한작지(Korean J. Crop Sci.), 53(1): 50~57(2008)

호밀녹비 이용 시 중질소(^{15}N)를 이용한 질소원 유래별 콩의 집적질소 분획추정

서종호† · 이성희 · 조영손 · 이재은 · 이충근 · 권영업

작물과학원

Estimation of Soybean N Fraction Derived from N Sources by ^{15}N in Soybean Cultivation with Rye as Green Manure

Jong-Ho Seo†, Seong-Hee Lee, Young-Son Cho, Jae-Eun Lee, Chung-Keun Lee, and Young-Up Kwon

National Institute of Crop Science, Suwon 441-857, Korea

ABSTRACT Winter season cultivation of rye as green manure for soybean have been a favorite with farmer because it could remove a risk of injury by continuous cropping and increase N uptake and yield of soybean. Effects of rye green manure on soybean N uptake, N_2 fixation and yield were investigated with ^{15}N as pot experiment in greenhouse in 2004 and field in 2005, respectively. The N derived from N fertilizer (^{15}N) in rye green manure increased with increasing of N fertilizer rate compared to N derived from soil. N uptake and DM yield of soybean at the pot with paddy soil was higher than those at the pot with upland soil mainly due to the increase of N uptake from paddy soil. Total ^{15}N recovery in soil was higher at rye green manure than no green manure because ^{15}N applied to rye plant was remained highly as soil organic N compared to chemical N fertilizer. ^{15}N recovery in soybean plant increased in proportion to amounts of N fertilizer applied to rye. The N fractions from N_2 fixation of soybean plant at the pot experiment in 2004 ranged from 92% to 95%, on the other hand those in field experiment in 2005 ranged from 82% to 84%. Estimation of amount of N_2 fixation was not different between Difference method and ^{15}N method in 2004 and 2005.

Keywords : soybean, rye, green manure, 15-nitrogen, N recovery, N_2 fixation

콩은 생육 초반기에는 토양의 질산태질소를 흡수하여 생장에 이용하지만, 질소 필요량이 급격히 증가하고, 상대적으로 근류의 질소고정능이 감소하는 개화기 이후에는 지력질소(토양 유기태질소 유래 무기태질소)에 크게 의존하는데, 이 때는 질산태 질소보다는 유기태 질소로부터 직접 무기화되어 나오는 암모니아태 질소를 콩이 선호하는 것으로 알려져 있다(吉田, 1979; 河野, 1999). 또 질소를 많이 필요로 하는 개화기 이후에는 질소비료의 시용에 의해 콩수량을 증가시키는 것이 가능하지만, 그것에 의한 수량증가는 그렇게 크지 않고, 시비된 질소비료가 근류의 질소고정을 감소시킬 수 있으며, 또 작업상 어려움이 많기 때문에 다수확을 위해서는 토양의 유기물 함량 또는 유기태질소의 함량을 증가시켜 지속적으로 토양으로부터 무기화되어 나오는 저농도의 암모니아태를 지속적으로 콩에 공급하여 줄 필요기 있다(酒井, 1990; 桑原, 1986; Kenzo, 1989). 토양 유기태 질소로부터 저농도로 지속적으로 무기화되어 나오는 질소는 콩의 질소고정을 방해하지 않으면서 콩의 질소흡수량을 증가시키는 장점이 있다.

토양의 지력질소 및 유기태 질소의 함량을 증가시키기 위해서는 시판 유기질 비료 또는 자가 제조한 퇴비를 토양에 공급해야 하나, 콩은 다른 소득작물에 비해 단위면적당 수량성 및 소득성이 낮아 대규모 면적재배를 통한 소득확보를 목적으로 하는 콩재배에서는 시판 유기질비료 또는 퇴비의 이용은 농가실정상 어려운 상황이다. 그런데, 질소 유기원의 확보로 가장 유망하고 경제적인 것이 콩의 수확 후 가을에 동계 맥류, 특히 내한성이 강하고 월동 후 생장이 빠른 조생 호밀을 파종하여 그 다음해에 녹비로 토양에 환원하는 것이다. 또 콩에서 질소비료의 다량시용은 근류균의 질소고정을 감소시키므로 질소시비에 의한 질소흡수 및 콩수량 증대를 꾀하기가 어려운데, 대신 월동한 호밀에 봄 일찍이 화학비료(요소)나 가축분뇨(액비) 등 질소성분이 많은 비료를 다량 시용하면 호밀녹비의 수량이 증대될 뿐만 아니라, 호

†Corresponding author: (Phone) +82-31-290-6691
(E-mail) sjh3022@rda.go.kr <Received August 21, 2007>

밀이 흡수한 질소가 호밀을 녹비로 토양혼입 후 녹비의 토양 분해 시 서서히 무기화되어 나와 근류의 질소고정을 방해하지 않고 지속적으로 많은 량의 질소를 콩에 흡수시킬 수 있을 것으로 보인다.

