Effect of Barley and Hairy Vetch as Green Manures on Soil Nitrogen and Corn Productivity

Sung Un Kim^{1†}, Eun Sang Jung^{2†}, Hyun Ho Lee¹, Jang Seong Ho², and Chang Oh Hong^{1,3*}

¹Department of Life Science & Environmental Biochemistry, Pusan National University 1268-50 Miryang 54063, Korea

²Department of Bioenvironmental Energy, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

³Life and Industry Convergence Research Institute, Pusan National University, Miryang 50463, Korea

*Corresponding author: soilchem@pusan.ac.kr

†Both authors equally contributed to this work.

ABSTRACT

Received: July 13, 2018

Revised: November 20, 2018

Accepted: November 28, 2018

The utilization of green manures as alternatives to reduce the use of chemical fertilizers is considered a good agricultural practice. So far, many studies on determining effect of incorporation of green manure to paddy soil on change of rice productivity have been conducted in South Korea. However, there have been few studies on examining soil nitrogen (N) and corn productivity in upland soil incorporated with green manure. The objective of this study was to determine effect of single or mixture incorporation of green manures (hairy vetch and barley) to an upland soil on changes of inorganic N in soil and grain yield of corn plant. Single barley (B), single hairy vetch (HV), and mixture of barley and hairy vetch (B+HV) were sown on 2nd November in 2013 and incorporated to an upland soil on 12th May in 2014. Corn plant was sown on 12th May in 2014 and harvested on 25th August in 2014. Above ground, below ground, and total biomass yields of HV were significantly lower than those of B and B+HV. Even though N concentration in HV was the highest among the treatments, total N input amounts to the soil were not significantly different among the treatments due to the lowest biomass yield of HV. Also, there was no significant difference among the treatments in NH_4^+ and NO_3^- concentration in soil at corn harvest time. For those reason, there was no significant difference among the treatments in grain yield and N uptake of corn plant at harvest time. Based on the above results, single or mixture of B and HV did not affect changes of soil inorganic N and corn productivity in upland soil.

Keywords: Ammonium, Biomass yield, Incorporation, Nitrate, Upland soil

Grain yield response of corn plant to green manures incorporation at harvest time.

Introduction

풋거름작물은 작물이 푸를 때 토양으로 환원하여 비료로 이용하는 작물로서 무기질비료를 대체할 목적으로 저투입 농법이나 유기농법에서 많이 사용되고 있다. 풋거름작물을 토양으로 환원하면 무기질비료의 절감, 토양유실경감, 잡초방제, 경관조성 등 다양한 효과를 볼 수 있다. 또한 풋거름작물은 토양에 유기물을 환원함으로써 토양의 이화학적 특성을 개선하는데 효과적이다 (Clark, 2007; Cho et al., 2016; Cho et al., 2017).

우리나라의 대표적인 풋거름작물은 청보리, 호밀, 헤어리베치, 자운영, 클로버 등이 있으며 이들 풋거름작물들은 주로 동절기에 재배되어 이듬해 봄에 토양으로 환원하여 주작물의 영양분 공급에 이용된다. 풋거름작물은 크게 화본과와 두과로 분류할 수 있으며 풋거름작물의 종류에 따라 생체수량과 질소의 함량이 다르다. 화본과에 속하는 청보리, 호밀 등은 생육속도가 빨라 생체수량이 높은 반면 질소의 함량이 낮다. 반면, 두과에 속하는 헤어리베치, 자운영, 클로버 등은 생육속도가 늦어 생체수량이 낮지만 질소의 함량이 높아 주작물에 양분을 공급하는 효과가 높다.

