

Effect of Nitrogen Application Levels on Nitrate Concentration in Soil Solution under Plastic Film House

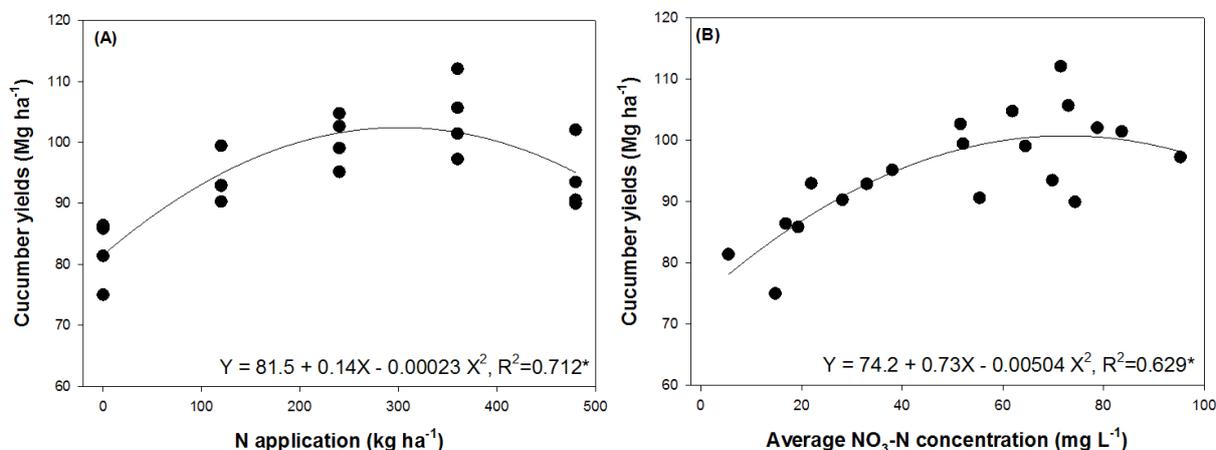
Chang Hoon Lee*, Seong Soo Kang, Myung Sook Kim, and Yoo Hak Kim

Soil and Fertilizer Management Division, NAAS, RDA, Wanju, 560-500, South Korea

(Received: November 21 2014, Revised: February 2 2015, Accepted: February 2 2015)

This study was conducted to investigate the effect of nitrogen fertilizer on nitrate concentration in soil solution and to determine the relationship between yield and nitrate concentration in soil solution for cucumber cultivation under plastic film house. Nitrogen as urea was applied at rates of 0, 120, 240, 360, and 480 kg N ha⁻¹ as an additional fertilizer by trickle irrigation during cucumber cultivation. Monitoring of nitrate concentration in soil solution was investigated using porous cups at 25 cm depth under soil surface. Nitrate concentration in soil solution increased with increasing the rate of additional nitrogen. Correlation coefficient between EC value and nitrate concentration was positive in soil and soil solution ($p < 0.05$). An additional nitrogen of about 300 kg ha⁻¹ was shown the highest yield of cucumber, and improved yield by 5% compared to N recommendation of 240 kg N ha⁻¹. The highest yield was determined at nitrate concentration of 82 mg L⁻¹ in soil solution by regression equation ($Y = 74.2 + 0.73X - 0.00504X^2$, $R^2 = 0.629^*$). These results means indicate that nitrate concentration in soil solution would be useful method to rapid determination for additional nitrogen during cucumber cultivation under plastic film house.

Key words: Nitrogen, Soil solution, Nitrate, Plastic film house



Relationship between the yields of cucumber and N application rate (A) and average nitrate concentration in soil solution (B) under plastic film house (*denotes significance at 5% level).

*Corresponding author : Phone: +82632382453, Fax: +85632383822, E-mail: chlee915@korea.kr

§Acknowledgement: This study was supported by 2014 Postdoctoral Fellowship of National Academy Agricultural Science (PJ:008598032014), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

비료의 과다시비는 필요 이상의 양이온 (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+)과 음이온 (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HPO_4 등)을 표층토에 집적시켜 토양의 EC (electrical conductivity) 값을 크게 높게 된다 (Jung et al., 1994). 특히 시설재배지는 연중 작물 생산으로 무기질비료 및 유기자원을 지속적으로 사용하고 있으며, 이로 인한 양분불균형과 염류집적이 발생되고 있다 (Pang et al., 1997; Lee et al., 2009). 이러한 결과 작물로 토양수분의 공급이 저해되고, 토양하층으로 양분이 이동되어 지하수오염이 유발되기도 한다 (Addiscott et al., 1991; Lee et al., 1999).

