

Research Article



CrossMark

Open Access

중량식 라이시미터에서 배추 재배에 따른 질소 용탈과 수지

이예진*, 옥정훈, 이슬비, 성좌경, 송요성, 이덕배

농촌진흥청 국립농업과학원 농업환경부 토양비료과

Nitrogen Leaching and Balance of Soils Grown with Cabbage in Weighing Lysimeter

Ye Jin Lee*, Jung Hun Ok, Seul Bi Lee, Jwa Kyung Sung, Yo Sung Song and Deog Bae Lee (Division of Soil & Fertilizer, Department of Agricultural Environment, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 16 August 2018/ Revised: 27 August 2018/ Accepted: 15 September 2018

Copyright © 2018 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Ye Jin Lee

<http://orcid.org/0000-0003-4415-846X>

Seul Bi Lee

<http://orcid.org/0000-0001-5216-6908>

Abstract

BACKGROUND: Nitrogen leaching depends on the drainage pattern and nitrate content, and those are influenced by soil hydraulic properties and fertility. The purpose of this study was to confirm how soil texture contributed to leaching and balance of nitrogen, as well as to drainage.

METHODS AND RESULTS: This study was performed using undisturbed weighing lysimeters which were piled up with clay loam (Songjung series) and sandy loam (Sanju series) soils in National Institute of Agricultural Science experimental field. Chinese cabbage was cultivated from August 30 to October 31, 2017. The application rates of N, P₂O₅, and K₂O were 21.5, 7.8, and 15.0 kg 10a⁻¹, respectively, and irrigation was supplied at -33 kPa in 30 cm soil depth. Drainage in clay loam was not noticeable, although it was increased by rainfall in early September. By contrast, the trend of drainage in sandy loam was strongly dependent upon rainfall pattern. Owing to different drainage patterns between both soil textures, nitrogen leaching was 5-fold higher in sandy loam than in clay loam. Nitrogen use efficiencies in clay loam and sandy loam were

represented as 43% and 52%, respectively.

CONCLUSION: The pattern of drainage and nitrogen leaching were greatly depended on clay content in soil. From this study, we carefully suggest that soil texture should be considered as an incidental factor to estimate nitrogen balance.

Key words: Leaching, Nitrogen balance, Nitrogen use efficiency, Soil texture, Weighing lysimeter

서론

질소는 농업 생산과 직결되는 원소로서 주로 비료로 투입되나 이동성이 크고, 용탈 될 경우 비점오염을 유발할 수 있다(Owens and Edwards, 1994; Gruber and Galloway, 2008). 농경지에서의 질소 용탈을 관리하기 위해서는 수지 분석을 통해 잠재적 용탈량을 예측하는 것이 유용하지만 (Barry *et al.*, 1993), 토양 중 질소함량과 토양 이화학적 특성, 강우 강도, 재배관리 방법에 따른 작물 흡수 등 다양한 원인이 복합적으로 작용하기 때문에 예측이 쉽지 않다(Goulding, 2000).

질소 용탈량은 토양의 배수량에 따라 결정되기 때문에 용탈량을 평가하고자 하는 토양에 대한 배수특성을 파악하는 것이 중요하다. 수분의 수직이동은 강우량과 수리전도도에 따라 달라지며, 수리전도도는 토양 구조에 따른 공극 크기 및 분포와 토양 중 수분상태에 영향을 받는다(Ritchie, 1981; Durner, 1994). 일반적으로 사질 토양은 식질 토양보다 수분의 투수속도가 빠르나, 식질 토양은 건조 시 수축으로 인한 대공극 형성이 쉽게 일어나 투수속도가 달라질 수 있다(Beven and

*Corresponding author: Ye Jin Lee

Phone: +82-63-238-2446; Fax: +82-63-238-3822;

