韓藥作誌(Korean J. Medicinal Crop Sci.) 27(1) : 1 – 8 (2019)
ISSN(Print) 1225-9306
ISSN(Online) 2288-0186
http://www.medicinalcrop.org
http://dx.doi.org/10.7783/KJMCS.2019.27.1.1

풋거름작물 재배 후 추비처리가 더덕의 생육 및 사포닌 함량에 미치는 영향

엄인석* · 이민주* · 남주희* · 노일래*,**†
*경상대학교 농학과, **경상대학교 농업생명과학연구원

Effects of Additional Fertilization after Cultivating Green Manure Crops on the Growth and Saponin Content of *Codonopsis lanceolata* Trautv.

In Seok Um*, Min Ju Lee*, Ju Hee Nam* and Il Rae Rho*,†**
**Department of Agronomy, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea.*
***Institute of Agriculture and Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea.*

ABSTRACT

Background: This study was conducted to investigate the effects of fertilization with the application of mixed organic matter after cultivating green manure crops on the growth and saponin content of *Codonopsis lanceolata* Trautv.
Methods and Results: Five type of cultivation of green manure crops were done: hairy vetch as a single seedling crop (HV), hairy vetch and rye as a mixture of seedling (HV/R), additional fertilization with mixed organic matter after cultivation of a seedling mixture (HV/R/MO), chemical fertilizer (CF), and a non-treated control (NT). The total nitrogen content was the highest in the HV/R/MO treatment, followed by the HV, CF, HV/R and NT treatments, respectively. Nitrogen fixation was higher in the single seedling treatment with hairy vetch (HV) than in the treatment with a mixture of hairy vetch and rye seedling (HV/R). Moreover, the growth of *C. lanceolata* was greatly increased by the application of additional fertilizer after treatment with the mixture of hairy vetch and rye seedlings. The HV/R/MO treatment produced the highest total lancemaside content among the treatments, followed by HV, HV/R, CF, and NT, respectively.
Conclusions: It was verified that *C. lanceolata* experienced superior growth with the application of mixed organic matter as additional fertilizer after the cultivation of green manure crops, and the content of its major saponins, lancemasides were also increased by this treatment.

Key Words: *Codonopsis lanceolata* Trautv., Additional Fertilizer, Growth, Lancemaside, Nitrogen Fixation, Organic Matter

서 언

더덕 (*Codonopsis lanceolata* Trautv.)은 초롱꽃과의 다년생 덩굴성 식물로 우리나라 약용작물 중 인삼, 오미자 다음으로 많이 재배되는 작물이다. 더덕의 재배면적은 2015년 1,680 ha에서 2016년 2,554 ha로 급격하게 증가하였고, 2017년 2,584 ha로 최근 2,500 ha 이상의 대면적 작물로 성장하였다. 생산량 또한 매년 8,500 t 내외로 안정적인 추세이다 (MAFRA, 2018).

더덕은 주로 뿌리를 식용, 약용으로 이용하고 있으며 더덕의 추출물을 이용한 여러 임상 실험결과들이 보고되면서 더덕 뿌리의 약리학적 효능이 새롭게 각인되고 있다.

더덕의 대표적인 약효 성분은 사포닌 (saponin)으로 알려져 있으며, 주 사포닌은 lancemasides로서 한국산 더덕에서는 7종의 사포닌이 존재하는 것으로 보고되고 있다. Ichikawa 등 (2009)은 이를 각각 lacemaside A, lancemaside B, lancemaside C, lancemaside E, lancemaside G, foetidissimoside A, aster saponin Hb로 명명하였다.

†Corresponding author: (Phone) +82-055-772-1877 (E-mail) irno12@gnu.ac.kr
Received 2018 November 6 / 1st Revised 2018 November 26 / 2nd Revised 2018 December 10 / 3rd Revised 2018 December 12 / Accepted 2018 December 19
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.

Lancemasides의 효능은 미백증진, 대장염 완화, 학습결핍증상 개선효과 및 피부염과 염증개선 효과가 있는 것으로 보고되고 있다. 뿐만 아니라 더덕추출물은 더덕의 섭취가 체내지질축적을 억제하여 비만치료의 잠재적 효과가 있고 (Choi *et al*., 2013), 항산화 증진에도 관여한다고 알려져 있어 기능성 원료로의 이용성이 주목되고 있다 (Song *et al*., 2012).

그러나 최근 약용작물의 중금속, 잔류농약 등 안정성이 사회적문제로 대두되면서 소비자들은 농약과 화학비료의 사용에 대한 부정적인 시각을 가지고 있다 (Seo *et al*., 2009). 이러한 문제점을 개선하기 위하여 화학비료 대신 친환경 자재 (Kim and Park, 2013)를 이용하거나 화학농약 사용을 대체하기 위한 생물학적 방제법 (Jung *et al*., 2011; Lee *et al*., 2012)과 같은 친환경 재배 연구가 이루어졌으나 미흡한 실정이다.

더덕은 주로 3 년생 뿌리를 식·약용으로 이용함으로 한번 재배 시 3 년 동안 재배하기 때문에 토양 내 특정양분의 소모, 토양 물리화학성 악화, 토양의 병원성 미생물, 선충 등에 의한 장애 등이 발생할 수 있기 때문에 토양관리가 매우 중요하다. 그러나 최근 농가에서는 경제적인 소득향상을 위해 연작이나 과도한 화학비료 시용으로 인해 토양의 물리화학성이 악화되고 있다.

따라서 토양의 물리화학성을 개선시키고 화학비료를 대체할 수 있는 가장 현실적인 방안은 풋거름작물 재배이다. 풋거름작물은 주 작물을 재배하지 않는 휴한기에 재배하여 후작물 재배 전 푸를 때 베어서 토양에 넣어 주는 것으로 풋거름작물을 통하여 토양 물리성 개선 및 비옥도를 증진시킬 수 있으며, 토양 내 이용 가능한 질소 (N)를 고정함으로써 작물의 생육 발달에 중요한 역할을 한다 (Ashraf *et al*., 2004; Jeon *et al*., 2010).

