ISSN 0367-6315 (Print) / ISSN 2288-2162 (Online)
Korean J. Soil Sci. Fert. 49(3), 282-286 (2016)
http://dx.doi.org/10.7745/KJSSF.2016.49.3.282

Article

Effect of Pig Manure Compost or Sucrose Application on Recovering Chinese Cabbage from Ammonium Toxicity

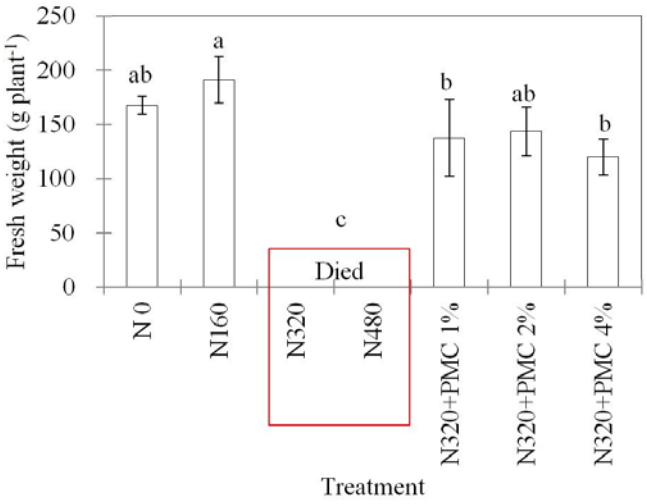
Hyun-Hwoi Ku* and Seung-Hwan Kim[1]

Climate Change Research Center, Hankyong National University, 327 Chungang, Anseong, Gyeonggi, 17579, Republic of Korea
[1]J&B Engineering Co., Ltd., S-27, Garden5 Tool 9F, Chungmin-ro 10, Songpa, Seoul, Republic of Korea

(Received: April 19 2016, Revised: June 22 2016, Accepted: June 23 2016)

This study was carried out to evaluate the effect of application of urea and combination of urea and pig manure compost (PMC) on the occurrence of and the recovery from ammonium (NH_4^+) toxicity in Chinese cabbage. To identify NH_4^+ toxicity of the crop four levels of urea at 0, 160, 320, and 480 kg N ha^{-1} were applied, in addition, three levels of PMC at 10, 20, and 40 M/T ha^{-1} was also applied with urea 320 kg ha^{-1}. For recovery NH_4^+ toxicity, six levels of sucrose were treated at the amount of 0, 600, 1,200, 1,800, 2,400, and 3,000 kg C ha^{-1} at each level of combining treatments of urea and PMC. Our results showed that NH_4^+ toxicity was occurred at every urea application of 320 kg N ha^{-1} regardless of PMC applied to the soils because NH_4^+ contents in the soils were more than 155 mg kg^{-1} which was found to be the critical level to damage crop growth at 2 days after transplanting (DAT) in this experiment, the more sucrose was applied up to 1,800 kg C ha^{-1} for the plants damaged by ammonium toxicity occurred at 320 kg N ha^{-1}, the greater extents recover the plants from the toxicity. PMC showed the similar effect with sucrose on recovering Chinese cabbage plants from NH_4^+ toxicity at 30 DAT.

Key words: Pig manure compost, C/N ratio, Ammonium toxicity, NH_4^+, Sucrose



PMC had similar effect with sucrose on recovering the Chinese cabbage from NH_4^+ toxicity which had occurred at the level of 155 mg kg^{-1} NH_4^+-N in soil.

*Corresponding author: Phone: +821035753751, Fax: +82316705089, E-mail: seanku@hknu.ac.kr

Introduction

질소비료는 작물 생산성을 증가시키는 필수 원소이나 질소비료의 종류와 형태 및 시비량에 따라 생산성이 달라지며, 과량의 암모니아태 질소비료 및 미부숙된 유기질 비료가 토양에 시용되면 NH_4^+ 농도가 증가되어 작물 생산성을 감소시킨다.

