Distribution of Water-Soluble Nutrients and Physico-Chemical Properties of Upland and Orchard Field Soils in Jeonbuk Province

Byung-Koo Ahn^{1*}, Do-Young Ko¹, Hyo-Jung Choi¹, and Hyong-Gwon Chon²¹Researcher, Agricultural Environment Division, Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea²Senior Researcher, Agricultural Environment Division, Jeollabuk-Do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 54591, Korea*Corresponding author: ahnbk61@korea.kr

ABSTRACT

Received: August 7, 2020

Revised: August 24, 2020

Accepted: September 1, 2020

ORCID

Byung-Koo Ahn

<https://orcid.org/0000-0002-6922-9714>

This study was carried out to investigate the physico-chemical properties and water-soluble nutrients content in 160 samples of upland and 120 samples of orchard in Jeonbuk province. The mean depths of horizon A of the upland and orchard soils were 24.2 ± 4.2 cm and 27.8 ± 5.9 cm, respectively. Soil pH, EC, and organic matter contents were within the optimal range for upland and orchard soils, but available phosphate and exchangeable K, Ca, and Mg were higher than the optimal range; e.g., available phosphate concentrations were higher than the optimal range by 52.8% for the upland and 61.7% for the orchard. Water-soluble Mg^{2+} , Cl^- , and SO_4^{2-} were higher in upland than orchard soils, and K^+ , Ca^{2+} , NO_3^- , and PO_4^{3-} showed an opposite pattern. These results provide fundamental information of the properties of upland and orchard soils in Jeonbuk province for better management of soil fertility.

Keywords: Orchard soil, Physico-chemical property, Upland, Water-soluble nutrient

Correlation coefficient between water-soluble nutrients and soil chemical properties of uplands in Jeonbuk province.

Chemical property	Water-soluble nutrients						
	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
pH	0.020	$0.413^{**\dagger}$	0.332^{**}	-0.012	-0.173*	0.108	-0.269**
EC	0.633^{**}	0.086	0.175^*	0.694^{**}	0.831^{**}	0.016	0.577^{**}
OM	0.554^{**}	0.313^{**}	0.041	0.211^{**}	0.335^{**}	0.291^{**}	0.230^{**}
Avail. P_2O_5	0.516^{**}	0.228^{**}	0.048	0.296^{**}	0.393^{**}	0.281^{**}	0.163*
Exch. K	0.893^{**}	0.154^*	0.194^{**}	0.684^{**}	0.614^{**}	0.149^*	0.472^{**}
Exch. Ca	0.455^{**}	0.100	0.150^*	0.548^{**}	0.897^{**}	0.018	0.590^{**}
Exch. Mg	0.498^{**}	0.048	0.256^{**}	0.562^{**}	0.836^{**}	-0.013	0.545^{**}

[†]A significant values reported as $^{**}p \leq 0.01$, $^*p \leq 0.05$.

Introduction

지속 가능한 영농을 실천하고 효율적인 농경지 양분 이용과 생산성을 보장하기 위해서는 농경지 토양에 대한 과학적인 조사와 평가가 이루어져야 한다. 농경지 토양관리를 위해 물리성과 화학성을 측정하는 것은 토양비옥도 뿐만 아니라 양분 공급과 토양완충력 등을 평가하는데 중요한 요소이다 (Ahn et al., 2012).

작물은 양분을 토양용액에서 이온형태로 흡수하기 때문에 토양 중에 양이온과 음이온을 적절하게 조절해 주는 것이 중요하다. 식물양분으로 공급되는 토양 중 대표적인 양이온은 K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 등이며, 음이온은 Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} 등이다. 이들은 식물에 의해 영양분으로 이용되는데, 양이온의 경우 점토입자와 부식에 흡착되어 손실이 크지 않지만, 음이온은 흡착되는 양이 많지 않아 지하수로 유입되어 손실되기 쉽다.

