

Effect of Soil Textures on Fruit Yield, Nitrogen and Water Use Efficiencies of Cucumber Plant as Affected by Subsurface Drip Fertigation in the Greenhouse

Tae-Jun Lim*, Jin-Myeon Park, Young-Eun Park, Seong-Eun Lee, and Ki-In Kim¹

Horticultural and Herbal Crop Environment Division, RDA-NIHHS, Wanju, 565-852, Korea

¹Dept. of Horticultural Science, Mokpo National University, Muan, 534-729, Korea

(Received: April 28 2015, Revised: October 13 2015, Accepted: October 13 2015)

Growing crops under different soil textures may affect crop growth and yield because of soil N availability, soil N leaching, and plant N uptake. The objective of this study was to evaluate effects of three different soils (sandy loam, loam, and clay loam) on cucumber (*Cucumis sativus* L.) yield, nitrogen (N) use efficiency (NUE), and water use efficiency (WUE) by subsurface drip fertigation in the greenhouse. Three different soil textures are sandy loam, loam, and clay loam with 3 replications. The dimension of each lysimeter was 1.0 m (W) × 1.5 m (L) × 1.0 m (H). Cucumber was transplanted on April 8th and Aug 16th in 2011. The subsurface drip line and tensiometer was installed at 30 and 20 cm soil depth, respectively. An irrigation with 100 mg N L⁻¹ concentration was automatically applied when the tensiometer reading was 10 kPa. Volumetric soil water content for cucumber cultivation was the highest in 30 cm soil depth regardless of soil texture and was lowered when soil depth was deeper. The volumetric soil water contents at soil depths of 10, 30, 50, and 70 cm were the highest at clay loam, followed by loam, and sandy loam. The growth of cucumber at the 50th day after transplanting was the lowest at sandy loam. Cucumber fruit yields were similar for all three soil textures. The highest amount of water use at sandy loam was observed. Nitrogen and water use efficiencies for cucumber were higher for clay loam, followed by loam and sandy loam, while the amount of N leaching was the greatest under sandy loam, followed by loam, and clay loam. Overall, growing cucumber on either loam or clay loam is better than sandy loam if subsurface drip fertigation is used in the greenhouse.

Key words: Soil texture, Subsurface drip fertigation, N management

N use efficiency and water use efficiency (WUE) of cucumber for three different soil textures by subsurface drip fertigation during the growing season.

Treatment	N use efficiency [†]		WUE [‡]	
	Semi-forcing culture	Retarding culture	Semi-forcing culture	Retarding culture
	kg kg ⁻¹		kg m ⁻³	
Sandy loam	0.55b	0.37b	19.5b	12.7b
Loam	0.62ab	0.40ab	22.3ab	13.7ab
Clay loam	0.71a	0.47a	25.6a	16.5a

[†]N use efficiency was determined as N uptake divided by N input

[‡]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

*Corresponding author : Phone: +82632386341, Fax: +82632386305, E-mail: taejun06@korea.kr

[§]Acknowledgement : This study was supported by National Institute of Horticultural & Herbal Science research project (PJ007702), Rural Development Administration, Republic of Korea.

Introduction

우리나라 시설온실의 재배면적은 지속적으로 증가하여 1980년에 7,141 ha에서 2011년 60,226 ha로 8.4배 확대되었다 (MAFRA, 2014). 또한 시설재배에서는 1년에 여러 번의 작물 재배가 가능하기 때문에 노지 작물과 비교하면 훨씬 더 많은 양의 물을 필요로 한다 (Park et al., 2012). 시설 온실에서의 관수는 과채류 재배의 영향으로 점적호스를 이용한 관수가 가장 많은 전체의 40.9%인 20,886 ha에서 사용되고 있다 (MAFRA, 2014). 하지만 시설에서의 점적관수는 거의 대부분 지표관수 방법을 이용하고 있으며 지중관수를 이용한 시설채소 재배면적은 아직 미미한 수준에 머물고 있다.

