Korean J. Soil Sci. Fert. Vol.55, No.4, pp.413-423, 2022

Korean Journal of Soil Science and Fertilizer

Article

https://doi.org/10.7745/KJSSF.2022.55.4.413
pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

# Determination of Application Rates of Nitrogen Fertilizer for 'Shiranuhi' Mandarin in Plastic Film Houses Using Soil Electrical Conductivity

Ho-Jun Kang[1], Myung-Hyup Oh[1], and Won-Pyo Park[2]*

[1]Researcher, Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research and Extension Services, Seogwipo 63556, Korea
[2]Assistant Professor, Plant Resources and Environment Major, Faculty of Bioscience and Industry, College of Applied Life Science, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

***Corresponding author:** oneticket@jejunu.ac.kr

**Received:** October 26, 2022
**Revised:** November 1, 2022
**Accepted:** November 4, 2022

**Edited by**
Hyuck Soo Kim,
Kangwon National University,
Korea

**ORCID**
Won-Pyo Park
https://orcid.org/0000-0002-6547-6240

A B S T R A C T

In this study, we developed an equation to determine nitrogen fertilizer rates for 'Shiranuhi' mandarin [(*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*] growing soils in plastic film houses to prevent salt accumulation and maintain optimum nutrient levels. We analyzed the amount of applied fertilizers, soil chemical properties, and yields from 45 farms that vary in salt concentrations on Jeju Island, Korea. The results revealed that the average soil chemical property values, such as electrical conductivity (EC), available $P_2O_5$, and exchangeable cations ($K^+$, $Ca^{2+}$, and $Mg^{2+}$), were higher than the acceptable range, except for pH and organic matter. The results showed that higher amounts of nitrogen and phosphorus were applied through fertilizer application rates (N 327 kg ha$^{-1}$, $P_2O_5$ 294 kg ha$^{-1}$, and $K_2O$ 236 kg ha$^{-1}$) than the standard amount and rate of fertilizer for the cultivation of 'Shiranuhi' mandarin. The EC values and $NO_3$-N concentration in the soils had a close correlation (r = 0.96, $p < 0.001$). The yields did not differ with the amounts of the applied fertilizers while there was a significant negative correlation with EC values (r = -0.455, $p < 0.01$) and the concentration of $NO_3$-N (r = -0.476, $p < 0.01$) in the soils. Our results demonstrated that the $NO_3$-N concentration in the soil of plastic film houses has a substantial effect on the soil EC value. Soil EC levels may determine the recommended nitrogen fertilizer rates depending on each tree's age.

**Keywords:** Electrical conductivity, Jeju soil, Nitrogen fertilizer rates, Plastic film house, 'Shiranuhi' mandarin

Recommended application rates of nitrogen (N) fertilizer according to the soil electrical conductivity (EC) levels depending on 'Shiranuhi' mandarin tree ages in the cultivated soils of plastic film houses on Jeju Island.

| Tree ages (years) | N recommendation equation† | EC (dS m$^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 4.0 |
| | | Recommended rates of N fertilizer (kg ha$^{-1}$) | | | |
| 1 - 5 | Y = - 1.6273X + 18.065 | 17.3 | 16.4 | 14.8 | 11.6 |
| 6 - 10 | Y = - 8.1363X + 90.323 | 86.3 | 82.2 | 74.1 | 57.8 |
| 11 - 15 | Y = - 16.273X + 180.65 | 173 | 164 | 148 | 116 |
| 16 - 20 | Y = - 24.409X + 270.97 | 259 | 247 | 222 | 173 |
| 21≤ | Y = - 32.545X + 361.29 | 345 | 329 | 296 | 231 |

†Y: Recommended rates of N fertilizer (kg ha$^{-1}$); X: Soil EC value.

© The Korean Society of Soil Science and Fertilizer. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## Introduction

시설재배지에서는 무기질비료와 퇴비 등이 과다사용으로 인한 토양의 염류 과다 집적이 문제시 된다 (Park et al., 1994; Lim et al., 2018). 유기물 자재로 가축분퇴비는 토양 물리성 개선과 양분 공급 등 작물 생장에 중요한 역할을 한다. 그러나 양분함량을 고려하지 않고 매년 작물 요구량 이상의 가축분퇴비와 무기질비료의 관행적 시비는 시설토양의 염류집적뿐만 아니라 작물의 수량 감소 등의 문제를 가져온다 (Jung et al., 1998).

시설하우스 재배가 일반화되면서 제주지역에서는 만감류인 부지화 [Shiranuhi, (*Citrus unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata*], 청견 (Kiyomi, *C. unshiu* × *C. sinensis*), 진지향 [Tsunogaori, (*C. unshiu* × *C. sinensis*) × *C. unshiu*], 감평 [Kanpei, (*C. unshiu* × *C. sinensis*) × *C. reticulata* × (*C. unshiu* × *C. sinensis* × *C. sinensis*)] 등이 도입되어 재배되고 있으며 (Moon et al., 2015), 만감류 재배면적은 2021년 기준 3,458 ha로 매년 증가하고 있다 (JSSGP, 2022). 이 중 부지화는 1990년 초부터 재배되기 시작하여 재배면적과 생산량이 지속적으로 증가하였으나, 최근에는 단위면적당 생산량이 2014년 32,512 kg $ha^{-1}$에서 2021년 25,819 kg $ha^{-1}$로 약 20% 감소하였다 (JSSGP, 2022).

