

지중 점적관수 호스 설치 간격이 상추 수량, 관수량 및 토양 화학성에 미치는 영향

박진면* · 임태준 · 이성은

농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과

Effect of Subsurface Drip Pipes Spacing on the Yield of Lettuce, Irrigation Efficiency, and Soil Chemical Properties in Greenhouse Cultivation

Jin Myeon Park*, Tae Jun Lim, and Seong Eun Lee

Horticultural & Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Suwon 441-440, Korea

This research was carried out to investigate the effect of installation spacing of subsurface drip irrigation pipe on the mineral content, nutrient uptake, yield of lettuce, water requirement for irrigation, and soil chemical properties in greenhouse cultivation. Semi-forcing and retarding culture were implemented in this experiment, with four treatments containing overhead spray irrigation and three subsurface irrigation lateral spacing intervals of 30, 40, 50 cm at a depth of 30 cm from soil surface, respectively. Each mineral content of lettuce grown under subirrigation system did not show significant difference between treatments, however the uptake of nutrients was lower at 50 cm-distance. The yield was largest in 30 cm-subirrigation (SI), followed by 40 cm-SI, overhead spray, and 50 cm-treatment. Water requirement for irrigation was highest in overhead spray, and it was in reverse proportion to the distance of irrigation pipes. $\text{NO}_3\text{-N}$ content in the soil, at a depth of 10 cm, showed a higher value in 50 cm-SI, followed by 40 cm-SI, overhead spray and 30 cm-SI. Exchangeable K content was highest in 50 cm-SI, Mg was highest in 40 cm-SI, and Ca was lowest in 30 cm-SI. In conclusion, the lettuce yield was not different between 30 and 40 cm-SI, but water requirement for irrigation was lower as the distance of irrigation pipes was further. And it seems to be needed more precise research on this theme, because crop yield and the dynamics of soil minerals in subsurface irrigation can vary with the depth and distance of irrigation pipes, dripper, water flow depending on the soil texture, and plant response to soil minerals.

Key words: Subsurface drip irrigation, Pipe spacing, Lettuce, Soil chemical properties

서 언

우리나라의 연평균 강수량은 1,280 mm로 세계 평균 970 mm보다 많으며 작물재배에 충분한 양이나 강우분포가 일정하지 않아 지역적으로 시기적으로 물 부족이 자주 발생한다. 그리고 고인구밀도로 인하여 1인당 강수량은 2,705 m^3 로 세계 평균 22,096 m^3 의 12% 정도이다. 앞으로도 산업의 발달에 의하여 수자원 부족이 예상되며 농업용수는 수자원 부족에 많은 비중을 차지한다. 우리나라의 시설채소 온실면적은 1980년에 7,141 ha에서 2011년 49,537 ha로 6.9배 증가하여 많은 양질의 관수 물량이 필요하다. 시설재배 온실의

관수 방법은 스프링클러 7,232 ha, 점적관수 21,638 ha, 다공튜브 5,673 ha, 살수 (분무호스) 13,583 ha, 기타 1,411 ha이다 (MIFAFF, 2012). 시설하우스에서 작물을 재배하는데 양질의 농업용수 사용은 제한적이나 대부분의 경작자들은 물이용 효율을 높이는데 관심이 부족하다. 작물의 생산성은 물의 공급량과 이용 방법에 따라 아주 크게 영향을 받는다. 관수는 관수량도 중요하지만 관수 방법에 따라 토양에서 양수분의 이동과 분포하는 양상 (Ryu et al., 1994)이 다르게 되어 작물의 생산성과 관수되는 물량이 다르게 된다. 지중관수는 낮은 압력으로도 작물의 뿌리에 물을 공급할 수 있고 증발량과 양분 용탈량이 적으며 토성과 작물뿌리 깊이를 고려하여 잘 관리하면 양분과 수분을 뿌리 근처에 일정하게 조절할 수 있어 가축분뇨 액비 등 유기액비의 간편한 시용과 용탈량을 줄여 지하수 오염을 줄여준다 (Camp et al., 2000; Trooien et al., 2000; Hillel, 2004). 지중 점적