지중관수는 지표면 아래 10~40 cm의 깊이에 관수호스를 매설하는 방법으로 작물의 뿌리 부근에 양분과 수분을 직접 공급하므로 지표층에서의 수분 증발이 적고 지표관수보다 관수한 수분이 넓게 퍼짐으로써 물의 이용률이 높은 이점이 있다고 보고되고 있다 (Camp et al., 1997; Zhuge et al., 2004). 하지만 지중관수의 도입초기인 1970년대에는 관수 호스에 구멍이 막히거나 재배기간 동안 작물의 뿌리가 관수 호스를 막는 등 문제점이 있어 실용화 되지 못하였으나 (Blass, 1971), 막힘의 문제점을 개선한 관수자재가 개발되어 이스라엘과 미국을 중심으로 사용 면적이 지속적으로 증가하고 있다 (Camp, 1998; Enciso et al., 2015). Lamn et al. (2012)은 2003년부터 2008년까지 미국에서의 지중관수에 대한 사용 면적이 160 천 ha에서 260 천 ha로 60% 증가하였다고 보고하였으며, 옥수수, 양파, 브로콜리, 꽃양배추 등 다양한 작물을 대상으로 연구가 수행되고 있다 (Jordan et al., 2014; Thompson et al., 2000; Thompson et al., 2003).

토성은 모래, 미사, 점토의 함유비율로 토양 중 수분 특성 및 질소 동태에 영향을 준다고 알려져 있다 (Armstrong et al., 2009; Tremblay et al., 2012; Zhu et al., 2009). 예를 들어 식양토의 포화수리전도도는 2.3 mm h^{-1} 인 반면 사양토에서는 25.9 mm h^{-1} 로 10배 이상 빨라서 작물이 흡수할 수 없는 근권 아래로의 물의 이동이 용이하다 (Rawl et al., 1982). 또한 토양의 포화수분 상태에서 포장용수량까지 수분함량의 범위가 사양토와 비교하여 식양토 토양에서 넓어 보다 긴 시간 동안 작물에 수분 공급이 가능하기 때문에 토성이 물의 이용효율에 영향을 미칠 수 있다. 그리고 Sogbedji et al. (2000)은 거친 입자가 많고 배수조건이 용이한 양질사토에서 점토의 비율이 상대적으로 높은 식양토와 비교하여 질산태 질소의 용탈량이 많게 되므로 입자의 크기 분포에 따라서 질소의 이용효율이 달라질 수 있다고 보고하고 있다.

이러한 영향 때문에 토성이 작물의 생육 및 수량에도 영

향을 미칠 수 있다 (Nolin et al., 1989). Oberle and Keeney (1990)은 최대의 옥수수 수량을 얻는데 필요한 질소 시비량이 미사질양토 또는 미사질식양토에서 $155\sim 210 \text{ lb N acre}^{-1}$ 인 반면 양질사토 또는 사양토에서는 $175\sim 230 \text{ lb N acre}^{-1}$ 로 보다 많은 양이 요구된다고 하였으며, Nyiraneza et al. (2012)은 밀의 총 생산량이 사양토에서는 4.5와 4.9 Mg ha^{-1} 이었지만 양토에서는 7.1 Mg ha^{-1} 로 증대되어 토성이 밀의 생장에 있어서 중요한 인자라고 평가하였다.

하지만 시설재배지와 같이 작물이 생육하는 기간에 필요한 충분한 수분과 질소를 공급할 수 있는 조건에서도 토성 차이가 작물의 생육과 토양 수분 및 질소의 이용에 영향을 줄 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구는 지중관비를 이용한 시설오이 재배에서 토성의 차이가 오이 수량 및 양분 흡수량, 질소 및 수분 이용효율에 미치는 영향을 구명하고자 수행하였다.

Materials and Methods

지중 점적호스를 이용한 오이 재배에서 토성의 차이에 따른 작물의 생육, 질소이용효율 및 물 이용량에 대한 차이를 구명하기 위해서 국립원예특작과학원 탐동 포장에서 라이시미터를 이용하여 2011년에 2작기에 걸쳐서 수행하였다. 라이시미터의 크기는 가로 × 세로 × 높이가 각각 1.0 m, 1.5 m, 1.0 m 이며 하단 중앙부에 배출구를 두었다. 충전된 각각의 토양은 미국 농무성 (USDA) 기준에 의거 사양토 (모래 : 미사 : 점토 = $660 : 230 : 110 \text{ g kg}^{-1}$), 양토 (모래 : 미사 : 점토 = $580 : 300 : 120 \text{ g kg}^{-1}$), 식양토 (모래 : 미사 : 점토 = $510 : 330 : 160 \text{ g kg}^{-1}$)로 분류되었다. 전용적밀도는 모든 처리가 1.19 g cm^{-3} 가 되도록 동일한 무게로 맞추어 토양을 충전하였으며, 처리간의 토양양분 편차 및 토양 교란에의 영향을 최소화하기 위해 100 mm에 해당하는 물을 처리구별로 2010년 8월에 공급하였으며 벧짚퇴비 5.0 Mg ha^{-1} 의 양을 9월에 공급하였다. 시험에 사용한 각각의 토양 pH는 7.1~7.4, 유기물의 함량은 $22\sim 24 \text{ g kg}^{-1}$ 이었으며 질산태 질소는 $43\sim 52 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 범위를 나타내었다 (Table 1). 토양은 반축성 재배작형으로 오이를 정식하기 전에 분석하였으며, 토양검정 시비추천량에 준하여 질소 관비를 100 mg L^{-1} 의 농도로 작물 정식 후부터 재배가 종료될 때까지 물을 공급할 때마다 관비의 형태로 공급하였다. 질소는 요소로 사용하였으며 억제작형에서도 동일한 질소 관비농도로 공급하였다. 인산 및 칼리의 시비는 표준시비량을 기준으로 전량 밑거름으로 시비하였다.

