

Optimal Fertilizer Application Rates for Fertigation System to Grow Watermelon in Nutrient-Rich Greenhouse Soils

Chan Wook Lee¹, Yang Min Kim², Yo Sung Song³, Hye Jin Park¹, and Ye Jin Lee^{1*}

¹Research Scientist, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

²Research Scientist, Highland Agriculture Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, Pyeongchang 25342, Korea

³Post-Doctoral Fellow, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

*Corresponding author: leeyj418@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 8, 2022

Revised: May 23, 2023

Accepted: May 24, 2023

Edited by

Seok-In Yun,
Wonkwang University, Korea

ORCID

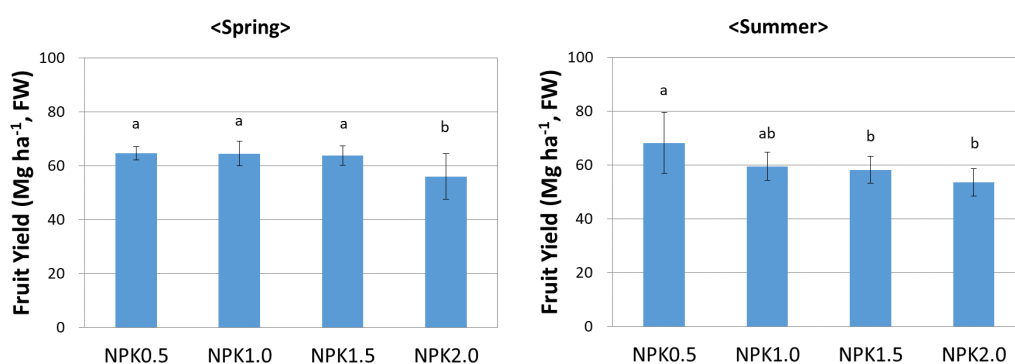
Yang Min Kim
<https://orcid.org/0000-0002-6246-5845>

Hye Jin Park
<https://orcid.org/0000-0001-9718-7876>

Ye Jin Lee
<https://orcid.org/0000-0003-4415-846X>

Despite of various chemical properties of greenhouse soils producing watermelon, the standard fertigation guideline suggests a method of supplying a uniform amount of fertilizer per week. To determine the optimal application rate of fertilizer for watermelon in nutrient-rich soils when using a fertigation system, we grew watermelons twice in spring and summer with four different application rates of fertilizer: 0.5 (NPK 0.5), 1.0 (NPK 1.0), 1.5 (NPK 1.5), and 2.0 times the standard guideline (NPK 2.0). The biomass production (dry weight) and nutrient uptake were not different between treatment groups in both production seasons. The yield of watermelon was significantly decreased in the NPK 2.0 treatment, whereas it was significantly increased in the NPK 0.5 treatment. Based on our observations, we suggest the recommended fertilizer application rates for watermelon in nutrient-rich soils under a fertigation system are 47.8(N)-15.4(P₂O₅)-88.1(K₂O) kg ha⁻¹ at spring and 77.3-15.6-115.8 at summer. Further studies are needed to subdivide standard fertilization methods with soil nutrient status for customized nutrient management in fertigation systems.

Keywords: Fertigation, Fruit yield, Greenhouse watermelon, Higher nutrients-containing soil



Fruit yield of watermelon were significantly low when treated with twice of the standard application rate (NPK 2.0) in soil containing high nutrients. In the summer period, the maximum yield was shown at half times of the standard application rate (NPK 0.5).



Introduction

관비는 관수와 비료의 합성어로, 물에 비료를 녹여 함께 주는 시비방법이다. 현재 우리나라 시설 채소 온실 면적 52 천 ha 중 약 56%에 해당하는 29천 ha에서 관비 시설을 이용하여 작물 재배를 하고 있다 (MAFRA, 2020). 관수 시설 이용 시 양분 관리가 편리하며 작물 비료 이용률이 높아 토양 염류 집적 감소 및 작물 생육 향상을 도모할 수 있으며 (Miller et al., 1976; Hagin et al., 2002), 관비 재배시 표층 시비한 관행 재배에 비하여 참외 과실의 상품 수량이 증가 하였으며 (Jun et al., 2012), 포도의 신초 생육이 향상되는 등의 장점이 있다 (Kang et al., 2011).

