

보리와 헤어리베치 혼파재배에 따른 녹비작물 수량과 질소와 인산의 생산성*

이초롱** · 김필주*** · 오유라**** · 박충배**** · 박광래**** · 남홍식**** · 박기춘****

Biomass, Nitrogen, and Phosphorus Productivities of Green Manure by Barley and Hairy Vetch Mixtures

Lee, Cho-Rong · Kim, Pil-Joo · Oh, Yura · Park, Choong-Bae ·
Park, Kwang-Lai · Nam, Hong-Sik · Park, Gi-Chun

Green manure crops can be efficient replacements of high nutrient materials such as livestock compost, organic fertilizers, etc. in organic farming. Grass-legume mixtures or mixed cropping of legumes with non-legumes can aid in abating the shortcomings of each plant type under monoculture (i.e. legumes have low biomass yields while grasses are poor at fixing nitrogen). This study was conducted to investigate the effects of barley (B) and hairy vetch (H) mixtures on green manure yield in nutrient accumulated organic upland soils of Korea. In one cropping season, single crops of barley and hairy vetch (Barley: 160 kg/ha, Hairy vetch: 90 kg/ha) as well as mixtures of both crops at different seeding rates (B66:H33, B33:H66) were grown and the obtained results are as shown below. The biomass yield and nutrient productivities were higher in barley-hairy vetch mixture. The biomass yield and total phosphorus content were higher for the mixed crops by 78~132% and 200% respectively than those of the hairy vetch monoculture. Total nitrogen content of the mixed crops was also higher than those of the barley monoculture by 43~44%. The biomass yield (5.60 Mg/ha) and nutrient contents (87.7 kg N/ha, 23 kg P₂O₅/ha) were highest in the case of B66:H33 seeding rate. Accordingly, this study concludes that the barley-hairy vetch mixtures cropped at B66:H33 seeding rate is efficient in increasing green manure productivity due to complementary effects observed and the highest biomass yield and nutrient contents.

Key words : *grass-legume mixture, green manure, hairy vetch, intercropping, legume*

* 본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발 사업(과제번호 : PJ012684032018)의 연구비 지원으로 수행되었음.

** Corresponding author, 농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과(echrong@korea.kr)

*** 국립경상대학교 농업생명과학대학

**** 농촌진흥청 국립농업과학원 유기농업과

I. 서 론

국제유기농연맹(IFOAM)과 영국, 독일, 미국 등 선진국에서는 유기농업에서 녹비작물이나 두과작물 재배를 기본으로 하고 있다(Sohn et al., 1995). 반면 우리나라는 유기농산물 인증에 있어서도 녹비·두과작물 재배보다는 유기자재에 의존한 토양 및 양분관리를 하고 있다. 국내 유기농가는 토양 및 양분관리를 위해서 주로 가축분퇴비(40%)나 유기질비료(39%) 등의 자재를 많이 사용하고 있으며 작물잔재 환원(15%)이나 녹비작물 재배(3%)는 다소 저조하다(Lee et al., 2017). 특히 밭에서는 자재 사용량이 ha당 40 Mg 정도로 많다고(Lee et al., 2006) 보고되었다. 농자재 투입에 의존한 토양관리는 양분 불균형을 유발할 수 있고, 실제 유기농 토양에서 유효인산, 치환성 양이온 등이 집적되고 있다(Lee et al., 2004; Lee et al., 2006; Lee et al., 2015).

녹비작물은 비료사용량 절감, 토양 유기물함량 증진, 토양 유실경감 등 다양한 측면에서 활용되고 있다(Cho et al., 2011). 녹비작물은 주로 두과작물과 화분과작물로 분류할 수 있다. 두과작물은 헤어리베치(*Vicia villosa* Roth), 네마장황(*Crotalaria juncea* L.) 등이 있으며, 뿌리혹박테리아의 질소고정작용으로 대기 중 질소를 고정하여 토양으로 많은 질소를 공급할 수 있으나(Kim et al., 2013, Hwang et al., 2015), 화분과작물에 비해 생체량이 적다. 화분과작물은 보리(*Hordeum vulgare* var. *hexastichon*), 호밀(*Secale cereale* L.) 등이 있고 초기 생육속도가 빠르고 생체량이 많고 수확기에 C/N율이 높아 토양 유기물 축적에 효과적이거나 작물 생육초기에 질소기아현상을 유발할 우려가 있어 단독으로 사용시 주의가 필요하다(Cho et al., 2011; Kim et al., 2013; Park et al., 2013).

