

호밀이 투입된 오이 시설재배지에서 수량과 토양용액의 질산태질소과의 관계

이창훈* · 임태준¹ · 강성수 · 김명숙 · 김유학

농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료관리과, ¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과

Relationship between Cucumber Yield and Nitrate Concentration in Plastic Film House with Ryegrass Application

Chang Hoon Lee*, Tae Jun Lim¹, Seong Soo Kang, Myung Sook Kim, and Yoo Hak Kim

Soil and Fertilizer Management Division, NAAS, RDA, Suwon 441-707, South Korea

¹Horticultural & Herbal Environment Division, NIHHS, RDA, Suwon, 440-440, South Korea

This study was conducted to estimate the effect of nitrogen reduction by applying ryegrass and to determine the relationship between yield and nitrate concentration of soil solution for cucumber cultivation in plastic film house. Nitrogen levels with recovery of ryegrass (42.3 Mg ha⁻¹) was 0, 50, 75, 100 % of 199 kg N ha⁻¹ as N recommendation by determining soil EC value. Yield and nitrate concentration in soil solution was investigated during cucumber cultivation. Yields of N treatments applied ryegrass showed 64.3, 70.9, 70.3, and 76.5 Mg ha⁻¹, respectively, it could reduce about 25-50% of nitrogen application compared to yield (68 Mg ha⁻¹) of NPK plot applied 199 kg N ha⁻¹. Nitrate concentration in soil solution was average 26.0, 30.1, 41.4, 58.5 mg L⁻¹ during cucumber cultivation and was related between yield and average nitrate concentration of soil solution following as; $Y = 49.3 + 0.63X + 0.0034X^2$ ($R^2=0.778^{**}$). However, it needs to conduct extra-experiment due to high variation of nitrate concentration during cultivation periods.

Key words: Ryegrass, Electric conductivity, Nitrogen, Soil solution, Nitrate

서 언

시설재배는 연중 작물생산이 가능하여 재배면적이 점차 증가하고 있는 추세이다. 무기질비료 및 유기자원의 과다시용은 토양양분불균형과 염류집적현상의 원인이 된다 (Pang et al., 1997; Lee et al., 2009). 이로 인해 작물의 수분흡수 저해, 특정이온의 독성작용, 가스피해는 생산성을 감소시키며, 양분유출은 지하수 및 수질 오염의 원인이 되기도 한다 (Addiscott et al., 1991; Lee et al., 1999). 이에 대한 근본적인 해결책은 토양 비옥도와 작물의 양분 요구에 근거한 적절한 시비관리라 할 수 있다.

시설재배지 토양에 대한 과다시비는 필요 이상의 양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺)과 음이온(NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HPO₄ 등)이 침전형태로 표층토에 집적되어 EC (electrical conductivity) 값을 크게 높게 된다 (Jung et al., 1994). 토양에서 NO₃-N 축적은 EC 뿐만 아니라 작물의 NO₃-N을 축적시킨다 (Lee et al., 2001). 작물의 NO₃-N 축적은 질소시비량이 증가함

에 따라 증가되는 유의적인 정의상관관계에 있다 (Hong et al., 2001). 그러나 질소 시비는 작물 생산성을 위해 중요하며, 작물과 토양관리를 위한 방안은 합리적인 질소시비라 할 수 있다.

시설재배에서 양분공급은 관비 및 엽면시비로 이루어지고 있다. 특히 관비는 적시에 필요한 양분과 물의 조절이 가능한 장점이 있으나, 관비 시비량에 대한 연구는 많이 이루어지지 않은 상태로 주로 농가 관행적으로 시비량을 결정하고 있다. 다공성 컵을 이용하여 채취한 토양용액을 분석하는 것은 관비시 질소 유효성 시비량 결정에 활용될 수 있다. 토양용액 채취 분석은 무기태 질소의 침투 및 용탈량 평가에 활용되어 왔다 (Lee et al., 1995; Han et al., 1998; Roh et al., 1999). Lim et al. (2001)은 시설오이 재배농가에서 토양용액의 질산태질소 농도와 수량과는 밀접한 관계가 있다고 보고한 바 있다. 그러나 토양용액 중 NO₃-N 농도를 기준으로 하여 시설재배 작물의 합리적인 시비량을 결정하는 연구는 미미한 실정이다.