관비재배 면적이 증가함에 따라 관비시설을 이용한 적정 양분공급량 설정을 위한 다양한 연구가 진행되었다. 토마 토 재배시 토양검정 비료사용량의 80%에 해당하는 질소공급이 관비에 가장 효과적이었으며 (Lee et al., 2007), 참외 의 경우 토양검정 질소공급량의 50%를 관비 공급하였을 때 수량과 상품 수량이 가장 높았다 (Jung et al., 2010). 블루 베리 재배시 표준 질소공급량의 50%를 관비공급 하였을 때 과실 수확량과 지상부 (잎 + 줄기)의 건물중이 가장 많았다 (Kwack et al., 2017). 다양한 작물에 대한 관비 재배시 토양 검정 비료사용량보다 적은 양의 공급이 작물의 생육과 수량에 효과가 있는 것으로 보고된 바 있다 (Ha et al., 2015; Lee et al., 2021, 2022).

시설재배 토양은 연작에 따른 과도한 비료공급으로 인해 토양 중 염류 집적이 발생하여 작물 연작 장애가 발생하고 있다 (Kim et al., 2012). 따라서 시설재배지 염류 집적 경감을 위한 적절한 양분 관리가 필요하지만, 토양 양분 함량 조건에 따른 적정 관비 공급량 설정 연구는 부족한 실정이다. 또한, 관비 표준공급량은 토양화학성 적정범위 내에 해당하는 토양에 대한 기준량으로서 토양화학성 적정범위를 초과하는 토양에 대해서는 관비 공급량을 조절할 필요가 있다. 따라서, 본 연구는 수박의 생육, 양분흡수량 및 수확량과 토양의 양분집적량을 분석하여 적정범위를 초과하는 시설수박 재배토양에서 수박생산을 위한 최적 관비공급량을 설정하고자 수행하였다.

Materials and Methods

비료 수준별 처리 및 작물 재배 본 실험은 시설 수박 재배 농가 (충남 부여군 규암면 소재)에서 2022년 두 작 기 (봄, 여름)에 걸쳐 수행하였다. 봄작기는 2022년 1월 10일에 정식하여 5월 2일에 수확하였으며, 여름작기는 5월 14일에 정식하여 7월 22일에 수확하였다. 시험 전 토양 화학성은 Table 1과 같다. 질산태 질소 (484 mg kg^{-1}), 유효 인산 (889 mg kg^{-1}) 및 교환성 칼륨 ($0.99 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)은 시설 수박 재배토양의 적정범위를 초과하였다 (NIAS, 2019). 비료는 점적 관수 시설을 통하여 1주 (week)간격으로 요소, 인산 칼륨, 황산 칼륨을 공급하였다. 관비량은 목표 수량 40 Mg ha^{-1} 기준 봄작기 표준 관비량 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} = 95.7\text{-}30.8\text{-}176.1 \text{ kg ha}^{-1}$) 및 여름 표준 관비량 ($\text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} = 154.6\text{-}31.2\text{-}231.6 \text{ kg ha}^{-1}$)의 0.5, 1.0, 1.5 및 2.0배로 설정하였고 (Table 2), 처리구 면적은 34.2 m^2 이며 완전임의배치 법 3반복으로 구획을 설정하였다.

Table 1. Chemical properties of soil before spring cultivation.

	pH (1:5)	EC [†] (dS m^{-1})	NO ₃ -N [‡] (mg kg^{-1})	OM [§] (g kg^{-1})	Av. P ₂ O ₅ [¶] (mg kg^{-1})	Exch. cations [§] ($\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$)			
						K	Ca	Mg	Na
Experimental soils	6.2	7.1	484	31	889	0.99	12.7	6.4	3.0
Optimal range [‡]	6.0 - 6.5	<2.0	50 - 150	20 - 30	350 - 450	0.7 - 0.80	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	-

[†]EC, electrical conductivity; [‡]NO₃-N, Nitrate; [§]OM, organic matter; [¶]Av. P₂O₅, available phosphate; [§]Exch. cations, exchangeable cations; [‡]Optimum range for watermelon cultivation in greenhouse (NIAS, 2019).

