

Research Article



CrossMark

Open Access

## 배나무 엽 황화증상 발생 과원의 토양 및 엽 특성 분석

이인복<sup>1\*</sup>, 정대호<sup>2</sup>, 이평호<sup>1</sup>, 정승탁<sup>1</sup>, 김윤경<sup>3</sup>

<sup>1</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 원예특작환경과, <sup>2</sup>연암대학교 스마트원예학과, <sup>3</sup>농촌진흥청 국립원예특작과학원 기획조정과

### Analysis of Soil and Leaf Characteristics of Pear Orchards with Lime-Induced Chlorosis Leaves

In Bog Lee<sup>1\*</sup>, Dae Ho Jung<sup>2</sup>, Pyoung Ho Yi<sup>1</sup>, Seung Tak Jeong<sup>1</sup> and Yoon Kyeong Kim<sup>3</sup> (<sup>1</sup>Horticultural and Herbal Crop Environment Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea, <sup>2</sup>Division of Smart Horticulture, Yonam College, Cheonan 31005, Korea, <sup>3</sup>Planning and Coordination Division, National Institute of Horticultural and Herbal Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea)

Received: 24 November 2023/ Revised: 04 December 2023/ Accepted: 05 December 2023

Copyright © 2023 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

#### ORCID

In Bog Lee

<https://orcid.org/0000-0003-3305-1691>

Dae Ho Jung

<https://orcid.org/0000-0002-6483-8123>

Pyoung Ho Yi

<https://orcid.org/0000-0002-9444-3085>

Seung Tak Jeong

<https://orcid.org/0000-0003-1765-1355>

Yoon Kyeong Kim

<https://orcid.org/0000-0003-4376-488X>

#### Abstract

Physiological disorders in pear fruit are mainly caused by problems during the growing season, such as lack of calcium in the soil, poor drainage, low porosity, vigorous pruning, and excessive fruiting. In this study, soil physicochemical properties and leaf characteristics were analyzed in pear orchards in four regions of Korea where chlorosis symptoms occurred to determine the causes of chlorosis. The color of chlorotic leaves was diagnosed using the naked eye or SPAD and Hunter values. The soil of the chlorotic orchard had a significantly higher soil pH than that of the regular orchard. Although adequate soil depth was not significantly associated with chlorosis, combined with over-fertilization of the soil

with lime, it could potentially impair plant iron uptake. Chlorotic leaves had significantly lower iron and calcium contents and significantly higher magnesium contents than those of regular leaves. Therefore, the intensive occurrence of chlorosis during secondary shoot development around June and July when it is hot and humid may be due to impaired iron and calcium absorption, leading to physiological disorders. To solve this problem, avoiding the over-application of lime and applying foliar fertilizers containing chelated iron is recommended.

**Key words:** Calcium, Ca/Mg ratio, Fe deficiency, Physiological disorder

#### 서론

배는 우리나라에서 중요한 위치를 차지하고 있는 과수이며,

\*Corresponding author: In Bog Lee

Phone: +82-63-238-6340; Fax: +82-63-238-6305;

E-mail: imiblee@korea.kr

대만과 미국 등 해외로의 수출이 늘고 있는 과실이다[1]. 주요 수출 대상국은 고당도 및 고품질의 과실을 원하지만, 수송 과정 등에서 발생하는 생리장해로 인해 품질 관리에 주의가 필요하다[2]. 우리나라 배의 주요 품종인 '신고'는 수출 경쟁력이 큰 품종이나, 저장 기간 중 발생하는 바람들이 등 생리장해가 문제로 제기되어 원인을 구명하려는 여러 연구가 진행되었다[3]. 배 과실의 생리장해 원인은 주로 재배 기간 중에 발생하는 문제에 따른 것이며, 토양 중의 칼슘 부족이나 배수 불량, 낮은 공극률, 강전정, 과다 결실 등이 원인으로 지목되고 있다[4]. 특히 토양 중의 칼슘은 결핍 시 세포벽의 구조에 문제가 발생하며, 유부과와 갈변, 과육 흑변 등의 증상으로 이어진다[5]. 배 농가에서는 칼슘 결핍을 해결하기 위해 석회를 시비하여 문제를 해결하고 있다. 그러나 석회를 과다 시비할 경우 토양 산도 증가에 따른 미량원소 흡수 방해 또는 토양 양분불균형으로 인한 잎 생리장해 발생 우려가 있으나 그에 대한 연구는 미진한 상황이다.