부지화는 생육이 왕성하여 양분 요구도가 큰 편이고 만감류의 특성상 과일을 다음해 1 - 3월에 수확하기 때문에 온주밀감에서 잘 나타나지 않는 양분의 과부족 장해나 과실에 생리 장해가 발생하기 쉬운 성질이 있다 (Park, 2003). 이런 이유로 부지화 도입 초기부터 관행적으로 많은 양의 퇴비와 비료를 사용하고 있는 실정이며, 부지화 시설 재배지 토양은 강우에 의한 양분 유실이 일어나지 않아 염류가 지속적으로 집적되고 있다. 염류농도는 전기전도도 (electrical conductivity, EC)를 측정하여 확인 할 수 있으며, 제주지역 시설재배 감귤원의 EC값은 2000년 1.49 dS $m^{-1}$에서 2008년 2.01, 2020년 2.67 dS $m^{-1}$로 점차 증가되고 있다 (JSSGPARES, 2020). 하지만 만감류 감귤의 질소비료 시비량은 노지와 시설재배 구분 없이 토양 유기물 함량을 기준으로 표준시비량만 설정되어 있으며, 토양검정에 의한 비료 사용 추천식이 설정되어 있지 않다 (NIAS, 2019). 제주 지역은 화산회토양의 생성과 발달과정에서 지역적으로 유기물함량이 다양한 토양이 존재하고 있으며 (Park and Kang, 2019), 특히Al-유기복합체의 생성으로 다량이 유기물이 집적되어 있는 흑색화산회토양 (Moon et al., 2007)이 대부분 감귤재배 지역에 분포하고 있어 유기물 함량을 기준으로 한 질소시비량 추천은 재검토가 필요하다.

질소 적정 시비량에 대한 지표 성분은 무기태질소 (암모니아태질소와 질산태질소)이며, 무기태질소 중 질산태질소와 질소시비량은 고도로 유의한 상관관계가 나타난다 (Hong et al., 1998). 시설토양에서 질산태질소를 단일 지표로 하여 질소시비량 추천이 가능하며 (Kang and Hong, 2004; Lim et al., 2007), 수용성 양분인 질산태질소농도는 EC값과 고도의 유의성을 갖는 것으로 나타나 (Shi et al., 2009; Lee et al., 2022), 시설재배 작물의 적정 질소 시비 추천은 토양 EC값으로 추천되고 있다 (NIAS, 2019). 따라서 만감류 재배지의 염류집적 방지와 적정 양분 관리를 위해서는 유기물보다 토양 염류에 근거한 질소비료 사용 처방이 필요하며, 비교적 분석이 간편한 EC 분석을 통해 질소비료 사용 추천식을 검토할 필요가 있다. 그래서 본 연구에서는 시설재배 부지화를 대상으로 비료사용량, 토양 화학성 및 수량과의 관계를 분석하여 토양 EC 검정에 의한 질소비료 사용 추천식을 개발하고자 수행하였다.

## Materials and Methods

**비료사용량 및 수량 조사** 농가 비료 사용실태 및 수량 조사는 부지화 품종을 재배하고 있는 45농가를 대상으로 2019년에서 2020년까지 2개년 동안 청취 및 방문조사 하였다. 무기질비료와 유기질비료 사용량은 주성분으로 함

유하고 있는 질소 (N), 인산 ($P_2O_5$), 칼리 ($K_2O$)를 구분하여 성분량으로 환산하였다. 부지화 수확량은 ha 당 kg으로 나타내었다.

**토양 시료 및 분석** 토양화학성 분석을 위한 토양시료는 감귤 수확 후에 나무의 수관 아래에서 표토 (깊이 0 - 20 cm)에서 필지당 10개 지점의 토양을 채취하여 하나의 혼합 시료를 만들어 풍건한 후 2 mm 체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다. 토양 화학성 분석은 토양화학분석법 (NAAS, 2010)에 따라 토양 pH와 EC는 시료와 증류수 비율을 1:5로 하여 pH/EC 측정기로 (S47, Mettler toledo, Germany) 측정하였다. 유기물 함량은 0.5 mm를 통과한 풍건토양을 Tyurin법으로 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 교환성 양이온은 1N ammonium acetate법으로 추출하여 ICP-OES (Optima, 7300DV, PerkinElmer, USA)로 측정하였다. 토양의 질산태질소는 토양 5 g에 증류수 50 mL를 넣고 30분간 진탕 후 여과하여 이온크로마토그래피 (Metrohm 850, Switzerland)로 분석하였다.

**통계분석 및 질소비료 적정 시비량 추천식 설정** 통계분석은 SAS프로그램 (SAS, ver. 9.1)을 이용하여 비료사용량, 부지화의 수량 및 토양화학성의 상관분석을 하였고, 회귀분석을 통해 토양EC와 질소추천시비량에 대한 유의성을 비교 검토하였다.

질소비료 사용 추천모델은 45농가 토양의 EC값을 이용하여 사분위수을 활용하여 최대 및 최소시비량 기준을 설정하고 독립변수인 EC 측정값에 의해 종속변수인 질소비료 추천량에 대한 시비율을 산출하는 방법으로 질소시비량 추천 모델을 제시하였다. 사분위수는 마이크로소트 엑셀의 내장 함수를 이용하여 1사분위수 (제 25% 백분위수, Q1), 중앙값 (제 50% 백분위수, Q2), 3분위수 (제 75% 백분위수, Q3)를 구하였다. 사분위수 범위 (interquartile range, IQR)는 Q3에서 Q1를 뺀 값으로 계산하였고, 이상치를 제외한 각각 위와 아래 수염 (whiskers)의 최소값과 최대값을 계산하기 위해 최소값은 Q1 - 1.5 × IQR를, 최대값은 Q3 + 1.5 × IQR를 적용하여 계산되었다 (Bae, 2021).

