub>2</sub>O-N)는 GC-ECD(gas chromatograph electron capture detector, ECD-2010 Plus, Shimadzu Co, Kyoto Japan)를 이용하여 측정하였다.

**통계분석**

통계분석은 SAS 통계프로그램(버전 9.2)을 이용하여 실시하였다(SAS institute, 2006). 처리간의 차이를 비교하기 위하여 조사된 자료는 ANOVA 검증을 통하여 분석하였다. F-test 결과 값이 p < 0.05의 범위에서 유의한 경우에만 최소 유의차 검정(LSD)을 실시하였다.

**결과 및 고찰**

시험에 사용된 공시작물의 화학적 특성은 Table 2에 나타내었다. 두과의 녹비작물인 헤어리베치 내 질소, 인산, 칼륨의 함량은 화본과의 녹비작물인 청보리에 비해 높은 것으로 나타났다. 특히, 헤어리베치 내 질소의 함량은 2.65%로 청보리 내 질소의 함량인 0.90%보다 훨씬 높은 것으로 조사되었다.

**Table 2. Selected chemical properties of cover crops used in this study**

Item	Barley	Hairy vetch
N (%)	0.90	2.65
P (%)	0.51	0.91
K (%)	0.60	2.10
C/N ratio	57.6	17.3

녹비작물의 처리 후 토양 내 총질소의 함량을 1, 3, 5, 17 주에 조사하여 본 결과, 모든 조사기간 내 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 처리구에서 토양 내 총질소 함량이 가장 높은 것으로 나타났다(Table 3). 토양 내 총질소의 함량은 B:H (0:100) > B:H (50:50) > B:H (100:0)의 순서로 높

**Table 3. Changes of total nitrogen concentration in soils amended with different mixture ratio of barley and hairy vetch for 17 weeks**

Week	B : H mixture ratio			
	0 : 0	100 : 0	0 : 100	50 : 50
	g/kg			
1	1.05 <sup>aC</sup>	1.40 <sup>aB</sup>	1.75 <sup>aA</sup>	1.49 <sup>aB</sup>
3	0.98 <sup>abB</sup>	1.14 <sup>bB</sup>	1.59 <sup>bA</sup>	1.40 <sup>abA</sup>
5	1.03 <sup>aC</sup>	1.31 <sup>abB</sup>	1.52 <sup>bcA</sup>	1.42 <sup>aAB</sup>
17	0.79 <sup>bcC</sup>	1.17 <sup>bB</sup>	1.45 <sup>cA</sup>	1.21 <sup>cB</sup>
Difference <sup>Z</sup>	0.26	0.23	0.30	0.28

<sup>Z</sup>: Difference of total nitrogen concentration between 1week and 17week, Upper and lower case letters are for row and column comparison. Values with same letter within a column or row are not significantly different a P=0.05

