

단감 과원 토양 Fe, Mn 함량 변화와 pH 분석을 통한 석회소요량 추천

이영한[†] · 최성태[†] · 이성태 · 홍광표 · 송원두 · 이진호¹ · 조주식^{2*}

경상남도농업기술원, ¹전북대학교 농업생명과학대학, ²순천대학교 생명환경과학부

Changes in Fe, and Mn Content and Lime Requirement Based on Soil pH Testing in Sweet Persimmon Fields

Young-Han Lee[†], Seong-Tae Choi[†], Seong-Tae Lee, Kang-Pyo Hong,
Won-Doo Song, Jin-Ho Lee¹, and Ju-Sik Cho^{2*}

Gyeongsangnam-do Agricultural Research and Extension Services, Jinju 660-370, Korea.

¹Department of Bioenvironmental Chemistry, College of Agricultural and Life Sciences,
Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea.

²Division of Applied Life and Environmental Sciences, Suncheon National University, Suncheon, 540-742, Korea.

Sweet persimmon yield can be limited by soil pH. This study was performed to rapidly determine the optimal level of lime requirement in sweet persimmon field. Soil chemical properties such as Fe, Mn, and Zn were analyzed soil samples of 31 sweet persimmon fields at Gyeongnam Province every two months from April to October in 2008. The available Fe, Mn, and Zn content were significantly high top soil (76.5 mg kg⁻¹ for Fe, 46.1 mg kg⁻¹ for Mn, and 16.9 mg kg⁻¹ for Zn, respectively), and subsoil (55.5 mg kg⁻¹ for Fe, 35.9 mg kg⁻¹ for Mn, and 12.3 mg kg⁻¹ for Zn, respectively) in April. Furthermore, the Mn content was significantly decreased since April compared to other micronutrients. We found a significant negative correlation between soil pH and lime requirement ($r=0.881$, $p \leq 0.001$ for top soil, and $r=0.855$, $p \leq 0.001$ for subsoil). We suggest that a conversion factor is -171 top soil pH + 1,148 to lime requirement (kg 10a⁻¹) for top soil, and -190 subsoil pH + 1,247 to lime requirement (kg 10a⁻¹) for subsoil in sweet persimmon fields. These results supported that the improvement of lime requirement by soil pH value is necessary to rapidly apply to field, and prevent micronutrients over uptake by persimmon plant.

Key words: Sweet persimmon, Lime requirement, Manganese content, Soil pH

서 언

단감 재배지의 토양 양분관리는 토양 pH, 유기물 함량, 유효인산, 치환성 양이온, 석회소요량 등을 고려하여 시비처방을 하고 있다 (NIAST, 2006). 단감 어린 엽은 Mn 1,790-1,200 $\mu\text{g g}^{-1}$, Fe 121-123 $\mu\text{g g}^{-1}$, Zn 13-14 $\mu\text{g g}^{-1}$ 을 함유하고 있으며 수확기 엽은 Mn 4,470 $\mu\text{g g}^{-1}$, Fe 190 $\mu\text{g g}^{-1}$, Zn 31 $\mu\text{g g}^{-1}$ 등의 미량성분을 흡수하고 있다 (Clark and Smith, 1990b). 단감 과육의 총 흡수량은 다른 미량성분에 비해 Fe 79 g ha⁻¹, Mn 678 g ha⁻¹로 높은 수준이다 (Clark and Smith, 1990a). 경남의 단감 재배지 대부분은 경사도가 높아 여름철 집중강우 등으로

토양이 산성화되기 쉬운 조건이다 (Jung et al., 1993; Jung et al., 2005; Jung et al., 2007; Lee et al., 2006). 토양이 산성화되면 Fe, Mn 등의 미량성분이 과잉 용출되어 단감 녹반병 등의 생리장애로 인한 품질저하와 수량감소를 유발하므로 토양개량제 사용이 필수적이다 (Farhoodi and Coventry, 2008; Munns and Fox, 1977). Bekel and Hudnall (2006)은 대초원 삼림지역에서 토양 pH는 토양 Fe와 Mn 함량과 고도의 부의상관을 보였고 Fe가 Mn 보다 높은 부의상관 관계를 나타낸다고 하였다. 토양에서 미량성분의 적정수준은 Fe 50-250 mg kg⁻¹, Mn 20-300 mg kg⁻¹, Zn 20-100 mg kg⁻¹ 이며 Fe는 과잉이 되어도 독성이 없으나 Mn은 300 mg kg⁻¹, Zn은 400 mg kg⁻¹ 이상이 되면 작물에 독성이 나타나는 것으로 알려져 있다 (APS, 1993). 일반적으로 석회소요량은 산성토양 20 cm 깊이까지 토양을 분석하여 작물생장에 적합한 pH나 치환성 AI를 중화하는데 요구되는 탄산