따라서 본 시험에서는 호밀의 녹비이용 및 그 때 시용한 질소비료에 따른 콩의 질소흡수, 생육 및 수량증대 효과를 살펴보고, 호밀녹비 투입시 호밀녹비에 시용한 중질소의 콩의 흡수정도, 그리고 그 때 콩의 질소고정량을 측정하기 위하여 근류비착생 계통을 이용한 Difference method 와 중질소(^{15}N)를 이용한(근류비착생계통 포함) ^{15}N method에 의한 콩의 질소고정량의 변화를 비교해 보고자 하였다.

재료 및 방법

온실포트 실험

온실포트 실험은 2004년 수원 작물과학원 밭포장(서둔동)의 온실에서 실시되었다. 시험에 사용된 콩의 품종은 작물과학원에서 개발한 대풍(Daepoong)콩과 일본도입 근류비착생계통 En1282였으며, 호밀 품종은 작물과학원 개발한 윈터그린(Wintergreen)이었다. 콩 재배를 위해 사용한 포트는 1/3000a의 와그너 포트였으며, 사용한 흙은 작물과학원 논포장의 논흙과 밭포장의 밭흙이었다. 시험에 사용된 논흙과 밭흙의 토양의 특성을 살펴보면(Table 1) 논흙의 유기물함량 및 인산함량이 각각 3.35%, 132 mg/kg으로 밭흙의 1.13% 및 82 mg/kg보다 현저히 높았으며, 논흙의 양이온 함량도 밭흙보다 현저히 높아 논흙이 밭흙에 비해 지력이 현저히 높았다. 포장에서 채취한 논흙과 밭흙은 건조에 따른 건토효과에 의한 급격한 질소무기화를 억제하기 위하여 말리지 않은 상태로 사용하였다.

봄 초 월동직후 포장에서 월동한 어린 호밀을 1/3000a 와그너 포트에 6개체씩 이식하고 뿌리가 활착한 다음에 호밀에 각각 중질소(^{15}N) 4.5 atom%인 요소를 질소량으로 각각 3, 10, 20 kg N/10a에 해당하는 량인 0.1, 0.333, 0.666 g N/pot을(처리기호 UR-3N, 10N and 20N) 각각 9 포트에 시용하였다. 5월 초순 호밀이 출수 한 후에 각 질소시비처리별 6개 포트의 각 지상부 호밀을 잘게 절단하여 녹비로서 포트의 15 cm 흙과 잘 혼화하고 약 10일간 녹비가 분해되도록 하였다. 질소시비 처리별 각 나머지 3개 포트의 호밀은 지상부를 채취하여 건조시켜 건물중을 측정하였다. 녹비 투입 10일 후에 콩을 파종하였는데, 콩의 파종시에는 호밀녹비를 제외한 무녹비 논흙과 밭흙의 포트에 각각 중질소(요소) 3 kg/10a량에 해당하는 0.1 gN/pot를 각각 시용하였다(처리기호 PC-3N, UC-3N). 인산 및 칼리는 호밀녹비구와 대조의 무녹비구 모두 콩 파종 시 동일하게 용성인비 2 g/pot, 염화가리 0.28 g/pot를 시용하였다. 콩 파종시에 포트의 토양 15 cm를 채취하여 비료를 잘 섞은 후 다시 포트에 넣고 파종하였다. 포트는 항상 물이 마르거나 과다하여 포트밑으로 물이 유출되지 않도록 자주 정당한 량의 물을 관수하였다. 콩의 조사항목으로는 생육기 동안에 콩의 생육단계별 콩잎의 SPAD 값을 측정하였으며, 성숙기(R6)에 콩의 지상부를 수확하여 건조하고 건물중을 구하였다. 또 pot의 0-15 cm 층위의 토양을 100 cc core로 채취하여 가밀도를 측정하고, 건조하여 분쇄하였다. 호밀녹비 및 건조된 콩의 지상부 및 토양의 질소함량 분석은 탄소질소황자동분석기 CNS2000(LECO, USA)를 이용하였고, 중질소 atom % 함량 분석은 Iso-prime(Micromass, Germany) 기기를 이용하였다.

