# Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Article

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2022.55.1.027 pISSN: 0367-6315 eISSN: 2288-2162

# Varying Nitrogen Fertigation for Cucumbers Grown in Greenhouses with Soil of Optimal or High Nutrient Status

Yang-Min Kim<sup>1</sup>, Chan-Wook Lee<sup>2</sup>, Yo-Sung Song<sup>1</sup>, and Ye-Jin Lee<sup>2</sup>\*

<sup>1</sup>Post-Doctoral Fellow, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea <sup>2</sup>Research Scientist, Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Sciences, RDA, Wanju 55365, Korea

#### ABSTRACT

Received: September 29, 2021 Revised: November 17, 2021 Accepted: February 21, 2022

#### Edited by

Kangho Jung, National Institute of Crop Science, RDA, Korea

#### ORCID

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

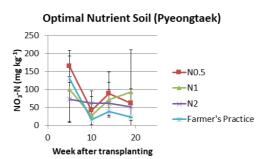
Chan-Wook Lee https://orcid.org/0000-0002-8901-8631

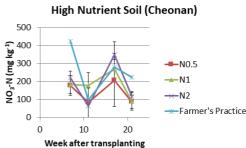
Ye-Jin Lee

https://orcid.org/0000-0003-4415-846X

The standard growth-stage-based fertigation schedule has provided the weekly supply amount of fertilizer considering the expecting yield with no regard of soil nutrient status. The study aimed to examine if fertigation with nitrogen applied at a standard rate results in the best cucumber yield in two greenhouses with different soil nutrient levels, i.e. optimal and high. We investigated the nitrogen (N) uptake pattern of cucumbers with the different nitrogen supply levels which included half the standard rate (N0.5), the standard rate (N1) and double the standard rate (N2). In year 2020, the N1 amendment resulted in highest yield in the soil with optimal nutrient level, however, lower N0.5 resulted in higher yield in the high-nutrient soil. In year 2021, there was no statistical difference in the yield by different nitrogen supply levels in both soils with optimal and high nutrient level. Soil NO<sub>3</sub>-N remained low in the low nutrient soil regardless of the amount of N supplied, but soil NO<sub>3</sub>-N was high in the high nutrient soil supplied with N2. The Partial Factor Productivity of Nitrogen (PFPN) was highest in the N0.5 and it decreased as N supply increased in the optimal and high nutrient soil. In conclusion, a precise fertigation schedule is needed to be set with the consideration of the soil nutrient status.

Keywords: Growth-stage-based fertigation, NO<sub>3</sub>-N, Soil nutrient





Soil  $NO_3$ -N concentrations (mg kg<sup>-1</sup>) during the growth of spring cucumber decreased below the optimal level (100) in the low soil nutrient greenhouse, however soil  $NO_3$ -N concentrations fluctuated at the higher values than 70 in the high soil nutrient greenhouse.

<sup>\*</sup>Corresponding author: leeyj418@korea.kr

#### Introduction

국내 시설재배 농경지 토양은 비료 및 퇴비의 과다한 공급에 따른 염류집적으로 인하여 토양 건강성 개선이 필요한 것으로 보인다 (Kim et al., 2012). 시설재배지는 토양에 집적된 양분이 많음에도 불구하고 질소, 인산, 칼리가 과잉 투입되어 왔다 (Park et al., 1994; Lee et al., 2006). 환경 부하를 최소화하는 양분공급 기술을 개발하기 위해서는 작물 생육단계에 맞춘 적절한 시기에 작물요구도에 맞춘 적절한 양의 양분 공급이 필요하다 (Mattson and van Iersel, 2011; Sandal and Kapoor, 2015).

관비 (fertigation)는 관개수에 비료를 녹여 시비하는 것으로 (Hagin et al., 2002), 작물 수량 및 품질 증대 효과가 있다 (Sinclair and Rufty, 2012). 또한 비료 손실을 줄이고 작물의 비료흡수이용률을 증대시키며 토양 염류집적을 감소시키는 등의 장점을 가지고 있어서 비료 비용을 절감할 수 있고, 환경 부하를 감축하는데 기여할 수 있다 (Kumar and Singh, 2002; Ebrahimian et al., 2014; Chauhdary et al., 2017). 관비로 양분을 공급할 경우 표층시비에 비해 양분이용 효율이 높아질 수 있기 때문에, 양분공급량을 줄여야 토양 염류집적을 막을 수 있다 (Ha et al., 2015).

관비재배는 매년 증가하는 추세에 있으며, 1996년 국내 시설 면적 42천ha 중 점적관수 면적은 13천ha였던 반면 (Park, 1997), 2017년 기준으로 국내 시설 면적 59천ha 중 관비재배(점적관수) 면적은 24천ha에 이르고 있다 (MAFRA, 2018).

