

## 보리·완두 포장에서 유기질비료 시용 수준이 건물수량과 질소 고정 및 이의 이동에 미치는 영향\*

이 호 원\*\*

### Effect of Organic Fertilizer Levels on Dry Matter Yield, Nitrogen Fixation and Transfer on the Barley and Pea Mixtures

Lee, Hyo-Won

In order to study the effect of organic fertilizer on dry matter (DM) yield, nitrogen fixation and transfer from pea to barley, an experiment was carried out from May to June in 2008 in Incheon. A completely randomized block design with three replications was used for the experiment and one reference plot assigned each treatment for nitrogen fixation evaluation. Seeding mixture was 40kg barley and 80kg pea per ha. N rate of 40, 80 and 120kg/ha as organic fertilizer was applied at seeding. The equivalent of 1kg per ha as  $(15\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  Solution at 99.8 atom N was applied to the plots (30×20cm) at mid April. Forage was harvested from each plot in ripening stage at ground level and separated into barley and pea. Nitrogen fixation was 32.4%, 23.4% and 0% at three different organic N levels. Transfer rate were from 47.6% to 21.8% in difference method and 24.6% and 21.4% on  $^{15}\text{N}$  dilution method. N Transfer amount were from 92.8kg/ha to 41.9kg/ha on difference method and 47.3kg in the 40kg N plots and 49.7kg in the 80kg N plots on  $^{15}\text{N}$  dilution method but there was no N transfer in 120kg N organic fertilizer plots. Benefit from increased organic fertilizer was not clear in terms of nitrogen fixation and transfer from pea to barley in barley and pea mixtures.

Key words : *organic fertilizer, barley, pea,  $^{15}\text{N}$  dilution method, N transfer.*

---

\* 본 연구는 2012년도 한국방송통신대학교 학술 연구비 지원으로 수행된 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

\*\* Corresponding author, 한국방송통신대학교 자연과학대학 농학과(E-mail : hyowon@knou.ac.kr)

## I. 서 론

한국과 같은 인구 밀집 국가에서 유기 축산의 가장 큰 걸림돌은 유기 사료의 안정적 생산과 공급이다. 이러한 경향의 반증이 한우의 친환경 사육이 크게 증가한 반면 낙농과 양돈은 담보상태에 있다는 통계에서 잘 드러난다.

현재 친환경 농업을 장려하기 위해 농산 부산물을 유기질 비료화 하는 것을 정책적으로 지원하여 2010년에 250만 톤이 생산되었고 여타 유기질 비료 19종의 공정 규격이 설정되었다. 특히 유박이 혼합된 유기질 비료는 원예농가에서 많이 사용하고 있다(Kim, 2011). 한편으로 식량생산에서 지속적 농업 생태계 유지를 요구하는 국제적 요구가 거세지고 있고, 이와 함께 천연자원을 이용하는 두과작물의 중요성이 더욱 강조되고 있다(Peoples et al., 1988).

화분과작물과 두과작물의 혼파는 질소 손실을 방지하고(Palmborge et al., 2005) 수량을 증가시키며 사료 가치향상에 기여할 수 있다(Berilsson et al., 2001, Haby et al., 2006). 두과 초지와 혼파한 작부 체계는 관행 화학비료 시용에 비해 지구 온난화를 완화시킨다. 관행구의 순지구 온난 잠재지수가 114인데 비하여 두과혼파 초지는 41에 불과하여 환경보존에 순기능이 많았다(Crutzen et al., 2008).