관수는 물이 부족하거나 수질이 좋지 않은 곳에서 효과적이다 (Patel et al., 1999). 시설하우스 재배는 같은 작물을 연속적으로 재배하기 때문에 지중에 관수 호스를 한번 설치하면 지속적으로 사용할 수 있어 작기마다 설치와 제거하는 노동력과 비용을 절감할 수 있다. 그러나 지중관수는 관리 방법에 따라 차이가 많으며 점적기가 막히고 가격이 비싸다는 단점도 있다. 지중관수 포장시험은 Blass (1971)에 의하여 처음으로 점적관수 호스를 땅에 묻어 관수하였으나 관수 호스의 막힘과 뿌리의 침투로 이용할 수 없었다. 이후 지중관수 호스 자재가 개선되어 막힘 현상과 뿌리 침투도 해결되었다. Bucks et al. (1981)에 의하여 지중관수의 성공적인 실험이 수행되었고 이후 가장 효율적인 관수 방법으로 인정받았다 (Camp, 1998). 지중관수 호스의 깊이 연구는 토마토 (Phene et al., 1992), 고추 (Cafe and Duniway, 1996), 시금치 (El Awady et al., 2003)에서 이루어졌다. 토마토 재배에서 지중관비를 하면 관수량은 줄고 수량은 증가하였으며 (Phene, 1995), 지중 점적관비는 지상 점적관비보다 질소비료 효율이 높았고 (Lamm et al., 1995b), 포트 시험에서 지중관수는 질산태질소 및 치환성 칼륨 함량이 지표면에서 높았다 (Gunnar, 1969; Patel et al., 1999). 지중관수는 물 소비량이 다른 관수 방법보다 적었고 작물생산량도 차이가 없었다 (Camp et al., 2000). 수수속 (sorghum) 작물을 재배할 때 지중관수 호스가 깊을수록 증발량이 감소한다 (El Awady et al., 2003). 시설하우스에서 상추 등 엽채류 재배는 작기가 짧고 연중 여러 번 재배를 하며 관수 방법은 대부분 지상에서 분수 호스를 이용하여 살수를 한다. 이런 방법은 관수 시 물이 작물에 직접 닿기 때문에 잎 표면의 다습으로 병 발생도 우려되고 관비하는데 어려움도 있다. 따라서 본 연구의 목적은 시설하우스에서 상추를 재배할 때 물이 작물 잎에 직접 닿지 않으면서 근권 부위에 고루 분포할 수 있는 지중관수의 적당한 호스 간격과 지중관수에 따른 물 절감량, 토양 중의 양분 함량 변화를 구명하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험재료 시험 토양은 사양토이며 화학성은 pH가 7.3으로 중성이고 유효인산은 449 mg kg^{-1} 이며 질산태질소 함량은 237 mg kg^{-1} 으로 높으나 유기물함량은 14.0 g kg^{-1} 으로 낮은 조건이었다 (Table 1). 시험에 이용된 상추는 2010

년에는 반촉성 및 억제재배 모두 결구되는 유레이크 품종과 2011년 반촉성재배는 적축면인 선풍 품종을 공시하였다.

처리 및 방법 시험처리는 지중 점적 압력보상형 호스 (Vered, 2.1 L/hr)로 점적기는 30 cm 간격으로 배열된 것을 사용하여 토심 30 cm 깊이에 30, 40, 50 cm 간격으로 배치하는 3처리와 대조구로 지상 분수호스를 설치하는 1처리로 4처리를 하였다. 시험구 배치는 난괴법 3반복이며 처리당 면적은 6.0 m^2 이었다. 질소, 인산 및 칼리 시비는 토양 검정 시비량을 기준으로 인산을 기비로 5 kg을 사용하였다. 토양 수분관리는 토양수분 장력계의 측정 깊이를 15 cm 기준으로 지중 점적호스의 점적기 중간에 설치하여 관수 개시점을 -15 kPa 에 맞추어 5분 관수 후 30분 후에 토양 수분 장력을 재인식하도록 조절기를 부착하여 자동관수가 되도록 하였다.