Table 2. Weekly fertigation schedules at spring period (a) and summer period (b) (kg ha⁻¹).

(a)				
Week	NPK 0.5	NPK 1.0	NPK 1.5	NPK 2.0
3 - 4	0.9-0.3-1.4	1.8-0.6-2.8	2.8-0.9-4.2	3.7-1.2-5.6
5	3.5-1.0-5.5	7.1-2.1-11.0	10.6-3.1-16.5	14.2-4.1-22.0
6	4.7-1.0-7.1	9.4-2.1-14.2	14.2-3.1-21.3	18.9-4.1-28.4
7	2.8-0.7-4.2	5.7-1.3-8.4	8.5-2.0-12.6	11.4-2.6-16.8
8	2.8-0.7-8.0	5.7-1.3-16.0	8.5-2.0-24.0	11.4-2.6-32.0
9	2.8-1.6-8.6	5.7-3.3-17.3	8.5-4.9-25.9	11.4-6.5-34.5
10 - 12	5.0-1.6-8.6	10.0-3.3-17.3	15.0-4.9-25.9	19.9-6.5-34.5
13 - 16	3.6-1.2-6.5	7.1-2.4-13.0	10.7-3.7-19.4	14.2-4.9-25.9
Total	47.8-15.4-88.1	95.7-30.8-176.1	143.5-46.2-264.2	191.3-61.5-352.2
(b)				
Week	NPK 0.5	NPK 1.0	NPK 1.5	NPK 2.0
2 - 3	4.6-1.0-5.5	9.2-2.1-11.0	13.8-3.1-16.4	18.4-4.2-21.9
4 - 5	9.2-1.6-10.6	18.4-3.1-21.2	27.6-4.7-31.9	36.8-6.2-42.5
6 - 7	15.6-3.5-24.8	31.3-7.1-49.5	46.9-10.6-74.3	62.6-14.1-99.0
8	10.9-1.7-20.3	21.9-3.3-40.6	32.8-5.0-60.9	43.8-6.7-81.2
9	5.0-1.1-9.2	10.0-2.2-18.5	15.0-3.3-27.7	20.0-4.4-37.0
10	2.5-0.5-4.6	4.9-1.1-9.1	7.4-1.6-13.7	9.8-2.2-18.2
Total	77.3-15.6-115.8	154.6-31.2-231.6	231.9-46.8-347.4	309.2-62.4-463.2

분석방법 토양 분석은 토양 및 식물체 분석법 (NAAS, 2000)에 준하여 진행되었다. 토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 측정하였으며, EC의 경우 측정값에 5를 곱한 후 단위환산하여 사용하였다. 토양 유기물은 Tyurin 법, 유효 인산은 Lancaster 법, 교환성 양이온은 1 M NH₄OAc (pH 7.0)으로 추출하여 유도결합플라즈마 분광광도계 (ICP-OES, GBC, Integra XL Dual, Braeside, Australia)로 분석하였다. 토양 질산태 질소는 습토 5 g을 침출액 (2 M KCl) 25 mL와 함께 30분간 진탕한 후 여과하여 440 nm에서 질소자동분석기 (Auto analyzer 3, BRAN + LUEBBE, Germany)로 분석하였다 (Lee et al., 2017a).

수박 식물체의 지상부를 채취하여 잎, 줄기, 과로 나누어 각각의 건물중과 질소, 인산, 칼륨 함량을 분석하였고, 이를 곱하여 양분흡수량을 분석한 후 합산하여 식물체 양분 흡수량을 산정하였다. 건조하여 분쇄한 시료 0.5 g을 추출용액 (377 mM H₂SO₄ + 36% HClO₄) 5 mL로 습식 분해한 후 100 mL 플라스크에 여과 (Whatman No.6)하여 눈금까지 증류수로 채웠다 (Lee et al., 2017b). 만들어진 여과액을 증류수로 10배 희석하여 질소, 인산 및 양이온 함량을 측정하였다. 질소는 질소 자동분석기 (Auto analyzer 3, BRAN + LUEBBE, Germany)로 660 nm에서 인산은 UV-Spectrometer (Hitachi, Japan)로 880 nm에서, 양이온함량은 ICP (GBC, Integra XL, Australia)로 측정하였다.

