

토양용액 채취를 위한 토성별 한계수분함량 설정

이창훈¹ · 김명숙¹ · 공명석¹ · 김유학¹ · 오택근² · 강성수^{1*}

¹농촌진흥청 국립농업과학원 토양비료과, ²충남대학교 농업생명과학대학 생물환경화학과

Determination of moisture threshold for solution sampling in different soil texture

Chang Hoon Lee¹, Myung Sook Kim¹, Myung Seok Kong¹, Yoo Hak Kim¹, Taek-Keun Oh², Seong Soo Kang^{1*}

¹National Academy of Agricultural Science, RDA, Wanju-gun, 565-851, Republic of Korea

²Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Republic of Korea

Received on 4 November 2014, revised on 24 November 2014, accepted on 1 December 2014

Abstract : Soil moisture is an important factor for the availability and circulation of nutrients in arable soil. The purpose of this study was to set thresholds moisture content on soil nitrate concentration in the solution for real-time diagnosis. Sandy loam, silt loam, and sandy loam was filled with 1.2 g cm⁻³ at Wagner pots, 0, 100, and 200 mg L⁻¹ of KNO₃ was saturated. Nitrate in standard solution was recovered about 95% by passing the porous cup. Nitrate concentrations in sampling of soil solution were examined by using a porous cup. The soil solution was higher in accordance with sandy loam > silt loam > clay loam, limited water filled pore space for sampling soil solution was 33.7, 56.4, and 62.2%, respectively. Nitrate concentration in the soil solution was negligible at sandy loam and silt loam during sampling periods, which was decreased about 50~82% in clay loam compared to the initial NO₃-N concentration in the saturated KNO₃ solution. Over limitation of soil solution sampling, soil EC and NO₃-N content were increased with the saturated NO₃-N concentration, regardless of soil texture (p < 0.05). Conclusively, soil solution by using a porous cup was possible, regardless of the soil texture, which was useful for the diagnosis in nitrate concentration of soil solution. However, because nitrate concentration of soil solution in a clay loam changes, it was necessary for careful attention in order to take advantage for the real-time diagnosis of nitrogen management in soil.

Key words : Soil solution, Nitrate, Moisture, Soil texture

I. 서론

시설재배는 연중 작물생산이 가능하여 무기질비료 및 유기자원의 지속적인 시용으로 양분불균형과 염류집적이 발생되고 있다(Pang et al., 1997; Lee et al., 2009). 비료의 과다시비는 필요 이상의 양이온(K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺)과 음이온(NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HPO₄ 등)을 침전형태로 표층토에 집적시켜 토양의 EC(electrical conductivity) 값을 크게 높이게 된다(Jung et al., 1994). 이러한 결과 작물로 토양수분이 저해되고, 토양하층으로 양분이 이동되어 지하수오염이 유발하기도 한다(Johnes, 1996; Lee et al.,

1999). 그럼에도 불구하고 표준시비량이나 농가에서 습관적으로 비료를 사용하고 있으며, 특히 작물 수량을 위해 토양 EC에 영향력이 가장 높은 질소원을 무분별하게 사용하고 있다(Lee et al., 2001; Jung et al., 1994). 그러므로 시설재배지 양분과다집적 및 양분용탈을 예방하기 위해 토양검정 및 작물이 필요로 하는 양분의 양을 고려한 합리적인 시비가 요구된다.

최근 시설재배는 토양수분과 양분공급을 위해 관비재배를 이용하고 있다(Hedge, 1997). 관비재배는 작물생육에 알맞은 물과 양분을 필요한 시기에 공급할 수 있는 장점이 있는데, 이는 일시적인 과량의 관수보다는 적정량의 잦은 관수가 물의 이용효율을 높이고, 적절한 비료의 분시를 통해 비료이용효율 향상과 작물의 수량 및 수량을 향상시킨

*Corresponding author: Tel: +82-63-238-2403

E-mail address: sskang33@korea.kr

Table 1. Soil properties used the test.