토양과 식물체 내의 원소 함량을 분석하는 방법을 통해 다양한 작물의 양분 불균형 상태를 진단하고, 과원의 시비 계획을 수립하는 목적에 이용할 수 있다[6]. 철 결핍은 과수 작물의 생육을 저해 및 생산량을 감소시키고, 과원의 수명을 짧아지게 만드는 원인으로 지목되고 있다[7]. 철 결핍은 석회질이 많은 토양에서 주로 발생하며, 엽록소의 생성이 저하되어 황화증상을 나타내는 잎을 만든다[8,9]. 철과 망간, 마그네슘, 아연 등의 결핍 외에도 수분 스트레스와 병해충의 영향으로 작물의 잎에서 황화증상이 일어날 수 있다. 철은 토양의 산성도에 따라 용해도와 이동성이 달라지기 때문에, 석회질이 많아 pH가 높은 토양에서는 식물이 철을 흡수하기 어려워진다[10]. 국내에서는 채소류나 수도작을 수행하는 농민에 비해 과원을 경영하는 농민의 유기물 사용 비율이 높으며[11], 과도한 시비로 인한 염류 집적 토양이 만들어지는 문제가 있다. 염류 집적 토양은 양분 불균형과 환원장에 등을 일으키기 때문에 배 과원의 생산성 감소로 이어진다[12,13].

작물의 생육과 생산량에 영향을 미치는 요인으로는 토양의 물리적인 특성이 중요한 역할을 한다. 과원은 여러 농기계가 투입되기 때문에 토양 물리성이 악화되고 생산성이 감소할 가능성이 높다. 과원은 농기계에 의한 답압의 영향으로 불투수층이 만들어지며, 배수가 불량한 토양이 형성될 수 있다. 이에 본 연구에서는 장기간 기계 작업 등으로 인한 토양의 물리화학적 악화와 토양 화학성 불균형으로 잎 황화증상이 발생한 배 과원의 토양과 잎의 특성을 분석하여 황화증상의 원인을 구명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 배 과원 토양 및 엽시료 채취

전국 '신고' 배 재배 주산지인 나주, 영암, 익산, 신안 등 4개 지역 105농가를 대상으로 6-7월 중에 황화증상엽 발생 과원을 조사하였다(Fig. 1). 그 중 황화증상엽 발생이 전혀 없는 농가들과 황화증상엽 발생 현상이 뚜렷한 농가들을 대상으로

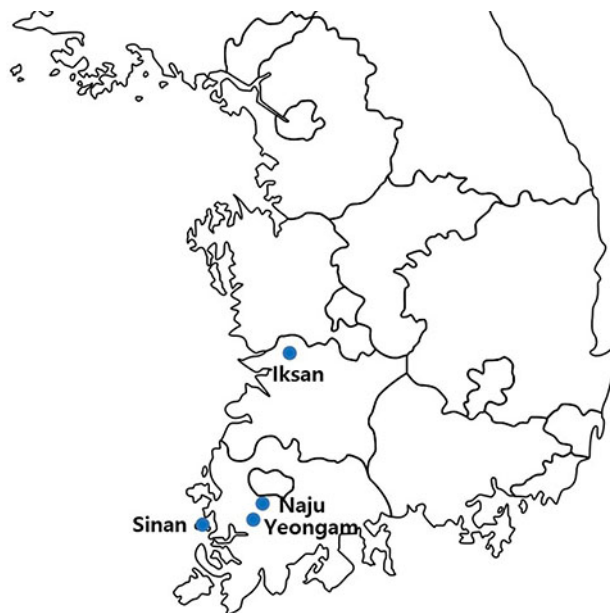


Fig. 1. Sampling sites of four pear orchards used in this experiment.

