

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.626>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Characteristics of Growth-Stage-Based Nutrient Uptake of Lettuce Grown by Fertigation Supply in a Greenhouse

Seul-Bi Lee*, Yang-Min Kim, Jwa-Kyung Sung, Ye-Jin Lee, and Deog-Bae Lee

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

*Corresponding author: seulvi23@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 12, 2018**Revised:** November 29, 2018**Accepted:** November 30, 2018

As fertigation facilities in a greenhouse have increased, information on the nutrient requirement along the plant growth stages is highly needed. This study investigated the nutrient uptake pattern of leafy lettuce cultivated in a pot filled with a sandy loam soil in a greenhouse from March to June in 2016 and to calculate the amount of nutrient supply with growth stages of lettuce by fertigation system. With different nitrogen (N) top-dressing supply levels (0.5N, 0.75N, 1.0N, and 1.5N) by soil NO₃-N based recommendation, the characteristics of growth and nutrient uptake of lettuce along the growth stages have been evaluated. Soil NO₃-N decreased along the growth stages, having no significant differences among N supply levels lettuce leaf growth showed linear growth patterns and there was no clear difference in growth and nutrient uptake among N supply levels. The growth of lettuce was 17%, 38%, and 64% of total accumulated growth of lettuce (dried weight, averaged N supply level) after 40 days, 50 days, and 60 days after seeding (DAS), respectively, reached to 38.9 kg 10a⁻¹ at 70 DAS. Mineral uptake (N, P₂O₅, and K₂O) of lettuce along the growth stages, showing different patterns with nutrient species, was characterized into increasing pattern in N uptake, steady-increasing pattern in P₂O₅ uptake, and step-like pattern in case of K₂O uptake. With growth stages of lettuce, the N uptake was 26%, 17%, 20%, and 37% of total N uptake, 24%, 3%, 12%, and 50% in case of total P₂O₅ uptake, and 20%, 31%, 12%, and 34% of total K₂O uptake. In conclusion, the scheduling of the fertigation nutrient supply designed on the basis of daily nutrient uptake and nutrient use efficiency by fertigation system could contribute to maintain stable productivity of lettuce and ameliorate the nutrient accumulation of greenhouse soil.

Keywords: Fertigation supply, Soil-testing-based fertilization, Leafy lettuce, Growth stage

Weekly fertigation scheduling (g 10a⁻¹) of nitrogen, phosphate and potassium for greenhouse leafy lettuce with growth stages estimated on the basis of mineral uptake and nutrient use efficiency by fertigation system.

Cultivation : early March(seeding) ~ late June				
Plant density : 15,000 plant 10a ⁻¹				
Growth stages	Weeks after seeding	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Seed germination	1			
	2			
Seedling development	3	43.4	14.1	161.6
	4	43.4	14.1	161.6
	5	43.4	14.1	161.6
Mid-leaf elongation	6	51.3	11.0	279.8
	7	71.1	3.2	575.4
	8	102.6	23.3	278.4
Late-leaf elongation	9	113.4	48.0	437.1
	10	120.9	69.5	714.7
Total required amount		589.5	197.2	2,770.2



Introduction

우리나라 시설재배지는 작물을 연속적으로 생산하기 위해 작물에 따라 차이는 있으나 노지재배보다 질소, 인산, 칼리를 각각 평균 21%, 52%, 34% 과잉시비하고 있는 것으로 보고되었다 (Park et al., 1994; Lee et al., 2006). 전국 시설재배지 토양 표토의 평균 전기전도도 (EC)는 3.7 dS m^{-1} 로 적정 범위인 2 dS m^{-1} 를 크게 초과하는 것으로 나타났다 (RDA, 2016). 작물의 안정적인 수량을 확보하고 농산물의 품질을 향상시키기 위해서는 작물 생육단계에 맞춰 적절한 시기에 적절한 양의 양분 공급이 필요하다 (Mattson and van Iersel, 2011)