Texture	pH	EC	OM	Av.P ₂ O ₅	Ex.Cation				Extractable N	
					K	Ca	Mg	Na	NH ₄ -N	NO ₃ -N
	(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	--- (cmol kg ⁻¹) ---				-- (mg kg ⁻¹) --	
SL	5.9	0.61	19.7	525	0.13	2.21	1.5	0.01	7.6	26.5
SiL	6.4	4.91	19.8	357	0.27	3.04	1.3	0.02	11.5	114.6
CL	7.9	0.66	24.3	875	0.66	3.06	1.7	0.02	5.8	11.2

다(Miller et al., 1976; Cook and Sanders, 1995). 그러나 토양 비옥도 상태에 따라 작물의 수량효과는 현저한 차이가 있으나, 경험적으로 관비하고 있는 실정이다. 이로 인해 시설재배지내에 및 토양 EC와 더불어 가용성 NO₃-N 함량이 축적되고 있으며, 작물체내에 NO₃-N 함량이 축적되는 결과를 초래하고 있다(Lee et al., 2001). 따라서 시설재배지에서 작물생육에 맞는 적정 관비농도를 조절은 토양염류 집적을 완화할 수 있는 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). Lim 등(2001)은 시설오이 재배농가에서 토양용액 중 NO₃-N 농도와 수량과는 밀접한 관계가 있다고 보고한바 있다. 또한 Hong 등(2001)은 작물의 NO₃-N 축적은 질소시비량과 유의적인 정의상관관계가 있다고 보고하였다. 이러한 토양용액의 적정 NO₃-N 농도 관리는 작물생육에 알맞은 적정 질소공급을 유도가능하여 시설재배지 염류집적 완화에 기여할 것으로 예상된다. 토양용액의 NO₃-N 농도 평가는 시설재배지에서 적정 질소시비를 위한 대안이 될 수 있으나, 토양 수분과 및 질소에 대한 토양용액을 채취 조건에 대한 연구는 미미한 실정이다. 따라서 시설재배지에서 토양용액 채취를 위한 한계수분 함량을 평가하고자 토성별 토양용액 채취 및 NO₃-N 농도를 조사하였다. 이를 통해 작물재배 기간 중 실시간 웃거름 질소시비량을 조절을 위한 시설재배지 적정 관수에 대한 기초자료를 마련하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 다공성 세라믹의 투과조건

토양용액이 다공성 컵에 투입 전과 투입후의 농도에 미치는 영향을 평가하였다. 사용된 다공성 세라믹은 컵은 Al₂O₃ 재질로 직경 200 mm, 높이 500 mm 이었고, 약 7 μm의 공극

을 가지고 있었다. 토양 용액의 투과속도는 60 kPa 이상 감압하는 조건에서 1.82 ± 0.21 mL min⁻¹으로 일정하였다. 다공성 세라믹에 표준용액의 투과효율을 산정하고자 질소단용은 NH₄NO₃, 질소와 가리는 KNO₃, 삼요소(NPK)는 NH₄NO₃와 K₂HPO₄ 시약을 이용하여 N, NK, NPK의 0, 100, 200 mg/L 표준용액을 제조하였다. N, NK, NPK 표준용액 1 L에 다공성 컵을 놓은 후에 자동용액 채취기(UMS)로 60 kPa (1.5 mL/min)로 감압하여 표준용액을 다공성 컵에 투과시켰다. 그리고 투과된 표준용액 중 NH₄-N과 NO₃-N 자동질소분석기로, pH와 EC를 pH 및 EC 미터로 측정하였다.