일부 이온들의 역할과 행동을 살펴보면 토양용액 중 K^+ 은 작물체내에서 수분유지, 세포의 팽압, 기공 개폐에 직접 관여하는 필수원소이므로 토양용액내 K^+ 농도를 관리하여 영양장애를 관리하는 것이 필요하다. 토양용액중 K^+ 함량이 낮을 경우 작물생육에 영향을 미치고, 반면에 높을 경우 다른 이온들과 길항작용에 의한 장애가 나타날 수 있다 (Lee et al., 2017). 인산이온 (PO_4^{3-})의 경우 산성토양에서는 철과 알루미늄이온과 결합하고, 알칼리성 토양에서는 칼슘이온과 결합하여 불용화되어 식물이 이용할 수 없게 되어 토양비옥도를 감소시키게 된다 (Paul and Clark, 1989; Lee et al., 2012a). 즉 비료로 공급된 인산질비료의 70~75%는 불용화되고, 토양에 집적되어 작물생육을 저해하는 원인이 된다. 염류가 많은 토양의 경우 토양용액에 수용성 이온함량이 높아 교환성 양이온을 기준으로 토양비옥도를 정확히 평가하기 어려운 측면이 있다. 따라서 정확한 토양비옥도를 측정하기 위해서는 토양중 수용성 양이온량을 제거하고 교환성 양이온만을 측정해야 한다 (Menzies and Bell, 1988; So et al., 2006; Lee et al., 2012b)고 하였다.

즉 작물 생육은 이온 함량에 따라 큰 영향을 받으므로 토양 중 이온 농도를 측정하여 작물생육에 미치는 영향을 평가하는 것이 더 효율적일 수 있다. 토양중 이온의 농도를 증가시키기 위해 비료사용을 통해 작물의 양분결핍을 방지할 수 있으므로 농경지에 적절한 비료사용을 위해 토양 중 이온 농도를 측정하는 것이 중요하다. 일반 토양화학성 분석방법은 분석항목에 따라 침출 용액을 사용하여 전처리한 후 측정이 이루어지지만 (Shin et al., 2009), 측정된 화학성분만으로 작물영양을 진단하기에는 무리가 따를 수 있다. 따라서 작물 재배기간 동안 영양진단을 하기 위해 토양 중 수용성 양분함량에 대한 자료가 필요하다.

따라서 본 연구는 전북지역에 분포하고 있는 밭과 과수원 토양을 대상으로 화학적 특성과 수용성 양분함량을 조사하여 이들의 관계를 구명하여 농경지 토양의 효율적 관리 방안을 마련하고자 수행되었다.

Materials and Methods

시험재료 및 시료채취 전북지역에 분포하고 있는 밭과 과수원 토양 특성과 수용성양분 분포상태를 조사하기 위해 시군별 밭 면적과 과수 종류에 따라 밭 160지점과 과수원 120지점을 선정하여 수행하였다. 토양물리성은 조사 지점 가운데 각각 40지점을 선정하여 조사하였다. 밭에서 재배되고 있는 작물은 31종이었고, 대표작물은 고추 26.9%, 옥수수 9.4%, 고구마, 참깨, 콩이 각각 4.4% 이었다. 과수원의 경우 사과가 29.3%, 배 24.1%, 복숭아 23.3%, 포도 12.1%, 감 11.2% 이었다. 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 2000)에 따라 밀거름 사용전에 토양시료를 채취하여 조제한 다음 분석에 사용하였다.

토양분석 채취된 시료는 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (RDA, 2000)과 토양화학분석법 (RDA, 2010)에 따라 분석하였다. 물리성 중 A층 깊이와 경도는 표토를 5 cm 정도 걷어내고 현장에서 조사하였고, 나머지 성분은 Core를 이용하여 채취한 토양을 실험실로 옮겨 조사하였다. 토성은 비중계법으로 입자밀도를 조사하고, 판정은 미국농무부 분류기준에 준하였다 (Gee and Bauder, 1986).

토양 pH와 EC는 토양과 증류수를 1:5 (w/v)로 혼합하여 30분간 진탕 후 pH meter (Orion3 star, Thermo Scientific, Singapore)와 EC meter (Orion star A212, Thermo Scientific, Singapore)로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 측정하였다. 교환성 K, Ca, Mg, Na은 1 N ammonium acetate로 침출한 후 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Integra Dual, GBC, Australia)를 이용하여 측정하였다.

수용성 양분은 Ahn et al. (2007)의 방법에 따라 토양 대비 초순수 5배를 넣고 200 rpm으로 실온에서 12시간 진탕한 다음 membrane filter (0.22 μ m)로 여과하여 양이온은 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer, Integra Dual, GBC, Australia), 음이온은 IC (Ion chromatography, Dionex, ICS1500)로 분석하였다.

