Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science 36(4) : 318~324, 2016
http://dx.doi.org/10.5333/KGFS.2016.36.4.318
ISSN 2287-5824 (Print)
ISSN 2287-5832 (Online)

Research Article

답리작 춘계포장에서 보리 및 이탈리안 라이그라스와 두과의 혼파비율이 동위원소 희석법 및 차이법을 이용한 질소고정 및 이동에 미치는 영향

이효원[1]* · 이효진[2] · 김원호[3] · 윤봉기[4] · 고한종[1]

[1]한국방송통신대학교 농학과, [2]지오멕스소프트, [3]농촌진흥청 국립축산과학원, [4]전라남도 농업기술원

Effect of Barley, Italian ryegrass and Legume Mixture on Nitrogen Fixation and Transfer to Grasses on Spring Paddy Field using Isotope Dilution and Difference Method

Hyo-Won Lee[1]*, Hyo-Jin Lee[2], Won Ho Kim[3], Bong Ki Yoon[4] and Han Jong Ko[1]

[1]Korea National Open University, Seoul 03087, Korea, [2]GEOMEX SOFT, Ltd., Chunchen 07238, Korea,

[3]National Institute of Animal Science, RDA. Cheonan 330-801, Korea,

[4]Jeollanam-Do Agricultural Research and Extension Services Naju 58213, Korea

ABSTRACT

In order to study the effect of barley, Italian ryegrass (IRG), and legume mixture on nitrogen fixation and transfer to grasses on spring paddy field, an experiment was carried out from Oct. 2006 to June 2007 in Naju, Korea. A split plot design with three replications was used for the experiment. One reference plot was assigned for each treatment to determine nitrogen fixation. Main plots consisted of Chinese milk vetch, crimson clover, forage pea, and hairy vetch with barley, respectively. Subplot treatment were barley or IRG with four seeding ratio of legumes (50:50, 60:40, 70:30, and 80:20). To estimate N fixation by legumes, ^{15}N isotope dilution technique was used. ^{15}N fertilizer [$(^{15}NH_4)_2SO_4$ solution at 99.8 atom N] was uniformly applied to 600 cm^2 in the middle of each plot on April 15, 2007. Plots were harvest by hand on June 8, 2007. Dried sample were ground to a fine power and analyzed for total N isotope N. ^{15}N was determined using elemental analyzer-isotope ratio mass spectrometry. The calculation of N transfer was determined with the isotope dilution method. The content of N was higher in legumes than that in barley or Italian ryegrass. Nitrogen level in forage pea was significantly higher than that of other legumes. There were significantly differences in N content between legumes in IRG mixture. Atom % ^{15}N excess was significantly different in legumes with barley. The 60:40 sub plot had higher ($p<0.05$) atom % ^{15}N than other seeding ratio treatments. The enrichment ranged from 0 to 0.58. Compared to barley, the enrichment of IRG with its accompanied legumes was higher, ranging from 0.38 to 1.0. The N derived from the atmosphere (Ndfa) ranged from 0% to 49.5% with barley-legume mixture. It ranged from 0 to 60.5% in IRG-legume plots. N transfer from legumes to neighboring grasses was 12.3 to 90.9 kg/ha for barley-legume mixture and 31.7 to 107.8 kg/ha for IRG plots. IRG plots showed higher N transfer for IRG-legume mixture in general based on difference method. Based on ^{15}N dilution method, the N transfer was 0 to 36.1 kg/ha for barley-legume mixture and 0 to 50.6 kg/ha for IRG plots. There was a tendency toward higher N transfer on the difference method than that of the ^{15}N dilution method.
(**Key words :** Legumes, N fixation, N transfer, ^{15}N dilution method, Difference method)

Ⅰ. 서 론

화본과와 두과의 혼파는 파종에 노력이 소요되고 혼파작물이 농약에 대한 내성이 약한 결점이 있다. 그동안 여러 연구에서 두과작물인 완두, 컴온, 벳치, 루핀과 화본과 작물인 호밀, 보리, 연맥 등을 혼파하여 재배하였다 (Dordas and Lithourgidis, 2011). 화본과 작물과 두과작물의 혼파는 질소 손실을 방지하고 수량을 증가시키며 사료 가치향상에 기여할 수 있다 (Haby et al., 2006). 또한 두과 작물과 혼파한 작부 체계는 관행 화학비료 시용에 비해 지구 온난화를 완화시킨다. 관행구의 순지구 온난 잠재지수는 114인데 비하여 두과혼파 초지는 41에 불과하여 환경보존에 순기능이

* Corresponding author : Hyo-Won Lee, Korea National Open University, Seoul 110-791, Korea, Tel:+82-2-2652-2810 Fax: +82-2-3679-2381, E-mail: hyowon@knou.ac.kr

많다 (Crutzen et al., 2008).