혼파는 서로 다른 종을 섞어 재배하는 것으로 종간의 상호작용에 의해(Hinsinger et al., 2011) 수량증진, 양분생산 측면에서 이점을 가져올 수 있어(Elodie et al., 2012; Kim et al., 2013; Tang et al., 2014) 최근 두과 및 화분과작물을 혼파하여 활용하는 추세이다. 두 작물을 혼파하게 되면 직립성인 화분과작물을 헤어리베치와 같은 덩굴성 두과작물이 지지대로 타고 올라 광합성효율이 좋아져 수량이 증가할 수 있다(Jeon et al., 2009). 또한, 공중 질소를 고정하는 두과작물 뿌리혹의 무기화로 근권을 공유하는 화분과작물의 질소흡수가 증가하여 수량이 증가할 수 있다(Jeon et al., 2009). 두과작물과 화분과작물은 양분의 이용형태가 상이하다. 두과작물은 약 70%의 질소를 대기 중에서 고정하여 흡수하며, 화분과작물은 토양에 존재하는 무기태 질소를 이용한다. 또한 두과작물은 효소작용으로 유기태인산에서 필요한 인을 흡수하지만 화분과작물은 무기태인산을 직접적으로 흡수한다고 알려져 있다(Xue et al., 2016). 따라서 혼파를 활용하면 종간 양분경합이 감소하여 양분 흡수량이 증가할 수 있다. 이러한 양분 생산성의 증가는 녹비작물이 후작물로 공급 할 수 있는 양분의 증가를 의미하기 때문에 매우 중요하다.

녹비작물 혼파에 따른 수량 및 양분생산성에 관한 연구는 국내에서도 수행된 바 있으나,

연구마다 수량에 관한 결과가 일관적이지 않고 양분생산성 역시 질소 생산성 증대에 대한 효과 연구(Kim et al., 2013; Jeong et al., 2015; Kang et al., 2015)에 집중되어 있다. 또한 유기농경지에서 집적되고 있는 인산의 생산성, 양분이 집적된 농경지에서 혼파재배의 효과에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구는 양분이 집적된 조건에서 두과작물과 화분과작물의 혼파가 녹비작물의 수량 및 양분 생산성에 미치는 효과를 평가하고 이를 통해 가축분퇴비나 유기질비료의 대체가능성을 알아보려고 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 시험장소

본 연구는 전라북도 진안군 성수면 소재의 유기재배 13년차 밭에서 수행하였다. 해당 농경지는 무항생제 우분퇴비와 시판 유기질비료(유박)를 각각 ha 기준 40 Mg, 2.4 Mg씩 지속적으로 투입하여 토양을 관리해왔으나 Table 1과 같이 토양 인산 함량이 높아 2015년 이후 우분퇴비를 사용하지 않았다.

Table 1. Physico-chemical properties of the soil used in the experiment

pH (1:5)	Total N	O.M.*	Available P ₂ O ₅	Exchangeable cation (cmol ⁺ /kg)			Soil texture (%)		
	g/kg		mg/kg	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Sand	Silt	Clay
7.5	3.1	56.6	1,773	1.78	11.2	4.1	59	31	10

* O.M.: Organic matter

시험 전 토양의 이화학성 분석 결과는 Table 1과 같다. 토성은 사양토(Sandy loam)였으며, 토양 pH가 다소 높았고 총 질소, 유효인산 등 다량양분이 집적되어 있었다.

2. 녹비작물 재배시험

녹비작물로 두과작물인 헤어리베치(H)와 화분과작물인 보리(B)를 선택하였다. 헤어리베치는 시중에 유통되고 있는 종자를 구입하였고, 보리는 국립식량과학원에서 ‘미향’ 품종을 분양받아 사용하였다.