토양 중 NH_4^+ 농도가 일정농도 이상 증가되면 암모니아 독성을 유발한다. 토양중의 NH_4^+는 시간이 경과함에 따라 NO_3^- 이온으로 전환되는데, 작물에 대한 독성의 피해는 NH_4^+가 존재하는 시기인 작물의 생육초기에 일어난다. 하지만 작물에 있어서 초기생육은 최종생산량에 영향을 주며, 독성의 피해를 입는 경우 수확량이 크게 감소하는 것으로 알려져 있다 (Ku and Lee, 2015). (Lee and Lim, 1984)은 암모니아 독성 피해를 받은 배추 뿌리의 형태를 보면 세근이 고사하였고 뿌리가 갈색으로 변하였으며 뿌리 생육량이 매우 저조하였다고 하였다. 또한 암모니아 독성에 의한 배추 뿌리의 생육 장해는 수분흡수 장해로 이어지고, 잎이 작아지며 잎 끝이 마르는 등 전형적인 암모니아 독성 증상을 보였다고 보고한 바 있다 (Gerendas et al., 1997). 한편 Kirkby and Mangel (1967)는 NH_4^+ 이온과 NH_3 가스가 뿌리 세포에 치명적인 독성을 일으키는데, 그 효과는 세포막을 투과하기 쉬운 분자 상태의 NH_3 가스가 훨씬 크다고 하였다. 즉, 암모니아 독성피해는 결국 뿌리의 에너지 소모로 인한 생육장해가 근본 원인이라고 보고 된 바 있다 (Van der Eerden, 1982; Gerendas et al., 1997; Britto et al., 2001). 한편 Marshner (2012)는 뿌리가 흡수한 다량의 NH_4^+ 이온을 암모니아로 동화시키기 위해서는 많은 양의 광합성 산물이 뿌리로 이동해야 한다고 하였다. 따라서 암모니아 독성 피해를 받은 배추는 광합성 능력이 저하되므로, 뿌리로 이동되는 광합성 산물이 적어지게 마련이다. 이를 해결하기 위하여, 많은 연구자들은 작물에 대한 NH_4^+ 독성을 감소시키는 방법으로 토양의 pH 완충력과 NH_4^+ 이온 흡수에 따른 근권의 산성화 방지 등을 제시하였으며 (Goodchild and Givan, 1990; Dijk and Eck, 1995), 질산태 질소와 암모니아태 질소비료의 혼용이 NH_4^+ 독성을 감소시킬 수 있다고 보고하였다 (Gill and Reisenauer, 1993; Barker, 1995). Ku et al., (2010)은 이분해성 탄수화물의 시용으로 시비질소 대비 탄질비를 10으로 조절하면 미생물의 질소 부동화를 통하여 NH_4^+ 함량을 신속히 감소시킨다고 하였다. 이를 바탕으로 배추의 NH_4^+ 독성 증상이 발현될 때, 이분해성 탄수화물을 바로 시용하면 생육초기 배추의 NH_4^+ 독성을 감소시킬 수 있었다는 결과를 보고하였다 (Ku and Lee, 2015).

질소 공급원으로서 완숙된 가축분퇴비는 무기질 질소비료와 혼용 시 토양의 생산성과 비옥도를 증진시키는 농축산부산물로 잘 알려져 있다 (Lee et al., 2003; Patra et al., 2000). Park (2000)은 논토양에서 돈분발효퇴비 시용시 질소 시용기준 설정 시험을 통해서 질소 비료 가치가 높다고 보고하였고, Jung and Park (2000)은 가축분퇴비는 작물생육에 필요한 양분을 다량 함유하고 있어 농경지에 활용시 퇴비의 양분함량과 작물별 양분 요구량을 고려하여 시용량을 결정하여야 한다고 하였다. Yun et al., (2010)은 무기질비료와 돈비발효퇴비 혼용에 따른 배추의 생산성을 평가하여 적정 혼용비율을 제시하였다.

본 연구는 무기질비료와 돈분발효퇴비 혼용 시 돈분발효퇴비 수준이 배추의 NH_4^+ 독성에 미치는 영향과 Sucrose 시용이 암모니아 독성 피해 회복에 미치는 영향을 평가하기 위하여 수행되었다.

Materials and Methods

POT시험 및 처리 본 실험은 유리온실에서 폿트시험으로 수행하였다. 배추 묘는 공정육묘장에서 재배된 3엽인 봄배추 묘를 1/5000a 와그너 POT에 3.5 kg의 건토를 담은 후 5월 11일에 정식 하였다. 시험에 사용된 토양은 사양토로서 화학적 특성은 pH 7.6, EC 1.1 dS m^{-1}, NH_4^+-N 38.6 mg kg^{-1}, NO_3^- -N 12.4 mg kg^{-1}이었다 (Table 1). 돈분발효퇴비는 시중에 유통되고 있는 퇴비를 구입하여 사용하였는데, 총 질소함량 (T-N)은 2.1%, NH_4^+-N 함량은 1,949 mg kg^{-1}이었다.