두과 작물의 공중질소고정 혹은 공생적 질소고정에 관한 연구는 특히 유럽을 중심으로 수행되었다. 두과의 대기 중 질소 이용률은 알팔파와 화본과 혼파 초지에서 42%~91% 이며 ha당 질소 고정량은 80~222kg (Haby et al., 2006)인 반면 질소자연 존재비를 이용한 연구에서는 개화기에 65~92% 이었고 ha당으로 환산하였을 때 93 kg~202 kg 이었으며 그 후 성숙기에는 감소하였다는 보고도 있다 (Haugaard et al., 2010). 반면 유기재배시 레드클로버와 화본과 초지에서는 평균 ha당 185.4 kg이었다고 보고 한 바 있다 (Riesinger ande Herzon, 2010). 이집시안 클로버 (Egytian clove)는 공중 질소 고정율이 64% 였고 이중 70%가 화본과로 전이되었다고 발표된 바 있으며, 두과에서 대기질소 고정량은 생장의 진전 및 질소 시비량의 차이에 따라 변했는데 완두와 보리, 완두-보리-유채 간작과 완두 단파처리의 사이에 공중질소 고정률은 처리에 따라 58%에서 91% 이었다 (Giambalvo and Paolo, 2010). 브라질에서 행한 연구는 루핀, 카우피, 그리고 흑연맥과 간작한 상추에 이동된 질소는 각각 18%, 17%, 그리고 7%이었다고 보고하였다 (Sakai et al., 2011). 화이트클로버와 화본과 잔디와의 혼파에서 고정된 질소가 라이그래스, 켄터키블루그래스 그리고 크리핑 벤트 그래스에 이동된 질소는 4.2%에서 13.7% 이었다고 하였다 (Mehmet and Acikgoz, 2007). 레드클로버는 77%, 알팔파는 72%의 공중질소를 이용하였다. 사초 중 두과의 공중질소 이용량을 측정한 결과 39~116 kg/ha/yr였고 이들 두과가 공중질소를 통하여 토양에 남긴 양은 27~52 kg/ha/yr였다. 생물학적 두과 질소고정은 농장 전체 질소의 18~19%에 달하였다 (Nimmo et al., 2013).

질소동위원소 희석법과 차이법에서 대부분의 결과 (24개 중 20개)가 유의적인 상관관계가 확인되었다 (Noulas et al., 2015). 최대 연간질소고정투여는 10 kg/ha로 측정되었다. 알프스 고지대의 두과는 라디노 클로버로 지상부 총생체 생산량의 30~40%를 차지하며 우점종 또는 상호 우점종으로 유럽의 고지대 산지에 상존하는데 ^{15}N 희석법을 사용하여 라디노클로버의 공생질소 고정량이 10 kg/ha/년을 고정하는 것으로 추정하였다 (Lonati et al., 2015).

지금까지 연구는 주로 산지나 기성초지에서 두과와 화본과를 혼파한 초지에서의 질소고정 측정이 주류였으나, 본 연구는 보리 및 이탈리안 라이그래스와 각종 두과 혼파시 혼파비율을 달리했을 때, 두과목초의 공중질소 고정률 및 이들의 화본과 작물로의 이동량을 질소 동위원소 희석법 및 차이법을 이용하여 연구하기 위하여 수행되었다.