Results and Discussion

밭과 과수원 토양의 물리적 특성 전북지역에 분포하고 있는 밭과 과수원 토양의 물리성을 조사한 결과는 Table 1에서 보는 바와 같다. 밭 토양의 A층 깊이는 24.2 ± 4.2 cm, 과수원 토양은 27.8 ± 5.9 cm를 보였고, 용적밀도는 과수원 토양이 높았다. 공극률은 밭 토양의 경우 57.1%, 과수원 토양은 58.9%로 용적밀도와 반대로 나타났다. 이는 조사 지점간 용적밀도와 공극률 차이가 크게 나타난 결과로 보인다. 토성은 표에 제시하지 않았지만 물리성조사 지점을 분석한 결과, 전북지역 밭 토양의 경우 사양토 32.0%, 미사질양토 30.0%, 양토 20.0%, 미사질식양토 8.0%, 식양토 7.0%, 미사질식토 3.0% 수준으로 분포하였고, 과수원 토양의 경우 사양토 35.0%, 양토 30.0%, 미사질양토 17.5%, 식양토와 미사질식양토가 각각 7.5%, 사질식양토 2.5% 수준으로 분포하였다.

밭과 과수원 토양의 화학적 특성 밭 토양과 과수원 토양의 화학성은 Table 2에서 보는 바와 같이 조사한 지점의 평균과 표준편차를 표시하였다. 토양 pH와 EC는 농촌진흥청에서 제시하는 적정범위에 있었지만, Fig. 1에서 보면 밭 토양 pH의 적정범위에 속하는 비율은 44.7% 이었고, pH 6.0 이하가 40.4%를 차지하고 있었고, 과수원 토양의 경우 (Fig. 2) 적정 pH를 보인 지점은 44.2%이었고, 적정범위 보다 낮은 지점은 13.3%이었고, 높은 지점은 42.5%를 차지하고 있었다. 따라서 밭 토양의 경우 pH를 개선할 수 있는 비료사용처방이 필요하고, 반대로 과수원은 석회질비료를 적용 사용하는 기술지도가 필요한 것으로 나타났다.

Table 1. Soil physical properties of uplands and orchard fields in Jeonbuk province.

Field	A horizon cm	Bulk density Mg m ⁻³	Three phases			Hardness mm
			Solid	Liquid	Gaseous	
			----- (%) -----			
Upland	$24.2 \pm 4.2^{\dagger}$	0.93 ± 0.12	42.9 ± 4.6	15.6 ± 3.6	41.6 ± 5.4	7.5 ± 2.8
Orchard	27.8 ± 5.9	1.09 ± 0.14	41.1 ± 5.4	27.5 ± 8.1	31.4 ± 8.1	13.7 ± 4.2

[†] Average $\pm$ standard deviation.

유기물 함량은 밭 토양의 경우 적정범위에 분포하고 있었지만, Fig. 1에서 보는 바와 같이 부족한 곳이 43.5%를 차지하였고, 과수원 토양은 적정범위 보다 높은 것으로 나타났고 부족 비율은 20.8% (Fig. 2)를 보여 밭 토양보다 양호한 편이었다. 밭과 과수원 토양 모두 유효인산은 적정범위보다 높게 나타났다. 과잉 비율은 밭 토양에서는 52.8% (Fig. 1), 과수원에서는 61.7% (Fig. 2)로 나타나 인산질비료의 적절한 사용이 필요한 것으로 나타났다.

밭과 과수원 토양에서 교환성 양이온 함량은 적정범위 보다 높은 수준이었고 (Table 2), Fig. 1과 2에서 보는 바와 같이 교환성 K과 Ca 함량은 절반 이상이 과잉으로 나타났고, 교환성 Mg 함량이 과다한 곳도 밭에서 45.2%와 과수원에서 49.2%로 나타났다. 또한 밭 토양에서 교환성 Ca 함량은 36.6%, 과수원 토양에서 Ca 함량은 37.5%, Mg 함량은 35.0%가 부족한 것으로 나타나 작물흡수와 용탈에 의한 손실을 신속히 보충할 필요가 있다.

Table 2. Soil chemical properties of uplands and orchard fields in Jeonbuk province.