보리와 헤어리베치의 혼파효과를 확인하기 위해 녹비작물을 파종하지 않은 무처리, 보리 단파(B100), 헤어리베치 단파(H100)와 혼파비율을 다르게 처리한 보리-헤어리베치 혼파

(B66H33, B33H66) 2처리 총 5처리를 두었으며, 각 처리는 3반복씩, 처리구당 면적은 $2 \times 5 = 10 \text{ m}^2$ 로 조성하여 2016년 11월 4일에 산파 후 복토하였다. 보리와 헤어리베치의 추천 파종량은 각각 140, 30~40 kg/ha이나 파종시기가 다소 늦어 보리는 160, 헤어리베치는 90 kg/ha로 늘려 파종하였다. 혼파처리구의 파종량은 Replacement principle (Tosti et al., 2012)을 참고하여 산정하였다.

3. 녹비작물 수량 및 질소, 인산 생산성 평가

녹비작물은 2017년 5월 11일에 수확하였다. 이때 보리는 출수가 진행되고 있었으며, 헤어리베치는 개화가 시작되고 있었다. 처리구당 1.2 m^2 면적 내 있는 녹비작물을 수확 후 생체중을 조사하였고 75°C 에서 건조한 후 건물중을 조사하였다. 총 질소 농도는 식물체시료 0.2 g을 원소분석기(Elementar, US/Vario Max CN, Germany)를 이용하여 측정하였다. 총 인산 농도는 식물체시료 0.3 g을 pyrex 재질 삼각플라스크에 넣고 60% HNO_3 을 가해 열분해한 시료를 100 ml로 희석하여 470 nm에서 흡광도를 측정하는 Vanadate법으로 분석하였다. 녹비작물의 총 질소 및 인산의 생산성(kg/ha)은 질소 및 인산의 농도(%)에 건물생산량(kg/ha)을 곱하여 조사하였다.

4. 통계 분석

자료의 통계분석은 SPSS를 이용한 분산분석으로 수행하였고, 95% 수준에서 Duncan's New Multiple Range Test로 유의성 정도를 분석하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 보리와 헤어리베치 혼파 비율별 녹비작물 수량 비교

수확시기 녹비작물 처리별 건물수량은 Fig. 1과 같다. B66H33 처리와 보리 단파(B100)에서 각각 5.60, 5.58 Mg/ha로 수량이 높았으며, B33H66에서 4.28, 헤어리베치 단파(H100)에서 2.41로 가장 낮은 수량을 보였다. Kim 등(2013)과 Kim 등(2011)이 논과 고랭지에서 헤어리베치와 화분과작물 혼파 시험을 한 결과 화분과작물 비율이 높은 처리에서 녹비작물의 최고수량을 나타낸 것과 동일한 것으로 나타났다. 이는 두과작물에 비해 생체량이 많은 화분과작물의 특성 때문으로 판단된다. 따라서 혼파할 경우 헤어리베치 단파보다 수량이 78~132% 증가하여, 녹비작물 수량 확보에 유리할 것으로 판단된다.

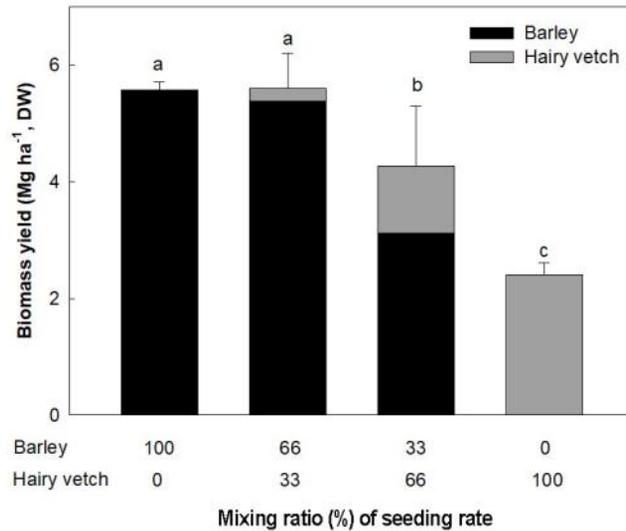


Fig. 1. Biomass yields (Mg/ha) of mono-seeding and mix-seeding of barley and hairy vetch at the harvesting date. Vertical bar is total dry biomass yields of green manure.