Ⅱ. 재료 및 방법

본 시험은 나주 소재 전남농업기술원에서 2006년 10월 15일 화본과로 보리 (유연)와 이탈리안 라이그라스 (코윈어리), 두과로 자운영 (야생종), 크림손클로버 (링카루스), 사료용 완두 (오스트리아 완두), 헤어리벳치 (오래곤컴온)를 각각 50:50, 60:40, 70:30 그리고 80:20으로 파종하였다. 벼를 수확한 다음 트랙터로 로타리하고 산파하였는데 파종량은 자운영, 크림슨클로버, 크림손 클로버, 완두가 각각 4, 4, 4, 12 그리고 보리가 16 kg/10a였다. 시험구 배치는 분할구 배치법으로 주구는 화본과 세구는 두과와의 혼파비율이었고 시험구당 면적은 12 m^2였다. 파종시 시비량은 N-P-K (50-120-120 kg/ha)였고, 질소는 1/2은 기비로 1/2는 추비로 그리고 인산과 칼리는 기비로 시용하였다.

질소고정량을 측정하기 위해 각 처리마다 대조구로 보리 단파구를 두었으며 동위원소 희석법에 의한 질소고정량을 측정하기 위하여 4월 15일에 동위원소 처리를 하였는데 99.8%원자 $^{15}N(NH_4)_2SO_4$ 중질소 1 kg를 1 L의 증류수에 용해하여 20×30 cm의 방형틀 (Qudrat)에 살포하였다. 6월 8일에 방형틀 안의 식물체를 수확하고 보리와 완두를 분리하여 건조한 후 분쇄하여 분석 시료로 사용하였다.

식물체의 질소고정능력 측정을 위한 동위원소 분석은 안정성 동위원소 질량분석기 (Isoprime-EA, 영국)를 이용하였다. 한편 베치에서 보리로의 이동률은 차이법과 ^{15}N 희석액법을 이용하여 산출하였으며 이용률 계산은 여러 학자들이 일반적으로 쓰고 있는 방법을 적용하였다 (Chalk and Ladha, 1999; Lee and Park, 2002). 공중질소이용량 추정은 식(1), 차이법과 동위원소 희석법을 이용한 질소고정량 추정 및 이의 화본과로의 이동은 식(2) 및 (3)에 의거하여 산출하였다.

(1) P: proportion N in the above-ground tissue of legume derived from the atmosphere (Ndfa%) =

$$100 \times \left(1 - \frac{\text{atoms \% } ^{15}\text{N excess legume N}}{\text{atoms \% } ^{15}\text{N excess soil derived N}}\right)$$

(2) The N-difference method

Nleg(=>non-leg) = Nnon-leg(m) - Nnon-leg(p) · R(1).

Pnon-leg(<=leg)= Nleg(=>non-leg)/Nnon-leg(m)

= 1 - (Nnon-leg(p) · R/Nnon-leg(m)).

(3) ^{15}N-dillution method

Pnon-leg(<=atm) = 1 - (Enon-leg(m)/Enon-leg(p).

Pleg(<=atm) = 1 - (Eleg(m)/Enon-leg(p).

여기서 Leg (두과), nonleg (비두과), soil (토양), root (뿌리), p (단파), m (혼파), ⇒(화살표 방향으로 이동), ⇐(이동으로부터 유래)

Table 1. Soil characteristics of experimental field in Naju

pH (1:5)	Oranic matter (g/kg)	Available P_2O_5 (mg/kg)	Exchangeable cation ($cmol^+/kg$)			CEC ($cmol^+/kg$)	T-N (%)
			K	Ca	Mg		
5.2	28.1	34.0	0.47	4.30	1.50	10.30	0.21

CEC : cation exchange capacity.

본 실험의 통계처리는 SAS Ver.9.2 프로그램을 이용하여 최소 유의차 검정(Least Significant Different test; LSD test)을 적용하여 5% 유의수준에서 처리구간의 통계적 차이를 검정하였다.

시험 포장의 토양특성은 농촌진흥청 토양화학분석법에 의하여 분석하였고 그 결과는 Table 1과 같다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

Table 2와 3은 보리 및 이탈리안 라이그래스와 혼파한 두과 사초의 ^{15}N 초과를 조사한 결과이다. 화본과는 차이가 없었던 반면 두과시료에서는 보리와 혼파 비율이 60:40 처리와 다른 혼파비율 사이에 유의적 차이가 있었다. 반면 이탈리안 라이그래스와 두과 혼파 처리구 사이에서는 주구