포장실험

포장시험은 2005년 수원 작물과학원의 밭포장(탑동)에서 이루어 졌다. 콩의 파종전 2달 전에 온실에서 토양에 중질소(^{15}N)를 토양에 유기화시키기 위하여 중질소 atom 99% 유안 4 g과 글루코스 4 kg + 흙 4 kg를 수분함량 60%, 온도 25℃에서 약 2주간 1차적으로 배양시킨 후, 그것을 볏짚 4 kg와 흙 36 kg과 같이 섞어 같은 수분함량 및 온도조건에서 배양하여 중질소가 토양에 유기화되도록 유도하였다. 시험구로는 호밀녹비구와 무녹비구를 두었는데, 호밀녹비구는 전년도 가을에 콩의 수확 후 조생종 호밀(옥전)을 파종하여(조간 20+50 cm) 월동시켰으며 월동 후 질소비료 시용없이 호밀 출수후 15일까지 재배하고 프레일모어 J/D390(Johndeer, USA)를 이용하여 지상부를 chopping하여 토양에 피복 후 로타리

Table 1. Chemical properties of soils used in the experiment.

Year	Soil type	Soil texture	pH (1:5)	OM (%)	Av. P_2O_5 (mg/kg)	Ex. Cation ($cmol_c\ kg^{-1}$)		
						Ca	Mg	K
2004	Paddy	Loam	6.7	3.35	132	5.1	1.25	0.92
	Upland	Loam	6.8	1.13	82	3.4	0.91	0.35
2005	Upland	Clay loam	5.2	1.60	174	5.3	1.10	0.30

로 토양과 혼화하였다(5월 20일). 무녹비구는 콩을 수확 후 동계작물의 재배없이(휴한) 월동시킨 포장으로 녹비구의 녹비의 토양혼화 시 동시에 발생한 잡초를 로타리 경운으로 토양과 혼화하였다. 그리고 녹비 및 잡초 토양환원 10일 후(6월 1일) 콩의 파종직전 다시 토양을 로타리 경운하였다. 호밀과 콩에 대한 질소비료는 전혀 시용하지 않았으며, 인산(용성인비)과 칼리(염화가리)의 비료는 콩 파종전 재차 로타리 경운과 동시에 포장에 표준량(인산 3.0 kg/10a, 칼리 3.4 kg/10a)을 시용하였다.

시험구 배치는 난괴법 5반복으로 하였다. 콩 파종직전 호밀녹비 및 잡초를 토양에 환원 시 다시 토양을 로타리 경운한 후 직경 30 cm 길이 20 cm로 자른 PVC관을 시험구당 6개를 토양깊이 20 cm로 박은 후, 각 PVC pot 안의 토양 20 cm 깊이에 있는 토양과 앞서 중질소를 유기화시켜 건조시킨 토양 610 g과 잘 섞은 후 그 위에 콩품종 Enrei(근류착생)과 En1282(근류비착생)를 각각 3 pot(1본/pot)에 연속하여 3립씩을 파종하였다. 그리고 일반 포장재배와 같은 콩의 재식밀도 및 군락상태를 갖추기 위해(재식거리 60×15 cm) PVC 관 접합부위 바깥에 콩을 파종하였고, 또 PVC 관의 양쪽 옆으로 60 cm(조간격 60 cm)에는 Enrei 품종을 파종하였다. 콩의 출아 후 초기생육이 우수한 1개체만을 남기고 솎아주어 1주 1본으로 재배하였다. 콩의 성숙기 R6에 지상부를 절단하여 일반적인 생육조사를 하고 건조하여 건물중을 구하였다. 또 Enrei 품종의 뿌리 및 근류의 발달을 보기 위하여 PVC pot의 20 cm 안에 있는 뿌리를 물로 깨끗이 씻고 건조하여 뿌리중 및 근류중을 구하였다. Enrei 및 En1282의 질소함량 및 중질소의 분석은 2004년의 분석과 동일하였다.

콩의 시비질소 회수율 및 질소고정량 추정

콩의 시비질소 회수율(^{15}N recovery)은 다음과 같이 실시하였다.

^{15}N recovery (%) = $(N_{tot} \times NDFF) / N_{app} \times 100$

N_{tot} : 토양 또는 식물체 전질소량(건물중 × 질소함량)

NDFF : 시비질소(중질소) 유래질소 비율

NDFF = (시료 ^{15}N atom%-0.366)/(시비질소 ^{15}N atom%-0.366)

N_{app} : 시비질소(^{15}N) 량

콩의 질소고정량 계산은 근류착생 및 근류비착생 계통간의 질소축적량 차이에 의한 Difference method와 ^{15}N method의 두 방법에 의해 실시하였다.