다양한 농법 중, 관비 (Fertigation)재배는 토양을 배지로 하여 물과 양분을 동시에 공급하는 방법이다 (Silber et al., 2003). 작물에 필요한 미량원소는 토양 중에 있는 양분을 이용하고 점토와 유기물의 완충능을 활용하여 다량원소만 물과 함께 공급하는 것이 특징이다 (Lee et al., 2006). 관비에 의해 배추, 상추, 시금치, 무 등 엽근채류의 생산성이 향상되었으며 (Kim, 1970), 관상용 고추와 방울토마토에서도 작물 수량과 품질이 향상된다고 하였다 (Cho et al., 1998; Kang et al., 2003). 또한 관비의 효과로 양분 이용효율 증진, 물 비료 절약, 농산물 품질 향상뿐만 아니라 토양 질산태 질소 용탈 저감을 통해 환경보전에 기여하는 것으로 알려져 있다 (Shrestha et al., 2010). 국내 관비재배 면적(점적관수)은 23,138 ha로 시설 온실 관수시설의 약 45%를 차지하고 있고, 관비면적은 매년 꾸준히 증가하는 추세에 있다 (MAFRA, 2016). 관비재배에 사용되는 비료는 비료의 효율이 가루비료로 표층에 주는 것 보다 2배 정도 높아 비료사용량을 그만큼 줄여야 하며 (RDA, 2014), 일반 비료에 비해 작물 생육에 미치는 영향이 크며 적정하게 관리하지 않을 경우 양분집적에 대한 기여도가 높다고 평가하였다 (Seo, 2008). 그러나 영농현장에서의 관비공급량은 농가의 경험에 의존적이라 작물별 관비공급 기준 마련이 필요하다.

상추는 비교적 염류에 민감한 작물로 알려져 있어 (Kang et al., 1996), 작형 및 생육단계에 따른 정밀한 양분 공급기준 설정이 필요하다. 우리나라 시설 상추의 재배면적은 2,627 ha로 전체 엽채류 중 재배면적이 가장 넓다 (MAFRA, 2016). 기존의 시설 상추의 비료사용량은 표준비료사용량과 토양검정비료사용량으로 제공되고 있다. 상추 표준비료사용량은 질소-인산-칼리가 각각 7-3.0-3.6 kg/10a이며, 이는 단순히 밑거름과 웃거름의 비율 (질소 50:50, 인산 100:0, 칼리50:50)로만 제시되어 있어 (NIAS, 2017), 관비 농가에서 작물재배시 양분을 공급하기 위해서는 시설상추의 작형과 생육단계를 고려한 양분공급량의 설정이 필요하다. 반면, 토양검정에 의한 비료사용량은 작물별 양분 흡수량과 필지별 토양검정 결과를 고려하여 결정하는 비료사용량으로 농경지의 양분집적을 예방하고 균형있게 양분을 공급하는 합리적인 비료사용량이다 (NIAS, 2017). 따라서 본 연구에서는 토양검정 기반의 질소 웃거름을 수준별로 공급하며 시설 상추의 관비재배시 생육단계별 생육과 양분흡수 패턴을 분석하여 시설 상추의 관비재배시 필요한 양분의 웃거름 공급량을 설정하고자 하였다.

Materials and Methods

공시재료 및 재배 전북 완주군 이서면에 위치한 국립농업과학원 구내 종합유리온실에서 사양토 토양을 포트당 5 kg씩 충전하여 용적밀도 1.3 g/cm^3 에 맞추어 2016년 3월 5일에 파종하고 6월 말까지 재배하였다. 작물 재배온도는 25-30°C를 유지하도록 관리하였다. 상추 (*Lactuca sativa* L.)의 품종은 비결구품종의 선포포잡적축면 (권농종묘)이다. 시험전 토양 이화학성 분석결과는 Table 1과 같다. 대부분의 화학성은 상추 시설재배 적정 범위에 속하나 유기물이 다소 낮은 반면 전기전도도 (EC)와 치환성 칼슘함량이 높은 편이었다. 상추재배를 위한 토양검정 질소시비량은 y

= $19.759 - 0.099x$ (y: 질소 시비량, x: 토양중 질산태 질소) 식 (NIAS, 2017)을 통해 계산한 결과 $9.4 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 였다. 토양검정결과 인산과 칼리의 공급량은 각각 7.1, 19.5 $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 였다. 또한 밀거름과 옷거름 공급비율은 작물별 비료 사용처방 기준에 의거하여 질소는 50:50을, 인산은 전량 밀거름으로 칼리는 50:50을 적용하였다 (NIAS, 2017). 질소의 옷거름 공급량은 토양검정량을 기준으로 0.5배, 0.75배, 1.0배, 1.5배 수준별로 처리하고 질소(요소)와 칼리(염화칼리) 옷거름을 상추 파종후 15일부터 4회에 걸쳐 관비시설을 통해 공급하였다. 상추재배기간 물관리는 발작물 물관리 지침 (NIAS, 2018)에 따라 1회 관수량을 설정하고 33 kPa 이상에서 관수하였다.

Table 1. Physico-chemical properties of the soils before lettuce cultivation.