국외 관비 연구를 살펴보면, 감자, 양파, 오이 등에 대한 관비연구가 이루어졌고 (Moujabber et al., 2002; Ewais et al., 2010; Badr et al., 2011), 관비를 통해 비료 시용량을 25% 줄일 수 있어 경제성 측면에서 유리하다고 하였다 (Chauhdary et al., 2017). 국내 관비 연구의 초기연구로는 상추, 시금치, 무 등이 연구되었고 (Kim, 1970), 그 후 토마토, 참외, 애호박, 수박 등 고소득 작물에 대한 관비연구들이 많이 진행되었으며, 작물 수량 증가, 품질 향상 및 질소이용효율 증대 효과를 보였다 (Lee et al., 2006; Jung et al., 2010; Ha et al., 2015; Sung et al., 2016). 국립농업과학원에서는 딸기, 배추, 상추 등 작물 생육단계별 양분 흡수량을 고려하여 주 (week)당 비료 공급량을 설정하였으며 (Lee et al., 2018, 2019a, 2021), 흙토람 (http://soil.rda.go.kr)에서 오이를 포함한 시설 토경재배 작물의 물, 비료 공급량을 알려주는 관비처방서를 제공하고 있다. 그러나 관비처방서는 고정된 비료량으로서 토양의 양분함량 차이에 따라 비료량이 조절되지 않는 한계가 있기 때문에 토양 양분상태를 고려하여 기존의 관비표준량을 기준으로 가감하는 기술이 필요하다. 이에 본 연구에서는 대표적인 시설재배 과채류인 오이를 대상으로 토양 양분함량이 다른 시설재배지에서 질소공급량을 수준별로 처리하고, 오이의 생육단계별 질소 흡수양상 및 이용률과 오이 생산량, 토양 질산태질소 함량을 고려하여 시설 양분 상태별 양분 공급량을 설정하고자 하였다.

## **Materials and Methods**

시험작물 재배 및 질소 수준별 처리 본실험은 평택 및 천안에 위치한 시설 오이 재배농가에서 관비 시설을 설치하여 2020년, 2021년 봄에 수행하였다. 천안은 2020년 2월 4일 정식하여 6월 30일 최종수확하였고, 평택은 2020년 3월 16일 정식하며 7월 27일 최종수확하였다. 시험 전 토양 화학성 분석결과는 Table 1a와 같다. 평택 포장은 EC, 교환성 Ca과 Mg은 적정범위 이상이나 질산태질소, 유효인산, 유기물 함량이 적정범위에 해당하는 토양이었고, 천안 포장은 평택 포장과 비교했을 때 질산태질소는 3배, 유기물과 유효인산은 2배 이상 높은 토양이었다. 2021년에는 천안은 2020년 2월 5일 정식하여 6월 28일 최종수확하였고, 평택은 2020년 3월 16일 정식하며 7월 26일 최종수확하였다.

시험 전 토양 화학성 분석결과는 Table 1b와 같다. 평택 포장은 EC, 질산태질소는 적정미만이고, 유효인산, 유기물 함량, 교환성 Ca과 Mg,이 적정범위에 해당하는 토양이었고, 천안 포장은 평택 포장과 비교했을 때 질산태질소는 약 2배 높으나 적정미만 범위였고, 유기물과 유효인산은 2배 이상 높은 토양이었다. 오이의 품종은 백다다기이며, 처리구 당 면적은 평택농가는 21 m², 천안은 50 m²로 2020년에 단구제로 2021년에 평택은 3반복, 천안은 4반복구로 처리하였으며, 주간거리 35 cm 간격으로 정식하였다. 처리구는 질소관비처리구 (표준관비량의 50%, 100%, 200%)로 구분하였다.

질소 시비량은 관비 표준량을 기준으로 0.5, 1, 2배를 Table 2와 같이 1주 간격으로 공급하였으며, 2020년 모든 처리 구의 인산과 칼리는 표준관비량의 100%에 해당하는 양을 동일하게 공급하였고, 2021년에는 인산과 칼리도 질소 시비량 수준에 맞추어 관비 표준량을 기준으로 0.5, 1, 2배를 공급하였다. 질소, 인산, 칼리가 혼합된 비료를 생육단계에

Table 1. Chemical properties of the soils before cucumber cultivation with optimal and high nutrient soil for year 2020 (a) and 2021 (b).