각각 15농가를 선정하여 표토 30 cm 깊이까지 오거를 이용하여 토양을 채취하였다. 엽의 황화증상 발생 유무에 따라 그룹별로 각 과원에서 채취한 엽 시료들은 색도 비교와 엽 내 양분 함량 분석에 사용하였다.

### 토양 및 잎 특성 분석

농촌진흥청의 농업과학기술 연구조사 분석기준(2012)에 따라 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 혼합하여 1시간 진탕 후 pH meter (ORION Model 720A, USA)로 측정하였고, 토양 EC는 1:5법으로 침출한 다음 전기전도계(TOA-DKK CM-30R, Japan)로 측정하였다. 토양 유기물은 Tyurin 법, KCl-추출성 질산태 질소는 Kjeldahl법, 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였다. 치환성 K, Ca, Mg는  $\text{NH}_4\text{OAc}$  (pH 7.0)용액으로 추출하였고, Fe, Mn, Cu, Zn과 같은 미량 원소는 0.005 M DTPA용액으로 침출 후 Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (GBC Integra XM2 model, Australia)로 각각 정량하였다.

엽의 엽록소 함량을 비교하기 위하여 SPAD 502 (Konica Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였고, 엽의 황색 정도와 명암의 차이 구별을 위하여 색차계(Konica Minolta CR-400, Japan)를 이용하여 Hunter L, a, b값을 측정하였다.

배나무 잎의 질소함량은 황산분해 후 Kjeldahl법으로 결정하였다. 식물체 P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu 및 Zn을 분석하기 위하여 Zhao 등[14]의 방법에 따라 1 g의 식물체에 25 ml 질산-과염소산 혼합산(85:15, v/v)을 가하고 60°C에서 3시간, 100°C에서 1시간, 120°C에서 1시간, 190°C에서 2시간 동안 분해하였다. 분해 후 20% HCl 5 ml를 가하고 80°C에서 30 분간 가온한 다음 증류수를 가하여 100 ml로 정용하여 인 함량은 Ammonium Vanadate법으로, 그리고 기타 양이온들은

ICP (GBC Integra XM2 model, Australia)로 정량하였다.

### 통계 분석

배나무 엽 황화증상 발생원인 분석을 위해 수집된 데이터는 R 통계프로그램(R ver. 4.0.3., New Zealand)을 이용하여 평균간 유의차를 95% 수준에서 Duncan's multiple range test와 T-test로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 배 엽의 색차 비교

배 과원의 엽 황화증상은 6·7월경 2차 신초 발달이 일어나는 시기에 집중적으로 발생하였다. 자료를 제시하지는 않았으나 조사한 전국 105개 농가의 32.4%인 34개 농가에서 엽 황화증상이 발견되었으며, 영암 지역에서 최대 61.1%로 황화증상이 심한 것으로 나타났다. 황화증상이 발생한 엽은 정상엽에 비해 노란색을 띄며, 엽맥 주위의 일부분에만 녹색이 남아 있어 육안으로 구분이 가능했다(Fig. 2). 엽색을 나타내는 지표인 SPAD 값을 측정한 결과 정상엽과 황화증상엽에서 유의한 차이를 확인할 수 있었다(Table 1). 먼저 황화증상엽의 SPAD

값은 Qingzhen 품종 배에서 철 결핍 시 20 수준으로 나타난 기존 결과와 일치하였다[15]. SPAD 값은 엽의 엽록소 함량과 비례 관계가 있어 철 결핍 증상을 진단하기 위한 용도로 널리 사용되지만[16], 스트레스 상태에 놓인 식물의 경우 보정이 필요하다는 단점이 있다[8]. 본 연구에서 조사한 과원의 경우에도 수분 스트레스를 비롯한 여러 요인들이 작용하기 때문에 진단에 SPAD 값만을 사용하는 것은 바람직하지 않다. 엽색을 나타내는 다른 지표인 Hunter L, a, b 값도 SPAD 값과 마찬가지로 정상엽과 황화증상엽 사이에서 밝기와 붉은색, 노란색 모두 유의한 차이가 발생하였다(Table 1). 그러나 엽색을 광학적으로 분석하는 방식은 황화증상이 발생하여 작물 생산에 피해가 일어난 이후에 들어서야 생리장해를 진단할 수 있기 때문에 작물체에 대한 화학적 분석이 필요하다[17].

