

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2021.54.3.322>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Optimal Fertigation Guide for Greenhouse Strawberry: Development and Validation

Ye-Jin Lee¹, Seul-Bi Lee¹, and Jwakyung Sung^{2*}¹Researcher, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea²Assistant Professor, Department of Crop Science, College of Agriculture, Life and Environment Sciences, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea*Corresponding author: jksung73@chungbuk.ac.kr

ABSTRACT

Received: August 2, 2021**Revised:** August 13, 2021**Accepted:** August 17, 2021

ORCID

Jwakyung Sung

<https://orcid.org/0000-0002-0758-6644>

Development of a customized fertigation guide for greenhouse crops is a very important means to attain soil quality control as well as a favorable crop yield. In this study, we tried to develop and validate the fertigation guide of greenhouse strawberry using crop growth and NPK uptake rates by the specific growth stage. To achieve these goals, we firstly applied 4 different N levels based on soil-testing recommendation rates (SR) of Standard Fertilizer Recommendation: 0.5, 0.75, 1.0 and 1.5 times of SR. Phosphate and potassium were applied as much as the SR by the guide. Strawberry plants were cultivated from Sep., 2017 to May, 2018 with the density of 1.0×0.1 m. The growth and NPK uptake rates were estimated every 30 days from 30 days after transplanting (DAT) until final harvest. The growth rates (as expressed dry weight) were not significantly different between N treatments throughout the whole growth period. Soil nitrate-N contents at the final harvest stage showed significant difference between treatments; 1.5 times was the greatest and the others were similar to each other as much as the contents before transplanting. In order to validate effects of the newly developed fertigation guide, the yield was compared to soil-testing based fertigation rates and farmer's practice, and was not significantly differed between both practices. On the other hand, the nutrient use efficiency was the greatest in the developed fertigation guide for both N and P due to the reduced fertilizer application. It implies that the growth rates-based variable application is a key consideration to make the fertigation guide of various greenhouse crops for sustainable cultivation.

Keywords: Fertigation, Nutrient use efficiency, Strawberry, Yield

The recommended fertigation guide by the growth stage-based on the NPK uptake at the reference productivity for greenhouse strawberry.

Growth stage	Week after transplanting	Fertigation rates [†] (g 10a ⁻¹)		
		N	P	K
Rooting and early growth	1 - 10	300	40	270
Harvesting (1st flowering)	11 - 16	550	60	450
Harvesting (2nd flowering)	17 - 24	350	60	350
Harvesting (3rd flowering)	25 - 35	400	70	500
Total		4,450	700	4,540

[†]Urea, mono potassium phosphate, and potassium chloride were used for the fertigation.

Introduction

시설재배지는 작물의 연중 재배가 가능하나 화학비료와 가축분 퇴비의 지속적이며 과다한 공급으로 인해 토양의 염류집적과 작물의 연작장해를 야기하고 있다 (Kim et al., 2012). 특히 과잉 양분은 토양의 물리화학적 특성 악화와 환경부하를 통해 농업생태계에 영향을 미치기 때문이다 (Gao et al., 2017). 농업의 지속성 유지, 작물의 안정적인 수량과 품질을 확보하기 위해서는 작물별 생육단계에 맞춰 필요한 시기에, 필요한 양을 공급하는 재배방법의 개발이 필요하다 (Mattson and van Iersel, 2011).