최근 시설재배지에 토양수분과 양분을 동시에 공급할 수 있는 관비재배를 하고 있다 (Hedge, 1997). 관비재배는 일시적인 과량의 관수보다는 적정량의 잦은 관수는 물의 이용효율을 높이고, 적절한 비료의 분시를 통해 비료이용효율 및 작물의 수량을 향상시킨다 (Miller et al., 1976; Cook and Sanders, 1991). 그러나 작물의 수량효과는 토양 비옥도 상태에 따라 현저한 차이를 나타내지만, 경험적으로 관비로 인해 토양 EC와 더불어 가용성 NO_3-N 함량이 축적되는 결과를 초래하고 있다 (Lee et al., 2001). 그러므로 시설재배지에서 작물생육에 맞는 관비농도의 조절은 토양양분관리를 위한 근본적인 대책이 될 수 있다.

토양용액은 하층으로 이동하는 무기태 질소의 침투 및 용탈량 평가에 활용되어 왔다 (Lee et al., 1995; Han et al., 1998; Roh et al., 1999). 토양용액 중 NO_3-N 농도가 작물의 질소흡수에 미치는 영향에 대한 연구도 수행되었다. Lim et al. (2001)은 시설오이 재배농가에서 토양용액 중 NO_3-N 농도는 수량과 밀접한 관계가 있다고 보고하였고, Hong et al. (2001)은 작물의 NO_3-N 축적은 질소시비량과 유의적인 정의상관관계가 있다고 하였다. 비록 안정적인 재배를 위해 표준시비기준이 있으나, 작물 수량을 위해 토양 EC에 영향력이 가장 높은 질소원을 무분별하게 사용하고 있다 (Lee et al., 2001; Jung et al., 1994). 토양용액의 NO_3-N 농도를 이용한 질소시비는 토양에 질소집적 및 용탈을 저감할 수 있는 합리적인 대안이 될 수 있다. 그러나 토양에 질소시비가 토양용액의 NO_3-N 농도에 미치는 영향에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 시설재배지 질소시비관리에 토양용액의 NO_3-N 농도를 활용하고자 시설재배지 작물재배 기

간 중 옷거름질소시비 수준에 따른 토양용액의 NO_3-N 농도, 수량, 그리고 토양화학적 성에 미치는 영향을 조사하였다.

Materials and Methods

포장시험구 및 시비량 천안시 오이주산단지에 위치한 시설오이 농가에서 2012년 8월부터 12월까지 포장시험을 통해 수행하였다. 시험포장의 농가는 시설오이 재배를 위해 봄 작기에 밀거름으로 원예용 복합비료 800 kg ha^{-1} 와 상용퇴비 48 ton ha^{-1} 를 사용하였고, 오이 생육 중기부터 옷거름으로 상용 NK 비료를 이용하여 약 3일 간격으로 관비 및 엽면시비를 하여 왔으며, 가을 작기에는 밀거름 없이 관비와 엽면시비를 통해 상용 NK 비료와 미량원소복합비료를 3일 간격으로 작물생육을 위해 공급하였다. 옷거름질소의 시비량을 산정하기 위해 Table 1과 같이 시험전 토양의 EC와 가용성 NO_3-N 함량을 평가하였다. 전기전도도 (EC)는 0.88 dS m^{-1} 로 작물별 시비처방 기준에서 추천하는 EC 2.0 이하를 나타내었고, 가용성 NO_3 함량은 15.5 mg kg^{-1} 으로 충북 방울토마토 시설재배지 182 mg kg^{-1} ($46\text{--}344 \text{ mg kg}^{-1}$)보다 상당히 낮았다 (Kang and Hong, 2004). 시험전 토양은 일반적인 시설재배지 특성을 나타내지 않았지만, 질소시비 수준에 따른 토양용액의 NO_3-N 농도 변화를 모니터링하기에 적합한 것으로 평가되었다. 시험구는 표준오이 질소시비량 240 kg ha^{-1} 를 기준으로 0, 50, 100, 150, 200%의 질소 0, 120, 240, 360, 480 kg ha^{-1} 5수준에 4 반복으로 난괴법을 이용하여 배치하였다. 이때 질소공급은 요소를 이용하여 각 처리구당 전량 옷거름시용을 총 12회로 나누어 매주 한 번씩 관수와 함께 관비형태로 공급하였고, 매회 240 kg ha^{-1} 의 처리구의 관비농도는 약 160 mg L^{-1} 이었다. 그리고 인산과 가리는 K_2HPO_4 를 사용하여 전처리구 동일하게 관비하였다. 시설오이 재배지에서 수분장력계 기준으로 $10\text{--}20 \text{ kPa}$ 범위에서 관수하는 것을 권장하고 있으나 (Chung, 1998), 본 시험에서는 현장농가 기준으로 2~3일 간격으로 $7\text{--}14 \text{ L m}^{-2}$ 으로 관수하였으며, 이때 작물재배 기간 중 토양수분함량의 변화를 토양수분장력 센서로 모니터링하였다.