Difference method에 의한 질소고정(N_2 fixation) 유래의 콩식물체 질소부분은 다음과 같은 방법에 의해 계산되었다.

Difference method에 의한 고정질소유래 질소분획
= [(TDMf)(%Nf)-(TDMc)(%Nc)]/(TDMf)(%Nf)

TDMf = 근류착생계통(fixing plant)의 지상부 건물중

%Nf = 근류착생계통의 지상부 건물중의 질소함량

TDMc = 근류비착생계통(control plant)의 지상부 건물중

%Nc = 근류비착생계통의 지상부 건물중의 질소함량

중질소를 이용한(^{15}N method) 콩의 질소고정(N_2 fixation) 유래의 질소분획은 다음과 같은 Legg and Sloger의 공식(Coale *et al.*, 1985)에 의해 계산되었다.

^{15}N method에 의한 고정질소유래 질소분획
= 1 - [(a-b)/(c-b)]

a: 근류착생 계통의 ^{15}N atom %

b: 대기(atmosphere)의 ^{15}N atom % (0.366)

c: 근류 비착생계통의 ^{15}N atom %

결과 및 고찰

온실 실험

Table 2는 밭흙의 포트에서 재배한 호밀에 대한 중질소 시비량별 녹비호밀의 건물중, 질소량 및 중질소 회수율을 나타낸 것이다. 호밀의 건물중이 시비 중질소가 0.10 g N/pot(UR-3N)일 때는 27.7 g/pot였고, 0.333 및 0.666 g N/pot(UR-10N, UR-20N) 일 때는 각각 41.3 및 43.7 g/pot로 UR-3N에 비해 건물중이 많이 증가하였지만 두 질소량간 차이가 없었다. 그러나 질소함량은 UR-20N이 UR-10N보다 증가하여 호밀녹비의 전체 질소량은 증가하였다. 시비한 중질소의 회수율을 보면 질소시비 UR-3N, UR-10N 및 UR-20N이 각각 92.1, 74.0 및 60.2%로 질소 시비량이 증가할수록 감소하는 경향이었다. 호밀이 흡수한 전체 질소량의 시비질소 및 토양으로부터의 비율을 살펴볼 때, UR-3N에서는 질소시비량이 부족하여 전체질소흡수량에서 시비질소로부터 30%, 토양으로부터 70%를 나타내었고, UR-10N은 시비질소 50%, 토양 50%로 시비질소와 토양에서 흡수비율이 동일한 반면, UR-20N은 시비질소에서 64%, 토양에서 36%를 나타내어 시비질소유래의 질소량이 많았다. 따라서 월동 후 호밀에 질소시비가 적으면 녹비의 건물생산이 적고

Table 2. N status, ^{15}N recovery (%) and N fraction of rye green manure at incorporating to soil.

Treatment†	Applied ^{15}N	DM	C/N ratio	N %	N amount	^{15}N recovery	Rye N fraction	
							from fertilizer	from soil
	g/pot	g/pot	-	%	g/pot	%	%	
UR-3N	0.10	27.7	38.8	1.09	0.30	92.1	30	70
UR-10N	0.33	41.3	37.1	1.16	0.48	74.0	50	50
UR-20N	0.67	43.7	30.4	1.44	0.63	60.2	64	36
LSD ($p < 0.05$)	-	5.8	5.1	0.17	0.12	16.0	4	4

†UR-3N~20N are the same with Fig. 1.

C/N율이 낮아 녹비의 분해가 늦을 경우가 있으며, 콩의 초기생육에 필요한 토양의 무기태 질소를 고갈시킬 우려가 있는 것으로 생각되었다. 또 토양의 무기태 질소함량을 감소시키지 않고 토양에 투입하는 호밀녹비의 질소량을 증가시키고 및 녹비의 C/N율을 감소시켜 분해속도를 증가시키기 위해서는 호밀에 충분한 량의 질소비료를 주는 것이 필요한 것으로 나타났다.