풋거름작물 중 두과 작물인 헤어리베치는 내한성과 생산성이 높고 특히 질소 고정능력이 두과 작물 중 가장 우수한 것으로 알려져 있어 가장 많이 이용되고 있고 (Seo *et al*., 2000), 화본과 작물 중 호밀과 청보리는 작물에 질소를 공급하는 능력은 적으나 토양유기탄소를 증가시켜 토양 물리성 개선효과 때문에 많이 이용되고 있다 (Shipley *et al*., 1992; Sung *et al*., 2008).

일반적으로 풋거름작물은 주로 두과 작물과 화본과 작물을 혼합하여 이용하는데, 그 이유는 두과 작물의 경우 고정된 질소를 토양에 공급하는 역할을 하며 화본과 작물은 양분의 용탈을 줄이고 토양을 보호하는 토양 물리성 개선효과가 크지만 후 작물의 질소공급능력이 떨어지기 때문에 혼파가 더 유리한 것으로 알려져 있다 (Yang *et al*., 2014).

또한 적정 탄질비 유지를 통한 토양관리 (Sainju *et al*., 2005), 토양 내 유효태 질소 함량의 증대와 화본과 작물에 의한 투입된 질소의 유실량 절감을 위해서는 단파보다는 혼파가 유리하기 때문이다 (Lim *et al*., 2014).

따라서 풋거름작물 두 종 이상을 혼합하여 파종하는 혼파는 단파로 인한 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).

풋거름작물 재배 후 후작물에 대한 질소 공급능력은 논과 밭에서 10 - 15 일 이내 60% 이상의 질소가 가용화 되는 것으로 나타났고 이후에는 서서히 감소하는 것으로 나타났다 (RDA, 2010).

벼와 같은 작물은 풋거름 작물재배로 전 생육 기간에 필요한 질소량이 충분히 공급될 수 있는 작물이 있는 반면, 고추, 딸기와 같이 생육 기간이 긴 작물의 경우 풋거름작물만으로는 충분한 양의 질소를 공급하지 못하므로 질소비료를 추가로 공급해야 하는 작물들도 있다 (Sung *et al*., 2008; Kim *et al*., 2012; Lim *et al*., 2016).

Lim 등 (2014)에 의하면 밭토양에서 3 - 4 개월이면 풋거름작물에 의해 고정된 질소가 모두 소비되는 것으로 보고하였다. 따라서 더덕과 같은 영년생 작물들은 풋거름작물 재배로 인해 고정된 질소의 소비 후 추가 시비가 필요하다고 할 수 있다.

현재까지 몇몇 작물에서 풋거름작물을 단파 및 혼파를 하여 토양 내 무기태 질소의 함량을 조사한 연구는 많이 이루어져 왔으나 (Herrera *et al*., 1997; Toomsan *et al*., 2000) 풋거름작물 처리 후 추비로 화학비료가 아닌 유기질 비료시용 효과에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 연구는 현재 풋거름 작물로 많이 이용 중인 헤어리베치와 호밀를 이용하여 풋거름작물 재배 후 추가 시비로 유기질비료 시용에 따른 토양의 이화학성 변화, 더덕의 생육 및 사포닌 함량 등을 조사함으로써 더덕 재배 시 화학비료 절감을 위한 풋거름 작물의 이용체계를 확립하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료

풋거름작물은 두과 작물로 헤어리베치, 화본과 작물로 호밀을 각각 이용하였으며 호밀은 질소 고정능력이 낮아 단독처리에서 제외하여 처리내용은 헤어리베치 (hairy vetch, HV), 헤어리베치 + 호밀 (hairy vetch + rye, HV/R), 헤어리베치 + 호밀 혼파처리 후 혼합유기물로 추가 시비 (hairy vetch + rye + mixed organic matter, HV/R/MO), 화학비료시비 (chemical fertilizer, CF), 무처리 (non-treatment, NT) 등 5 가지 처리를 하였다.

풋거름 작물의 파종시기구명을 위해 2015년 9월 20일, 10월 20일, 11월 20일 등 한 달 간격으로 파종 (3 ㎏/10a)을 실시하여 이듬해 질소고정량을 조사한 결과 9월 처리를 선발

하고 위의 5 가지 처리를 하였다. 풋거름 작물들은 2016년 9 월 20일에 다시 파종 (헤어리베치; 3 kg/10a, 헤어리베치/호밀 : 1.5 kg + 1.5 kg/10a)하였고, 이듬해 3월 5일에 경운을 실시하여 풋거름작물을 토양으로 환원시켰다. 화학비료 처리구 (질소기준 6 kg)는 3 월초에 기비 4 kg를 시비하고 풋거름작물과 같은 시기에 경운을 하고 추비로 6 월 중순에 2 kg을 추가시비 하였다. 모든 처리는 경운 2 일 후 2 년생 더덕을 정식하고 20 일 후 토양 이화학성 분석을 위하여 헤어리베치/호밀/혼합유기물 (HV/R/MO)처리를 제외한 모든 처리의 토양 샘플을 채취하였다. 헤어리베치와 호밀의 혼파 처리 후 혼합유기물 추가 시용구 (HV/R/MO)는 6월 20일에 4 kg/10a (질소함량 기준)의 혼합유기물 (4.5-1-1, 87 kg/10a)을 추가 시용하고 20 일 후 토양 샘플을 채취하여 다른 처리구와 같이 토양 분석을 실시하였다.