## Results and Discussion

**비료사용량과 토양화학성** 부지화 시설재배 농가의 비료 사용량은 Table 1에 나타내었다. 비료 사용은 무기질비료, 유기질비료 및 퇴비를 사용하고 있었다. 무기질비료에 의한 양분공급량은 ha당 질소가 242 kg으로 가장 많았

Table 1. Comparison of N, $P_2O_5$, and $K_2O$ fertilizer application levels (kg $ha^{-1}$) between the standard rate of fertilizer and farmer's actual practice.

| Nutrients | Type of fertilizer | Farmers' actual practice (A) | Standard rate of fertilizer (B) | A - B |
|---|---|---|---|---|
| N | Inorganic fertilizer | 242 | - | - |
| | Organic fertilizer | 85.0 | - | - |
| | Sum | 327 | 300 | 27 (109%) |
| $P_2O_5$ | Inorganic fertilizer | 209 | - | - |
| | Organic fertilizer | 84.7 | - | - |
| | Sum | 294 | 250 | 44 (118%) |
| $K_2O$ | Inorganic fertilizer | 185 | - | - |
| | Organic fertilizer | 50.7 | - | - |
| | Sum | 236 | 250 | -14 (92%) |

으며, 인산은 209 kg, 칼리는 185 kg이었다. 비료 종류별 질소 공급율은 무기질비료가 69.5%, 유기질비료 24.4% 및 퇴비 6.1% 순으로 양분을 공급하고 있었다. 인산 및 칼리 공급율은 무기질비료가 각각 64.1%와 72.6%, 유기질비료가 각각 26.1%, 70.0%, 퇴비는 각각 9.8%와 7.5%의 양분을 공급하고 있었다. 표준사용량과 농가 사용량과의 차이는 Table 1에 나타난 바와 같이 질소는 27 kg $ha^{-1}$, 인산은 44 kg $ha^{-1}$를 과다시비하고 있었으며, 칼리는 14 kg $ha^{-1}$을 적게 시비하고 있었다.

토양의 화학적 특성 중 pH는 평균 5.4로 적정범위보다 낮았으나, EC값은 2.76 dS $m^{-1}$, 유효인산 744 mg $kg^{-1}$, 교환성 칼륨, 칼슘 및 마그네슘은 각각 2.30, 9.8, 및 3.4 $cmol_c$ $kg^{-1}$로 적정범위보다 높았다 (Table 2). 모든 성분의 최대값과 최소값의 폭이 커 조사 포장 간에 차이가 심한 것으로 나타났다.

**Table 2.** Soil chemical properties of 'Shiranuhi' mandarin cultivated soils of plastic film houses (n = 45) on Jeju Island.

| | pH (1:5) | EC† (dS $m^{-1}$) | OM‡ (g $kg^{-1}$) | Avail. $P_2O_5$ (mg $kg^{-1}$) | Exch. cations ($cmol_c$ $kg^{-1}$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | K | Ca | Mg |
| Mean | 5.4 | 2.76 | 89 | 744 | 2.30 | 9.8 | 3.4 |
| Maximum | 8.4 | 8.55 | 204 | 2,138 | 5.23 | 27.1 | 10.4 |
| Minimum | 3.7 | 0.47 | 19 | 44 | 0.80 | 1.4 | 0.6 |
| Optimum range§ | 5.5 - 6.5 | ≤2.0 | 21 - 50¶<br>101 - 150ƒ | 200 - 300 | 0.50 - 0.70 | 5.0 - 6.0 | 1.5 - 2.0 |

†EC, electrical conductivity; ‡OM, organic matter; §Optimum range of chemical properties for 'Shiranuhi' mandarin growing soils (NIAS, 2019); ¶Nonvolcanic ash soils; ƒVolcanic ash soils.

토양 화학성 과부족 분포 비율은 Fig. 1과 같았다. 화학적 특성별 적정범위 대비 부족율은 pH가 60.0%이었던 것에 비해 EC와 유효인산의 과다율은 각각 53.3%와 77.8%를 차지하고 있었다. 교환성 칼리의 과다율은 100%로 모든 조사지점이 적정범위를 초과하였으며, 교환성 칼슘과 마그네슘의 과다율도 각각 62.2%와 71.7%로 높았다. 시설재배지인 경우, 강우에 의한 양분 용탈이 일어나지 않으면서 양분 집적이 나타나기 때문에 적정량의 비료사용으로 토양 염류 집적을 방지해야 할 것으로 판단되었다.

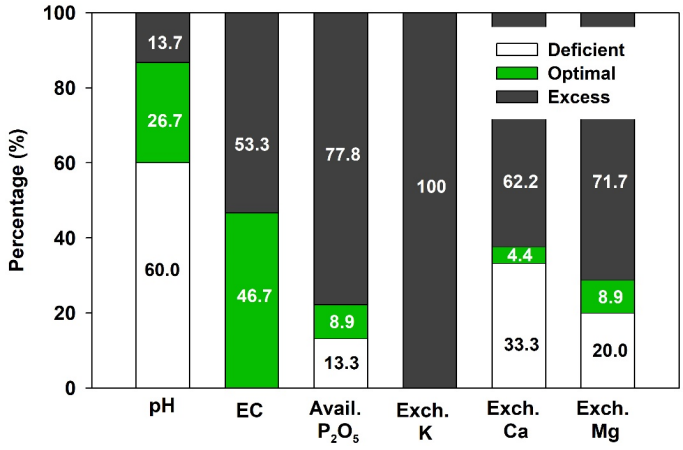


**Fig. 1.** Excess, deficient, and optimal ranges of selected chemical properties in 'Shiranuhi' mandarin cultivated soils of plastic film houses on Jeju Island.

