

질소시용수준이 베치-보리 혼파 사초의 질소고정 및 베치에서 보리로 질소이동에 미치는 영향

이효원 · 김원호* · 박형수** · 고한중 · 김수곤***

Effect of N Application Rate on Fixation and Transfer from Vetch to Barley in Mixed Stands.

Hyo Won Lee, Won Ho Kim*, Hyung Soo Park**, Han Jong Ko and Su Gon Kim***

ABSTRACT

With recent interest in organic farming the use of legumes including vetch and clover to provide N to adjacent crops is increasing in Korea. In the present studies, we conducted a trial to investigate the effects of the application of N rate on nitrogen fixation and transfer from vetch to barley in mixed stands. The experiment was arranged in a randomized complete block design with three replications. Four different N rates(0, 75, 113 and 150 kg/ha) was used and vetch+barley was broadcasted manually on 1.5 × 2 m plot in Oct. 2001. Half of urea and K₂O, 200 kg phosphate and 75 kg potash per ha were applied as basal dressing and half of N and 75 kg potash were used for topdressing to soil surface on March, 2002. The equivalent of 1kg ha⁻¹ at(¹⁵NH₄)₂SO₄ solution at 99.8 atom %¹⁵N excess was applied to the microplot in mid April. Forage was harvested from each plot at ground level and separated into barley and vetch. Total N content and ¹⁵N values of samples were determined using a continuous flow stable isotope ratio mass spectrometry(IsoPrime-EA. Micromass, UK.). The percentage of legume N fixed from atmospheric N₂ were 95.0, 93.8, 94.4 and 84.8 % with increment of N levels. The percentage of N transfer from vetch to barley by N-difference method with increment of N fertilizer were from 58 to 49 % while 39 to 23 % in ¹⁵N-dilution method. The amount of transfer from vetch to barley were 87 to 68 kg/ha with N level by N-difference method and 58 to -56 kg/ha with N application levels by ¹⁵N dilution method. The amount of nitrogen fixation per ha were from 150 kg/ha to 219 kg/ha by different method, but on the other side 49 to 105 kg/ha by ¹⁵N-dilution.

(Key words : Legume, N fertilizer, N-difference method, ¹⁵N dilution)

I. 서 론

양질의 조사료를 생산하기 위한 방법들 가운데 조사료 생산이라는 측면과 토양 비옥도 증진이라는 두 가지 면을 동시에 고려할 수 있는 방법이 화곡류와 두과작물을 혼파하는 것이다.

단파에 비해 혼파는 조단백질 함량이 높은 건물생산량을 얻을 수 있고(Osman and Osman, 1982), 도복을 방지하며 단작에 비해 정착율을 향상시킬 수 있는 이점이 있다(Chapman and Carter, 1976). 또한 특성이 다른 두 작물의 근계분포 차이로 인해 토양수분이나 양분을 효율

한국방송통신대학교 농학과(Dept. Agron., Korea National Open University)

* 축산연구소 조사료자원과(Division of Grassland and Forage Crops, National Livestock Research Institute)

** 난지연구소 마필. 조사료연구실(Lab. Horse and Grassland, National Institute of Subtropical Agriculture)

*** 천안연암대학 생명자원산업연구소(Bio-Resource & Industry Institute Cheonam Yonam College)

Corresponding author : Hyo Won Lee, Dept. Agron., Korea National Open University, Seoul 110-791, Korea.

E-mail : hyowon@knou.ac.kr

적으로 이용할 수 있다. 특히 화분과는 질소를 소비만 하는 반면 두과는 대기 중 질소를 고정하여 토양에 공급하기 때문에 공급과 이용이라는 측면에서 합리적이다(Trenbath, 1974). 조사료의 영양학적 측면에서도 에너지를 공급하는 화분과와 단백질을 공급하는 두과가 혼합되어 균형된 양질의 사료를 가축에게 급여할 수 있다.