2. 토양 충전

토양용액 채취를 위한 한계 토양수분 함량을 설정하기 위해서 Table 1과 같이 사양토, 미사질양토, 식양토인 시설토양을 채취하였다. 토양시료는 풍건하여 2 mm 체를 이용하여 조제하였다. 사양토와 식양토의 가용성 질소 함량은 34.1과 17.0 mg kg⁻¹ 이었고, 특히 식양토의 pH는 7.9로 암모니아 질소 휘산이 발생할 수 있는 조건이었다. 미사질 양토는 EC와 NO₃-N 함량이 각각 4.91 dS m⁻¹, 114.6 mg kg⁻¹으로 다른 토성에 비해 높은 값을 나타내고 있었다(Table 1). 각 토성별 토양수분을 비교하기 하고자 풍건하여 2 mm체에 투과된 각 토성의 토양을 1/2000 와그너 포트에 용적밀도 1.2 g cm⁻³로 충전 하였다. 이때 0, 100, 200 mg L⁻¹의 NO₃-N 용액에 와그너 포트를 2일 동안 침수시켰다. 다공성 세라믹은 토양 깊이 20 cm에 설치하여 60 kPa 감압 조건으로 토양용액을 채취하였다. 이때 각 토성별 수분함량은 아래와 같이 water filled pore space (WEPS)로 나타내었다.

3. 토양용액 및 토양분석

토양용액 중 pH와 전기전도도(EC)는 pH 및 EC 미터를 이용하였고, NH₄-N과 NO₃-N 농도를 자동질소분석기로

측정하였다. 시험후 토성별 토양의 이화학적 특성은 농촌진흥청 식물체 및 토양분석법에 준하여 조사하였다(NAAS, 2000). 토양의 pH와 EC 값은 1:5 물 침출법, 유기물 함량은 Wakley and Black 법, 가용성 $\text{NH}_4\text{-N}$ 와 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 2 M KCl로 침출하여 자동질소분석기로 측정하였다.

4. 통계분석

표준용액의 회수율, 토양용액 및 토양화학적 특성은 분산분석(ANOVA)을 통해서 유의수준 5%로 처리간 최소유의차검정을 실시하였고, 토성과 질소 시비수준 간에 교호작용을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 다공성 세라믹의 N, P, K 회수율

다공성 컵에 60 kPa 감압하여 질소시비형태별 표준용액

을 투과시켰다(Fig. 1). 다공성에 투과된 N, NK, NPK 표준용액은 pH가 5% 미만으로 변화되었다. 그리고 표준용액의 농도가 높아짐에 따라 다공성컵에 투과된 용액의 pH는 10%내외의 변화를 나타내었다. 무처리구의 전기전도도(EC)는 투과전·후 차이가 없었고, 100과 200 mg L^{-1} 의 표준용액의 농도는 다공성에 투과됨에 따라 최소농도에 비해 10~20%의 변화가 있었다.

무기태 질소는 다공성 컵에 N, NK, NPK 용액을 투과됨에 따라 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 질소, 인산, 칼리의 혼합형태에 따라 차이를 나타내었다(Fig 1 c와d). 다공성 컵에 투과됨에 따라 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도는 최초 농도에 비해 약 11% 감소되었고, $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 3% 미만이었다. 대표적인 웃거름 관비형태인 NK 표준용액은 다공성 컵에 투과되더라도 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 약 5% 미만으로 변화되었다. 그러나 일반적인 화학비료처리인 NPK의 표준용액은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 가 25~40%, $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 약 10% 감소되었다. 이상의 결과로, 토양용액 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도는 다공성 컵을 투과함에 따라 달라짐을 알 수 있었다. 그러나 시설재배지에서