2. 토양성분 분석

토양성분 분석은 각 처리의 토양을 표면에서 15 cm 걷어낸 후, 처리 당 3 반복씩 채취하여 건조 후 2 mm 채로 걸러 불순물을 제거하여 고운 흙을 분석에 이용하였다.

토양성분의 분석은 '농촌진흥청 국립원예특작과학원 시설원예연구소'에 의뢰하여 분석하였으며 토양질소는 암모니아태와 질산태 질소로 나누어 분석하였다.

질소고정량은 토양면적 (10 a)을 토양무게 (토양깊이 15 cm, 용적밀도 1.25 mg/m^3)로 환산하고 질소 분석치 (mg/kg)를 곱하여 계산하였다.

3. 생육특성 조사

더덕 (Codonopsis lanceolata Trautv.)의 지상부 생육특성 조사는 각 처리 당 5 주를 1 반복으로 하여 3 반복으로 측정하였고, 지하부도 수확 후 각 처리 당 5 주를 1 반복으로 하고 3 반복으로 측정하였다. 지하부는 근장, 근경, 지근수, 생근중, 건근중의 항목으로 나누어 조사하였다.

4. 추출 및 조사포닌 분획

수확한 더덕은 수세 후 물기를 제거한 다음 근장, 근경, 지근수, 생근중을 측정하고 건조기 (JSOF-050S, JS Research Ind., Gongju, Korea) 에 60℃, 48 시간 건조하여 건근중을 측정하고 분쇄하여 40 mesh 채로 걸러 추출시료로 이용하였다.

조사포닌의 추출 및 분획은 더덕 분말 10 g을 10 배의 70% MeOH (Daejung Chemicals and Metals Co., Ltd., Siheung, Korea)로 1 시간 2 회 Soxhelt (GL14pp connect-Kit, SciLab Korea, Seoul, Korea) 추출하여 여과 후 감압 농축 (R-520, Ilsin, Daejeon, Korea)하였다. 여기에 60 mℓ의 증류수를 가하여 회수한 후 물층과 동량의 n-hexane, ethyl-acetate, n-butanol (Daejung Chemicals and Metals Co., Ltd., Siheung, Korea)을 순으로 분획을 하였고 이것을 2 회 반복하여 수행한 다음 여기에서 얻은 n-butanol층을 감압농축하고 동결건조 (FD8508, Ilshin Biobase, Dongducheon, Korea) 후의 무게를 조사포닌 함량으로 하였으며 이후 LC-MS/MS분석의 시료로 이용하였다.

조사포닌 (mg/g)은 A-B/S; A [부탄올 층을 농축 건조한 플라스크 무게 (mg)], B [빈 플라스크 무게 (mg)], S [건물중 (g)]로 계산하였다.

5. LC-MSMS 분석

LC-MS/MS (Qtrap, Ab Sciex Co., Framingm, MA, USA) 분석은 Ichikawa 등 (2009)의 방법을 참조하여 분석하였다.

Column은 YMC-Pack Pro C18 RS Column (150 × 2.0mm × I.D., 5 ㎛, YMC Korea Co., Ltd., Seongnam, Korea)을 사용하였고 column의 온도는 40℃로 설정하였다. 이동상은 H_2O (0.1% formic acid) : acetonitrile (70 : 30, v/v; Daejung Chemicals and Metals Co., Ltd., Siheung, Korea)를 이용하여 유속을 0.2 mℓ/min, Column 온도는 40℃로 설정하여 injection volume 20 ㎕씩 주입하여 분석하였다.

Mass spectrometer는 negative ion과 selected-ion monitoring (SIM)하에서 작동하였다. Electrospray ionization (ESI) 는 4.5 kV의 spray voltage로 수행하였다. Capillary voltage와 tube lens offset은 각각 −40 V과 −130 V로 각각 고정하였다. Capillary temperature는 400℃로 고정하였다. Sheath gas와 auxiliary gas와 로 사용된 nitrogen은 각각 35, 5 arbitrary units로 유지하였다. Lancemaside A는 m/z 1,189, lancemaside B는 m/z 1,351, lancemaside B는 m/z 1,205, aster saponin Hb은 m/z 1,057로 분석하였다.

내부 표준물질로는 ginsenoside Rg1 (Ambo Institute, Daejeon, Korea)을 이용하여 최종농도를 0.01 ppm, 0.1 ppm, 1 ppm, 10 ppm농도로 희석하여 정량분석에 이용하였다.

6. 통계분석

본 연구의 실험데이터는 처리당 3 반복으로 측정하였고 (n = 3), 수집된 데이터는 SPSS Statistics 21 프로그램 (Statistical Package for Social Science, SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 일원배치 분산분석 (One-way ANOVA)을 실시한 후, Ducan's Multiple Range Test (DMRT)을 통해 5%와 1% 수준에서 통계학적 유의성을 검정하였다 ($*p < 0.05$, $**p < 0.01$).

결과 및 고찰

1. 토양이화학성 변화

풋거름작물별 재배 후 토양의 이화학성을 조사한 결과 pH

Table 1. Change in soil chemical properties by cultivating green manure crops and additional fertilization application in *Codonopsis lanceolata* cultivation.