작물재배, 양분함량 및 수량조사 상추 지중관수 시험은 국립원예특작과학원 탐동 시험 포장의 1-2W형 시설하우스에서 수행하였다. 재식 간격은 $20 \times 20 \text{ cm}$ 로 처리당 150주를 재배하였다. 재배기간은 이른 봄부터 여름까지 재배하는 반촉성재배와 늦여름부터 초겨울까지 재배하는 억제재배로 구분하였다. 하우스의 시설관리는 농촌진흥청 표준재배법에 준하였다. 양분함량 중 잎은 처리당 생체중 50 g 내외의 잎을 3회에 걸쳐 건조하여 이용하였으며 줄기와 뿌리는 수확 종료 후 10주를 채취하여 줄기와 뿌리를 분리하여 세척 후 70°C 에 48시간 건조하여 분석에 이용하였다. 토양 시료는 시험이 끝난 후 토심 10, 20, 30 cm 깊이에서 채취하여 질산태 질소 분석을 위하여 2M-KCl로 추출하여 이용하였고 나머지 성분은 음건 후 2 mm체로 쳐서 분석에 이용하였다. 수량 조사는 결구되는 유레이크 품종은 일시에 수확하여 수량을 조사하였으며, 선풍 품종은 3월 하순에 정식하여 4월 18일부터 6월 29일까지 6~7일마다 수확하여 누적 수량을 계산하였다.

토양 및 식물체 분석 토양 및 식물체 분석은 토양화학분석법 (NIAS, 2000)의 토양 및 식물체 분석법에 준하였다. 토양 pH는 토양과 물의 비율을 1:5로 하여 초자전극법으로 측정하였다. 토양 유기물은 Tyurin 법, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘은 $1\text{N-CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 7.0) 완충용액으로 침출하여 ICP-OES (MX2, GBC,

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

Soil texture	pH	Organic Matter	Avail. P_2O_5	$\text{NO}_3\text{-N}$	Exch. Cation		
					K	Ca	Mg
	1:5	g kg^{-1}	----- mg kg^{-1} -----	-----	-----	cmolc kg^{-1}	-----
Sandy loam	7.3	14.0	449.2	237	0.48	8.90	1.41

Table 2. Effect of subsurface drip pipes spacing on the mineral content in leaf, stem and root of ‘seonpung’ lettuce in 2011.

Plant part	Treatments	g kg ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg
Leaf	30 cm [†]	49.03 a [‡]	5.91 ab	54.03 a	20.32 a	6.58 a
	40 cm	49.40 a	5.95 ab	55.80 a	20.59 a	6.68 a
	50 cm	42.00 b	6.69 a	64.77 a	21.64 a	5.22 a
	Spray irrigation	48.17 a	5.64 b	59.30 a	22.70 a	6.43 a
Stem	30 cm	26.27 a	6.45 a	49.86 a	16.74 a	4.64 a
	40 cm	26.33 a	7.48 a	48.60 a	18.16 a	4.47 a
	50 cm	24.07 a	7.54 a	59.80 a	18.47 a	4.13 a
	Spray irrigation	26.70 a	6.94 a	53.41 a	18.42 a	4.42 a
Root	30 cm	21.40 a	5.99 a	23.55 b	8.58 a	3.82 a
	40 cm	22.07 a	7.31 a	27.86 ab	9.02 a	3.79 a
	50 cm	20.93 a	7.63 a	34.21 a	9.08 a	2.45 b
	Spray irrigation	18.70 a	7.81 a	31.07 a	8.44 a	2.95 b

[†] cm: subsurface drip pipes spacing.

[‡] Mean separation within columns by Duncan’s multiple range test at $p=0.05$.

Australia)를 사용하여 측정하였다. 질산태 질소는 2M-KCl로 침출한 시료 액에서 암모니아를 제거한 후 켈달 분해 장치 (B-316, Buchi, Switzerland)로 증류한 후 0.01 N 황산 표준용액으로 적정하여 계산하였다. 식물체 무기성분 중 질소 측정은 식물체 시료 0.5 g을 황산염 혼합분말 (K₂SO₄와 CuSO₄ = 9:1)과 농황산을 넣고 분해한 후 켈달 분해 장치 (B-316, Buchi, Switzerland)로 증류한 후 황산표준용액으로 적정 계산하였으며 인은 ammonium vanadate 법으로 비색계 (UV/VIS spectrophotometer, Cintra 6 GBC, Australia)를 사용하여 정량하였고 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 ICP-OES (MX2, GBC, Australia)로 측정하였다. 통계분석은 SAS 통계프로그램 (v. 9.2)을 이용하였다.