Soil texture	pH (1:5)	EC (dS m^{-1})	Inorganic N (mg kg^{-1})	OM (g kg^{-1})	Av. P_2O_5 (mg kg^{-1})	Ex. Cations ($\text{cmolc}^+ \text{kg}^{-1}$)		
						K	Ca	Mg
Sandy loam	7.0	3.4	105	14.9	373	0.51	19.9	4.8
Optimum range [†]	6.5-7.0	<2	50-200	20-30	250-400	0.40-0.60	6.0-7.0	2.0-2.5

[†]Optimum range for lettuce cultivation in greenhouse soil (NIAS, 2017).

생육조사, 식물체 및 토양분석 시설 상추 파종 후 40일부터 10일 간격으로 4회에 걸쳐 식물체의 생육과 양분흡수량을 분석하였다. 시료채취 시기별 식물체를 건조 (80°C , 48시간)하여 마쇄한 후, 0.5 g의 식물체 분석시료에 식물체 분해액 (377 mM H_2SO_4 + 36% HClO_4)으로 습식분해하여 여과 (Whatman No.6)하였다 (Lee et al., 2017). 여과액을 증류수로 10배 희석한 후, 질소는 질소자동분석기 (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. 양분흡수량을 분석하기 위해 1-3회 시료 채취 시기에는 상추의 잎만 최종시기 (4차)에는 지상부 (잎과 줄기를 포함)의 건물중을 측정하여 누적 건물중을 산정하였다. 건물당 양분함량을 분석하여 식물체 전체 양분 흡수량으로 계산하였다. 이때 상추의 정식밀도는 10a 당 15,000주를 적용하였다.

토양의 이화학성 분석은 농촌진흥청 분석법에 준하여 실시하였다 (NAAS, 2000). 일반성분 분석을 위해 채취한 토양을 그늘에서 건조하여 2 mm 체로 쳐서 분석시료로 사용하였고, 토양 질산태 질소는 습도 5 g에 2M KCl 25 ml 30분간 진탕 후 여과 (Whatman No.2)하여 질소자동분석기로 분석하였다. 토양 pH와 EC는 토양과 증류수 1:5의 비율로 30분간 진탕한 후 pH meter/EC meter로 측정하였다. 유효인산은 토양시료 5 g에 Lancaster 용액 (333 mM Acetic acid + 1.5N Lactic acid + 30mM Ammonium Fluoride + 213 mM Sodium Hydroxide + 50mM 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 건토 5 g에 1N Ammonium acetate (pH 7.0) 25 ml을 가하여 30분간 침출 후 여과 (Whatman No.2)하여 ICP로 분석하였다.

옷거름 공급량 산정 양분의 옷거름 공급량을 산정하기 위해 생육단계별 흡수량 및 일 평균 양분흡수량을 구하여 각 생육 단계별 일주일 단위로 환산하였다. 일평균 양분흡수량을 구하기 위해 n+1차 시기의 양분흡수량에서 n차 시기 양분흡수량의 차이를 일수로 나누어 계산하였다. 총 양분 흡수량에 시설상추 주산단지에서 조사한 밀거름 옷거름 공급비율 (질소 45:55, 인산 20:80, 칼리 30:70)을 적용하여 옷거름 공급량을 계산하였다. 옷거름 공급량에 다시 관

비 재배시 양분의 이용효율은 질소, 인산 및 칼리를 각각 90%, 50% 및 80%를 적용하였다. 상추의 생육단계는 건물중과 발작물 물관리 지침 (NIAS, 2018)을 참고하여 구분하였다.

시험구 배치 및 통계분석 본 실험의 시험구 배치는 완전임의 배치법 3반복으로 하였다. 각 실험결과를 엑셀프로그래를 이용해 평균치와 표준편차를 계산하였다. 처리간 평균 비교를 위해 SAS 프로그램으로 ANOVA분석 실시 후, 유의성이 인정될 때 Tukey 검정을 실시하였다.

Results and Discussion

토양중 질산태 질소함량, 상추 생육 및 수량특성 질소 웃거름 공급에 따른 토양 질산태 질소 함량의 변화를 살펴보면 (Fig. 1), 토양 질산태 질소 함량은 질소 공급량에 비례하지 않는 경향을 보였다. 질소 공급수준에 관계없이