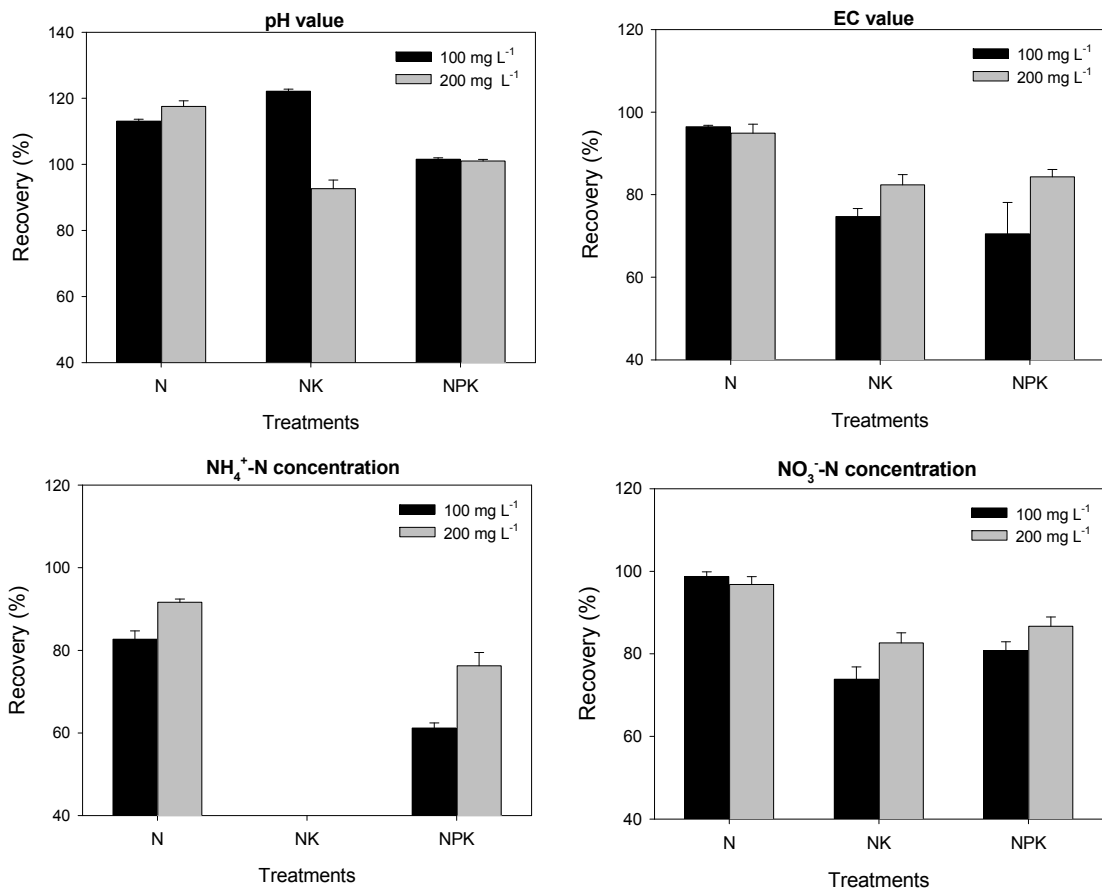


Fig. 1. Chemical characteristics of solution permeable to porous cup with fertilizer types.

주로 옷거름 질소처리에 이용되는 질소단용(N) 및 NK 시비형태는 토양용액 중 NO₃-N 농도 변화가 5% 미만으로 불포화 토양수분조건에서 토양용액 중 NO₃-N 분석은 시설재배지 옷거름 질소시비기준에 활용이 가능할 것으로 판단된다.

2. 토양용액의 채취량 및 화학성 변화

토성이 다른 시설토양을 이용하여 수분함량 변화에 따른 토양용액 채취량 변화를 조사하였다(Fig. 2). 사양토, 미사질양토, 식양토와 같이 점토함량이 높을수록 단위시간당 토양용액 채취량은 감소되었다(Fig. 2b). 다공성컵에 60 kPa 감압하에서 토양용액을 채취할 수 있는 한계수분함량은 사양토가 WFPS 33%이었고, 미사질양토와 식양토는 각각 WFPS가 58.8과 61.1%이었다. 이를 중량수분함량으로 계산할 때, 사양토, 미사질양토, 식양토는 중량수분함량이 14.2, 24.8, 25.8% 이상일 때 다공성 컵으로 토양용액을 채취할 수 있었다. 단위시간당 최대 토양용액의 평균 채취량은 사양토가 183 mL, 미사질양토가 166 mL, 식양토가 115 mL를 나타내었다. 한계수분함량을 기준으로 할 때, 단위시간당 토양용액 채취량은 사양토, 미사질양토, 식양토에서 각각 6.3, 7.6, 7.3 mL 이었다. 따라서 토성별 토양수분함량이 토양용액의 채취량에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

토성별 채취한 토양용액의 pH, EC, NO₃-N 농도 변화를 조사하였다(Fig. 3). 다공성컵에 토양용액 채취는 토양의 수분함량을 감소시켰으나, 채취된 토양용액의 pH 변화는