결과 및 고찰

지중관수의 호스 간격에 따른 상추의 잎, 줄기 및 뿌리의 무기성분 함량은 Table 2와 같다. 잎의 질소함량은 지중 관수 호스 간격 50 cm 처리에서 42.0 g kg⁻¹로 낮았으나 인산은 6.69 g kg⁻¹로 분수살수 처리보다 높았다. 줄기의 양분함량은 처리간에 차이가 없었으며 뿌리의 칼리함량은 지중호스 간격 30 cm 처리에서 낮았다. Incrocci et al. (2006)은 토마토 잎과 줄기의 질소와 인산함량은 지중 점적관수보다 지표 점적관수가 높았고 칼륨은 차이가 없다고 하여 인산함량은 본 연구와 다른 결과를 보여주고 있으나 이는 시험 조건과 작물이 달라 나타난 결과로 판단된다. 본 연구의 지중관수 호스 간격 50 cm 처리에서 잎 질소함량이 낮은 것은 재식거리 20 cm에 호스 간격 50 cm 처리는 물의 이동이 원활하지 않아 생육과 흡수가 억제되었으며 인산함량이 분수

살수 처리보다 높은 것은 물 부족으로 뿌리의 발달이 많아 흡수량이 많았던 것으로 판단되었다. 칼륨함량은 잎, 줄기 및 뿌리에서 다른 처리에 비하여 비교적 높았으나 50 cm 처리에서 건물중 (Table 3)이 적어 높게 나타난 것으로 판단되었다.

지중관수 호스 간격에 따른 상추의 건물중과 잎, 줄기와 뿌리의 양분 흡수량은 Table 3과 같다. 건물중은 잎과 줄기에서 30 cm 간격 처리가 많았으며 50 cm 간격 처리에서 적었다. 잎의 양분 흡수량은 지중관수 호스 간격 50 cm 처리에서 질소 78 kg ha⁻¹와 마그네슘 9.7 kg ha⁻¹으로 가장 적었다. 줄기의 양분 흡수량은 처리간에 차이가 없었다. 뿌리의 양분 흡수량은 분수살수 관수 처리에서 질소와 마그네슘 함량이 낮았다. Incrocci et al. (2006)은 지중 점적관수와 지표 점적관수 처리에서 토마토 식물체의 양분 흡수량은 질소와 인산은 처리간에 차이가 없으나 칼륨은 지중 관수가 많다고 하였으나 본 연구의 전체 양분흡수량은 질소, 칼리 및 마그네슘 함량이 50 cm 간격 처리에서 적었는데 이는 50 cm 처리는 호스 간격이 너무 넓어 수분이 균일하게 공급이 되지 않아 생육과 양분흡수가 충분하지 않은 것으로 판단되었다.

지중관수 호스 간격에 따른 상추 수량은 Table 4와 같다. 2010년 반축성재배와 억제재배는 처리간에 수량 차이가 없는데 이는 결구되는 유레이크 품종으로 재배기간이 50일 내외로 짧아 차이가 나타나지 않은 것으로 판단되었다. 2011년 반축성재배는 선풍 품종으로 생육 초기에는 처리간에 차이가 없었으나 생육 후기에는 누적 수량에서 지중 호스 간격 30 cm ≥ 40 cm ≥ 분수살수 ≥ 50 cm 순으로 많아 처리간에 수량 차이가 있었다. 이와 같은 결과를 보면 지중관수는

Table 3. Effect of subsurface drip pipes spacing on the dry weight and nutrient uptake in leaf, stem and root of 'seonpung' lettuce in 2011.

Plant part	Treatments	Dry weight	Nutrient uptake				
			N	P	K	Ca	Mg
		kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹				
Leaf	30 cm [†]	2,098 a [‡]	103 a	12.4 a	113 a	44.6 a	13.8 a
	40 cm	2,042 ab	101 a	12.2 a	115 a	42.0 a	13.6 a
	50 cm	1,859 b	78 b	12.4 a	105 a	40.1 a	9.7 b
	Spray irrigation	1,974 ab	95 a	11.3 a	119 a	44.8 a	12.6 a
Stem	30 cm	343 a	1.6 a	0.4 a	3.2 a	1.1 a	0.3 a
	40 cm	281 b	1.5 a	0.4 a	2.3 a	1.1 a	0.3 a
	50 cm	265 b	1.5 a	0.5 a	2.6 a	1.0 a	0.3 a
	Spray irrigation	265 b	1.4 a	0.4 a	2.9 a	1.0 a	0.2 a
Root	30 cm	63 a	6.9 a	2.1 a	8.6 a	2.9 a	1.3 a
	40 cm	56 b	6.2 ab	2.0 a	7.7 a	2.5 a	1.1 ab
	50 cm	61 a	5.5 ab	2.0 a	7.0 a	2.4 a	0.7 c
	Spray irrigation	54 b	5.0 b	2.1 a	8.3 a	2.2 a	0.8 bc
Total	30 cm	2,504 a	111.5 a	14.9 a	124.8 ab	48.6 a	15.4 a
	40 cm	2,379 ab	108.7 a	14.7 a	125.0 ab	45.6 a	15.0 a
	50 cm	2,185 b	85.0 b	14.9 a	114.6 b	43.5 a	10.7 b
	Spray irrigation	2,293 ab	101.4 ab	13.8 a	130.2 a	48.0 a	13.6 ab