두과 목초의 공중질소고정 혹은 공생적 질소고정에 관한 연구는 특히 유럽을 중심으로 수행되었다. 두과의 대기 중 질소 이용률은 알팔파와 화분과 혼파 초지에서 42%~91%이며 ha당 질소 고정량은 80~222kg(Haby et al., 2006)인 반면 질소자연 존재비를 이용한 연구에서는 개화기에 65~92% 였고 ha당으로 환산 하였을 때 93kg~202kg였으며 그 후 성숙기에는 감소하였다는 보고도 있다(Hauggaard - Nielsen et al., 2010). 반면 유기재배 레드클로버, 화분과 초지에서 평균 ha당 185.4kg이었다고 보고한 바 있다(Riesinger and Herzon, 2010). 이집시안 클로버(Egyptian clove)는 공중 질소 고정율이 64%였고 이중 70%가 화분과로 전이되었다(Giambalvo et al., 2010). 두과에서 대기질소 고정량은 성장의 진전 및 질소 시비량의 차이에 따라 변했는데 완두와 보리, 완두-보리-유채 간작과 완두 단파처리의 사이에는 공중 질소 고정율은 처리에 따라 58% 에서 91% 사이였다(Andersen et al., 2004). 브라질에서 행한 연구는 루핀, 카우피, 그리고 흑연맥과 간작한 상추에 이동된 질소는 각각 18%, 17%, 그리고 7% 이었다고 보고하였다(Sakai et al., 2011). 화이트클로버와 화분과 잔디와의 혼파에서 고정된 질소가 라이 그래스, 켄터키블루그래스 그리고 크리핑 벤트 그래스에 이동된 질소는 4.2%에서 13.7% 사이였다고 하였다(Mehmet and Acikgoz, 2007).

지금까지 연구는 주로 화학비료 사용조건에서 두과나 화분과와 혼파한 초지에서 진행된 것이 대부분이었다. 본 연구는 완두, 보리 파종 시 유기질 비료의 질소시용수준을 달리 했을 때 혼파 사료작물 포장에서 건물 생산량, 두과목초의 공중질소고정 그리고 고정질소의 보리로 이동에 관한 연구목적으로 수행되었다.

## II. 재료 및 방법

본 실험은 경기도 인천시 소재 포장에서 실시하였으며 시험지의 토양은 송정동 토양이며 그 특성은 Table 1에서 보는 바와 같이 유기물 및 인산의 함량이 높은 일반 경작토로 pH 6.6, 유기물 13g/Kg, 유효인산 292mg/Kg 그리고 치환성 양이온은 K가 0.28, Ca가 7.0, Mg 3.2/c mol/kg 토양이었다. 시험구 배치는 난괴법 3반복으로 처리는 유기질 비료를 질소 함량 기준으로 40kg, 80kg 그리고 120kg/ha였고 이때 사용한 유기질 비료는 수분 45%, 질소함량 2.5%였다. 파종한 종자는 두과작물로 완두 80kg(청미완두), 화분과작물로 새올보리 40kg/ha였다. 파종은 2008년 3월 20일에 하였고 발아를 촉진하기 위하여 1주일간 흑색비닐을 멀칭한 후 유식물이 2mm 정도 출현했을 때 비닐을 제거하였다. 질소고정량을 측정하기 위해 각 처리마다 대조구로 보리 단과구를 두었으며 동위원소 회석법에 의한 질소고정량을 측정하기 위하여 4월 15일에 동위원소 처리를 하였는데 99.8원자%  $^{15}\text{N}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  중질소 1kg를 1L의 증류수에 용해하여  $20 \times 30\text{cm}$ 의 방형틀(Qudrat)에 살포하였다. 6월 8일에 콤바인의 식물체를 수확하여 보리와 완두를 분리하여 건조한 후 분쇄하여 분석 시료로 사용하였다.

식물체의 질소고정능력 측정을 위한 동위원소 분석은 안정성 동위원소 질량분석기 Isoprime-EA를 이용하였다. 한편 배치에서 보리로의 이동율은 차이법과  $^{15}\text{N}$ 회석법을 이용하여 산출하였으며 이용률 계산은 여러 학자들이 일반적으로 쓰고 있는 방법을 적용하였다(Chalk, 1996; Chalk, 1998; Lee and Park, 2002). 차이법과 동위원소 회석법을 이용한 질소고정량 추정 및 이의 화분과로 이동은 다음의 식에 의거하여 산출하였다. 이용한 다음의 식에 의거하여 산출하였다. 및 동위원소 회석법에서 사용된 식은 다음의 식에 의거하여 산출하였다.

The N-difference method.