작물의 안정생산을 위한 관비기술은 토양의 이화학적 특성 (토성, 입경분포, 유효수분 범위, 토양 양분함량 등)과 작물의 생육특성을 고려해야 한다 (Sandal and Kapoor, 2015). 최적의 양분관리 기술로써 4R (right source, right rate, right time and right place)의 중요성이 제시되어 있다 (Bruulsema et al., 2009). 관개수를 이용하여 비료를 공급하는 방식인 관비 (fertigation)는 비료의 공급시기, 공급량 및 공급농도의 조절이 용이하다 (Hagin et al., 2002). 비료를 관비형태로 공급하는 경우, 양분의 흡수율은 50 - 90%로, 입상비료 양분흡수율 (10 - 40%)에 비해 2배 이상 높다 (Hagin et al., 2002; Jung et al., 2005). 관비는 비료의 용탈량을 감소시켜 비료 사용량을 25% 줄일 수 있어 작물생산의 경제적 측면에서 유리하며 (Chauhdary et al., 2017), 때로는 비료 공급량을 40 - 60%까지 절감할 수도 있다 (Kumar and Singh, 2002; Ebrahimian and Playán, 2014; Chauhdary et al., 2017). 토마토, 참외, 애호박, 수박 등 고소득 시설 재배 작물에 대한 관비연구들이 많이 수행되었는데 (Lee et al., 2007, 2019b; Jung et al., 2010; Ha et al., 2015; Sung et al., 2016), 작물의 수량과 품질향상 및 질소이용효율 증가효과를 제시하였다.

우리나라 관비재배 면적 (점적관수)은 2017년도 기준으로 23,974 ha로 시설 온실 관수시설의 약 46%를 차지하고 있고, 관비면적은 매년 증가하고 있는 추세이다 (MAFRA, 2018). 시설 딸기 재배면적은 5,969 ha로 전체 과채류 중 수박, 토마토에 이어 세 번째로 크다 (MAFRA, 2019). 딸기의 비료공급량은 표준비료사용량과 토양검정 비료사용량으로 설정되고 있고, 표준비료사용량 (시설 딸기)은 질소-인산-칼리가 9.6-4.9-7.4 kg 10a⁻¹이며, 밑거름과 웃거름의 비율 (질소 35:65, 인산 100:0, 칼리 75:25)만 제시되어 있다 (NIAS, 2017). 하지만, 대부분의 시설재배 농가는 작물별 관비사용처방의 부재로 인해 작물의 생육과 수확량을 고려한 경험에 의존하고 있으며, 특히 딸기 재배를 위해 표준 또는 토양검정 비료사용량보다 많은 양의 비료를 공급하며 밑거름보다는 웃거름에 중점을 두는 경향이 있다 (Lee et al., 2019b).

관비 공급은 표층시비에 비해 양분이용효율이 높아 필요한 시기에 필요한 양의 비료를 공급하여 작물의 안정생산을 도모할 수 있는 표준화된 매뉴얼이 요구된다 (Azad et al., 2018). 본 연구는 시설 딸기 관비재배를 위한 생육단계별 표준 관비공급량을 산정하기 위하여 질소를 4개 수준으로 공급한 후 생육단계별로 생육과 양분흡수양상을 조사하였다. 또한 산정된 표준 관비처방서의 효과를 알아보기 위하여 토양검정 비료사용량과 수량 및 양분이용효율을 비교하였다.

Materials and Methods

작물 재배 및 질소 수준별 처리 본 연구는 2017년부터 2019년까지 전북 완주군 삼례읍에 위치한 시설 딸기 재배농가에서 수행하였다. 공시품종은 ‘설향’으로 2017년과 2018년 9월 중순에 1.0 (휴간거리) × 0.1 (주간거리) m의 재식밀도 (7,000주 1,000 m²)로, 각 처리구의 면적은 80 m² (3반복)로 하였다.

국립농업과학원 작물별 비료사용처방 (NIAS, 2017)에 따라, 토양검정 질소공급량은 $15.4 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ ($y = 18.715 - 0.094x$; y : 질소비료 사용량, x : 토양중 질산태 질소, NIAS, 2017)이었고, 인산과 칼리의 공급량은 각각 $15.6, 20.9 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 하였다 (Table 1). 토양검정 질소공급량을 기준으로 0.5배 (0.5 N), 0.75배 (0.75 N), 1.0배 (1.0 N) 및 1.5배 (1.5 N) 등 4수준으로 나누어 밀거름 (표층시비)와 웃거름 (관비)의 비율을 35:65으로 하여 공급하였다. 인산과 칼리는 토양검정 공급량을 기준으로 하되, 인산은 전량 밀거름 ($21.84 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)으로 칼리 ($21.14 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)는 밀거름과 웃거름의 비율을 75:25으로 하여 공급하였다. 웃거름 질소는 정식 2주 이후부터 2주 간격으로 나누어 공급하였으며, 웃거름 칼리는 정식 6주부터 질소와 섞어서 공급하였다. 물관리는 발작물 물관리 지침 (NIAS, 2018)에 따라 1회 관수량을 설정하였고 토양수분장력 -33 kPa 이하에서 관수하였다.