Treatment	Date of sample collection	pH (1:5)	EC (dS/m)	P_2O_5 (㎎/㎏)	Ca	Mg	K	NH_4-N	NO_3-N	T-N
					cmol(+)/㎏			(㎎/㎏)		
NT[1)]	Mar, 20	6.8^{a*}	0.2^{b}	116.6^{b}	5.3^{a}	0.8^{a}	0.2^{b}	6.4^{b}	0.0^{b}	6.4^{b}
CF[2)]	Mar, 20	6.1^{b}	0.8^{a}	230.1^{a}	4.2^{b}	0.7^{b}	0.3^{ab}	6.8^{a}	16.3^{b}	23.1^{b}
HV[3)]	Mar, 20	6.6^{a}	0.5^{b}	132.2^{b}	5.2^{a}	0.8^{a}	0.3^{ab}	8.2^{b}	45.5^{a}	53.7^{a}
HV/R[4)]	Mar, 20	6.8^{a}	0.3^{b}	109.9^{b}	5.7^{a}	0.8^{a}	0.2^{b}	8.8^{b}	6.7^{b}	15.5^{b}
HV/R/MO[5)]	Jul, 5	6.7^{a}	0.8^{a}	118.0^{b}	5.8^{a}	0.9^{a}	0.3^{a}	16.3^{a}	58.9^{a}	69.8^{a}

[1)]NT; Non-treatment, [2)]CF; Chemical fertilizer, [3)]HV; Hairy vetch, [4)]HV/R; Hairy vetch + rye, [5)]HV/R/MO; Hairy vetch + rye + mixed organic matter. *Means with difference letters are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

는 화학비료 (CF) 단용처리가 가장 낮았고 그 다음으로 헤어리베치 (HV)단용처리가 낮은 경향이었고, 전기전도도 (electric conductivity, EC)는 화학비료 (CF)와 헤어리베치/호밀/혼합유기물 (HV/R/MO) 처리에서 가장 높았고 그 외 처리 간에는 차이가 없었다 (Table 1).

인산 함량은 화학비료 단용처리가 가장 높았고, 그 다음이 헤어리베치 > 헤어리베치/호밀/혼합유기물 > 무처리 > 헤어리베치/호밀 순으로 높은 경향이었다. 치환성 양이온인 Ca, Mg, K의 함량은 처리구간 차이는 있었으나 그 차이는 미미한 수준이었다.

화학비료 시용에 따른 토양의 산성화는 본 시험에서도 확인할 수 있었고, 헤어리베치 처리에서도 토양이 다소 산성화되는 경향을 나타내었는데, Ortiz escobar 와 Hue (2008)는 토양 pH는 풋거름 작물의 유기질소의 무기화에 의해 방출된 NH_3^+가 수분과 반응을 통해 OH^-를 생성함으로써 분해 초기에는 토양 pH를 증가시키고 그 이후 질산화 작용 (nitrification)에 의해 NH_4^+가 NO_3^-로 변환됨으로써 H^+를 발생함으로써 토양 pH를 감소시킨다고 보고하였다.

Lawson 등 (2013)도 호밀, 헤어리베치 단·혼용 처리 시 pH가 낮아지고 EC가 증가하는 것은 질소고정 과정에서 H^+ 이온 활동의 증가와 관련이 있고, EC는 질소 축적에 따른 증가의 결과라고 보고하였다.

따라서 본 실험에서 헤어리베치를 함유하고 있는 처리에서 pH가 다소 낮고 EC가 높은 것은 이미 질산화 작용이 진행되고 있음을 짐작할 수 있다.

인산의 경우 화학비료 시용구에서 매우 높았는데 인산은 질소와 달리 용탈이 잘 안 되기 때문에 토양 중에 집적되는 것으로 보이며 (Anugroho *et al*., 2010), 헤어리베치와 같은 풋거름작물 재배에 따라 N, K_2O, Ca등과 더불어 토양 중에 많이 축적되는 것으로 보고되고 있다 (Sung *et al*., 2008).

특히 인산의 경우 논에서 헤어리베치를 재배할 경우 19.7 ㎏/ha 정도 생산되는 것으로 보고되고 있어 (Kim *et al*., 2013) 본 실험에서도 헤어리베치 단용처리가 헤어리베치/호밀 혼용 및 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리보다 인산함량이 높은 것을 확인할 수 있었다. 혼용처리가 단용처리보다 낮은 것은 호밀이 함유된 혼용처리의 경우 호밀의 인산이용이 영향을 미쳤을 것으로 사료된다.

그 외 치환성 양이온은 풋거름작물 재배에 따라 다소 증가하는 것으로 보고 되고 있으나 본 실험에서는 Ca, Mg, K 등은 풋거름작물에 재배에 따른 처리 간 큰 차이를 나타내지 않았다.

Total 질소함량의 경우 헤어리베치에 의한 질소고정으로 인해 헤어리베치 처리와 헤어리베치/호밀 재배 후 추비처리인 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리에서 질소함량이 당연히 높았고, 헤어리베치/호밀 혼용처리보다 헤어리베치 단용처리에서 고정효과가 더 뛰어남을 알 수 있었다.

특히 화학비료 시용구보다 많은 질소를 함유하고 있었는데 화학비료 시용구는 강우에 의한 용탈이나 작물의 생장에 직접 이용되는데 반해 헤어리베치는 토양환원 후 유기태질소가 분해되어 암모니아태 질소와 질산태 질소와 같은 무기태 질소 함량이 증가된 것으로 보인다 (Sung *et al*., 2008).

그리고 토양내 NO_3^-는 양이온 형태인 NH_4^+와 달리 음하전을 띠고 있어 토양 교질과 쉽게 흡착하지 못하므로 강우에 의해 용탈되거나 탈질작용에 의해 손실률이 NH_4^+보다는 높은 것으로 알려져 있는 바 (Fenn and Hossner, 1985), 본 실험에서도 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리와 헤어리베치 처리에서 NO_3^- 함량이 높았고 이것은 적은 강수와 앞서 언급한 봐와 같이 NH_4^+가 NO_3^-로 변화는 질산화 작용과 관련이 있는 것으로 사료된다.

2. 질소비료 절감과 추비효과

헤어리베치 단파와 헤어리베치/호밀 혼파의 파종시기에 따른 질소고정량을 조사하기 위해 9 월, 10 월, 11 월에 각각 파종한 결과, 파종시기가 빠를수록 질소고정량이 증대하였다 (Fig. 1).