질소는 작물생산에 있어 가장 큰 영향을 미치는 영양소이며, 요구량 또한 가장 많다. 질소의 공급은 토양 중의 유기물 부식이나 화학비료 그리고 두과작물에 공생하는 근류균에 의한 것으로 분류할 수 있다. 기존의 연구 결과에 의하면 1971년에서 1972년 동안 미국에서 식물생산을 위해 투입된 비료의 1/3만이 화학비료이며 나머지는 생물학적으로 고정된 것이었으며, 오스트레일리아에서는 작물에 사용된 비료의 1%만이 화학비료였다고 보고한 바 있다(Postgate, 1987). 특히 초지에서는 두과를 혼파 했을때 화분과는 두과로부터 질소를 공급받으며 장기간 재배시 그 효과는 크다고 알려졌다(Goodman and Collison, 1986). 이러한 두과작물에 의한 질소고정은 토양잔존질소가 적을수록 향상된다(Morris 등, 1986).

그러므로 화학비료의 남용으로 발생할 수 있는 농업환경오염과 같은 부작용을 최소화하고, 생물종 다양성을 추구하는 친환경 유기축산에서 두과작물의 재배는 필수 불가결하다고 할 수 있으며, 두과작물에 의한 질소고정능력과 고정된 질소의 이동에 관한 연구와 현장에서의 적용이 중요하다고 할 수 있다. 두과작물에 의한 질소고정능력과 이동율을 측정하는 방법은 켈달법에 의한 질소의 정량이 과거에 주로 사용되었다. 그러나 미생물의 질소고정효소(Nitrogenase)가 아세틸렌(C_2H_2)을 에틸렌(C_2H_4)으로 환원하는 작용을 발표한 이래 환원능력을 측정하는 방법으로 이용되고 있으며, 최근에 들어서는 전자수는 같으나 원

자의 화학적 성질의 차이를 이용한 안정성 동위원소를 이용한 방법이 적용되고 있다. 동위원소 회석법은 대기 중 질소가 ^{14}N 로 ^{15}N 이루어져 있고 ^{15}N 존재비는 전체 중 0.3663%이며 ^{14}N 가 나머지 99.6336%로 그 구성비율이 일정하게 유지된다는 원리를 이용한 것이다. 따라서 시료 중에 % ^{15}N 보다 높은 수치를 보이면 이는 ^{15}N 에 농축(enriched) 되었다고 하고 이를 원자 % ^{15}N 초과(atom % ^{15}N excess)라고 하며, 이와 반대로 ^{15}N 이 고갈(depleted)된 ^{15}N 은 대기보다 낮은 원자 % ^{15}N 을 갖게 된다. 질소고정 측정은 이와 같은 원리를 이용하는데, 토양속의 질소는 전적으로 ^{15}N (100 atom % ^{15}N)인 질소비료가 유일한 질소원인 상황에서 자란 식물이 있다면 그때 식물체내의 모든 질소는(종자나 박테리아 접종균의 질소 제외) ^{15}N 이 될 것이다. 만약 그 식물이 대기로부터 가스상 질소($^{14}N_2$)를 고정할 수 있다면 그때 그 식물은 비료 중 질소보다 낮은 원자 % ^{15}N (100 atom % ^{15}N 적은)을 함유하게 될 것이다. 이 차이는 N_2 고정으로부터 유래한 비율을 계산할 수 있으며, 이것이 곧 N_2 고정 측정의 동위원소 회석법의 기본원리 된다(Griller, 2001).

따라서 본 실험은 화분과 사초로 재배면적과 그 중요성이 점차 증가되고 있는 보리를 두과사료 작물인 헤어리베치와 혼파하였을때 질소시비 수준에 따른 헤어리베치의 질소고정 이용율을 조사하고, 헤어리베치에서 보리로 전변된 질소의 양을 측정할 목적으로 수행되었다.

II. 재료 및 방법

본 시험이 수행된 포장은 경기도 수원시 소재 포장으로 송정통 토양으로 사양토이며, 토양 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 pH는 5.72, 토양 총질소 0.18%, 유기물은 3.34%, 총 인산은 211 mg/kg으로 분석되었다.