### 정상엽 과원과 황화증상엽 과원 간 토양특성 비교

과원의 토양에 대한 화학성 분석 결과 정상엽 과원과 황화증상엽 과원 사이에는 pH와 미량원소인 망간 함량에서 유의한 차이가 나타났다(Table 2). 황화증상엽 과원의 토양은 pH가  $7.0 \pm 0.51$ 로 정상엽 과원의  $6.5 \pm 0.56$ 에 비해 높았다. 반면 황화증상엽 과원 토양의 철 함량은 정상엽 과원에 비해 소폭



Fig. 2. Comparison of leaf characteristics of pear between normal (upper) and chlorosis (lower) conditions.

Table 1. SPAD values and Hunter values of pear leaves under normal and chlorosis conditions

Leaf condition	SPAD	Hunter L <sup>†</sup>	Hunter a	Hunter b
Normal	45.7±2.27 <sup>‡</sup>	32.4±1.56	-8.5±2.14	10.0±2.14
Chlorosis	18.3±9.01	52.1±8.75	-14.4±3.75	32.6±5.48
Statistical analysis	***§	***	***	***

<sup>†</sup>L: value of lightness or darkness of color, 0 (black) to 100 (white); a: value of redness to greenness of color, -80 (green) to 80 (red); b: value of yellowness to blueness of color, -80 (blue) to 80 (yellow).

<sup>‡</sup>Each value represents the mean of 15 replications±standard deviation.

<sup>§</sup>n.s. denote not significant, and \*, \*\*, and \*\*\* indicate significant differences at levels of  $p < 0.05$ , 0.01, and 0.001, respectively.

Table 2. Soil chemical properties of pear orchards under normal and chlorosis conditions

Leaf condition	pH (1:5)	EC (dS m <sup>-1</sup> )	OM (g kg <sup>-1</sup> )	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )
Normal	6.5±0.56 <sup>‡</sup>	0.8±0.46	3.7±1.88	610.3±295.74
Chlorosis	7.0±0.51	0.6±0.26	3.2±1.03	567.0±257.30
Statistical analysis	*§	n.s.	n.s.	n.s.
Leaf condition	Exchangeable cation (cmol <sup>+</sup> kg <sup>-1</sup> )			
	K	Ca	Mg	Na
Normal	1.4±0.74	9.1±2.65	2.3±0.84	0.2±0.11
Chlorosis	1.0±0.49	9.6±2.80	2.0±0.60	0.1±0.09
Statistical analysis	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Leaf condition	DTPA extractable (mg kg <sup>-1</sup> )			
	Fe	Mn	Cu	Zn
Normal	64.0±23.57	25.0±15.32	4.5±2.95	17.7±10.27
Chlorosis	51.8±16.59	19.8±7.57	3.5±3.00	15.6±10.87
Statistical analysis	n.s.	*	n.s.	n.s.

<sup>‡</sup>Each value represents the mean of 15 replications±standard deviation.

§n.s. denote not significant, and \*, \*\*, and \*\*\* indicate significant differences at levels of  $p < 0.05$ , 0.01, and 0.001, respectively.

