The Effects of Hairy Vetch Application on Soybean Yield and Soil Physico-chemical Properties Under Different Soil Textures

Jongseo Choi*, Shingu Kang, Sukjin Kim, Jeong Hwa Park, and Woonho Yang

Crop Cultivation and Environment Research Division, National Institute of Crop Science, RDA, Suwon 16429, Korea

*Corresponding author: hbell7@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 13, 2018

Revised: November 30, 2018

Accepted: December 3, 2018

Hairy vetch (*Vicia villosa* Roth) is an important green manure crop which decomposes rapidly in soil and releases significant amount of nitrogen to subsequent crops. The incorporation of hairy vetch also contributes to organic matter accumulation and improvement of soil structure. However, appropriate management techniques for soybean production using hairy vetch have not been well studied yet. This study was conducted to investigate the effect of hairy vetch on the soil physico-chemical properties and soybean yield in different soil textures. The experimental soils were classified as clay loam, loam, sandy loam and sand. Hairy vetch was incorporated into soils of different texture at three different rates before sowing of soybean. The amount of incorporated hairy vetch was calculated from the nitrogen content of the biomass which were equivalent to 50, 100, and 150% of the recommended N fertilization rate for soybean, respectively. The growth and yield of soybean in hairy vetch plots were higher than those in conventional plot in clay loam and sand, but they were similar in loam and sandy loam. Soybean yields in clay loam and sand increased along with increase of incorporated hairy vetch biomass. Addition of hairy vetch resulted in increased available P and decreased pH in all soils except loam. Hairy vetch plot showed increased soil water content at 5-10 cm depth in sand, which possibly affects the water availability to plant. In clay loam soil treated with hairy vetch, water content increased at 0-5 cm depth and decreased at 5-10 cm depth compared with conventional plot. This study shows that application of hairy vetch green manure improves soybean yield through the alteration of the soil physical property such as water holding capacity and permeability, especially in very coarse or fine-textured soils.

Keywords: Hairy vetch, Green manure, Soybean, Soil texture

Soybean yield responses to hairy vetch N under different soil textures. (a) : clay loam, (b) : sand.

Introduction

농경지에서 풋거름작물을 이용하면 질소 공급, 토양 침식 방지, 물리성 개선, 잡초 억제 등의 여러 이점이 있다 (Reddy, 2001; Lee et al., 2011). 특히 헤어리베치, 클로버 등 콩과 풋거름작물은 탄질률 (C/N ratio)이 낮아 분해가 쉬우며 후작물에 대한 양분공급 효과가 좋다고 알려져 있다 (Cho et al., 2011). 따라서 콩과 풋거름작물과 함께 질소요구량이 적은 콩을 재배하면 화학비료 무시용 재배가 가능할 뿐 아니라 유기물 공급 등에 따른 생육 증진 효과도 있을 것으로 기대되나, 이와 관련된 연구는 아직 많지 않은 실정이다.

국내에서 풋거름작물을 이용한 콩 재배 연구로는 Kim et al. (2003)이 헤어리베치를 토양 혼입시 관행구에 비해 뿌리혹 개체수 증가 및 건물중 증가, 종실수량 증가 등이 일어난다고 하였으며, Lee et al. (2001)은 헤어리베치와 함께 관행 50%를 시비했을 때 관행구 대비 협실탄 증가 및 수량 증수가 있다고 하였다. 국외에서는 Abdul-Baki and Teasdale (1997)이 헤어리베치 무경운 피복 후 꼬투리콩 재배시 관행 대비 경장 및 건중량은 유사하였으나 엽면적과 수량은 유의하게 증가했다고 보고하였고, Sato et al. (2007)은 점토질 함량이 높은 답전윤환지에서 헤어리베치 토양 환원시 투수성 등 물리성이 향상되고 입단화가 촉진되어 후작물인 콩의 초기생육이 촉진되었다고 하였다. 한편 서로 다른 3종류의 토양에서 헤어리베치 후작물로 콩을 재배한 연구에서는 콩 뿌리혹 형성에 대한 상이한 반응이 관찰되었는데, 특정 토양에서는 헤어리베치가 뿌리혹의 건중량 및 질소고정 활동을 증가시킨 반면 다른 토양에서는 뿌리혹 형성을 억제하는 것으로 나타나 토성과 연관된 토양 화학성이 헤어리베치 이용에 미치는 영향에 대해 더 많은 연구가 필요함을 시사한 바 있다 (Sato et al., 2011a).

따라서, 본 연구는 서로 다른 토양에서 동계 풋거름작물로 헤어리베치를 재배하고 토양에 환원 처리했을 때 후작물인 콩의 생육·수량 및 토양 이화학성의 변화가 각 토성별로 어떤 차이를 보일지 검토하기 위해 수행되었다.