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

$$P_{\text{non-leg}}(\Leftarrow \text{leg}) = N_{\text{leg}}(\Rightarrow \text{non-leg}) / N_{\text{non-leg}}(m)$$

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

$^{15}\text{N}$ -dillution method.

$$P_{\text{non-leg}}(\Leftarrow \text{atm}) = 1 - (E_{\text{non-leg}}(m) / E_{\text{non-leg}}(p)).$$

$$P_{\text{leg}}(\Leftarrow \text{atm}) = 1 - (E_{\text{leg}}(m) / E_{\text{non-leg}}(p)).$$

본 실험의 통계처리는 SAS Ver.9.1 프로그램을 이용하여 최소 유의차 검정(Least Significant Different test; LSD test)을 적용하여 5% 유의수준에서 처리구간의 통계적 차이를 검정하였다.

Table 1. Soil characteristics of experimental plots

	pH	OM	Availa. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exchangeable cation (cmol/kg)			Salinity
	1:5	(g/kg)	(mg/kg)	K	Ca	Mg	ds/m
	6.6	13	292	0.28	7.0	3.2	0.3

### Ⅲ. 결과 및 고찰

Fig. 1은 실험년도의 강수량과 월간 평균 강수량을 비교한 것으로 4월은 다른 유사한 강수량을 나타냈으나 4월은 평균 강수량이 70.7mm 인데 비하여 실험년도는 48.5mm로 평균에 비해 22mm 적었고 5월 역시 월간평균 강수량 91.3mm보다 27mm 적었다. 6월 초는 38mm의 비가 내렸다는 것을 알 수 있다. 기온은 예년과 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 식물체 성장은 4월 27일에서 5월 4일 사이에 절간 및 출수로 20cm 이상 신장하는 것으로 나타났다(자료 미 제시). 그 후는 성장이 중지되어 생식 생장기로 종실에 합성된 영양소가 축적되기 때문인 것으로 사료되었다.

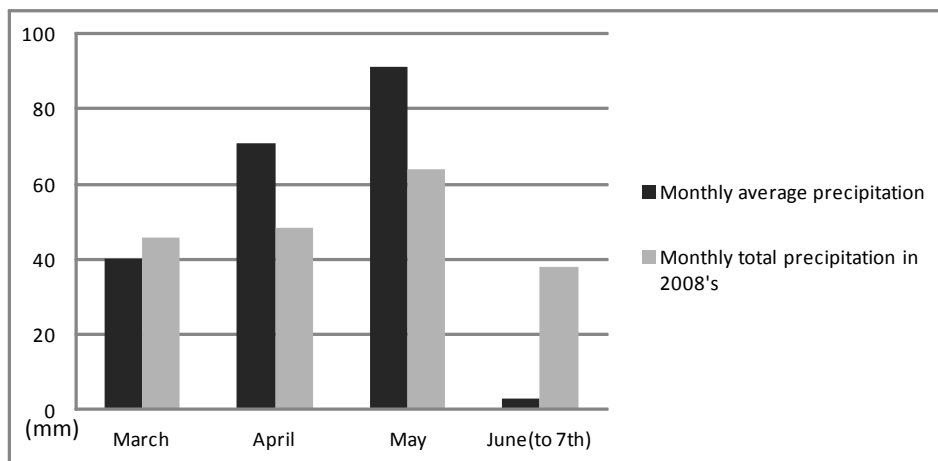


Fig. 1. 2008 and 20 years monthly average precipitation

유기질소 수준을 달리했을 때 건물 및 질소 생산량은 Table 2에서 보는 바와 같다. 80kg 유기질소 시용구가 보리와 완두를 더한 총건물생산량이 8,495kg로 가장 높았다. 이러한 수량은 헤어리벤티와 호밀조합에서 11,000kg과 9,418kg을 나타냈던(Kim 등, 2002) 보고보다는 낮았으나 7,217kg에서 4,466kg을 보였던 Lee(2007) 보다는 높았다. 그러나 120kg 시용구에서는 오히려 수량이 떨어져 40kg시용구와 유사한 수량을 나타냈다. 본보의 수량은 Kim et

al.(2002)에서 연맥과 헤어리벳치의 조합에서 발표한 4,394kg/ha 보다는 높은 수량으로 화학비료를 사용할 때와는 다른 결과였다.