처리는 요소 단독처리 4수준과 요소와 돈분발효퇴비 혼용처리 4수준을 두었다. 요소 단독처리 4수준은 0, 160, 320, 480 kg N ha^{-1}이었다. 요소와 돈분발효퇴비 혼용처리는 요소 320 kg ha^{-1}에 돈분발효퇴비 시용량을 0, 10, 20, 40 ton ha^{-1}으로 4수준이었다. 한편 암모니아 독성피해를 입은 처리들에서 이분해성 탄수화물 시용에 의한 피해회복 효과를 평가하기 위하여 sucrose 처리 수준을 두었다. 이를 위하여 요소와 돈분발효퇴비 혼용처리 4수준에 각각 sucrose 0, 600, 1,200, 1,800, 2,400, 3,600 kg ha^{-1} 처리의 6수준을 두었다 (Table 2). 그 외 P_2O_5와 K_2O는 각각 용성인비와 염화가리를 260 kg ha^{-1} 씩 시비하였으며, 붕소는 붕산 15 kg ha^{-1}을 시용하였다.

분시비율은 질소와 칼륨은 기비 : 추비를 60 : 40 비율로 하였고, 인산과 붕산은 전량 기비로 시용하였다. 돈분발효퇴비는 배추묘 정식 3일 전에 토양과 골고루 잘 섞어 처리하였다. sucrose 처리시기는 암모니아 증상 발현 시 즉시 처리함을 원칙으로 하였고, 본 실험에서 그 처리시기는 정식 후 3일이었다. 실험은 3반복으로 수행하였다.

Table 1. Soil chemical properties used in the pot experiment.

pH (1:5)	EC (dS m^{-1})	NH_4^+-N (mg kg^{-1})	NO_3^--N (mg kg^{-1})
7.6	1.1	38.6	12.4

Table 2. The levels of urea fertilizer, combination of urea and pig manure compost (PMC), and sucrose applied at each treatment in the experiment.

Treatment	Urea	Pig Manure Compost	Sucrose † (kg ha^{-1})					
	(kg N ha^{-1})	(M/T ha^{-1})	0	600	1,200	1,800	2,400	3,000
N 0	0	0	N/A					
N160	160	0	N/A					
N480	480	0	N/A					
N320 + PMC 0%	320	0	A					
N320 + PMC 1%	320	10	A					
N320 + PMC 2%	320	20	A					
N320 + PMC 4%	320	40	A					

† N/A: no application, A: application.

Table 3. The soil chemical properties at the occurrence of NH_4^+ toxicity symptom in the treatment at two days after transplanting.

Treatment †	pH	EC ‡	NH_4^+-N	NO_3^--N	NH_4^+ toxicity occurred §
	(1:5)	(dS m^{-1})	(mg N kg^{-1})	(mg N kg^{-1})	
N 0	7.1	1.2d	62d	13bc	×
N160	7.2	1.5bcd	135c	20bc	×
N480	7.6	1.5cd	169abc	13bc	●
N320 + PMC 0 %	7.6	1.2cd	155bc	9.4c	●
N320 + PMC 1 %	7.4	1.7abc	161abc	34ab	●
N320 + PMC 2 %	7.3	2.0a	176ab	47a	●
N320 + PMC 4 %	7.4	1.9ab	195a	49a	●

† numbers next N are the N rates of urea fertilizer, PMC: pig manure compost.

‡ Denotes that mean values of three replicates with the same letter within the column are not significantly different at $p < 0.05$.

§ ×: not occurred, ●: occurred.

토양 및 식물체 분석 토양시료는 정식 후 2일, 10일, 20일, 30일에 깊이 10 cm까지 채취하였으며, 분석에 사용된 시료의 pH (1:5)는 이온전극법, EC는 EC meter로 분석하였다. 토양의 암모니아태 질소와 질산태 질소는 2M-KCl로 추출하여 Kjeldhal을 이용한 증류법으로 분석하였다 (NIAST, 2000). 식물체는 정식 30일 후에 수확하여 생체중을 측정하였다.

통계 분석 통계처리는 STAR V.2.0.1. (IRRI, 2013)을 활용하여 5% 유의 수준에서 던컨검정 (DMRT: Duncan's multiple range test)으로 처리간 차이를 분석하였다.