Materials and Methods

시험 토양 특성 본 시험은 경기도 수원시 국립식량과학원 토성별 시험포장 (37°27'N, 126°99'E, 28-m elevation)에서 2013년부터 2014년까지 2년간 수행되었다. 시험포장은 식양토 (clay loam), 양토 (loam), 사양토 (sandy loam), 사토 (sand)의 4가지 토성의 토양으로 구성되어 있으며, 각 토양의 시험 전 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Physicochemical properties of soils with different textures tested before the experiment.

Texture	Bulk density	pH	OM [†]	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations		
					K	Ca	Mg
	Mg m ⁻³	1:5, H ₂ O	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
Clay loam	1.28 b [‡]	5.5 c	19 a	77 a	0.44 a	4.0 a	1.3 a
Loam	1.35 b	5.8 a	11 c	28 b	0.12 b	3.4 b	1.2 b
Sandy loam	1.56 a	5.5 c	11 b	29 b	0.11 b	2.4 c	0.8 c
Sand	1.67 a	5.6 b	7 d	14 c	0.06 c	1.3 d	0.4 d

[†]OM : organic matter.

[‡]Values followed by the same letter in the same column are not significantly different ($P > 0.05$).

시험구 배치 및 처리 각 토성별 시험포장은 길이 25 m, 폭 6 m이며, 이것을 길이 방향으로 5 m씩 5개 구역으로 나누고 관행시비 1처리, 무비 1처리, 헤어리베치 환원 수준별 3처리로 총 5개 처리구를 단구제로 배치하였다. 관행 (conventional) 처리구에서는 헤어리베치 재배 및 토양 환원을 하지 않고 콩 재배 전 화학비료를 표준시비량 (N-P-K=30-30-34 kg ha⁻¹)에 따라 전량 기비로 사용하였다. 무비 (unfertilized) 처리구에서는 헤어리베치 재배 및 토양 환원을 하지 않고 콩 재배 전에 일체의 시비처리를 하지 않았다. 나머지 3개 처리구에는 10월경 헤어리베치 종자를 파종 재배 후 이듬해 5월말 토양에 환원하였으며, 이 때 헤어리베치 풋거름에서 공급되는 질소량이 각각 관행시비구 질소시비량의 50% (15 kg N ha⁻¹), 100% (30 kg N ha⁻¹), 150% (45 kg N ha⁻¹)에 상당하도록 풋거름 환원량을 다르게 처리하였다. 이를 위해 5월 중순 각 토성별로 헤어리베치 식물체 시료를 채취해 70°C로 열풍건조하여 건물물을 구하고, 원소분석기 (Vario Max CN, Germany)를 이용한 건식연소법으로 질소 함량을 분석한 후 환원할 질소량에 상당하는 헤어리베치 생체량을 칭량하여 시험구 지표면에 고르게 퍼고 로터리로 토양 중에 환원하였다. 헤어리베치 식물체의 질소함량은 평균 3.1%였으며, 환원한 풋거름 생체량은 헤어리베치 질소 100% 처리구 기준으로 평균 5.7 Mg ha⁻¹였다. 각 시험구의 면적은 30 m² (길이 5 m, 폭 6 m)로, 여기에 두둑간 거리가 60 cm가 되도록 두둑과 이랑을 설치하고 6월 중순 대원콩을 재식 거리 60 cm × 15 cm로 하여 2립씩 점파 재배하고 10월 중순경 수확하였다.

식물체 및 토양 조사·분석 콩 수확기에 경장 (stem length), 주경절수 (No. of nodes), 경태 (stem diameter) 및 종실수량 (seed yield)을 농업과학기술 연구조사분석기준 (RDA, 2012)에 준하여 각 시험구별로 10개체씩 3반복 조사하였다. 1-2년차 시험의 수량을 연차간 변이를 고려해 같은 척도로 비교하기 위해 토성별로 각 시험연도의 평균 수량을 이용하여 다음 식과 같이 표준화하였다 (Blackmore, 2000).

$$SY_i = 100 \left(\frac{y_i}{\bar{y}} \right) \quad (\text{Eq. 1})$$

여기서, y_i 는 처리구 i 의 수량, $\bar{y}$ 는 처리구들의 평균수량, SY_i 는 처리구 i 의 표준화된 수량을 나타낸다. 각 토성별로 얻은 2년간의 표준화된 수량으로부터 헤어리베치 질소 환원량에 따른 수량반응 곡선을 구하였다.

시험 전·후에 각 처리구별로 auger를 이용해 2개 지점에서 채취한 표토층 (0-15 cm)의 토양을 혼합한 시료를 1반복으로 하여 총 3반복씩 시료를 채취하고 그늘에서 건조시킨 후 2 mm 체를 통과시켜 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 따라 화학성을 분석하였다. 2년차 시험에서는 관행 처리구와 헤어리베치 환원 처리구에서 콩 생육기간 중의 토양 수분 함량 변화를 비교하기 위해 각 토성별로 관행 처리구 및 헤어리베치 질소 30 kg N ha⁻¹ 처리구에 수분센서 (Decagon 5TE, USA)를 토심 0-5 cm와 5-10 cm에 각각 3반복으로 설치하였고 데이터로거 (Decagon EM50, USA)로 1시간 간격으로 측정값을 기록하였다. 콩 전체 생육기간 동안의 수분함량은 측정값으로부터 7일간의 평균값을 구하여 처리간 비교를 수행하였다.