E-mail: leeyj418@korea.kr

Table 1. Soil characteristics of lysimeter soils before experiment

Soils	Depth (cm)	Distribution of soil particle (%)			Bulk density (Mg m ⁻³)	CEC (cmol _c kg ⁻¹)	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg/kg)
		Sand	Silt	Clay						
Clay loam (Songjung series)	0~12	6.8	59.2	34.0	1.18	13.1	5.2	0.6	9.1	463
	12~36	5.8	57.2	37.0	1.26	13.3	5.4	0.01	2.6	ND
	36~61	6.7	56.3	37.0	1.34	14.4	5.8	0.01	2.0	ND
	61~98	17.6	55.4	27.0	1.32	13.2	5.9	0.01	1.5	ND
	98~150	34.0	41.0	25.0	1.43	12.6	5.9	0.01	1.8	ND
Sandy loam (Sangju series)	0~13	54.0	37.0	9.0	1.27	9.4	6.8	0.3	14.4	1,236
	13~26	61.8	30.2	8.0	1.37	7.9	5.0	0.2	8.2	794
	26~41	47.2	40.8	12.0	1.39	9.1	5.3	0.1	6.6	221
	41~66	61.7	29.3	9.0	1.34	6.0	5.7	0.1	ND	82
	66~108	69.2	25.8	5.0	1.34	4.8	5.9	0.1	ND	5
	108~150	75.7	19.3	5.0	1.37	4.0	5.8	0.1	ND	1

Table 2. Chemical properties of top soils before planting in 2017

Soils	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	T-N (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)		
						K	Ca	Mg
Clay loam	5.2	0.3	33	1.5	128	0.14	2.8	2.3
Sandy loam	5.9	0.3	15	0.9	743	0.25	4.0	1.4

Germann, 1982). 또한 점토함량과 토양 유기물 함량은 수분 보유력과 질산태질소 용탈에 영향을 미친다 (Gaines and Gaines, 1994; Lim et al., 2015)은 점토 함량이 많을수록 수분 보유력이 크고 용탈량이 적어 식양토에서 오이의 질소 이용효율이 높았으며, Sogbedji 등(2000)은 토성에 따라 배수량과 침투수의 질소 농도가 달라지며, 질소 수지에 영향을 준다고 하였다. 그러므로 질소 수지 평가를 위해서는 토양의 물리적 특성에 따른 질소 용탈과 작물의 질소 이용률을 분석할 필요가 있다.

비교란 중량식 라이시미터는 실제 포장의 토양 구조와 물리성을 그대로 유지한 상태에서 강우 및 관개로 인한 물 유입, 이동 및 배수에 따른 물수지와 정밀한 질소 용탈량 측정이 가능하므로 현실적인 데이터를 수집하는데 유리하다. 본 연구는 토성에 따라 질소 용탈과 질소 수지가 다르게 나타날 것이라는 가설을 바탕으로, 중량식 라이시미터를 활용하여 배추 재배 중 토성에 따른 질소 용탈량과 작물 질소 흡수량 및 수지를 분석하여 토성이 미치는 영향을 평가하였다.

재료 및 방법

중량식 라이시미터 개요

전북 완주군 이서면의 국립농업과학원에 설치된 중량식 라이시미터(UGT, Germany)를 이용하여 연구를 수행하였다. 라이시미터는 표면적 1 m², 깊이 1.5 m의 원통형으로 스테인레스 재질이며, 층위별 토양수분센서와 실시간 중량을 측정하여 수분이동 및 작물 증발산량을 정밀하게 측정할 수 있

다(Seo et al., 2016; Lee et al., 2017a). 지하배수량은 Tipping counter를 이용하여 측정하였고, 총 강우량과 관개량의 합에서 지하배수량과 유거수량을 뺀 값으로 증발산량을 산정하였다. 라이시미터는 고가의 실험장비로서 반복 시험구를 설치하는데 한계가 있어 본 연구에서는 단일 처리구에서의 결과를 제시하였다.

시험토양

시험토양은 2013년 송정동(식양토)과 상주동(사양토)을 비교란으로 채취하였으며, 라이시미터 토양의 층위별 분류는 USDA의 Soil taxonomy를 적용하였다 (Soil survey staff, 1999). 채취 당시 토양의 이화학적 특성을 보면 사양토는 오랜 기간 경작으로 인산이 표토에 매우 집적된 상태였다 (Table 1). 2017년 가을 배추 재배 전 토양 화학성을 비교하면 식양토는 유기물 함량은 높으나 유효인산은 낮고, 사양토는 채취 당시보다 유효인산 함량은 감소하였으나 식양토에 비해 약 5.8배 높았다(Table 2).