후작물에 대한 녹비작물의 질소공급 효과는 환원시기와 시용량, 녹비의 화학적 조성, 토양특성에 좌우된다. 두과 녹비작물은 탄질율이 8-15로 낮기 때문에 토양 중 질소함량

접수 : 2012. 11. 13 수리 : 2012. 12. 10

*연락처 : Phone: +82312900355

E-mail: chlee915@gmail.com

과 작물 수량을 증대시키며 (Sainju et al., 1999), 화분과 녹비 작물은 상대적으로 탄질비가 30-60으로 높아 후작물과 미생물간 경쟁에 의해 후작물의 질소흡수를 저해할 수 있다 (Wagger, 1989). 그러나 또한 녹비작물은 토양 유기물과 EC 저감에 효과가 있고, 녹비작물 환원에 따른 후작물의 질소이용율은 약 19-50%으로 작물생산에 있어 질소시비량을 절감시킬 수 있다 (Ashraf et al., 2004). 따라서 본 연구는 시설재배지 토양의 염류 저감 및 질소시비 절감에 대한 호밀 환원 효과와 토양용액 중 NO₃-N 농도와 수량과의 관계를 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

포장시험구 및 시비량 본 연구는 국립원예특작과학원에 위치한 시설재배 시험포장에서 2012년 3월부터 7월까지 오이재배 시험을 수행하였다. 2011년 12월에 호밀을 2 Mg ha⁻¹ 파종하였고, 오이 정식 약 15일전에 호밀전량 (42.3 Mg ha⁻¹)을 표층토 15 cm 깊이로 경운하여 환원하였다. 이때 토양에 환원된 호밀의 화학적 특성은 전질소 (T-N) 24 g N kg⁻¹, C/N율은 18.7을 나타내었다. 시험전토양의 EC는 1.9 dS m⁻¹로 이를 기준으로 검정한 오이의 질소 시비량은 199 kg N ha⁻¹으로 산정되었다 (RDA, 2000). 또한 무기태 질소인 NH₄-N과 NO₃-N 함량은 각각 13.7과 60.1 mg kg⁻¹으로 시설재배지의 오이재배를 위한 가용성 질소함량을 나타내고 있었다. (Table 1)

시험포장은 3반복 난괴법으로 배치하였고, 이때 호밀처리구는 질소 4 수준 (199 kg N ha⁻¹의 0, 50, 75, 100%)과 토양검정시비구 (NPK)를 두었다. NPK는 시험전 토양 (Table 1)의 EC 1.9 dS m⁻¹기준으로 N-P₂O₅-K₂O=199-45-100 kg ha⁻¹의 수준으로 시비하였다 (NAAS, 2010). 질소는 요소로 50%, 인산은 용성인비로 전량, 칼리는 염화칼륨 60%를 밑거름으로 시용하였고, 웃거름은 질소와 칼리 시용량을 10회로 나누어 매주 1회씩 관비를 통해 시비하였다. 관수는 토양수분장력 10 kPa 기준으로 자동관수하였고, 이때 각 처리구는 토양수분장력 센서를 이용하여 토양수분변화를 모니터링하였다.

토양용액 채취 오이재배 기간 중 토양용액 채취를 위하여 오이 정식 20일 후에 다공성컵 (길이 60 cm, 직경 3 cm)을 설치하였다. 다공성컵은 오이 주간을 기준으로 20cm 떨어진 지점에 25 cm 깊이로 수직으로 설치하였다 (Roppongi, 1998). 토양용액은 자동용액채취기 (UMS)를 이용하여 60 kPa 감압으로 매주 1회씩 채취하였고, 채취된 토양용액은 0.45 μm membrane filter로 여과한 후에 pH와 EC를 측정하였고, 질소자동분석기로 토양용액 중 NH₄-N과 NO₃-N 농도를 측정하였다. 또한 오이 재배기간 동안 토양의 NH₄-N과 NO₃-N 함량은 습토 5 g을 2M KCl로 침출하여 No 2로 여과한 후에 질소자동분석기로 분석하였다.