Table 2. ^{15}N atom excess % of barley and legume above ground biomass

Seeding ratio (%)		Barley					Legume				
		CMV	CC	FP	HV	Mean	CMV	CC	FP	HV	Mean
50:50		0.33	0.26	0.32	0.30	0.30^{x}	0.48	0.54	0.14	0.17	0.25^{y}
60:40		0.38	0.36	0.26	0.26	0.31^{x}	0.41	0.51	0.22	0.51	0.41^{x}
70:30		0.31	0.33	0.31	0.29	0.31^{x}	0.41	0.54	0.17	0.00	0.31^{y}
80:20		0.24	0.36	0.34	0.26	0.30^{x}	0.39	0.50	0.00	0.17	0.32^{y}
Mean		0.31^{a}	0.33^{a}	0.30^{a}	0.28^{a}		0.34^{ab}	0.52^{a}	0.16^{b}	0.28^{b}	
LSD (0.05)	Main plot				0.17					0.22	
	Sub plot				0.07					0.09	
	Inter action				NS					NS	

CMV : Chinese Milk Vetch, CC : Crimson Clover, FP : Forage Pea, HV : Hairy Vetch.
^{ab} and ^{xy} in a row and column with superscripts are significantly different ($P<0.05$).

Table 3. ^{15}N atom excess% of IRG and legume above ground biomass

Seeding ratio (%)		IRG					Legume				
		CMV	CC	FP	HV	Mean	CMV	CC	FP	HV	Mean
50:50		0.80	0.93	0.71	0.82	0.82^{x}	0.67	0.93	0.57	0.70	0.72^{x}
60:40		0.73	0.84	0.72	0.73	0.75^{x}	1.01	0.87	0.64	1.28	0.95^{x}
70:30		0.71	0.85	0.71	0.87	0.78^{x}	0.82	0.95	0.50	0.67	0.74^{x}
80:20		0.77	0.75	0.72	0.75	0.75^{x}	0.94	0.81	0.51	0.37	0.66^{x}
Mean		0.75^{a}	0.84^{a}	0.72^{a}	0.79^{a}		0.86^{a}	0.89^{a}	0.56^{a}	0.76^{a}	
LSD (0.05)	Main plot				0.16					0.37	
	Sub plot				0.07					0.45	
	Inter action				NS					NS	

CMV : Chinese Milk Vetch, CC : Crimson Clover, FP : Forage Pea, HV : Hairy Vetch.
^{ab} and ^{xy} in a row and column with superscripts are significantly different ($p<0.05$).

및 세구 모두에서 처리간 차이가 없는 것으로 나타났다. 보리와 혼파한 처리구가 이탈리안 라이그래스와 혼파한 처리구보다 낮은 결과를 보였다.

이러한 동위원소질소 초과는 시간에 따라 감소하는 데 특히 동위원소를 처리한 후 2개월이 지나면 급격히 감소한다고 하며(Vinther, 2006) 두과는 0.02, 화본과 초지는 0.07에서 0.37 사이였다(Lonati et al., 2015)고 보고한 바 있다. 자연존재비와 동위원소 희석법을 이용한 시험을 수행하였던 Oberson et al.(2007)은 화본과 개화기에는 0.06에서 0.13을 유기콩에서는 0.09에서 0.12를 제시한바 있어 본 연구 보다는 낮았다. Goh(2007)은 0에서 0.52 초과를 보고하였고 초과값은 식물의 종류, 계절 그리고 관수여부에 따라 변한다고 하였다.

공중질소고정비율은 Table 4에 제시하였다. 전체 질소이용률 중 공중질소를 이용한 비율은 0%에서 46%로 그 변이가 매우 컸다. 보리와 두과 혼파구에서 주구 중 사료용 완두에서만 유의적 상관이 있었고 이탈리안 라이그래스와 두과혼파구는 주구 및 세구에서 유의적 차이가 인정되지 않았다. 본 연구의 결과는 2종의 혼파와 5종의 두과를 혼파한 초지에 슬러리를 시용했을 때 공중질소 이용율이 최소 75%에서 최고 95%에 이르렀다는 Pirhofer-Walze et al.(2012)의 보고보다 낮았다. 한편 Geijesstam and Martesson(2006)은 완두와 연맥시험에서 0에서 90% 사이의 공중질소 이용비율을 보고한 바 있다. 공중질소 이용비율은 장소, 참조식물의 종류에 따라 65~93%의 범위였다는 보고도 있다. 본 연구에서 0으로 표시된 것은 Geijersstam and Martesson(2006)의 보고와 같이 고정량이 −값을 갖는 것은 0으로 계산하였다. 본 연구에서 공중질소 고정률의 변이가 큰 것은 −값을 0으로 표시하였을 뿐 아니라 수확시의 두과의 식생비율이 1%에서 14%로(자료 미제시) 낮아 이러한 결과가 나타난 것을 보인다. 다른 학자들은 균일하지 못한 포장조건이 질고정률 측정 오차의 원인이라고 하였다(Chalk and Ladha, 1999). 또한 본 실험지가 밭이 아닌 다른 답리작 조건 때문에 이렇게 큰 변이가 있는 것으로 추정된다.