질소는 시험에 사용한 점적호스의 점적공은 20 cm 간격이며 2.1 L h^{-1} 의 유량으로 일정하게 공급되는 압력보상형 점적호스 (Vered, Metzlerplas Inc.)를 사용하였다. 점적호스는 토양 20 cm의 깊이에 매설하였으며 오이 묘 정식 전에

두둑을 10 cm 하였으므로 두둑의 지표면으로부터 점적호스는 30 cm의 깊이에 설치되었다. 토양의 수분관리는 토양수분장력계인 텐시오미터를 두둑의 높이로부터 20 cm의 토양 깊이에 설치하였으며 관수 개시점으로는 10 kPa에 도달하면 10분 동안 1일 6회에 걸쳐서 관비가 자동으로 공급될 수 있도록 하였다. 작물 재배기간 동안 각각의 라이시미터 하단에 50 L통을 놓고 용탈수의 양을 매주 조사 측정하였으며, 용탈수 중의 질산태 질소의 농도는 이온크로마토그래피 (DX-500, Dionex, USA)를 이용하여 측정하였다. 질소 양분수지는 질소 관비 공급량으로부터 식물체 질소 흡수량과 질소 용탈량을 제외한 값으로 계산하였다.

오이는 백다다기로 2011년 봄과 가을 2작기 동안, 봄에는 반촉성작형으로 가을에는 억제작형으로 재배하였다. 봄과 가을 정식일은 4월 8일과 8월 16일 이었으며 재배기간은 각각 110일과 72일 이었다. 재식주수는 라이시미터 한 구당에 2주를 정식하였으며, 생육조사는 봄 작기인 반촉성작형에서 정식 후 50일에 초장과 엽수를 각각 조사하였다. 토양의 수분함량은 토양 깊이 10, 30, 50, 70 cm에 토양수분센서 (SM 100, Spectrum Inc., USA)를 매설하였으며 정식 후 23 일인 5월 1일부터 15일간 데이터로거 (WatchDog 1000 Series, Spectrum Inc., USA)를 이용하여 조사하였다.

토양분석은 2 mm 체를 통과한 풍건 시료에 대해서 토양 및 식물체 표준분석법에 준하여 실시하였다 (NIAST, 2000). 토양 pH는 토양과 물의 비율을 1:5로 하여 30분간 진탕 후 pH meter (ORION Model 720A, USA)로 측정하였고, 토양 EC는 1:5로 침출한 후 Conductance meter (YSI Model 35, USA)로 분석하였다. 유기물은 Tyurin법 (Nelson and sommer, 1996), 유효인산은 Lancaster법 (Lancaster, 1970)으로, 치환성 K, Ca, Mg은 1N-CH₃COONH₄ (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)를 사용하여 측정하였다. 질산태 질소는 2M KCl로 침출하여 켈달 (B-316, Büchi, Switzerland)로 증류한 후 황산표준용액 0.01N로 적정하여 계산하였다 (Mulvaney, 1996). 식물체 시료는 70°C에서 건조 후 분쇄된 시료를 산 분해용액 (HClO₄:H₂SO₄ = 10:1)으로 습식 분해하여 질소는 Kjeldahl법 (NIAST, 2000)으로 측정하였다. 통계분석은 SAS프로그램 (Statistical analysis system ver. 9.2, USA)을 이용하였으며 Duncan's

Multiple range test를 통해 처리간의 통계적 유의성을 비교 검토하였다.