이것은 Lim 등 (2011)이 헤어리베치는 파종시기가 늦을수

록 초장이 짧아지고 엽수와 줄기수가 감소하여 결과적으로 건물중 감소로 이어진다는 연구결과와 일치한 결과를 나타내었다.

그리고 10월과 11월 파종은 단파와 혼파에서 큰 차이가 없었는데 이것은 앞서 언급한 것처럼 헤어리베치를 늦게 파종함으로써 질소고정을 위한 헤어리베치의 생육이 충분하지 못하였기 때문에 큰 차이가 없는 것으로 판단된다.

단·혼파 시 헤어리베치 단파 처리에서 5.7 kg/10a으로 가장 높았으며 그 다음이 헤어리베치/호밀, 무처리 순으로 낮아 혼파보다는 단파에서 질소고정량이 높은 것을 확인 할 수 있었다. 특히 헤어리베치 단파에서 5.7 kg의 질소고정은 더덕 재배 시 전량 기비로 시용할 경우 질소요구량의 94.2%를 차지하는 비율이다.

화학비료의 경우 3 월초에 기비로 4 kg/10a을 시용하였는데 30%가량이 작물이 이용되거나 용탈되어 약 2.89 kg 정도 남아 있는데 반해 헤어리베치 처리는 상당량이 무기태 질소로 전환되고 있음을 알 수 있었다 (Fig. 1).

그리고 헤어리베치/호밀처리는 일찍 파종하였을 때도 질소고정량이 헤어리베치 단파보다 낮은데 이것은 Kim 등 (2013)에 의하면 헤어리베치와 보리를 혼파할 경우 헤어리베치는 공중질소를 고정하여 이용하지만, 보리의 경우 대부분의 질소를 토양 내 질소를 이용하기 때문이라 하였다.

따라서 호밀과 같은 화본과 작물은 주로 질소고정효과보다 토양 개량 및 토양 물리성 개선에 주목적이 있기 (Lim *et al*., 2012) 때문에 헤어리베치와 호밀의 적정 파종비율을 조절함으로써 토양개량과 질소고정량을 증대 시킬 수 있을 것이라 판단된다. 벼의 경우 보리 (75%) + 헤어리베치 (25%)를 혼파한 경우 수량이 약 7%가량 증대하는 것으로 보고 되고 있어 (Kim *et al*., 2013) 더덕에 있어서도 헤어리베치와 호밀의 적정파종비율 연구는 추가로 수행되어져야 할 것으로 보인다.

더덕의 표준시비량은 N-P-K: 6-6-6 kg/10a이나 척박한 토양에서는 좀 더 많은 시비를 권장하고 있다 (RDA, 2009). 본 실험에서도 더덕의 표준 추비시기에 맞추어 정식 후 70 일경 추비로 혼합유기물을 4 kg/10a을 시용하였을 경우 전체 질소 공급량은 8.7 kg로 전체 질소공급량인 6 kg보다 45% 정도 초과하는 것을 나타나 헤어리베치 재배와 혼합유기질 비료 시비로 충분히 화학비료를 대체 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

이것은 헤어리베치에 의한 질소고정량이 5.7 kg/10a인데 2 달 동안 작물이 이용되거나 용탈된 것은 약 30%정도로 헤어리베치의 분해 속도가 매우 느린 것으로 판단된다.

헤어리베치의 경우 경운 후 70 일 후 질소함량이 모두 분해된다는 보고가 있는 반면 (Lim *et al*., 2014), 토양 중 질소함량이 30 일경이 최고를 기준으로 120 일까지 서서히 감소한다고는 보고 (Sung *et al*., 2008)등 대기 환경 및 토양 조건에 따라 분해속도가 상당히 다른 것으로 보인다.

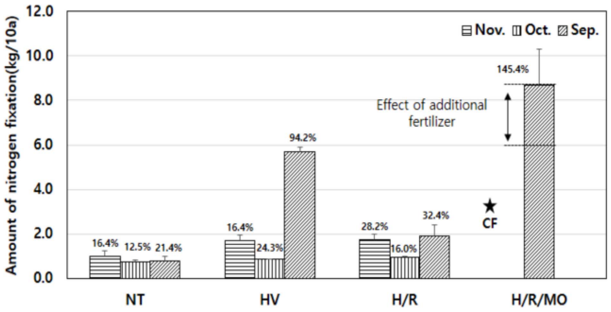

Fig. 1. Effects of green manure crops and additional fertilization application on nitrogen fixation and content in soil. NT; Non-treatment, CF; Chemical fertilizer, HV; Hairy vetch, HV/R; Hairy vetch + rye, HV/R/MO; Hairy vetch + rye + mixed organic matter. CF indicates the amount of nitrogen content in soil by chemical fertilizer application at March. Vertical bars represent standard error of the means (n = 3). Percentage number shows the amount of nitrogen reduction compared with N standard amount of fertilizer (6 kg) in *Codonopsis lanceolata* cultivation.

따라서 본 실험에서는 토양 중 질소함량이 높음에도 불구하고 질소 과잉에 의한 증상이 발생하지 않는 것으로 보아 토양 물리성 개선에 따른 지속적인 질소 공급으로 더덕의 생육을 촉진시킬 수 있었던 것으로 판단된다.

더불어 풋거름작물의 혼합비율에 따른 질소고정량 및 혼합유기물 추비 시용량에 따라 질소 공급량의 조절이 가능하기 때문에 이것과 더덕 생육과 관련된 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3. 더덕 생육조사

풋거름작물 재배에 따른 더덕 (Codonopsis lanceolata Trautv.)의 지상부 생육을 조사한 결과 초장은 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리에서 가장 우수하였고, 그 다음은 헤어리베치 > 헤어리베치/호밀 = 화학비료 > 무처리 순으로 생육이 우수한 경향이었다 (Fig. 2). 그러나 풋거름작물과 화학비료 처리구간에 경경은 뚜렷한 차이는 없었다.