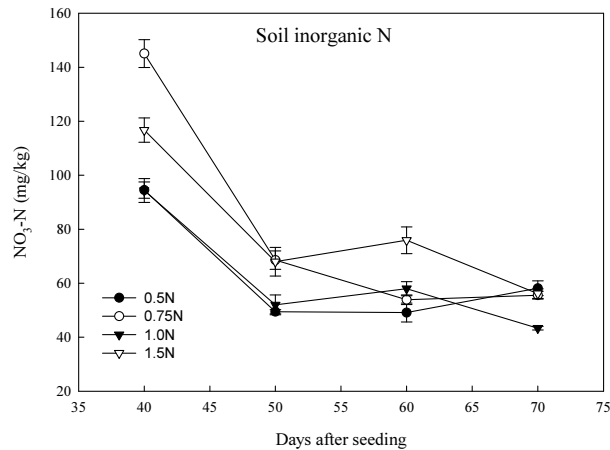


Fig. 1. Changes of soil nitrate nitrogen during lettuce cultivation with different N supply treatments. Greenhouse lettuce was seeded at early March and finally harvested late June of 2016. Each data indicate an average of three replicates and error bar means the standard deviation.

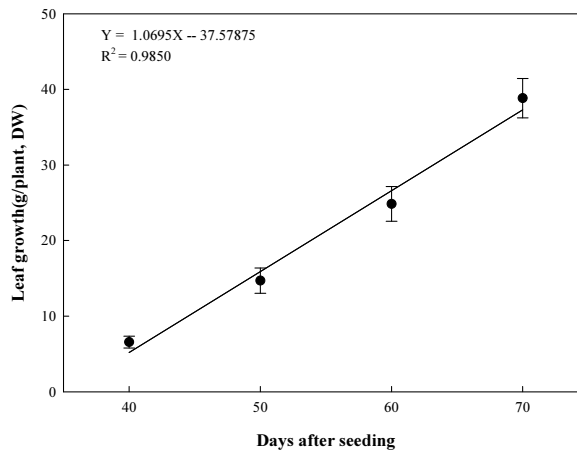


Fig. 2. Leaf growth of greenhouse lettuce during cultivation period. Each point indicates an average of four treatments (0.5, 0.75, 1.0 and 1.5N) (n=3). Error bar means standard deviation.

파종 후 50일까지 토양 질산태 질소가 급격히 감소하다가 이후 일정하게 낮은 수준으로 유지되는 경향을 보였다. 이러한 결과는 상추의 생육과 밀접하게 연관되어 있는 것으로 나타났다 (Fig. 2). 상추는 본엽이 전개되는 파종 후 40일 이후부터 직선형의 생장을 보여 최종 수확기까지 균일하게 양분요구량이 증가하는 것으로 나타났다. 본 연구 결과에서 상추의 정상적인 생육을 위한 토양 질산태 질소 함량 40 mg kg^{-1} 이상이 적정한 것으로 평가되었다. Ha et al. (2015)은 시설 애호박에서 토양 중 질산태 질소 함량과 애호박 생육양상이 약 2주 정도 차이가 있다고 하였다. 상추 수량은 질소 웃거름 토양검정 0.5배-1.0배 처리간 통계적 차이가 유의하지 않았으나 토양검정 1.5배 처리구에서는 다소 높게 나타났다. 이러한 결과는 시설 참외에서의 질소공급 수준별 생육 결과와도 유사하였다 (Jung et al., 2010). Ha et al. (2015)은 우리나라 시설재배 토양의 높은 양분집적 특성으로 인해, 관비로 양분을 공급할 경우 표층시비에 비해 양분이용효율이 높아질 수 있기 때문에 양분공급량을 줄여야 한다고 하였다. 상추의 시기별 생육특성은 Table 2와 같다. 파종 후 70일에 10a 당 35-44 kg (건물중) 수확이 가능하였다. 생육단계별 상추 생육을 보면, 생육초기에서 파종 후 60일까지는 질소 수준별 처리구간에 생육 차이가 크지 않았으나 생육후기에 1.5배 질소 처리구에서 상추의 생육이 높았다. 이러한 결과를 통해 상추의 유효기와 엽신장기 초기에는 관비농도를 낮게 유지하는 것이 적정 수량에 유리할 것으로 판단된다. 상추의 관비 재배시 웃거름 질소 이용 효율이 토양검정 기반으로 공급될 때 최대 50%까지 증가하는 것으로 나타났다. Jung et al. (2005)와 Ha et al. (2015)은 오이와 애호박 관비 재배시 질소효율이 각각 40%, 25% 증가한다고 하였다.

Table 2. Growth ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$, DW) of lettuce by different nitrogen supply levels at different growth stages during early March to late June of 2016.

Days after seeding	N supply			
	0.5N	0.75N	1.0N	1.5N
40	6.8	5.8	6.6	7.2
50	16.8	13.5	14.5	14.1
60	27.0	25.3	23.6	23.7
70	38.5ab [†]	37.5ab	35.1b	44.3a

[†]Different letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to tukey's test.