**비료 사용량에 따른 수량과 선택된 토양화학적 특성과의 관계** 비료 사용량과 수량은 Fig. 2에 나타내었다. 부지화의 수량은 비료사용량에 따라 감소하는 경향을 보여주었으나 유의한 차이는 없었다. 일반적으로 비료사용량에 따른 수량은 비료 사용량이 적은 범위에서는 거의 직선적으로 증가하지만 비료사용량이 많거나 한계 범위에 도달되면 증가폭이 둔화되거나 감소하는 곡선적인 경향을 나타낸다 (Kang and Hong, 2004). 본 연구에서 비료사용량에 따라 차이가 없는 것은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 토양 양분의 과다 비율이 높아 비료 사용에 대한 반응이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

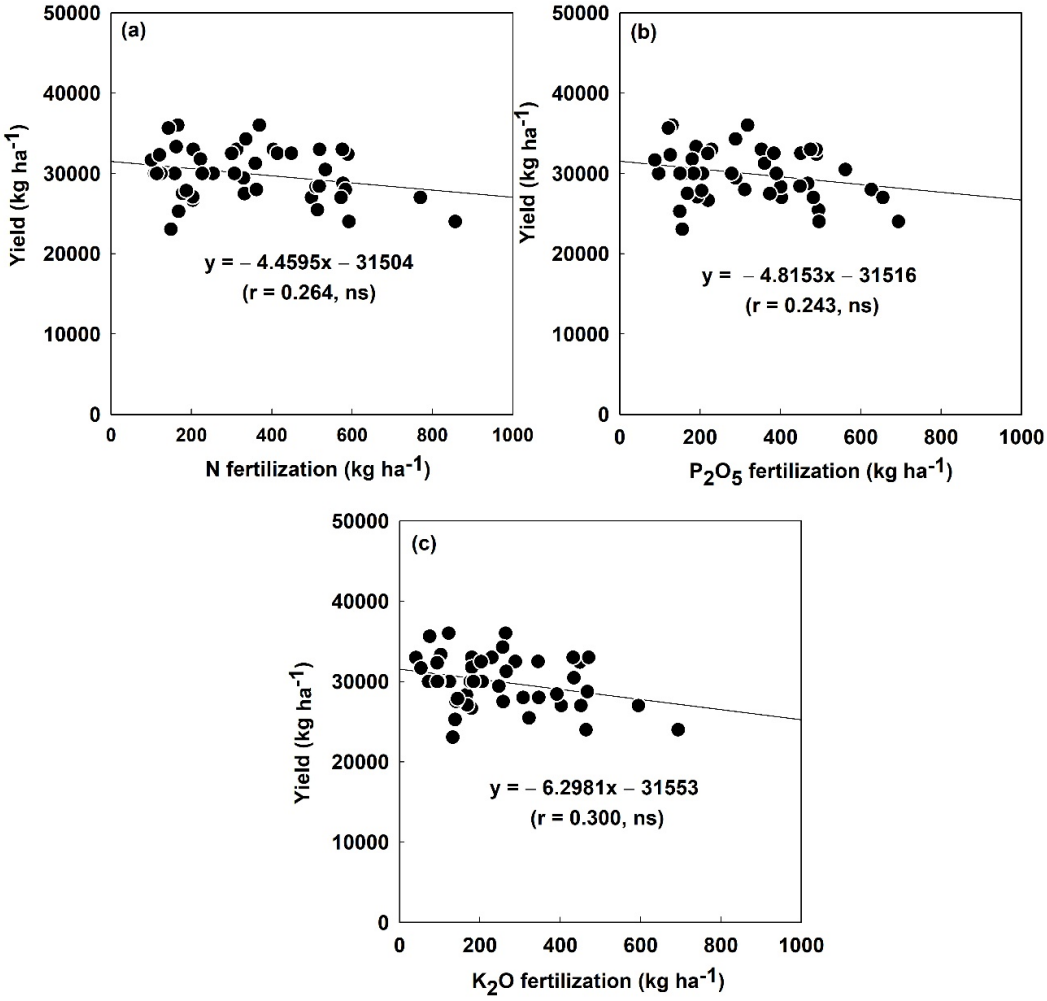


Fig. 2. Correlation analysis of the relationship between 'Shiranuhi' mandarin yields and the amount of (a) N, (b) $P_2O_5$, and (c) $K_2O$ fertilizer applied in cultivated soils of plastic film houses on Jeju Island.

비료사용량과 토양 화학성과의 관계는 Fig. 3에 나타난 바와 같이 토양 질산태질소와 교환성 칼리는 비료사용량이 많을수록 높아지는 정의 상관이 있었으나, 인산비료와 유효인산은 상관성이 없었다.

인산비료 사용량과 토양 유효인산 함량과 관련성이 낮은 것은 제주도 화산회 토양은 allophane형 점토광물과 Al, Fe의 산화물, 수산화물의 OH기와 배위자 결합으로 인해 인산흡착이 잘 일어나 (Yoo and Song, 1984; Shoji et al., 1993), 인산비료를 다량으로 시용하더라도 유효인산 함량의 증가가 크지 않기 때문이다 (Ryu et al., 1978).