식물체 및 토양분석 오이 생육특성은 표준재배법에 따라 초장, 마디수를 조사하였다. 오이 수확은 3일 간격으로 단위면적당 개수와 무게를 조사하였고, 오이수량은 조사기간 동안에 무게를 합산하여 산정하였다. 오이 및 식물체의 질소흡수량은 오이와 수확기 식물체를 60°C 건조기에 48시간 건조한 다음, 분쇄기로 시료를 조제하여 conc. H₂SO₄로 분해하여 킬달분석법으로 질소함량을 구하였다 (NIAST, 1998).

수확기 토양은 풍건 후에 2 mm체로 토양시료를 조제하였다. 각 처리구의 pH와 EC는 시료와 증류수를 1:5 wt/v 진탕하여 pH와 EC meter로 측정하였다. 유효인산은 Lancaster 법, 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 막대사발에서 곱게 갈은 후, 원소분석기를 이용하여 정량하였다 (NIAST, 2000).

통계처리 시험을 통해 얻은 분석치는 SAS (version 9.2)로 수량 및 토양특성을 유의수준 0.05에서 LSD 검정하였다. 회귀분석을 통해 수량과 토양용액의 평균 질산태질소 농도와의 관계식을 도출하였다.

결과 및 고찰

토양 및 용액 중 질소변화 오이재배 기간 동안 10

Table 1. Chemical properties of soil used experiment test.

Contents	pH	EC	T-C	Av.P ₂ O ₅	Ex.Cation			NH ₄ -N	NO ₃ -N
					K	Ca	Mg		
	(1:5, H ₂ O)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol kg ⁻¹ -----			-----mg kg ⁻¹ -----	
Mean	7.6	1.9	19.1	548.5	0.4	8.2	1.7	13.7	60.1
SD1	0.03	0.03	0.32	10.5	0.02	0.09	0.04	0.6	1.5

¹⁾SD means standard deviation.

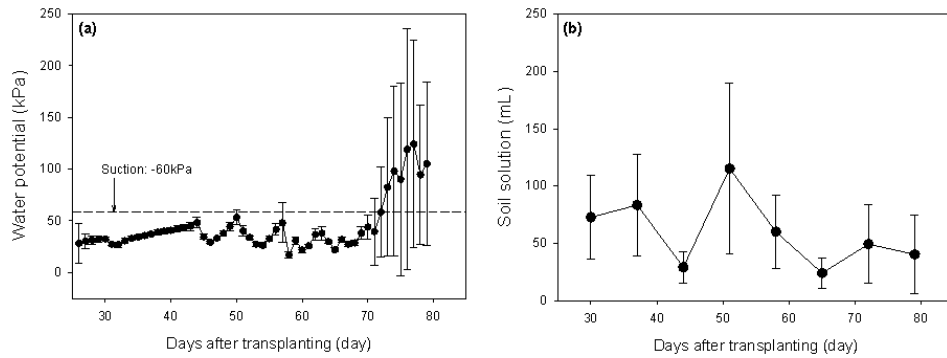


Fig. 1. Changes of (a) water potential and (b) soil solution sampled by 60 kPa of suction during cucumber cultivation. (N 0, 50, 75, and 100% treatments were applied 42.3 Mg ha⁻¹ of fresh ryegrass before experiment)