Field	pH	EC	OM	Avail. P_2O_5	Exch. cations			
					K	Ca	Mg	Na
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	(cmol _c kg ⁻¹)			
Upland	6.2 ± 0.7 [†]	1.34 ± 1.31	28 ± 17	629 ± 403	1.17 ± 0.95	7.0 ± 2.7	2.6 ± 1.2	0.16 ± 0.16
Orchard	6.8 ± 0.7	0.73 ± 0.53	32 ± 15	809 ± 546	1.12 ± 0.83	7.1 ± 3.3	2.3 ± 1.3	0.09 ± 0.10
Optimal range	6.0~7.0	2 ≥	20~30	300~550	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	-

[†] Average ± standard deviation.

Fig. 1. Distribution of selected soil chemical properties of upland fields in Jeonbuk Province (n=160).

Fig. 2. Distribution of selected soil chemical properties of orchard fields in Jeonbuk Province (n=120).

토양 중 수용성 양분 함량 작물과 과수가 양분을 이용할 수 있는 양을 파악하고, 토양중 화학성분 함량과 관계를 평가하기 위해 조사한 토양 중 수용성 이온은 조사지점 간에 편차가 크게 나타났지만, 수용성 Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} 은 밭 토양에서 높았고, 다른 수용성 이온은 과수원 토양에서 높았다 (Table 3). 토양 중 수용성 Cl^- 와 NO_3^- 을 제외하고 밭과 과수원 토양에 분포 농도는 비슷한 수준이었다.

밭 토양에서 수용성 이온함량과 교환성 화학성분간의 상관관계를 보면 수용성 양이온 가운데 K^+ 은 토양 pH를 제외하고 모두 고도의 정의 관계 ($p \leq 0.01$)를 보였고, 수용성 Ca^{2+} 은 토양 pH, 유기물 함량, 유효인산과 고도의 정의 관계 ($p \leq 0.01$)를 보였다 (Table 4). 하지만 수용성 Mg^{2+} 은 유기물 함량과 유효인산을 제외하고 정의 관계 ($p \leq 0.05$)를 보였다. 수용성 음이온 가운데 NO_3^- 과 SO_4^{2-} 은 토양 pH와 부의 관계를 보였지만, 나머지는 고도의 정의 관계 ($p \leq 0.01$)를 보였다. Cl^- 은 pH를 제외하고 고도의 정의 관계 ($p \leq 0.01$)를 보였고, PO_4^{3-} 은 유기물, 유효인산, 교환성 K과 정의 관계 ($p \leq 0.01, 0.05$)를 보였다. Lee et al. (2004)은 산성조건의 산림토양에서 토양 pH와 수용성 SO_4^{2-} 이 고도의 정의 상관성을 보였고, 유기탄소와 부의 관계였다고 하였지만, 본 연구의 밭 토양에서는 pH와 부의 정의 상관, 유기물 함량과는 정의 상관성을 보여 상반된 결과를 보였다. 또한 산림토양에서 수용성 SO_4^{2-} 이 CEC와 고도의 상관성을 보인 것처럼 본 연구에서도 CEC의 구성원인 교환성 K, Ca, Mg과 고도의 상관성을 보여, 양이온들이 수용성 이온을 흡착할 수 있는 요인으로 작용 (Courchesne, 1992)한다고 할 수 있다.

과수원 토양의 수용성 K^+ 함량은 밭 토양과 달리 pH와 부의 상관관계를 보였지만 나머지 화학성분과는 고도의 정의 상관관계 ($p \leq 0.01$)를 나타냈다 (Table 5). 수용성 Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 함량은 모든 화학성분과 정의 상관관계 ($p \leq 0.01, 0.05$)를 보였고, Cl^- 은 EC, 교환성 Mg과 고도의 정의 상관관계를 ($p \leq 0.01$) 나타냈다. 한편 NO_3^- 와 PO_4^{3-} 은 pH를 제외하고 정의 상관관계 ($p \leq 0.01, 0.05$)를 보였고, SO_4^{2-} 은 EC와 고도의 정의 상관관계 ($p \leq 0.01$)를 보였다. 또한

Table 3. Water-soluble nutrient contents of uplands and orchard field soils in Jeonbuk province.

Field	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
	(mg kg ⁻¹)						
Upland	82.1 ± 92.1 [†]	94.6 ± 95.5	34.0 ± 37.1	39.5 ± 44.7	258.1 ± 348.4	28.5 ± 31.5	83.2 ± 88.6
Orchard	118.7 ± 82.1	106.8 ± 85.3	29.3 ± 17.5	17.1 ± 40.2	143.4 ± 189.7	39.4 ± 63.8	76.8 ± 233.1

[†] Average ± standard deviation.