[†] cm: subsurface drip pipes spacing.

[‡] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

Table 4. Effect of subsurface drip pipes spacing on yield of lettuce from 2010 to 2011.

Treatments	2010 semi-forcing culture	2010 retarding culture	2011 semi-forcing culture
		Mg ha ⁻¹	
30 cm [†]	52.9 a [‡]	48.7 a	55.9 a
40 cm	53.0 a	46.3 a	54.5 ab
50 cm	50.4 a	47.0 a	49.6 b
Spray irrigation	54.5 a	47.1 a	52.6 ab

[†] cm: subsurface drip pipes spacing.

[‡] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

단기간 재배하는 작물은 초기에 뿌리가 깊지 않아 제대로 생육할 수 없어 효과가 적으나 2011년 반촉성 재배한 선풍 품종과 같은 적축면 상추는 3월 하순부터 6월 말까지 재배 기간이 100일로 늘어나 수량 차이가 나타난 것으로 판단되었다. Bucks et al. (1981)은 멜론 재배에서 필요량의 물을 공급한다면 지중 점적관수, 지표 점적관수, 고랑관수 방법에 따른 수량 차이가 없고 질소, 인산 및 칼리를 관비했을 때는 지중관수에서 수량과 물 효율이 가장 높다고 하였다. Abou Kheira and El-Shafie (2007)는 지중관수는 깊이에 관계없이 점적기 간격이 넓을수록 고추 수량이 많았으며 지표 점적 관수는 점적기 간격이 좁을수록 수량이 많다고 하였고 생육은 관수 후 토양에 수분 분포 패턴과 밀접한 관계가 있다고 하여 지중관수 효과를 제대로 보기 위해서는 호

스 설치 간격과 깊이, 점적기의 간격, 점적기당 시간당 관수량뿐만 아니라 재배하는 작물의 재배 기간, 근권의 분포상태 등 고려할 사항이 많다는 것을 알 수 있었다.

2011년 반촉성재배에서 지중관수 호스 간격에 따른 상추 수확량 변화는 Fig. 1과 같다. 수확 누적량은 생육 중기인 8회 수확까지는 차이가 나지 않았으나 9회부터는 처리간에 차이가 나타나 30 cm ≥ 40 cm ≥ 분수살수 ≥ 50 cm 순으로 많았다. Abou Kheira and El-Shafie (2007)는 고추 생육이 초기 60일에는 지표 점적관수가 지중관수보다 컸으나 150일에는 차이가 없는 것으로 보고하여 본 시험에서도 초기에 차이가 없다가 후기에 차이가 나타나는 것은 관수 기간이 길어짐에 따라 지중관수 호스 간격 30~40 cm 처리에서 근권이 확대되어 지상부 생육이 촉진되어 수량이 증가한 것으

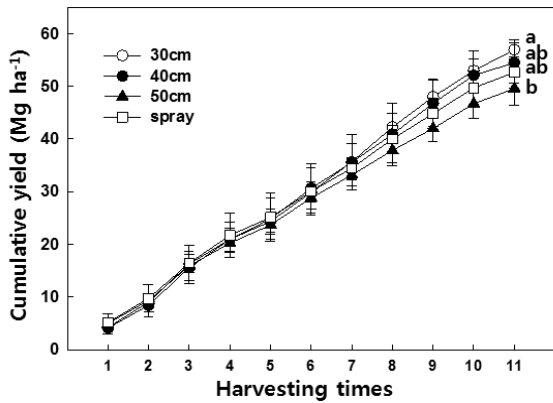


Fig. 1. Effect of subsurface drip pipes spacing on the cumulative yield of 'seonpung' lettuce in 2011. († Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$).