통계분석 시험결과의 통계분석은 R 3.1.0 버전을 이용하여 분산분석 및 Duncan's multiple test를 수행하여 시험 처리에 따른 유의성을 검토하였다.

Results

콩 생육 및 수량 특성 토성 및 헤어리베치 처리에 따른 콩의 수확기 생육·수량 특성은 Table 2와 같다. 토성간의 결과를 비교하면 콩의 생육 상태는 1·2년차 시험 모두 양토에서 가장 양호하였고, 수량도 생육과 비슷한 경향으로 양토 > 식양토 > 사양토 > 사토 순으로 많았다. 각 토성 내에서 헤어리베치, 관행, 무비 처리에 따른 생육 및 수량은 양토

Table 2. Growth and yield of soybean affected by hairy vetch application under different soil textures.

Treatment		Stem length		Stem diameter		No. of node		Seed yield	
		----- cm -----		----- mm -----				----- kg ha ⁻¹ -----	
Year		1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd	1st	2nd
Clay loam	UNF [†]	55.7 b [‡]	39.4 d	7.5 bc	5.3 d	12.9 b	11.5 c	171 c	206 c
	CON	58.2 ab	73.3 a	7.2 c	7.4 c	13.3 b	14.2 a	178 bc	248 bc
	HV-N50	60.3 a	66.9 b	7.6 abc	8.0 ab	13.9 a	13.6 b	229 abc	281 ab
	HV-N100	57.0 b	62.4 c	8.0 ab	8.3 a	13.9 a	13.8 ab	243 a	292 ab
	HV-N150	58.0 ab	60.3 c	8.3 a	7.6 bc	13.9 a	13.5 b	233 ab	329 a
	Mean	57.8	60.5	7.7	7.3	13.6	13.3	211	271
Loam	UNF	78.9 a	62.6 b	8.9 a	7.2 d	15.7 a	13.8 b	311 a	291 a
	CON	78.5 a	64.8 ab	9.9 a	8.1 bc	15.3 a	14.6 a	388 a	310 a
	HV-N50	78.2 a	60.1 c	9.3 a	9.6 a	16.1 a	14.5 a	322 a	321 a
	HV-N100	80.1 a	66.1 a	9.1 a	7.9 c	16.5 a	14.8 a	348 a	262 a
	HV-N150	81.9 a	64.5 ab	9.5 a	8.6 b	16.3 a	14.5 a	326 a	317 a
	Mean	79.5	63.6	9.4	8.3	16.0	14.4	339	300
Sandy loam	UNF	65.1 ab	50.9 a	6.8 b	6.3 b	14.3 a	13.1 a	168 a	139 b
	CON	67.1 a	50.8 a	7.5 a	7.4 a	14.5 a	13.6 a	168 a	211 a
	HV-N50	64.7 abc	49.4 a	6.7 b	7.7 a	14.7 a	13.7 a	176 a	168 ab
	HV-N100	62.2 c	48.8 a	7.1 ab	7.6 a	14.5 a	13.3 a	194 a	159 b
	HV-N150	63.2 bc	49.4 a	7.5 a	7.2 a	14.4 a	13.5 a	212 a	212 a
	Mean	64.4	49.9	7.1	7.2	14.5	13.5	184	174
Sand	UNF	69.0 c	41.8 d	6.1 c	5.1 c	13.5 c	13.2 ab	92 c	117 b
	CON	75.6 b	53.5 a	7.2 b	6.1 b	14.5 b	13.7 a	128 b	103 b
	HV-N50	81.7 ab	40.5 d	6.6 c	5.9 b	14.8 b	12.8 b	101 bc	146 b
	HV-N100	87.7 a	43.9 c	7.9 a	7.1 a	16.2 a	13.0 b	159 a	153 b
	HV-N150	81.4 ab	50.6 b	7.8 ab	6.8 a	15.1 b	12.9 b	163 a	207 a
	Mean	79.1	46.1	7.1	6.2	14.8	13.1	129	145
ANOVA [§]									
Soil texture (S)		***	***	***	***	***	***	***	***
N application rates (N)		***	***	***	***	***	***	***	***
S × N		***	***	***	***	***	***	*	ns

[†] UNF : unfertilized; CON : conventional; HV : hairy vetch; N50 : hairy vetch N equivalent to 50% of the recommended N rate of soybean; N100 : hairy vetch N equivalent to 100% of the recommended N rate of soybean; N150 : hairy vetch N equivalent to 150% of the recommended N rate of soybean.