처리내용

배추(품종명 : 해파랑골드) 는 2017년 8월 30일에 60×30 cm 간격으로 정식하였고, 10월 31에 수확하였다. 토양에서 무기화된 질소의 용탈과 비료 시용 후 용탈 양상을 비교하기 위하여 식양토, 사양토 모두 무비구를 두었다. 시비구는 배추 정식 전 pH 교정을 위하여 석회 소요량 분석 후 석회고토 300 kg 10 a⁻¹ 해당량을 8월 10일 시용하였으며, 비료는 작물별 비료사용처방 기준(NAS, 2017) 의 비료 표준사용량을

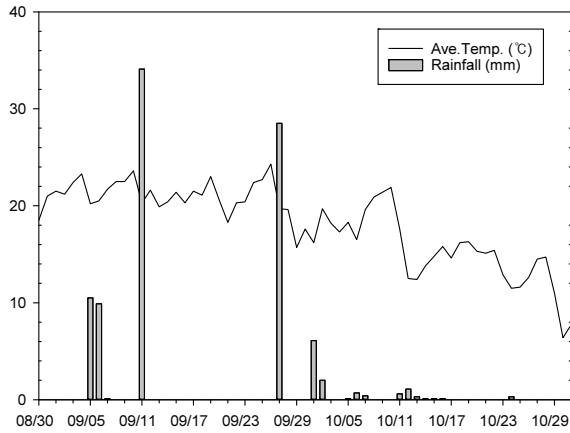


Fig. 1. Daily rainfall and average temperature during chinese cabbage cultivation in 2017.

기준으로 밀거름은 $N-P_2O_5-K_2O=11.0-7.8-11.0 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 을 사용하였으며, 웃거름은 1회 사용량 인 $N-P_2O_5-K_2O=10.5-0-4.0 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 을 생육상황을 감안하여 9월 27일에 1회만 사용하였다. 물관리는 강우 상황과 작물 생육을 고려하여 토심 30 cm 깊이에서 포장용수량 수준인 -33 kPa 을 기준으로 관개하였다.

재배기간 중 기상 조건

배추 정식 후 6일, 12일에 강우가 있었으며, 생육 증기인 9월 27일에 강우가 있었다. 생육기간 중 총 강우량은 120 mm로서 작년 동일시기의 약 40%에 해당할 정도로 강우량이 적었다. 그러나 밀거름 사용 후 작물 생육 초기에 약 30 mm 이상의 강우가 있어 사용한 비료의 용탈이 우려되었다 (Fig. 1).

토양 · 식물체 및 용탈량 분석

토양 및 식물체는 국립농업과학원의 토양 및 식물체 분석법(NIAST, 2000)에 준하여 분석되었다. 토양 유기물은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성 양이온은 1 M NH_4OAC (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP-OES, GBC, Integra XL Dual, Australia)로 분석하였다. 식물체는 건조 후 분쇄하여 시료 0.5 g에 Conc. H_2SO_4 1 mL와 50% $HClO_4$ 10 mL를 가한 뒤 열판에 가열하여 분해하였으며, 질소, 인산, 칼륨 함량은 Lee 등(2017b)의 방법에 따라 분석하였다. 침출수의 질산태, 암모늄태 질소는 이온 자동분석기(QuAAtro, Seal analytical, USA)로 측정하였다. 질소 용탈량은 질산태와 암모늄태 질소의 합에 배수량을 곱하여 산정하였다.

질소 이용효율 및 수지 분석

식양토와 사양토의 질소 이용효율은 시비구의 질소 흡수량에서 무비구의 질소 흡수량을 뺀 값을 질소비료 사용량으로 나누어 산정하였다(Baligar et al., 2001). 수지 분석은 비료와 강우로 투입된 질소 함량 (Input)에서 용탈과 작물의 질