한편 이집시안 클로버와 단년생 라이그래스를 혼파 한 실험에서 초지관리 방법에 따라 17~75%의 질소가 공중질소에서 유래하였음을 발표한 바 있다(Giambalvo et al., 2011). 동위원소 자연 존재비를 이용한 완두연구에서 개화시 65%에서 92% 이었고 성숙기에 26%에서 81% 보였다는 연구결과(Hauggaard et al., 2010)가 있는 반면 51% 내외를 나타냈다는 보고도 있다(Riesinger and Herzon, 2010). 완두의 근권 10~20 cm에 있는 뿌리는 질소의 6.74%가 공중질소 고정에서 유래했다고 하였고(Geijersstam and Martesson, 2006) 알팔파와 버뮤다그래스 초지에서는 41%에서 91%의 질소가 대기 중 질소를 고정하여 이용하였다고 한다(Haby et al., 2006). 화이트클로버+라이그래스 초지에서는 년도가 진행될수록 예취빈도를 높일수록 공중질소 이용 비율은 낮아 졌다는 보고도 있어(Vinther, 2006) 앞으로 답리작 혼파 조건에서 다양한 실험설계 및 수년에 걸친 연구가 필요함을 시사하고 있다.

차이법에 의한 두과에서의 화본과로의 질소이동량은 12.3 kg에서 106.6 kg/ha로 변이폭이 컸다(Table 5). 보리 및 이탈리안 라이그라스에서 주구는 공히 통계적 유의차가 없었고 보리와 두과 혼파구에서 50:50을 혼파한 구와 다른 혼파처리 사이에 유의적 차이성이 있었다. 이탈리안 라이그

Table 4. Percent nitrogen derived from the atmosphere (%Ndfa) with various sowing ratio with different legumes in barley and IRG

Seeding ratio (%)		Barley					IRG				
		CMV	CC	FP	HV	Mean	CMV	CC	FP	HV	Mean
	50:50	0.00	15.40	49.50	48.60	28.37^{x}	29.80	6.20	34.60	38.7	27.32^{x}
	60:40	13.50	0.00	24.20	0.00	9.42^{x}	37.70	10.50	22.00	20.7	22.71^{x}
	70:30	6.90	0.00	42.90	0.00	12.46^{x}	12.40	0.00	60.50	39.6	28.15^{x}
	80:20	0.00	6.7	71.00	0.00	19.42^{x}	15.40	0.00	53.60	33.6	25.63^{x}
	Mean	5.10^{b}	5.53^{b}	46.90^{a}	12.14^{b}		23.82^{a}	4.17^{a}	42.69^{a}	33.13^{a}	
LSD (0.05)	Main plot				26.40					41.31	
	Sub plot				22.56					11.8	
	Inter action				NS					NS	

CMV : Chinese Milk Vetch, CC : Crimson Clover, FP: Forage Pea, HV: Hairy Vetch.
^{ab} and ^{xy} in a row and column with superscripts are significantly different ($p<0.05$).