-	`
10	31

Soil nutrient	рН	EC	NO <sub>3</sub> -N	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )		
	(1:5)	$(dS m^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	$(g kg^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	K	Ca	Mg
Optimal	5.5	4.2	104	26	401	0.77	7.6	2.4
High	6.1	5.1	325	48	1,168	1.38	12.7	3.0
Optimum range <sup>†</sup>	6.0 - 6.5	< 2.0	70 - 200	20 - 30	400 - 500	0.70 - 0.80	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0
(b)								

Soil nutrient	pH EC		$NO_3$ -N	OM	Av. $P_2O_5$	Exch. cations (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
Son nument	(1:5)	$(dS m^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	$(g kg^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	K	Ca	Mg	
Optimal	5.4	0.8	32	21	432	0.41	5.0	1.3	
High	6.6	1.4	53	60	1,147	0.85	11.7	2.5	
Optimum range <sup>†</sup>	6.0 - 6.5	< 2.0	70 - 200	20 - 30	400 - 500	0.70 - 0.80	5.0 - 6.0	1.5 - 2.0	

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>Optimum range for cucumber cultivation in greenhouse soils (NIAS, 2017).

Table 2. Weekly nitrogen fertigation scheduling (kg 10a<sup>-1</sup>) at the different levels for year 2020 (a) and 2021 (b).

(a)

Weeks after		N supply (kg 10a <sup>-1</sup> )	
transplanting	N0.5	N1	N2
3 - 4	0.3	0.6	1.2
5 - 12	0.65	1.3	2.6
13 - 21	0.6	1.2	2.4
Total	8.75	17.5	35
(b)			
Weeks after		N supply (kg 10a <sup>-1</sup> )	
transplanting	N0.5	N1	N2
3 - 4	0.3	0.6	1.2
5 - 12	0.65	1.3	2.6
13 - 21	0.6	1.2	2.4
Total	8.2	16.4	32.8

따라 1주일에 한 번씩 관개수에 녹여 점적관수 시설을 통하여 공급하였고, 물관리는 관비처방서의 물 공급량을 참고 하여 토양수분장력 -15 kPa에서 관수하였다.

생육조사 및 분석방법 오이 정식 후 40일부터 30일 간격으로 4회에 걸쳐 식물체 (지상부)를 채취하여 잎, 줄기, 과 각각의 건물중과 양분흡수량을 분석하였다. 식물체 양분흡수량 분석을 위하여 식물체는 80°C에서 48시간 동안 건조하여 분쇄하여 시료로 사용하였다. 시료 (0.5 g)를 추출용액 (377 mM H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 36% HClO<sub>4</sub>) 5 mL로 습식 분해한 후 100 mL 플라스크에 여과 (Whatman No.6)하여 눈금까지 증류수로 채웠다 (Lee et al., 2017b). 여과액을 증류수로 10 배 희석해서, 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, 칼리 등 양이온함량은 ICP (GBC, Intergra XL, Australia)를 이용하여 측정하였다. 식물체 각 부위의 건조 무게와 N, P, K 함량을 곱하여 식물체 부위별 N, P, K 흡수량을 산정하였다.

토양 화학성 분석은 농촌진흥청 분석법 (NAAS, 2000)에 따라, 채취한 토양을 그늘에서 건조하여 2 mm 체로 쳐서 분석시료로 사용하였다. 토양 질산태 질소는 습토 (5 g)에 침출액 (2 M KCl) 25 mL를 넣어 30분간 진탕한 후 여과 (Whatman No.2)하여 질소자동분석기로 440 nm에서 분석하였다 (Lee et al., 2017a). 토양 pH와 EC는 토양과 증류수 1:5의 비율로 30분간 진탕한 후 측정하였다. 유효인산은 토양시료 5 g에 침출액 (333 mM Acetic acid + 1.5 N Lactic acid + 30 mM Ammonium Fluoride + 213 mM Sodium Hydroxide + 50 mM Ammonium Sulfate, pH 4.25) 20 mL를 넣고 10분간 진탕 후 여과 (Whatman No.2)하고 증류수로 희석하여 UV-Spectrometer를 이용해 720 nm에서 측정하였다. 양이온 분석은 건토 (5 g)에 침출액 (1 N Ammonium acetate, pH 7.0) 25 mL을 가하여 30분간 침출하고 여과 (Whatman No.2)하여 ICP로 분석하였다.

**질소비료 투입량 대비 생산량 평가** 질소이용률을 평가하기 위해 투입된 질소량과 오이생산량으로부터 질소의 부분생산능률 (partial factor productivity of nitrogen, PFPN)을 계산하였다. PFPN은 다음 수식 Eq. 1에 의해 계산되었다 (Yadav, 1998).