Table 1. Comparison of N, P and K supply ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$) between soil testing-based fertilization and farmer's practices.

Fertilizer	Soil testing-based (A)	Farmer's practice (B)	B - A
N	15.4	32.0	$\Delta 16.6$ (208%)
P ₂ O ₅	21.8	20.0	1.8 (92%)
K ₂ O	21.9	22.3	$\Delta 0.4$ (102%)

생육조사, 식물체 및 토양분석 시설 딸기 정식 후 30일부터 30일 간격으로 240일까지 식물체 (지상부)를 채취하여 (10주/반복) 건물 중, 양분흡수량 및 수량을 분석하였다. 식물체를 건조 (80°C , 48시간)하여 마쇄한 후, 식물체 분석시료 0.5 g에 식물체 분해액 ($377 \text{ mM H}_2\text{SO}_4 + 36\% \text{ HClO}_4$)으로 습식 분해 (250°C)하여 여과 (Whatman No. 6) 하였다 (Lee et al., 2017b). 여과액을 증류수로 10배 희석한 후, 질소는 질소 자동분석기 (Auto analyzer 3, BRAN+LUEBBE, Germany)로 660 nm에서 측정하였다. 인산은 UV-Spectrometer (Hitachi, Japan)을 이용하여 880 nm에서 측정하였다. 칼리 등 양이온함량은 ICP (GBC, Intergra XL, Australia)를 이용하여 측정하였다 (Lee et al., 2017a).

토양 이화학성 분석은 농촌진흥청 분석법에 준하여, 토양 건조 후, 2 mm 체로 쳐서 분석시료로 사용하였고, 질산태 질소는 습도 5 g에 2M KCl 25 mL를 첨가하고 30분간 진탕 후 여과 (Whatman No. 2)하여 질소자동분석기로 분석하였다 (440 nm) (Lee et al., 2017a). pH와 EC는 토양과 증류수 1:5의 비율로 30분간 진탕한 후 pH meter/EC meter로 측정하였다. 유효인산은 토양시료 5.0 g에 Lancaster 용액 ($333 \text{ mM Acetic acid} + 1.5 \text{ N Lactic acid} + 30 \text{ mM Ammonium Fluoride} + 213 \text{ mM Sodium Hydroxide} + 50 \text{ mM Ammonium Sulfate}$, pH 4.25) 20 mL를 넣고 10분간 진탕하여 여과 (Whatman No. 2)한 후 증류수로 희석하여 UV-Spectrometer를 이용해 측정하였다 (720 nm). 양이온 분석은 건조 5 g에 1 N Ammonium acetate (pH 7.0) 25 mL를 가하여 30분간 침출후 여과 (Whatman No. 2)하여 ICP로 분석하였다.

관비 (웃거름) 공급량 산정 및 토양검정 비료공급량과 비교 시설 딸기의 생육단계별 웃거름 관비공급량을 산정하기 위해 30일 간격으로 딸기 지상부 (잎+줄기+과)를 채취하여 양분 (질소, 인산, 칼리)흡수량을 산정한 후, 각 양분의 이용효율 (N, 90%; P, 50%; K, 80%, Kumar and Singh, 2002)을 고려하여 주 단위 공급량으로 변환하였다. 단위 시간 당 양분흡수량은 $n+1$ 차 시기의 양분흡수량에서 n 차 시기 양분흡수량의 차이로 계산하였다. 관비처방서 작성 (2017 - 2018)을 위한 토양검정 기반 웃거름 공급비율은 작물별 비료사용처방 (NIAS, 2017)을 바탕으로 질소 (65%), 인산 (0%), 칼리 (25%)로 하였으며, 개발된 관비처방서의 효과분석 (2018 - 2019년)을 위한 웃거름 공급비율은 영농

현장 공급실태 (Lee et al., 2019b)를 바탕으로 질소, 인산 및 칼리를 70%로 조정하였다. 관비처방, 토양검정 및 농가 관행 비료공급 방법별로 수량을 비교하였다. 또한 비료공급량과 양분흡수량을 바탕으로 양분이용효율을 분석하였다.