Results and Discussion

정식 후 50 일에 오이의 초장 및 엽수는 처리간의 차이를 보이지 않았다 (Table 2). 활착기간 동안에 오이는 뿌리가 뻗지 못 해 지표면 부근 토양의 수분 상태에 영향을 받게 되고, 사양토는 모세관력을 통한 표층으로의 수분이동이 양토나 식양토와 비교하여 상대적으로 적어서 (Elmaloglou and Diamantopoulos, 2009; Gajanayake et al., 2014), 활착 초기에 생육이 부진할 수 있다. 하지만 오이가 성장하고 뿌리가 발달하면서 관수지점 부근까지 뻗어 내려감으로써 토성으로 인한 오이 생육의 차이는 없는 것으로 나타났다.

2작기에 걸친 오이 수량을 비교하여 보면, 오이의 생육과 마찬가지로 사양토에서 가장 낮고 식양토에서 가장 높은 생산량을 나타내었으나 토성과 오이 수량간에 유의성 있는 차이를 보이지 않았다 (Table 3). 이러한 사실은 오이의 생육에 필요한 충분한 양의 질소와 수분이 공급이 되는 조건에서는 토성이 오이 수량의 제한인자가 되지 못 함을 알 수 있다. 하지만 토성의 차이가 작물의 수량에 영향을 미친다는 여러 연구결과들이 보고되고 있는데, 이는 토양의 양분이나 수분이 제한적인 조건에서 토양 유기물 및 양분량에서 차이

Table 2. Cucumber height and number of nodes under different soil textures by semi-forcing culture at the 50th day after transplanting in 2011.

Treatment	The 50 th day after transplanting	
	Plant height	No. of nodes
	cm	ea plant ⁻¹
Sandy loam	78.5 (2.05) [†]	11.7 (0.33)
Loam	80.7 (3.14)	12.2 (0.54)
Clay loam	81.2 (3.34)	12.5 (0.43)
Significance	NS [‡]	NS

[†]() indicates standard error.

[‡]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 1. Physiochemical properties of soil used for the experiment.

Treatment	pH	EC	OM	Avail.P ₂ O ₅	NO ₃ -N	Ex. cations		
						K	Ca	Mg
	1:5	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		cmol _c kg ⁻¹		
Sandy loam	7.4 (0.10) [†]	1.1 (0.11)	24 (0.5)	610 (11.5)	52.8 (4.3)	0.54 (0.02)	10.6 (0.3)	2.7 (0.12)
Loam	7.3 (0.04)	1.5 (0.05)	22 (0.4)	394 (15.7)	50.7 (3.1)	0.60 (0.02)	9.6 (0.2)	2.8 (0.07)
Clay loam	7.1 (0.06)	1.7 (0.10)	22 (0.4)	376 (13.7)	52.6 (6.7)	0.61 (0.02)	9.1 (0.3)	2.9 (0.05)

[†]() indicates standard error.

가 발생하거나 (Bird et al., 2000; Nyiraneza et al., 2012) 토양수분 보유력에 차이가 발생하였기 때문이다 (Arora et al., 2011; Jalota et al., 2010). Miller and Martin (1983)은 토성 및 관개량에 따른 감자의 수량비교에서 토성에 따라서 물 공급량은 달랐지만 만일 작물에 필요한 충분한 양의 물이 공급된 경우에는 토성의 차이에 관계없이 감자의 수량은 거의 동일한 최대 생산량을 보인다고 보고하여 본 연구결과와 동일하였다. 한편 오이의 수량은 억제작형과 비교하여 반촉성작형에서 많았는데, 이는 반촉성작형의 재배기간이 억제작형보다 38일이 많았으며 오이 수확기에 상대적으로

Table 3. Comparison of the cucumber yields by semi-forcing and retarding cultures at different soil textures under subsurface drip fertigation.

Treatment	Semi-forcing culture	Retarding culture	Total
	----- Mg ha ⁻¹ -----		
Sandy loam	44.5 (4.1) [†]	15.8 (1.1)	60.3 (3.0)
Loam	46.3 (1.3)	15.5 (0.7)	61.8 (1.4)
Clay loam	47.9 (0.5)	16.7 (1.4)	64.6 (1.0)
Significance	NS [‡]	NS	NS

[†]() indicates standard error.

[‡]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

높은 일평균온도와 작물생육에 적합한 온도로 유지되었기 때문인 것으로 판단되었다.