상추의 양분흡수 특성 최종 수확기의 상추의 질소, 인산, 칼리의 생육단계별 흡수량은 양분 종류에 따라 다소 다른 흡수 패턴을 나타내었다 (Fig. 3). 질소의 경우 생육 후기까지 직선형 흡수패턴을 나타냈고 (Fig. 3A), 인산의 경우 파종 후 50일까지는 거의 흡수하지 않다가 후반에 인산 흡수량이 증가하는 경향을 보였고 (Fig. 3B), 칼리는 계단식 흡수 패턴을 보였다 (Fig. 3C). 생육단계 및 질소 공급수준별 양분 흡수량을 살펴보면 질소의 경우 파종 후 70일까지 $944 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$, 인산의 경우 $124 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 칼리의 경우 $3,113 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 의 흡수량을 보였다. 질소 흡수량의 경우 질소 공급 수준별 처리간 통계적 유의성이 낮았고 인산 흡수량은 $1.5\text{N} < 0.75\text{N} < 0.5\text{N} < 1.0\text{N}$ 순으로, 칼리는 $1.0\text{N} < 0.75\text{N} < 1.5\text{N} < 0.5\text{N}$ 순으로 나타났다.

Table 3와 같이 일 평균 양분 흡수량은 질소의 경우 파종 후 40일부터 70일까지 $6\text{-}28.3 \text{ g } 10\text{a}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 으로 증가하였고, 인산의 경우 파종 후 50일까지 $0.4\text{-}0.8 \text{ g } 10\text{a}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 로 미미하다가 60일부터 70일까지 $2.9\text{-}6.2 \text{ g } 10\text{a}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 으로 증가하였고, 칼리는 파종 후 40일-50일 까지 $15.8\text{-}93.9 \text{ g } 10\text{a}^{-1} \text{ day}^{-1}$ 으로 증가하다가 파종 후 60일 부터 다시 37.4 g

$10\text{a}^{-1}\text{ day}^{-1}$ 으로 감소하였고 이후 70일까지 $111.3\text{ g }10\text{a}^{-1}\text{ day}^{-1}$ 으로 증가하였다. 일평균 질소와 인산의 흡수량이 생육 시기가 경과함에 따라 증가하는 것은 단백질 및 핵산 합성 등과 관련이 높은 것으로 판단된다 (Greenwood et al., 1980; Sanchez and Doerge, 1999; Veneklaas et al., 2012). 일평균 칼리의 흡수량은 엽 신장과 함께 세포의 삼투압을 조절하는데 요구도가 증가하는 것에 기인하는 것으로 판단된다 (Kaya et al., 2007). Zhang et al. (2004)은 밀의 근권 부에서 암모늄태 질소를 시비할 경우, 알칼리 토양에서 인산의 산성화를 촉진시켜 식물체의 인산흡수를 개선할 수 있다고 하였다. 본 연구에서 상추의 생육단계별 질소, 인산, 칼리 흡수량상이 다른 이유로 질소 공급원에 따른 토양 pH 및 근권 미생물 군집의 변화 등에 대한 추가적인 고찰이 필요할 것으로 판단된다.