온실에서 포트 재배한 대풍콩 및 근류비착생계통 En1282의 생육기간 잎의 SPAD 값(엽록소함량)의 변화를 살펴보면(Fig. 1), 근류가 착생하지 않는 En1282에서는 SPAD 값

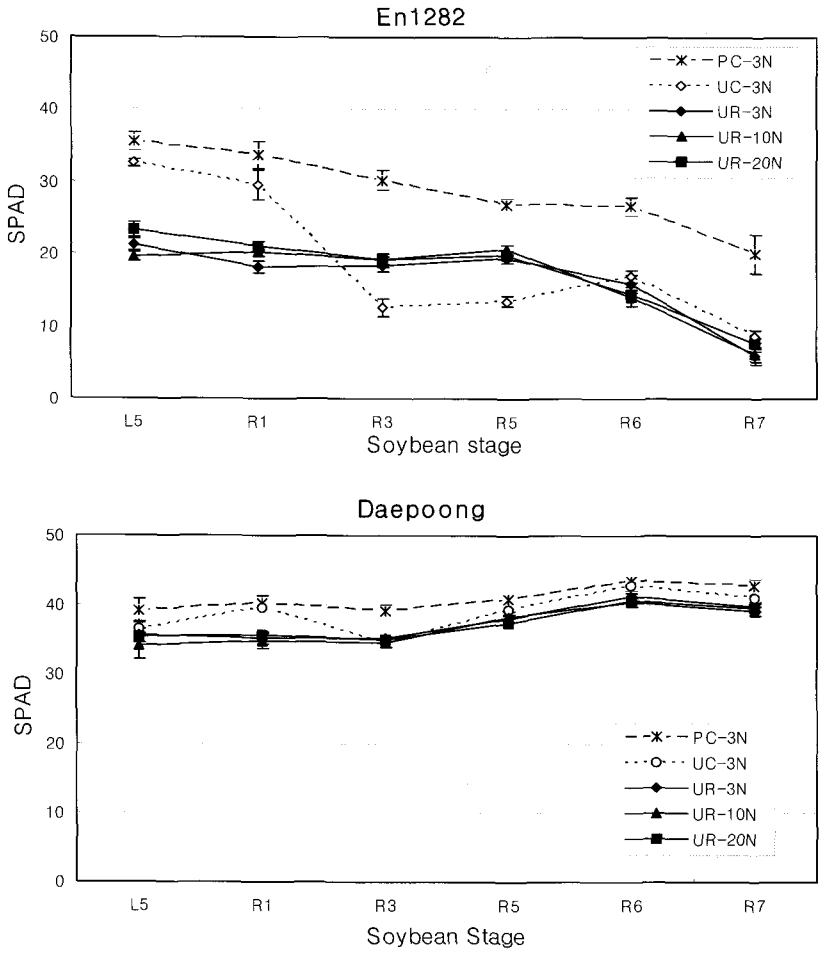

Fig. 1. Changes of soybean SPAD value (chlorophyll meter readings, SPAD502) during growth affected by N source or N rate; PC-3N : paddy soil, chemical N 3 kg/10a (0.10 g/pot), UC-3N : upland soil, chemical N 3 kg/10a (0.10 g/pot), UR-3N, 10N and 20N: upland soil, chemical N 3, 10 and 20 kg/10a (0.10, 0.333 and 0.666 gN/pot).

이 녹비 및 질소시비처리간 뚜렷한 차이를 나타내었는데, 호밀녹비구가 호밀에 시용한 질소시비량에 관계없이 V5~R5 stage에 SPAD 값이 20~25로 무녹비구에 비해 낮은 값을 나타내었다. 논흙이 가장 높아 V5~R6 stage까지 SPAD 값이 35~30을 나타내어 가장 높았다. UC-3N은 UR-3N, UR-10N 및 UR-20N 보다 생육초기에는 높았지만, R3 stage 이후에서 현저히 감소하여 SPAD 값이 15 이하를 나타내었다. 대풍콩은 근류균의 질소고정에 따라 V5 stage에서 R7 stage까지 SPAD 값이 35~45로 생육단계 및 질소시비처리간 큰 차이를 보이지 않았다. 단지 지력이 높은 논흙에서의 SPAD값이 다른 토양에 비해 높았고, 호밀녹비구(UR-3N, 10N, 20N)는 생육초기에 다소 낮았으나 생육 후반으로 갈수록 다른 구와 비슷한 값을 나타내었다.

성숙기(R7 stage)의 En1282 및 대풍콩의 건물중 및 질소량을 표 3에 나타내었다. 콩의 생장에 필요한 질소를 토양에서 무기화되는 질소에 의존하는 En1282에서는 PC-3N에서의 건물중이 밭흙에서의 약 4배에 달할 정도로 현저히 증가하였고, 그에 따라 질소량도 현저히 증가하였다. 밭흙에서는 UR-20N에서 건물중 및 질소량이 다소 증가하였다. 근류에 의한 질소고정을 하는 대풍콩에서도 En1282 정도는 아니지만 논흙에서의 건물중과 질소량은 많이 증가하였으며, 밭흙에서는 무녹비(UC-3N)에 비해 녹비구(UR-3N)에서 건물중 및 질소량이 증가하였는데, 호밀녹비에 시용한 질소량이 증가할수록 건물중과 전체 질소량은 증가하는 경향이었다. 대풍콩에서의 식물체 질소함량은 차이가 없어 질소량은 건물중에 의해 좌우되었다.