시험구 배치 및 통계분석 본 실험의 시험구 배치는 완전임의 배치법 3반복으로 하였다. 각 실험결과를 엑셀프로그래를 이용해 평균치와 표준오차를 계산하였다. 질소 수준별 처리간 비교를 위해 SAS 프로그램 (ver. 9.4)으로 ANOVA 분석 후, 통계적 유의성이 인정될 경우 LSD 검정을 실시하였다.

Results and Discussion

토양특성, 딸기 생육 및 수량 시험토양은 매곡통으로 토성은 양토, 배수등급은 양호, 용적밀도는 1.32 Mg m^3 인 토양으로 딸기를 재배하는데 문제가 없는 토양이었다 (Table 2). 화학성은 질산태질소 함량을 제외한 모든 성분이 적정범위보다 약간 낮은 토양으로 나타났다.

Table 2. Physico-chemical properties of soil before the experiment.

Properties	Series	Texture	Drainage	Bulk density (Mg m^3)	pH (1:5)	EC (1:5) (dS m^{-1})	OM [†] (g kg^{-1})	NO ₃ -N [†] (mg kg^{-1})	Av. P ₂ O ₅ [†] (mg kg^{-1})	Ex. cations (cmolc kg^{-1}) [†]		
										K	Ca	Mg
2017 - 2019	Maegok	Loam	Good	1.32	5.7	0.7	35	23	181	0.2	4.7	0.7
Optimal range for strawberry	-	Sandy loam - Clay loam	Good	-	6.0 - 6.5	<1.2	50 - 150	20 - 30	350 - 450	0.70 - 0.80	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0

[†]OM, In-N, Av. P₂O₅, and Ex. mean organic material, inorganic nitrogen, available phosphate, and exchangeable, respectively.

질소 공급량은 농가관행에 비해 50% 미만이었으며, 인산과 칼리는 농가관행과 비슷한 수준이었다. 시설 딸기 재배 농가 실태조사에 따르면 (Lee et al., 2019b), 관비를 통한 농가의 비료공급량이 토양검정 비료사용량에 비해 적은 것으로 조사되었다. 따라서 관비 비료공급량은 토양 양분함량, 농가 재배방법 및 목표 수량이 크게 영향을 미치는 것으로 판단된다.

딸기 정식 후 30일부터 30일 간격으로 최종수확기 (정식 후 240일)까지 성장량을 조사하였다 (Fig. 1). 처리 간 통계적인 유의성은 나타나지 않았으며, 질소가 과다하게 공급된 1.5 N 처리구에서는 2화방 이후 (정식 후 150일)부터 서서히 감소하는 경향을 보였다. 성장곡선은 과실 수확 전 (정식 후 60 - 70일)에는 완만한 상승세 (lag phase)를 보이다가, 과실의 비대 및 수확이 이루어지면서 직선적인 (exponential phase) 생육특성을 보였다. 최종수확기 누적 건물생산량 (잎+줄기+과실)은 $900 - 1,100 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 의 범위를 보였으며 (Fig. 1a), 주요 생육단계별로 구분하였을 때 단위기간 (30일) 당 성장량은 (Fig. 1b) 2화방기에 가장 컸으며 (관비, $180 - 240 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$; 농가관행, $200 - 250 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$), 이러한 현상은 비료공급량의 차이도 있지만, 온도상승에 (3월 이후) 따른 성장량 (착과 및 비대)의 급격한 증가가 큰 요인으로 작용하는 것으로 판단된다. 딸기 생육특성에서 관찰된 S자형 성장곡선은 (sigmoidal growth curve) 참외 (Jung et al., 2010), 애호박 (Ha et al., 2015), 수박 (Sung et al., 2016)과 같은 영양생장과 생식생장을 동시에 하는 작물에서 공통적으로 나타나는 특성이며, 저온조건에서 작물의 생장이 둔화되는 특성을 (Sung et al., 2015) 고려할 때, 하우스 내 장기간의 재배기간에 따른 온도 (저온 → 고온) 차이가 영향을 미치는 것으로 판단된다.