정부의 그린코리아 정책과 무기질비료의 가격상승 등으로 풋거름작물의 재배면적이 점차 증가하는 추세이다. 이에 따라 국내에서 풋거름작물의 이용에 관한 많은 연구가 수행되었다 (Seo and Lee, 2005; Cho et al., 2011; Jeon et al., 2011; Kang et al., 2011; Jeon et al., 2012; Choi et al., 2017). 이전의 연구 중 Cho et al. (2011)은 녹비보리와 헤어리베치 토양투입에 따른 벼 수량 및 토양특성을 조사한 연구에서 쌀 수량은 헤어리베치 단파구 > 청보리+헤어리베치 혼파구 > 청보리 단파구의 순으로 높았으며 토양의 공극률은 풋거름작물 처리구에서 무기질비료 처리구 보다 높았다고 보고하였다. 중부지역 답리작에서 두과 및 화본과 풋거름작물의 재배방법에 따른 풋거름작물의 질소함량이 벼 수량에 미치는 영향을 조사한 연구에 따르면 화본과인 호밀은 생체수량은 많으나 질소의 함량이 낮아 쌀 수량이 낮았으며 두과인 크립손클로버, 자운영은 생체수량이 적어서 무기질 비료를 대체하기에 부적합하다고 보고하였다 (Jeon et al., 2011).

현재까지 국내에서 수행된 연구들은 주로 풋거름작물의 이용에 따른 벼의 수량 및 토양환경 개선효과에 국한되었다. 일부 헤어리베치의 환원에 따른 옥수수의 생육 및 토양질소에 관한 연구가 수행되었으나 화본과와 두과의 풋거름작물의 단파 혹은 혼파에 따른 옥수수의 수량 및 토양질소에 관한 연구는 수행되지 않았다. 따라서 본 연구는 밭토양 조건에서 풋거름작물 중 화본과인 청보리와 두과인 헤어리베치의 단파 및 혼파에 따른 토양의 질소 및 옥수수의 수량 변화를 조사하여 국내 풋거름작물 관련 연구에서 부족한 정보를 제공하고자 실시되었다.

Materials and Methods

공시토양 특성 해당 연구는 경남 밀양시 부북면 오례리에 소재하는 부산대학교 부속농장의 밭토양 (35°30'07.6"N 128°43'16.0"E)에서 실시되었다. 공시토양은 용지통에 속하며 점토, 미사, 모래의 함량은 각각 12.1%, 44.5%, 43.4%로 토성은 양토이었다. pH는 6.5, 유기물 함량 15.6 g kg⁻¹, 총질소 함량은 1.03 g kg⁻¹이었다. 자세한 공시토양의 화학적 특성은 Table 1에 나타냈다.

Table 1. Chemical properties of the studied soil.

pH (1:5, H ₂ O)	Organic matter (g kg ⁻¹)	Total nitrogen (g kg ⁻¹)	Available P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exchangeable cations (cmol _c kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
6.70	15.6	1.03	112	0.44	5.32	1.22

시험포장 및 재배관리 시험포장에 동절기 기간 동안 청보리와 헤어리베치를 재배한 다음 토양에 환원한 뒤 옥수수를 재배하였다. 처리내용은 청보리 (B), 헤어리베치 (H), 청보리+헤어리베치 (B+H)의 3개 처리를 두었다. 풋거름 작물의 파종량은 청보리 180 kg ha^{-1} , 헤어리베치는 90 kg ha^{-1} 로 파종하였고 청보리+헤어리베치 혼파처리구는 청보리 90 kg ha^{-1} 과 헤어리베치 45 kg ha^{-1} 을 혼합하여 파종하였다 (Tosti et al., 2012). 풋거름 작물의 파종은 2013년 11월 2일에 실시하였으며, 이듬 해 2014년 5월 12일에 토양으로 환원하였다. 옥수수는 풋거름 작물의 환원과 동일한 일자에 파종하였으며 2014년 8월 25일에 수확하였다. 모든 처리구에 N, P, K 비료는 시비하지 않았다. 각 처리구의 크기는 $3.8 \times 4.5 \text{ m}$ (17.1 m^2)로 난괴법 (Randomized complete block design) 3 반복하였으며, 풋거름 작물 환원 시 경운 로터리실시와 함께 두둑을 설치하였다.