Table 5. Estimate of transfer N from legume to barley and IRG by difference method (kg/ha)

Seeding ratio (%)		Baley					IRG				
		CMV	CC	FP	HV	Mean	CMV	CC	FP	HV	Mean
50:50		40.1	76.9	90.9	42.4	62.6^{x}	66.8	76.6	90.9	69.1	75.8^{a}
60:40		26.4	26.0	58.8	29.9	32.8^{y}	45.9	59.1	103.5	84.9	73.3^{ab}
70:30		20.1	34.8	32.6	24.8	28.1^{y}	66.0	107.8	106.6	94.9	93.8^{a}
80:20		12.3	14.4	21.3	14.3	15.6^{y}	39.2	64.1	31.7	54.9	47.5^{b}
Mean		24.7^{a}	38.0^{a}	50.9^{a}	25.3^{a}		54.5^{a}	76.9^{a}	83.2^{a}	76.0^{a}	
LSD (0.05)	Main plot				35.0					63.1	
	Sub plot				26.5					27.8	
	Inter action				NS					NS	

CMV : Chinese Milk Vetch, CC : Crimson Clover, FP : Forage Pea, HV : Hairy Vetch.
^{ab} and ^{xy} in a row and column with superscripts are significantly different ($p<0.05$).

래스와 두과혼파구 사에서도 혼파비율 사이에 통계적 유의성이 확인되었다. 보리와 이탈리안과 두과 혼파구에서 이탈리안 라이그래스와 두과와의 혼파구가 이동량이 더 많았다. 이러한 결과는 Lee et al. (2005)이 이동률은 39~58%였고 이동량은 68kg~94 kg/ha였다고 보고한 바 있으며 또한 다른 실험에서 Lee et al. (2012)이 19.3kg~126 kg/ha 사이였다고 발표한 바 있다.

Table 6은 동위원소 희석법으로 처리했을 때 이동량을 나타낸 것이다. 보리와 두과 혼파구는 0~18 kg/ha가 이동되었고 이탈리안 라이그래스와 두과와의 혼파에서는 0~51 kg의 범위였다. 두 작물과 두과의 혼파처리구간에는 모두 통계적 유의성이 없었다. 이동량은 차이법과 마찬가지로 이탈리안 라이그래스 두과혼파 조합이 더 많았다. 본 연구와 같은 동위원소 희석법을 사용했을 때 두과가 인접한 화본과에 공여하는 질소는 ha당 40 kg 정도라 하여 (Pirhofer et al., 2012) 본 연구 보다 적은 결과를 보고하면서 각기 다른 뿌리구조와 재생방식이 질소이동 및 흡수에 영향을 미친다고 하였다. 한편 이동량이 전혀 없었다는 주장 (Giambalvo et al., 2011)과 미미했다는 보고 (Opitz et al., 2005)도 있다. 이와 같은 주장은 앞으로 이 분야에 더 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

한편 질소이동은 인접화본과 뿐만 아니라 두과에서 두과로 이루어진다고도 하여 (Georg and Kerstin, 2014) 포장과 포트시험을 동시에 수행할 필요성이 제기된다 하겠다. 본 시험은 특히 일반 초지가 아닌 답리작 시험포에서 이루어졌고 논토양은 미생물 및 지하경의 분포가 달라 본 실험의 결과를 직접 비교하기가 어려운 것도 사실이다. 이러한 특성을 반영한 더 많은 실험과 계속적인 모니터링을 통하여 보다 정확한 데이터를 얻을 수 있는 기법의 개발 및 적용이 필요하다고 사료된다.

Table 6. Estimate of N transfer from legume to barley and IRG in ^{15}N dilution by ^{15}N dilution method (kg/ha)

Seeding ratio (%)		Barley					IGR				
		CMV	CC	FP	HV	Mean	CMV	CC	FP	HV	Mean
50:50		16.14	36.17	22.92	10.02	21.31^{x}	11.21	4.35	41.37	7.48	14.9^{a}
60:40		5.32	0.00	20.10	8.92	7.84^{x}	23.56	19.66	41.77	47.54	32.32^{a}
70:30		1.63	13.19	12.24	3.04	7.52^{x}	40.99	12.34	51.06	0.00	25.76^{a}
80:20		18.04	0.00	0.00	9.79	6.96^{x}	14.97	20.91	31.15	22.20	21.93^{a}
Mean		10.28^{a}	12.34^{a}	13.82^{a}	7.20^{a}		24.47^{a}	13.96^{a}	40.08^{a}	16.41^{a}	
LSD (0.05)	Main plot				23.88					35.77	
	Sub plot				22.01					17.88	
	Inter action				NS					NS	

CMV: Chinese Milk Vetch, CC: Crimson Clover, FP: Forage Pea, HV: Hairy Vetch.
ab and xy in a row and column with superscripts are significantly different($p<0.05$)