토양 깊이에 따른 오이 재배기간에의 수분함량은 Fig. 1과 같다. 물이 토양의 표면에 공급되어 표토 부근에서 가장 높은 수분함량을 나타내는 지표관수와는 달리 지중관수는 물이 공급되는 위치에 따라서 수분함량 분포도에 대한 차이를 나타내었다 (Martinez Hernandez et al., 1991; Phene et al., 1991). 토양의 용적수분함량은 토성에 관계없이 관수지점인 지중 30 cm에서 가장 높았으며 토양의 깊이가 증가할수록 수분함량은 낮아졌다. 토양 깊이별 용적수분함량은 식양토에서 가장 높았고 양토 및 사양토의 순서로 감소하였는데 이는 토성이 수분을 보유하고 지탱할 수 있는 수분보유력과 연관이 있기 때문인 것으로 사료된다 (Whiting, 2012). 토양 깊이에 따른 수분함량의 토성별 차이는 토양 깊이 70 cm에서 가장 적었으며 지중 10 cm와 30 cm에서 증가하는 경향을 보였다. 또한 수분이 공급되는 지중 30 cm로부터 지중 70 cm와 지중 10 cm간의 수분함량의 편차는 식양토에서 0.089 cm cm⁻³ 및 0.081 cm cm⁻³을, 사양토에서는 0.053 cm cm⁻³ 및 0.078 cm cm⁻³을 나타내어, 사양토에서 하층부로의 수분이동과 비교하여 상층부로의 이동은 상대적으로 용이하지 않음을 알 수 있다 (Elmaloglou and Diamantopoulos, 2009).

식양토에서 재배된 오이의 질소흡수량이 각각 134 및 48

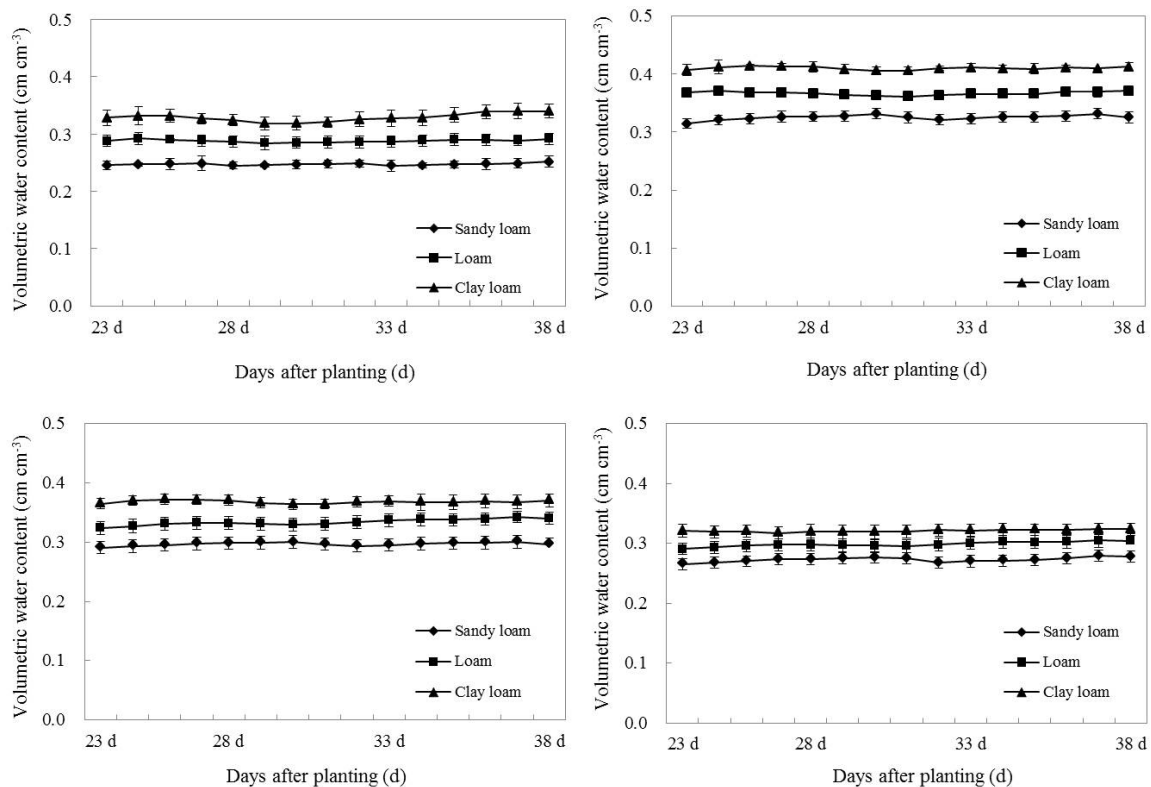


Fig. 1. Volumetric soil water contents under three different soil textures at soil depths of 10 cm (a), 30 cm (b), 50 cm (c), and 70 cm (d) (the horizontal distance from drip line = 0 cm) from 23 days to 38 days after transplanting. Error bars indicate standard error of the mean.