보리는 혼파시 파종량 대비 수량이 증가되는 결과를 보였다. 단파대비 파종량이 66%, 33% 수준인 혼파구의 보리 수량은 각각 97% (5.41 Mg/ha), 56% (3.12 Mg/ha) 수준이었다. 이는 호밀과 헤어리베치 혼파에서 헤어리베치 뿌리혹의 무기화로 공급된 질소에 의해 호밀 수량이 증가된 것(Jeon et al., 2009)과 유사한 결과로, 헤어리베치에 의해 보리 수량이 증가된 것으로 판단된다.

반면 헤어리베치는 혼파시 수량 증가가 없었으며 헤어리베치 파종량 감소에 따라 수량은 급격하게 감소하였다. 헤어리베치의 수량감소는 파종시기가 11월로 늦어 월동이 불량(Lim et al., 2011)하였고, 파종시기와 상관없이 초기생육이 빠른 보리가 우점하여 헤어리베치 생육이 더 저조(Jeon et al., 2011)했던 것으로 판단된다. 따라서 헤어리베치와 보리를 혼파 할 경우, 헤어리베치를 먼저 파종하고 보리를 나중에 파종하는 방법이나, 동시에 파종할 경우 헤어리베치의 월동을 생각하여 파종시기를 앞당기거나 수확시기를 헤어리베치 생육이 급증하는 5월 중순 이후(Jeon et al., 2009)로 늦춰야 할 것으로 판단된다.

2. 보리와 헤어리베치 혼파 비율별 녹비작물의 질소 및 인산 생산성 비교

1) 질소 생산성

수확시기 보리와 헤어리베치에 의한 총 질소생산량은 Fig. 2와 같다. 총 질소생산량은 B66H33과 B33H66 처리에서 각각 87.7 kg/ha, 86.9 kg/ha로 높았으며, 보리 단파(B100), 헤어

리베치 단파(H100)에서 각각 60.5 kg/ha, 73.7 kg/ha로 유의적인 차이가 없었다. 이러한 결과는 논에서 보리와 헤어리베치 혼파 실험에서 질소 생산량이 B75H25에서 가장 높고 보리 단파에서 가장 낮은 것과 일치한다(Kim et al., 2013). 건물수량이 높았던 보리 단파(5.58 Mg/ha)보다 수량이 낮았던 B33H66 (4.28 g/kg)과 헤어리베치 단파(2.41 g/kg)에서 질소생산량이 더 많은 결과는 헤어리베치(33 g/kg)의 질소농도가 보리(13 g/kg)보다 높았기 때문이다. 따라서 보리와 헤어리베치를 혼파 할 경우 보리를 단파 할 때보다 질소 생산량이 43~44% 증대되어, 보리 단파보다 질소공급에 유리할 것으로 판단된다.

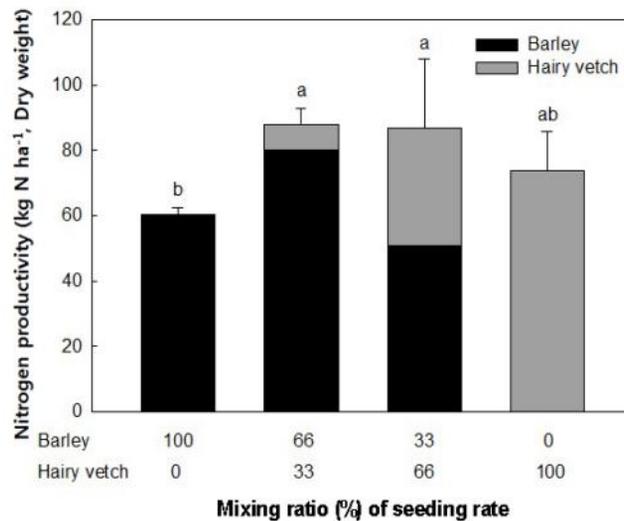


Fig. 2. Nitrogen productivities (kg/ha, Dry weight) of mono-seeding and mix-seeding of barley and hairy vetch at the harvesting date. Vertical bar is total nitrogen contents of green manures.