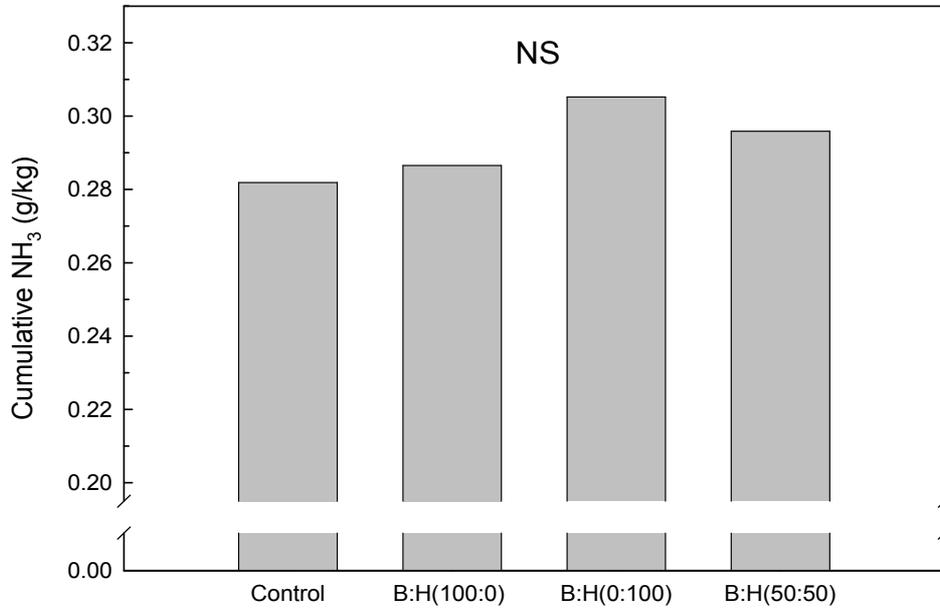


Fig. 1. Cumulative NH<sub>3</sub>-N concentration emitted from soils amended with different mixture ratio of hairy vetch and barley for 17 week.

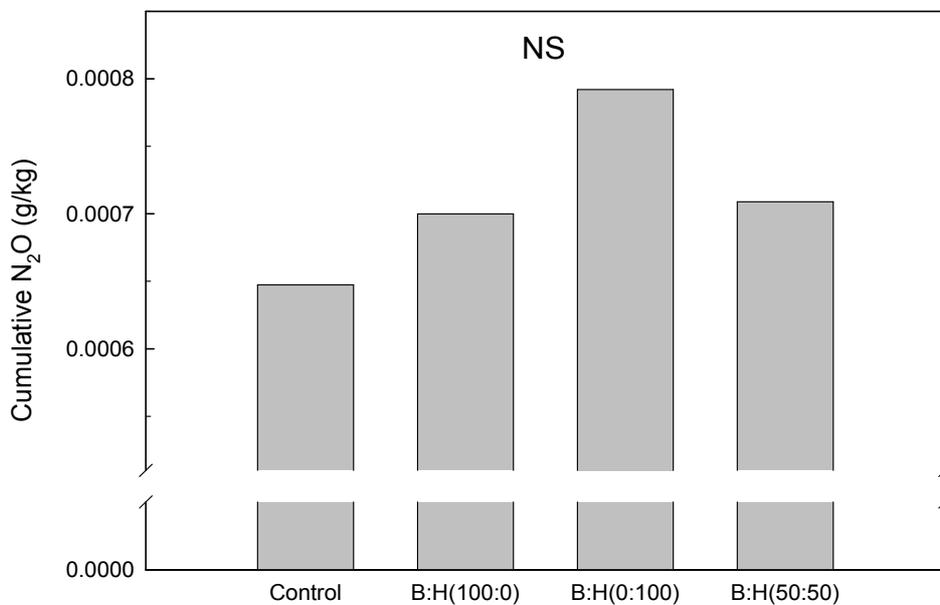


Fig. 2. Cumulative N<sub>2</sub>O-N concentration emitted from soils amended with different mixture ratio of hairy vetch and barley for 17 week.

게 나타났다. 헤어리베치를 단독으로 처리한 토양에서 청보리를 단독으로 처리한 토양에 비해 총질소 함량이 훨씬 높은 이유는 헤어리베치 내 포함되어있는 높은 질소의 함량에 기인된 것으로 판단된다(Table 2). 무처리구를 포함한 모든 처리구에서 토양 내 총질소의 함량은 시간의 경과와 함께 감소되어지는 결과를 보였다(Table 3). 모든 처리구에서 녹비작물을 처리하고 17주 후 0.23-0.30 g/kg의 질소가 감소되었다. 이러한 토양 내 총질소 함량의 감소는 질소의 휘산이나 탈질과정에 발생하는 NH<sub>3</sub>와 N<sub>2</sub>O 가스의 발생으로 인한 질소의 유