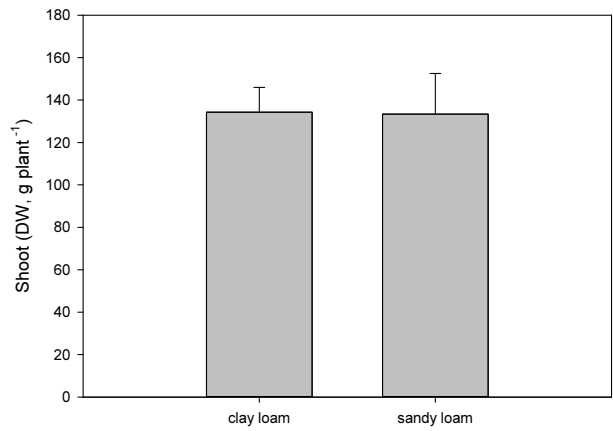


Fig. 2. Shoot dry weight of chinese cabbage in the harvest season.

소 흡수량(Output)을 단위면적(10 a)로 환산하여 Input에서 Output을 제하였으며, 이 값을 질소 수지로 하였다. 라이시미터에서의 토성 간 질소 용탈 및 수지는 처리 간 반복 없이 비교하였다.

결과 및 고찰

토양 특성에 따른 지하배수

라이시미터에서 재배한 배추의 수량은 인근에 변외구로 재배한 배추의 약 70%에 해당하였다. 라이시미터는 주변 토양과 구분된 대형 포트로서 일반 노지에 비해 작물의 활착 범위가 제한되기 때문에 생육에 영향을 미친 것으로 판단된다. 수확기 배추의 포기당 평균 건중은 식양토에서 134 g, 사양토에서 133 g으로 차이가 거의 없었으며(Fig. 2), 일 증발산량 또한 전 생육기간 동안 유사하게 나타났다(Fig. 3). 지하배수는 배추 정식 전부터 생육 초기에 내린 강우에 의해 일어났으며, 정식 초기 지표 피복도가 거의 유사한 상태에서 토성에 따른 배수 양상을 비교할 수 있었다. 식양토(Fig. 3, a)는 전반적으로 일 배수량이 낮았으나 9월 12일 강우에 의한 일 배수량은 사양토(Fig. 3, b)의 3배 정도 많았다. 식질 토양은 완전히 토양이 포화되지 않은 상태에서 수분이 소공극으로 침투되지 않고, 구조에 의한 공극이나 생물 공극 등 대공극으로 수분이 이동하는 선택류(Preferential flow)가 일어난다(Bergstrom, 1995; Aronsson and Bergstrom, 2001). 본 실험에서 사용한 라이시미터는 비교란 상태로서 식양토의 경우 점토에 의한 수축 팽창 및 식물 뿌리에 의한 대공극이 그대로 유지되고 있어 일시적으로 배수량이 증가한 것으로 판단된다. 사양토는 전반적으로 식양토보다 배수량은 많았으나 식양토와 같이 급격하게 배수량이 증가하지 않고 강우에 따라 일정하게 증가했다가 감소하는 양상을 보였다.

질소 용탈

강우에 의한 질소 비료 용탈을 평가하기 위하여 무비구와 시비구를 비교하였다. 사양토와 식양토의 무비구는 질소 용탈

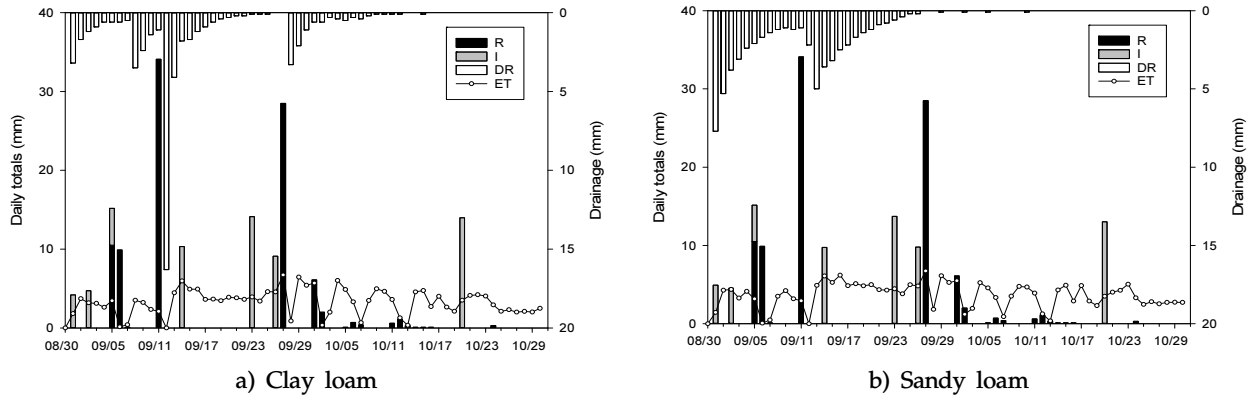


Fig. 3. Rainfall (R), Irrigation (I), Drainage (DR) and evapotranspiration (ET) during cultivation in 2017.