낮았으나 유의한 차이가 없었다. 그러나 석회화 다량 시용된 토양이나 석회질 토양과 같이 높은 pH를 나타내는 지역에서는 수산화철과 같은 불용성 철이 만들어지기 쉽다[18]. 따라서 토양의 철 함량이 높더라도 작물이 흡수 및 이용하기 어려운 형태로 존재하기 때문에 수체의 철 결핍 증상이 발생했을 가능성이 높다. 망간의 경우에도 황화증상 발생에 영향을 주지만 [19], 황화증상엽 과원의 토양 중 망간 함량은 19.8±7.57 mg kg<sup>-1</sup>로서 정상엽 과원의 25.0±15.32 mg kg<sup>-1</sup>과 비교할 때 황화증상 발생 여부를 결정할 정도의 차이는 아닌 것으로 판단하였다. 정상엽과 황화증상엽 간 엽 중 망간함량을 분석하여 비교한 결과, 처리 간 유의차는 인정되지 않았다. 배 과원 토양의 질산태 질소와 암모니아태 질소 함량의 경우에도 정상엽 과원과 황화증상엽 과원에서 유의한 차이가 없어 황화증상과 무관한 것으로 나타났다(Table 3).

배 과원의 유효토심이 비교한 결과 황화증상엽이 다수 발생한 과원에서는 고랑에서 유효토심이 유의하게 깊은 것으로 나타났으나 수관부는 유의한 차이가 없었다(Table 4). 수관부

에 비해 고랑에서 유효토심이 낮은 것은 약제 살포 등 작업을 위한 농기계 출입에 의한 답압의 효과이다. 유효토심은 작물의 생산성과 깊은 관계가 있으며, 유효토심이 깊을수록 작물의 수량이 증가하는 것이 다양한 작물에서 보고되었다[20]. 따라서 일반적인 배 과원의 토양은 수관부 주변에 웅덩이가 형성된 형태의 유효토심을 나타내며, 과다 시비와 강우량이 많은 조건에서 토양 내의 CaCO<sub>3</sub> 용해도가 증가한다[10,21]. 이에 따라 CaCO<sub>3</sub>로부터 다량 생성된 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 높은 pH 조건에서 철 환원 효소의 활성도를 감소시키며, 식물체 뿌리의 apoplast 흡수 경로에서 철의 흡수를 감소시킨다[18].

#### 정상엽과 황화증상엽 간 양분함량 비교

정상엽과 황화증상엽의 양분 함량 분석 결과 정상엽의 질소함량 2.48±0.138%와 비교하여 황화증상엽은 2.27±0.260% 수준으로 다소 낮게 나타났다(Table 5). 두 그룹 간 엽의 질소 함량 간 유의차가 있었으나, 두 그룹의 토양 중 암모니아태 질소와 질산태 질소 함량 간 뚜렷한 차이가 없었(Table 3), 비록

Table 3. Soil nitrogen contents of pear orchards under normal and chlorosis conditions

Leaf condition	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg kg <sup>-1</sup> )
Normal	10.6±5.55 <sup>‡</sup>	17.4±11.33
Chlorosis	12.2±6.51	13.7±9.23
Statistical analysis	n.s. <sup>§</sup>	n.s.

<sup>‡</sup>Each value represents the mean of 15 replications±standard deviation.

§n.s. denote not significant, and \*, \*\*, and \*\*\* indicate significant differences at levels of  $p < 0.05$ , 0.01, and 0.001, respectively.

Table 4. Effective soil depth of pear orchards under normal and chlorosis conditions

Leaf condition	Furrow (cm)	Ridge (cm)
Normal	20.4±7.13 <sup>‡</sup>	40.9±9.61
Chlorosis	26.4±12.66	44.5±7.93
Statistical analysis	*§	n.s.

<sup>‡</sup>Each value represents the mean of 15 replications±standard deviation.

§n.s. denote not significant, and \*, \*\*, and \*\*\* indicate significant differences at levels of  $p < 0.05$ , 0.01, and 0.001, respectively.