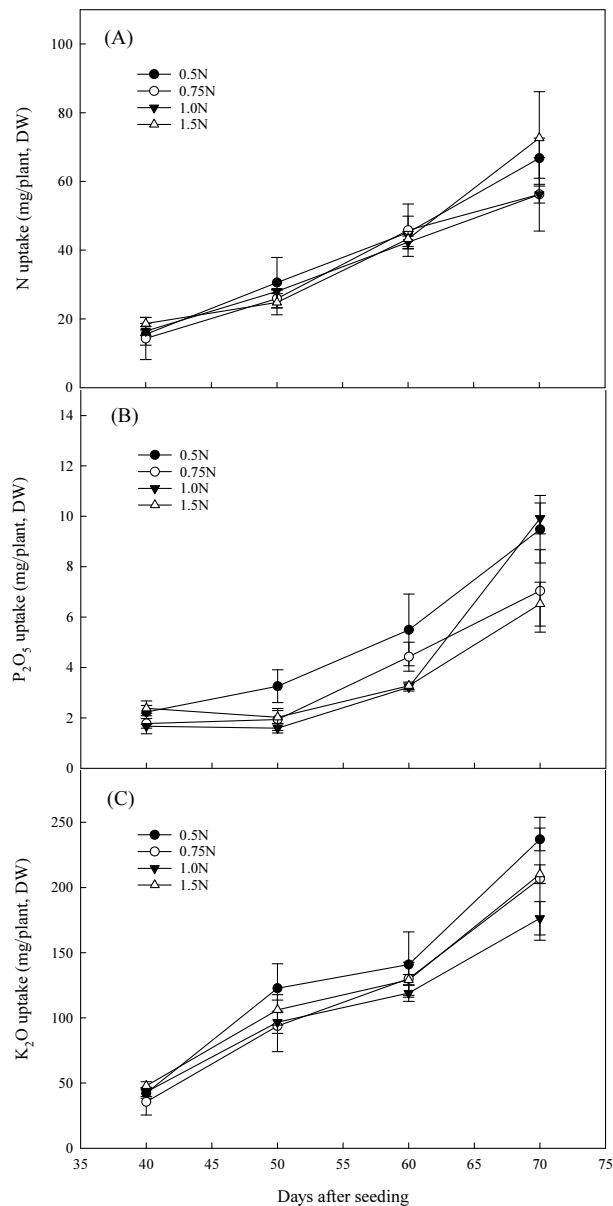


Fig. 3. Growth stage based mineral uptake (N, P, and K) uptake of greenhouse lettuce. Each point indicates an average of three replicates.

Table 3. Daily mineral uptake rate ($\text{g } 10\text{a}^{-1} \text{ day}^{-1}$) of lettuce with growth stages.

Days after seeding		N supply				Average
		0.5N	0.75N	1.0N	1.5N	
40	N	5.8	5.4	6.2	7.0	6.1
	P ₂ O ₅	0.8ab [†]	0.7bc	0.6c	0.9a	0.8
	K ₂ O	15.9	13.3	16.2	17.9	15.8
50	N	22.6a	17.4ab	17.3ab	9.2b	16.6
	P ₂ O ₅	1.5a	0.2b	-	-	0.4
	K ₂ O	120.7	87.3	80.2	87.5	93.9
60	N	21.9	29.8	21.4	27.7	25.2
	P ₂ O ₅	3.4ab	3.8a	2.4bc	1.9c	2.9
	K ₂ O	27.2	54.4	33.5	34.5	37.4
70	N	32.5ab	15.7b	20.8b	44.1a	28.3
	P ₂ O ₅	5.9b	3.9b	10.0a	4.9b	6.2
	K ₂ O	144.0	64.4	115.0	121.6	111.3

[†]Different letters are significantly different at $P \leq 0.05$ according to tukey's test.

상추 생육단계별 관비 웃거름 공급량 설정 양분의 흡수량의 경우 질소 공급 수준간 통계적 유의성이 낮고 공급 수준에 따른 경향이 크지 않아 질소 수준별 처리구 평균으로 계산하여 생육단계별 웃거름 공급량을 산정하였다. 토양 양분집적을 고려한 토양검정 기반 비료사용량과 관비공급에 의한 양분이용효율 증진에 의해 최대 50%까지 웃거름 공급량 이용효율이 증가하는 것으로 나타났다. 상추의 생육단계별 건물 생산성, 양분흡수량 및 관비공급에 의한 양분이용효율을 고려하여 산정한 웃거름 공급량은 Table 4와 같다. 파종 후 2주후까지는 생육초기 상추의 염류피해 등을 고려해 추가적인 웃거름 공급없이 밑거름을 통한 영양공급과 관수만 공급하는 것이 합리적일 것으로 판단된다. 이를 바탕으로 설정된 관비 웃거름 질소 공급량은 유묘초기에 질소 $43 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 로 주단위로 공급하다가 후기 경엽 신장기에는 $120 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 까지 공급량이 증가하였다. 수확기 상추 잎의 질산태 질소함량은 상추의 품질에 크게 영향을 미치며, 잎의 질소함량이 높을수록 수확 후 잎의 부패가 빨라진다 (David et al., 1992). 따라서 양분 흡수량 기반 웃거름 관비 공급량은 상추의 품질 향상에 영향을 줄 것으로 판단된다. 인산 웃거름 공급량은 유묘기에서 초기 경엽 신장기까지 $14 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 로 공급하다가 파종 후 7주에 $3.2 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 으로 줄여서 공급하고 이후 파종 후 10주인 후기 경엽 신장기까지 $70 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 까지 공급해야 하는 것으로 나타났다. 노지 밭의 경우 인산 추비에 의해 생산성이 약간 증가하고, 인산흡수량이 증진되는 효과가 보고된바 있으나 (Alam et al., 2005), 본 연구 결과에서도 상추의 인산 흡수량을 감안할 때 인산 웃거름 공급량이 필요한 것으로 판단된다. 향후 토양 비옥도가 증가한 시설재배지 토양에서 엽채류를 생산할 때 인산의 전량 밑거름 처리와 인산 웃거름 처리 효과간 비교 연구가 필요할 것으로 판단된다. 칼리 웃거름 공급량은 상추 유묘기와 초기 경엽신장기 (파종 후 3주-5주) $162 \text{ K}_2\text{O g } 10\text{a}^{-1}$ 를 공급하다가 파종 후 6주-10주에는 $280 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 에서 최대 $714 \text{ K}_2\text{O g } 10\text{a}^{-1}$ 까지 높게 공급해야 할 것으로 판단된다. Sung et al. (2016)은 시설 수박의 재배유형 및 생육단계별 질소 웃거름 공급량은 봄의 경우 생육초기-최성기-생육후기에 5-90-5%, 여름에는 25-50-25, 50-50비율로 공급하는 것이 생육과 수량에 효과적이라고 하였다. 상추도 재배유형별로 관비공급량이 세분화되어야 하며 또한 액비화 공정중 처리수의 BOD₅ 유입부하가 $0.4-1.0 \text{ kg BOD m}^3 \text{ day}^{-1}$ 로 설계되어 있는 양돈 슬러리 액비 (Kim et al., 2017)와 같은 다양한 양분공급원에 대해 생육단계별 관비공급량도 설정되어야 할 것이다.