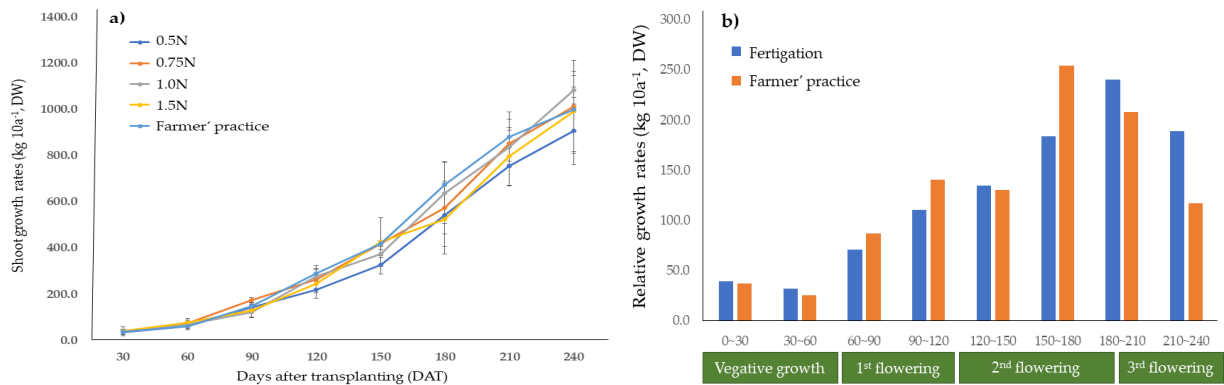


Fig. 1. Effect of different nitrogen levels on the shoot growth (left) of strawberry and relative growth rates at major growth stages (right) during the whole growth season (n = 3). The shoot growth rates mean the sum of leaves, stems and fruits, and relative growth rates indicates dry weight production for every 30 days.

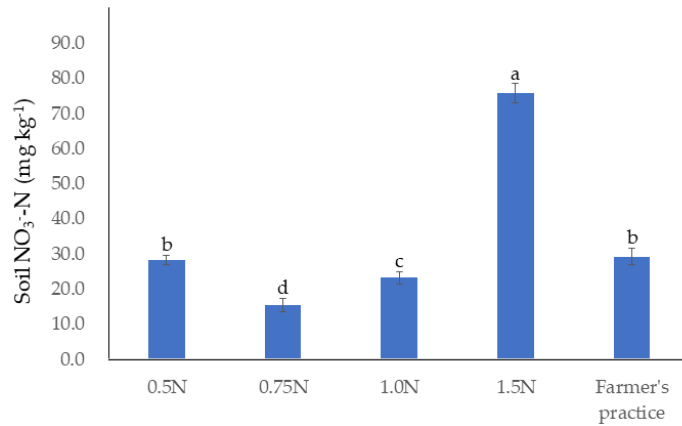


Fig. 2. Nitrate-N contents in soil after the experiment (n = 3). The application levels (0.5, 0.75, 1.0 and 1.5 times) of nitrogen were estimated from soil-testing recommendation rates (SR) of Standard Fertilizer Recommendation (NIAS, 2017), and a farmer means a conventional fertilizer application rate of a farmer for a comparison study.