토양 및 식물체 조사 토양 내 무기태 질소 분석 방법은 다음과 같이 수행하였다. 토양 건조시료 5 g 에 25 mL 의 2 M KCl 을 넣고 30분 동안 진탕한 후 Whatman No. 2로 여과하여 침출액을 각각의 실험에 이용하였다. 암모늄태 질소 ($\text{NH}_4\text{-N}$)는 비색법 (Searle, 1984)으로 측정하였다. 침출액 2 mL 에 EDTA 용액을 0.5 mL , Salicylate 용액을 2 mL , Hypochlorite 용액 1 mL , 증류수 7 mL 을 넣고 혼합한 후 37°C 에 30분간 중탕시킨 후 UV/VIS Spectrophotometer (Optizen 3220UV, Mecasy Co. Ltd, Korea)를 이용하여 667 nm 의 파장에서 측정하였다. 질산태 질소 ($\text{NO}_3\text{-N}$)는 brucine 법 (Wolf, 1944)으로 측정하였다. 침출액 5 mL 에 $30\% \text{ NaCl}$ 1 mL 와 $5 \text{ mL H}_2\text{SO}_4$ ($4:1$, $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}$)을 넣고 혼합한 후 10분간 수냉하고 brucinesulfanilic acid 0.25 mL 를 넣고 혼합한 후 90°C 에 20분간 중탕시킨 후 수냉하였다. 충분히 식힌 다음 UV/VIS Spectrophotometer를 이용하여 410 nm 의 파장에서 측정하였다.

풋거름작물은 토양환원 전에 1 m^2 의 면적에서 지상부와 지하부를 수확하고 세척하여 80°C 에서 48시간 건조 후 건물중을 측정하였다. 풋거름작물의 지하부 시료는 옥수수가 정식된 위치에서 100 mL 스테인레스 코어 캔을 이용하여 시료 채취한 후 건조하여 용적밀도를 계산하였다. 세척과 여과 과정을 통해 옥수수 지하부 시료만 채취하여 건조 후 건물중량을 구한 뒤 단위면적 당 지하부 수량을 계산하였다. 옥수수는 수확기에 한 처리구 내 9주를 채취하여 알곡을 분리 후 풋거름작물과 동일한 방법으로 건물중을 측정하였다.

식물체의 질소분석을 위해 건조된 시료를 Wiley mill (Thomas-Wiley Mill Co., Philadelphia, PA) 분쇄기로 분쇄 후 1-mm 체로 걸러낸 후 Udy-cyclone impact mill (Udy Co., Ft. Collins, CO) 분쇄기로 다시 분쇄하였다. 곱게 분쇄된 0.3 g 의 시료를 황산 (H_2SO_4)으로 강열 분해 후 킨달질소분석기 (Semiautomatic kjedahl distiller, Pro-Nitro S 4002851, J.P.Selectra, Spein)를 이용하여 식물체 내 질소 함량을 측정하였다.

통계분석 통계분석은 Statistix 통계프로그램 (버전 9.0)을 이용하여 실시하였다 (Statistix, 2008). 처리 간의 차이를 비교하기 위하여 조사된 자료는 ANOVA 검증을 통하여 분석하였다. F-test 결과 값이 $P < 0.05$ 의 범위에서 유의한 경우에만 최소유의차 검정 (LSD)을 실시하였다.

Results & Discussion

풋거름작물을 토양에 환원하기 전 생체수량을 조사한 결과, 지상부, 지하부, 총 생체수량 모두 청보리 단파구와 청보리+헤어리베치 혼파구에서는 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 헤어리베치 단파구에서는 모든 생체수량이 두 처리구에 비해 유의하게 낮게 나타났다 (Fig. 1). 청보리에 비해 헤어리베치의 생체수량이 유의적으로 낮은 이유는 두

꽃거름작물의 생육속도의 차이에서 기인된 것으로 판단된다. 두과작물인 헤어리베치의 경우 초기의 생육속도가 늦어 청보리 단파구와 청보리+헤어리베치 혼파구에 비해 총 생체수량이 낮은 것으로 판단된다.

헤어리베치의 지상부와 지하부 내 질소의 함량은 청보리 단파 및 청보리+헤어리베치 혼파에 비해 유의하게 높게 나타났다 (Table 2). 두과작물에 속하는 헤어리베치는 뿌리혹박테리아와 공생관계를 이루어 대기 중 질소를 고정함으로써 식물체 내 질소의 함량이 청보리에 비해 높은 것으로 판단된다. 특히, 헤어리베치 지상부 내 질소 함량은 청보리의 지상부 내 질소 함량에 비해 약 2배 가량 높았으나 헤어리베치 지하부 내 질소 함량은 청보리의 지하부 내 질소 함량에 비해 약 6배 가량 높은 것으로 나타났다.