실에 의한 것으로 판단된다. Kundler (1970)는 토양에 투입된 질소의 10-30%는 휘산과 탈질과정을 통해 NH<sub>3</sub>와 N<sub>2</sub>O 등의 기체형태로 전환되어 유실된다고 보고하였다. 17주 후 토양에서 발생한 NH<sub>3</sub>와 N<sub>2</sub>O의 누적 발생량의 합은 0.28-0.31 g/kg으로 17주 후 감소되어진 토양 내 총질소의 함량과 거의 일치하는 것으로 나타났다(Fig. 1과 Fig. 2). 그러나 17주간 발생된 총 질소가스의 합량 중 대부분인 99.7%가 NH<sub>3</sub>인 것으로 조사되어 녹비작물의 처리에 따라 토양으로부터 유실되는 질소의 대부분은 NH<sub>3</sub>에 의한 것으로 판단

된다. 그러나 본 연구는 실내의 incubator 내에서 있는 플라스크에서 실시되었기 때문에 현장조건에서 발생하는 용탈에 의한  $\text{NO}_3^-$ 의 유실량에 대한 조사는 이루어지지 못했다. 현장조건에서 실시되었던 다수의 연구에서 상당량의  $\text{NO}_3^-$  형태의 질소가 용탈과정을 통해 유실된다고 보고하였다 (Djurhuus and Olsen, 1997; Randall et al., 1997; Toth and Fox, 1998).

17주간 감소되었던 토양 내 총질소 함량은 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 경우에 0.30 g/kg이었으며 청보리를 단독으로 처리한 B:H (100:0) 경우의 0.23 g/kg에 비해 높은 것으로 나타났다(Table 3). 통계적 유의한 차이는 없었으나 17주간 발생되었던  $\text{NH}_3$ 의 누적함량은 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 경우에 0.31 g/kg이었으며 청보리를 단독으로 처리한 B:H (100:0) 경우의 0.29 g/kg에 비해 높은 것으로 나타났다(Fig. 1). 이러한  $\text{NH}_3$  발생량의 차이는 두 녹비작물의 토양 내 투입 후 분해속도의 차이에 기인된 것으로 판단된다. Table 2에 제시되었던 탄질비의 결과를 통해 볼 때 청보리의 경우 질소의 함량에 비해 탄소의 함량이 상당히 높은 반면 헤어리베치의 경우 질소의 함량에 비해 탄소의 함량이 상당히 적은 것으로 나타났다. 즉, 청보리는 경우 식물체내 탄소화합물인 리그닌, 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스의 함량이 헤어리베치에 비해 높아 토양 내 미생물에 의해 분해되는데 더욱 시간이 오래 걸리는 것으로 판단된다. Seo *et al.*(2000)은 화분과 녹비작물인 호밀 내 리그닌, 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스의 함량은 두과작물인 헤어리베치보다 높다고 보고하였다. 17주간 발생되었던  $\text{NH}_3$ 와  $\text{N}_2\text{O}$ 의 함량은 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 보다 청보리와 헤어리베치를 혼합하여 처리한 B:H (50:50) 처리구에서 낮게 나타났다(Fig. 1과 Fig. 2). 따라서 녹비작물로 투입된 질소의 유실 저감과 토양으로부터 발생하는 지구온난화가스의 감축 측면에서 볼 때 현장에서는 헤어리베치의 단과 보다는 청보리와 헤어리베치의 혼과가 추천된다.

녹비작물의 처리 후 토양 내  $\text{NH}_4^+$ 의 함량을 1, 3, 5, 17주에 조사하여 본 결과, 모든 조사기간 내 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 처리구에서 토양 내  $\text{NH}_4^+$  함량이 가장 높은 것으로 나타났다(Table 4). 토양 내  $\text{NH}_4^+$ 의 함량은 B:H (0:100) > B:H (50:50) > B:H (100:0)의 순서로 높