호밀 또는 콩 파종전 토양에 시용된 중질소의 토양(0~15 cm) 및 콩 식물체에서의 회수율을 보면(Table 4) 호밀녹비(UR-3N, 10N, 20N)가 토양에서의 회수율은 높은 반면 콩 식물체에서의 회수율이 현저히 낮았는데, 논흙(PC-3N)의 En1282, 대풍콩이 41.3% 및 28.2%로 가장 높았고, 호밀녹비(UR-3N, 10N, 20N)에 시용한 질소는 대풍콩 및 En1282 식물체에서의 회수율이 모두 10% 이하로 아주 낮았다. 이 녹비질소의 토양에서의 유기화율의 증가는 녹비질소가 작물보다 토양의 질소지력을 높이는 것으로 생각되어지는데, 옥수수에 대한 헤어리벳치 녹비 시험에서도 같은 결과가 나타났다(Seo 등, 2006). 무녹비의 PC-3N과 UC-3N 비교에서는 논흙이 밭흙보다 토양 및 콩 식물체에서의 질소회수율이

Table 3. Dry matter yield, total N concentration and total N yield for non-nodulated (En1282) and nodulated (Daepoong) soybean affected by N source or N rate.

Treatment	En1282			Daepoong		
	DM	N%	Total N	DM	N%	Total N
	g/pot	%	g N/pot	g/pot	%	g N/pot
PC-3N	39.2	1.00	0.39	95.2	3.49	3.32
UC-3N	9.5	1.18	0.11	51.8	3.49	1.81
UR-3N	8.0	1.59	0.13	59.5	3.45	2.06
UR-10N	7.3	1.54	0.11	65.8	3.47	2.28
UR-20N	11.3	1.34	0.15	69.2	3.42	2.37
LSD ($p < 0.05$)	2.5	0.21	0.03	9.5	ns	0.34

Table 4. Recovery (%) of labeled N (^{15}N) from fertilizer in soybean and soil affected by N source or N rate.

Treatment†	En1282			Daepoong		
	Plant	Soil	Total	Plant	Soil	Total
	%					
PC-3N	41.3	33.8	75.1	28.2	45.7	73.9
UC-3N	16.0	32.4	48.4	11.6	34.4	46.0
UR-3N	9.0	49.3	58.3	5.9	52.7	58.6
UR-10N	5.4	46.8	52.2	5.0	42.4	47.4
UR-20N	5.5	39.7	45.2	6.4	42.9	49.3
LSD ($p < 0.05$)	4.4	7.5	7.7	4.4	7.7	6.2

†PC-3~UR-20N are the same with Fig. 1

현저히 증가하였는데, 전체 시비질소회수율은 두 콩 모두 70% 이상을 나타내었다. 논흙에서의 시비질소 회수율이 높았던 것은 논흙에서의 콩 생장의 증가가 시비질소의 콩 이용률을 현저히 증가시킨 것으로 보였다. UR-3N 및 UC-3N 비교에서는 무녹비의 시비질소 회수율은 증가하였지만 토양에서의 회수율이 호밀녹비구보다 낮아 전체 회수율은 감소하였다.