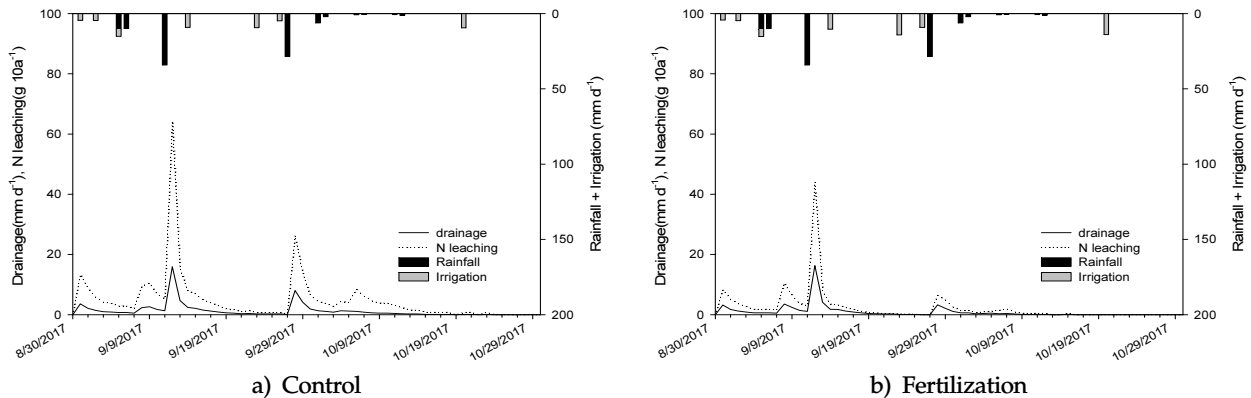


Fig. 4. Daily drainage and nitrogen leaching of non-fertilization (control) and fertilization plots in the clay loam lysimeters.

량이 달랐으나 지하 배수의 질소 농도가 거의 비슷하여 토성에 따른 질소 비료 용탈량을 비교할 수 있었다. 식양토 라이시미터에서 무비구(Fig. 4, a)와 시비구(Fig. 4, b)를 비교했을 때 배수 양상은 유사하였고, 질소 용탈량을 보면 무비구와 유사하거나 무비구에서 다소 많았으나, 무비구와 시비구의 지하침출수 질산태질소 농도의 차이는 1 ppm 미만이었으므로 비료에 의한 용탈은 거의 없었다고 볼 수 있다. 사양토에서는 무비구(Fig. 5, a)와 시비구(Fig. 5, b)의 배수 양상은 유사하였으나 질소 용탈량에서는 큰 차이를 보였다. 사양토 시비구의 질소 용탈량은 무비구 대비 약 1.3~2.5배 많았으며, 식양토와 사양토 시비구에서 배추 생육기간 전체의 질소 용탈량을 비교했을 때 사양토의 질소 용탈량이 5배 많았다(Table 3). 식질 토양은 사질 토양보다 수분 보유력이 높아 토양 입자를 통한 질산태질소의 확산이 느리게 일어나며 (Gaines and Gaines, 1994), 질산태질소는 토양에 흡착되기보다 이동성이 크기 때문에 점토함량에 따른 수분 특성이 용탈량에 영향을 미친 것으로 판단된다.