Table 5. Nutrient contents in pear leaves under normal and chlorosis conditions

Leaf condition	N(%)	P(%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Normal	2.48±0.138 <sup>‡</sup>	0.13±0.051	1.76±0.331	1.02±0.174	0.22±0.053
Chlorosis	2.27±0.260	0.19±0.049	2.03±0.673	0.74±0.225	0.29±0.054
Statistical analysis	**	**	n.s. <sup>§</sup>	***	**
Leaf condition	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	
Normal	58.29±12.79	122.07±67.80	5.99±2.84	32.61±11.20	
Chlorosis	38.65±9.72	114.75±87.56	9.74±4.21	28.93±7.19	
Statistical analysis	***	n.s.	*	n.s.	

<sup>‡</sup>Each value represents the mean of 15 replications ± standard deviation.

<sup>§</sup>n.s. denote not significant, and \*, \*\*, and \*\*\* indicate significant differences at levels of  $p < 0.05$ , 0.01, and 0.001, respectively.

품종은 다르나 ‘황금배’ 품종의 엽 내 적정 질소함량이 1.94-2.35%인 것[22]을 고려할 때 엽의 질소부족을 황화증상의 주요 원인으로 판단하기 어려운 점이 있었다. 황화증상엽의 철 함량은  $38.65 \pm 9.715 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 정상엽  $58.29 \pm 12.788 \text{ mg kg}^{-1}$ 에 비해 66.3% 수준이었다. 칼슘 함량 또한 황화증상엽에서  $0.74 \pm 0.225\%$ 로 정상엽에 비해 유의하게 낮았다. 이는 토양의 칼슘 함량이 필요 이상으로 높더라도 경쟁 이온과의 유효도 차이로 인해 식물이 흡수하는 칼슘이 부족해지기 때문이다 [5]. 반면, 황화증상엽에서 마그네슘 함량과 구리 함량은 각각  $0.29 \pm 0.054\%$ 와  $9.74 \pm 4.213 \text{ mg kg}^{-1}$ 로 정상엽에 비해 유의하게 높았다(Table 5). 이는 생리장해가 나타난 배에서 과피와 과육에 마그네슘 함량이 높게 나타난 결과와 유사하였다[5]. 정상엽과 황화증상엽 사이의 마그네슘과 칼슘 함량 차이는 흡수 시 제한된 결합 사이트에 대해 경쟁하는 길항 관계에 있기 때문에 발생하는 것으로 추정된다[23,24]. 이는 토양과 엽의 Ca/Mg 비율을 비교하였을 때 두드러지는 차이가 나타난다는

사실에서도 확인할 수 있다(Fig. 3). 토양의 Ca/Mg 비율은 황화증상이 일어난 과원에서 유의하게 높았으나, 반대로 잎의 Ca/Mg 비율은 황화증상엽에서 유의하게 낮게 나타나는 역전 현상이 일어났다. 따라서 고온 다습한 6-7월경 2차 신초 발달이 일어나는 시기에 집중적으로 황화증상이 발생하는 것은 철과 칼슘의 흡수 저해가 생리장해로 이어졌기 때문이다. 이를 해결하기 위해서는 석회와 과다 시비를 피하고, 철 성분을 함유한 비료를 엽면시비하거나 수관부 토양에 관주하는 방식을 택하는 것이 권장된다[10].

## 적 요

본 연구에서는 황화증상이 발생한 전국 4개 지역의 배 과원에서 토양 특성과 잎의 특성을 분석하여 황화증상의 원인을 구명하고자 하였다. 황화증상이 발생한 잎의 색은 육안 또는 SPAD와 Hunter 값을 통해 진단할 수 있었다. 황화증상이 발