[‡] Values followed by the same letter in the same column in each soil texture are not significantly different ($P > 0.05$).

[§] ns : not significant; * : significant at 5% level; ** : significant at 1% level; *** : significant at 0.1% level.

에서 가장 적은 차이를 보였는데, 1년차에는 처리간에 유의한 차이가 없었고 2년차에는 무비 처리구의 경태와 주경절수가 관행 및 헤어리베치 처리구보다 적었으나 나머지 처리간에는 생육·수량에 큰 차이가 없었다. 사양토는 양토 다음으로 처리간의 생육 차이가 적었고 1년차 수량은 유의차는 인정되지 않았으나 헤어리베치 처리량이 많을수록 증가하는 경향이었으며, 2년차에도 헤어리베치 처리량에 따라 수량이 증가하여 관행구와 헤어리베치 질소 150% 처리구의 수량이 동등한 수준이었다. 식양토에서는 1·2년차 수량이 모두 헤어리베치 처리구 > 관행구 > 무비구 순으로 많았다. 사토에서도 식양토와 유사하게 헤어리베치 처리량에 따라 생육·수량이 더 나아지는 경향을 보였으며, 관행구와 동등하거나 더 높은 수준이었다.

각 토성별로 2년간의 수량을 표준화했을 때 헤어리베치 질소 공급량에 따른 콩의 수량 반응 곡선은 Fig. 1과 같다. 양토에서는 헤어리베치 처리가 수량에 뚜렷한 영향을 미치지 않았으나 식양토, 사양토, 사토에서는 헤어리베치 처리량이 증가할수록 수량도 증가하는 추세를 보였다. 식양토에서는 헤어리베치 질소량이 15 kg N ha^{-1} 이상일 때 수량 증가 추세가 완만해져 30 kg N ha^{-1} 처리구와 45 kg N ha^{-1} 처리간에 큰 차이가 없었으나, 사양토와 사토에서는 헤어리베치 질소량에 비례하여 수량이 지속적으로 증가하는 경향이였다. 또한 식양토와 사토에서는 1·2년차 모두 헤어리베치 질소 100% 처리구의 수량이 관행구의 수량보다 높았지만 양토와 사양토에서는 헤어리베치 처리구가 관행구의 수량과 비슷한 수준으로 나타났다.

Fig. 1. Soybean yield responses to hairy vetch N under different soil textures. (a) : clay loam, (b) : loam, (c) : sandy loam, (d) : sand.

시험 후 토양 이화학적 변화 2년간의 시험 후 처리구별로 조사한 표토층의 토양 화학성은 Table 3과 같다. 토양 산도 (pH)는 사토에서 시험 전에 비해 평균 0.9 가량 감소했으나 나머지 토성은 시험 전과 큰 차이가 없었다. 각 토성별 pH는 양토에서는 헤어리베치 및 관행, 무비 처리에 따른 차이가 없었으나 나머지 토성에서는 관행구에 비해 헤어리베치 처리구가 낮았다. 유기물 함량은 거의 모든 처리구에서 시험 전에 비해 감소하였으며, 식양토, 양토, 사양토에

Table 3. Chemical properties of soil after the experiment affected by hairy vetch application under different soil textures.

Treatment		pH	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. cations		
					K	Ca	Mg
		1:5, H ₂ O	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----
Clay loam	UNF [†]	5.3 c [‡]	17 a	51 c	0.33 a	3.4 a	1.2 a
	CON	5.5 a	17 a	58 bc	0.33 a	3.7 a	1.1 a
	HV-N50	5.4 ab	18 a	66 ab	0.33 a	4.0 a	1.2 a
	HV-N100	5.2 c	18 a	72 a	0.34 a	4.1 a	1.2 a
	HV-N150	5.4 b	17 a	69 a	0.30 b	4.3 a	1.1 b
	Mean	5.4	17	63	0.32	3.9	1.2
Loam	UNF	5.6 a	10 a	17 b	0.31 a	4.0 b	1.1 a
	CON	5.3 a	10 a	23 a	0.33 a	3.9 b	1.2 a
	HV-N50	5.5 a	10 a	20 ab	0.31 a	3.9 b	1.1 ab
	HV-N100	5.6 a	10 a	22 a	0.32 a	4.6 a	1.1 ab
	HV-N150	5.7 a	10 a	22 a	0.30 a	4.5 a	1.0 b
	Mean	5.6	10	21	0.31	4.2	1.1
Sandy loam	UNF	5.7 a	11 a	18 b	0.18 a	2.3 a	0.6 a
	CON	5.6 a	11 a	20 b	0.16 b	2.1 b	0.6 a
	HV-N50	5.4 b	11 a	20 b	0.17 ab	2.1 b	0.6 a
	HV-N100	5.4 b	11 a	21 ab	0.17 ab	2.2 b	0.6 a
	HV-N150	5.3 c	10 a	25 a	0.16 b	2.1 b	0.6 a
	Mean	5.5	11	21	0.17	2.2	0.6
Sand	UNF	4.9 b	5 d	8 c	0.08 a	1.3 bc	0.3 b
	CON	5.0 a	6 cd	12 b	0.08 a	1.2 c	0.3 b
	HV-N50	4.5 c	7 bc	11 b	0.08 a	1.3 c	0.3 b
	HV-N100	4.6 c	8 a	12 b	0.09 a	1.4 b	0.3 ab
	HV-N150	4.7 b	7 b	16 a	0.10 a	1.7 a	0.4 a
	Mean	4.7	7	12	0.09	1.4	0.3
ANOVA [§]							
Soil texture (S)		***	***	***	***	***	***
N application rates (N)		*	**	***	**	***	**
S × N		***	***	***	***	**	***