Table 4. Weekly fertigation scheduling ($\text{g } 10\text{a}^{-1}$) of nitrogen, phosphate and potassium for greenhouse leafy lettuce with growth stages estimated on the basis of mineral uptake and nutrient use efficiency by fertigation.

Cultivation : early March(seeding) ~ late June				
Plant density : 15,000 plant 10a^{-1}				
Growth stages	Weeks after seeding	N	P_2O_5	K_2O
Seed germination	1		-	-
	2		-	-
Seedling development	3	43.4	14.1	161.6
	4	43.4	14.1	161.6
Mid-leaf elongation	5	43.4	14.1	161.6
	6	51.3	11.0	279.8
	7	71.1	3.2	575.4
	8	102.6	23.3	278.4
Late-leaf elongation	9	113.4	48.0	437.1
	10	120.9	69.5	714.7
Total required amount		589.5	197.2	2,770.2

Conclusion

생육단계별 양분흡수량, 관비 재배시 양분이용효율을 고려하여 시설 상추의 관비 웃거름 공급량을 설정하였다. 토양검정 기반 웃거름 질소 수준별 시설 상추의 생육단계별 건물 생산량은 직선형 성장형을 나타내었으며 질소 처리 수준별 양분흡수량에 뚜렷한 경향은 나타나지 않았다. 토양 질산태 질소 함량이 40 mg kg^{-1} 이상일 때 시설 상추의 정상적인 생육이 가능할 것으로 보였다. 시설 상추의 일평균 질소, 인산, 칼리의 흡수량은 양분 종류에 따라 특성이 다르게 나타났다. 질소와 인산의 경우 생육후기까지 흡수량이 증가하는 경향을 보였고, 칼리의 경우 계단식 흡수패턴을 나타냈다. 일평균 양분흡수량, 주산단지 밑거름 웃거름 공급비율, 관비에 따른 양분이용효율을 바탕으로 관비공급 일정을 설계할 수 있을 것으로 판단된다. 질소의 생육단계별 일주일 단위 웃거름 공급량은 파종 3주 후부터 파종 10주까지 $43\text{-}121 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 와 인산 웃거름 공급량은 $3.2\text{-}70 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 까지, 칼리는 $162\text{-}715 \text{ g } 10\text{a}^{-1}$ 까지 공급해야 하는 것으로 나타났다. 향후 우리나라의 관비 재배 확대를 위해서 웃거름 공급량 설정 작물을 확대 및 다양화하고 관비 공급에 따른 환경보전, 농산물 품질 등 효과 구명에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This study was carried out with the support of “Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No.PJ01089901)”, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Alam, S.M., S.A. Shah, and M.M. Iqbal. 2005. Evaluation of method and time of fertilizer application for yield and optimum P-efficiency in wheat. *J. Sci. Technol.* 27(3):457-463.
- Cho, Y.D., S.K. Joung, and J.C. Heo. 1998. Effects of fertigation system on the yield and quality of cherry tomatoes in plastic house. *Korean J. Hort. Sci. Technol.* 16(1):142.
- David, S., T.L. Righetti, E.E. Sanchez, and H. Khemira. 1992. Management of nitrogen and calcium in pear trees for enhancement of fruit resistance to postharvest quality. *HortTech.* 2:382-386.
- Greenwood, D.J., T.J. Cleaver, M.K. Turner, J. Hunt, K.B. Niendorf, and S.M.H. Loquens. 1980. Comparison of the effects of nitrogen fertilizer on the yield, nitrogen content and quality of 21 different vegetable and agricultural crops. *J. Agric. Sci.* 95(2):471-485.
- 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.
- 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. *Annual report of National Academy of Agricultural Sciences.* pp.270-289.
- Jung, K.S., K.H. Jung, W.K. Park, Y.S. Song, and K.H. Kim. 2010. Establishment of the optimum nitrogen application rate for Oriental Melon at various growth stages with a fertigation system in a plastic film house. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:349-355.
- Kang, B.G., I.M. Jeong, K.B. Min, and J.J. Kim. 1996. Effect of salt accumulation on the germination and growth of lettuce (*Lactuca Sativa* L). *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(4):360-364.
- Kang, J.G., S.Y. Yang, B.S. Lee, and S.J. Jeong. 2003. Effects of changing fertilizer concentrations and fertigation frequencies on growth and fruiting of subirrigated ornamental pepper. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 44(4):523-529.