접수 : 2010. 9. 20 수리 : 2010. 10. 1

*연락처 : Phone: +82617503297

E-mail: chojs@sunchon.ac.kr

[†] 공동 제 1저자

석회소요량으로 환산하고 있다 (Evans and Kamprath, 1970; Farina and Channon, 1991; Lukin and Epplin, 2003; McLean, 1970; Viscarry Rossel and Mcbratney, 2000; Ryu et al., 1974). 현재 석회소요량을 분석하는 방법은 Soil-lime incubation법, soil-base 적정법, soil-buffer equilibration법, 치환성 산성도, 토양 pH, 토양 특정 성분에 근거한 산출법 등이 활용되고 있다 (SSSA, 1996). 우리나라에서는 Park et al. (1968)이 실험실에서 석회소요량을 측정할 결과 Shoemaker법이 합리적이고 현장에서 간이 검정법으로 사용되는 ORD법도 효과적이라고 하였으나 Joo et al. (1988)은 강원도 토양에서는 SMP-double buffer법이 비교적 적합하다고 평가하였다. 석회소요량은 토양 pH와 Ca 함량 뿐만 아니라 CEC, 식물 독성 원소인 Al, Fe, Mn의 중화, 유해 중금속의 감소와 관련이 있으며 (McLean, 1971) pH 완충력의 중화량과 토양에 흡착되는 양을 포함한다 (Kim et al., 2004).

석회는 화학비료와 함께 사용할 수 없고 보통 화학비료 사용 1주일 전에 사용을 하도록 권장하고 있다. 그러나 농가에서 토양 ORD분석을 통한 석회 요구량을 산출할 경우 1주일 정도의 시간이 소요되므로 단감 재배지 토양관리를 하는데 애로사항으로 대두되고 있다. 따라서 체계적인 시비처방을 위해서는 농가현장에서 석회소요량을 신속하게 산출할 수 있는 방법이 필요하다. 본 시험은 경남 단감 재배지 31개소의 Fe, Mn 및 Zn 함량을 분석하고 석회소요량을 신속하게 분석할 수 있는 모델을 제시코자 수행하였다.

재료 및 방법

단감 재배지 선정 및 시료채취 방법 경남지역 단감 산학연 협력단 참여 농가의 토양 미량성분 변동을 시기적으로 조사하고 석회소요량을 산출하기 위하여 2008년에 토양 유형, 지형 및 토성 (RDA, 1983)과 지역별 분포면적 비율을 기준으로 창원 7, 마산 1, 진주 6, 사천 3, 김해 5, 밀양 2, 함안 2, 창녕 1, 하동 3, 산청 1 등 31개 지점을 선정하였고 4월부터 10월까지 2개월 단위로 4회 조사하였다. 분석에 사용된 토양 시료는 표토 (0-20 cm)와 심토 (20-40 cm)로 구분하여 500 g 정도를 3반복으로 채취하였다.

토양 시료조제 및 분석방법 채취한 토양은 실험실에서 7일간 풍건하여 2 mm 체를 통과된 것을 분석에 사용하였다. 화학성분 분석은 농촌진흥청 농업과학기술원 토양화학분석법 (NIAST, 1988)을 적용하여 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 추출하여 초자전극법 (Orion

520A pH meter, Orion Research Inc., Boston, USA)으로 측정하였다. 가용성 Fe, Mn 및 Zn 함량은 건토 10 g을 100 ml 삼각플라스크에 넣어 DTPA 침출액 (100 mM Trietanolamine, 5 mM Diethylene triamine pentaacetic acid, 10 mM calcium chloride dehydrate, pH 7.3) 20 ml를 가하여 180 rpm으로 2시간 진탕하여 No. 2 여지로 여과하여 ICP (Optima 5300DV, PerkinElmer, Norwalk, USA)로 분석하였다. 석회 요구량은 ORD 간이분석법을 이용하여 10a당 pH 중화에 필요한 탄산석회소요량으로 환산하였다

다변량 주성분 분석 및 통계분석 분석된 토양 화학성은 SAS 프로그램 9.1.3 버전 (2006)을 사용하였다. 시기별 토양 Fe, Mn 및 Zn 함량은 5% 수준에서 LSD 검정을 하였으며 분석된 화학성분 간의 상관관계를 분석하였다. 또한, 토양 화학성분의 주성분 분석을 통하여 시기별 토양 pH, Fe, Mn 및 Zn 함량 변화를 비교 검토하였다.