녹비작물의 총 건물수량에 대한 헤어리베치 밀도 증가에 따른 보리와 헤어리베치 질소 농도 변화를 상관 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 헤어리베치의 밀도 증가는 헤어리베치의 질소 농도에 영향을 주지 않았으나, 보리의 질소농도는 10.8 g/kg, 11.9 g/kg, 16.3 g/kg으로 증가하였다. 이러한 결과는 헤어리베치와 보리의 질소 이용특성차이에 의한 것으로, 헤어리베치는 70% 질소를 공중질소를 고정하여 사용(Papastylianou, 1988)하여 토양 중 질소에 대한 경쟁이 비교적 덜한 반면, 보리는 대부분의 질소를 토양 질소를 이용하므로 헤어리베치 밀도가 증가할수록 질소흡수에 대한 보리의 경쟁이 낮아지기 때문으로 판단된다. Kim 등(2013)의 결과도 이와 동일한 경향을 나타냈다.

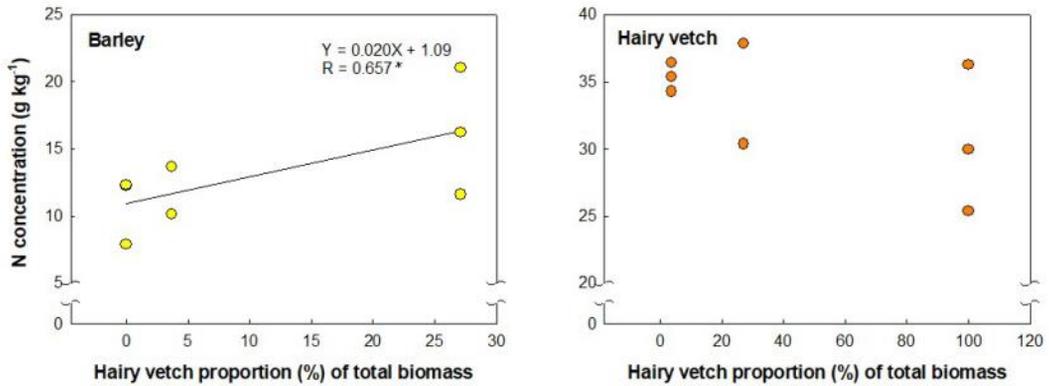


Fig. 3. Nitrogen concentration (g/kg) of barley and hairy vetch by increasing hairy vetch proportion of total green manure biomass. Vertical bar is nitrogen concentration of barley and hairy vetch.

2) 인산 생산성

보리와 헤어리베치의 총 인산생산량은 Fig. 4와 같다. B33H66, B66H33, 보리 단파(B100)에서 각각 23 kg/ha, 23 kg/ha, 22 kg/ha로 유의적인 차이가 없었으며, 헤어리베치 단파(H100)에서 10 kg/ha로 가장 낮았다. 논에서 보리와 헤어리베치 혼파 시험에서도 보리 단파 및 혼파는 인산 생산량이 유의한 차이가 없었으나, 헤어리베치 단파에서 가장 낮은 인산생