Table 2. N and DM production response to organic N application

Treatment	Barley		Pea		Total		Pr
	DM (kg/ha)	N (%)	DM (kg/ha)	N (%)	DM (kg/ha)	N (kg/ha)	
40kg N	6,792	2.8	77	3.7	6,870	192.4	0.05>
80kg N	8,448	2.7	46	2.4	8,495	232.8	0.05>
120kg N	6,013	3.2	275	2.6	6,289	195.0	0.05>

질소 수량은 기본적으로 건물수량의 관련이 있는 것으로 건물 수량과 직접적인 연관이 있는 데 총단백질 수량은 건물수량과 같이 80kg > 120kg > 40kg 순으로 나타났으나 120kg과 40kg 시용 사이에는 큰 차이가 없었다. 여러 가지 혼파조합과 질소시비 수준을 달리한 시험에서 완두와 보리를 혼파한 조합이 완두 단파에 비해 낮은 시용질소 회수율(48% : 58%)을 나타냈으며 질소다비(窒素多肥) 보다 낮은 회수율(48% : 26%)을 나타냈다고 한다(Andersen, 2004). 본 실험에서는 처리간 건물수량과 질소함량 그리고 총질소함량은 통계적으로 유의차가 발견되지 않았다.

Table 3. N derived from the atmosphere (Ndfa) with different organic N level

	Barley ( <sup>15</sup> N atom% Excess)	pea ( <sup>15</sup> N atom% Excess)	Fixation from atmosphere (%)
40kg N	0.0298	0.0277	24.6
80kg N	0.0432	0.0345	23.4
120kg N	0.0061	0.0398	0

\* Ndfa=(1-atom% Nexcess legume/atom% Nexcess grass)×100

Table 3은 보리·완두 혼파 시 유기질소 수준을 달리 했을 때의 공중질소 고정율을 나타낸 것이다. 40kg N은 24.6%, 80kg N은 23.4%가 공중질소 고정으로부터 유래하였다. 120kg N 시용구는 마이너스 값을 나타냈으나 0으로 처리하였다. 이탈리아인 라이그라스와 크림손 클로버 혼파조합에서 42%, 연맥+완두 93%라고 발표한 Lee(2007)의 결과 보다 낮았다.

동위원소 자연 존재비를 이용한 완두연구에서 개화 시 65%에서 92%이었고 성숙기에 26%에서 81% 보였다는 연구결과(Hauggaard and Nielsen, 2010)가 있는 반면 51% 내외를 나타냈다는 보고도 있다(Riesinger, 2010). 완두의 근권 10~20cm에 있는 뿌리는 질소의 6.74%

가 공중질소 고정에서 유래했다고 하였고(Geijersstam and Martensson, 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) 본 연구가 수년간에 걸쳐 진행될 필요성을 제기하고 있다.

Table 4. Estimate of N transfer from legumes to forage grasses

Treatment	Method	Botanical Composition (G:P)	TN	Transfer rate	Transfer amount (kg/ha)	Pr
40kg/ha	Difference <sup>15</sup> N	99 : 1	192.4	0.218 0.246	41.9 47.3	0.05>
80kg/ha	Difference <sup>15</sup> N	99.5 : 0.5	232.2	0.296 0.214	68.6 79.7	0.05>
120kg/ha	Difference <sup>15</sup> N	95.7 : 4.3	195.0	0.476 —	92.8 —	0.05>

\* G: Barley, P: Pea, \*\* TN: Total Nitrogen. Difference: Difference Method, <sup>15</sup>N: <sup>15</sup>N dilution method