토양용액 채취 시설오이 재배 기간 중 토양용액 채취는 길이 60 cm, 직경 2.5 cm인 다공성 컵 (porous cup)을

Table 1. Chemical properties of soil used in the experiment.

Contents	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Exchangeable cation			Extractable N	
					K	Ca	Mg	NH ₄ -N	NO ₃ -N
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	----- (cmol kg ⁻¹) -----			----- (mg kg ⁻¹) -----	
Mean	5.7	0.88	15.1	67.8	0.25	4.37	1.81	9.86	15.5
SD ¹⁾	0.11	0.04	0.23	3.5	0.01	0.12	0.03	0.5	1.2

¹⁾SD means standard deviation

이용하였다. 오이 정식 20일 후에 다공성 세라믹 컵을 오이 주간의 중심지점에서 20cm 떨어진 지점에 토양 깊이 25 cm 까지 수직으로 설치하였다 (Roppongi, 1998). 토양용액은 60 kPa 감압으로 매주 1회씩 채취하였고, 채취된 토양용액은 0.45 μm membrane filter로 여과한 후에 pH와 EC를 측정하였고, 질소자동분석기 (AutoAnalyzer 3, Bran Luebbe, Germany)로 토양용액의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도를 측정하였다. 또한 오이 재배기간 동안 토양의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 습토 5 g 을 2M KCl로 침출하여 No 2로 여과한 후에 질소자동분석기로 분석하였다.

수량 및 토양분석 매일 7 m^2 당 23 주에서 수확한 오이 개수와 무게를 조사하였고, 가을 작기 동안에 수확한 오이 무게를 합산하여 처리구의 오이수량을 산정하였다 (NIAS, 2000). 오이 수확 후 토양시료를 채취하여 풍건한 다음 2 mm체로 여과하여 토양을 분석하였다. 토양 pH와 EC는 시료와 증류수를 1:5 w/v 진탕하여 pH와 EC meter로 측정하였다. 유효인산은 Lancaster법, 치환성 양이온은 1 M ammonium acetate (pH 7.0)로 침출하여 ICP로 K, Ca, Mg, Na 함량을 분석하였고, 전탄소 (T-C)와 전질소 (T-N)함량은 건조시료를 막자사발에서 곱게 갈은 후, 원소분석기 (Vario Max CNS, Elementar, Germany)를 이용하여 정량하였다 (NIAS, 1988).

통계처리 오이수량 및 토양특성의 분석치는 SAS (version 9.2)로 유의수준 0.05에서 Duncan 검정하였다. 또한 회귀 분석을 통해 수량, 그리고 토양용액의 평균 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도와 의 관계식을 도출하였다.

Results and Discussion

토양용액 질소변화 오이표준재배에서 토양수분장력을 이용한 물 관리는 30 kPa 이하로 관리할 것을 추천하고

있다 (Chung, 1998). 본 시험에서 시설오이재배 기간 동안 7~14 L m^{-2} 관수한 결과, 토양수분장력의 범위는 10~120 kPa를 나타내었다 (Fig. 1). 시설오이 재배기간 동안 다공성 컵 (porous ceramic cup)에 60 kPa 감압하여 토양용액을 평균 17.3~47.1 mL를 채취하였지만, 질소처리구 및 반복 간에 토양용액의 채취량은 높은 편차를 나타내었다 (Fig. 1). 토양용액의 채취량은 다공성컵의 다공성 형태 및 재질과 더불어 토성, 관수량 및 관수시점, 그리고 작물생육에 의해서도 달라질 수 있다. 특히 질소시비량은 잎의 단위면적의 증가로 광합성 및 수분이용효율이 향상되는 것으로 알려져 있다 (Sung et al., 2010). Fig. 1에서 보였듯이, 토양용액 채취량의 처리구간 높은 변이는 시설오이의 질소흡수 차이가 토양수분을 오이식물체로 이동시킨 결과로 판단된다.