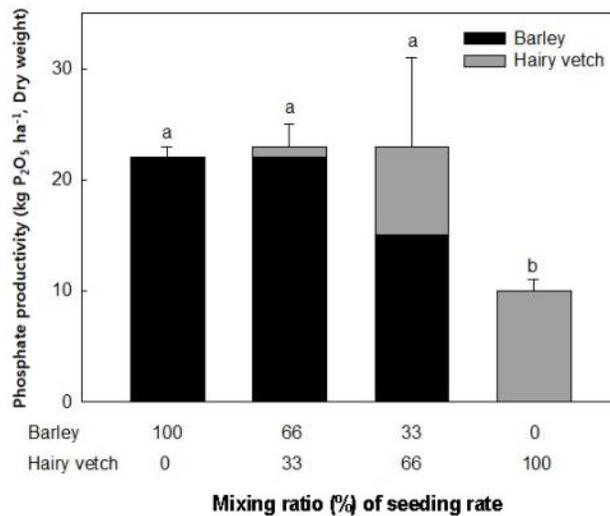


Fig. 4. Phosphate (P₂O₅) productivity (kg/ha, Dry weight) of mono-seeding and mix-seeding of barley and hairy vetch at the harvesting date. Vertical bar is total phosphate contents of green manure.

산량을 나타낸 결과와 유사한 경향을 보였다(Kim et al., 2013). 이는 보리 인산농도(4.1 g/kg)와 헤어리베치 인산농도(5.1 g/kg)가 질소농도처럼 차이가 크지 않아 인산생산량이 수량에 큰 영향을 받았기 때문으로 판단된다. 따라서 보리와 헤어리베치를 혼파 할 경우 헤어리베치 단파보다 인산 생산량이 2배 이상 증가하여, 인산공급에 유리할 것으로 판단된다.

녹비작물의 총 건물수량에 대한 헤어리베치 밀도 증가에 따른 인산농도를 상관 분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 질소와 마찬가지로 헤어리베치의 밀도 증가는 헤어리베치의 인산 농도에 영향을 주지 않았으나, 보리의 인산농도는 3.7 g/kg, 4.2 g/kg, 4.5 g/kg으로 증가하였다. 이러한 결과는 헤어리베치와 보리 혼파의 상승효과에 의한 것으로 판단된다. 종이 다른 두 작물을 함께 재배할 경우 자원 분배에 의해 경합이 감소(Fridley, 2001)하거나 두과작물이 H^+ , OH^- , 카르복실산염, 세포의 인산가용화효소 등 인산가용화화합물(P-mobilizing compounds)을 다량 분비하여 화분과작물의 인산 이용률이 증대된다고 하였다(Elodie et al., 2012). 따라서 헤어리베치와 보리를 혼파 할 경우 중간 경합이 감소하며, 두과작물이 분비하는 인산가용화화합물에 의해 화분과작물의 인산농도가 증가한 것과 동일한 결과를 보였다.

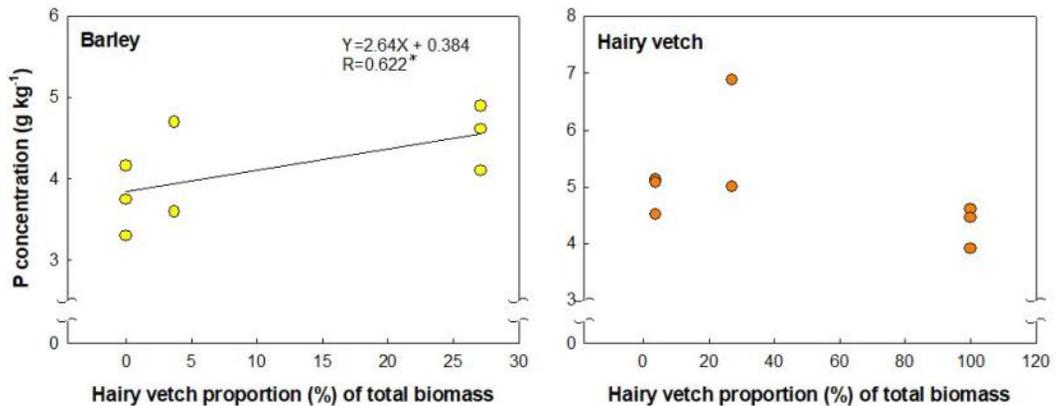


Fig. 5. Phosphate concentration (g/kg) of barley and hairy vetch by increasing hairy vetch proportion of total green manure biomass.