처리간 미미하였다. 사양토에서 토양용액의 pH는 NO₃-N 처리량에 영향을 받았으나, 미사질양토와 식양토는 뚜렷한 pH 변화를 나타내지 않았다. 토양용액 채취동안 토양용액 중 EC 변화는 미미하였고, EC는 NO₃-N 처리농도에 뚜렷한 영향을 받았다(p<0.05). 특히, 사양토와 미사질양토는 NO₃-N 농도가 100 mg L⁻¹ 증가될 때, 토양용액의 EC는 약 0.8-1.0 dS/m가 높아지는 경향을 보였고, 식양토에서 토양용액의 EC는 질소처리농도와 관계가 없었다(p<0.05). 그러나 식양토의 200 mg L⁻¹ 질소 처리구는 토양용액 EC가 1.62 dS m⁻¹으로 오히려 사양토와 미사질 양토의 토양용액 EC에 비해 매우 낮았다. Fig 3에서 보듯이, 식양토에서 토양용액의 NO₃-N 농도는 토양용액 채취량이 높아짐에 따라 급격히 감소되었다. 토양 중 탈질은 WFPS가 60-80% 최대로 발생되는데(Paramasivam and Alva, 1997.), 식양토의 WFPS가 토양용액의 NO₃-N 탈질에 영향을 미친 것으로 해석된다. 이러한 결과는 식양토가 토양용액을 활용한 질소시비기준을 설정에 부적합함을 시사하고 있다.

토양용액 채취 후, 질산태 질소 처리에 따른 토성별 화학적 특성을 조사하였다(Table 2). 토양 pH와 EC는 토성과 질산태 질소 처리에 영향을 받았으며, EC는 토성과 질산태 질소 처리에 교호작용이 있었다. 질산태 질소처리량이 증가할수록 토양의 가용성 NO₃-N 함량은 증가되었고, EC와 마찬가지로 토성과 질소 처리간에 교호작용이 있었다. 본 시험을 통해 토양에 질소 처리는 EC와 가용성 질산태 질소 함량, 그리고 토양용액의 EC와 NO₃-N 농도에 관련이 있음을 알 수 있었다. 따라서 적정 토양수분함량을 조건에서 토양용액의 NO₃-N 농도를 활용한 질소 시비기준 설정이

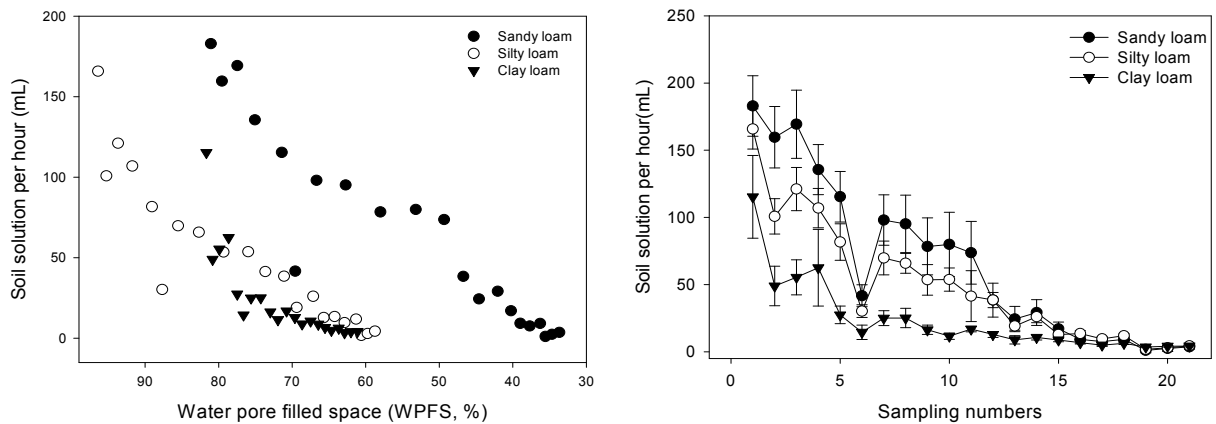


Fig. 2. Changes in soil solution with water filled pore space in different soil texture.