토양 용액 중 화학적 특성 변화는 Fig. 2와 같다. 질소무비구의 pH는 시설오이재배 기간이 늘어남에 따라 다소 낮아지는 경향을 보였고, 토양용액의 EC는 지속적으로 감소되는 경향을 보였다. 그러나 웃거름 질소시비량 증가는 토양용액의 pH 감소와 EC를 증가시켰다. 그러나 토양용액의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 질소처리구간 뚜렷한 경향이 없었다. 이에 반해 토양용액의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 웃거름질소시비량이 증가함에 따라 높아졌으나, 질소처리구간 통계적인 유의차는 없었다. 호기조건에서 질소는 질산화작용으로 대부분 $\text{NO}_3\text{-N}$ 형태로 존재하기 때문에 (Sainju et al., 1999; Wivstad, 1999), 시설오이 생육 중기이후 토양용액 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 1 mg L^{-1} 이하이었고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 형태가 무기태 질소의 대부분을 차지하고 있었다 (Fig. 2(C), 2(D)). 시설오이재배 전 기간 동안 질소무비구의 토양용액의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 평균 17.7 mg L^{-1} 이었고, 질소시비수준이 증가함에 따라 토양용액의 평균 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 각각 19.0, 25.5, 55.4, 50.1 mg L^{-1} 으로 증가되었다. 시설재배지 토양 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 토양 EC와 유의성 있는 정 상관관계를 나타낸다 (Hong et al., 2001; Lee et al., 2001). 시설오이 재배기간 동안 토양용액의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는

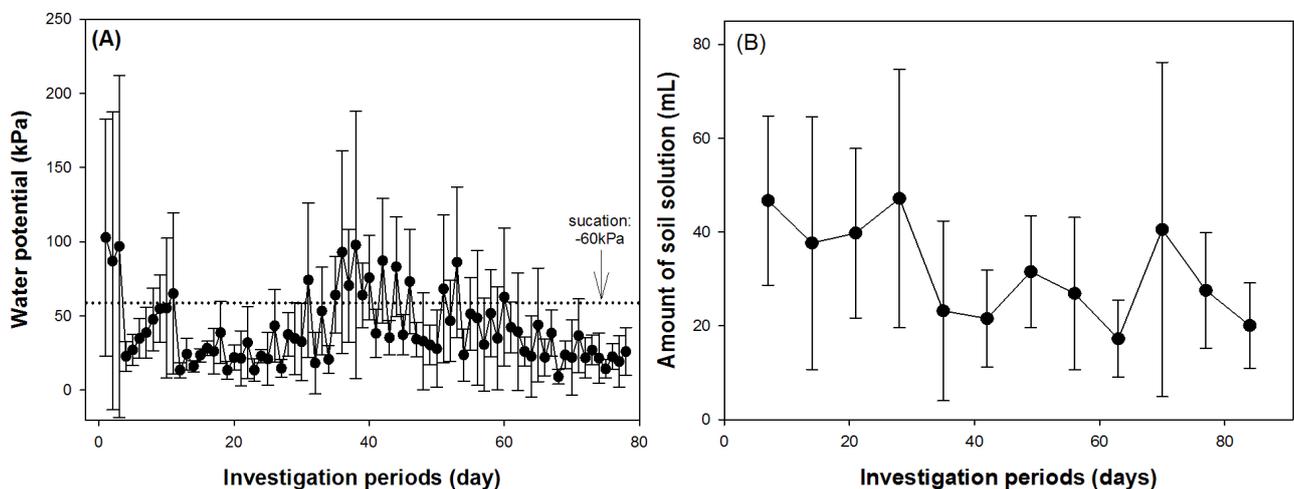


Fig. 1. Changes of water potential (A) and amount of soil solution (B) during cucumber cultivation under plastic film house.