Ⅳ. 요 약

본 연구는 전남농업기술원 답리작 시험포장에서 2006년과 2007년 사이에 보리와 이탈리안 라이그래스와 각종 두과를 혼파비율을 달리한 처리하여 파종하였다. 주구는 보리 및 이탈리안 라이그래스와 자운영, 크림손클로버, 헤어리벳치, 사료용 완두였고 세구는 화본과와 두과를 각각 50:50, 60:40, 70:30 그리고 80:20이었다. 공중질소 고정량 및 이의 이동을 측정하기 위하여 질소동위원소($^{15}N(NH_4)_2SO_4$)를 2007년 4월 15일 처리 후 쿼드랏 안의 식물체를 6월 8일에 수확하여 화본과 및 두과로 분리한 후 안정성동위원소 질량분석기를 이용하여 분석하였다. 공중질소 고정률은 두과에서 화본과로, 질소이동은 차이법과 동위원소 희석법을 이용하여 구하였다. 본 실험결과의 주요내용은 동위원소 초과는 화본과에서는 차가 없었던 반면 보리와 두과와 혼파비율이 60:40인 처리에서 유의적인 차이가 있었다. 그 값은 보리와 혼파한 두과는 0에서 0.54 범위였다. 이탈리안 라이그래스와 두과 혼파에서는 초과 값이 더 높아 보리에서는 0.71에서 0.82, 두과는 0.37에서 1.01 사이였다. 공중질소 이용비율은 보리와의 조합은 0%~49.5%, 이탈리안 라이그라스 조합은 0~60.5%의 범위로 다양한 결과를 나타내었다. 차이법에 의한 이동량 시험에서는 보리와의 조합에서 12.3~90.9 kg/ha, 이탈리안 라이그래스 조합에서는 보리보다 더 많아 31.7~107.8 kg 사이였다. 한편 동위원소 희석법에서는 보리와 두과 혼파조합은 0~36.1 kg/ha 그리고 이탈리안 라이그래스와 두과 혼파에서는 0~50.6 kg/ha로 이탈리안 라이그래스 조합이 더 많은 것으로 나타났다. 차이법에 의한 질소 이동량이 동위원소 희석법보다 더 많은 것으로 나타났다.

Ⅴ. 사 사

본 논문은 2015년도 한국방송통신대학교 학술연구비의 지원을 받아 작성된 것이며 지원에 감사드립니다.

Ⅵ. REFERENCES

Chalk, P.M. and Ladha, J.K. 1999. Estimation of legume symbiotic dependence; an evaluation of techniques based on ^{15}N dilution. Soil Biology and Biochemistry. 31:1901-1917.

Crutzen, P.J., Moiser, A.R., Smith, K.A. and Winiwarter, W. 2008. N_2O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossilfuels. Chemical Physics. 8:389-359.

Dordas, C.A. and Lithourgidis, A.S. 2011. Growth, yield and nitrogen performance of faba bean intercrops with oat and triticale at vary seeding ratios. Grass and Forage Science. 66:569-577.

Geijersstam, L. and Anna, M. 2006. Nitrogen fixation and residual effects of field pea intercropped with oats. Acta Agriculture Scandinavica Section b - Soil and Plant Science. 56:186-196.

Georg, C. and Kerstin, H.D. 2014. Does nitrogen transfer between plants ^{15}N-based quantifications of N_2 fixation. Plant and Soil. 374:345-358.

Giambalvo, D. and Paolo, R. 2010. Forage production, N uptake, N_2 fixation, and N recovery of berseem clover grown in pure stand an dimixture with annual ryegrass under different managements. Plant and Soil. 342:379-391.

Giambalvo, D., Ruisi, P., Miceli, G.D., Frenda, A.S. and Amato, G. 2011. Forage production, N uptake, N_2 fixation and N recovery of berseem clover grown in pure stand and in mixture with annual ryegrass under different managements. Plant and Soil. 342:379-391.

Goh, K.M. 2007. Effects of multiple reference plants, season and irrigation on biological nitrogen fixation by pasture legumes using the isotope dilution method. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 38:1841-1860.