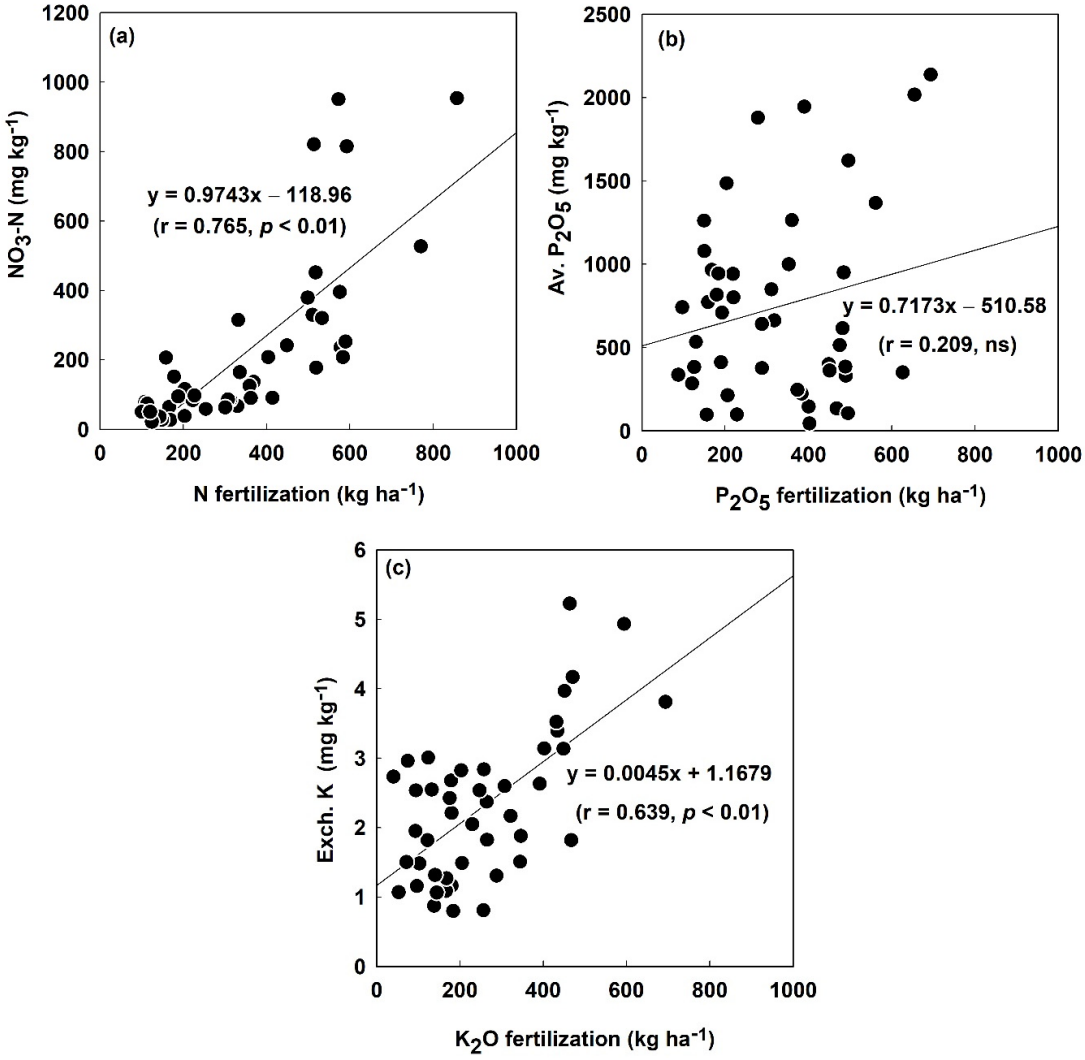


Fig. 3. Correlation analysis of the relationship between selected chemical properties ((a) $NO_3$-N, (b) Avail. $P_2O_5$, and (c) Exch. K) and the amount of (a) N, (b) $P_2O_5$, and (c) $K_2O$ fertilizer applied in 'Shiranuhi' mandarin cultivated soils of plastic film houses on Jeju Island.

Table 3은 토양 화학성의 상관분석 결과를 나타내었다. pH는 칼슘과 마그네슘, EC는 교환성 칼리와 교환성 마그네슘 및 질산태질소, 교환성 칼리는 교환성 칼슘과 교환성 마그네슘, 질산태질소, 교환성 칼슘은 교환성 마그네슘, 교환성 마그네슘은 질산태질소와 정의 상관이 나타났다. 이 중에 토양 질산태질소와 EC와의 상관계수가 0.960으로 고도의 상관성이 있었다. 토양의 EC 증가에 미치는 기여도는 $Cl^- > NO_3^- > Mg^{2+} > K^+ > SO_4^{2-}$ 이며 (Cho et al., 2011), 시설재배지에서 토양 질산태질소와 EC는 고도의 정의 상관이 나타나고, 질산태질소는 교환성 칼륨과 밀접한 상관이 있다고 (Shi et al., 2009; Lee et al., 2022) 한 결과와 같은 경향이었다.

수량과 밀접한 상관을 보인 토양 화학성은 EC와 질산태질소였으며, 그 외 성분은 상관성이 없었다. 수용성 양분인 질산태질소는 EC값과 고도의 유의한 상관성이 나타났으며 (Shi et al., 2009; Park and Sung, 2021; Lee et al., 2022), 질산태질소와 EC가 수량과 유의적인 상관성이 있었다. Kang and Hong (2004)이 작물의 수량 또는 질소 흡수량과 관계가 밀접한 것은 토양의 질산태질소 함량이 가장 크고, 다음은 EC라고 한 결과와 같은 경향이었다. 수량과 토양 화학

성 간에 상관계수가 음의 값을 나타낸 것은 비료 사용량이 많거나 한계 범위에 도달하게 되면 수량 증가 폭이 둔화하거나 감소하는 곡선적인 경향을 나타내기 때문이다 (Kang and Hong, 2004). Hong (1998)은 시설재배 토양에서 유효인산과 교환성 칼륨 함량이 비정상적으로 축적되면 유효인산이나 교환성 칼륨 함량이 수량과 통계적 유의성은 없었다고 보고하였다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 본 조사에서도 유효인산과 교환성 칼륨 함량 과다 비율이 각각 77.8%와 100%로 높았기 때문에 수량과 유효인산 및 교환성 칼륨과의 유의성은 없었다. 토양의 질산태질소는 염류농도의 지표로 활용되는 EC 값에 크게 관여하는 성분이므로 (Hong, 1998), 토양 EC와 질산태질소는 제주도 만감류 시설재배 토양에서 질소시비량을 추천하기 위한 지표로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**Table 3.** Correlation coefficients among the selected chemical properties and the yield in 'Shiranuhi' mandarin cultivated soils of plastic film houses (n = 45) on Jeju Island.