통계분석 통계분석은 Excel 통계프로그램 (Excel 2016, Microsoft)을 통하여 ANOVA test를 수행하였다. *p*-value가 0.05보다 작은 경우를 유의한 것으로 정의하였으며, 통계적 유의성이 인정될 경우 SPSS 프로그램 (SPSS statistic 25, IBM)을 이용하여 사후 검정 (Tukey)을 수행하였다.

Results and Discussion

비료 사용량에 따른 양분 흡수량 및 수박 생산량 질소, 인산, 칼륨 관비 공급 수준에 따른 수박의 수확기 지상부 건물중 및 양분 흡수량은 Table 3과 같다. 봄 작기의 수박 지상부 건물중은 NPK 1.0배 처리구가 6.8 Mg ha⁻¹로, 여름 작기의 경우 0.5배 처리구에서 5.6 Mg ha⁻¹로 가장 높았으며 두 작기 모두 NPK 2.0배 처리구에서 각각 6.0와 5.1 Mg ha⁻¹로 가장 낮았으나 처리구 간의 통계적 유의성은 없었다. 봄작기 수박의 양분 흡수량은 NPK 1.0배 처리구에서 질소, 인산, 칼륨 각각 153.2, 65.8, 350.4 kg ha⁻¹로 가장 높았으나 건물중과 마찬가지로 처리구 간 유의한 차이는 없었다.

Table 3. Dry weight and nutrient uptake of watermelon shoot with different fertigation levels at spring period (a) and summer period (b).

(a)				
Treatment	Dry weight (Mg ha ⁻¹)	Nutrient uptake (kg ha ⁻¹)		
		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
NPK0.5	6.1 ± 0.5 ns [†]	117.5 ± 12.5 ns	51.4 ± 9.5 ns	294.6 ± 53.9 ns
NPK1.0	6.8 ± 0.6	153.2 ± 22.4	65.8 ± 10.6	350.4 ± 73.9
NPK1.5	6.7 ± 1.3	148.9 ± 25.8	62.7 ± 18.6	296.4 ± 52.2
NPK2.0	6.0 ± 1.1	124.4 ± 43.5	53.8 ± 10.9	246.5 ± 50.8
(b)				
Treatment	Dry weight (Mg ha ⁻¹)	Nutrient uptake (kg ha ⁻¹)		
		T-N	P ₂ O ₅	K ₂ O
NPK0.5	5.6 ± 0.5 ns	142.2 ± 24.7 ns	61.2 ± 5.5 ns	329.8 ± 43.6 ns
NPK1.0	5.2 ± 0.5	143.7 ± 9.2	56.5 ± 10.2	304.3 ± 21.9
NPK1.5	5.5 ± 0.2	142.1 ± 3.7	64.6 ± 2.9	285.2 ± 23.9
NPK2.0	5.1 ± 0.4	145.9 ± 12.2	57.8 ± 10.1	296.6 ± 35.3

Data were the means ± SD.

[†]ns, not significantly different (ANOVA test, $p < 0.05$).