Table 5는 처리별 대풍콩의 식물체 집적질소를 근류균 고정질소, 시비질소 및 토양유래 질소로 분획하여 본 것이다. 콩의 전체질소 중 근류균의 질소고정에 의한 질소량은 대체적으로 90% 이상으로 아주 높았고, 시비질소 유래의 비율은 0.3~1.8%로 현저히 낮았으며, 그에 따라 토양유래의 질소분획은 약 4~10%의 비율을 보였다. 온실포트시험에서 대풍콩의 토양유래 질소에 비해 고정질소 유래의 질소비율이 현저히 높았던 것은 포트의 토양량이 포장과는 달리 적어 토양의 질소무기화에 의한 콩 질소흡수가 상대적으로 적었고, 그에 따라 필요한 질소를 대부분 근류균의 질소고정에 의존한 것으로 보였다. Difference method와 ^{15}N method에 의한 질소고정량 비교에서는 Difference method 보다 ^{15}N method에 의한 질소고정량 분획이 PC-3N에서 다소(4%) 증가했지만 큰 차이를 나타내지 않았다. 질소흡수량이 많았던 논흙 PC-3N에서는 근류유래의 질소분획이 다른 처리에 비해 다소 감소한 반면 토양유래의 질소분획이 10% 내외로 높았는데, 이는 논흙의 높은 질소 지력 및 질소무기화 증가가 콩의 질소흡수 및 생장에 기여한 것으로 보였다. ^{15}N method에 의한 호밀녹비 처리에서의 질소분획을 보면 큰 차이는 아니지만 호밀의 질소량을 증가시킬수록 고정질소보다 시비 및 토양에서 흡수하는 질소분획이 증가하는 경향을 보였는데, 특히 UR-20N에서의 시비질소유래의 비율이 1.8%로 다른 처리 0.3~0.8%에 비해 현저히 높았다. 이것은 비록 전체 질소흡수 분획에서는 적은 량이지만 봄 초에 호밀에 시용한 질소가 증가할수록 호밀녹비의 질소를 통하여 콩이 질소흡수량을 증가시킬 수 있는 가능성을 제시한다고 할 수 있다. 일반적으로 콩은 생육초기에 다량의 질소를 콩에 시비할 수 없고, 근류고정에 의한 질소흡수의 효과가 감소하는 개화기 이후 생육후반기에는 질소시비가 작업상 어렵기 때문에 콩의 근류의 질소고정을 방해하지 않고 콩에 질소흡수를 증가시키는 방법은 봄초에 유실되기 쉬운 토양의 무기태 질소를 호밀에 의해 흡수시키거나, 적극적으로 충분히 많은 량의 질소비료를 봄초 호밀에 많이 흡수시켜, 녹비로 투입 후 천천히 토양에서 무기화시키면서 콩에 흡수시켜 콩의 생장 및 수량을 증가시키는 것이 가능할 것으로 생각된다.

포장시험

2005년 콩파종 10일전(5월 20일) 프레일 모아로 절단 파쇄하고 로타리 경운 할 때의 호밀녹비 및 잡초의 녹비특성을 보면(Table 6) 호밀녹비는 5월 4일에 출수하였는데, 출수 후 다소 경화가 진행되어 질소함량이 1.35%(C/N율 37), 건물중 590 kg/10a의 많은 녹비량을 나타내었다. 동계 휴한구의 잡초건물중은 153 kg/10a로 호밀녹비보다는 녹비건물중이 4분의 1로 적었지만 질소함량이 2.73%로 높아(C/N율 15) 호밀녹비의 2분의 1 정도의 질소량을 나타내었다.

2005년 콩 품종 Enrei의 호밀녹비에 따른 콩의 생육 변화를 보면(Table 7) 간장, 립수, 뿌리건물중 및 근류중 등 모든 생육의 평균값이 호밀녹비구에서 증가하였지만 반복간 편차가 심하여 유의적 차이를 나타내지 못하였다. 그에 따라 전건물중 및 질소흡수량도 두 처리간 차이를 나타내지 못하였다(Table 8). 또 질소고정량도 두 처리간 차이를 나타내지 못하였다. 전체 콩의 지상부에서 차지하는 고정질소의

Table 5. Fraction of N accumulation in soybean cultivar Daepoong affected by N source or N rate.

Treatment†	Total N amount	Fraction total	N from N_2 fixation‡		N from fertilizer	N from soil‡	
			Diff.	^{15}N		Diff.	^{15}N
	g N/pot	---------- % ----------					
PC-3N	3.322	100	88.2	92.0	0.8	10.9	7.2
UC-3N	1.809	100	93.8	95.5	0.6	5.5	3.8
UR-3N	2.059	100	93.3	95.0	0.3	5.9	4.7
UR-10N	2.280	100	95.0	95.4	0.7	4.2	3.9
UR-20N	2.367	100	93.6	92.5	1.8	4.6	5.7
LSD($p < 0.05$)	0.34	-	1.5	2.6	0.3	1.4	2.4

†PC-3 ~ UR-20N are the same with Fig. 1; ‡Diff.: Difference method, ^{15}N: ^{15}N method

Table 6. Dry matter and N amount of rye green manure and weed at the time of incorporating to soil.

Treatment†	Plant	Heading date	DM	C:N ratio	N%	N amount
			kg/10a		%	kg/10a
Rye GM	Rye	May 4	590	37	1.35	8.0
WF	Weed	-	153	15	2.73	4.2

†GM: green manure, WF: winter fallow

Table 7. Growth status of aboveground and underground parts of soybean cultivar Enrei affected by rye green manure.