게 나타났다. 헤어리베치를 단독으로 처리한 토양에서 청보리를 단독으로 처리한 토양에 비해  $\text{NH}_4^+$  함량이 훨씬 높은 이유는 앞에서 설명한 바와 같은 헤어리베치 내 포함되어있는 높은 질소의 함량에 기인된 것으로 판단된다(Table 2). 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 처리구에서 토양 내  $\text{NH}_4^+$  함량은 3주까지 높은 함량을 나타내었으나 5주 이후부터 급격히 감소하는 결과를 나타내었다. 청보리와 헤어리베치를 혼합 처리한 B:H (50:50)의 시간에 따른 토양 내  $\text{NH}_4^+$ 의 함량 변화는 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 처리구에서와 유사한 경향을 나타내었다. 그러나 이에 반해 청보리를 단독으로 처리한 B:H (100:0)의 경우 토양 내  $\text{NH}_4^+$  함량이 시간의 경과에 따라 천천히 감소되어지는 결과를 나타내었다. 이러한 결과의 원인은 앞에서 언급한 바와 같이 헤어리베치와 청보리의 토양 투입 후 미생물에 의한 분해의 속도차이에 기인된 것으로 판단된다. 녹비작물의 투입 후 시간의 경과에 따라 감소된  $\text{NH}_4^+$ 의 함량은 질산화과정을 거쳐  $\text{NO}_3^-$ 로 전환되었거나 휘산과정을 거쳐  $\text{NH}_3$ 형태로 유실되었을 수도 있다. 또한 상당량의  $\text{NH}_4^+$ 는 미생물에 부동화되어 유기태 형태의 질소로 전환되었을 수 있다.

녹비작물의 처리 후 토양 내  $\text{NO}_3^-$ 의 함량을 1, 3, 5, 17주에 조사하여 본 결과, 모든 조사기간 내 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 처리구에서 토양 내  $\text{NO}_3^-$ 의 함량이 가장 높은 것으로 나타났다(Table 5). 토양 내  $\text{NO}_3^-$ 의 함량은 B:H (0:100) > B:H (50:50) > B:H (100:0)의 순서로 높게 나타났다. 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 처리구와 청보리와 헤어리베치를 혼합 처리한 B:H (50:50) 처리구에서 토양 내  $\text{NO}_3^-$ 함량은 3주까지 천천히 증가하는 경향을 나타내었으나 5주때에 급격히 증가하였다가 17주 때에 감소한 결과를 나타내었다. 그러나 이에 반해 청보리를 단독으로 처리한 B:H (100:0)의 경우 토양 내  $\text{NO}_3^-$  함량이 시간의 경과에 따라 천천히 증가되어지는 결과를 나타내었다. 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H (0:100) 처리구와 청보리와 헤어리베치를 혼합 처리한 B:H (50:50) 처리구에서 3주에서 5주 사이에 감소된  $\text{NH}_4^+$ 의 함량은 각각 50.9 mg/kg과 24.7 mg/kg이었으며 3주에서 5주 사이에 증가되었던  $\text{NO}_3^-$ 의 함량은 각각 37.4 mg/kg과 23.7 mg/kg이었다. 따라서 녹비작물을 토양 내 투입 후 3주에서 5주 사이에 토양 내 대

**Table 4.** Changes of  $\text{NH}_4^+$ -N concentration in soils amended with different mixture ratio of barley and hairy vetch for 17 weeks

Week	B : H mixture ratio			
	0 : 0	100 : 0	0 : 100	50 : 50
	mg/kg			
1	18.2 <sup>aC</sup>	14.9 <sup>bC</sup>	63.8 <sup>aA</sup>	30.4 <sup>bB</sup>
3	11.9 <sup>bD</sup>	16.7 <sup>aC</sup>	67.1 <sup>aA</sup>	40.2 <sup>aB</sup>
5	11.9 <sup>bb</sup>	13.2 <sup>bcB</sup>	16.2 <sup>bA</sup>	15.5 <sup>cA</sup>
17	14.1 <sup>baB</sup>	12.8 <sup>cB</sup>	14.2 <sup>baB</sup>	14.7 <sup>cA</sup>

Upper and lower case letters are for row and column comparison. Values with same letter within a column or row are not significantly different a  $P=0.05$

**Table 5. Changes of NO<sub>3</sub>-N concentration in soils amended with different mixture ratio of barley and hairy vetch for 17 weeks**