결과 및 고찰

가용성 Fe, Mn 및 Zn 함량 변화 경남지역 단감 재배지 31개소의 가용성 Fe, Mn 및 Zn 함량은 Table 1과 같다. 표토의 가용성 Fe, Mn 및 Zn 함량은 조사시기와 관계없이 심토에 비해 높았다 (Lee et al., 1993). 또한, 가용성 미량성분 함량은 4월 표토에서 Fe 76.5 mg kg⁻¹, Mn 46.1 mg kg⁻¹, Zn 16.9 mg kg⁻¹ 이었고 심토는 Fe 55.5 mg kg⁻¹, Mn 35.9 mg kg⁻¹, Zn 12.3 mg kg⁻¹으로 다른 시기에 비해 높았다. 특히 Mn 함량은 4월 이후 지속적으로 감소되어 10월에는 표토 17.6 mg kg⁻¹, 심토 16.8 mg kg⁻¹의 함량을 나타냈다. 이러한 경향은 단감 과수의 특성상 Mn 함량을 많이 흡수하기 때문인 것으로 생각된다 (Clark and Smith, 1990a and 1990b; Ha et al, 1982; Mochida et al, 2008). 조사시기 전체의 표토 무기성분 함량과 심토의 무기성분과의 관계는 Fig. 1과 같다. 심토의 미량성분 함량은 표토에 비해 각각 Fe는 0.73배 ($r=0.818$, $p\leq 0.001$), Mn은 0.84배 ($r=0.798$, $p\leq 0.001$), Zn은 0.45배 ($r=0.690$, $p\leq 0.001$)로 유의적인 감소를 보였다. 특히 미량성분 중에서 Zn 함량은 심토에서 가용성 함량이 급격히 낮아진 반면, Mn은 가용성 비율이 높아 심토에서도 높은 함량을 유지하였다. 토양의 유효 Mn은 pH 6.0 이상에서 치환성 및 수용성 Mn은 pH 5.6 이상 일 때 현저히 감소하고 pH가 낮아질수록 Mn 함량은 증가한다 (Yoon et al., 1992). 따라서 토양이 산성화 될 경우 단감 뿌리가 많이 분포하고 있

Table 1. Changes in Fe, Mn, and Zn content of top soil and subsoil for sweet persimmon cultivation (n=31).

Sampling month		Top soil			Subsoil		
		Fe	Mn	Zn	Fe	Mn	Zn
Apr.	Min.	13.7	10.6	9.0	9.9	9.5	8.9
	Max.	171.0	99.2	37.3	162.0	105.2	25.0
	Ave.	76.5	46.1	16.9	55.5	35.9	12.3
Jun.	Min.	10.2	10.3	0.7	3.3	7.5	0.1
	Max.	123.6	128.6	64.2	100.5	124.1	23.2
	Ave.	51.1	40.4	10.4	39.3	32.7	3.6
Aug.	Min.	9.0	7.0	0.1	3.6	2.2	0.1
	Max.	129.1	70.3	38.1	96.4	83.3	9.6
	Ave.	44.8	27.8	6.9	34.9	25.9	2.7
Oct.	Min.	6.0	4.2	0.1	3.9	1.4	0.1
	Max.	209.8	53.2	31.1	114.3	69.9	14.3
	Ave.	55.5	17.6	5.7	40.4	16.8	3.0
LSD (p<0.05) †		19.49	9.99	4.84	16.85	11.43	1.84

† Values within a column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD (Least significant difference).