Results and Discussion

암모니아 독성 발현 배추의 암모니아 독성 증상은 질소시용량이 많았던 질소 320 kg N ha^{-1} (N320)이상의 수준에서 퇴비 시용량에 관계없이 정식 2일 후에 나타났다 (Table 3). 암모니아 독성 증상이 발현된 처리구 (N320, N320+PMC 0%, N320+PMC 1%, N320+PMC 2%, N320+PMC 4%)는 암모니아태 질소 (NH_4^+-N) 함량이 각각 169, 155, 161, 176, 195 mg kg^{-1}이었으나, 무질소구 (N 0)와 160 kg N ha^{-1} 처리구의 NH_4^+-N 함량이 62, 135 mg kg^{-1}으로 낮았다. Ku and Lee (2015)은 생육초기에 토양의 NH_4^+-N 함량이 175 mg

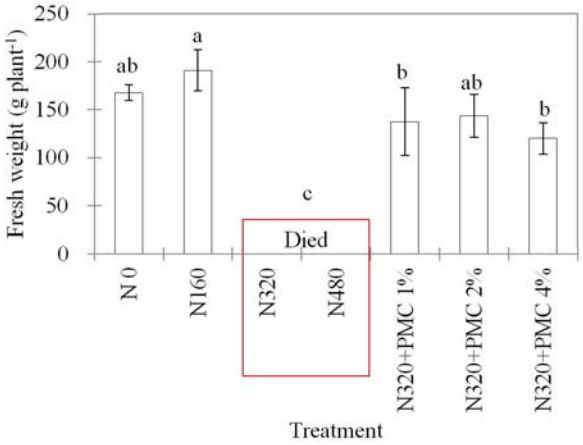


Fig. 1. The effect of the application of urea and combination of urea with pig manure compost (PMC) on NH_4^+ toxicity at 30 days after transplanting (DAT).

Table 4. Effect of the sucrose- and pig manure compost (PMC)-application on decreasing ammonia toxicity in Chinese cabbage.

The amount of sucrose application (kg C ha^{-1})	Fresh weight (g $plant^{-1}$)			
	N320	N320+PMC 1%	N320+PMC 2%	N320+PMC 4%
0	0.0d†	137a	143a	120a
600	18.0cd	141a	106a	121a
1,200	90.9ab	137a	138a	112a
1,800	108a	116ab	130a	135a
2,400	95.9ab	76.0b	95.1a	130a
3,000	54.1bc	93.3ab	118a	86.8a

†Different character means significantly different in $P < 0.05$.

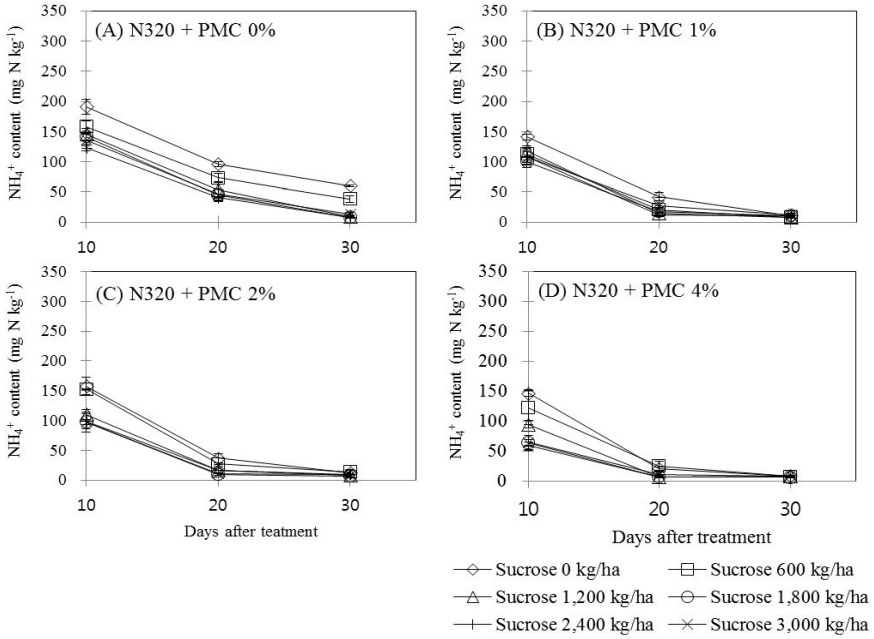


Fig. 2. Change in NH_4^+ contents in soil by different amount of sucrose application at 10, 20, and 30 days after transplanting (DAT). PMC: pig manure compost.