**통계분석** 질소 공급량 차등에 의한 오이생산량 및 오이 생육시기별 누적 질소흡수량의 통계적 차이는 ANOVA test를 P < 0.05 수준에서 검정되었다.

#### **Results and Discussion**

**오이의 질소 흡수 및 수량특성** 2020년에 질산태질소 적정범위에 속했던 평택 농가와 적정범위를 초과했던 천안농가의 질소 관비 공급수준에 따른 오이 생육시기별 질소 흡수량을 비교하였다 (Fig. 1). 평택 농가의 경우, 오이의 질소 흡수량은 모든 처리구에서 직선형으로 증가하였으며, 처리구 간 질소 흡수량 차이는 6 kg 10a<sup>-1</sup> 미만이었다. 천안 농가에서는 N 0.5배와 2배구에 비해 N 1배 처리구의 질소 흡수량이 대략 10 kg 10a<sup>-1</sup>이 많았다. 2021년의 경우 평택 및 천안 농가 모두에서 오이의 질소 흡수량은 모든 처리구에서 비슷한 경향을 보였다 (Fig. 2).

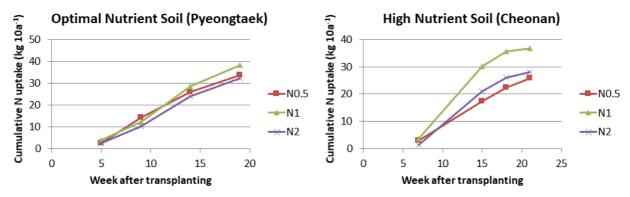


Fig. 1. Cumulative N uptake (kg 10a<sup>-1</sup>) of spring cucumber by different nitrogen supply levels in two different green-houses with optimal and high nutrient soil for year 2020.

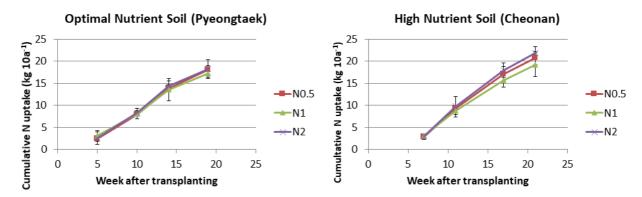


Fig. 2. Cumulative N uptake (kg  $10a^{-1}$ ) of spring cucumber by different nitrogen supply levels in two different green-houses with optimal and high nutrient soil for year 2021. There was no statistical difference in the cumulative N uptake by the different N supply levels (ANOVA test, P > 0.05).

2020년 질소 공급 수준별 오이 수량은 평택 농가의 경우 N 1배구에서 가장 수량이 많았으며, 천안 농가는 N 0.5배구에서 수량이 많았다 (Table 3a, 3b). 2021년에는 천안 및 평택 농가 모두에서 통계적 유의성을 없으나 N 0.5배구에서 가장 수량이 많았다 (Table 3b, 3c). Lim et al. (2001)은 토양 용액 중 질산태질소 함량이 높을수록 오이 수확량이 증가하였고, 질산태질소 함량이  $400 \text{ mg L}^{-1}$ 일 때 최고 수량을 생산했다가 그 이상일 때는 감소했다고 보고하였다. 따라서 토양 질산태질소 함량이 적정범위를 초과할 경우에는 질소 비료를 과다하게 공급했을 때 작물 생산성과 질소 흡수량이 떨어짐을 확인하였다.

토양 양분함량 차이에 따른 오이의 질소 투입량 대비 생산량 차이 2020년과 2021년에 평택, 천안 농가의 PFPN을 비교하면, 전반적으로 토양 양분함량이 높은 천안 포장에서 PFPN이 높은 경향을 보였다 (Table 3). 질소 투입량이 많을수록 PFPN이 감소하는 것은 질소이용효율이 떨어지는 것을 의미하는데 (Wang et al., 2019), 평택, 천안 모두 질소 투입량이 많을수록 PFPN이 감소했고, 질소 공급량에 따른 오이 수량 또한 통계적인 유의성이 없어 질소 관비공급량을 기준량보다 줄일 필요가 있다고 판단되었다.

Table 3. Nitrogen use efficiency of cucumbers grown in the two different greenhouses with optimal nutrient soil (a) and high nutrient soil (b) for year 2020, and with optimal nutrient soil (c) and high nutrient soil (d) for 2021.