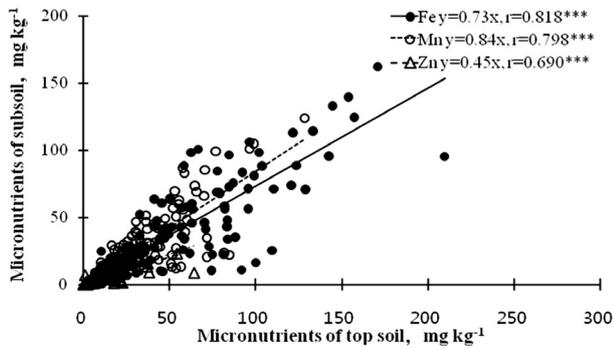


Fig. 1. A correlation coefficient of micronutrients between subsoils, and top soil for sweet persimmon cultivation (n=124). A significant values reported as *p≤0.001.**

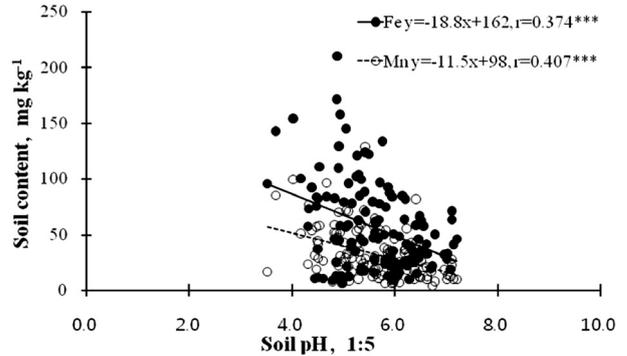


Fig. 2. A correlation coefficient between micronutrients, and pH in top soil for sweet persimmon cultivation (n=124). A significant values reported as *p≤0.001.**

는 심토에서 Mn 함량 과잉에 의한 단감 녹반과 발생이 증가될 것으로 우려되었다.

토양 pH 및 미량성분 상관관계 조사시기 전체의 표토 pH와 Fe 및 Mn의 상관관계는 Fig. 2와 같다. 표토의 pH가 높아짐에 따라 Fe 함량은 $y = -18.8x + 162$ ($r = 0.374, p \leq 0.001$), Mn 함량은 $y = -11.5x + 98$ ($r = 0.407, p \leq 0.001$)의 고도로 유의성있는 부의상관을 나타냈다. 그러나 심토의 경우 pH와 Fe 및 Mn의 상관관계가 없었다 (Fig. 3). 이러한 경향은 Bekele and Hudnall (2006)이 표토의 pH와 미량성분의 상관관계는 고도의 유의적인 부의상관을 나타낸다는 결과와 일치하였다. Gupta et al. (2008)은 Fe 함량 결핍에 민감한 작물은 보리, 콩, 잔디, 수수, 사탕 무 등이 있고 Mn 함량 결핍에 민감한 작물은 콩, 귀리, 감자, 수수 등이 있으며 Zn 함량 결핍에 민감한 작물은 콩, 꽃양배추, 옥수수, 수수 등이 있다고 하였다. 그러나 경남 지역 단감 재배지 토양은 Ha et al. (1982)이 보고한 바

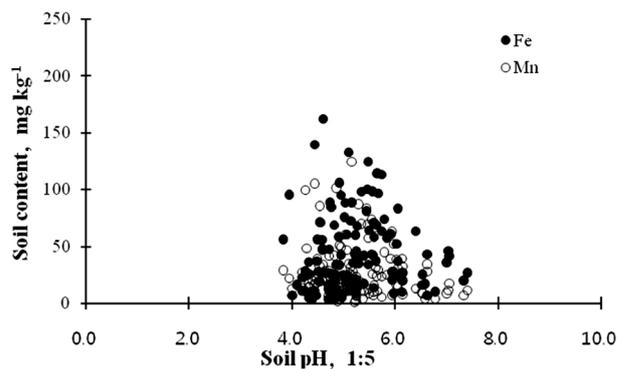


Fig. 3. A correlation coefficient between micronutrients, and pH in subsoil for sweet persimmon cultivation (n=124).