[†] UNF : unfertilized; CON : conventional; HV : hairy vetch; N50 : hairy vetch N equivalent to 50% of the recommended N rate of soybean; N100 : hairy vetch N equivalent to 100% of the recommended N rate of soybean; N150 : hairy vetch N equivalent to 150% of the recommended N rate of soybean.

[‡] Values followed by the same letter in the same column in each soil texture are not significantly different ($P > 0.05$).

[§] ns : not significant; * : significant at 5% level; ** : significant at 1% level; *** : significant at 0.1% level.

Table 4. Physical properties of soil after the experiment by different soil textures and hairy vetch application.

Treatment		Bulk density	Porosity
		Mg m ⁻³	%
Clay loam	CON [†]	1.21 a [‡]	54.4 b
	HV	1.15 b	56.7 a
Loam	CON	1.37 a	48.4 a
	HV	1.32 a	50.2 a
Sandy loam	CON	1.30 a	51.0 a
	HV	1.33 a	49.9 a
Sand	CON	1.40 a	47.3 a
	HV	1.36 a	48.7 a

[†]CON : conventional; HV : hairy vetch N equivalent to 100% of the recommended N rate of soybean.

[‡]Values followed by the same letter in the same column in each soil texture are not significantly different ($P > 0.05$).

서는 헤어리베치, 관행 및 무비 처리간에 차이가 없었으나 사토에서는 헤어리베치 처리구의 유기물 함량이 관행 및 무비에 비해 유의적으로 높았다. 유효인산 함량은 대부분의 처리구에서 시험 전보다 감소하였고, 식양토, 사양토, 사토에서 헤어리베치 처리구가 관행구에 비해 높은 경향을 보였지만 양토에서는 차이가 없었다. 치환성 양이온 함량은 사토에서 칼슘과 마그네슘 함량이 헤어리베치 처리량이 증가할수록 높아지는 경향을 보였고 양토에서 헤어리베치 처리구의 칼슘 함량이 관행보다 높았지만, 그밖의 처리구에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다.

시험 후 각 토성별로 조사한 관행처리구와 헤어리베치 처리구의 표토층 물리성은 Table 4와 같다. 모든 토성에서 시험전에 비해 용적밀도가 감소하는 경향을 보였다. 식양토에서는 헤어리베치 처리구의 용적밀도가 관행구에 비해 낮았고, 양토와 사토에서도 유사한 경향을 보였지만 유의성은 인정되지 않았다.

처리별 토양 수분함량 콩 생육 기간 중에 조사한 작토층의 깊이별 (0-5 cm, 5-10 cm) 용적수분함량 변화는 Fig. 2와 같다. 양토와 사양토에서는 생육기간 중 일부를 제외하면 헤어리베치 처리구와 관행구 사이에 수분함량의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았으나, 식양토와 사토에서는 생육 기간 전반에 걸쳐 두 처리구간에 수분함량의 차이가 지속되었다. 식양토에서 헤어리베치 처리구는 토심 0-5 cm의 수분함량이 관행구의 0-5 cm에 비해 높았고, 5-10 cm의 수분함량은 관행구보다 낮은 수준으로 유지되었다. 사토에서는 관행구와 헤어리베치 시비구 모두 토심 0-5 cm에서 수분함량의 차이가 거의 없었지만 5-10 cm에서는 헤어리베치 처리구의 수분함량이 관행구에 비해 높은 수준으로 유지되었다.

식양토와 사토에서 강우 직후 72시간 동안 1시간 간격으로 측정한 토양 수분함량 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 식양토는 강우 후 토심 0-5 cm의 수분함량이 급격히 증가했다가 시간이 지나면서 점차 감소하였는데, 헤어리베치 처리구에 비해 관행처리구의 수분함량 감소 속도가 더 빨랐다. 한편 5-10 cm 깊이에서는 헤어리베치 처리구가 관행구에 비해 강우 후 수분함량 증가 속도가 느린 편이었다. 따라서 강우시 관행구에서는 헤어리베치 처리구에 비해 빗물의 하방 이동이 더 빠르게 일어나고, 깊이에 따른 차이가 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 사토에서 강우 후 토심 0-5 cm의 시간별 수분함량은 헤어리베치 처리구가 관행구에 비해 약간 낮게 나타났지만 큰 차이는 없었던 반면, 5-10 cm 깊이에서는 관행구에 비해 헤어리베치 처리구의 수분함량이 보다 높게 유지되었다.