질소 이용효율 및 질소 수치

배추의 질소 이용효율은 식양토에서 43.0%, 사양토에서

52.5%로 사양토에서 높았다. 사양토에서 질소 이용효율이 높은 이유는 식물체의 질소, 인산 흡수량 차이에 의한 것인데, 식양토의 식물체 질소, 인산 농도는 각각 2.0%, 0.2% 이었으며, 사양토는 질소 2.6%, 인산 0.4%로 사양토에서 배추의 질소, 인산 흡수량이 많았다. 특히 사양토는 식양토에 비해 유효 인산 함량이 약 5.8배 많았는데, 토양 중 인산 함량이 높으면 인산이 생육 제한인자로 작용하지 않고 질소 비료와 상승효과를 나타내 질소 흡수량이 높게 나타날 수 있다(Kamprath, 1987). 그러므로 사양토의 높은 유효인산 함량이 작물의 질소 흡수에 기여하여 이용효율을 높인 것으로 판단된다.

비료와 강우에 의한 질소 투입량 대비 토성에 의한 질소 용탈량, 작물 흡수량 차이에 따른 질소 수지를 산정하였다 (Table 3). 본 연구에서는 사양토에서 배추의 질소 흡수량이 다소 많아 식양토에 비해 질소 수지가 낮았고, 질소 수치 산정에서 용탈량이 차지하는 비율은 크지 않았으나 사양토에서 용탈량이 많았다. 질소 용탈은 수계 오염에 직접적인 영향을 미치기 때문에 토성에 따른 용탈 특성을 지속적으로 평가하는 것이 중요하며, 점토함량이 낮은 사질 토양일수록 작물의 양분 이용률을 높이고, 비료의 용탈을 최소화하기 위한 관리가 필요하다.

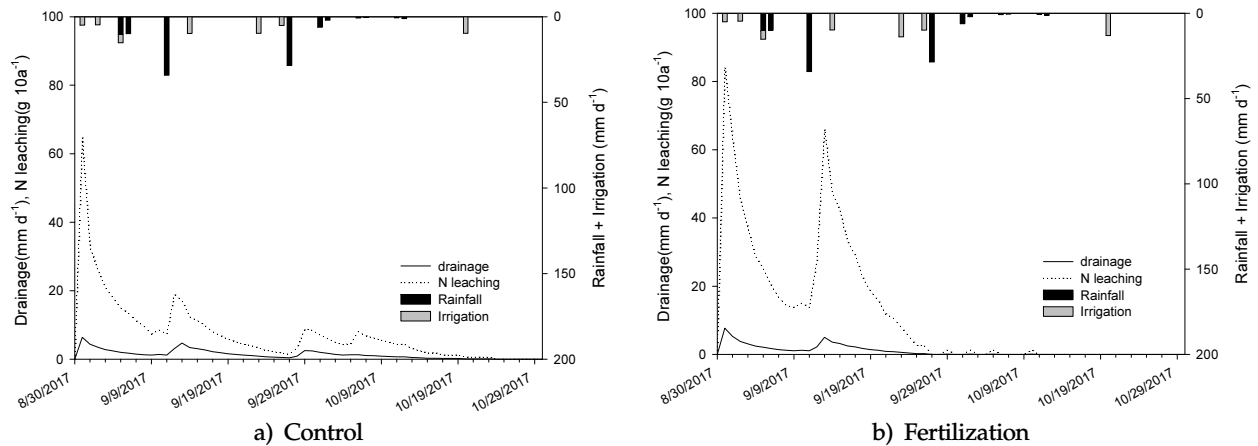


Fig. 5. Daily drainage and nitrogen leaching of non-fertilization (control) and fertilization plots in the sandy loam lysimeters.

Table 3. Nitrogen use efficiency (NUE) and balance in clay loam and sandy loam lysimeters (kg 10 a⁻¹)

Soils	Plot	NUE (%)	Input		Output		ΔN (Input-Output)
			Fertilization	Precipitation	Leaching*	Crop uptake	
Clay loam	N applied	43.0	21.5	0.04	0.14	12.13	9.26
	Control	-	-	0.04	0.29	2.89	-3.14
Sandy loam	N applied	52.2	21.5	0.04	0.70	13.86	6.98
	Control	-	-	0.04	0.46	2.63	-3.06