Table 1. Soil characteristics of experimental plots

pH (H ₂ O) (1:5)	Organic Matter (%)	Total Nitrogen (%)	Available P ₂ O ₅ (ppm)	Exchangeable Cation(me / 100 g)			
				K	Ca	Mg	Na
5.82	0.18	3.34	211	0.66	5.65	1.36	0.06

2001년 10월 초순 ha 당 헤어리베치 12 kg, 올보리 110 kg을 파종하였으며, 처리구로 질소 비료를 ha 당 0, 75, 113, 그리고 150 kg을 난피법 3반복으로 처리하였다. 그리고 인산과 칼리는 각 120 kg/ha를 기비 및 분시하였다. 한편 대조구로 질소고정능을 측정하기 위해 보리단과 처리구를 두었다. 동위원소 처리는 99.8원자 % ¹⁵N(NH₄)₂SO₄ 중질소를 ha 당 1 kg을 1L의 물에 용해하여 각 포장 시험구 가로 15 cm, 세로 1 m의 소시험구안에 골고루 살포하였다. 수확은 5월 10일에 구획안의 식물체를 수확한 후 헤어리베치와 보리로 분류하였고, 분류된 시료를 분쇄하여 분석시료로 이용하였다.

식물체의 질소고정능력 측정을 위한 동위원소 분석은 안정성 동위원소 질량분석기 Isoprime-EA를 이용하였으며, 두과의 공중질소 이용율은 Peoples 등(1988)이 제안한 방법을 적용하였다. 한편 벼치에서 보리로의 이동율은 차이법과 ¹⁵N희석액법을 이용하여 산출하였으며 계산에 적용된 약자와 계산법은 다음과 같다(Chalk, 1996; Chalk, 1998, 이와 박, 2002). 약자는 Leg (두과), non-leg(비두과), soil(토양), root(뿌리), p (단파), m(혼파), m(유추: 식에서 p와 m이 없을 때 추정), ⇒(화살표 방향으로 이동), ⇐(이동으로부터 유래)

계산공식

1) 이동된 두과 작물 질소량:

$$N_{leg(⇒non-leg(m))} - N_{non-leg(p)} \cdot R$$

여기서 R = 단파와 비교한 혼파의 비두과의 파종비

2) 두과 N의 이동으로부터 유래된 비두과 N의 비율:

$$P_{non-leg(⇐leg)} = N_{leg(⇒non-leg)} / N_{non-leg(m)}$$

$$= 1 - (N_{non-leg(p)} \cdot R / N_{non-leg(m)})$$

3) 두과에서 비두과로 이동된 질소의 비율:

$$P_{leg(⇒non-leg)} = N_{non-leg} \cdot E_{non-leg} /$$

$$(N_{leg} \cdot E_{leg} + N_{non-leg} \cdot E_{non-leg})$$

4) 두과 N 이동량: $N_{leg(⇒non-leg)} = N_{leg} \cdot P_{leg(⇒non-leg)}$

5) 이동 두과 N에 대한 비두과의 비율:

$$P_{non-leg(⇐leg)} = N_{leg(⇒non-leg)} / N_{non-leg}$$

6) 화분과가 두과질소를 이용한 비율

(엽이 흡수한 표식 질소가 토양으로 많이 유입되었을 때):

$$P_{leg(⇒non-leg)} = N_{non-leg} \cdot E_{non-leg} / (N_{leg} \cdot E_{leg} + N_{non-leg} \cdot E_{non-leg} + N_{soil} \cdot E_{soil})$$

7) 두과 질소 이동에 대한 비두과 의존 비율:

$$P_{non-leg(⇐leg)} = E_{non-leg} / E_{leg(r)}$$

$E_{leg(r)}$: 수확시 두과 근부의 ¹⁵N 농축

8) 혼파구의 생물학적 질소고정 질소가 비두과로 이동된 비율:

$$= P_{non-leg(⇐atm)} = 1 - (E_{non-leg(m)} / E_{non-leg(p)})$$

9) 생물적으로 고정된 질소의 양이 비두과에 이동된 양: $N_{non-leg(⇐atm)} = N_{non-leg} \cdot P_{non-leg(⇐atm)}$

10) 토양유래 질소와 생물질소 고정의 비율을 구하여 두과 질소이동을 추정:

$$P_{non-leg(⇐leg)} = P_{non-leg(⇐atm)} / P_{leg(⇐atm)}$$

여기서 $P_{leg(⇐atm)}$ 은 표준 식물로 순비두과 식물에 ¹⁵N 희석액을 사용하여 추정

11) 단파 비두과를 참고식물로 이용하여 ¹⁵N 희석용액을 사용하여 질소고정 비율 결정:

$$P_{leg(⇐atm)} = 1 - (E_{leg(m)} / E_{non-leg(p)})$$

12) 식 8과 11을 10으로 대체하여:

$$P_{non-leg(⇐leg)} = [1 - (E_{non-leg(m)} / E_{non-leg(p)})] / [1 - (E_{leg(m)} / E_{non-leg(p)})] = (E_{non-leg(p)} - E_{non-leg(m)}) / (E_{non-leg(p)} - E_{leg(m)})$$