(a)			
N supply level	N supply (kg 10a <sup>-1</sup> )	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )	Partial Factor Productivity of Nitrogen <sup>†</sup> (kg kg <sup>-1</sup> )
N0.5	8.75	13,700	1,566
N1	17.5	14,000	800
N2	35.0	13,700	391
(b)			
N supply level	N supply (kg 10a <sup>-1</sup> )	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )	Partial Factor Productivity of Nitrogen <sup>†</sup> (kg kg <sup>-1</sup> )
N0.5	8.75	17,400	1,989
N1	17.5	17,000	971
N2	35.0	16.800	480

N supply level	N supply (kg 10a <sup>-1</sup> )	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )	Partial Factor Productivity of Nitrogen <sup>†</sup> (kg kg <sup>-1</sup> )
N0.5	8.2	10,450 a <sup>†</sup>	1,274
N1	16.4	9,810 a	598
N2	32.8	10,370 a	316
(d)			

N supply level	N supply (kg 10a <sup>-1</sup> )	Yield (kg 10a <sup>-1</sup> )	Partial Factor Productivity of Nitrogen <sup>†</sup> (kg kg <sup>-1</sup> )
N0.5	8.2	12,220 a <sup>†</sup>	1,488
N1	16.4	11,880 a	726
N2	32.8	12,150 a	372

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>Partial Factor Productivity of Nitrogen = Yield/N supply.

(c)

**토양화학성** 2020년 시험 전 질산태질소 및 유기물이 적정범위에 있었던 평택 농가의 경우 토양 질산태질소 함량이 생육기간이 늘어남에 따라 감소하여, 시험 후에는  $10 \, \text{mg} \, \text{kg}^{-1}$  보다 적은 값을 보였다 (Fig. 3, Table 4). 반면 시험전 질산태질소 및 유기물이 초과범위에 있었던 천안 농가의 경우 생육기간 동안 질산태질소가  $70 \, \text{mg} \, \text{kg}^{-1}$  (적정농도)이상인 경우가 많았고, 시험 후에는  $N \, 2$ 배 및 관행구에서  $70 \, \text{mg} \, \text{kg}^{-1}$  이상의 값을 보였다. 그러므로 천안 농가의 경우 표준 질소관비량  $N \, 1$ 배 또는 그보다 적은  $N \, 0.5$ 배 수준의 질소를 투입하는 것이 권장된다.

시험 전 질산태질소 및 유기물이 적정범위였던 평택 농가의 경우 투입하는 질소비료량을 늘려도 시험 후 토양 내질산태질소 함량이 적은 것으로 보아, 투입된 질소 비료는 식물체에 의해 이용되거나 용탈된 것으로 보인다. Zuo et al. (2012)은 식물체 질소의 일부만 투입된 비료에 의해 구성되고 대부분의 질소는 토양 풀 (pool)로부터 유래된다고 하였으므로, 대부분의 과잉 투입된 질소비료는 용탈되었을 것으로 추정된다. 천안 농가의 경우 평택 농가에 비해 높은 질산태 질소 농도를 유지하였는데 이것은 토양 유기물 함량이 높은데서 유래한다고 여겨진다. 시험 후 토양의 유기물 변동을 보면 평택 농가보다 천안 농가에서 더 큰 감소가 이루어진 것을 볼 수 있으며, 유기물이 무기화되어 질산태질소가 생성되었다고 여겨진다. Lee et al. (2019b)은 고추 재배지 토양 분석에서 유기물 함량과 무기화된 질소량 간에 양의 상관관계가 있음을 보인바 있다.

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>There was no statistical difference in the yield by the different N supply levels (ANOVA test, P > 0.05).

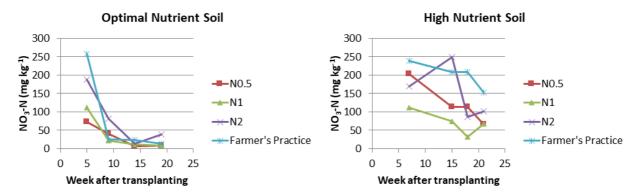


Fig. 3. Soil  $NO_3$ -N concentration (mg kg<sup>-1</sup>) during the growth of spring cucumber (year 2020) by different nitrogen supply levels in two different greenhouses with optimal and high nutrient soil, respectively (soil  $NO_3$ -N concentrations are average values of three soil samples from each plot).

Table 4. Chemical properties of the soils after cucumber cultivation in the two different greenhouses with optimal nutrient soil (a) and high nutrient soil (b) (soil properties are average values of three soil samples from each plot) for year 2020.