Fig. 2. Changes in soil moisture content affected by hairy vetch application under different soil textures. (a) : clay loam, (b) : loam, (c) : sandy loam, (d) : sand. CON : conventional; HV : hairy vetch N equivalent to 100% of the recommended N rate of soybean; (0-5 cm) : 0-5 cm depth of soil; (5-10 cm) : 5-10 cm depth of soil.

Discussion

헤어리베치 처리시 콩의 생육과 수량은 식양토와 사토에서는 관행구보다 양호하였고 양토와 사양토에서는 관행구와 동등한 수준으로, 4가지 토성 모두 헤어리베치 풋거름으로 화학비료를 전량 대체하여도 콩 재배가 가능할 것으로 판단되었다 (Table 2). Fig. 1의 수량반응 곡선으로 토성별 헤어리베치 적정 처리량을 추정하면 식양토에서는 헤어리베치 질소 30 kg N ha^{-1} 수준에서 최대 수량 생산이 가능하고 사양토와 사토는 헤어리베치 질소 수준을 45 kg N ha^{-1} 이상 처리할 때 수량 증대가 가능할 것으로 예상된다. 그러나 과잉 질소 시비시 영양생장기 생육 증대에 따른 도복이나 흰곰팡이병 증가 등으로 수량이 저하될 수 있어 (Schmidt et al., 2001), 사양토와 사토의 헤어리베치 질소시비 상한에 대해서는 명확한 구명이 필요할 것이다. 한편 양토에서는 2년차까지 헤어리베치 처리에 따른 수량 변화가 거의 없어 질소 15 kg N ha^{-1} 이하로 처리량을 줄여도 무방할 것으로 판단되었다.

본 연구에서 헤어리베치 처리에 따른 콩 수량의 차이는 식양토와 사토처럼 입단 분포 비율이 한쪽으로 편중된 토양에서 보다 확연하였는데, 이는 헤어리베치에서 유래한 유기물에 의해 수분 및 양분 보유능력의 차이가 생겼기 때문으로 생각된다. 일반적으로 토양에서 유기물이 증가하면 수분보유능력과 수리전도도가 증가하는데, 이것은 유기물이 토양 입단과 공극 분포에 영향을 주기 때문이다 (Hudson, 1994). 다수의 연구에서 헤어리베치 등 풋거름 작물을 토양에 환원하면 유기물 분해 및 미생물의 교결 물질 분비가 증가하면서 토양 입단 안정성 증가, 용적밀도 감소, 통기성·투수성 및 보수력 증가 등 물리성 개선 효과를 나타낸다고 보고되었다 (McRae and Mehuys, 1988; Sato et al., 2007; Sultani et al., 2007). 또한 풋거름작물이 공급하는 유기물은 토양의 화학 및 생물학적 특성에도 영향을 미쳐 질소 및

기타 여러 식물 영양물질의 가용성을 증가시킨다고 알려져 있다 (Yandvinder-Singh et al., 1992).

Table 3에서 시험 후 헤어리베치 처리구의 토양 pH가 관행에 비해 낮은 경향을 보인 것은 헤어리베치의 분해 산물인 유기산의 영향으로 생각된다. 풋거름작물이 분해되면 유기산과 CO₂가 발생하여 pH를 저하시킨다 (Yandvinder-Singh et al., 1992). 이렇게 발생된 유기산들은 토양 구성요소와 반응하여 유효인산의 가용성을 상당량 높인다고 보고되었는데 (Bin, 1983; Watanabe, 1984; Sharpley and Smith, 1989), 본 연구에서도 양토를 제외한 모든 토성에서 관행 처리구에 비해 헤어리베치 처리구의 유효인산은 유의하게 증가한 반면 pH는 감소하는 경향을 보였다. Singh et al. (1981)의 연구에서도 산성 토양에서 유기물 공급에 따른 pH의 변화는 유효인산 함량과 유의적인 상관관계를 가진다고 보고된 바 있다. 사토에서는 다른 토성과 달리 헤어리베치 처리구의 유기물 함량이 시험 후까지 관행구에 비해 높게 유지되었는데, 이것은 사토의 낮은 보수력과 양분흡착능력으로 미생물 분해작용이 지연되었기 때문으로 생각된다. 사토와 같이 굵은 입자 크기의 토양은 미세한 토양에 비해 유지 가능한 미생물 생체량이 적고, 수분이 빠르게 배수되어 보수력이 좋지 않으며, 이것이 미생물 분포에도 영향을 미칠 수 있다 (Heritage et al., 2003; Carney and Matson, 2005).