와 같이 토양 pH가 표토는 5.44–6.15, 심토는 5.26–5.86 범위로서 산성화 되어 있기 때문에 미량성분의 결핍증상은 크게 문제가 없는 것으로 판단되었다. 그러나 토양이 산성화 됨으로써 미량성분 과잉용출로 인한 독성이 우려

되었다. 일반적으로 가용성 Fe는 토양에서 빠르게 불용성 Fe 화합물로 전환되기 때문에 Fe 독성에 대한 피해는 일어나지 않는다 (Martens and Westermann, 1991). 또한, 대부분의 작물은 과잉의 토양 Zn 함량에 대하여 내성을 가지고 있는데 밀에 대하여 Zn 함량을 300 mg kg⁻¹ 까지 사용해도 수량감소가 없었으며 1,000 mg kg⁻¹ 사용하면 40%의 수량감소가 있었다 (Dudka et al., 1994). 반면, Mn의 독성은 강산성 토양에서 자주 발생되며 (Gupta, 1972) 작물별 독성이 일어나는 수준은 400-7,000 mg kg⁻¹ 정도이다 (Gupta et al., 2008). 표토의 Fe 함량은 Mn 함량 ($y=0.28x+17, r=0.492, p\leq 0.001$) 및 Zn 함량 ($y=0.09x+5, r=0.327, p\leq 0.001$)과 고도의 정의상관을 나타냈다 (Fig. 4). 또한, 심토의 경우도 Fig. 5와 같이 표토와 유사한 경향을 보였다. 그리고 Mn과 Zn 함량도 Fig. 6과 같이 표토 ($y=0.16x+5, r=0.337, p\leq 0.001$) 및 심토 ($y=0.08x+3, r=0.332, p\leq 0.001$) 모두 정의상관을 나타냈다. 이러한 결과를 통하여 토양 pH 등에 따른 영향으로 미량성분의 용출이 비슷하게 증가된다는 것을 알 수 있었다.

석회소요량 산출 및 주성분 분석 토양 pH에 따른 표토와 심토의 석회소요량 산출식은 Fig. 7과 같다.

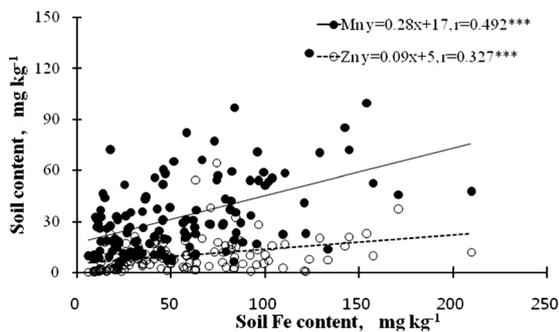


Fig. 4. A correlation coefficient between micronutrients, and Fe in top soil for sweet persimmon cultivation ($n=124$). A significant values reported as $***p\leq 0.001$.

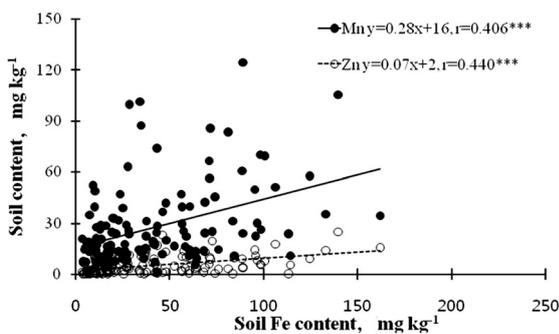


Fig. 5. A correlation coefficient between micronutrients, and Fe in subsoil for sweet persimmon cultivation ($n=124$). A significant values reported as $***p\leq 0.001$.

단위면적당 석회소요량 ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)은 표토의 pH와 고도로 유의적인 부의상관 ($y=-171x+1,148, r=0.881, p\leq 0.001$)을 나타냈으며 심토의 pH도 고도로 유의적인 부의상관 ($y=-190x+1,247, r=0.855, p\leq 0.001$)을 보였다. 현재 농림수산식품부에서도 토양 pH를 6.5의 값으로 올리는데 필요한 토양개량제를 공급하고 있으며 (MIFAFF, 2009) 많은 연구자들도 토양 pH를 분석함으로 석회소요량을 산출할 수 있다고 보고하였다 (Adams and Evans, 1962; Mehlich, 1976; Ssali and Nuwamanya, 1981; Tran and van Lierop, 1982). 따라서 경남지역 단감 재배지의 토양 pH를 현장에서 분석하여 본 연구결과에서 얻어진 산출식을 적용함으로 석회소요량을 신속하게 산출할 수 있을 것으로 판단되었다. 단감 재배지 토양의 조사시기별 미량성분의 주성분 분석결과는 Fig. 8과 같다. 토양 화학분야에서 주성분 분석은 다양한 토양 화학성의 특성 변화를 쉽게 설명하고 예측하는데 유용하다 (Choi et al., 2010; Lee et al., 2010a; Lee et al., 2010b). 조사시기별 단감 재배지 표토와 심토의 미량성분 주성분 분석결과 고유값이 1.0 이상인 주성분은 2개였고 제 1 주성분 (PC1)에 속하는 미량성분은 Fe (0.601)와 Mn