Week	B : H mixture ratio			
	0 : 0	100 : 0	0 : 100	50 : 50
	mg/kg			
1	20.72 <sup>cA</sup>	5.23 <sup>bB</sup>	5.13 <sup>cB</sup>	5.03 <sup>cB</sup>
3	35.35 <sup>aA</sup>	5.45 <sup>bB</sup>	6.78 <sup>cB</sup>	5.18 <sup>cB</sup>
5	29.15 <sup>bB</sup>	4.93 <sup>bC</sup>	44.20 <sup>aA</sup>	28.83 <sup>aB</sup>
17	7.58 <sup>dC</sup>	7.95 <sup>aC</sup>	14.23 <sup>bA</sup>	10.73 <sup>bB</sup>

Upper and lower case letters are for row and column comparison. Values with same letter within a column or row are not significantly different a  $P=0.05$

부분의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>는 질산화과정을 거쳐 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 전환되어진 것으로 판단된다. 그러나 헤어리베치가 단독으로 처리되어진 B:H(0:100) 처리구에서는 상당한 부분의 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>가 microbial N으로 전환되었을 가능성이 있다. 몇몇의 연구에서 녹비작물의 투입 후 토양 내 미생물 체내 질소(microbial N)의 함량이 증가한다고 보고하였다(Ndayegamiye and Co<sup>te</sup>, 1989; Parham *et al.*, 2003; Plaza *et al.*, 2004).

녹비작물의 토양 투입에 따른 후작물의 생육에 필요한 질소영양분의 공급의 측면에서 볼 때 토양 내 무기태 질소인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량변화에 주목할 필요가 있다. 청보리를 단독으로 처리한 B:H(100:0)의 토양 내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량은 시험 기간 중 3주째를 제외하고 무처리인 B:H(0:0)의 토양 내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량과 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다(Table 4). 다시 말해 토양 내 청보리의 단독투입은 후작물의 질소공급원이 되는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량증대에 도움이 되지 못하는 것으로 판단된다. 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H(0:100) 토양 내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량은 1주와 3주째에 다른 처리구에 비해 통계적으로 유의하게 높은 것으로 나타났다. 실제 현장조건에서 헤어리베치의 단독처리하는 후작물의 생육초기에 질소공급원인 토양 내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량을 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H(0:100)의 토양 내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량은 5주째와 17주째에 급격하게 감소되었으며 헤어리베치와 청보리를 혼합하여 처리한 B:H(50:50)의 토양 내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량과 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 또한 헤어리베치와 청보리를 혼합하여 처리한 B:H(50:50)의 토양 내 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량은 1주와 3주에 무처리와 청보리의 단독처리구인 B:H(100:0) 보다 통계적으로 유의하게 높게 나타나 후작물의 생육초기에 질소공급의 효과가 있을 것으로 판단된다.

청보리를 단독으로 처리한 B:H(100:0)의 토양 내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량은 모든 시험 기간 동안 무처리에 비해 낮은 것으로 조사되었다(Table 5). 이러한 결과는 질소의 함량이 낮은 청보리가 토양에 과량으로 투입됨에 따른 희석의 효과에 기인된 것으로 판단된다. 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H(0:100)와 헤어리베치와 청보리를 혼합하여 처리한 B:H(50:50)의 토양 내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량은 5주와 17주에 급격히 증가하였다. 특히 17주에 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H(0:100)의 토양 내

NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량은 모든 처리구들 중 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 헤어리베치의 단독처리 혹은 헤어리베치와 청보리의 혼합처리는 실제현장에서 후작물의 생육후기에 질소공급원이 될 수 있는 토양 내 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량을 증대시키는데 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 토양 내 음이온 형태로 존재하는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 양이온 형태로 존재하는 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>와 달리 강우 시 토양으로부터 쉽게 용탈될 수 있다. 토양 내 과도한 양의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 지하수의 유입되어 청색증을 유발하거나 주변수계로 유출되어 부영양화를 초래할 수 있는 비점오염원이다(Kuo and Sainju, 1998; Korsaeath *et al.*, 2002; Scherer and Lorenzen *et al.*, 2003). 따라서 토양 내 유효태 질소의 함량증대와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 용탈로 인한 질소의 유실 저감의 측면에서 볼 때 현장조건에서는 헤어리베치의 단과 보다는 청보리와 헤어리베치의 혼파가 이상적인 것으로 판단된다.