비료 사용량에 따른 수박 생산량은 Fig. 1과 같다. 봄작기 수박 과 생체중은 NPK 0.5배와 1.0배 처리구에서 64.6, 64.5 Mg ha⁻¹, 1.5배 처리구에서 63.7 Mg ha⁻¹로 56.0 Mg ha⁻¹의 생체중을 보였던 NPK 2.0배 처리구에 비하여 유의하게 높았다. 여름 작기의 경우 NPK 0.5배 처리구가 68.2 Mg ha⁻¹로 각각 58.2 Mg ha⁻¹, 53.5 Mg ha⁻¹인 NPK 1.5배와 2.0배 처리구에 비하여 상대적으로 높은 생산량을 보였으며, NPK 1.0배 처리구와도 유의적 차이를 보이지 않아 시비량을 줄이더라도 작물 수확량을 유지하는 결과를 보였다. Gondwe et al. (2020)은 양분이 과다한 토양에서 NPK 과잉 공급은 감자 생산량 증가에 효과를 보이지 않았으며, 오히려 환경 부하 및 생산비의 증대로 이어진다고 하였다. 또한, Kwack et al. (2017)은 표준 비료사용량의 50% 이상 공급은 작물의 생육량 차이가 없거나 감소하는 경향을 나타내며, 200% 처리구에서는 작물에 염해 스트레스 증상이 발생한다고 하였다. 따라서 봄과 여름 작기의 표준 관비공급량의 2.0배 처리는 작물의 과잉 양분 장애에 따른 생산량 감소가 나타난 것으로 판단된다.

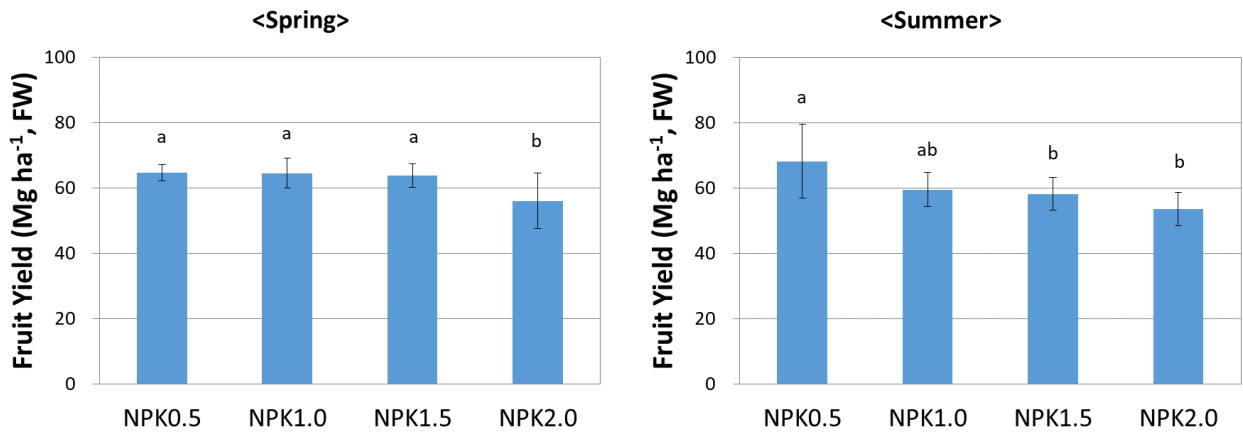


Fig. 1. Fresh fruit yields of watermelon with different fertigation supply levels.

시험 후 토양 화학성 여름 작기 시험 후 토양 화학성은 Table 4와 같다. 봄 작기 시험 전 토양 분석결과 (Table 1)와 비교하여 모든 처리구에서 토양 질산태 질소, 유효 인산 함량이 감소하였으며, 질산태 질소의 경우 NPK 0.5배 처리구에서 357 mg kg⁻¹로 시험 전 (484 mg kg⁻¹) 대비 127 mg kg⁻¹이 감소하였다. NPK 1.0 - 2.0배 처리구는 질산태 질소가 52 - 71 mg kg⁻¹이 감소하는 결과를 보였다. 교환성 칼륨은 시험 전과 비교하였을 때, 관비 공급량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다.

Table 4. Chemical properties of the soils after summer cultivation.