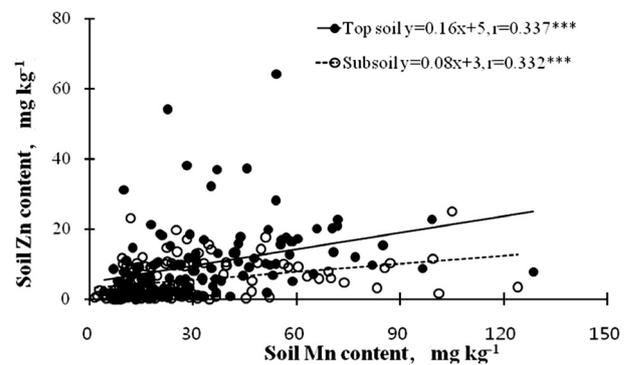


Fig. 6. A correlation coefficient between Zn, and Mn in soil for sweet persimmon cultivation ($n=124$). A significant values reported as $***p\leq 0.001$.

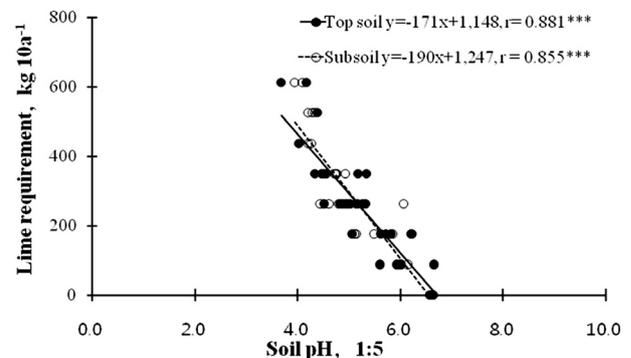


Fig. 7. A correlation coefficient between lime requirement, and pH in top soil, and subsoil for sweet persimmon cultivation at April ($n=31$). A significant values reported as $***p\leq 0.001$.

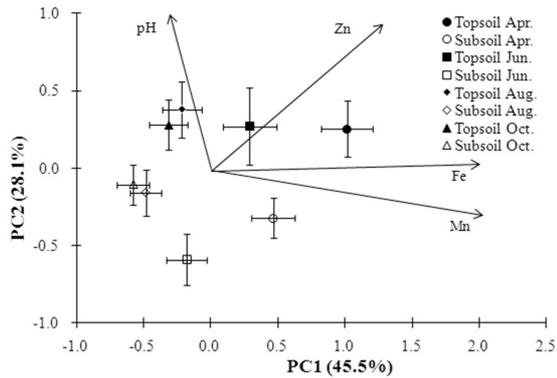


Fig. 8. Principal components analyses of pH, and micro-nutrients from top soil, and subsoil for sweet persimmon cultivation. The variance explained by the each principal component (PC) axis is shown in parentheses. Bars present standard error ($n=31$).

(0.596) 등 2개였고 제 2 주성분 (PC2)에 속하는 성분은 pH (0.835) 및 Zn (0.528) 등 2개였다. 단감 재배지 미량성분의 특성은 제 1주성분이 45.5%, 제 2주성분이 28.1%로서 전체 73.6%의 자료를 설명할 수 있는 것으로 나타났다. 특히, PC1에서 표토의 8월, 10월과 심토의 6월 이후 값이 부의 값을 나타내어 Fe와 Mn의 함량이 감소됨을 알 수 있었다. 또한, PC2에서 표토는 정의 값을 나타낸 반면, 심토는 부의 값을 보여 조사시기와 관계없이 pH와 Zn 함량의 차이가 큰 것으로 나타났다.