kg^{-1} 이었을 때, 배추에서 암모니아 독성피해가 발현되어 지상부 및 지하부 생육이 저해되어 결국엔 고사 (枯死)한다고 하였다. 본 시험에서 암모니아 독성이 관찰된 처리구 중 N320 + PMC 0%의 NH_4^+–N 함량이 155 mg kg^{-1} 이었고, 독성이 관찰되지 않은 N160의 NH_4^+–N 함량이 135 mg kg^{-1} 임을 감안할 때, 토양의 NH_4^+–N의 적정농도를 155 mg kg^{-1} 이하 정도로 조절하는 것이 암모니아 독성 피해를 회피할 수 있는 방법으로 판단되었다.

돈분발효퇴비 시용과 sucrose에 의한 배추의 암모니아 독성 피해 회복 효과 요소 단독시용 시 정식 30일 후의 배추 수량은 질소 160 kg N ha^{-1} 수준에서 최고를 나타냈으며, 질소 320 kg N ha^{-1}과 480 kg N ha^{-1} 수준에서는 암모니아 독성 피해로 고사 (枯死)하여 수량을 얻을 수 없었다 (Fig. 1). 이 때 sucrose 처리는 질소 320 kg N ha^{-1} 수준에서 암모니아 독성 피해를 회복시키는 상당한 효과를 발휘하였다 (Table 4). 즉 돈분발효퇴비 무시용 시 정식 30일 후 배추 수량은 sucrose 시용량이 탄소로 1,800 kg ha^{-1} 수준까지 증가하였다. 그러나 그 이상의 수준에서는 시용량이 증가할수록 오히려 감소하였는데, 이 결과는 sucrose의 시용량이 필요 이상으로 많을 경우에 CO_2가 다량 발생하여 근권내 산소결핍으로 암모니아 독성 피해를 오히려 증폭시킨 Ku and Lee (2015)의 결과와 일치하였다. 이와 같이 sucrose 시용이 배추를 암모니아 독성 피해로부터 회복시킬 수 있었던 이유는 미생물에 의하여 토양의 NH_4^+–N 함량이 감소되었기 때문이며, 그 증거는 각 퇴비 시용량 수준에서 정식 10일 후 NH_4^+–N 함량이 sucrose 시용량이 증가할수록 감소하고 있는 것에 잘 나타나 있었다 (Fig. 2).

한편, 요소와 돈분발효퇴비를 혼용하였을 경우, 배추 생육 초기에는 퇴비를 시용하지 않았을 경우와 마찬가지 양상으로 sucrose에 의한 암모니아 독성 피해 회복 효과가 확연하게 관찰되었다. 그러나 생육이 진전될수록 sucrose 시용

효과가 희석되어 정식 30일 후 배추 수량은 모든 돈분발효퇴비 시용 수준에서 sucrose 처리 효과를 뚜렷이 나타내지 못하였다. 더욱이 sucrose를 처리하지 않고 돈분발효퇴비만 시용한 처리에서도 암모니아 독성 피해 회복 효과가 나타나서 정식 30일 후 배추 수량이 sucrose를 처리한 경우와 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이는 돈분발효퇴비가 부숙되는 과정에서 미생물 몸체 구성에 유용한 작은 분자량의 탄수화물들이 많이 생성되었기 때문인 것으로 보인다. 이 탄수화물들이 미생물에 의해 흡수되어 몸체구성물질로 합성될 때 그 물질의 탄질율에 맞춰 토양 중에 과량 (過量)으로 존재하는 암모니아태 질소를 흡수한다 (Sylvia et al., 2005). 그 결과 토양의 암모니아태 질소 농도가 155 mg ha^{-1} 이하로 낮아지면, 암모니아 독성피해로부터 회복되게 되는 것으로 판단된다.