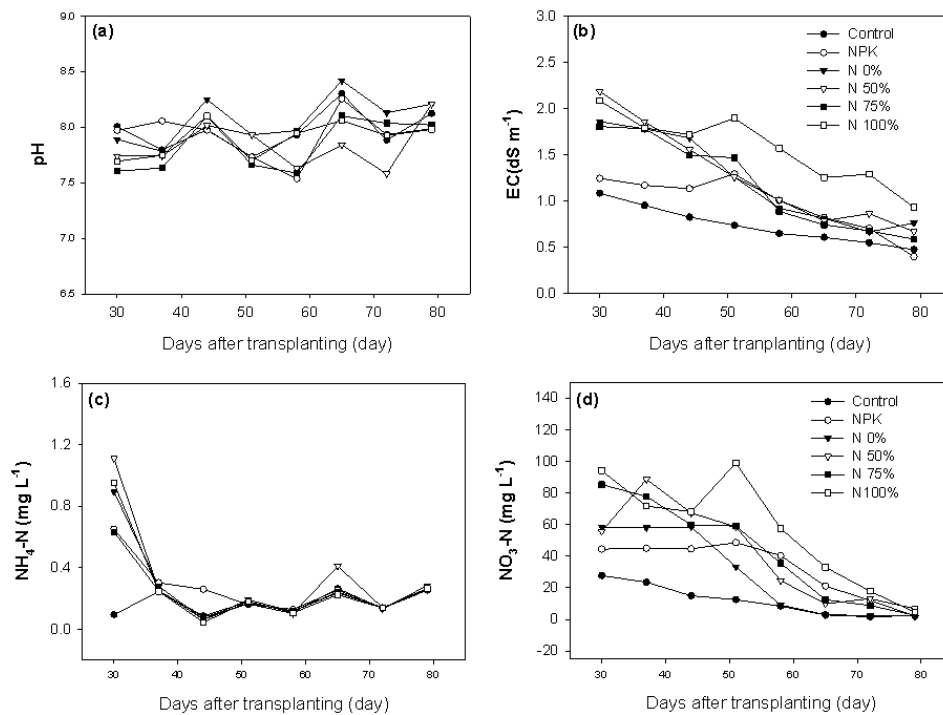


Fig. 2. Changes of (a) pH, (b) electrical conductivity, (c) NH₄-N and (d) NO₃-N concentration in soil solution during cucumber cultivation. (N 0, 50, 75, and 100% treatments were applied 42.3 Mg ha⁻¹ of fresh ryegrass before experiment)

kPa로 시험포장에 관수한 결과, 토양의 수분장력값은 10–120 kPa 범위로 관측되었다 (Fig. 1a). 오이 표준재배에서 물관리는 토양수분장력을 30 kPa 이하로 관리할 것을 추천하고 있기 때문에, 다공성컵에 60 kPa 감압할 때 토양용액은 채취가 가능한 것으로 알려져 있다 (Chung, 1998). 오이 재배기간 동안 다공성 컵 (porous ceramic cup)에 의한 토양용액의 채취량은 토심 25 cm에서 평균 22–94 mL 범위에 있었으나 (Fig. 1b), 각 처리구의 반복 간에 높은 변이계수를 보였다. 다공성컵에 의해 의한 토양용액채취는 다공성의 형태 및 재질, 그리고 토양수분 및 작물생육에 따라 달라지는데, 질소시비량에 따른 오이 잎의 증산량이 토양용액 채취량에 영향을 미친 것으로 해석된다.

오이 재배기간 중 채취된 토양 용액 중 화학성 변화는

Fig. 2와 같다. 검정시비구 (NPK)의 용액 pH는 재배기간이 길어짐에 따라 높아졌으나, EC는 지속적으로 감소되는 경향을 보였다. 시설재배지 토양의 EC의 변화는 토양중 존재하는 NO₃-N 함량과 유의성 있는 정의상관관계를 가지며 (Hong et al., 2001; Lee et al., 2001), 오이 생육에 따른 토양용액의 EC 감소는 토양에 잔존하는 무기질소가 오이 식물체로 흡수되었던 이유로 판단된다.

질소는 순환과정을 통해 다양한 경로를 통해 NH₄-N과 NO₃-N의 무기태 형태로 식물에게 공급되는데, 오이 재배기간 동안 토양용액 중 NH₄-N 농도는 1 mg L⁻¹ 이하이었고, NO₃-N가 무기태 질소의 대부분을 차지하고 있었다 (Fig. 2c와 d). 토양 중 무기태 질소는 호기적인 조건에서 NH₄-N 형태로 식물뿌리에 의해 흡수되며 질산화작용으로 대부분

Table 2. Average values of chemical properties in soil solution and soil sampled for cucumber cultivation.