요 약

경남지역 단감 재배지 31개소의 토양 미량성분 변화를 조사하여 기초자료로 활용하고 농가현장에서 pH 분석 값을 적용하여 석회소요량을 신속하게 산출할 수 있는 계산식을 구하였다. 가용성 미량성분 함량의 변화는 4월이 표토에서 Fe 76.5 mg kg^{-1} , Mn 46.1 mg kg^{-1} , Zn 16.9 mg kg^{-1} 이었고 심토는 Fe 55.5 mg kg^{-1} , Mn 35.9 mg kg^{-1} , Zn 12.3 mg kg^{-1} 으로 가장 높았으며 Mn 함량은 4월 이후 지속적으로 감소되었다. 표토의 pH가 높아짐에 따라 Fe 함량은 $y = -18.8x + 162$ ($r = 0.374$, $p \leq 0.001$), Mn 함량은 $y = -11.5x + 98$ ($r = 0.407$, $p \leq 0.001$)의 고도로 유의적인 부의상관을 나타냈다. 단위면적당 석회소요량 ($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)은 표토의 pH와 $y = -171x + 1,148$ ($r = 0.881$, $p \leq 0.001$), 심토의 pH는 $y = -190x + 1,247$ ($r = 0.855$, $p \leq 0.001$)의 고도로 유의적인 부의상관을 보였다. 따라서 이러한 산술식을 이용할 경우 농가현장에서 석회소요량을 신속하게 산출하여 토양개량제를 시용할 수 있으며 pH로 인한 양분 불균형을 해소할 수 있는 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업 (과제번호: PJ005 416201003)의 지원에 의해 이루어진 것임.

인용문헌

- Adams, F. and C.E. Evans. 1962. A rapid method for measuring lime requirement of Red-Yellow Podzolic soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26:355-357.
- APS (American Phytopathological Society). 1993. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS. St. Paul, USA. p. 6.
- Bekele, A. and W.H. Hudnall. 2006. Spatial variability of soil chemical properties of a prairie-forest transition in Louisiana. *Plant soil* 280:7-21.
- Choi, M.T., J.I. Lee, Y.U. Yun, J.E. Lee, B.C. Lee, E.S. Yang, and Y.H. Lee. 2010. Characteristics of fertility on strawberry cultivated soil of plastic film house in Chungnam Province in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:160-165.
- Clark, C.J. and G.S. Smith. 1990a. Seasonal changed in the composition, distribution and accumulation of mineral nutrients in persimmon fruit. *Sci. Hortic.* 42:99-111.
- Clark, C.J. and G.S. Smith. 1990b. Seasonal changed in the mineral nutrient content of persimmon leaves. *Sci. Hortic.* 42:85-97.
- Dudka, S., M. Piotrowska, and A. Chlopecka. 1994. Effect of elevated concentrations of Cd and Zn in soil or spring wheat yield and the metal content of the plants. *Water Air Soil Pollut.* 76:333-341.
- Evans, C.E. and E.J. Kamprath. 1970. Lime response as related to percent Al saturation, solution Al, and organic matter content. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:893-896.
- Farhoodi, A. and D.R. Coventry. 2008. Field crop responses to lime in the mid-north region of South Australis. *Field Crop Res.* 108:45-53.
- Farina, M.P.W. and P. Channon. 1991. A field comparison of lime requirement indices for maize. *Plant Soil* 134:127-135.
- Gupta, U.C. 1972. Effects of manganese and lime on yield and on the concentration of manganese, molybdenum, boron, copper and iron in the boot stage tissue of barley. *Soil Sci.* 114:131-136.
- Gupta, U.C., W. Kening, and L. Siyuan. 2008. Micronutrients in soils, crops, and livestock. *Earth Science Frontiers.* 15:110-125.
- Ha, H.S., D.B. Park, and J.S. Heo. 1982. Studies on the nutritional diagnosis of the soil and the plant leaves in sweet persimmon cultivation area of Jinyoung. *J. Korean*