Treatment†	Stem length	Stem diameter	Pod number	Grain number	Root weight	Nodule number	Nodule weight
	cm	mm	/pot	/pot	g/pot	/pot	g/pot
Rye GM	44.7	9.60	99.7	178	9.18	98	0.40
WF	43.9	9.42	93.2	166	8.50	59	0.26
LSD ($p < 0.05$)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

†GM: green manure, WF: winter fallow

Table 8. Aboveground dry matter and estimation of N fraction by N_2 fixation in soybean cultivar Enrei by rye green manure.

Treatment†	Total DM	N%	Total N amount	N amount by N_2 fixation‡		N fraction by N_2 fixation‡	
				Diff.	^{15}N	Diff.	^{15}N
	g/pot	%	g/pot	---------- g/pot ----------		---------- % ----------	
Rye GM	93.1	3.58	3.39	2.81	2.76	84.4	82.9
WF	88.1	3.51	3.09	2.60	2.53	83.9	81.6
LSD ($p < 0.05$)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

†GM: green manure, WF: winter fallow; ‡Diff.: Difference method, ^{15}N: ^{15}N method

비율은 2004년 온실포트 시험에서의 값보다 낮은 82~84%를 나타내어 온실포트보다 포장조건에서 낮은 값을 나타내었다. 이것은 포장조건에서 토양으로부터 상대적으로 많은 질소를 흡수한 것으로 보인다. 이것은 포장에 설치한 포트의 흙량이 온실포트보다 많고 포트의 20 cm 이하의 토양은 일반포장과 같은 콩의 뿌리발육에 제한적이지 않았기 때문으로 보인다. Difference method 및 ^{15}N method에 의한 콩의 질소고정량 및 질소고정분획을 비교하면 거의 비슷한 량 및 분획(82~84% 내외)을 나타내어 2004년 온실포트 시험에서와 마찬가지로 굳이 중질소를 시용하여 분석하지 않더라도 Difference method(근류비착생계통 이용)로 콩의 질소고정량을 추정하여도 큰 차이가 나지 않을 것으로 나타났다.

적 요

월동 후 녹비용 호밀에 시용한 질소가 콩의 질소고정 및 흡수에 미치는 효과를 보기 위하여, 2004년 온실 및 2005년 포장에서 포트시험을 통해 시비질소량별 토양, 호밀 및 콩의 질소회수율을 조사하였다.

1. 2004년 온실폿트 시험에서는 호밀에 시용한 질소비료량이 증가할수록 호밀지상부가 토양에서보다 질소비료로부터 질소를 흡수하는 비율이 증가하였다. 호밀이 없는 조건에서는 논흙이 밭흙보다 콩의 건물중 및 질소흡수량이 현저히 증가하였는데, 지력이 높았던 논흙에서는 밭흙에 비해 콩이 질소고정 유래 질소의 비율이 상대적으로 낮아지고 토양유래 질소의 비율이 높았다.

2. 밭흙에서 무녹비와 대비하였을 때 호밀녹비 이용 시의 콩 시비질소회수율은 낮았지만 토양의 시비질소회수율(질소유기화)이 높아 전체회수율은 높았으며, 또 호밀녹비 이용시 콩의 시비질소회수율은 호밀에 대한 질소시용량이 많을수록 증가하였다.

3. 2004년 온실포트 실험에서의 콩의 근류고정유래의 질소비율은 약 92~95%로 2005년 포장포트에서의 82~84%보다 약 10% 정도 높았으며, 콩의 근류고정유래 질소량 및 질소량 분획 추정에서는 2년 모두 Difference method와 ^{15}N method간 차이를 보이지 않았다.

인용문헌

Coale, F. J., J. J. Meisinger, and W. J. Wiebold. 1985. Effects of plant breeding and selection on yields and nitrogen fixation in soybeans under two soil nitrogen regimes. Plant and Soil 86 : 357-367.

Kenzo, W. 1989. The joint effect of nitrogen fertilizer and organic matter application on soybean yields in warm regions of Japan. JARQ Vol. 22(4) : 268-276.

Seo, J. H., J. J. Meisinger, and H. J. Lee. 2006. Recovery of nitrogen-15-labeled hairy vetch and fertilizer applied to corn. Agron. J. 98 : 245-254.

吉田重方. 1979. ダイスの窒素榮養におよぼす堆肥施用の影響. 日作紀 48(1) : 17-24.

河野 隆. 1999. 畑作物の窒素吸收經過と施肥管理. 農業技術 54(6) : 31-34.

酒井孝雄. 1990. 大豆に對する緩效性窒素肥料の技術. 農業技術 45(6) : 31-34.

桑原眞人. 1986. ダイスの多數條件と窒素代謝 [1]. 農業および園藝 61(4) : 3-9.