## 요 약

본 연구는 실내의 일정한 조건하에서 녹비작물인 헤어리베치와 청보리를 토양에 단일 투입 혹은 혼합 투입하여 토양 내 무기태 질소 및 가스 형태의 질소 배출 정도를 조사하여 전체 질소 동태를 살펴보았다. 녹비작물의 처리 후 토양 내 총질소, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량은 모든 조사기간 내 헤어리베치를 단독으로 투입한 처리구에서 가장 높은 것으로 나타났다. 토양으로부터 유실되는 가스 형태의 질소 대부분은 NH<sub>3</sub>에 의한 것으로 판단된다. 17주간 발생되어진 NH<sub>3</sub>와 N<sub>2</sub>O의 함량은 헤어리베치를 단독으로 처리한 B:H(0:100) 보다 청보리와 헤어리베치를 혼합하여 처리한 B:H(50:50) 처리구에서 낮게 나타났다. 헤어리베치를 단독으로 처리하거나 헤어리베치와 청보리를 혼합하여 처리한 토양에서는 청보리를 단독으로 처리한 토양에 비해 생육 초기에는 식물에게 유효한 형태의 무기태 질소인 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 함량을 훨씬 증대시킬 수 있는 것으로 조사되었으며 생육 후기에는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량을 증대시킬 수 있는 것으로 조사되었다. 그러나 헤어리베치를 단독으로 처리하였을 경우 현장조건에서 강우 시 토양으로부터 쉽게 용탈되어 지하수로 유입될 수 있는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량을 증가시킬 수 있다. 결론적으로, 현장조건에서 토양 내 유효태 질소 함량의 증대화 투입된 질소의 유실량 저감을

위해서는 헤어리베치의 단파보다는 청보리와 헤어리베치의 혼파가 추천된다.

### Acknowledgment

This study was supported by Rural Development Administration, Republic of Korea (Project No. PJ90696103).