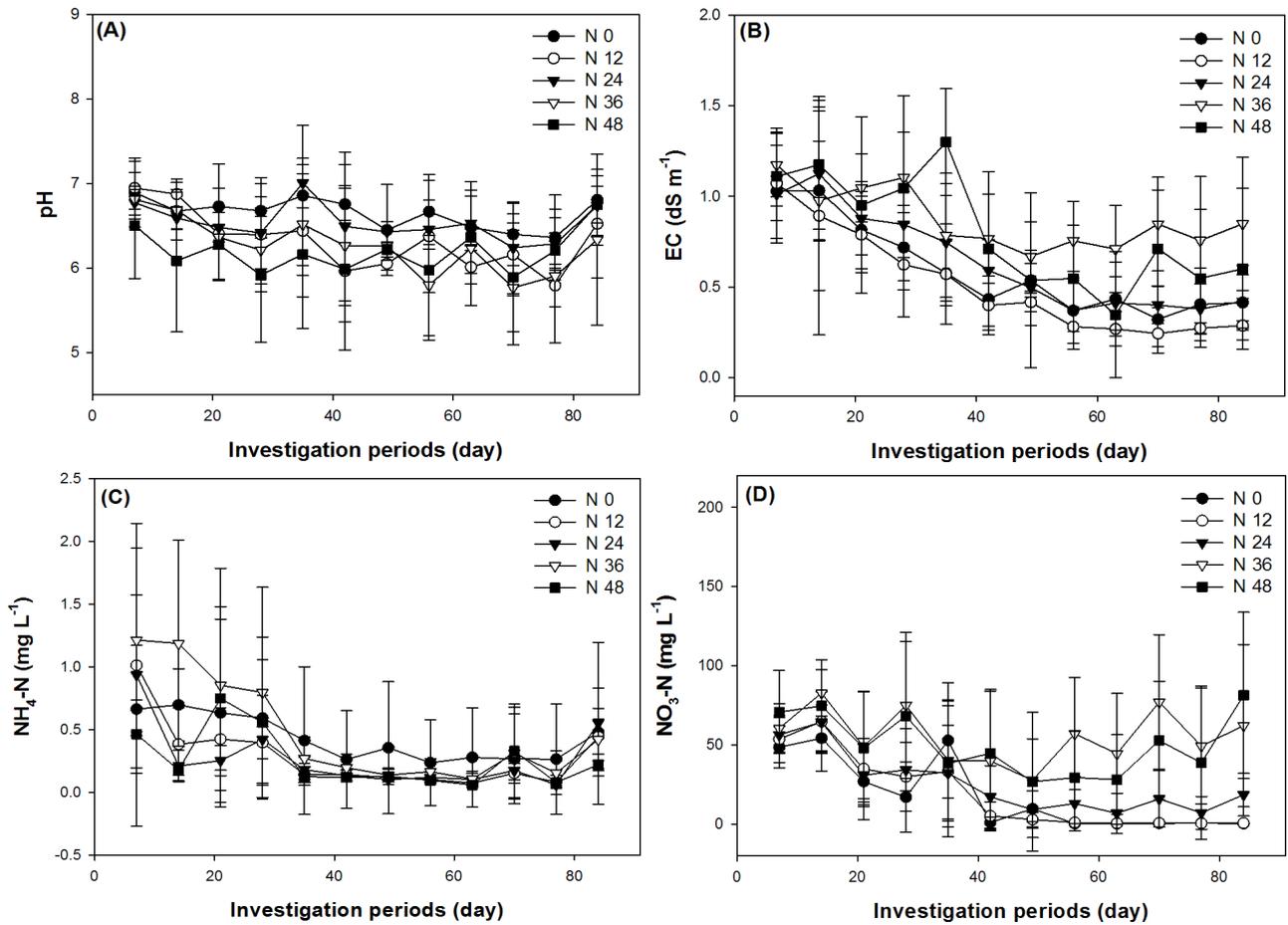


Fig. 2. Changes of pH, electrical conductivity, NH₄-N and NO₃-N concentration in soil solution during cucumber cultivation under plastic film house.

Table 2. Correlation coefficient between pH, EC, NH₄-N, and NO₃-N of soil and soil solution during cucumber cultivation.