Contents	N levels (kg ha ⁻¹)	Soil solution				Soil	
		pH	EC dS m ⁻¹	NH ₄ -N mg L ⁻¹	NO ₃ -N mg L ⁻¹	NH ₄ -N mg kg ⁻¹	NO ₃ -N mg kg ⁻¹
Control	0	7.96	0.74	0.17	11.8	3.44	8.8
NPK	199	7.90	0.97	0.27	32.4	4.58	10.5
Ryegrass	0	8.09	1.26	0.28	26.0	4.88	9.5
	100	7.85	1.29	0.33	30.1	3.81	12.7
	150	7.80	1.17	0.23	41.4	4.97	13.4
	199	7.89	1.57	0.28	58.5	6.56	14.9
LSD _{0.05}		NS	0.29	0.09	19.3	1.48	2.74

¹⁾SD means standard deviation.

Table 2. Average values of chemical properties in soil solution and soil sampled for cucumber cultivation.

Contents	N levels (kg ha ⁻¹)	Soil solution				Soil	
		pH	EC dS m ⁻¹	NH ₄ -N mg L ⁻¹	NO ₃ -N mg L ⁻¹	NH ₄ -N mg kg ⁻¹	NO ₃ -N mg kg ⁻¹
Control	0	7.96	0.74	0.17	11.8	3.44	8.8
NPK	199	7.90	0.97	0.27	32.4	4.58	10.5
Ryegrass	0	8.09	1.26	0.28	26.0	4.88	9.5
	100	7.85	1.29	0.33	30.1	3.81	12.7
	150	7.80	1.17	0.23	41.4	4.97	13.4
	199	7.89	1.57	0.28	58.5	6.56	14.9
LSD _{0.05}		NS	0.29	0.09	19.3	1.48	2.74

Note: NS means not significance.

NO₃-N 형태로 존재하게 된다 (Sainju et al., 1999; Wivstad, 1999). Figure 2d와 같이, 토양중의 NO₃-N는 오이재배 기간에 따라 지속적으로 감소되는 경향을 보였다. 이러한 이유는 오이가 생육하면서 토양 질소를 흡수한 것으로 판단된다. 오이재배 기간 중 토양용액의 화학적 특성의 평균값을 Table 2에 나타내었다. 호밀처리구의 평균 NO₃-N 농도는 각각 26.0, 30.1, 41.4, 58.5 mg L⁻¹로 질소시비량이 증가함에 따라 높아졌으며, 평균 NO₃-N 농도는 토양 NO₃-N과의 고도의 상관관계 (r=0.831^{**})를 나타내었고, 오이식물체의 질소흡수량과도 직선적인 상관관계 (r=0.615)를 보였다 (Table 3). 따라서 토양용액의 NO₃-N 농도는 오이 생육 및 수량 진단을 위한 지표로 이용이 가능할 것으로 평가되었다.

오이수량 및 질소흡수량 오이 식물체의 질소이용율과 수량특성은 Table 3과 같다. 토양검정시비구 (NPK)의 수량은 68 ton ha⁻¹로 무비구에 비해 약 20%의 수량이 증수되었고, 오이 식물체 한마디당 161 mg의 질소를 흡수하였다. 호밀을 환원한 N 50% 와 N 75% 처리구의 오이수량은 토양검정구 (NPK)의 오이수량과 뚜렷한 차이가 없었고, N 100% 처리구는 토양검정구 (NPK)에 비해 약 11%의 오이가 증수

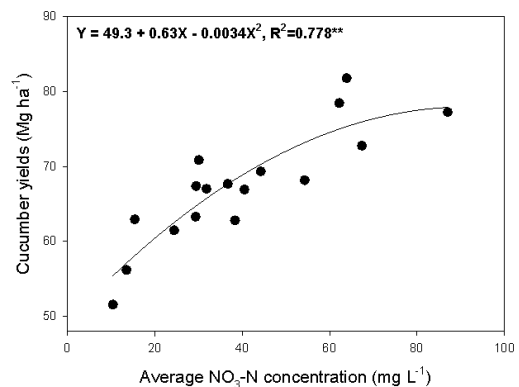


Fig. 3. Relationship between cucumber yields and average NO₃-N concentration in soil applied different N levels (denotes significance at 1% level).**

되었다. 본 결과에서는 오이시설재배지에 호밀 환원을 통해 질소검정시비량 (199 kg ha⁻¹)의 25-50%에 해당하는 질소시비 절감효과를 보였다.