- Kaya, C., D. Higgs, and E. Sakar. 2007. Response of two leafy vegetables grown at high salinity to supplementary potassium and phosphorus during different growth stages. *J. Plant Nutr.* 25(12):2663-2676.
- Kim, C.G., S.Y. Oh, and Y.M. Yoon. 2017. The characteristics of organic degradation and ammonia volatilization in the liquid composting of pig slurry. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(5):325-335.
- Kim, Y.C. 1970. Research on developing agricultural resources by fertigation cultivation. 1. Productivity by fertigation and composition for fertigation. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 8:93-105.
- Lee, S.T., Y.B. Kim, Y.H. Lee, and S.D. Lee. 2006. Effect of fertigation concentration on yield of tomato and salts accumulation in soils with different EC level under PE film house. *Korean J. Environ. Agric.* 25:64-70.
- Lee, Y.J., J.K. Sung, S.B. Lee, J.E. Lim, Y.S. Song, D.B. Lee, and S.Y. Hong. 2017. Plant analysis methods for evaluating mineral nutrient. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 50(2):93-99.
- MAFRA. 2016. Statistics of greenhouse facilities and vegetable productivity. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Sejong, Republic of 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”. *HortTech.* 21(6):667-673.
- NAAS. 2000. Soil and plant analysis method. National Academy of Agricultural Sciences, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2017. Fertilizer recommendation for crop production (3rd ed.). National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju, Korea.
- NIAS. 2018. Manual of water use for upland crops with soil, crop species and region. National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Jeonju, Korea. pp. 24.
- Park, B.G., T.H. Jeon, Y.H. Kim, and Q.S. Ho. 1994. Status of farmer’s application rates of chemical fertilizer and farm manure for major crops. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 27:238-246.

- RDA. 2014. Soil management under a greenhouse. Agro-techcal Guidebook. pp.66.
- RDA. 2016. Annual Report of the Monitoring Project on Agricultural Environment Quality. pp.16.
- Sanchez, C.A. and T.A. Doerge. 1999. Using nutrient uptake patterns to develop efficient nitrogen management strategies for vegetables. HortTech. 9(4):601-606.
- Seo, Y.H. 2008. Annual research report on "Developing fertilization for ameliorating salt accumulation in soil cultivated with fertigation system".
- Shrestha, R.K., L.R. Cooperband, and A.E. MacGuidwin. 2010. Strategies to reduce nitrate leaching into groundwater in potato grown in sandy soils: Case study from North Central USA. Am. J. Potato Res. 87:229-244.
- Silber, A., G. Xu, I. Levkovitch, A. Bilu, and R. Wallach. 2003. High fertigation frequency: the effects on uptake of nutrients, water and plant growth. Plant Soil. 253:467-477.
- Sung, J.K., 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.
- Veneklaas, E.J., H. Lambers, J. Bragg, P.M. Finnegan, C.E. Lovelock, W.C. Plaxton, C.A. Price, W.R. Scheible, M. W. Shane, P.J. White, and J.A. Raven. 2012. Opportunities for improving phosphorus-use efficiency in crop plants. New Phytol. 195:306-320.
- Zhang, F., S.Z. Kang, J.H. Zhang, R.D. Zhang, and F.S. Li. 2004. Nitrogen fertilization on uptake of soil phosphorus fractions in the wheat root zone. Soil Sci. Soc. Am. J. 68:1890-1895.