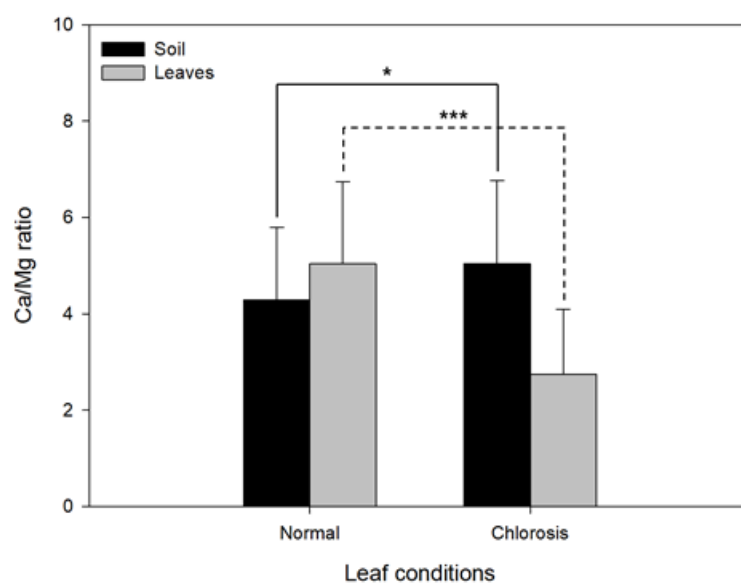


Fig. 3. Comparison of soil and leaves Ca/Mg ratio of pear orchards under normal and chlorosis conditions. \*, \*\*\* indicate significant differences at levels of  $p < 0.05$  and 0.001.



생한 과원의 토양은 정상 과원에 비해 토양의 pH가 유의하게 높았다. 유효토심은 황화증상과 큰 관계가 없었으나, 토양에 석회 등이 과다 시비되는 조건과 결합되어 식물체의 철 흡수를 저해할 가능성이 있다. 황화증상이 발생한 잎에서는 정상엽에 비해 철과 칼슘 함량이 유의하게 낮았고, 마그네슘 함량이 유의하게 높았다. 따라서 고온다습한 6-7월경 2차 신초 발달이 일어나는 시기에 집중적으로 황화증상이 발생하는 것은 철과 칼슘의 흡수 저해와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 이를 해결하기 위해서는 석회의 과다 시비를 피하고, 철 성분을 함유한 비료를 엽면시비하거나 수관부 토양에 관주하는 방식이 적합하다.

### Note

The authors declare no conflict of interest.

### Acknowledgment

This work was supported by the "Research Program for Agriculture Science & Technology Development (Project No. PJ01509504)" of the Rural Development Administration, Republic of Korea.

### References

1. Lee UY, Oh KS, Choi JH, Ahn YJ, Chun JP (2014) Changes of fruit quality and reduction of physiological disorders during shelf-life in early-season pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai) fruits treated with aminoethoxyvinylglycine. *Horticultural Science & Technology*, 32(2), 193-201.  
<https://doi.org/10.7235/hort.2014.13131>.
2. Lee UY, Hwang YS, Ahn YJ, Chun JP (2013) Comparison of fruit quality and occurrence of physiological disorders during storage and simulated marketing at different temperature conditions in 'Hanareum' pears. *Korean Journal of Agricultural Science*, 40(3), 191-196.  
<https://doi.org/10.7744/cnujas.2013.40.3.191>.
3. Cho JS, Kim WS, Lee SH (2010) Fruit quality characteristics and pithiness tissue occurrence with fruit gravities in 'Niitaka' pear fruit. *Horticultural Science & Technology*, 28(4), 545-551.
4. Shim HK, Seo JH, Moon SJ, Han CH, Matsumoto K, Hwang YS, Chun JP (2007) Cell wall characteristics of pithiness tissue in 'Niitaka' pears during storage. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 25(3), 223-229.
5. Kim IY, Chang T (2008) Effects of soil chemical properties in orchards on 'Niitaka' pear quality. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 27(3), 253-259.  
<https://doi.org/10.5338/KJEA.2008.27.3.253>.
6. Zho Y, Zhang F (2011) Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops. *Plant and Soil*, 339, 83-95.  
<https://doi.org/10.1007/s11104-010-0566-0>.
7. Álvarez-Fernández A, Melgar JC, Abadía J, Abadía A (2011) Effects of moderate and severe iron deficiency chlorosis on fruit yield, appearance and composition in pear (*Pyrus communis* L.) and peach (*Prunus persica* (L.) Batsch). *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 280-286.  
<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.012>.
8. Abadía J, Álvarez-Fernández A, Rombolà A, Sanz M, Tagliavini M, Abadía A (2004) Technologies for the diagnosis and remediation of Fe deficiency. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(7), 965-971.  
<https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408562>.
9. El-Jendoubi H, Igartua E, Abadía J, Abadía A (2012) Prognosis of iron chlorosis in pear (*Pyrus communis* L.) and peach (*Prunus persica* L. Batsch) trees using bud, flower and leaf mineral concentrations. *Plant and Soil*, 354, 121-139.  
<https://doi.org/10.1007/s11104-011-1049-7>.
10. Kassa A (2015) Lime-induced iron chlorosis in fruit trees. *Journal of Chemistry and Chemical Sciences*, 5(6), 293-302.
11. Cho HJ, Hwang SW, Han KH, Cho HR, Shin JH, Kim LY (2009) Physicochemical properties of upland soils under organic farming. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 42(2), 98-102.
12. Lee SB, Lee CH, Hong CO, Kim SY, Lee YB, Kim PJ (2009) Effect of organic residue incorporation on salt activity in greenhouse soil. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 28(4), 397-402.  
<https://doi.org/10.5338/KJEA.2009.28.4.397>.
13. Ramoliya PJ, Pandey AN (2002) Effect of increasing salt concentration on emergence, growth and survival of seedlings of *Salvadora oleoides* (Salvadoraceae). *Journal of Arid Environments*, 51(1), 121-132.  
<https://doi.org/10.1006/jare.2001.0908>.
14. Zhao F, McGrath SP, Crosland AR (1994) Comparison of three wet digestion methods for the determination of plant sulphur by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICPAES). *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 25 (3-4), 407-418.  
<https://doi.org/10.1080/00103629409369047>.
15. Liu J, Wang J, Wang Z, Li M, Liang C, Yang Y, Li