IV. 적 요

국내 유기농 밭 토양은 가축분퇴비, 유기질비료 등의 지속적인 투입에 의해 인산을 포함한 다량 양분이 축적되고 있다. 친환경 토양관리를 위하여 가축분퇴비나 유기질비료의 대안으로 보리(B)와 헤어리베치(H)의 혼파를 활용하고자 한다. 보리와 헤어리베치의 혼파가 녹비작물의 수량 및 양분 생산성에 미치는 효과를 평가하기 위하여, 가축분퇴비 연용으로

토양 양분이 축적된 유기농 밭 토양에 보리와 헤어리베치를 2016년 11월에 기준 파종량(B 160 kg/ha ; H 90 kg/ha) 대비 B 66%와 H 33%, B 33%와 H 66% 비율로 혼파 재배하였다. 수확기에 녹비작물 수량, 양분생산성을 분석하여 혼파 효과를 평가한 결과는 아래와 같다. 보리와 헤어리베치를 혼파 할 경우 녹비작물 수량이 헤어리베치 단파 보다 78~132% 증가되어, 혼파시 수량증대 효과가 있었다. 질소 생산성도 혼파에서 보리 단파보다 43~44% 증가, 인산 생산성도 헤어리베치 단파보다 200% 이상 증가되어 혼파의 양분생산성 증대 효과를 확인하였다. 본 연구 결과 보리와 헤어리베치의 혼파재배는 녹비작물의 수량 및 질소와 인산 생산성 증대에 효과적이라는 결과를 얻었으며, 2가지 측면을 모두 고려할 때, 기준 파종량 대비 보리 66%와 헤어리베치 33%를 혼파하여 파종한 처리(B66H33)가 가장 비료로써의 가치가 높아 양분이 축적된 유기농경지에서 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

[Submitted, October. 5, 2018 ; Revised, November. 7, 2018 ; Accepted, November. 9, 2018]

References

1. Cho, H. S., W. Y. Park, W. T. Jeon, K. Y. Seong, C. G. Kim, T. S. Park, and J. D. Kim. 2011. Effect of green manure barley and hairy vetch on soil characteristics and rice yield in paddy. *CNU J. Agri. Sci.*, 38: 703-709.
2. Elodie, B., D. Marek, C. Bruno, D. Dominique, and P. Hinsinger. 2012. Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biol Biochem.* 46: 181-190.
3. Fridley, J. D. 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity : how, where, and why?. *Oikos.* 93: 514-526.
4. Hinsinger, P., E. Betencourt, L. Bernard, A. Brauman, C. Plassard, J. Shen, X. Tang, and F. Zhang. 2011. P for two, sharing a scarce resource: soil phosphorus acquisition in the rhizosphere of intercropped species. *J Plant Physiol.* 156: 1078-1086.
5. Hwang, H. Y., G. W. Kim, Y. B. Lee, and P. J. Kim. 2015. Improvement of the value of green manure via mixed hairy vetch and barley cultivation in temperate paddy soil. *Field Crop Res.* 183: 138-146.
6. Jeon, W. T., K. Y. Seong, J. K. Lee, M. T. Kim, and H. S. Cho. 2009. Effects of Seeding Rate on Hairy vetch (*Vicia villosa*) - Rye (*Secale cereale*) Mixtures for Green Manure Production in Upland Soil. *Korean J. Crop Sci.* 54: 327-331.