Fig. 3. Soil moisture responses to rainfall affected by hairy vetch application in clay loam (a) and sand (b). CON : conventional; HV : hairy vetch N equivalent to 100% of the recommended N rate of soybean; (0-5 cm) : 0-5 cm depth of the soil; (5-10 cm) : 5-10 cm depth of the soil.

Fig. 2와 Fig. 3에서 식양토 관행구의 수분함량은 층위별로 차이가 컸으나 헤어리베치 처리구는 콩 뿌리가 분포하는 작토층의 깊이별 수분함량이 관행구에 비해 균일하게 유지되었는데, 이것은 헤어리베치 처리구는 토양 입단 형성이 촉진되고 대공극이 증가하여 토양 하층으로 물의 이동이 원활하게 이루어지면서도 일정한 수분함량을 유지하는 반면, 관행구에서는 투수성이 상대적으로 떨어져 5-10 cm 깊이에 수분이 집적된 결과로 보인다. 이것은 식양토에서 헤어리베치 처리시 무처리구에 비해 투수속도가 증가하였다는 보고와 일치한다 (McVay et al., 1989). Fig. 3에서도 강우 직후 식양토의 수분함량 감소 속도는 관행구 0-5 cm 깊이에서 가장 빨랐고 5-10 cm 깊이에서 가장 느린 것을 볼 수 있었다. 콩은 생물학적 질소고정을 하므로 근권에 많은 산소가 필요하고 과습에 매우 민감하여 생육기간 중 과습은 수량에 큰 영향을 미친다고 알려져 있다 (Williamson and Kriz, 1970). 이 때문에 식양토 관행 처리구의 상대적으로 높은 수분함량이 콩 뿌리의 발달에 영향을 미쳐 수량 차이의 원인이 되었을 수 있다. 한편, 식양토에서 2년차 시험 후 헤어리베치 처리구와 관행구간에는 토양 유기물 함량의 차이가 나타나지 않았는데, 헤어리베치 유래 유기물은 수확기 무렵에는 대부분 분해된 것으로 보인다 (Table 3). 하지만 시험 후에도 헤어리베치 처리구의 용적밀도가 관행구에 비해 낮은 것을 볼 때 유기물 투입에 따른 토양 구조 발달 및 물리성 개선 효과는 지속되는 것으로 생각된다 (Table 4). Sato et al. (2011b)의 연구에서도 점토함량이 높은 토양에서 헤어리베치를 재배하면 토양 구조가 발달하고 균열이 생성되어 포장의 배수성이 향상되는 동시에, 모세관 공극 형성을 통해 후작물인 콩에 효과적인 수분공급이 가능하다고 하였다.

한편, 사토 헤어리베치 처리구에서는 유기물이 증가함에 따라 양분 보유능력과 보수력이 향상되어 유효인산과 교환성 양이온 함량도 증가하였고 (Table 5), 5-10 cm 깊이에서 관행구 대비 높은 수분함량을 유지되면서 (Fig. 2, 3) 상대적으로 생육 및 수량이 향상된 것으로 보인다. Sultani et al. (2007)은 유기물 함량이 0.5%로 낮은 토양에서 풋거름 작물 환원시에 토양의 보수력이 6% 가량 증가한다고 하였는데, 본 시험에서도 사토의 유기물 함량이 0.7%로 매우 낮아 헤어리베치의 유기물 공급효과가 4가지 토성 중 가장 뚜렷했던 것으로 추정된다.

Conclusions

서로 다른 토양에서 헤어리베치 처리가 콩의 생육 및 수량에 미치는 영향을 알아보고자 2년간 재배시험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 헤어리베치 환원구의 콩 수량은 양토와 사양토에서는 관행시비구와 뚜렷한 차이를 보이지 않았으나, 식양토와 사토에서는 더 많았으며 헤어리베치 환원량이 증가할수록 늘어나는 경향을 보였다.
2. 헤어리베치 환원구의 시험 후 토양화학성 변화는 식양토, 사양토, 사토에서 관행구에 비해 유효인산 함량이 증가하였으며, pH는 다소 감소하였다. 사토에서는 관행구에 비해 헤어리베치 처리구의 유기물 함량이 높았으나 나머지 토양에서는 유의한 차이가 없었다.
3. 콩 생육기간 중 토양 수분함량은 양토, 사양토에서는 관행구와 헤어리베치 처리구간에 뚜렷한 차이가 없었으나 사토에서는 5-10 cm 층의 수분함량이 헤어리베치 환원구에서 더 높았으며, 식양토에서는 헤어리베치 환원구가 관행구에 비해 0-5 cm 층의 수분함량은 증가하고 5-10 cm 층의 수분함량은 감소하였다.
4. 사토와 식양토에서 헤어리베치 환원 처리는 토양의 보수력 또는 투수성을 개선하는 효과를 나타내어 콩의 수량 증대에 영향을 준 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was conducted by the support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (PJ010164)”, Rural Development Administration, Korea.