- Soc. Soil Sci. Fert. 15:258-269.
- Joo, J.H., S.K. Ha, M.H. Um, and H.S. Lim. 1988. Evaluation of methods for determining lime requirement of soils. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 21:280-283.
- Jung, K.H., Y.K. Sonn, S.Y. Hong, S.O. Hur, and S.K. Ha. 2005. Assessment of national soil loss and potential erosion area using the digital detailed soil maps. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 38:59-65.
- Jung, K.H., S.O. Hur, S.G. Ha, C.W. Park, and H.H. Lee. 2007. Runoff pattern in upland soils with various soil texture and slope at torrential rainfall events. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:208-213.
- Jung, Y.T., E.S. Yun, J.K. Kim, I.S. Son, J.D. So, and Y.K. Jo. 1993. Establishment of soil suitability classification system for sweet persimmon in Yeongnam area. *RDA J. Agric. Sci. Soil Fert.* 35:245-251.
- Kim, Y.H., J.H. Yoon, B.G. Jung, Y.S. Zhang, and H.K. Kwak. 2004. pH buffer capacity and lime requirement of Korean acid soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:378-382.
- 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 pear. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 26:103-110.
- Lee, H.H., S.K. Ha, S.O. Hur, K.H. Jung, W.T. Kim, and K.H. Kim. 2006. Characteristics of runoff and percolation on sloping land with different soil textures. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39:268-273.
- Lee, Y.H., S.T. Lee, J.Y. Heo, M.G. Kim, K.P. Hong, E.S. Kim, W.D. Song, C.W. Rho, J.H. Lee, W.T. Jeon, B.G. Ko, K.A. Roh, and S.K. Ha. 2010a. Monitoring of heavy metal contents from paddy soil in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:289-295.
- Lee, Y.H., S.T. Lee, J.Y. Heo, M.G. Kim, K.P. Hong, W.D. Song, C.W. Rho, J.H. Lee, W.T. Jeon, B.G. Ko, K.A. Roh, and S.K. Ha. 2010b. Monitoring of chemical properties from paddy soil in Gyeongnam Province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:140-146.
- Lukin, V.V. and F.M. Epplin. 2003. Optimal frequency and quantity of agricultural lime applications. *Agr. Syst.* 76:949-967.
- Martens, D.C. and D.T. Westermann. 1991. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: Mortvedt, J.J., F.R. Cox, L.M. Schuman, et al. (eds.), *Micronutrients in agriculture*, SSSA book series No. 4, 2nd ed. Madison, USA. pp. 549-592.
- McLean, E.O. 1970. Lime requirements of soils-inactive toxic substances or favorable pH range? *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34:363-364.
- McLean, E.O. 1971. Potentially beneficial effects from liming: Chemical and physical. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla.* 31:189-196.
- Mehlich, A. 1976. New buffer pH method for rapid estimation of exchangeable acidity and lime requirements of soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 7:253-263.
- MIFAFF (Ministry for Food Agriculture, Forestry and Fisheries). 2009. Supporting project of soil amendment. Gwacheon, Korea.
- Mochida, K., T. Kurahashi, Y. Togano, and H. Itamura. 2008. Effects of Mn application into soil and adjustment of soil pH on the prevention of on-tree fruit softening in Japanese persimmon 'Saijo'. *Hort. Res. (Japan)* 7:33-38.
- Munns, D.N. and R.L. Fox. 1977. Comparative lime requirements of tropical and temperate legumes. *Plant Soil* 46:533-548.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2006. Fertilizer recommendation for crops. NIAST, RDA, Suwon, Korea.
- Park, C.S., J.K. Lee, Y.C. Lee, and J.H. Lee. 1968. Studies on the laboratory test of lime requirement. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 1:117-123.
- RDA (Rural development administration). 1983. Soil in Korea. RDA, Suwon, Korea.
- RDA (Rural development administration). 1988. Methods of soil chemical analysis - soil, plant, soil microorganisms. Suwon, Korea.
- Ryu, I.S., S.J. Cho, and C.S. Yuk. 1974. A study on determination of the lime requirement based on exchangeable aluminum content. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 7:185-191.
- SAS Institute. 2006. SAS Version 9.1.3. SAS Inst., Cary, NC.
- Ssali, H. and J.K. Nuwamanya. 1981. Buffer pH methods for estimation of lime requirement of tropical acid soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 12:643-659.
- SSSA (Soil Science Society of America). 1996. Methods of soil analysis (Part 3, Chemical methods). SSSA. Madison, USA. pp. 491-515.
- Tran, T.S. and W. van Lierop. 1982. Lime requirement determination for attaining pH 5.5 and 6.2 of coarse textured soils using buffer-pH methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:1008-1014.
- Viscarra Rossel, R.A. and A.B. McBratney. 2000. A two-factor empirical deterministic response surface calibration model for site-specific predictions of lime requirement. *Precis. Agric.* 2:163-178.
- Yoon, E.S., Y.T. Jung, J.K. Kim, and I.S. Son. 1992. Characteristics of Mn and occurrence of green spot by parent material of soil of sweet persimmon orchard in Yeongnam region. *Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 48 conference p. 18.