질소 시비 수준에 따른 토양용액의 평균 NO₃-N 농도는 작물 질소 흡수량과 상관관계를 나타내어 오이수량과 평균 NO₃-N 농도와의 관계를 평가하였다 (Fig. 3). 오이 수량과 토양

Table 4. Chemical properties of soil applied different N levels after harvesting cucumber.

Contents	N levels	pH	EC	T-C	Av.P ₂ O ₅	Ex.Cation			Extractable N	
						K	Ca	Mg	NH ₄ -N	NO ₃ -N
	kg ha ⁻¹	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	----- cmol kg ⁻¹ -----			----- mg kg ⁻¹ -----	
Control	0	7.47	0.64	19.23	555	0.17	8.15	1.58	13.7	20.8
NPK	199	7.45	0.83	19.13	489	0.08	8.08	1.23	14.9	41.1
Ryegrass	0	7.59	0.57	22.00	501	0.08	7.97	1.32	16.1	25.3
	100	7.40	0.71	21.51	471	0.12	7.90	1.36	14.8	36.2
	150	7.49	0.65	21.09	531	0.09	7.55	1.35	16.0	34.0
	199	7.38	0.70	22.66	559	0.10	7.52	1.46	16.6	44.8
LSD _{0.05}		NS	0.13	1.48	NS	0.06	NS	0.19	1.90	3.85

Note: NS means not significance.

용액의 평균 NO₃-N 농도와와의 수식은 $Y=49.3+0.63X-0.0034X^2$ 으로 결정계수 (R²)는 0.778로 유의성 (p<0.01)이 있었다. Lim et al. (2001)은 토양용액의 질산이온농도가 400 mg L⁻¹일 때 오이수량은 최대치를 나타낸다고 보고하였고, 이 때 질산이온농도를 NO₃-N농도로 표시하면 93.0 mg L⁻¹가 된다. Figure 3과 같이, 최대 평균 NO₃-N 농도는 77.8 mg L⁻¹으로 오이 최대수량을 나타내는 NO₃-N 농도를 나타내지 않았다. 그러나 이차회귀식을 통한 구한 수식은 오이수량과 토양용액의 평균 NO₃-N 농도와 고도로 유의한 관계를 나타내므로, 질소의 시비형태 및 시비량에 상관없이 토양용액 중 적절한 NO₃-N 농도 관리를 통해서 시설재배지 질소관리가 가능함을 시사하고 있다.

수확기 토양특성 수확기 토양의 화학적 특성은 Table 4와 같으며, 토양검정시비구 (NPK)의 EC는 0.83 dS m⁻¹로 시험전 토양의 EC에 비해 약 50% 감소를 보였다. 토양검정은 시설재배지 토양의 염류집적을 조절할 수 있는 효과적인 방법임을 잘 보여주었다. 그러나 호밀 환원구의 토양 EC는 0.57-0.71 dS m⁻¹ 범위에 있었고, 오이 최고수량을 보인 N 100% 처리구는 EC가 0.71 dS m⁻¹로 NPK에 비해 약 19% 감소와 더불어 토양 NO₃-N 함량은 44.8 mg kg⁻¹으로 NPK와 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 토양 중 질소함량은 질소 시비 형태와 량, 그리고 투입되는 유기물 종류와 화학성분에 의해 달라진다 (Kuo et al., 1997; Choi et al., 2010; Sainju et al., 1999). 본 시험에서 호밀을 통해 132 kg N ha⁻¹가 토양에 공급되었고, 호밀의 탄질율이 18.7로 낮기 때문에 미생물의 부동화와 작물에 대한 질소 유효도가 토양의 EC와 NO₃-N 함량에 영향을 미친 것으로 해석된다.