| Parameter | pH | EC | OM | Avail. $P_2O_5$ | Exch. K | Exch. Ca | Exch. Mg | $NO_3$-N |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EC | -0.159 | | | | | | | |
| OM | -0.237 | 0.327* | | | | | | |
| Av.$P_2O_5$ | 0.094 | 0.079 | -0.454** | | | | | |
| Exch. K | 0.291 | 0.624*** | -0.001 | 0.264 | | | | |
| Exch. Ca | 0.792*** | 0.224 | 0.163 | 0.041 | 0.467** | | | |
| Exch. Mg | 0.628*** | 0.478** | 0.049 | 0.210 | 0.626*** | 0.797*** | | |
| $NO_3$-N | -0.062 | 0.960*** | 0.212 | 0.184 | 0.624*** | 0.289 | 0.537*** | |
| Yield | 0.035 | -0.455** | -0.103 | -0.260 | -0.218 | -0.161 | -0.234 | -0.476** |

*, **, ***: significant differences at the 0.05, 0.01, and 0.001 probability levels, respectively.

**질소비료 추천식 결정** 토양 EC에 따른 토양 질산태질소 함량을 추정하기 위하여 토양 EC와 질산태질소를 회귀분석하여 유의성 검정 결과 상관계수가 0.960으로 고도의 유의적인 정의 상관이 나타났다. 따라서 토양 EC측정으로 질산태질소 함량을 추정할 수 있는 1차 회귀식 Y = 112.6X - 90.663 (Y: 질산태질소농도 (mg $kg^{-1}$), X: 토양 EC 값 (dS $m^{-1}$))을 도출하였다 (Fig. 4a). 그러나 질소비료 사용량 추천을 위해서는 토양 EC값이 클수록 질소비료 추천량이 적어야 한다. Table 2에 나타난 바와 같이 EC 최대값은 8.55 dS $m^{-1}$로 최소값 0.47 dS $m^{-1}$과의 차이가 크기 때문에 EC 값의 사분위수 분석결과 (Table 4)를 활용하여 질소시비추천식을 산출하는데 이용하였다.

사분위수는 주어진 자료에 있는 값들을 크기순으로 나열했을 때 이것을 4등분하는 지점에 있는 값들을 의미한다. 사분위값은 하나의 값보다는 세 개의 값으로 전체의 특성을 추정하여 보다 많은 정보를 전달하기 때문에 단일 변수 수치 자료를 파악하는데 사용된다 (Bae, 2021). 즉 EC값에 75%값 (3사분위값)인 3.73을 빼서 음의 값을 갖는 EC를 제외하고 토양 질산태질소 추천량을 회귀분석한 결과, 토양 EC값과 질산태질소 간에 상관계수가 0.912으로 매우 유의한 상관관계가 나타났다 (Fig. 4b). 따라서 토양 EC측정으로 질산태질소 함량을 추정할 수 있는 1차 회귀식 Y = -152.95X + 519.92 (Y: 질소비료 사용량 (kg $ha^{-1}$), X: 토양 EC 값 (dS $m^{-1}$))을 도출하였다. 이 회귀식은 토양 EC값이 높아질수록 질소추천량이 감소하는 관계를 보였다. 위 식에 의하면 EC값이 0.1 dS $m^{-1}$일 경우 질소 추천량이 505 kg $ha^{-1}$로 과다하게 되고, EC값이 3.5 dS $m^{-1}$ 이상일 경우 질소 추천량이 음의 값을 나타내게 되므로 최대시비량과 최소시비량을 설정하여 적정 시비량 추천식 모델이 필요하였다.

Fig. 4b의 Y = -152.95X + 519.92식에 EC값의 사분위수 분석결과 (Table 4)을 활용하여 최대·최소 시비량을 결정

하였다. 위의 식에 EC 최소값 (0.47 dS $m^{-1}$)과 EC 50%값 (2.19 dS $m^{-1}$)을 대입하면 최대시비량은 450 kg $ha^{-1}$, 최소시비량은 185 kg $ha^{-1}$이었다.

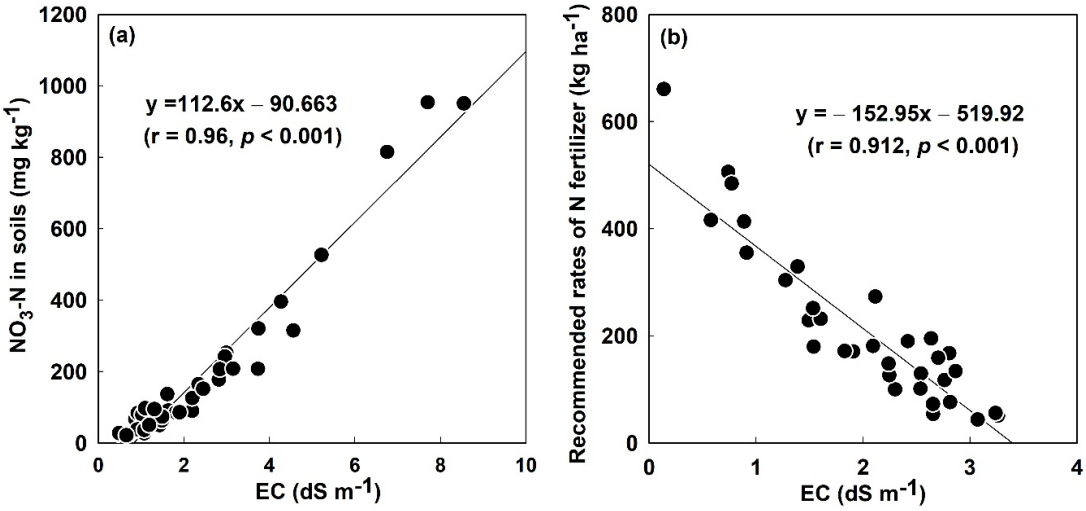


Fig. 4. The correlation between soil electrical conductivity (EC) values and the (a) $NO_3$-N concentration in soils and (b) recommended rates of nitrogen (N) fertilizer converted from $NO_3$-N concentration in 'Shiranuhi' mandarin cultivated soils of plastic film houses on Jeju Island.