Treatment	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. cations (cmol _c kg ⁻¹)			
						K	Ca	Mg	Na
NPK0.5	5.9 ± 0.2 ns [†]	5.2 ± 1.7 ns	357 ± 182 ns	21 ± 1 ns	700 ± 18 ns	0.95 ± 0.27 ns	9.5 ± 1.1 ns	5.3 ± 1.0 ns	2.5 ± 0.5 ns
NPK1.0	6.1 ± 0.4	4.5 ± 2.2	422 ± 68	21 ± 1	695 ± 57	0.96 ± 0.29	10.2 ± 0.2	5.7 ± 0.8	2.6 ± 0.2
NPK1.5	6.2 ± 0.2	3.0 ± 1.4	413 ± 93	21 ± 0	677 ± 31	0.84 ± 0.13	10.2 ± 1.2	5.5 ± 0.7	2.7 ± 0.4
NPK2.0	6.0 ± 0.2	4.8 ± 2.0	432 ± 44	24 ± 6	731 ± 185	1.24 ± 0.50	10.3 ± 0.4	5.8 ± 0.6	2.6 ± 0.5

Data were the means ± SD.

[†]ns, not significantly different (ANOVA test, *p* < 0.05).

양분 집적 토양의 관비를 통한 비료 공급량 설정 작물 수량 및 양분 흡수량을 바탕으로 적정 범위를 초과하는 시설재배지에서 관비 시스템을 이용하여 수박 생산시 적정한 비료 공급량을 설정하였다. 목표 수량 40 Mg ha⁻¹ 기준 봄 작기 관비량은 N-P₂O₅-K₂O = 47.8-15.4-88.1 kg ha⁻¹, 여름 작기 관비량은 N-P₂O₅-K₂O = 77.3-15.6-115.8 kg ha⁻¹로, 두 작기 모두 관비 표준량의 절반으로 설정하였으며, 해당 시비량을 공급하여도 목표 수확량을 달성할 수 있었다. 시설 오이에 대한 질산태 질소 적정 범위 초과 토양의 관비를 통한 비료 공급량도 관비 표준량보다 적은 양을 공급하도록 산정하였다 (Kim et al., 2022). 따라서 양분 집적 토양에서는 본 연구에서 제시된 것처럼 표준 관비 시비량보다 적게 공급하는 것이 목표 수량 확보 및 작물과 토양의 건전성 유지에 유리할 것으로 생각된다.

Conclusions

본 연구는 토양 양분 함량이 높은 토양에서 기존 표준 관비량의 효과를 검증하고 최대의 수박 수확량과 양분 집적 경감 효과를 나타내는 조건을 찾아 관비를 통한 비료 공급 조절량을 제시하고자 수행하였다. 해당 토양은 질산태 질소와 유효인산이 각각 적정범위의 3.2배, 2.0배인 토양이었으며, 수확기 건물중 및 질소, 인산, 칼륨 흡수량은 두 작기 모두 처리구 간 유의적인 차이를 보이지 않았으나, 수박 생산량은 처리한 관비량이 많을수록 적어지는 경향을 보였다. 두 작기 모두 NPK 2.0배 처리구에서 유의하게 생산량이 낮은 결과를 보였으며, 시비량을 줄인 NPK 0.5배 처리구의 과수확량의 경우 NPK 1.0배 처리구와 유의적 차이를 보이지 않아 작물 수확량을 유지하는 결과를 보였다. 작물 생육, 양분 흡수량 및 수량을 토대로 양분 집적 토양의 시설 수박 관비 시비량은 봄, 여름 작기 모두 관비 표준량의 50%인 47.8-15.4-88.1, 77.3-15.6-115.8 kg ha⁻¹ (N-P₂O₅-K₂O)을 공급하는 것이 효과적인 것으로 판단된다. 해당 관비 시비량을 적용하여 작물 재배하였을 때 토양 질산태 질소와 유효 인산은 357, 189 mg kg⁻¹ 감소되어, 양분이 과다한 토양에서 적은 양의 비료 공급을 통해 수박 수확량을 확보하며 양분 집적을 방지할 수 있을 것으로 판단되며 앞으로 다양한 토양의 양분 집적 정도에 따라 시비량을 설정하는 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다.