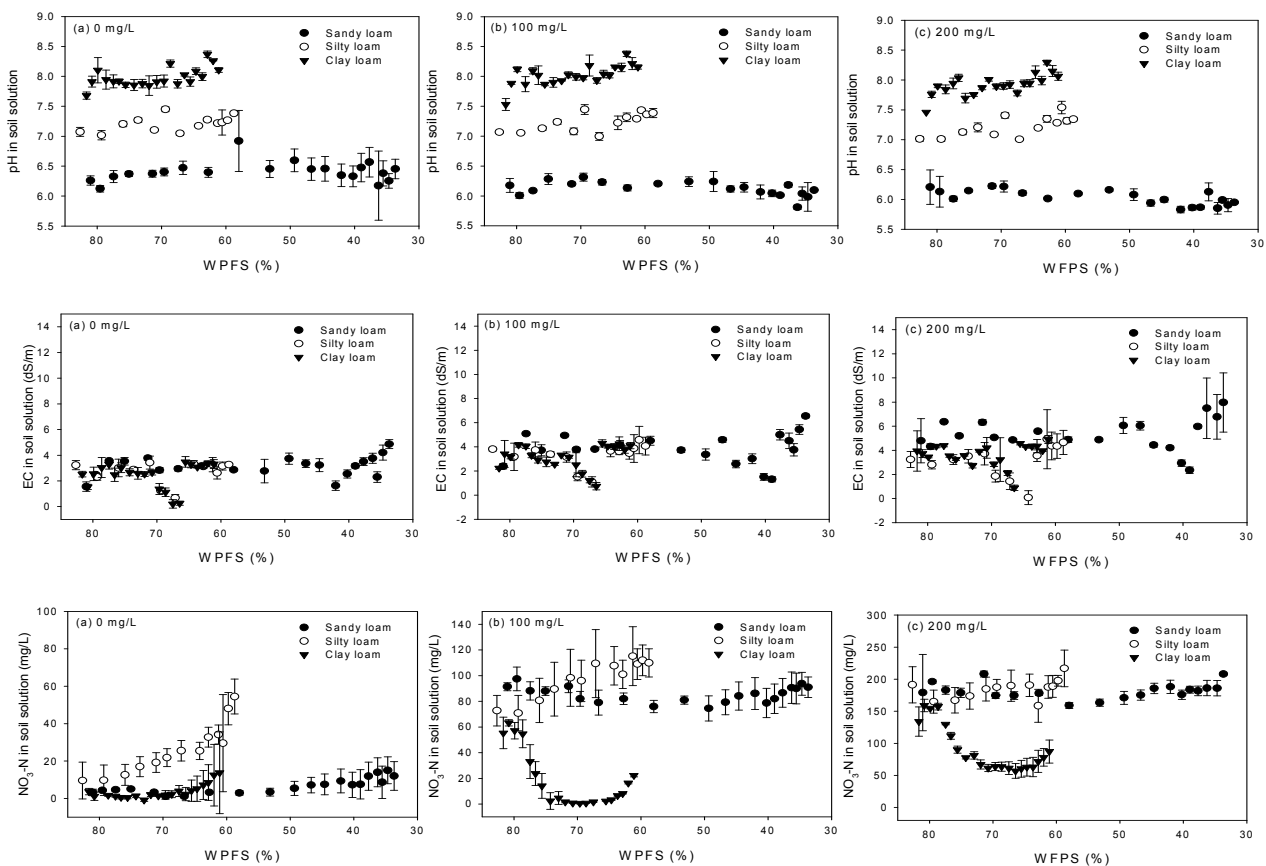


Fig. 3. Changes of pH, EC, and nitrate concentration in soil solution with different soil texture.

Table 2. Changes of soil properties after collecting soil solution under different soil texture.