풋거름작물 재배에 따른 지하부 생육을 조사한 결과 근장과 근경은 모든 풋거름작물 처리에서 무처리 보다 높았다 (Table 2).

그러나 풋거름작물 처리 내 단·혼파 및 추비처리구간 차이가 없었으나 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리에서 다소 높은 경향이었고, 지근수는 무처리와 더불어 큰 차이가 없었다.

생근중은 무처리를 제외하고는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리에서 가장 우수한 경향을 보였으며, 그 다음이 헤어리베치 단용처리, 헤어리베치/호밀 혼파, 화학비료 순이었다. 건근중과 조사포닌 함량은 다른 처리에 비해 헤어리베치/호밀/혼합유기물와 헤어리베치 처

리에서 높은 경향이었다. 이것은 풋거름 작물의 질소고정효과 및 추비시용이 더덕의 생육에 관여하는 것으로 보인다.

Moon 등 (2018)은 더덕의 혼합유기질 비료 시비가 화학비료에 비해 더덕의 지상부 생육 및 수량을 증대시킨다고 하였고, Jeon 등 (2016)은 같은 초롱꽃과인 도라지에서도 유기질 비료 시용에 의해 도라지 수량이 증대된다고 하였다.

또한 인삼에서 유기질 비료시용이 수량과 정의 상관이 있다고 하였고 (Lee *et al*., 1984), 당귀, 지황, 토천궁, 작약, 맥문동 재배 시 유기질 비료 시용에 의해 건근중 및 상품수량이 11 - 34% 증수되고, 유기질 비료 시용에 의한 생육증대로 뿌리의 약효성분이 높아져 수량성과 품질이 향상된다고 하였다 (Choi *et al*., 1989; Lee *et al*., 2007; Kim *et al*., 2014b).

따라서 더덕 재배시에 풋거름작물 재배 및 추비로 유기질 비료 시용은 지상부 및 지하부 생장을 유리하게 하여 더덕의 생육과 수량을 증가시킨다고 판단된다.

4. 더덕 사포닌 Lancemaside의 함량

풋거름작물 재배 및 추비시용 따른 더덕의 주요 사포닌을 조사한 결과 lancemaside A가 모든 처리에서 가장 높아 lancemaside A가 더덕의 주 사포닌임을 확인할 수 있었다 (Fig. 3). 그 다음으로 aster saponin이 높았고, lancemaside B, G는 소량 존재하는 것으로 나타내었다.

Ichikawa 등 (2009)은 더덕의 주요한 사포닌은 lancemaside A이며 이외에 lancemaside B, C, E, G, foetidissimoside A, aster saponin Hb 등이 존재한다고 하였고, Kim 등 (2014a)은 5 종의 triterpene saponin을 보고하였는데 본 연구에서는 lancemaside A, B, G 및 aster saponin Hb를 포함한 4 종의 사포닌만이 검출되었고, 나머지 사포닌들은 극미량 존재하거나 또는 검출되지 않았다. 이것은 Ichikawa 등 (2009)이 한국산 더덕과 일본 더덕에서 사포닌 차이가 존재한다고 한 것처럼 시료와 추출방법의 차이에 기인하는 것으로 사료된다.

Lancemaside A는 처리간 통계적으로 유의하지 않지만 헤어리베치/호밀/혼합유기물 > 헤어리베치 > 헤어리베치/호밀 > 화학비료 > 무처리 순으로 높은 경향이었다. Lancemaside B와 G는 소량 존재하였고 처리 간 차이가 거의 없었다.

Aster saponin은 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리에서 가장 높았고, 그 다음으로 화학비료 > 헤어리베치/호밀 > 무처리 > 헤어리베치 처리 순으로 높은 경향이었다. 따라서 전체 lancemaside 함량은 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리에서 가장 높았으며 그 다음이 헤어리베치, 헤어리베치/호밀, 화학비료, 무처리 순으로 높았다.

이것은 Fig. 3과 Table 2에서와 같이 헤어리베치/호밀/혼합유기물 처리와 헤어리베치 처리에 의해 지상부 및 지하부 생육이 우수할수록 사포닌 함량은 높아지는 경향을 보여 더덕의 생육과 사포닌 함량간의 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

따라서 화학비료 절감을 위한 더덕 재배 시 헤어리베치 단용처리나 헤어리베치/호밀 처리 후 추비로 친환경 재료인 혼합유기물을 시용하는 것이 토양개량효과 및 토양 내 질소고정량을 향상시켜 더덕의 생육을 향상시키고 이로 인한 수량 증대 및 사포닌 함량이 증대되는 것을 확인할 수 있었다.

헤어리베치 단용처리 후 혼합유기물 시용도 헤어리베치/호밀 혼합처리 효과와 같을 것이라 판단되나 토양이화학성을 고

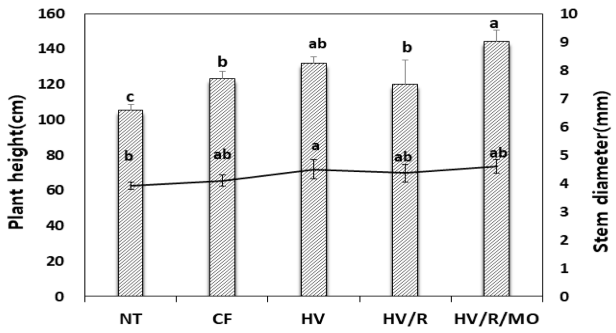

Fig. 2. Growth characteristics of *Codonopsis lanceolata* under cultivation of green manure crops and additional fertilization application. NT; Non-treatment, CF; Chemical fertilizer, HV; Hairy vetch, HV/R; Hairy vetch + rye, HV/R/MO; Hairy vetch + rye + mixed organic matter. *Vertical bars represent standard error of the means (n = 3). Different letters are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

Table 2. Characteristics of *Codonopsis lanceolata* root under cultivation of green manure crops and additional fertilization application.