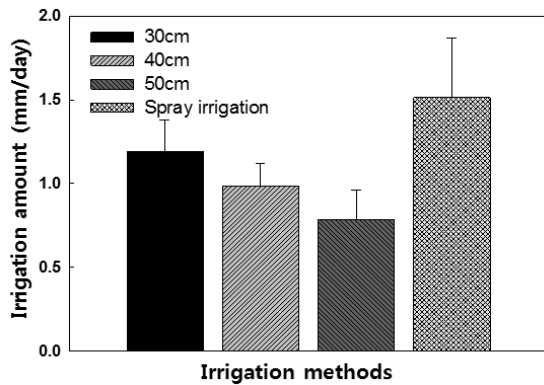


Fig. 2. Irrigation amount for the different tested treatments from 2010 to 2011. (30, 40, and 50 cm: subsurface drip pipes spacing).

로 판단되었다.

지중관수 호스 간격에 따른 일일 관수량 차이는 Fig 2와 같다. 일일 관수량은 분수 살수 처리가 1.2~1.8 mm day⁻¹로 가장 많았으며 30 cm ≥ 40 cm ≥ 50 cm 순이었다. 30 cm에서는 1.0~1.4 mm day⁻¹, 40 cm에서는 0.9~1.1 mm day⁻¹, 50 cm에서는 0.6~1.0 mm day⁻¹로 분수살수 관수보다 30 cm에서는 17~23%, 40 cm에서는 25~39%, 50 cm에서는 45~50% 관수량이 절감되었다. Kim et al. (2005)에 의하면 지중관수 깊이에 따른 습윤 패턴을 보면 점적기 좌우로 41 cm까지 확산되었으며 관수 효율이 22~27% 높다고 하여 본 연구의 40 cm 간격과 일치하였으며 50 cm 처리는 물 절감효과는 크지만 수량이 감소하기 때문에 본 연구에 이용된 사양토에서 부적합한 것으로 판단되었다. 또한 지중관수 호스 깊이는 식양토 및 양토에서 30 cm 깊이가 좋다고 하였으나 (Howell et al., 1997; Lamm et al., 1995a) 지중관수 호스의 간격과 깊이는 밀접한 관계가 있어 열채류 재배에서 적정 간격을 구명 후 지중 관수 호스 깊이 등 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

지중관수 호스 간격에 따른 토양 화학성 변화는 Table 5와 같다. pH는 토심이 깊을수록 높았으나 유기물과 유효인산 함량은 토심이 낮은 부위가 높았고 깊이별 처리간에는 차이는 없었다. 질산태 질소함량은 10 cm 부위에서 50 cm > 40 cm > 분수 살수 > 30 cm 순으로 높았고 20 cm와 30 cm 깊이에서는 처리간에 차이가 없었다. 치환성 칼륨은 50 cm 처리에서 높았고 칼슘은 토심 10 cm 깊이에서 30 cm 처리가 낮았고, 20 cm 깊이에서는 50 cm 처리가 낮았다. 마그네슘 함량은 10 cm 깊이에서 40 cm 처리가 높았고 30 cm

Table 5. Effect of subsurface drip pipes spacing on the chemical properties of the soil after 3 times cultivation from 2010 to 2011.

Soil depth	Treatments	pH	OrganicMatter	Avail. P ₂ O ₅	NO ₃ -N	Exch. Cation		
						K	Ca	Mg
		1:5	g kg ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ -----	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	
10 cm	30 cm [†]	7.72 cde [‡]	19.1 a	555.0 abc	16.2 d	0.34 bc	10.93 bc	1.79 c
	40 cm	7.61 de	19.1 a	641.0 a	32.2 b	0.36 bc	14.15 a	3.13 a
	50 cm	7.55 e	19.2 a	572.2 ab	42.2 a	0.59 a	14.66 a	2.35 b
	Spray irrigation	7.84 abc	20.3 a	565.9 ab	24.4 c	0.26 bc	12.69 ab	2.49 b
20 cm	30 cm	7.80 bcd	14.0 bcd	450.0 cd	6.1 ef	0.39 bc	7.71 d	1.39 c
	40 cm	7.88 abc	14.2 bcd	516.6 bcd	8.0 ef	0.28 bc	8.12 d	1.66 c
	50 cm	7.77 bcd	16.6 ab	539.4 abc	12.4 de	0.45 b	10.31 c	1.66 c
	Spray irrigation	7.76 bcd	15.2 bc	488.7 bcd	4.3 f	0.29 bc	8.15 d	1.49 c
30 cm	30 cm	7.74 cd	11.0 d	419.1 d	4.3 f	0.36 bc	6.77 d	1.42 c
	40 cm	7.95 ab	12.4 cd	472.5 bcd	5.3 ef	0.18 c	7.30 d	1.65 c
	50 cm	8.00 a	12.3 cd	463.6 bcd	7.3 ef	0.23 bc	7.12 d	1.62 c
	Spray irrigation	7.89 abc	13.3 bcd	464.0 bcd	4.0 f	0.19 bc	6.76 d	1.49 c