Fig. 1. The above ground (A), below ground (B), and total (C) biomass yield of green manures.

Table 2. Nitrogen concentration in the above ground and below ground biomass of green manure and N input amount from green manure (Values with same letter within a column are significantly different a $p < 0.05$).

Green manure	N concentration (g kg^{-1})		N input (kg ha^{-1})		
	Above	Below	Above	Below	Total
Barley	12.6 ^b	2.57 ^b	10.3 ^a	0.64 ^a	10.9 ^a
Hairy vetch	29.4 ^a	15.1 ^a	10.5 ^a	0.57 ^a	11.1 ^a
Barley + Hairy vetch	14.2 ^b	4.15 ^b	12.4 ^a	0.85 ^a	13.3 ^a

꽃거름작물을 토양으로 환원하기 전 ha 면적 당 질소의 투입량을 조사한 결과, 모든 처리구의 질소 투입량은 유의한 차이가 없었다 (Table 2). 헤어리베치 내 질소의 함량이 청보리와 청보리+헤어리베치 혼파에 비해 높았음에도 불구하고 총 질소의 투입량이 다른 처리구에 비해 높지 않은 이유는 낮은 생체수량 때문으로 판단된다 (Fig. 1). 비록 통계적 유의한 차이는 없었으나 총 질소투입량의 평균수치는 헤어리베치+청보리 혼파구 > 헤어리베치 단파구 > 청보리 단파구의 순으로 높았다. 본 연구와 다소 다른 연구결과가 Cho et al. (2011)에 의해 보고되었다. 해당 연구에 따르면 헤어리베치 단파구의 생체수량과 질소의 투입량은 보리 단파구와 보리+헤어리베치 혼파구에 비해 유의하게 높았다. 또한 꽃거름작물의 생체수량은 $3.44\text{--}5.59 \text{ Mg ha}^{-1}$ 에 달하여 본 연구의 꽃거름작물 생체수량인 $0.41\text{--}1.09 \text{ Mg ha}^{-1}$ 보다 높게 나타났다. 본 연구에서 헤어리베치 및 다른 꽃거름작물 처리구의 낮은 생체수량은 늦은 파종시기 (11월 초)에 따른 발아 지연 및 생육기간 감소에 의한 것으로 판단된다.

꽃거름작물의 환원을 통한 토양 무기태 질소의 변화를 조사하기 위해 옥수수 수확기 토양 내 암모니아태 질소 (NH_4^+)와 질산태 질소 (NO_3^-)의 함량을 분석하였다. 꽃거름작물의 처리에 따른 토양 내 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 함량은 유의한 차이가 없었다 (Fig. 2). 처리구 간 토양 내 무기태 질소의 함량에 유의한 차이가 없었던 이유는 꽃거름작물의 환원을 통해 유사한 양의 질소가 토양으로 투입되었기 때문으로 판단된다 (Table 2). 비록 통계적 유의한 차이는 없었으나 NH_4^+ 와 NO_3^- 의 평균 함량은 헤어리베치 단파구에서 청보리 단파구와 청보리+헤어리베치 혼파구에 비해 높았다. 꽃거름작물의 토양 환원 후 헤어리베치가 청보리 보다 빨리 분해되어 상대적으로 높은 토양 내 무기태 질소의 함량을 나타낸 것으로 판단된다 (Seo and Lee, 2003; Lee et al., 2006; Sung et al., 2008).

옥수수 수확기 토양 내 NO_3^- 의 함량은 $1.27\text{--}1.93 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 NH_4^+ 의 함량 $10.0\text{--}11.9 \text{ mg kg}^{-1}$ 보다 낮게 나타났다 (Fig. 2). 대부분의 식물은 NH_4^+ 와 NO_3^- 를 모두 잘 흡수 및 이용하나 벼와 차나무는 NH_4^+ 형태의 무기태 질소를 잘 흡

Fig. 2. NH_4^+ (A) and NO_3^- (B) concentration in soil incorporated with different green manures at corn harvest time.