Table 4. N input, cucumber N uptake, N leachate, N balance, and N use efficiency at three different soil textures by subsurface drip fertigation during the growing season.

Treatment	N input (A)		N uptake (B)		N leachate (C)		N balance {A-(B+C)}		N use efficiency [†]	
	Semi-forcing	Retarding	Semi-forcing	Retarding	Semi-forcing	Retarding	Semi-forcing	Retarding	Semi-forcing	Retarding
	----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg ha ⁻¹ -----		----- kg kg ⁻¹ -----	
Sandy loam	228	124	126a	46a [‡]	40a	25a	62a	53a	0.55b	0.37b
Loam	207	113	129a	46a	25b	13b	53ab	54a	0.62ab	0.40ab
Clay loam	187	101	134a	48a	14c	8c	39b	45a	0.71a	0.47a

[†]N use efficiency was determined as N uptake divided by N input.

[‡]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

Table 5. The amount of irrigation and water use efficiency (WUE) of cucumber for the three different soil textures by subsurface drip fertigation during the growing season.

Treatment	Seasonal irrigation		WUE [†]	
	Semi-forcing	Retarding	Semi-forcing	Retarding
	----- m ³ ha ⁻¹ -----		----- kg m ⁻³ -----	
Sandy loam	2,280	1,240	19.5b [‡]	12.7b
Loam	2,070	1,130	22.3ab	13.7ab
Clay loam	1,870	1,010	25.6a	16.5a

[†]WUE was determined as cucumber yield divided by water input.

[‡]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at 5% level.

kg ha⁻¹로 가장 높았으며 양토 및 사양토의 순서로 감소하였다 (Table 4). 오이의 생산량과 질소흡수량은 밀접한 상관을 보여 오이 생산량이 가장 높은 식양토에서 질소의 흡수량도 증가하였다. 질소 공급량으로부터 질소 흡수량과 질소 용탈량을 뺀 값을 질소양분수지로 나타내었으며, 질소의 휘산은 지중 30 cm의 깊이에서 관비의 형태로 공급되므로 토양표면에서의 휘산 발생량은 미미한 수준일 것으로 판단되었다. 질소양분수지는 사양토에서 가장 높았으며 양토 및 식양토의 순서를 나타내었다. 사양토에서 질소의 용탈량이 가장 높은 이유는 관비의 형태로 공급된 질소가 심토층으로의 이동이 상대적으로 다른 토성과 비교하여 용이하였기 때문인 것으로 사료되었다 (Cook and Sanders, 1991; Thompson et al., 2003). 또한 질소 양분수지에서는 10 kPa에 토양수분장력을 유지하면서 토양수분 보유력의 범위가 가장 좁은 사양토에서 수분의 공급과 함께 가장 많은 질소가 공급하게 되고 작물에 흡수되지 못한 질소가 토양에 잔류하였기 때문인 것으로 판단되었다 (Nyiraneza et al., 2012; Thompson et al., 2000). 작물의 질소 흡수량을 질소 비료공급량으로 나누어 계산한 질소이용효율에서도 토성에 따른 차이를 보

였으며 식양토에서 두 작기 모두 각각 0.71 및 0.47 kg kg⁻¹로 가장 높은 질소 이용효율을 나타내었다. 수분이용효율은 질소이용효율과 마찬가지로 식양토에서 각각 25.6 및 16.5 kg m⁻³으로 가장 좋았으며 양토와 사양토의 순서로 감소하였다 (Table 5).

그러므로 지중관비를 이용한 시설오이 재배에서 토성의 차이가 오이의 수량에 영향을 미치지 않는지만 사양토에서 재배된 오이에서는 질소 및 수분의 이용효율이 낮기 때문에 양토 또는 식양토에서 오이를 재배하는 것이 양분 및 수분관리 측면에서 효율적인 것으로 판단되었다.