[†] cm: subsurface drip pipes spacing.

[‡] Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

처리에서 낮았다. 토심 10 cm의 질산태 질소와 치환성 칼륨 함량이 50 cm 처리에서 많았던 것은 Table 3의 양분 흡수량과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되었다. 토양 중 양분의 이동 거리는 관수량과 밀접한 관계가 있으며 (Ryu et al., 1991), 지표 점적관수보다 지중 관수시 표층 0~15 cm에 양분 축적이 많이 되고 (Heidarpour et al., 2007), 지중관수에 관비를 하면 토마토 물이용 효율과 생산성이 증가한다는 보고 (Ayars et al., 1999; Phene, 1995)를 볼 때 관비를 할 때 표토보다는 20~30 cm 부위에 지중관비를 하는 것이 비료 효율을 높일 수 있는 좋은 방법일 것으로 판단되었다.

요 약

본 연구는 시설 하우스 재배에서 지중관수 호스 간격 처리가 상추의 무기성분 함량과 흡수량, 수량, 관수량 및 토양 화학성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수행되었다. 상추 재배는 반축성 및 역제재배를 하였으며 시험처리는 분수살수 처리와 지중 호스를 30 cm 깊이에 호스의 배치 간격이 각각 30, 40 및 50 cm 되도록 한 지중관수 처리를 포함하여 총 4처리를 하였다. 지중관수 처리에 의한 상추의 무기성분 함량은 처리간에 차이가 없으나 양분 흡수량은 호스 간격 50 cm 처리에서 가장 낮았다. 수량은 50 cm ≤ 분수살수 ≤ 40 cm ≤ 30 cm 순으로 많았고 관수량은 분수살수 처리가 가장 많았으며 지중관수 처리 간격이 넓을수록 적었다. 토양 양분함량 중 지표 하 10 cm에서 질산태 질소는 50 cm > 40 cm > 분수살수 > 30 cm 처리 순으로 많았으며 치환성 칼리함량은 50 cm 처리에서, 마그네슘 함량은 40 cm에서 높았고 칼슘은 30 cm 처리에서 낮았다. 결과적으로 상추 재배에서 지중 분수살수와 지중 점적관수 30 cm 깊이에서 30~40 cm 간격 처리는 수량 차이가 없었으나 관수량은 지중관수에서 호스 간격이 넓을수록 적었다. 지중관수에서 작물의 수량 및 토양 중 양분 변화는 호스의 깊이와 점적기 및 호스 간격, 토성에 따른 물의 이동과 작물의 양분 반응에 따라 차이가 있을 수 있어 보다 정밀한 연구가 필요한 것으로 생각되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 시험연구 사업비(과제번호 PJ007702)에 의하여 수행되었음

인 용 문 헌

Abou Kheira, A.A. and El-Shafie, A.H. 2007. Management of sub-surface drip irrigation system and water saving in