최종수확기 처리별 토양 중 질산태질소 함량을 분석한 결과, 토양 중 질산태질소의 잔존량은 토양검정 1.5배 질소 처리구에서 가장 높았으며 (76 mg kg^{-1}), $0.5 \text{ N} > \text{농가관행} > 1.0 \text{ N} > 0.75 \text{ N}$ 의 순으로 낮았다(Fig. 2). 시험 전 (23 mg kg^{-1})과 비교하여 볼 때, 1.5 N을 제외하고, 나머지 처리구에서는 초기상태의 질산태질소 농도를 유지하는 것으로 보아, 토양검정량을 고려한 질소 관비공급은 토양의 질소집적에 영향이 없는 것으로 여겨진다. Ha et al. (2015)의 연구에서도 최종수확기 토양의 질산태질소 함량은 질소수준 간에는 차이를 보이지 않았으며, 오히려 작물의 생육경과에 따라 점진적으로 감소하는 것으로 나타났다.

토양검정 질소 관비공급 수준 및 농가관행에 따른 시설 딸기의 생산성 (상품과 기준)을 평가하였다 (Table 3). 딸기 수량은 $3.7 - 4.1 \text{ Mg } 10\text{a}^{-1}$ 의 범위로 나타났으며, 처리 간에 유의적인 차이는 보이지 않았다. 다만, 0.5 N과 1.5 N 처리구에서 약간 감소하는 경향을 보여, 질소의 부족 또는 과다 공급은 딸기 생산성에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 관비에 의한 질소공급은 질소의 이용효율을 25 - 40% 증가시켜 토양검정 질소공급량에 비해 적은 양으로도 작물의 안정적 생육과 수량확보가 가능하다는 것이 다양한 작물연구를 통해 입증된 바 있다 (Lee et al., 1997; Singandhupe et al.,

2003; Jung et al., 2005, 2010; Ha et al., 2015; Sung et al., 2016). 본 연구에서도 질소공급량을 25% 감비하여도 생육과 수량에 문제가 없음을 확인하여, 시설 딸기 관비재배 시 질소비료 사용을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Yield of strawberry by N supply levels (2017 - 2018).

N levels	Yield [†] (kg 10a ⁻¹)
0.5 N	3,684 ± 666 (92 [‡]) ns
0.75 N	3,931 ± 691 (99)
1.0 N	4,067 ± 265 (102)
1.5 N	3,770 ± 737 (95)
Farmer's practice	3,987 ± 425 (100)
F value	0.22

[†]The yield (commercial use-only) was calculated for fruits taken from 7,000 plants. The application levels (0.5, 0.75, 1.0 and 1.5 times) of nitrogen were estimated from soil-testing recommendation rates (SR) of Standard Fertilizer Recommendation (NIAS, 2017), and a farmer means a conventional fertilizer application rate of a farmer for a comparison study.

[‡]The number in the parenthesis indicates a harvest index.

관비 공급량 산정 및 관비처방서 효과 분석 토양 질산태질소 잔존량, 딸기 생육 및 생산성 결과를 종합적으로 검토하여 질소공급 (0.75, 1.0 N)을 바탕으로 주 (week) 단위 질소 (요소), 인산 (인산칼륨) 및 칼리 (염화칼리)의

Table 4. Recommended fertigation guide by growth stage (weekly unit) based on the growth and NPK uptake of greenhouse strawberry.

Growth stage (week)	Fertigation (g 10a ⁻¹)		
	N (urea)	P (0-52-34)	K (KCl)
Rooting and early growth	1 - 2	-	-
	3 - 4	50 [†]	-
	5 - 8	50	10
	9	100	15
	10	100	15
Harvesting (1st flowering)	11	100	15
	12	150	15
	13	150	15
	14 - 16	150	15
Harvesting (2nd flowering)	17 - 20	150	30
	21 - 24	200	30
	25 - 30	200	30
Harvesting (3rd flowering)	31 - 32	100	20
	33 - 35	100	20
Total	4,450	700	4,540

The planting density of seedlings of strawberry was 1.0 × 0.1 (m) (10,000 plants 10a⁻¹), and an application rate of NPK was the recommended requirement for 1 Mg of strawberry fruits (10a⁻¹). The basal fertilizer use efficiency was 50%, and N, P and K use efficiencies as the fertigation were 90, 50 and 80%, respectively.

[†]The value means the recommended amount to be supplied as a fertigation every week.