Contents	Soil				
	pH	EC	NH ₄ -N	NO ₃ -N	
Soil solution	pH	0.082	0.033	-0.031	-0.157
	EC	-0.247	0.370	0.384	0.457
	NH ₄ -N	0.052	0.026	0.027	0.005
	NO ₃ -N	-0.326	0.278	0.470	0.515

Note) n=120

질소처리구 반복 간에 편차가 높았으나, 토양 EC와 토양 NO₃-N 함량과 정의상관관계가 있었다 ($p < 0.05$). 이는 관수로 공급되는 질소가 토양에 잔존하거나 토양수에 용해되어 토양용액의 NO₃-N 농도에 미치는 것으로 판단된다. 이러한 결과는 토양용액의 NO₃-N 농도가 실시간으로 관비의 질소 시비량 조절에 활용될 수 있음을 시사하고 있다.

오이수량특성 시설오이의 수량특성은 Table 3과 같다. 질소무비구의 수량은 82 ton ha⁻¹이었고, 시설재배지에 관비로 360 kg ha⁻¹의 질소를 공급함으로써 최고수량 104 Mg ha⁻¹ ($Y=81.5+0.14X-0.00023X^2$, $R^2=0.712^*$)을 얻을 수 있

었다. 그리고 질소수준에 따른 초장, 마디수, 그리고 단위면적당 오이개수는 처리구간에 통계적인 유의차가 없었다. 토양용액의 NO₃-N 농도는 토양 EC와 NO₃-N 함량과 정의상관관계가 인정되기 때문에 (Table 2) 토양용액의 평균 NO₃-N과 오이수량과의 관계를 조사한 결과, $Y=74.2+0.73X-0.00504X^2$ ($R^2=0.629^*$)의 관계식을 얻을 수 있었고, 이를 통해 최고수량을 위한 토양용액의 평균 NO₃-N 농도는 약 82 mg L⁻¹으로 평가되었다. 이러한 결과는 시설재배지에 토양용액의 NO₃-N 농도를 활용하여 합리적인 토양질소를 관리할 수 있는 가능성을 시사하고 있다.

Table 3. Cucumber characteristics in soil applied with different levels of N application under plastic film house.

Treatments	Height (cm)	Nod (No. plant ⁻¹)	Cucumber fruit					Index
			Length (cm)	Thickness (mm)	Weights (g No ⁻¹)	Numbers (No. m ⁻²)	Yields (Mg ha ⁻¹)	
N 0	163.5a	18.3a	27.9a	35.2a	251.2a	32.8a	82c	84c
N 120	172.6a	18.2a	27.9a	35.4a	255.4a	35.7a	91bc	93bc
N 240	167.7a	18.6a	27.6a	35.8a	252.0a	40.0a	98a	100a
N 360	172.5a	19.3a	25.7a	33.7a	255.3a	39.5a	104a	106a
N 480	160.5a	18.3a	27.6a	35.2a	250.4a	37.5a	94ab	96ab

Note) yields was tested by Duncan's multiple range test at P=0.05

Table 4. Chemical properties of soil applied with different N rates after harvesting cucumber under plastic film house.

Treatments	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exchangeable cations (cmol kg ⁻¹)				Extractable N (mg kg ⁻¹)	
					K	Ca	Mg	Na	NH ₄ -N	NO ₃ -N
N 0	5.79a	0.44c	9.5a	11.6a	0.26a	4.39a	1.94a	0.20a	4.54b	2.2e
N 120	5.66a	0.45c	10.0a	12.2a	0.24a	4.14a	1.75a	0.26a	4.90b	8.5d
N 240	5.43ab	0.50bc	8.5a	17.2a	0.21a	3.73a	1.56a	0.19a	4.92b	16.7c
N 360	5.18b	0.71a	10.3a	16.4a	0.31a	4.07a	1.48a	0.23a	8.83a	28.9b
N 480	5.13b	0.69a	8.8a	15.4a	0.21a	3.84a	1.52a	0.19a	9.19a	43.4a