수하는 편이고 옥수수와 같은 대부분의 밭작물은 NO_3^- 형태의 무기태 질소를 잘 흡수한다 (Lim, 2005). 이러한 이유로 옥수수 수확기 토양 내 NO_3^- 형태의 무기태 질소가 NH_4^+ 보다 적은 양으로 존재한 것으로 판단된다. 질소는 식물의 생육과 생식에 중요한 역할을 한다. 또한 질소는 식물의 생리적 및 생화학적 작용에 중요한 역할을 한다. 질소는 식물체 내 효소, 엽록소, 핵산, 세포벽 등의 중요한 구성원소가 된다 (Hull and Liu, 2005; Bauer et al., 2012). 따라서 토양 내 무기태 질소의 함량은 작물의 수량을 결정짓는 중요한 요인 중에 하나가 될 수 있다. 현재까지 여러 연구에서 옥수수의 수량은 질소의 시비량 증가에 따라 증가한다고 보고되어왔다 (Liang and MacKenzie, 1994; Eghball and Power, 1998; Al-Kaisi and Yin, 2003; Paolo and Rinaldi, 2008). 본 연구에서 옥수수 알곡의 수량은 풋거름작물의 처리에 따라 유의한 차이가 나타나지 않았다 (Fig. 3). 비록 통계적으로 유의한 차이는 없었으나, 옥수수 수량의 평균수치는 헤어리베치 단파구에서 청보리 단파구와 청보리+헤어리베치 혼파구에 비해 높게 나타났다. 이러한 경향은 토양 내 NH_4^+ 와 NO_3^- 함량의 경향과 유사하게 나타났다. 토양 내 무기태 질소의 함량과 옥수수 알곡의 수량은 유의한 관계가 있었으며 특히 수확기 토양 내 NO_3^- 의 함량과 옥수수의 알곡수량의 상관관계 계수는 0.718 ($p < 0.01$) 으로 NH_4^+ 의 함량과의 상관관계 계수 0.596 ($p < 0.05$) 보다 높게 나타났다.

Fig. 3. Grain yield response of corn plant to green manures incorporation at harvest time.

Fig. 4. Nitrogen concentration in grain of corn at harvest time.

수확기 옥수수 알곡 내 질소의 함량은 풋거름작물의 처리에 따라 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다 (Fig. 3). Table 2와 Fig. 2에 나타난 바와 같이, 유사한 양의 질소가 풋거름작물의 환원을 통해 투입되어 토양 내 무기태 질소의 함량도 유사한 농도로 존재하였다. 따라서 옥수수의 질소 흡수량도 풋거름작물의 처리에 따른 유의한 차이가 나타나지 않은 것으로 판단된다.

Conclusion

헤어리베치 내 질소의 함량이 청보리 단파와 청보리+헤어리베치 혼파에 비해 유의하게 높았음에도 불구하고 헤어리베치의 생체수량이 두 처리구에 비해 유의하게 낮아 풋거름작물을 토양으로 환원 시 투입되는 질소의 양은 풋거름작물 종류별 유의한 차이가 없었다. 또한 옥수수 수확기 토양 내 무기태 질소의 함량은 풋거름작물 처리구 간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 이러한 이유로 청보리 단파, 헤어리베치 단파, 청보리+헤어리베치 혼파에 따른 옥수수의 알곡수량과 옥수수의 질소흡수량은 유의한 차이를 나타내지 않았다. 본 연구의 결과를 바탕으로 볼 때, 청보리, 헤어리베치의 단파 혹은 청보리+헤어리베치 혼파 처리방법은 각 풋거름작물 처리구간 토양의 무기태 질소 함량과 옥수수의 생산성에 큰 영향을 미치지 않은 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was supported by a 2-Year Research Grant of Pusan National University.