*N : NO₃-N+NH₄-N, P : PO₄-P, K : Inorganic K

요 약

중량식 라이시미터를 활용하여 배추 재배 중 식양토와 사양토의 질소 용탈과 질소 수지를 평가하였다. 생육 초기인 9월 초 강우로 인해 식양토와 사양토 모두 토심 150 cm 이하로 배수가 있었다. 식양토는 점토의 수축 및 작물 뿌리 등에 의해 형성된 대공극을 통해 일시적으로 배수량이 증가하였으나, 사양토는 식양토와 달리 강우량에 따라 일정하게 배수량이 증가하고, 감소하였다. 토성별로 질소 용탈량을 분석한 결과, 식양토에서는 비료의 용탈이 거의 없는 반면, 사양토에서는 식양토에 비해 5배 많은 질소 용탈이 있었다. 질소수지에서 작물 흡수량에 비해 질소 용탈량이 차지하는 비율은 적었으나 식양토에 비해 사양토에서의 용탈량이 많아 질소 수지 산정에 토성에 따른 용탈특성을 고려할 필요가 있다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of "Research Program for Agricultural Science &

Technology Development (Project No. PJ010867042018)", National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

Aronsson, P. G., & Bergstrom, L. F. (2001). Nitrate leaching from lysimeter-grown short-rotation willow coppice in relation to N-application, irrigation and soil type. *Biomass and Bioenergy*, 21(3), 155-164.

Baligar, V. C., Fageria, N. K., & He, Z. L. (2001). Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32(7-8), 921-950.

Barry, D. A. J., Goorahoo, D., & Goss, M. J. (1993). Estimation of nitrate concentrations in groundwater using a whole farm nitrogen budget. *Journal of Environmental Quality*, 4, 767-775.

Bergstrom, L. (1995). Leaching of dichlorprop and nitrate in structured soil. *Environmental Pollution*, 87(2), 189-195.

Beven, K., & Germann, P. (1982). Macropores and water flow in soils. *Water resources research*, 18(5), 1311-1325.

- Durner, W. (1994). Hydraulic conductivity estimation for soils with heterogeneous pore structure. *Water Resources Research*, 30(2), 211-223.
- Gaines, T. P., & Gaines, S. T. (1994). Soil texture effect on nitrate leaching in soil percolates. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25(13-14), 2561-2570.
- Goulding, K. (2000). Nitrate leaching from arable and horticultural land. *Soil Use and Management*, 16, 145-151.
- Gruber, N., & Galloway, J. N. (2008). An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 451(7176), 293.
- Kamprath, E. J. (1987). Enhanced Phosphorus Status of Maize Resulting from Nitrogen Fertilization of High Phosphorus Soils 1. *Soil Science Society of America Journal*, 51(6), 1522-1526.
- Lee, Y. J., Han, K. H., Lee, S. B., Sung, J. K., Song, Y. S., & Lee, D. B. (2017a). Nutrient leaching and crop uptake in weighing lysimeter planted with soybean as affected by water management. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 36(3), 147-153.
- Lee, Y. J., Sung, J. K., Lee, S. B., Lim, J. E., Song, Y. S., Lee, D. B., & Hong, S. Y. (2017b). Plant analysis methods for evaluating mineral nutrient. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 50(2), 93-99.
- Lim, T. J., Park, J. M., Park, Y. E., Lee, S. E., & Kim, K. I. (2015). Effect of soil textures on fruit yield, nitrogen and water use efficiencies of cucumber plant as affected by subsurface drip fertigation in the greenhouse. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 48(5), 372-378.
- Owens, L. B., & Edwards, W. M. (1994). Groundwater nitrate levels under fertilized grass and grass legume pastures. *Journal of Environmental Quality*, 23, 752-758.
- Ritchie, J. T. (1981). Soil water availability. *Plant and Soil*, 58(1-3), 327-338.
- Seo, M. J., Han, K. H., Jung, K. H., Cho, H. R., Zhang, Y. S., & Choi, S. Y. (2016). Effect of temperature and plow pan on water movement in monolithic weighable lysimeter with paddy sandy loam soil during winter season. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 49(4), 300-309.
- Sogbedji, J. M., van Es, H. M., Yang, C. L., Geohring, L. D., & Magdoff, F. R. (2000). Nitrate leaching and N budget as affected by maize N fertilizer rate and soil type. *Journal of Environmental Quality*, 29, 1813-1820.