N supply in the optimal	рН	EC	NO <sub>3</sub> -N	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch.	cations (cmo	l <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )
nutrient greenhouse	(1:5)	$(dS m^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	$(g kg^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	K	Ca	Mg
N0.5	6.0	0.6	9 (-95) <sup>†</sup>	21.3 (-4.7)	504	0.60	6.5	2.6
N1.0	5.8	0.4	8 (-96)	19.5 (-6.5)	479	0.41	6.1	2.2
N2.0	5.4	1.0	39 (-65)	18.8 (-7.2)	536	0.49	5.1	2.0
Farmer's practice	5.0	0.5	14 (-91)	19.5 (-6.5)	601	0.66	5.3	1.4
(b)								
N supply in the high	рН	EC	NO <sub>3</sub> -N	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch.	cations (cmo	$l_c kg^{-1}$
nutrient greenhouse	(1:5)	$(dS m^{-1})$	(mg kg <sup>-1</sup> )	$(g kg^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	K	Ca	Mg
N0.5	6.2	1.9	66 (-259)	35.7 (-12.3)	1,324	0.87	10.1	2.1
N1.0	6.0	1.8	67 (-258)	37.6 (-11.4)	1,237	0.98	8.9	2.0
N2.0	5.7	2.1	102 (-223)	37.7 (-10.3)	1,433	1.42	8.9	1.8
Farmer's practice	5.9	3.0	153 (-172)	51.4 (+3.4)	1,493	1.63	11.5	2.4

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>Values in the parentheses are the changes in soil chemical properties by the cultivation.

2021년 시험 후 질산태질소는 대부분 시험 전보다 증가하였는데, 이는 오이 식물체 생장이 부진한 것과 연관이 있을 것으로 생각된다 (Fig. 4, Table 5).

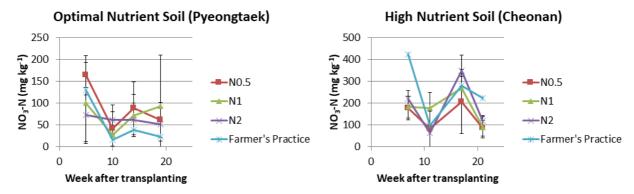


Fig. 4. Soil  $NO_3$ -N concentration (mg kg<sup>-1</sup>) during the growth of spring cucumber (year 2021) by different nitrogen supply levels in two different greenhouses with optimal and high nutrient soil, respectively (soil properties are average values of samples from three to four plots).

Table 5. Chemical properties of the soils after cucumber cultivation in the two different greenhouses with optimal nutrient soil (a) and high nutrient soil (b) (soil properties are average values of samples from three to four plots) for year 2021.

N supply in the optimal	рН	EC	NO <sub>3</sub> -N	OM	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Exch.	cations (cmc	l <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )
nutrient greenhouse	(1:5)	(dS m <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg kg <sup>-1</sup> )	K	Ca	Mg
N0.5	6.1	1.5	63 (+31) <sup>†</sup>	23 (+2)	427	0.94	7.5	2.5
N1.0	6.0	2.5	94 (+62)	22 (+1)	386	0.74	6.7	2.0
N2.0	6.0	1.5	52 (+20)	23 (+2)	368	0.77	7.6	2.5
Farmer's practice	5.6	2.2	22 (-10)	22 (+1)	386	0.66	6.6	2.0
(b)								
N supply in the high	pН	EC	NO <sub>3</sub> -N	OM	Av. $P_2O_5$	Exch.	cations (cmc	$l_c kg^{-1}$
nutrient greenhouse	(1:5)	$(dS m^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	$(g kg^{-1})$	$(mg kg^{-1})$	K	Ca	Mg
N0.5	6.4	2.2	84 (+31)	47 (-13)	1,439	1.50	11.4	2.6
N1.0	6.4	2.5	89 (+36)	50 (-10)	1,336	1.64	11.6	2.7
N2.0	6.1	2.2	116 (+63)	48 (-12)	1,422	1.61	10.8	2.3
			223	60				

<sup>&</sup>lt;sup>†</sup>Values in the parentheses are the changes in soil chemical properties by the cultivation.

**토양 양분상태에 따른 질소 관비공급량 추천** 오이의 수량 및 질소이용률과 시험 중 및 후 토양 질산태질소 함량을 종합적으로 고려하여 농가별로 다음과 같이 질소관비량을 추천하고자 한다. 양분 초과 농가였던 천안의 경우 기존의 표준 질소관비량 N 1배구에 대비하여 적은 양으로 공급하는 것이 추천되며, 시험 후 토양 질산태 함량을 고려