7. Jeon, W. T., K. Y. Seong, M. T. Kim, I. S. Oh, B. S. Choi, and U. G. Kang. 2011. Effect of Monoculture and Mixtures of Green Manure Crimson Clover (*Trifolium incarnatum*) on Rice Growth and Yield in Paddy. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44: 847-852.
8. Jeong, J. S., E. S. Kim, K. P. Hong, S. L. Choi, Y. H. Lee, J. Y. Heo, S. T. Lee, Y. J. Choi, and S. D. Lee. 2015. Impact of Green Manure by Triticale and Hairy Vetch Mixed Sowing Cultivation in a Paddy Field in Southern Korea. Research report. GNARES.
9. Kang, H. J., S. H. Yang, Y. K. Kim, and B. C. Moon. 2015. Effects of hairy vetch-rye mixtures in Jeju. Research report. JSSGPARES.
10. Kim, S. W., Y. H. Seo, Y. B. Choi, M. S. Ahn, and A. S. Kang. 2011. Effect of Mixed Sowing of Hairy Vetch and Rye on Green Manure Yield in Mountainous Highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44: 442-447.
11. Kim, T. Y., S. Y. Kim, F. Ala, and Y. B. Lee. 2013. Green Manuring Effect of Pure and Mixed Barley-Hairy Vetch on Rice Production. *Korean J Environ Agric.* 32: 268-272.
12. Lee, C. R., J. H. Ok, M. S. An, S. B. Lee, K. L. Park, S. G. Hong, M. G. Kim, and C. B. Park. 2017. Soil Chemical Properties of Long-term Organic Cultivation Upland. *Korean J. Org. Agric.* 25: 161-170.
13. Lee, C. R., S. G. Hong, S. B. Lee, C. B. Park, M. G. Kim, J. H. Kim, and K. L. Park. 2015. Physico-Chemical Properties of Organically Cultivated Upland Soils. *Korean J. Org. Agric.* 23: 875-886.
14. Lee, I. D. and H. S. Lee. 2006. A Comparative Study on the Dry Matter Yield and Nutritive Value from Rye and Hairy Vetch Seeding Types in Daejeon. *J. Korean Grassl. Sci.* 26: 207-214.
15. Lee, Y. H., S. G. Lee, S. H. Kim, J. H. Shin, D. H. Choi, Y. J. Lee, and H. M. Kim. 2006. Investigation of the Utilization of Organic Materials and the Chemical Properties of Soil in the Organic Farms in Korea. *Korean J. Org. Agric.* 14: 55-67.
16. Lee, Y. J., D. H. Choi, S. H. Kim, S. M. Lee, Y. H. Lee, B. M. Lee, and T. W. Kim. 2004. Long-term Changes in Soil Chemical Properties in Organic Arable Farming Systems in Korea. *Korean J. Soil. Sci. Fert.* 37(4):228-234,
17. Lim, K. H., H. S. Choi, H. J. Kim, B. S. Kim, D. I. Kim, S. G. Kim, J. S. Kim, W. S. Kim, and Y. Lee. 2011. Effects of Seeding Time on Growth and Nutrient Contribution of Ryegrass and Hairy vetch. *J. Bio-Environ. Control.* 20: 134-138.
18. 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.
19. Park, J. H., S. T. Lee, D. C. Seo, S. H. Kim, H. C. Kim, S. W. Lee, J. S. Cho, and J. S.

- Heo. 2013. Effect of Hairy Vetch and Crimson Clover on the Yield of Carrot and Soil Physico-chemical Properties in Carrot-Green Manure Crops Rotation. *J. Agric. Life Sci.* 47: 101-109.
20. Sohn, S. M. 1995. Core Aspects of Environmental Friendly Sustainable Agriculture in Major European Countries and its Approach in Korea. *The Korean Society Of International Agriculture.* 7: 138-155.
21. Tang, X., L. Bernard, A. Brauman, T. Daufresne, P. Deleporte, D. Desclaux, G. Souche, S. A. Placella, and P. Hinsinger. 2014. Increase in microbial biomass and phosphorus availability in the rhizosphere of intercropped cereal and legumes under field conditions. *Soil Biol Biochem.* 75: 86-93.
22. Tosti, G., P. Benincasa, M. Farneselli, R. Pace, F. Tei, M. Guiducci, and T. K. Kristian. 2012. Green manuring effect of pure and mixed barley - hairy vetch winter cover crop on maize and processing tomato N nutrition. *Eur. J. Agron.* 43: 136-146.
23. Xue, Y., H. Xia, P. Christie, Z. Zhang, L. Li, and Caixian. T. 2016. Crop acquisition of phosphorus, iron and zinc from soil in cereal/legume intercropping systems: a critical review. *Ann Bot.* 117: 363-377.