### References

- Allison, F.E., 1966. The fate of nitrogen applied to soils, *Advances in Agronomy* 18, 219-58.
- Allison, L.E., 1965. Organic carbon, in: Black, C.A. (Eds), *Methods of soil analysis*, Am Soc Agron Inc. Publ. Madison, WI, USA, pp. 1367-1376.
- Bremner, J.M., 1965. Total nitrogen, in: Black, C.A. (Eds), *Methods of Soil Analysis*, Am Soc Agron Inc. Publ. Madison, WI, USA, pp. 1149-1178.
- Ben-Dor, E., Banin, A., 1989. Determination of organic matter content in arid-zone soils using a simple "loss - on-ignition" method, *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 20, 1675-1695.
- Cicek, H., Thiessen Martens, J.R., Bamford, K.C., Entz, M., H., 2014. Effects of grazing two green manure crop types in organic farming systems: N supply and productivity of following grain crops, *Agriculture Ecosystems and Environment* 190, 27-36.
- Djurhuus, J., Olsen, P., 1997. Nitrate leaching after cut grass/clover leys as affected by time of ploughing, *Soil Use and Management* 13, 61-67.
- Herrera, W.T., Garrity, D.P., Vejpas, C., 1997. Management of Sesbania rostrata green manure crops grown prior to rainfed lowland rice on sandy soils, *Field Crops Research* 49, 259-268.
- Kim, J.G., Chung, E.S., Yoon, S.H., Seo, S., Seo, J.H., Park, G.J., Kim, C.K., 2002. Studies on the Quality and Productivity Improvement by Mixed Sowing of Oat-Hairy vetch, *J. Korean Grassl. Sci.* 22, 31-36.
- Korsaeth, A., Henriksen, T.M., Bakken, L.R., 2002. Temporal changes in mineralization and immobilization of N during degradation of plant material: implications for the plant N supply and nitrogen losses, *Soil Biology & Biochemistry* 34, 789-799.
- Kundler, P., 1970. Utilization, fixation, and loss of fertiliser nitrogen. *Albrecht-Thaer-Arch.* 14, 191-210.
- Kuo, S., Sainju, U.M., 1998. Nitrogen mineralization and availability of mixed leguminous and non-leguminous cover crop residues in soil, *Biol. Fert. Soils* 26, 346-353.
- Lee, I.B., Kang, S.B., Park, J.M., Lim, J.H., 2008. Effect of soil incorporation of Gramineous and Leguminous manures on Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) growth and soil nutrient balances, *Korean J. Environ. Agric.* 27, 343-348.
- Ndayegamiye, A., Cote, D., 1989. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties, *Canadian Journal of Soil Science* 69, 39-47.
- Marschner, H., 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 71-83, 2nd ed. Academic Press, USA.
- Mohanty, M., Reddy, K.S., Probert, M.E., Dalal, R.C., Subba Rao, A., Menzies, N.W., 2011. Modelling N mineralization from green manure and farmyard manure from a laboratory incubation study, *Ecological Modelling* 222, 719-726.
- Parham, J.A., Deng, S.P., Raun, W.R., 2003. Long-term cattle manure application in soil Part II: effect on soil microbial populations and community structure, *Biol. Fert. Soils* 38, 209-215.
- Piotrowska, A., Wilczewski, E., 2012. Effects of catch crops cultivated for green manure and mineral nitrogen fertilization on soil enzyme activities and chemical properties, *Geoderma* 189-190, 72-80.
- Plaza, C., Hernandez, D., Garcia-Gil, J.C., Polo, A., 2004. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions, *Soil Biol. Biochem.* 36, 1577-1585.
- Randall, G.W., Huggins, D.R., Russelle, M.P., Fuchs, D.J., Nelson, W.W., Anderson, J.L., 1997. Nitrate losses through subsurface tile drainage in Conservation Reserve Program, alfalfa, and row crop systems, *Journal of Environmental Quality* 26, 1240-1247.
- Scherer-Lorenzen, M., Palmberg, C., Prinz, A., Schulze, E.-D., 2003. The role of plant diversity and composition for nitrate leaching in grasslands, *Ecology* 84, 1539-1552.
- Searle, P.L., 1984. The Berthelot or Indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen, *Analyst* 109, 549-568.
- Seo, J.H., Lee, H.J., Hur, I.B., Kim, S.J., Kim, C.K., Jo, H.S., 2000. Comparisons of Chemical Composition and Forage Yield Among Winter Green Manure Crops, *J. Korean Grassl. Sci.* 20, 193-198.
- Shipley, P.R., Meisinger, J.J., Cecker, A.M., 1992. Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops, *Agron. J.* 84, 869-876.
- Sung, J.K., Lee, S.M., Jung, J.A., Kim, J.M., Lee, Y.H., Choi, D.H., Kim, T.W., Song, B.H., 2008. Effects of green manure crops, Hairy vetch and Rye, on N supply, Red

- pepper growth and yields, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41, 247-253.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., Garcí'a-Martí'nez, A.M., Parrado, J., 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield, *Bioresource Technology* 99, 1758-1767.
- Toomsaw, B., Cadisch, G., Srichantawong, M., Thongsodsang, C., Giller, K.E., Limpinuntann, V., 2000. Biological N<sub>2</sub> fixation and residual N benefit of pre-rice leguminous crops and green manures, *Netherlands Journal of Agricultural Science* 48, 19-29.
- Toth, J.D., Fox, R.H., 1998. Nitrate losses from a corn-alfalfa rotation: lysimeter measurement of nitrate leaching, *Journal of Environmental Quality* 27, 1027-1033.
- Wolf, B., 1944. Determination of nitrate, nitrite, and ammonium nitrogen. Rapid photometric determination in soil and plant extract, *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 16, 446-447.