III. 결과 및 고찰

Table 2은 헤어리베치가 이용한 대기 중 질소의 이용비율을 나타낸 것이다. 질소시비수준에 따라서 그 비율이 달라지는데 대체적인 경향은 질소시용 수준이 높아질수록 공중질소 이용비율은 저하되는 것으로 나타났다. 즉 질소 비료를 전혀 시비하지 않은 처리구에서는 전체 질소의 95.5%를 공중질소를 이용하였으나 질소시용 수준이 증가함에 따라 93.8, 94.4 그리고 84.8%로 저하되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 m²당 0에서 1.5, 3.0, 4.5 그리고 6.0 g 의 질소비료를 처리했을 때 공중질소이용 비율은 95, 91, 89, 87 그리고 83%로 저하하였다고 보고한 연구결과(Laidlaw 등, 1990)와 같은 경향을 보였다. 한편 또 다른 연구에서 동 연구자는 계절에 따라 공중질소이용 비율이 다르다는 사실을 보고한 바 있는데, 여름에는 이용질소의 89.5%를 그리고 가을에는 55.9%를 대기 중 질소로 이용하였다고 하였다(Laidlaw 등, 1996). 반면 Chen 등(1998)은 오히려 봄에 공중질소로부터 95 - 85% 정도 이용비율이 높았다고 발표하여 계절과 작물에 따른 질소이용율에 대한 비교연구가 필요하다는 것을 기존의 연구결과들에서 알 수 있었다.

차이법은 Virtanen 등(1937)에 의해 창안된 방

법으로 비두과의 밀도가 혼파 및 단파 포장에서 동일하고 또 이들이 동량의 질소를 토양에서 흡수할 때, 만약 화본과 식물의 질소 흡수량의 차이가 있다면 이는 두과식물 질소가 화본과 식물로 이동한 것으로 가정하는 것이 그 원리다.

본 시험의 결과에 의하면 이동율은 58%에서 39.7% 사이였고 대체로 질소시비량이 증가할수록 감소하였으나(Table 3) 150 kg 질소처리구에서는 113 kg 처리구보다 높은 총질소의 49.3% 보리로 이동된 것으로 나타났다. 본 연구결과는 다른 연구자의 결과 즉 질소시비량이 증가하며 그 이동율이 낮아진다는 것과 같은 경향인 것으로 나타났다. Chalk(1996)는 여러 학자들의 논문을 비교 검토하면서 총 질소의 46%에서 13%가 인접한 화본과로 이동되었다고 보고한 바 있다. 한편 Fujita 등(1990)은 본 연구결과와 유사한 질소 고정이동율을 발표하면서 차이법에 의한 질소 이동추정은 이동량의 과대평가될 가능성이 있다고 보고한 바 있어 분석 방법에 따라 질소이동의 추정량에 대한 보정이 이루어져야 함을 지적한 바 있다.

동위원소 회석법을 이용했을 때의 이동율 및 이동량 추정에 관한 결과는 Table 5에서 보는 바와 같다. 이 방법은 비두과작물시험구와 두과-화본과 혼파 시험구의 조합을 이용한 것으

Table 2. Atom % ¹⁵N excess in barley plants in pure stand and mixture with vetch at four levels of N fertilization

N treatment	0 kg / ha		75 kg / ha		113 kg / ha		150 kg / ha	
Crop	Atom %	Atom excess	Atom %	Atom excess	Atom %	Atom excess	Atom %	Atom excess
Mono: Barley	0.62596	0.25966	0.64075	0.27444	0.55746	0.19115	0.49697	0.13067
Mix : Barley	0.52488	0.15858	0.50928	0.14298	0.51400	0.14770	0.54432	0.17802
+ Vetch	0.37793	0.01163	0.38324	0.01694	0.37696	0.01066	0.38615	0.01985
P	95.5		93.8		94.4		84.8	

$$P = 100 \times \left\{ 1 - \frac{(\text{atoms } \% \text{ } ^{15}\text{N excess legume N})}{(\text{atoms } \% \text{ } ^{15}\text{N excess soil delived N})} \right\} \quad (\text{식} - 1)$$