Note) chemical properties was tested by Duncan's multiple range test at P=0.05

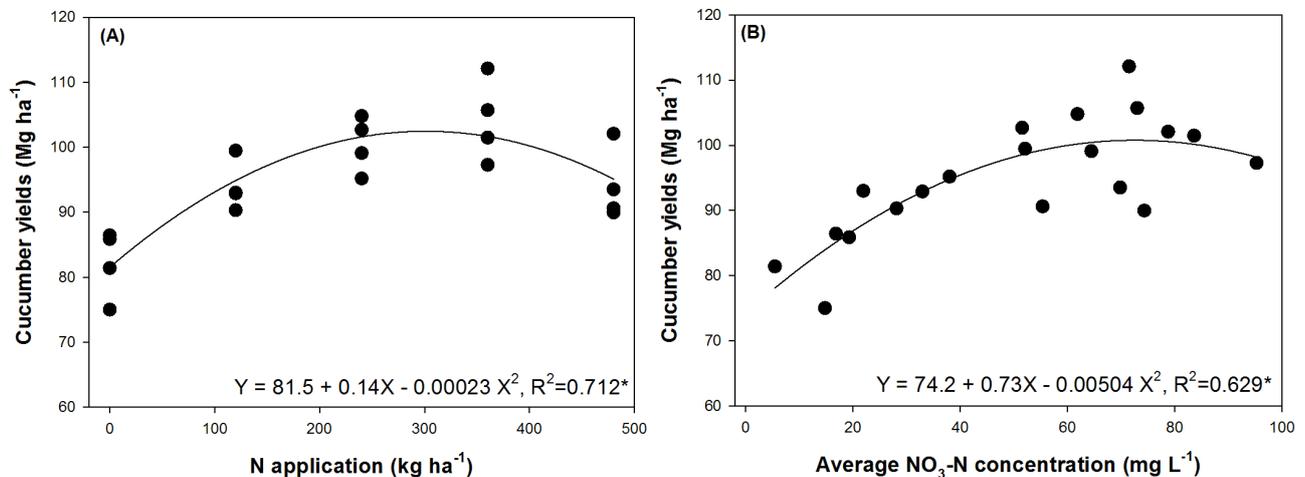


Fig. 3. Relationship between N application rate (A) and yields of cucumber and average nitrate concentration (B) in soil solution and yield of cucumber under plastic film house (*denotes significance at 5% level).

수확기 토양특성 수확기 질소처리구의 토양 EC는 0.44~0.71 dS m⁻¹ 범위에 있었고, 이러한 토양 EC는 시험 전 토양 EC에 대비 약 비해 약 20~50% 감소되었다. 이러한 결과는 질소시비량을 통해 시설재배지 염류집적을 저감하는 것이 가능함을 시사하고 있다. 그러나 수확기 토양에서 웃거름질소 시비량이 증가함에 따라 토양 EC는 증가되었다 (Table 4). 일반적으로 오이식물체 한마디 당 161 mg의 질소를 흡수하며 (Lee et al., 2012), 오이 마디수가 173개인 N 360 처리구의 질소흡수량은 무비구에 비해 5.8% 높았다

(Table 3). 그러나 무비구에 대비 웃거름 질소시비량의 증가는 수확기 토양 NO₃-N 함량을 8~47% 증가시켰고, 토양 pH는 5~10%를 감소시켰다 (Table 4). 질소비중에 따라 토양 화학적 특성이 달라지는데, Lee et al. (2001)은 토양 pH 감소 및 토양 EC와 NO₃-N 함량 증가는 요소가 KNO₃에 비해 높다고 하였다. 본 시험에서 오이식물체의 질소흡수량이 높음에도 불구하고 수확기 토양의 pH 감소와 EC 및 NO₃ 함량의 증가된 이유는 웃거름 질소원으로 요소를 사용할 결과로 사료된다. 이상의 결과에서 토양용액의 NO₃-N 농도 진단을

통한 웃거름질소의 조절은 안정적인 토양생산성과 염류집적 완화가 기대된다.

Conclusion

토양에 질소시비가 토양용액의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도에 미치는 영향에 평가하고자 시설재배지 작물재배 기간 중 질소시비 수준에 따른 토양용액의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도, 수량, 그리고 토양화학성에 미치는 영향을 조사하였다. 관비를 통한 질소시비에 의해 토양용액의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도를 증가되었고, 토양 EC와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량과 정의상관계가 있었다 ($p < 0.05$). 관비로 360 kg ha^{-1} 의 질소를 공급함으로써 최고오이수량을 얻었을 수 있었고, 토양용액의 평균 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 오이수량과의 관계식을 통해 최고수량은 토양용액의 평균 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 약 82 mg L^{-1} 로 평가되었다. 이때 토양 pH와 EC가 감소되었으나, 토양 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 증가되었다. 시설재배지에 토양용액의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도 진단은 안정적인 토양생산성과 염류집적 완화를 위한 합리적인 대안이 될 것으로 평가되었다. 그러나 안정적인 시설오이 생산을 위해서는 토양비옥도를 고려한 적절한 질소시비가 필요할 것으로 사료된다.