Acknowledgement

This study was conducted by the support of “Research Program for Agricultural Science and Technology Development (Project No. PJ014977)”, National Institute of Agricultural Science, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Gondwe, R.L., R. Kinoshita, T. Suminoe, D. Aiuchi, J.P. Palta, and M. Tani. 2020. Available soil nutrients and NPK application impacts on yield, quality, and nutrient composition of potatoes growing during the main season in Japan. *Am. J. Potato Res.* 97(3):234-245.
- Ha, S.K., Y.K. Sonn, K.H. Jung, Y.J. Lee, M.J. Cho, H.J. Yun, and J.K. Sung. 2015. Estimation of growth stage-based nitrogen supply levels for greenhouse semi-forcing zucchini cultivation. *Korean J. Agric. Sci.* 42:319-324.
- Hagin, J., M. Sneh, and A.A. Lowengart. 2002. Fertigation: Fertilization through irrigation. IPI Research Topics No. 23. Edited by A.E. Johnston. International Potash Institute, Basel, Switzerland.
- Jun, H.J., Y.S. Shin, and J.K. Suh. 2012. Soil EC and yield and quality of oriental melon (*Cucumis melo* L. var. *makuwa* Mak.) as affected by fertigation. *J. Bio-Environ. Control* 21(3):186-191.
- Jung, K.S., K.H. Jung, W.K. Park, Y.S. Song, and K.H. Kim. 2010. Establishment of optimum nitrogen application rates for oriental melon at various growth stages with a fertigation system in a plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43(3):349-355.
- Kang, S.B., I.B. Lee, J.M. Park, Y.I. Song, and H.J. Kweon. 2011. Effect of potassium fertigation level on growth and yield of ‘Campbell Early’ grapevine (*Vitis labrusca* L.) in open field. *Korean J. Environ. Agric.* 30(2):132-137.
- Kim, M.S., Y.H. Kim, M.Y. Roh, S.S. Kang, H.B. Yoon, and H.Y. Lee. 2012. Effect of chelating agents on the growth of Chinese cabbage and availability of nutrients in plastic film house soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45(6):949-954.
- Kim, Y.M., C.W. Lee, Y.S. Song, and Y.J. Lee. 2022. Varying nitrogen fertigation for cucumbers grown in greenhouses

- with soil of optimal or high nutrient status. Korean J. Soil Sci. Fert. 55(1):27-37.
- Kwack, Y.B., W.B. Chae, M.H. Lee, H.W. Jeong, H.C. Rhee, J.G. Kim, and H.L. Kim. 2017. Effect of nitrogen fertigation on the growth and nutrition uptake of 'Brightwell' rabbiteye blueberry. Korean J. Environ. Agric. 36(3): 161-168.
- Lee, I.B., J.H. Lim, and J.M. Park. 2007. Effect of reduced nitrogen fertigation rates on growth and yield of tomato. Korean J. Environ. Agric. 26(4):306-312.
- Lee, S.B., J.K. Sung, Y.J. Lee, J.E. Lim, Y.S. Sung, D.B. Lee, and S.Y. Hong. 2017a. Analysis of soil total nitrogen and inorganic nitrogen content for evaluating nitrogen dynamics. Korean J. Soil Sci. Fert. 50(2):100-105.
- Lee, Y.J., J.K. Sung, S.B. Lee, J.E. Lim, Y.S. Sung, D.B. Lee, and S.Y. Hong. 2017b. Plant analysis methods for evaluating mineral nutrient. Korean J. Soil Sci. Fert. 50(2):93-99.
- Lee, Y.J., J.K. Sung, Y.S. Song, Y.M. Kim, and B.G. Hyun. 2022. The effects on nutrients uptake and soil chemical properties according to fertigation ratio of green onion (*Allium fistulosum* L.) in open field. Korean J. Soil Sci. Fert. 55(2):113-120.
- Lee, Y.J., S.B. Lee, and J. Sung. 2021. Optimal fertigation guide for greenhouse strawberry: Development and validation. Korean J. Soil Sci. Fert. 54(3):322-330.
- MAFRA. 2020. Statistics of greenhouse facilities and vegetable productivity. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- Miller, R.J., D.E. Rolstan, R.S. Rauschkolb, and D.W. Walfe. 1976. Drip irrigation of nitrogen is efficient. Calif. Agric. 30:16-18.
- NAAS. 2000. Soil and plant analysis method. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2019. Fertilizer recommendation for crop production (4th ed.). National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Korea.