관비 공급량은 4.45 kg, 0.7 kg 및 4.54 kg 10a⁻¹로 산정되었다 (Table 4). 삼요소 (NPK)의 생육단계별 관비 공급량은 영양생장기보다 영양생장+생식생장기에 높았고, 온도상승이 시작되는 2화방기부터 많은 양이 요구되는 것으로 나타났다. 본 연구에 의해 제시된 생육단계별 관비공급량의 추세는 애호박 (Ha et al., 2015), 수박 (Sung et al., 2016)에 서 유사하게 나타난 바 있다.

시설 딸기 관비처방서의 효과를 알아보기 위하여, 토양검정 질소공급량 및 농가관행 공급량과 비교한 결과, 딸기 생산성은 통계적으로 유의적인 차이는 나타나지 않았으나, 수확지수로 볼 때 토양검정 관비공급 (115%) > 양분흡수량 기반 관비공급 (106%, 개발된 관비처방서) > 농가관행 (100%)의 순으로 나타났다 (Table 5). 새롭게 제시된 관비 처방서의 효과로 비료이용효율이 질소는 75%, 인산은 64%까지 매우 향상되었다. 특히 인산의 경우에는 토양검정 및 농가관행에 비해 이용효율이 7 - 9배 증가하는 것으로 확인되었다. 이는 작물의 생육과 양분흡수량을 고려한 비료공 급이 작물생산성과 토양건전성을 동시에 충족시킬 수 있는 양분관리 방안이라는 것을 의미한다.

Table 5. Effect of recommended fertigation recipe on strawberry production and fertilizer use efficiency (2018 - 2019).

Fertigation	Yield [†] (kg 10a ⁻¹)	Harvest index (HI, %)	Fertilizer application (kg 10a ⁻¹)			Fertilizer use efficiency (%)		
			N	P	K	N	P	K
Recommendation	5.108 ± 1,152 ns	106	10.2	1.8	14.8	75 a	64 a	81 ns
Soil-testing based	5.567 ± 597	115	15.9	23.1	14.7	51 b	7 b	83
Farmer's practice	4.841 ± 783	100	15.9	17.1	19.8	46 b	9 b	83
F value	0.38	-	-	-	-	8.09	224.6	0.02

[†]The yield (commercial use-only) was calculated for fruits taken from 7,000 plants.

Conclusions

작물의 안정생산을 위한 관비기술은 토양의 이화학적 특성 (토성, 입경분포, 유효수분 범위, 토양 양분함량 등)과 작물의 생육특성을 고려해야 한다 (Sandal and Kapoor, 2015). 최적의 양분관리 기술로써 4R (right source, right rate, right time and right place)의 중요성이 제시되어 있다 (Bruulsema et al., 2009).