References

- Abdul-Baki, A.A. and J.R. Teasdale. 1997. Snap bean production in conventional tillage and in no-till hairy vetch mulch. *HortScience*. 32:1191-1193.
- Bin, J. 1983. Utilization of green manure for raising soil fertility in China. *Soil Sci.* 135:65-69.
- Blackmore, S. 2000. The interpretation of trends from multiple yield maps. *Comput Electron Agric.* 26:37-51.
- Carney, K.M. and P.A. Matson. 2005. Plant communities, soil microorganisms, and soil carbon cycling: does altering the world belowground matter to ecosystem functioning?. *Ecosystems*. 8:928-940.
- 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 Agric Sci.* 38:703-709.
- Heritage, J., E. Evans, and R. Killington. 2003. *Microbiology in action*. Cambridge University Press, UK.
- Hudson, B. 1994. Soil organic matter and available water capacity. *J. Soil Water Conserv.* 49:189-193.
- Kim, I.J., I.M. Ryu, J.E. Lee, and B.G. Kang. 2003. Development of non-chemical fertilization culture by soil incorporation of hairy vetch as green manure in soybean. p. 78-84. In: CBARES annual research report. Chungcheongbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Cheongju-si, Korea.
- Lee, J.H., B.M. Lee, S.I. Shim, Y. Lee, and H.J. Jee. 2011. Effects of crimson clover, hairy vetch, and rye residue mulch on weed occurrence, soybean growth, and yield in soybean fields. *Kor. J. Weed Sci.* 31:167-174.
- Lee, S.H., J.K. Sung, E.J. Kim, B.H. Song, C.W. Lee, and S.Y. Sohn. 2001. Effects of hairy vetch as manure crop on growth responses, absorption and utilization of minerals, and yield of soybean with cropping system of hairy vetch and soybean. *Proceedings of Korean J Breed Sci.* p.156-157 (Abstr.).
- McRae, R.J. and G.R. Mehuys. 1988. The effect of green manuring on the physical properties of temperate-area soils. *Adv. Soil Sci.* 3:71-94.
- McVay, K.A., D.E. Radcliffe, and W.L. Hargrove. 1989. Winter legume effects on soil properties and nitrogen fertilizer requirements. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 53:1856-1862.
- NIAST. 2000. *Methods of soil and crop plant analysis*. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2012. *Analysis standard for research in agricultural science and technology*. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Reddy, K.N. 2001. Effects of cereal and legume cover crop residues on weeds, yield, and net return in soybean (*Glycine max*). *Weed Technol.* 15:660-668.
- Sato, T., S. Yoshimoto, S. Watanabe, Y. Kaneta, and A. Sato. 2007. Effect of hairy vetch planting on changes in soil physical properties and soybean early growth in a heavy clayey soil field. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 78:53-60.
- Sato, T., E. Sato, F. Takakai, T. Yokoyama, and Y. Kaneta. 2011a. Effects of hairy vetch foliage application on nodulation and nitrogen fixation in soybean cultivated in three soil types. *Soil Sci. Plant Nutr.* 57:313-319.
- Sato, T., S. Yoshimoto, Y. Nakamura, E. Sato, F. Takakai, T. Shibuya, T. Yokoyama, and Y. Kaneta. 2011b. Effect of planting with leguminous green manure plant hairy vetch on growth and yield of succeeding crop soybean in a heavy clay soil field converted from paddy field. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 82:123-130.

- Schmidt, J.P., J.A. Lamb, M.A. Schmitt, G.W. Randall, J.H. Orf, and H.T. Gollany. 2001. Soybean varietal response to liquid swine manure application. *Agron. J.* 93:358-363.
- Sharpley, A.N. and S.J. Smith. 1989. Mineralization and leaching of phosphorus from soil incubated with surface-applied and incorporated crop residue. *J. Environ. Qual.* 18:101-105.
- Singh, P.K., B.C. Panigrahi, and K.B. Satapathy. 1981. Comparative efficiency of Azolla, blue-green algae and other organic manures in relation to N and P availability in a flooded rice soil. *Plant Soil.* 62:35-44.
- Sultani, M.I., M.A. Gill, M.M Anwar, and M. Athar. 2007. Evaluation of soil physical properties as influenced by various green manuring legumes and phosphorus fertilization under rain fed conditions. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 4:109-118.
- Watanabe, I. 1984. Use of green manures in Northeast Asia. Organic matter and rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Williamson, R.E. and G.J. Kriz. 1970. Response of agricultural crops to flooding, depth-of-water table and soil gaseous composition. *Transactions of the ASAE.* 13:216-220.
- Yandvinder-Singh, Bijay-Singh, and C.S. Khind. 1992. Nutrient transformations in soils amended with green manures, p. 238-239. In: B.A. Stewart (ed.). *Advances in soil science.* Springer-Verlag, New York, USA.