Treatment	Root length (㎝)	Root diameter (㎜)	No. of rootlets	Fresh weight (g)	Dry weight (g)	Crude saponin (㎎/g)
NT[1)]	13.2^{b}*	18.3^{b}	4.3^{a}	31.4^{b}	6.7^{b}	44.8^{b}
CF[2)]	15.0^{ab}	20.0^{ab}	3.8^{a}	40.7^{a}	9.0^{b}	60.2^{ab}
HV[3)]	15.3^{ab}	22.7^{ab}	4.0^{a}	43.7^{a}	10.7^{ab}	62.5^{ab}
HV/R[4)]	15.0^{ab}	20.7^{ab}	3.5^{a}	42.4^{a}	9.4^{ab}	59.0^{ab}
HV/R/MO[5)]	16.7^{a}	24.0^{a}	3.5^{a}	47.3^{a}	14.0^{a}	69.9^{a}

[1)]NT; Non-treatment, [2)]CF; Chemical fertilizer, [3)]HV; Hairy vetch, [4)]HV/R; Hairy vetch + rye, [5)]HV/R/MO; Hairy vetch + rye + mixed organic matter. *Means with difference letters are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

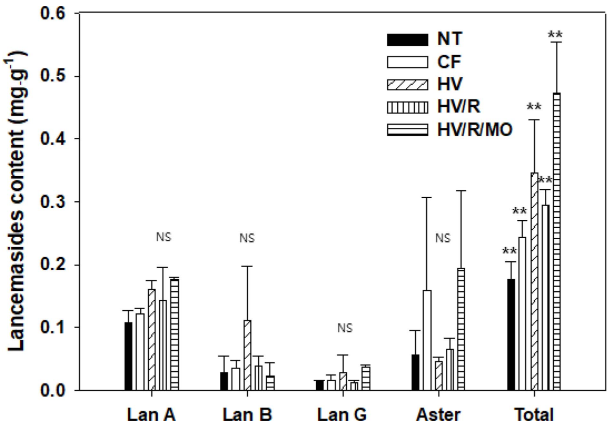

Fig. 3. Lancemasides content in *Codonopsis lanceolata* roots under under cultivation of green manure crops and additional fertilization application. Lan A, B, G and Aster indicate lancemaside A, B, G, and Aster saponin Hb, respectively. NT; Non-treatment, CF; Chemical fertilizer, HV; Hairy vetch, HV/R; Hairy vetch + rye, HV/R/MO; Hairy vetch + rye + mixed organic matter. Vertical bars represent standard error of the means (n = 3). NS,*,**Indicate non-significant and significant at $p < 0.05$ or < 0.01, by Duncan's Multiple Range Test (DMRT).

려한다면 혼합처리가 필요하다고 보여진다. 더불어 헤어리베치와 호밀의 혼파 시 파종 비율에 따른 질소고정량 및 이에 따른 혼합유기물의 추가 시비량 등에 관한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ01383404)의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

Anugroho F, Kitou M, Nagumo F, Kinjo K and Jayasinghe GY. (2010). Potential growth of hairy vetch as a winter legume cover crops in subtropical soil conditions. Soil Science and Plant Nutrition. 56:254-262.

Ashraf M, Mahmood T, Azam F and Qureshi RM. (2004). Comparative effects of applying leguminous and non-leguminous green manures and inorganic N on biomass yield and nitrogen uptake in flooded rice(*Oryza sativa* L.). Biology and Fertility of Soils. 40:147-152.

Choi HK, Won EK, Jang YP and Choung SY. (2013). Antiobesity effect of *Codonopsis lanceolata* in high-calorie/high-fat-diet-induced obese rats. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2013:210297. https://www.hindawi.com/journals/ecam/2013/210297/abs/ (cited by 2018 may 20).

Choi IS, Song IK, Kim JH, Cho JT Hong YK, Park SK and Park JK. (1989). Effect of organic fertilizers on growth and tuber yield in *Rehmannia glutinosa*. Research Report of Chungbuk Agricultural Research and Extension Services. Cheongju, Korea. p.183-192.

Cicek H, Thiessen Martens JR, Bamford KC and Entz MH. (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.

Fenn LB and Hossner LR. (1985). Ammonia volatilization from ammonium or ammonium-forming nitrogen fertilizer. Advances in Soil Science. 1:123-169.

Herrera WT, Garrity DP and 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.

Ichikawa M, Ohta S, Komoto N, Ushijima M, Kodera Y, Hayama M, Shirota O, Sekita S and Kuroyanagi M. (2009). Simultaneous determination of seven saponins in the roots of *Codonopsis lanceolata* by liquid chromatography-mass spectrometry. Journal of Natural Medicines. 63:52-57.

Jeon SH, Rho IR, Kim YG and Cho YS. (2016). Effects of organic fertilizer application on growth and medicinal ingredients of *Platycodon grandiflorum* Radix. Korean Journal of Organic Agriculture. 24:511-524.

Jeon WT, Seong KY, Kim MT, Oh GJ, Oh IS and Kang UG. (2010). Changes of soil physical properties by glomalin concentration and rice yield using different green manure crops in paddy. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 43:119-123.

Jung JH, Kim SW, Lamsal K, Kim YS, Park HJ and Lee YS. (2011). Effect of chitosan coated fungicide against *Colletotrichum gloeosporioides* and powdery mildew. Journal of Agriculture, Life and Environmental Sciences. 23:14-22.