Reference

- Addiscott, T. M., A. P. Whitmore, and D.S.Powlson. 1991. Farming, fertilizers and the nitrate problem. CAB international UK.
- Cook, W.P., and D. C. Sanders. 1991. Nitrogen application frequency for drip-irrigated tomatoes. Horti. Sci. 26:250-252.
- Chung, J. B. 1998. Technique for soil solution sampling using porous ceramic cups. Agri. Chem. Biotechnol. 41(8):583-586.
- Han, K. W., J. Y. Cho, and J. G. Son. 1998. Losses of chemical components by infiltration water during the rice cultivation at silt loam paddy soil. Koeran J. Environ. Agric. 17(3):268-273.
- Hedge, D. M. 1997. Nutrient requirement of solanaceous vegetable crops. Extension bulletin ASPAC, FFTC. No. 441, 9.
- Hong, S. D., K. I. Kim, H. T. Park, and S. S. Kang. 2001. Relationship between leaf chlorophyll reading value and soil N supplying capability of tomato in green house. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 34:85-91.
- Jung, G. B. I. S. Ruy, and B. Y. Kim. 1994. Soil texture, electrical conductivity and chemical fertilizer and farm manure for major crop. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 27:238-246.
- Kang, S. S., and S. D. Hong. 2004. Estimation of optimum application rate of nitrogen fertilizer based on soil nitrate concentration for tomato cultivation in plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 37(2):74-82.
- Lee, C. H., T. J. Lim, S. S. Kang, M. S. Kim, and Y. H. Kim. 2012. Relationship between cucumber yield and nitrate concentration in plastic film house with ryegrass application. Korean J. Soil Sci. Fert. 45(6):943-948.
- Lee, G. J., B. K. Kang, H. J. Kim, S. K. Park, and K. B. Min. 2001. Effect of nitrogen fertilizers on soil pH, EC, $\text{NO}_3\text{-N}$ and Lettuce (*Lactuca sativa L.*) growth. Korean J. Soil Sci. Fert. 34: 122-128.
- Lee, K. B., D. B. Lee, S. B. Lee, and J. D. Kim. 1999. Changes in agricultural irrigation water quality in Mankyong River. Korean J. Environ. Agri. 18:6-10.
- Lee, S. M., S. H. Yoo, and K. H. Kim. 1995. Changes in concentrations of urea-N, $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ in percolating water during rice growing season. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 28(2):160-164.
- Lim, J. H., I. B. Lee, and H. L. Kim. 2001. A criteria of nitrate concentration in soil solution and leaf petiole juice for fertigation of cucumber (*cucumis sativus L.*) under greenhouse cultivation. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 34(5):316-325.
- NIAST. 1988. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Miller, R. J., D. E. Rolstan, R. S. Rauschkolb, and D. W. Walfe. 1976. Drip irrigation of nitrogen is efficient. Calif. Agric. 30:16-18.
- Roh, K. A., P. J. Kim, K. K. Kang, Y. S. Ahn, and S. H. Yun. 1999. Reduction of nutrient infiltration by supplement of organic matter in paddy soil. Koeran J. Environ. Agric. 18(4):196-203.
- Roppongi, K. 1998. Study on nutrient management in vegetable greenhouse soil by real time diagnosis. Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr. 69:253-238.
- Sainju, U. M., B. P. Singh, S. Rahman, and V. R. Reddy. 1999. Soil nitrate-nitrogen under tomato following tillage, cover cropping, and nitrogen fertilization. Journal of Environmental Quality 28:1837-1844.
- Sung, J. K., S. Y. Park, S. Y. Lee, Y. J. Lee, J. Y. Lee, B. C. Jang, H. G. Goh, Y. S. Ok, T. W. Kim, and B. H. Song. 2010. Influence of nutrient supply on growth, mineral nutrients and carbohydrates in cucumber (*Cucumis sativus L.*). Korean J. Soil Sci. Fert. 43(1):83-89.
- Wivstad, M. 1999. Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing ^{15}N labeled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age. Plant Soil. 208:21-31.