Table 4. Results of interquartile tests of electrical conductivity (EC) values in 'Shiranuhi' mandarin cultivated soils of plastic film houses (n = 45) on Jeju Island.

| | Minimum | 25th percentiles | Median | 75th percentile | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|
| EC (dS $m^{-1}$) | 0.46 | 1.19 | 2.19 | 3.73 | 7.54 |

시설재배 부지화의 토양 EC검정에 의한 적정 질소시비량을 산출하기 위하여 45농가 토양분석결과에서 EC값이 0.47 dS $m^{-1}$ 이하인 경우 최대질소시비량을 450 kg $ha^{-1}$으로 설정하고, EC값이 2.19 dS $m^{-1}$ 이상인 경우 최소질소시비량을 185 kg $ha^{-1}$으로 설정하여 질소 적정 시비량 추천을 위한 1차 회귀식을 도출하였다 (Fig. 5). 질소 적정 시비량 추천식은 Y = - 32.545X + 361.29 (Y: 질소추천량 (kg $ha^{-1}$), X: 토양 EC 값 (dS $m^{-1}$)) 이다. 즉, 토양 EC값이 0.5, 1.0, 2.0, 4.0일 때 각각 질소추천량은 345, 329, 296, 231 kg $ha^{-1}$이 된다 (Table 5).

과수는 영년생 작물로 수령에 따라 양분 요구량이 다르기 때문에 수령별 시비 추천식은 작물별 비료사용처방 (NIAS, 2019)의 수령별 시비 비율 설정 방법과 같이 부지화의 수령 21년생 이상을 기준으로 하여 16 - 20년생 시비량은 21년생 시비량의 75%, 11 - 15년생은 50%, 6 - 10년생은 25% 그리고 1년생은 5%를 적용하여 수령별 시비량을 설정하였다 (Table 5).

감귤에서 질소의 시비량은 토양 유기물 함량을 적음, 보통, 많음으로 구분하고, 유기물함량이 보통 범위에서는 수령별로 기준시비량을 적용한다. 유기물함량이 보통 이하에서는 증시하도록 한 반면에 그 이상에서는 감비하도록 하는데 (Lee et al., 1993), 본 연구에서는 부지화 시설재배시 토양 EC 검정으로 수령별 질소비료 사용량을 추천할 수 있는 질소시비 추천식을 설정하였다.

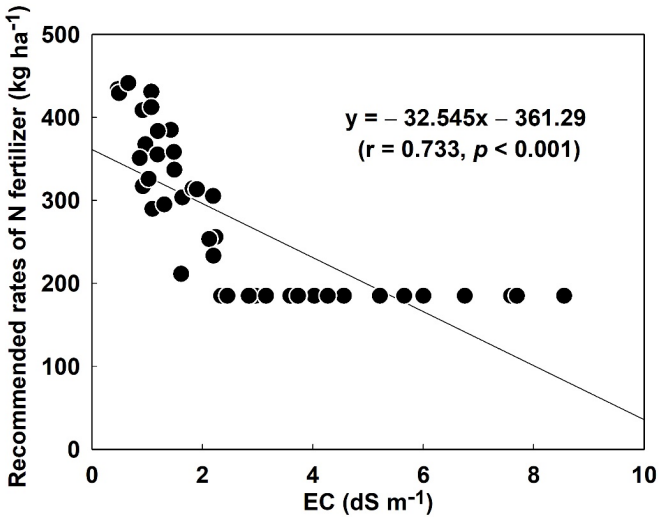


Fig. 5. Equation for estimating nitrogen fertilizer recommendation according to electrical conductivity values (EC) in 'Shiranuhi' mandarin cultivated soils of plastic film houses on Jeju Island.

Table 5. Recommended application rates of nitrogen (N) fertilizer according to the soil electrical conductivity (EC) levels depending on 'Shiranuhi' mandarin tree ages in the cultivated soils of plastic film houses on Jeju Island.

| Tree ages (years) | N recommendation equation† | EC (dS $m^{-1}$) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 4.0 |
| | | Recommended rates of N fertilizer (kg $ha^{-1}$) | | | |
| 1 - 5 | Y = - 1.6273X + 18.065 | 17.3 | 16.4 | 14.8 | 11.6 |
| 6 - 10 | Y = - 8.1363X + 90.323 | 86.3 | 82.2 | 74.1 | 57.8 |
| 11 - 15 | Y = - 16.273X + 180.65 | 173 | 164 | 148 | 116 |
| 16 - 20 | Y = - 24.409X + 270.97 | 259 | 247 | 222 | 173 |
| 21≤ | Y = - 32.545X + 361.29 | 345 | 329 | 296 | 231 |

†Y: Recommended rates of N fertilizer (kg $ha^{-1}$); X: Soil EC value.