- D, Wang R (2022) Alleviation of iron deficiency in pear by ammonium nitrate and nitric oxide. *BMC Plant Biology*, 22(1), 434.  
<https://doi.org/10.1186/s12870-022-03826-z>.
16. Pestana M, Correia PJ, de Varennes A, Abadía J, Faria EA (2001) Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on a calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*, 24 (4-5), 613-622.  
<https://doi.org/10.1081/PLN-100103656>.
  17. Pestana M, de Varennes A, Faria EA (2003) Diagnosis and correction of iron chlorosis in fruit trees: A review. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 1, 46-51.
  18. Abadía J, Vázquez S, Rellán-Álvarez R, El-Jendoubi H, Abadía A, Álvarez-Fernández A, López-Millán AF (2011) Towards a knowledge-based correction of iron chlorosis. *Plant Physiology and Biochemistry*, 49(5), 471-482.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2011.01.026>.
  19. Yun SK, Kim JK, Kim SJ, Lee HJ (2003) Causes for Fe deficiency chlorosis in oriental pear (*Pyrus pyrifolia*) trees. *Journal of The Korean Society for Horticultural Science*, 44(2), 215-219.
  20. Zhang Y, Han K, Jung K, Cho H, Seo M, Sonn Y (2017) Study on the standards of proper effective rooting depth for upland crops. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*, 50(1), 21-30.  
<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2017.50.1.021>.
  21. Boxma R (1972) Bicarbonate as the most important soil factor in lime-induced chlorosis in the Netherlands. *Plant and Soil*, 37(2), 233-243.
  22. Rural Development Administration (2022) Standard fertilization for each crop, p. 280, 5th edition, Design Mirae, Korea. ISBN 978-89-480-7550-2 93520.
  23. Himelrick DG, McDuffie RF (1983) The calcium cycle: Uptake and distribution in apple trees. *HortScience*, 18, 147-151.  
<https://doi.org/10.21273/HORTSCI.18.2.147>.
  24. Sánchez-Alonso F, Lachica M (1987) Seasonal trends of calcium and iron fraction in sweet cherry leaves and their relationships. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 112(5), 801-803.  
<https://doi.org/10.21273/JASHS.112.5.801>.