References

- Al-Kaisi, M.M. and X. Yin. 2003. Effects of nitrogen rate, irrigation rate, and plant population on corn yield and water use efficiency. *Agron. J.* 95(6):1475-1482.
- Bauer, S., D. Lloyd, B.P. Horgan, and D.J. Soldat. 2012. Agronomic and physiological responses of cool season turfgrass to fall-applied nitrogen. *Crop Sci.* 52:1-10.
- Cho, H., M. Seo, J. Kim, W. Sang, P. Shin, and G.H. Lee. 2017. Effects of spring seeding on growth and carbon uptake of clover species in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(6):644-652.
- Cho, H., M. Seo, T. Park, J. Kim, W. Sang, P. Shin, and G.H. Lee. 2016. The effect of soil textures on the flowering characteristics and green manure yield of crimson clover (*trifolium incarnatum* L.) in upland soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):705-711.
- 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. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(4):703-709.
- Choi, J., M. Kim, J. Ryu, K.S. Kim, S. Kim, and K. Park. 2016. Effect of legume cover crops and nitrogen fertilization rates on yield and nitrogen use efficiency of waxy corn (*Zea mays* L.) in no-tillage system. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(5):531-540.
- Clark, A. 2007. Managing cover crops profitably (third edition). Sustainable agriculture network. MD, USA.
- Eghball, B., J.F. Power. 1998. Composted and noncomposted manure application to conventional and no-tillage systems: corn yield and nitrogen uptake. *Agron. J.* 91(5):819-825.
- Hull, R.J. and H. Liu. 2005. Turfgrass nitrogen: Physiological and environmental impacts. *Int. Turfgrass Soc. Res. J.*

10:962-975.

- Jeon, W.T., K.Y. Seong, G.J. Oh, H.B. Lee, M.T. Kim, Y.H. Lee, U.G. Kang, S.J. Kim, and H.W. Kang. 2012. Effect of growth and yield of wheat, soil properties on leguminous cover crops-wheat mixtures. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:198-203.
- Jeon, W.T., K.Y. Seong, M.T. Kim, I.S. Oh, B.S. Choi, and U.G. Kang. 2011. Effect of biomass and N production by cultivation methods of leguminous and gramineae green manures on rice growth in central regions of Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:853-858.
- Kang, S.W., D.C. Seo, J.H. Han, Y.J. Seo, S.G. Lee, I.W. Choi, W.T. Jeon, U.G. Kang, J.S. Heo, and J.S. Cho. 2011. Effect of mixed cultivation with green manure crops and liquid pig manure on rice growth. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:1095-1102.
- Lee, I.B., J.M. Park, J.H. Lim, and K.S. Hwang. 2006. Growth and yield response of the following tomato crop according to incorporation of green manures into soil. *Korean J. Environ. Agric.* 25(4):346-351.
- Liang, B.C. and A.F. MacKenzie. 1994. Corn yield, nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. *Can. J. Soil Sci.* 74(2): 235-240.
- Lim, S.U. 2005. *Fertilizer Science*. Seoul: Ilsinsa. pp. 31.
- Paolo, E.D. and M. Rinaldi. 2008. Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 105:202-210.
- Searle, P.L. 1984. The Berthelot or indophenol reaction and its use in the analytical chemistry of nitrogen. A review. *Analyst.* 109:549-568.
- Seo, J.H. and H.J. Lee. 2003. Soil mineral nitrogen uptake and corn growth from hairy vetch with conventional and no-tillage system. *Korean J. Crop Sci.* 48(5):381-387.
- Seo, J.H. and H.J. Lee. 2005. Effect of hairy vetch green manure on nitrogen enrichment in soil and corn plant. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38(4):211-217.
- Sung, J.K., S.M. Lee, J.A. Jung, J.M. Kim, Y.H. Lee, D.H. Choi, T.W. Kim, and B.H. Song. 2008. Effects of green manure crops, hairy vetch and rye, on N supply, red pepper growth and yields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41(4):247-253.
- Tosti, G., P. Benincasa, M. Farneselli, R. Pace, T. Tei, M. Guiducci, and K. Thorup-Kristensen. 2012. Green manuring effect of pure and mixed barley - hairy vetch winter cover crops on maize and processing tomato N nutrition, *Eur. J. Agron.* 43:136-146.
- Wolf, B. 1944. Determination of nitrate, nitrite, and ammonium nitrogen. Rapid photometric determination in soil and plant extract. *Ind. Eng. Chem. Anal. Ed.* 16:446-447.