차이법과 중질소 시용법을 이용한 유기질소 시용 수준별 화분과로의 질소 이동율은 Table 4에서 보는 바와 같다. 유기질소 40kg N 시용구에서는 21.8% 및 24.6% 가 보리로 이동된 것으로 나타났고 ha당 이동 총량은 41.9kg 및 47.3kg으로 계산 되었다. 그리고 80kg 시용구 역시 29.6% 및 21.4%가 보리로 이동되어 결과적으로 68.6kg 및 79.7kg/ha에 이르는 것으로 환산되었다. 한편 120kg N 시용구에서는 차이법에서만 47.6%가 이동되었고 동위원소 시용구에서는 이동된 질소가 전무한 것으로 확인되었다. 수확 시 보리와 완두의 식생비율이 0.5%에서 4% 사이였고 이것이 총질소량 및 질소고정율 및 이동량에 영향을 미친 것으로 판단된다. 처리간 질소 이동율 및 이동량도 통계적 유의성은 인정되지 않았는데 이는 반복간 동위원소 분석치의 변이가 너무 커서 계산값이 0으로 처리된 반복구 때문으로 판단되었다.

이와 같은 결과는 18kg/ha 미만이 이동 되었다는 Haby et al.(2006) 보다는 많았으나 Lee (2007)가 이동율이 차이법 적용시 61%에서 36% 사이였고 동위원소 법에서 24%를 보고하여 동위원소법이 차이법 보다 적은 이동율 및 이동량을 나타낸 것과는 다른 결과였다. 다른 연구자는 본 연구결과와는 다르게 동위원소 희석법이 차이법보다 오히려 높은 질소 고정율을 나타냈다고 하였다(Geijersstam and Martensson, 2006). Lee et al.(2005)는 보리와 벳치 혼파포장에서 본 연구결과 보다 높은 고정율, 이동율 그리고 이동량을 보고하였다. 다만 동위원소 희석법을 적용했을 때 질소 150kg 시용구에서는 고정율이 음(-)의 값 낸 본 시험 결

과와 같았다. 질소 고정율이 음(-)의 값을 갖는 경우 공중질소 이용률을 0으로 표시한 바 있으며(Geijersstam and Martensson, 2006) 본 연구에서도 같은 방법으로 표시하였다. 한편 이러한 질소이동은 고정한 질소가 직접적으로 인접 화분과 작물에 이동되는 것이 아니라 현존하는 두과작물이나 포장에 있는 고사체로부터 온 것이라는 주장이 있으며 이러한 결과는 파종 초년도 보다 그 이듬해에 더 많은 질소가 이동되었다고 주장한 보고도 있다(Stern, 1993). 따라서 한 계절이 아닌 수년간의 연구 결과를 통한 이동율 및 이동량 산출이 바람직한 것으로 사료된다.

#### IV. 요약

본 연구는 보리와 완두 혼파 포장에서 유기질소질 비료의 사용 수준이 건물생산성, 질소 고정 그리고 이동율 및 이동량을 측정하기 위하여 실시하였다. 처리는 유기질소 40kg, 80 kg, 그리고 120kg/ha의 3처리와 질소고정 측정을 위해 대조구로 보리단과구를 각 처리마다 배치하였다. 난피법 3처리 3반복으로 처리하여 3월부터 6월까지 재배하였다. 보리는 40kg/ha와 완두 80kg/ha를 파종 후 발아를 촉진하기 위하여 흑색 비닐을 멀칭하였다. 질소 고정을 측정하기 위하여 99.8원자% 15N(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>를 4월 15일 ha당 1kg 수준으로 증류수에 혼합하여 30×20cm 쿼드랏에 시용 하였다. 공중질소 고정율은 32.4%에서 0% 사이였다. 보리에서 완두에로의 질소 이동률은 차이법에서 47.6%에서 21.8% 사이 그리고 동위원소 희석액 처리법에서 24.6%와 21.4%를 나타냈다. 이동량은 차이법에서 92.8kg/ha에서 41.9kg/ha 및 49.7kg 반면 120kg N 유기질 사용구는 동위원소희석법에서는 질소이동이 일어나지 않은 것으로 나타났다. 결론적으로 유기질 비료의 증가에 따른 두과작물의 공중질소고정 향상, 화분과 작물로의 질소이동효과가 분명하지 않았다.

[논문접수일 : 2013. 6. 11. 논문수정일 : 2013. 7. 2. 최종논문접수일 : 2013. 7. 6.]