Haby, A., Stephen, A., Stout, F., Hons, M. and Leonard, T. 2006. Nitrogen fixation and transfer in a mixed Stand of Alfalfa and Bermudagrass. Agronomy Journal. 98:890-898.

Haugaard-Nielsen, H.L., Holdensen, D.W. and Jensen, E.S. 2010. Spatial variation of N_2-fixation in field pea (*Pisum sativum* L.) at the field scale determined by the ^{15}N natural abundance method. Plant and Soil. 327:167-184.

Lee, H.W. and Park, H.S. 2002. Nitrogen fixation of legumes and cropping system for organic forage production. Korean Association of Organic Agriculture. 10:51-63.

Lee, H.W., Kim, W.H., Park, H.S., Go, H.J. and Kim, S.G. 2005. Effect of N application rate on fixation and transfer from vetch to barley in mixed stands. Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science. 25(1):1-6.

Lee, H.W. 2012. Effect of organic fertilizer level on dry matter yield, nitrogen fixation and transfer on the barley and pea mixture. Korean Association of Organic Agriculture. 21(3):381-389.

Lonati, M., Probo, M., Gorlier and Lambardi, G. 2015. Nitrogen fixation assessment in a legume -dominant alpine community: comparison of different reference species using the ^{15}N isotope dilution technique. Alpine Botany. 125:51-58.

Mariotti, M., Mansoni, A., Ercoli, L. and Ardiini, I. 2009. Above - and below-ground competition between barley, wheat, lupin and vetch in cereal and legume intercroping system. Grass and

Forage Science. 64:401-412.

Mehmet, M. and Achikgoz, E. 2007. Effects of white clover inclusion on turf characteristics, Nitrogen fixation and nitrogen transfer from white clover to grasses species in turf mixtures. Communication in soil science & plant analysis. 38:1861-1877.

Nimmo, J., Lynch, D.H. and Owen, J. 2013. Quantification of nitrogen inputs from biological nitrogen fixation to whole farm nitrogen budget of two dairy farms in Atlantic Canada. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 96(1):93-105.

Noulas, C., Ioannis, A., Theodore, K., Juan M.H. and Margaritis, T. 2015. Relationship between the 'Isotope Dilution' and the 'Difference' method for assessing fertilizer nitrogen recovery efficiency. Advances in GeoEcology. 44:143-153.

Oberson, A., Nanzer, S., Bosshard, C., Dubois, D., Mader, E. and Frossard, E. 2007. Symbiotic N_2 fixation by soybean in organic and conventional cropping systems estimated by ^{15}N dilution and ^{15}N natural abundance. Plant and Soil 290:69-83.

Opitz, V.B., Beckmann. E. and Laser, H. 2005. Nitrogen transfers from Vicia sativa L. and Trifolium resupinatum L to companion grass and following crop. Plant, Soil and Environment. 51(6): 267-275.

Peoples, M.B., Faizah, A.W., Rerkasem, B. and Herridge, D.F. 1988. Methods for evaluating nitrogen fixation by modulated Legumes in the field (Eds.). ACIAR. Canberra. Australia.

Pirhofer-Walzl, K., Rasmussen, J.H., Hogh, J., Jorgen, E., Soegaard, K. and Rasmussen, J. 2012. Nitrogen transfer from forage legumes to nine neighbouring plants in a multi-species grassland. Plant and Soil. 350:71-84.

Riesinger, P. and Herzon, I. 2010. Symbiotic nitrogen fixation in organically managed red clover-grass leys under farming conditions. Soil and Plant Science. 60:517-528.

Sakai, R.H., Ambrosano, E.J., Negrini, A.C.A., Trivelin P.C.O., Schammass, E.A. and Melo P.C.A. 2011. N transfer from green manures to lettuce in an intercropping cultivation system. Maringá, 33(4):679-686.

Vinther, F.P. and Erik, S.J. 2000. Estimating legume N_2 fixation in grass-clover mixtires of a grazed organic cropping system using two method. Agriculture Ecosystem and Environment. 78:139-147.

Vinther, F.P. 2006. Effects of cutting frequency on plant production, N-uptake and N_2 fixation in above and below-ground plant biomass of perennial ryegrass-white clover swards. Grass and Forage Science. 61:154-163.

(Received July 12, 2016 / Revised August 2, 2016 / Accepted August 17, 2016)