Mono : mono-culture of barley, Mix : mixed-culture of barley and vetch

Table 3. Estimate of the transfer N₂ fixed by vetch to barley by the N-difference method

N Level kg / ha	N(%) Vetch, Barley	N(%) Barley	transfer rate (%)	DM (kg/ha)	TN (kg/ha)	Transfer amount (kg/ha)
0	1,365	1,124	58.0	11,001	150.0	87.0
75	1,779	1,090	42.9	12,289	219.0	94.0
113	1,775	1,007	39.7	12,270	218.0	87.0
150	1,788	1,260	49.3	8,696	155.0	68.0

The N-difference method

$$N_{leg(=>non-leg)} = N_{non-leg(m)} - N_{non-leg(p)} \cdot R(1)$$

$$P_{non-leg(<=leg)} = N_{leg(=>non-leg)} / N_{non-leg(m)}$$

$$= 1 - (N_{non-leg(p)} \cdot R / N_{non-leg(m)})(2)$$

로 대기 N₂에 의한 토양 질소의 희석은 표준식물(reference plant)에서 측정된 ¹⁵N 조성보다 두 과시료가 더 낮다는 데 착안한 것이다(Peoples 등, 1988).

본 시험의 결과는 차이법과 마찬가지로 질소시용량 증가에 따른 이동을 및 이동량이 저하하는 경향을 나타냈다(Table 4). 즉 질소무시용구에서는 38.9%, 75 kg 구에서는 47.9, 113 kg 구에서는 22.7% 그리고 150 kg 질소시용구는 전혀 이동되지 않고 토양 중의 질소만을 흡수 이용한 것으로 나타났다. 한편 그 이동량은 질소 시비수준에 따라 105 - 49 kg인 것으로 계산되었다. Papastylianou 및 Danso(1991)는 고질소 시용으로 이동을 및 이동량이 저하하였다고 보고하였으나 그 양은 본 시험결과보다 다소 낮았다. 한편 Papastylianou(1988)는 실험결과에 상

당한 변이가 있음을 지적한 바 있으며 90 kgN/ha는 베치 - 연맥 또는 완두 - 연맥 그리고 두과 단파구에서 공히 질소고정을 억압한다고 보고하였다.

IV. 적 요

유기농업에 관한 관심과 함께 인접하는 작물에 질소를 공급하기 위해 클로버나 베치류의 두과작물을 화분과 작물과 혼파하여 양질의 사초를 생산하려는 양축농가가 증가하고 있다. 본 연구는 두과작물의 질소고정과 고정된 질소의 화분과 작물로의 이동에 대한 질소비료 사용의 효과를 조사하기 위하여 실시하였다. 시험구 배치는 4 수준의 질소시용수준(0, 75, 113, 150 kg/ha)을 처리하고 3반복 난괴법으로 처리하였고, 베치는 보리과 함께 2001년 1.5 × 2 m 시험구에 파종하였다. 작물의 표준 시비량을 기준으로 질소와 칼리는 필요량의 1/2, 인산은 전량을 기비로 시비하였고, 잔여 시비량은 2002년 3월 추비로 표면 시비하였다. 1 kg/ha의 99.8원자 ¹⁵N 초과 동위원소를 2002년 4월중순에 시험구내의 소시험구(0.1 × 1 m)에 살포하였고, 식물체는 수확 후 보리와 베치로 분류한 후 분쇄하여 동위원소질량 분석기를 이용하여 분석하였다. 질소 증시에 따라 베치의 대기 중 질소 이용율이 95.0, 93.8, 94.4 그리고 84.8%로 변했다. 분석방법에 따른 질소이동율을 살펴보면 차이법에 의한 두과에서 화분과로 이동한

Table 4. Estimate of the transfer N₂ fixed by vetch to barley by the ¹⁵N dilution method

N Level kg / ha	DM (kg/ha)	TN (kg/ha)	Transfer rate (%)	Transfer amount (kg/ha)
0	11,001	150.0	38.9	58.0
75	12,289	219.0	47.9	105.0
113	12,270	218.0	22.7	49.0
150	8,696	155.0	- 362	- 56.0