#### Reference

1. Andersen Mette Klindt, Henrik Hauggaard-Nielsen, Per Ambus, and Erik Steen Jensen. 2004. Plant and Soil. 266: 273-187.
2. Bertilsson, J., R. J. Dewhurst, and M. Teuori. 2001. Effects of legume silages on feed intake, milk production and nitrogen efficiency. Landbauforschung Volkenrode. 234: 39-45.

3. 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.
4. Crutzen, P. J., A. R. Moiser, K. A. Smith, W. Winiwarter. 2008. N<sub>2</sub>O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Chem Phys* 8: 389-359
5. Geijerstam Linda and Anna Martensson. 2006. Nitrogen fixation and residual effects of field pea intercropped with oats. *Acta Agriculture Scandinavica Section b-Soil and Plant Science* 56: 186-196.
6. Giambalvo Dario and Paolo Ruisi. 2010. Forage production, N uptake, N<sub>2</sub> 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.
7. Haby Vincent A., Stephen A. Stout, Frank M. Hons, and T. Leonard. 2006. Nitrogen Fixation and Transfer in a Mixed Stand of Alfalfa and Bermudagrass. Published in *Agron. J.* 98: 890-898.
8. Hauggaard-Nielsen H., L. Holdensen, D. Wulfsohn, and E. S. Jensen. 2010. Spatial variation of N<sub>2</sub>-fixation in field pea (*Pisum sativum* L.) at the field scale determined by the <sup>15</sup>N natural abundance method. *Plant Soil*. 327: 167-184.
9. Kim. J. G., S. H. Yoon, E. S. Chung, Y. C. Lim, S. Seo, J. H. Seo, and S. J. Kim. 2002. Effect of Seeding Method and Mixing Ratio on the Quality and Productivity of Rye-Hairy Vetch Mixture. *J. Korean Grassl. Sci.* 22(4): 233-240.
10. Kim, Jong Duk. 2011. The Present Status and Invigoration of Organic Husbandry using Organic Forage Production in Korea. Korean Association of Organic Agriculture's 2011 Conference Reference Book.
11. Lee, Hyo Won. 2007. Nitrogen Fixation of Legumes and Transfer to Grasses in Spring Paddy Soil. *J. Korean Grassl. Sci.* 27(3): 167-172.
12. Lee, Hyo Won, W. H. Kim, H. S. Park, H. J. Go, and S. G. Kim. 2005. Effect of N Application Rate on Fixation and Transfer from Vetch to Barley in Mixed Stands. *J. Korean Grassl. Sci.* 25(1): 1-6.
13. Lee, Hyo Won and H. S. Park. 2002. Nitrogen Fixation of Legumes and Cropping System for Organic Forage Production. Korean Association of Organic Agriculture. 10: 51-63.
14. Mehmet Sincik and Achikgoz Esvet. 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.



15. Palmborg, C., M. Scherer-Lorenzen, A. Jumpponen, G. Carlsson, K. Huss-Danell, and P. Hogberg. 2005. Inorganic soil nitrogen under grassland plant communities of different species composition and diversity. *Oikos*, 110: 271-282.
16. Peoples, M. B., A. W. Faizah, B. Rerkasem, and D. F. Herridge. 1988. *Methods for Evaluating Nitrogen Fixation by modulated Legumes in the field* (Eds.). ACIAR. Canberra. Australia.
17. Riesinger P. and I. Herzon. Symbiotic nitrogen fixation in organically managed red clover-grass leys under farming conditions. 2010. *Soil and Plant Science*. 60: 517-528.
18. Sakai Rogerio Haruo, Edmilson Jose Ambrosano, Ana Clarissa Alves Negrini, Paulo Cesar Ocheuze Trivelin, Eliana Aparecida Schammas, and Paulo Cesar Tavares de Melo. N transfer from green manures to lettuce in an intercropping cultivation system. *Maringa*. 33(4): 679-686.
19. Stern W. R. 1993. Nitrogen Fixation and transfer in intercrop systems. *Field Crops Research*. 34: 335-356.
20. Vinther, F. P. 2006. Effects of cutting frequency on plant production, N-uptake and N<sub>2</sub> fixation in above and below-ground plant biomass of perennial ryegrass-white clover swards. *Grass and Forage Science*, 61: 154-163.