Conclusion

질소비료는 작물생산성 증진에 필수 불가결한 재료이나, 작물요구량을 상회하는 시비는 오히려 작물생산성을 저해하고 환경을 오염시키는 물질이다. 배추에 있어서 질소비료의 과잉시비는 생육초기 암모니아 독성을 유발시켜 최종수확량을 저감시킨다. 본 연구에서는 토양의 암모니아태 질소의 농도가 155 mg kg^{-1} 이상으로 높을 경우 질소비료의 종류와 형태에 상관없이 암모니아 독성을 발현시켰으며, 배추가 고사하거나 수량이 현저하게 감소하였다. 그러나, 이분해성 탄수화물 (sucrose)을 토양 탄질율을 고려하여 시용하거나, 유기질 비료인 돈분발효퇴비를 혼용할 때에는 암모니아성 무기질 비료 (요소)에 의한 배추의 암모니아 독성피해가 일정시간 경과 후에 감소되는 효과가 나타났다.

References

Barker, A.V. 1995. Laboratory experiment to assess plant 1responses to environmental stresses. J Nat Res Life Sci Edu. 24, 145-149.

Britto, D.T., M.Y. Siddiqi, A.D.M. Glass, and H.J. Kronzucker. 2001. Futile transmembrane NH_4^+ cycling: a cellular hypothesis to explain ammonium toxicity in plants. Proceedings of the Nat Acad Sci. 98, 4255-4258.

Dijk, E. and N. Eck. 1995. Ammonium toxicity and nitrate response of axenically grown Dactylorhiza incarnata seedlings. New Phytologist 131, 361-367.

Gerendás, J., Z. Zhu, R. Bendixen, R.G. Ratcliffe, and B. Sattelmacher. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 160, 239-251.

Gill, M.A. and H.M. Reisenauer. 1993. Nature and characterization of ammonium effects on wheat and tomato. Agron J. 85, 874-879.

Goodchild, J.A. and C.V. Givan. 1990. Influence of ammonium and extracellular pH on the amino and organic acid contents of suspension culture cells of Acer pseudoplatanus. Physiol Plant. 78, 29-37.

International Rice Research Institute (IRRI). 2013. Statistical Tool for Agricultural Research (STAR) Version: 2.0.1.

Jung, Y.G. and B.K. Park. 2000. Determination of the Guideline for Application Rate of Compost and Liquid Manure on Crops. Livestock Research Institute, Rural Development Administration. pp.139-164.

Kirkby, E.A. and K. Mengel. 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. Plant Physiol. 42, 6-14.

Ku, H.H. and S.E. Lee. 2015. Alleviating effect of the application of the easily decomposable carbohydrate on ammonium toxicity in Chinese cabbage (Brassica rapa var. chinensis). Korean J Soil Sci Fert. 48(5):451-455.

Ku, H.H., W.J. Lim, and S.E. Lee. 2010. Effect of the application of sucrose on rapid decrease of soil inorganic nitrogen. Korean J Soil Sci. Fert. 43:424-429.

Lee, C.S., K.Y. Shin, J.T. Lee, and G.J. Lee. 2003. Determination of nitrogen application level for Chinese cabbage with application of poultry manure compost in highland. Korean J Soil Sci Fert. 36:280-289.

Lee, S.E., and S.G. Lim. 1984. Studies on tip-burn of chinese cabbage by ammonium toxicity. Korean J Soil Sci Fert. 17:389-398.

Marschner, H. and P. Marschner. 2012. Marschner's mineral nutrition of higher plants. London, Academic press. 6th ed.

NIAST (National Institute Agricultural Science & Technology). 2000. The methods of soil and plant analysis. National Institute Agricultural Science and Technology. Suwon, Korea. pp.103-146.

Park, C.G. 2000. Development of Technology for Livestock Manure use. Res. Rept. GyeongGi-Do National Agricultural Experiment Station. pp.367-378.

Patra, D.D., M. Anwar, and S. Chand. 2000. Integrated nutrient management and waste recycling for restoring soil fertility and productivity in Japanese mint and mustard sequence in Uttra Pradesh, India Agric Eco Environ. 80:267-275.

Sylvia, D.M., J.J. Fuhrmann, P.G. Hartel, and D.A. Zuberer (ed). 2005. Principles and applications of soil microbiology. 2nd Ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey

Van der Eerden, L.J.M. 1982. Toxicity of ammonia to plants. Agric Environ. 7:223-236.

Yun, H.B., S.G. Han, J.S. Lee, Y.J. Lee, M.S. Kim, Y.B.Lee. 2010. Pig Manure Compost and Urea Application Effects on Chinese Cabbage in Different Soil Fertility. Korean J Soil Sci Fert. 43(6):962-967.