할 때 N 0.5배 수준을 주는 것이 적당할 것으로 여겨진다. 반면 양분 적정 농가였던 평택의 경우 질소 공급을 증가하여 도 토양 양분 집적을 유발하지 않았지만, 질소비료에 소모되는 비용을 절감하며 용탈을 최소화하되 2020년에 표준질 소관비량 (N 1배)에서 최대수량을 보인 것을 고려하여 표준 질소관비량 대로 공급하는 것을 추천한다. 오이 관비량에 대한 이전의 문헌과 비교해보면, Sung et al. (2015)은 웃거름 질소 관비 농도로 120 mg L<sup>-1</sup>의 농도로 제공하였을 때 오이 최대수량을 나타내었고 이러한 농도를 일주일에 투하하는 관비량으로 계산한다면 1.3에서 1.6 kg 10a<sup>-1</sup>의 질소 를 공급하는 것에 해당한다 하였는데, 이는 본 실험의 N 1배 처리구에서 생육초기 이후 투입한 질소 공급량과 유사하 며 또한 질산태 질소 적정 농가에서 최대수량을 보인 것에서 일치한다. 앞으로 이러한 결과를 반영한 반복 연구를 수 행하고 통계적 유의성을 검증하는 과정을 거쳐서, 농가 토양양분 수준에 맞추어 관비 공급량을 정하는 토양검정 기반 관비 공급 기술 개발이 이루어져야 한다. 오이에 대한 토양검정 기반 관비 공급 기술 개발을 위하여 Jung et al. (2006) 은 토양검정 질소시비량의 0.62배를 오이 수량 측면에서 적정 질소 관비량으로 제시함으로써 관비 공급을 통한 질소 시비량 감축 가능성을 보인 것과 같이, 기존의 표준 관비량에 기반한 생육단계별 관비량에 토양검정 개념을 도입하면 추가적인 질소시비량 감축을 이룰 수 있을 것으로 보인다. 본 연구에서 수행된 작물인 오이에 대하여 농가 토양양분 수준에 따른 관비 공급량 산정식을 도출할 예정이며, 오이 외의 다른 작물에 대한 토양검정 기반 생육단계별 관비공급 량 설정이 추가로 연구되어야 할 것으로 여겨진다. 오이 이외의 작물에 대한 토양검정 기반 관비공급량 설정에 대한 연구로는 Jung et al. (2010)이 참외에 대하여 검정시비량에 준하는 비료량을 기준으로 가감하여 처리하였을 때 검정 시비 0.5배구에서 수량이 가장 높았음을 보였다. Ha et al. (2015)과 Sung et al. (2016)은 각각 애호박과 수박에 대해 토양 검정 시비량을 기준으로 웃거름 관비량을 조절하여 애호박은 검정시비의 0.75배구에서, 수박의 경우 1.5배에서 최대 수량을 보였다. 시설 작물 재배를 위한 관비스케줄을 개발하기 위해 환경 요인을 포함한 다양한 조건에 대한 고 찰이 추가적으로 필요하다. 또한 정밀 농업 실현을 위하여 작물 및 토양의 영양 상태를 실시간 센싱하여 적시에 적량 을 공급할 수 있는 기술 개발 또한 필요하다. 작물의 양수분 상태를 실시간으로 센싱하는 기술은 Jeon et al. (2017)과 Baek et al. (2018)에 의해 반도체기술을 접목하여 이루어진바 있다.

#### **Conclusions**

시설 오이 재배지의 양분함량 (질산태질소 및 유기물 적정, 초과)에 따라 생육단계별 양분흡수량을 기반으로 질소 관비 공급량을 설정하고자, 1주 당 표준 질소관비량을 기준으로 0.5, 1.0, 2배의 질소 비료를 처리하였다. 각 재배지에서 처리구에 따른 오이 수량은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 시설 오이의 질소 1, 2배 처리구에 대한 질소의 부분생산능률은 질소 0.5배 처리구에 비해 작았으므로 질소 투입량을 조절할 필요가 있다. 시험 후 토양 내 질산태질소 농도는 양분 적정 농가의 경우 모든 처리구에서 100 mg kg 'l 미만이었고, 양분 초과 농가의 경우 대부분의 처리구에서 질산태질소 농도가 적정수준 (70 mg kg 'l) 이상이었다. 오이 수량과 토양 질산태질소 농도 결과에 비추어 질산태질소 참고 참가의 경우 관비 표준량 (N1)보다 적은 양의 질소 공급을 통하여 오이 수량을 확보하고 토양 질산태질소 농도 감축을 이룰 것으로 예상된다. 기존의 토양검정 기반 관비 공급량 연구에 따르면 토양검정 질소시비량의 0.62배가오이 수량측면에서 적정 질소 관비량으로 제시된 바 있다. 그러므로, 향후 관비 공급량을 농가 토양양분 수준에 맞추어공급하는 토양검정 기반 생육단계별 관비 공급 기술 개발을 통하여 질소 공급량을 감축할 수 있을 것으로 예상된다. 본연구에서 수행된 오이 질소 관비시험에 대한 추가 실험을 통하여 농가 토양양분 수준에 따른 관비 공급량 산정식을 도출할 예정이며, 오이 외의 다른 작물에 대한 토양검정 기반 관비공급량 설정이 추가로 연구되어야 할 것으로 여겨진다.