Conclusion

지중관비를 이용한 시설오이 재배에서 토성의 차이가 오이의 생육, 수량 및 토양 수분분포에 미치는 영향을 평가하고자 오이 봄 및 가을 재배에 걸쳐서 수행하였다. 오이 재배기간 동안에 토양수분함량은 토성에 관계없이 지중 30 cm에서 가장 높았으며 토양의 깊이가 증가할수록 수분함량은 낮아졌다. 토양 깊이 10, 30, 50, 70 cm에 대한 토양 수분함량은 식양토에서 가장 높았고 양토 및 사양토의 순서로 감소하였다. 정식 후 50일에서의 오이 생육은 처리간의 차이를 보이지 않았으나 사양토에서 가장 낮은 생육량을, 봄 및 가을 재배를 합한 총 수량에서도 양토 및 식양토와 비교하여 각각 1.5 Mg ha⁻¹과 4.3 Mg ha⁻¹이 적었다. 오이의 질소흡수량은 식양토에서 봄 및 가을 재배가 각각 134 및 48 kg ha⁻¹로 가장 높았으며 양토 및 사양토의 순서로 감소하였고, 질소 용탈량과 질소양분수지에서는 반대로 사양토에서 가장 높았으며 양토 및 식양토의 순서를 나타내었다. 따라서 지중관비에서 토성의 차이가 오이의 수량에 영향을 미치지 않는지만 질소 및 수분의 이용효율에의 차이를 발생시키기 때문에 질소 및 수분 이용효율이 높은 양토 또는 식양토에서 오이를 재배하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