Kim JA, Moon HK and Choi YE. (2014a). Triterpenoid saponin contents of the leaf, stem and root of *Codonopsis lanceolata*. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 22:1-7.

Kim SM, Lee SY, Kim YC, Choi IS, Min KK and Seong JD. (2007). Effects of organic fertilizers on growth and yield in *Liriope platyphylla* Wang et Tang. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 15:148-151.

Kim TY, Daquiado AR, Alam F and Lee YB. (2012). Evaluation of nitrogen and phosphorus balance in green manure-rice cropping systems without incorporation of green manure crops. Korean Journal of Environmental Agriculture. 31:308-312.

Kim WS and Park JS. (2013). Selection and control effect of environmental friendly organic materials for controlling the ginseng alternaria blight. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 21:388-393

Kim YG, An TJ, Yeo JH, Hur M, Park YS, Cha SW, Song BH and Lee KA. (2014b). Effects of eco-friendly organic fertilizer on growth and yield of *Angelica gigas* Nakai. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 22:127-133.

Lawson A, Fortuna AM, Cogger C, Bary A and Stubbs T. (2013). Nitrogen contribution of rye-hairy vetch cover crop mixtures to organically grown sweet corn. Renewable Agriculture and Food Systems. 28:59-69.

Lee HJ, Parl KC, Lee SH, Bang KH, Park HW, Hyun DY,

Kang SW, Cha SW and Chung IM. (2012). Screening of antifungal *Bacillus* spp. against alternaria blight pathogen (*Alternaria panax*) and anthracnose pathogen(*Colletotrichum gloeosporioides*) of ginseng. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 20:339-344.

Lee JC, Lee IH and Hahn WS. (1984). Statistic model by soil physico-chemical properties for prediction of ginseng root yield. Journal of the Korean Society of Soil Science and Fertilizer. 17:371-374.

Lim KH, Choi HS, Kim HJ, Kim BS, Kim DI, Kim SG, Kim JS, Kim WS and Lee Y. (2011). Effects of seeding time on growth and nutrient contribution of ryegrass and hairy vetch. Journal of Bio-Environment Control. 20:134-138.

Lim KH, Choi HS, Na YG, Song JH, Cho YS, Choi JJ, Choi JH and Jung SK. (2012). Nutrient contribution and growth of ‘Niitaka’ pear trees as affected by mix-seeding and single-seeding of rye and hairy vetch. Journal of the Korean Society of International Agriculture. 24:70-75.

Lim TJ, Park JM, Lee SE, Park YE and Kim KI. (2016). Effects of crotalaria incorporation into soil as a green manure on growth of strawberry and inorganic soil nitrogen level. Korean Journal of Horticultural Science and Technology. 34:578-586.

Lim WS, Lee HH and Hong CO. (2014). Nitrogen dynamics in the soils incorporated with single and mixture application of hairy vetch and barley. Korean Journal of Environmental Agriculture. 33:298-305.

Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs(MAFRA). (2018). Special crops production preformance 2017. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Sejong, Korea. p.22-23.

Moon KG, Um IS, Jeon SH, Cho YS, Kim YG and Rho IR. (2018). Effect of organic fertilizer application on growth characteristics and saponin content in *Codonopsis lanceolata*. Horticulture, Environment, and Biotechnology. 59:125-130.

Ortiz Escobar ME and Hue NV. (2008). Temporal changes of selected chemical properties in three manure-amended soils of Hawaii. Bioresource Technology. 99:8649-8654.

Rural Development Administration(RDA). (2009). Medicinal crop. Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.72.

Rural Development Administration(RDA). (2010). Guide of agricultural technology(Hairy vetch). Rural Development Administration. Suwon, Korea. p.59.

Sainju UM, Whitehead WF and Singh BP. (2005). Biculture legume-cereal cover crops for enhanced biomass yield and carbon and nitrogen. Agronomy Journal. 97:1403-1412.

Seo CS, Hwang DS, Lee JK, Ha HK, Chun JM, Um YR, Jang S and Shin HK. (2009). Concentration of heavy metals, residual pesticides and sulfur dioxide of before/after a decoction. Korea Journal of Herbology. 24:111-119.

Seo JH, Lee HJ, Hur IB, Kim SJ, Kim CK and Jo HS. (2000). Comparisons of chemical composition and forage yield among winter green manure crops. Journal of the Korean Society of Grassland and Science. 20:193-198.

Shipley PR, Messinger JJ and Decker AM. (1992). Conserving residual corn fertilizer nitrogen with winter cover crops. Agronomy Journal. 84:869-876.

Song CH, Seo YC, Choi WY, Lee CK, Kim DU, Chung JY, Chung HC, Park DS, Ma CJ and Lee HY. (2012). Enhancement of antioxidative activity of *Codonopsis lanceolata* by stepwise steaming process. Korean Journal of Medicinal Crop Science. 20:238-244.

Sung JK, Lee SM, Jung JA, Kim JM, Lee YH, Choi DH, Kim TW and Song BH. (2008). Effects of green manure crops, hairy vetch and rye, on N supply, red pepper growth and yields. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer. 41:247-253.

Tejada M, Gonzalez JL, Garcia-Martinez AM and Parrado J. (2008). Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology. 99:1758-1767.

Toomsan B, Cadisch G, Srichantawong M, Thongsodsaeng C, Giller KE and Limpinuntana V. (2000). Biological N_2 fixation and residual N benefit of pre-rice leguminous crops and green manures. Netherlands Journal of Agricultural Science. 48:19-29.

Yang CH, Shin P, Baek NH, Cho KM, Lee SB, Noh TH and Lee GB. (2014). Effect of mixed sowing of hairy vetch and wheat on green manure yield in a reclaimed land. Journal of Agriculture and Life Science. 48:85-91.