본 연구는 시설 딸기 목표수량과 양분흡수량을 바탕으로 생육단계별 웃거름 관비 (N, P and K) 공급량을 산정하고 개발된 관비처방서의 효과를 검증하기 위하여 수행되었다. 토양 질산태질소 잔존량, 딸기 생육 및 생산성 결과를 바탕으로 생육단계별 주 단위 관비 (N, P and K) 공급량은 영양생장기에 질소 (요소), 인산 (0-52-34) 및 칼리 (염화가리) 는 50-100 : 10-15 : 20-100 g 10a⁻¹로, 영양생장+생식생장기에 100-200 : 15-30 : 100-200 g 10a⁻¹로 공급하는 것이 적 정한 것으로 산정되었다. 또한 개발된 관비처방서의 효과를 검증한 결과 토양검정과 농가관행과 수량차이는 없었으 며, 양분 공급조절을 통해 질소와 인산의 이용효율이 향상되는 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 개발된 딸기 관비처방서는 영농현장 적용 시 작물 생산성과 양분 이용효율성을 향상시킬 것으로 기 대된다. 다만, 지역별 기상조건, 토양조건 및 재배양식의 차이를 감안할 때, 실증시험을 통해 맞춤형 관비처방서로의 고도화 연구가 필요하다는 것을 제안한다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ010899 and PJ015635)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Azad, N., B. Javad, R. Vahid, F. Abbasi, and M. Navabian. 2018. Developing an optimization model in drip fertigation management to consider environmental issues and supply plant requirements. *Agric. Water Manage.* 208:344-356.
- Bruulsema, T., J. Lemunyon, and B. Herz. 2009. Know your fertilizer rights. *Crops Soils* 42:13-18.
- Chauhdary, J.N., A. Bakhsh, M. Arshad, and M. Maqsood. 2017. Effect of different irrigation and fertigation strategies on corn production under drip irrigation. *Pak. J. Agric. Sci.* 54:855-863.
- Ebrahimian, H. and E. Playán. 2014. Optimum management of furrow fertigation to maximize water and fertilizer application efficiency and uniformity. *J. Agric. Sci. Tech.* 16:591-607.
- Gao, X.D., T.T. Meng, and X.N. Zhao. 2017. Variations of soil organic carbon following land use change on deep-loess hillslopes in China. *Land Degrad. Dev.* 28(7):1902-1912.
- Ha, S.K., Y.K. Son, 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. *CNU J. Agric. Sci.* 42(4):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.
- Jung, B.G., H.J. Jun, Y.S. Song, and K.S. Lee. 2005. Establishment of optimum nitrogen application rates in fertigation system for vegetable cultivation. p. 270-289. *Annual Report of National Academy of Agricultural Science*.
- Jung, K.S., K.H. Jung, W.K. Park, Y.S. Song, and K.H. Kim. 2010. Establishment of the 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.
- 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.
- Kumar, A. and A.K. Singh. 2002. Improving nutrient and water use efficiency through fertigation. *Water Manage.* 10:42-48.
- 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, S.B., Y.M. Kim, Y.J. Lee, Y.S. Song, D.B. Lee, and J. Sung. 2019a. Growth stage-based fertigation guideline for greenhouse spring Chinese cabbage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(4):429-437.
- Lee, S.G., K.Y. Kim, J.H. Chung, Y.B. Lee, and J.H. Bae. 1997. Effect of nitrogen fertilizer level on the yield and quality of watermelon. *J. Bio. Fac. Env.* 6:97-102.
- Lee, Y.J., J. Sung, S.B. Lee, J.E. Lim, Y.S. Song, 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., S.B. Lee, and J. Sung. 2019b. Optimal fertilizer requirement for 9 greenhouse vegetable crop cultivation with fertilization system: On-site survey. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 52(4):513-519.

- MAFRA. 2018. Statistics of greenhouse facilities and vegetable productivity. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- MAFRA. 2019. Statistics of greenhouse facilities and vegetable productivity. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Korea.
- Mattson, N.S. and M.W. van Iersel. 2011. Application of the “4R” nutrient stewardship concept to horticultural crops: Applying nutrients at the “Right Time”. *HortTechnology* 21(6):667-673.
- NIAS. 2017. Fertilizer recommendation for crop production (3rd ed.). National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju, Korea.
- NIAS. 2018. Manual of water use for upland crops with soil, crop species and region. p. 24. National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Korea.
- Sandal, K.S. and R. Kapoor. (2015) Fertigation technology for enhancing nutrient use and crop productivity: An overview. *Himachal J. Agric. Res.* 41(2):114-121.
- Singandhupe, R.B., G.G.S.N. Rao, N.G. Patil, and P.S. Brahmanand. 2003. Fertigation studies and irrigation scheduling in drip irrigation system in tomato crop (*Lycopersicon esculentum* L.). *Eur. J. Agron.* 19(2):327-340.
- Sung, J., H.J. Yun, M.J. Cho, Y.J. Lee, H. Chun, S. Ha, and Y. Sonn. 2015. Mineral uptake and soluble carbohydrates of tomato plants as affected by air temperatures and mineral treatment levels. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48(4):305-311.
- Sung, J., K.H. Jung, H.J. Yun, M.J. Cho, J.E. Lim, Y.J. Lee, S.B. Lee, and D.B. Lee. 2016. Optimal levels of additional N fertigation for greenhouse watermelon based on cropping pattern and growth stage. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 49(6):699-704.