## Conclusions

본 연구는 부지화 시설재배 토양의 염류집적 방지와 질소비료 사용량 추천모델을 개발하기 위하여 수행하였다. 제주도내에서 염류농도가 다양한 45개 지점에서 비료사용 실태, 토양 화학적 특성 및 수량을 조사하여 상호관계를 분석하였다. 토양 화학적 특성의 평균 함량은 pH와 유기물을 제외한 모든 성분이 적정범위보다 높았다. 비료 사용량은 평균 ha 당 질소 327 kg, 인산 294 kg, 칼리 236 kg으로 만감류 표준시비량보다 질소와 인산을 과다하게 사용하고 있었다. 수량은 비료사용량에 따라 차이가 없었으며, 토양 질산태질소와 교환성칼리는 비료사용량이 많을수록 높아지는 정의 상관이 나타났다. 토양화학성 간의 관계는 토양 EC와 교환성 칼리, 마그네슘 및 질산태질소는 정의 상관이 나타났다. 수량과 토양 화학성간에는 EC와 질산태질소가 부의 상관이 나타났다. 토양 EC는 질산태질소와 상관이 높고, 수량은 EC 및 질산태질소와의 상관이 높게 나타났다. 이러한 결과로부터 시설재배 토양의 질산태질소 함량은 EC에 크게 영향을 미치는 지표로 나타났다. 따라서 토양 EC에 따른 질소비료 사용량 추천식, Y = - 32.545X + 361.29 (Y:

질소비료 사용량 (kg $ha^{-1}$), X: 토양 EC 값 (dS $m^{-1}$))을 설정하였다. 개발된 질소비료사용량 추천식은 제주도 만감류 시설재배지에 질소비료사용량을 저감하고 적정 양분을 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

## Acknowledgement

This work was supported by the 2022 education, research, and student guidance grant funded by Jeju National University.

## References

Bae, J.H. 2021. The definitions of quartiles and the functions in statistics software. Chungnam J. Sci. 38(1):27-30.

Cho, J.M., S.U. Jo, D.H. Kim, J.S. Yang, and K.T. Baek. 2011. Electrokinetic restoration of saline soil accumulated with nitrate and sulfate. J. Soil Groundwater Environ. 16:18-23.

Hong, S.D. 1998. Fertilizer recommendation based on soil testing for tomato in plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 31(4):350-358.

Hong, S.D., B.G. Kang, and J.J. Kim. 1998. Optimum fertilization based on soil testing for chinese cabbage cultivation in plastic film house. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 31(1):16-24.

JSSGP. 2022. Agriculture and food products. p. 96, 99. Jeju Special Self-Governing Province, Seogwipo, Korea.

JSSGPARES. 2020. Study report on the research and development of agricultural science and technology. p. 739-741. Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research and Extension Services, Jeju, Korea.

Jung, B.G., J.W. Choi, E.S. Yun, J.H. Yoon, Y.H. Kim, and G.B. Jung. 1998. Chemical properties of the horticultural soils in the plastic film houses in Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 31(1):9-15.

Kang, S.S. and S.D. Hong. 2004. Estimation of optimum application rate of nitrogen fertilizer based on soil nitrate concentration for tomato cultivation in plastic film house. Korean J. Soil Sci. Fert. 37(2):74-82.

Lee, C.S., J.Y. Lee, Y.J. Lee, J.S. Shin, K.H. Han, and D.S. Kim. 1993. Fertility and rate of fertilizer application for orchard soils of apple and fear. Korean J. Soil Sci. Fert. 26(2):103-110.

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. 55:113-120.

Lim, T.J., J.M. Park, and S.E. Lee. 2018. Estimation of nitrogen fertilizer recommendations for cucumber by soil incorporation of rye based on soil nitrate nitrogen content. Korean J. Soil Sci. Fert. 51:189-196.

Lim, T.J., S.D. Hong, S.H. Kim, and J.M. Park. 2007. Recommendation of nitrogen fertilization for cucumber from relationship between soil nitrate nitrogen and yield. Korean J. Environ. Agric. 26(3):223-227.

Moon, K.H., H.C. Lim, and H.N. Hyun. 2007. Distribution of soil series in Jeju Island by proximity and altitude. Korean J. Soil Sci. Fert. 40:221-228.

Moon, Y.E., S.B. Kang, S.G. Han, Y.H. Kim, Y.H. Choi, S.C. Koh, and S. Oh. 2015. Effects of elevated spring temperatures on the growth and fruit quality of the mandarin hybrid ‘Shiranuhi’. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 33:459-469.

NAAS. 2010. Analysis methods for soil chemical properties. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.

NIAS. 2019. Fertilizer recommendation for crop production (4th ed.). National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju, Korea.

Park, B.K., 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, J.H. and J. Sung. 2021. Comparison of various EC sensors for monitoring soil temperature, water content, and EC, and Its relation to ion contents in agricultural soils. J. Soil Groundwater Environ. 26:157-164

Park, W.P. 2003. Effects of nitrogen deficiency on growth and nutrient uptake of (*C. unshiu* Marc. × *C. sinensis* Osb.) × *C. reticulata* Bla. M.S. Thesis, Jeju National University, Jeju, Korea.

Park, W.P. and H.J. Kang. 2019. Study on soil erosion and physical characteristics of Jeju volcanic ash soils under a rainfall simulator condition. Korean J. Soil Sci. Fert. 52:60-69.

Ryu, I.S., J.H. Yoon, and I.T. Kim. 1978. Rate and method of application for phosphorus and the effect of wollastonite on volcanic ash soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 11(1):25-30.

Shi, W.M., J. Yao, and F. Yan. 2009. Vegetable cultivation under greenhouse conditions leads to rapid accumulation of nutrients, acidification and salinity of soils and groundwater contamination in South-Eastern China. Nutr. Cycling Agroecosyst. 83:73-84.

Shoji, S., M. Nanzyo, and R.A. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils - genesis, properties and utilization. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

Yoo, S.H. and K.C. Song. 1984. Chemical characteristics of soils in Cheju Island: I. Variations in chemical characteristics with altitude. Korean J. Soil Sci. Fert. 17(1):1-6.