# **Acknowledgement**

This work was supported by the "Cooperative Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ014977)" and by 2021 RDA Fellowship Program of Rural Development Administration, Republic of Korea.

### References

- Badr, M.A., A.S. Taalab, and E.W.A. Tohamy. 2011. Nitrogen application rate and fertigation frequency for drip irrigated potato. Aust. J. Basic Appl. Sci. 5:817-825.
- Baek, S., E. Jeon, K.S. Park, K.H. Yeo, and J. Lee. 2018. Monitoring of water transportation in plant stem with microneedle sap flow sensor. J. Microelectromech. Syst. 27(3):440-447.
- 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. Res. 54:855-863.
- Ebrahimian, H. and E. Playan. 2014. Optimum management of furrow fertigation to maximize water and fertilizer application efficiency and uniformity. J. Agric. Sci. Technol. 16:591-607.
- Ewais, M.A., A.A. Mahmoud, and A.A. Khalil. 2010. Effect of nitrogen fertigation in comparison with soil application on onion production in sandy soils. Alexandria J. Agric. Res. 55:75-83.
- 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.
- Jeon, E., S. Choi, K.H. Yeo, K.S. Park, M.L. Rathod, and J. Lee. 2017. Development of electrical conductivity measurement technology for key plant physiological information using microneedle sensor. J. Micromech. Microeng. 27(8):085009.
- Jung, B.G., Y.S. Song, H.J. Jun, Park, W.K., and K.S. Lee. 2006. Establishment of optimum nitrogen application rates in fertigation system for cucumber plastic film house cultivation. p. 185-186. In Proceedings of the Spring Congress on Korean Society of Soil Science and Fertilizer, Suncheon, Korea.
- 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.
- 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.C. 1970. Research on developing agricultural resources by fertigation cultivation. 1. Productivity by fertigation and composition for fertigation. Korean J. Hort. Sci. Technol. 8:93-105.
- Kumar, A. and A.K. Singh. 2002. Improving nutrient and water use efficiency through fertigation. Water Manage. 10:42-48.
- 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, J.K. Sung, Y.J. Lee, and D.B. Lee. 2018. Characteristics of growth-stage-based nutrient uptake of lettuce grown by fertigation supply in a greenhouse. Korean J. Soil Sci. Fert. 51(4):626-635.
- 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.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. 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., 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.
- Lee, Y.J., S.B. Lee, Y.M. Kim, Y.S. Song, and D.B. Lee. 2019b. Relation of organic matter content and nitrogen mineralization of soils collected from pepper cultivated land. Korean J. Environ. Agric. 38(3):119-123.
- Lim, J.H., I.B. Lee, and H.L. Kim. 2001. A criteria of nitrate concentration in soil solution and leaf petiole juice for fertigation cucumber (*Cucumis sativus* L.) under greenhouse cultivation. Korean J. Soil Sci. Fert. 34(5):316-325.
- MAFRA. 2018. 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.
- Moujabber, E.I., M. Atallah, and T. Darwish. 2002. Crop modeling and water use efficiency of protected cucumber. Int. Atomic Energy Agency Tech. Documents. 1266:61-67.
- NAAS. 2000. Soil and plant analysis method. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- NIAS. 2017. Fertilizer recommendation for crop production (3rd ed.). National Institute of Agricultural Science, RDA, Jeonju, Korea.
- 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.
- Park, K.W. 1997. Trends in irrigation and fertilizer application techniques in Korea and in the world. p. 1-22. In Proceedings of the Symposium on Korean Society for Bio-Environment Control, 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.
- Sinclair, T.R. and T.W. Rufty. 2012. Nitrogen and water resources commonly limit crop yield increases: not necessarily plant genetics. Global Food Secur. 1:94-98.
- 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.
- Sung, J., S.S. Kang, and C.H. Lee. 2015. Mitigation of abnormal environment-derived nutrient disorder in greenhouse. Research Report. National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Korea.
- Wang, H., J. Li, M. Cheng, F. Zhang, X. Wang, J. Fan, L. Wu, D. Fang, H. Zou, and Y. Xiang. 2019. Optimal drip fertigation management improves yield, quality, water and nitrogen use efficiency of greenhouse cucumber. Sci. Hortic. 243:357-366.
- Yadav, R.L. 1998. Factor productivity trends in a rice-wheat cropping system under long-term use of chemical fertilizers. Exp. Agric. 34(1):1-18.
- Zuo, H.J., Y.L. Bai, Y.L. Lu, L. Wang, H. Wang, and Z.Y. Wang. 2012. Fate of fertilizer nitrogen applied to winter wheat in North China plain based on high abundance of <sup>15</sup>N. Scientia Agricultura Sinica. 15:3093-3099.