Soil texture	N level	pH	EC	OM	Extractable N	
					NH ₄ -N	NO ₃ -N
		(1:5)	(dS m ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	----- (mg kg ⁻¹) -----	
SL	0	6.16	0.87	23.3	18.7	20.1
	100	6.26	0.75	23.2	16.7	28.9
	200	6.12	1.11	23.4	14.3	58.9
SiL	0	6.90	5.06	25.2	9.5	154.7
	100	6.96	7.34	26.6	15.8	235.3
	200	6.85	10.36	27.5	15.7	497.5
CL	0	7.85	1.16	26.7	3.9	52.8
	100	7.75	1.33	27.2	3.8	78.3
	200	7.76	1.46	27.2	4.1	100.6
Soil texture(A)		***	***	***	***	***
N level(B)		*	***	NS	NS	***
A×B		NS	***	NS	NS	***

가능할 것으로 평가되었다.

IV. 결론

실시간 토양용액의 질산태 질소 농도 진단을 위한 토성

별 한계 수분함량을 설정하고자 하였다. 표준용액의 질산태 질소는 다공성컵(porous cup) 투과 후 약 95%가 회수되었다. 토양용액 채취를 위한 사양토, 미사질양토, 식양토의 한계수분함량은 WPFS 기준으로 33.7, 56.4, 62.2% 이었다. 토양용액 채취는 토성에 관계없이 가능하였으나, 식양

토에서 토양용액의 NO₃-N 농도가 약 50~82%가 감소되었다. 토양 EC와 NO₃-N 함량은 토성에 관계없이 처리 NO₃-N 농도에 의해 증가되었다. 결론적으로 다공성킴을 활용한 토양용액 채취는 실시간 토양질소진단에 유용한 방법이 될 수 있었고, 특히 식양토에서 토양용액의 NO₃-N 농도가 변화하므로 토양용액에 의한 토양질소진단에는 세심한 주의가 요구된다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호:PJ0085962014)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고 문헌

- Cook WP, Sanders DC. 1991. Nitrogen application frequency for drip-irrigation tomatoes. *Horti. Sci.* 26:250-252.
- Han KW, Cho JY, Son JG. 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 DM 1997. Nutrient requirement of solanaceous vegetable crops. *Extension Bulletin ASPAC, FFTC, No. 441, 9.*
- Hong SD, Kim KI, Park HT, Kang SS. 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.
- Johnes PJ. 1996. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modelling approach. *Journal of Hydrology* 183(3-4):323-349.
- Jung GB, Ruy IS, Kim BY. 1994. Soil texture, electrical conductivity and chemical fertilizer and farm manure for major crop. *Korean J. Soc. Soil Sci. Fert.* 27:238-246.
- Lim JH, Lee IB, Kim HL. 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 GJ, Kang BK, Kim HJ, Park SK, Min KB. 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 KB, Lee DB, Lee SB, Kim JD. 1999. Change in agricultural irrigation water quality in Mankyong River. *Korean J. Environ. Agric.* 18:6-10.
- Lee SB, Lee CH, Hong CO, Kim SY, Lee YB, Kim PJ. 2009. Effect of organic Residue Incorporation on Salt Activity in Greenhouse Soil. *Korean J. Environ. Agri.* 28(4):397-402.
- Lee SM, Yoo SH, Kim KH. 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.
- Miller RJ, Rolstam DE, Rauschkolb RS, Walfe DW. 1976. Drip irrigation of nitrogen is efficient. *Calif. Agric.* 30:16-18.
- NAAS. 2000. Methods of soil and plant analysis. National of Agricultural and Academy Science, RDA, Suwon, Korea.
- Pang XP, Letey J, Wu L. 1997. Irrigation quantity and uniformity and nitrogen application effects on crop yield and nitrogen leaching. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 61:257-261.
- Paramasivam S, Alva AK, 1997. Nitrogen recovery from controlled-release fertilizers under intermittent leaching and dry cycles. *Soil Sci.* 162, 447-453.
- Roh KA, Kim PJ, Kang KK, Ahn YS, Yun SH. 1999. Reduction of nutrient infiltration by supplement of organic matter in paddy soil. *Koeran J. Environ. Agric.* 18(4): 196-203.