적 요

오이 시설재배지에서 질소 시비량 절감에 대한 호밀 환원 효과와 수량과 토양용액 중 질산태질소와의 관계를 평가

하였다. 시험 처리구는 토양검정시비구 (NPK), 호밀을 42.3 Mg ha⁻¹ 환원하여 질소비료 199 kg N ha⁻¹의 0, 50, 75, 100%의 4 수준으로 시비하여 시설재배지에서 오이 수량과 토양용액의 질산태질소 농도를 조사하였다. NPK의 오이수량은 68.8 Mg ha⁻¹이었고, 호밀의 투입은 토양검정 질소시비량의 25-50%를 절감할 수 있었다. 오이재배 기간 중 NPK 토양용액의 평균 NO₃-N 농도는 32.4 mg L⁻¹ 이었고, 호밀처리구의 0, 50, 75, 100%에서는 각각 26.0, 30.1, 41.4, 58.5 mg L⁻¹으로 질소시비량이 증가함에 따라 높아졌다. 이때 시설재배 오이수량과 토양용액 중 평균 NO₃-N 농도와와의 수식 ($Y=49.3+0.63X-0.0034X^2$, R²=0.778^{**})은 유의성을 나타내었다. 따라서 오이 재배 중 토양용액 분석으로 질소 유효를 시비량 결정이 가능할 것으로 판단되었다. 그러나 오이수량과 토양용액 NO₃-N 농도와와의 관계에 대한 추가적인 실증연구가 필요할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업 (과제번호: PJ008596)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인 용 문 헌

- Addiscott, T.M. and D. Thomas. 2000. Tillage, mineralization and leaching: phosphate. *Soil & Tillage Res.* 53:255-273.
- Ashraf, M., T. Mahmood, F. Azam, and R.M. Qureshi. 2004. Comparative effects of applying leguminous and nonleguminous green manures and inorganic N on biomass yield and nitrogen uptake in flooded rice (*Oryza sativa* L.). *Biol. Fertil. Soils.* 40:147-152.
- Choi, B.S., J.A. Jung, M.K. Oh, S.H. Jeon, H.G. Goh, Y.S. Ok, and J. K. Sung. 2010. Effects of Green Manure Crops

- on Improvement of Chemical and Biological Properties in Soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(5):650-658.
- Chung, J.B. 1998. Thchnique for soil solution sampling using porous ceramic cups. Agri. Chem. Biotechnol. 41(8):583-586.
- Jung, G.B. I.S. Ruy, and B.Y. Kim. 1994. Soil texture, electrical conductivity abd chemical fertilzer and farm manure for major crop. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 27: 238-246.
- 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. Korean J. Environ. Agric. 17(3):268-273.
- 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.
- Kuo, S., U.M. Sainju, and E.J. Jellum. 1997. Winter cover crop effects on soil organic carbon and carbohydrate. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:145-152.
- 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.
- 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, NO₃-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. Change in agricultural irrigation water uality in Mankyong River. Korean J. Environ. Agric. 18:6-10.
- Lee, S.B., C.H. Lee, C.O. Hong, S.Y. Kim, Y.B. Lee, and P.J. Kim. 2009. Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. Korean J. Environ. Agric. 28(4):397-402.
- Lee, S.M., S.H. Yoo, and K.H. Kim. 1995. Changes in concentrations of Urea-N, NH₄-N and NO₃-N in percolating water during rice growing season. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 28(2):160-164.
- NAAS. 2010. Fertilizer application recommendations for crop plants, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 1998. Methods of soil chemical analysis. Natioanl Institue of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis. Natioanl Institue of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Pang, X.P., J. Letey, and L. Wu. 1997. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61:257-261.
- 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. Korean J. Environ. Agric. 18(4):196-203.
- Roppongi, K. 1998. Study on nutrient management in vegetable greenhouse soil by real time diagnosis. Japan. 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. J. Environ. Qual. 28:1837-1844.
- Wagger, M.G. 1989. Time of desiccation effects on plant composition and subsequent nitrogen release from several winter annual cover crops. Agron. J. 81:236-241.
- Wivstad, M. 1999. Nitrogen mineralization and crop uptake of N from decomposing ¹⁵N labeled red clover and yellow sweetclover plant fractions of different age. Plant Soil. 208:21-31.