References

- Armstrong, R.D., J. Fitzpatrick, M.A. Rab, M. Abuzar, P.D. Fisher, and G.J. O'Leary. 2009. Advances in precision agriculture in south-eastern Australia: III. Interactions between soil properties and water use help explain spatial variability of crop production in the Victorian Mallee. *Crop Pasture Sci.* 60:870-884.
- Arora, V.K., C.B. Singh, A.S. Sidhu, and S.S. Thind. 2011. Irrigation, tillage and mulching effects on soybean yield and water productivity in relation to soil texture. *Agric. Water Manage.* 98:563-568.
- Bird, M.I., E.M. Veenendaal, C. Moyo, J. Lloy, and P. Frost. 2000. Effect of fire and soil texture on soil carbon in a subhumid savanna (Matopos, Zimbabwe). *Geoderma.* 94: 71-90.
- Blass, S. 1971. Drip irrigation. In: *Drip (trickle) and automated irrigation in Israel*. Water Commissioners Office, Ministry of Agriculture, Tel Aviv, Israel. 1:10-28.
- Camp, C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Trans. ASAE.* 41(5): 1353-1367
- Camp, C.R., P.J. Bauer, and P.G. Hunt. 1997. Subsurface drip irrigation lateral spacing and management for cotton in the southeastern coastal plain. *Trans. ASAE.* 40:993-999.
- Cook, W.P. and D.C. Sanders. 1991. Nitrogen application frequency for drip- irrigated tomatoes. *HortScience* 26:250-252.
- Elmaloglou, S. and E. Diamantopoulos. 2009. Simulation of soil water dynamics under subsurface drip irrigation from line sources. *Agric. Water Manage.* 96:1587-1595.
- Enciso, J., J. Jifon, J. Anciso, and L. Ribera. 2015. Productivity of onions using subsurface drip irrigation versus furrow irrigation systems with an internet based irrigation scheduling program. *Int. J. Agron.* Article ID 178180, 6 pages, 2015. doi:10.1155/2015/178180.
- Gajanayake, B., K.R. Reddy, M.W. Shankle, and R.A. Arancibia. 2014. Growth, developmental, and physiological responses of two sweetpotato (*Ipomoea batatas* L. [Lam]) cultivars to early season soil moisture deficit. *Sci. Hortic.* 168:218-228.
- Jalota, S.K., S. Singh, G.B.S. Chahal, S.S. Ray, S. Panigrahy, B. Singh, and K.B. Singh. 2010. Soil texture, climate and management effects on plant growth, grain yield and water use by rainfed maize-wheat cropping system: Field and simulation study. *Agric. Water Manage.* 97:83-90.
- Jordan, D.L., P.D. Johnson, G.L. Grabow, and T. Corbett. 2014. Corn, cotton, and peanut response to tillage and subsurface drip irrigation in North Carolina. *Agron. J.* 106:962-967.
- Lamm, F.R., J.P. Bordovsky, L.J. Schwankl, G.L. Grabow, J. Enciso-Medina, R.T. Peters, P.D. Colaizzi, T.P. Trooien, and D.O. Porter. 2012. Subsurface drip irrigation: Status of the technology in 2010. *Trans. ASABE.* 55(2):483-491.
- Lancaster, J.D. 1970. Determination of phosphorus and potassium in soils. *Miss. Agr. Exp. Sta. Mimeo.*
- Martinez Hernandez, J.J., B. Bar-Yosef, and U. Kafkafi. 1991. Effect of surface and subsurface drip fertigation on sweet corn rooting, uptake, dry matter production and yield. *Irrig. Sci.* 1991. 12, 153-159.
- MAFRA. 2014. Greenhouse status and production performance of vegetables in 2013. p.59-76. Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs. Korea.
- Miller, D.E. and M.W. Martin. 1983. Effect of daily irrigation rate and soil texture on yield and quality of Russet Burbank potatoes. *Am. J. Potato.* 60:745-757.
- Mulvaney, R.L. 1996. Nitrogen inorganic forms. Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book Series No 5. SSSA, Madison, WI.
- Nelson, D.W. and L.E. Sommers. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. P. 961-1010. *In* D.L. Sparks (ed) *Methods of soil analysis. Part 3. SSSA Book Series No 5. SSSA and ASA. Madison, WI.*
- NIAST. 2000. Method of soil and plant analysis, National Institute of Agricultural Science and Technology. Rural Development Administration, Suwon, Korea.
- Nolin, M.C., C. Wang, and M.J. Caillier. 1989. Fertility grouping of Montreal lowlands soil mapping units based on selected soil characteristics of the plow layer. *Can. J. Soil Sci.* 69:525-541.
- Nyiraneza, J., A.N. Cambouris, N. Ziadi, N. Tremblay, and M.C. Nolin. 2012. Spring wheat yield and quality related to soil texture and nitrogen fertilization. *Agron. J.* 104: 589-599.
- Oberle, S.L. and D.R. Keeney. 1990. Soil type, precipitation, and fertilizer N effects on corn yields. *J. Prod. Agric.* 3:522-527.
- Park, J.M., T.J. Lim, and S.E. Lee. 2012. Effect of subsurface drip pipes spacing on the yield of lettuce, irrigation efficiency, and soil chemical properties in greenhouse cultivation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:683-689.
- Phene, C.J., K.R. Davis, R.B. Hutmacher, B. Bar-Yosef, D.W. Meek, and J. Misaki. 1991. Effect of high frequency surface and surface drip irrigation on root distribution of sweet corn. *Irrig. Sci.* 12:135-140.
- Rawls, W.J., D.L. Brakensiek, and K.E. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. *Trans. ASAE.* 25:1316-1320 & 1328.
- Sogbedji, J.M., H.M. van Es, C.L., Yang, L.D., Geohring, and F.R. Magdoff. 2000. Nitrate leaching and N budget as affected by maize N fertilizer rate and soil type. *J. Environ. Qual.* 29:1813-1820.
- Thompson, T.L., T.A. Doerge, and R.E. Godin. 2000. Nitrogen and water interactions in subsurface drip-irrigated cauliflower: II. Agronomic, economic, and environmental outcomes.

- Soil Sci. Soc. Am. J. 64:412-418.
- Thompson, T.L., S.A. White, J. Walworth, and G.J. Sower. 2003. Fertigation frequency for subsurface drip-irrigated broccoli. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:910-918.
- Tremblay, N., Y. Bouroubi, C. Bélec, R.W. Mullen, N.R. Kitchen, W.E. Thomason, S. Ebelhar, D.B. Mengel, W.R. Raun, D.D. Francis, E.D. Vories, and I. Ortiz-Monasterio. 2012. Corn response to nitrogen is influenced by soil texture and weather. *Agron. J.* 104:1658-1671.
- Whiting, D. 2012. Understanding irrigation management factors: Colorado State University Extension.
- Zhu, Q., J.P. Schmidt, H.S. Lin, and R.P. Sripada. 2009. Hydropedological processes and their implications for nitrogen availability to corn. *Geoderma.* 154:111-122.
- Zhuge, Y.P., X.D. Zhang, Y.L. Zhang, L.I. Jun, L.J. Yang, Y. Huang, and M.D. Liu. 2004. Tomato root response to subsurface drip irrigation. *Pedosphere.* 14:205-212.