¹⁵N-dilution

$$P_{non-leg(<=atm)} = 1 - (E_{non-leg(m)} / E_{non-leg(p)})$$

$$P_{leg(<=atm)} = 1 - (E_{leg(m)} / E_{non-leg(p)})$$

질소량은 58~49% 범위로 분석되었으며, 동위원소법에 의한 분석에서는 39~23% 사이의 이동율을 나타내는 것으로 조사되었다. 양적으로는 차이법에서 87~68 kg/ha, 동위원소법을 이용했을 때는 질소 시비수준에 따라 58~56 kg/ha가 이동된 것으로 나타났다. 질소 고정량은 차이법에서는 15~219 kg/ha 그리고 동위원소 회석법에서는 49~105 kg가 두과작물인 헤어리베치에 의해 고정될 수 있는 것으로 조사되었다.

V. 인 용 문 헌

1. 이효원, 박형수. 2002. 두과작물의 질소고정과 유기조사료 생산을 위한 작부체계. 한국유기농학회 (제10권). pp. 51-63.
2. Chalk, P.M. 1996. Nitrogen Transfer from Legumes to Cereals in intercropping. Proceedings of International Workshop. JIRCAS.
3. Chalk, P.M. 1998. Dynamic of biologically fixed N in legume-cereals rotation. Aus. J. Agric. Rec. 49: 303-316.
4. Chalk. P.M. 1996. Nitrogen transfer from Legumes to Cereals in intercropping. Dynamics of roots and nitrogen in cropping systems of the Semi-Arid Tropics. Japan International Research Center for Agricultural Science.
5. Chapman, S.R, and L.P. Carter. 1976. Crop production principles and practice. W. H. Ferznan and Co. Francisco.
6. Chen, D.J. Evans, P.M. Chalk and R.E. White. 1998. Nitrogen fixation and N balance in subterranean Clover Pasture associated with annual and perennial grasses. Biological Nitrogen Fixation for 21st century. pp. 599-604.
7. Fujita, I., S. Ogata, T. Matsumoto, G.K. Ofosu-Budu and K. Kuwata. 1990. Nitrogen transfer and dry matter production in soybean and sorghum mixed cropping system at different population densities. Soil Science and Plant Nitrogen Nutrition. 36: 233-241.
8. Goodman, P.J. and M. Collison. 1986. Effect of three clover varieties on growth ^{15}N uptake and fixation by ryegrass/White clover mixtures at three site in wale. Grass Forage Sci. 41:191-198.
9. Griller, K.E. 2001. Nitrogen Fixation in tropical cropping systems. CABI Publishing.
10. Laidlaw, A.S., P. Christie and H.W. Lee. 1996. Effect of nitrogen from clover to grass and estimation of relative turnover rates of nitrogen in roots. Plant and Soil. 179:234-255.
11. Laidlaw, A.S., P. Christie and J.A. Withers. 1990. Comparison between isotope dilution and acetylene reduction method to estimate N_2 fixation rate of white clover in grass/clover swards. Grass and Forage Science. 45:295-301.
12. Morris, D.R., R.W. Weaver, G.R. Smith and F.M. Rouquette. 1986. Competition for nitrogen 15 depleted ammonium nitrate between arrowleaf clover and annual ryegrass sown into bermudagrass sod. Agron. J. 78:1023-1030.
13. Osman, A.E. and A.M. Osman. 1982. Performance of mixture of cereal and legume forage under irrigation in the Sudan. T. Agric. Sci. Camb. 98:72-71.
14. 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 and Soil. 107:183-198.
15. Peoples, M.B., A.W. Faizah, B. Rerkasem and D.F. Herridge. 1988. Methods for Evaluating Nitrogen Fixation by Nodulated Legumes in the field(Eds.). ACIAR. Canberra. Australia.
16. Postgate, J. 1987. Nitrogen Fixation(Second Edi). Adward Arnold.
17. Trenbarth, B.R. 1974. Biomass production of mixtured. Adv. Agron. 26:177-210.
18. Virtanen, A.L., S. von Hausen and T. Laine, 1937. Investigation on the root nodule bacteria of leguminous plants. 1. Excretion of nitrogen in associated culture of legumes and non legumes. Journal of Agricultural Science. 27:584-611.