- greenhouse. In Lamaddalena N. (ed.), Bogliotti C. (ed.), Todorovic M. (ed.), Scardigno A. (ed.). Water saving in Mediterranean agriculture and future research needs [Vol. 1]. Bari: CIHEAM-IAMB, 2007. p. 419-437: 11 réf., 8 tabl., 7 graph. (Options Méditerranéennes: Série B. Etudes et Recherches; n. 56 - vol. I). Proceedings of the International Conference WASAMED Project (EU contract ICA3-CT-2002-10013), 2007/02/14-17, Valenzano (Italy).
- Ayars, J.E., C.J. Phene, R.B. Hutmacher, K.R. Davis, R.A. Schoneman, S.S. Vail, and R.M. Mead. 1999. Subsurface drip irrigation of row crops: A review of 15 years of research at the water management research laboratory. *Agricultural Water Management* 42:1-27.
- 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.
- Bucks, D.A., L.J. Erie, O.F. French, F.S. Nakayama, and W.D. Pew. 1981. Subsurface trickle irrigation management with multiple cropping. *Trans ASAE* 24:1482-1489.
- Cafe, F.A.C. and J.M. Duniway. 1996. Effect of location of drip irrigation emitters and position of *Phytophthora capsici* infections in roots on *Phytophthora* root rot of pepper. *Phytopathology* 86(12):1364-1369.
- Camp, C.R. 1998. Subsurface drip irrigation: a review. *Transactions of the ASAE*, 41(5):1353-1367.
- Camp, C.R., F.R. Lamm, R.G. Evans, and C.J. Phene. 2000. Subsurface drip irrigation - past, present and future. In National Irrigation Symposium, November 14-16, Phoenix, Arizona, pp 363-372. ASSE, St. Joseph, MI, USA.
- El Awady, M.N., M.F. Ahi El Salam, M.M. El Nawawy, and M.A. El Farrah. 2003. Surface and subsurface irrigation effects on Spinach and sorghum. The II th Annual Conference of Misr Society of Agr. Eng. Oct. 2003:118-130.
- Gunnar, G. 1969. Accumulation of salts in the sub-irrigation of pot plants. *Plant and Soil* 31(3):425-438.
- Heidarpour, M., B. Mostafazadeh-Fard, J.A. Koupai and R. Malekian. 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agricultural Water Management* 90:87-94.
- Hillel, D. 2004. Introduction to environmental soil physics. Academic Press, New York, NY.
- Howell, T.A., A.D. Schneider, and S.R. Evett. 1997. Subsurface and surface microirrigation of corn: Southern high plains. *Trans. ASAE* 40:635-641.
- Incrocci, L., F. Malorgio, A. Della Bartola, and A. Pardossi. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Scientia Horticulturae* 107:365-372.
- Kim, J.H., C.S. Kim, T.W. Kim, and J.H. Hong. 2005. Effect on saving water of underground trickle irrigation. *J. Biosystems Eng.* 30:102-109.
- Lamm, F.R., H.L. Manges, L.R. Stone, A.H. Khan, and D.H.

- Roger. 1995a. Water requirement of subsurface drip irrigated corn in Northwest Kansas. *Trans ASAE* 38:441-448.
- Lamm F.R., W.E. Spurgeon, D.H. Rogers, and H.L. Manges. 1995b. Corn production using subsurface drip irrigation. *Proc. Fifth Intern Microir Congr Orlando, Florida ASAE Publ 4:388-394.*
- MIFAFF, 2012. 2011 Current State of Greenhouse and Vegetable Production. p. 66-111. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Seoul.
- NIAST. 2000. Methods of soil chemical analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology, RDA, Suwon, Korea.
- Patel, R.M., S.O. Prasher, D. Donnelly, R.B. Bonnell, and R.S. Broughton. 1999. Subirrigation with brackish water for vegetable production in arid regions. *Bioresource Technology* 70:33-37.
- Phene, C.J. 1995. The sustainability and potential of subsurface drip irrigation. *Proc Fifth Int Microirrig Congr Orlando, Florida ASAE Publ 4:359-368.*
- Phene, C.J., R.B. Hutmacher, K.R. Davis, and R.L. McCormick. 1992. Water-fertilizer management of processing tomatoes. *Acta-Horticulturae*. 1990, No. 277, 137-143.
- Ryu, K.S., S.H. Yoo, and K.C. Song. 1991. Movement of applied nutrients through soils by irrigation. I. Movement of nutrients to the amount of water applied. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 24(2):102-108.
- Ryu, K.S., S.H. Yoo, and K.C. Song. 1994. Movement of applied nutrients through soils by irrigation. III. Effect of soil water on the movement of nitrogen. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27(3):232-237.
- Trooien, T.P., F.R. Lamm, L.R. Stone, M. Alam, D.H. Rogers, G.A. Clark, and A.J. Schlegel. 2000. Subsurface drip irrigation using livestock waste water: drip line flow rates. *Appl. Eng. Agri.* 16(5):505-508.