Table 4. Correlation coefficient between water-soluble nutrients and soil chemical properties of uplands in Jeonbuk province.

Chemical property	Water-soluble nutrients						
	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
pH	0.020	0.413** [†]	0.332**	-0.012	-0.173*	0.108	-0.269**
EC	0.633**	0.086	0.175*	0.694**	0.831**	0.016	0.577**
OM	0.554**	0.313**	0.041	0.211**	0.335**	0.291**	0.230**
Avail. P ₂ O ₅	0.516**	0.228**	0.048	0.296**	0.393**	0.281**	0.163*
Exch. K	0.893**	0.154*	0.194**	0.684**	0.614**	0.149*	0.472**
Exch. Ca	0.455**	0.100	0.150*	0.548**	0.897**	0.018	0.590**
Exch. Mg	0.498**	0.048	0.256**	0.562**	0.836**	-0.013	0.545**

[†] A significant values reported as ** $p \leq 0.01$, * $p \leq 0.05$.

Table 5. Correlation coefficient between water-soluble nutrients and soil chemical properties of orchard fields in Jeonbuk province.

Chemical property	Water-soluble nutrients						
	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
pH	-0.132	0.279** [†]	0.223*	0.032	-0.149	-0.131	-0.014
EC	0.455**	0.524**	0.544**	0.520**	0.704**	0.218*	0.563**
OM	0.534**	0.397**	0.416**	-0.082	0.303**	0.432**	-0.010
Avail. P ₂ O ₅	0.618**	0.308**	0.261**	-0.042	0.314**	0.702**	-0.034
Exch. K	0.879**	0.260**	0.455**	-0.027	0.274**	0.619**	-0.024
Exch. Ca	0.337**	0.763**	0.543**	0.062	0.216*	0.196*	0.049
Exch. Mg	0.416**	0.441**	0.753**	0.231**	0.286**	0.294**	0.156

[†] A significant values reported as ** $p \leq 0.01$, * $p \leq 0.05$.

Buykx et al. (2004)에 따르면 토양에서 음이온을 동시에 추출하기 위해 물과 H₃PO₄, NaOH를 사용하여 추출하였을 때 용매에 따라 황산이온과 염소이온 농도가 큰 차이를 보였다고 하여 식물이 흡수할 수 있는 음이온량 평가가 추출방법에 따라 달라질 수 있어 수용성 이온 외에 다양한 형태로 추출한 이온과 토양화학성 간의 관계를 조사할 필요가 있다 (Kim and Choi, 2009).

밭과 과수원 토양에서 수용성 이온과 화학성분간에 고도의 상관관계를 보이는 경향이 K⁺과 NO₃⁻을 제외하고 다르게 나타나 수용성 이온과 토양화학성분 간의 관계를 이해하기 위해 좀 더 다양한 농경지를 대상으로한 연구가 필요한 것으로 나타났다.

Conclusion

밭과 과수원 토양의 효율적 관리하기 위해 밭 160지점, 과수원 120지점을 선정하여 물리화학성과 수용성이온 함량을 비교 조사하였다. 밭과 과수원 토양의 A층 깊이는 각각 24.2 ± 4.2 cm와 27.8 ± 5.9 cm였다. 토양 pH, EC, 유기물 함량은 적정범위 내에 분포하였지만, 유효인산, 교환성 K, Ca, Mg 함량은 적정범위보다 높았다. 유효인산의 과다비율이 밭의 경우 52.8%였고, 과수원은 61.7%를 차지하였다. 수용성 Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻ 함량은 밭 토양에서 높았고, K⁺, Ca²⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻ 함량은 과수원 토양에서 높았다. 본 연구 결과는 전북지역 밭 토양과 과수원 토양 양분관리에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Acknowledgement

This research was supported by Rural Development Administration (Project No. PJ012505162020), Republic of Korea.

References

- Ahn, B.K., D.H. Kim, and J.H. Lee. 2007. Post harvest cropping impacts on soil properties in continuous watermelon (*Citrullus lanatus* Thunb.) cultivation plots. Korean J. Soil Sci. Fert. 40:98-107.

- Ahn, B.K., J.H. Lee, K.C. Kim, H.G. Kim, S.S. Jeong, H.W. Jeon, and Y.S. Zhang. 2012. Changes in chemical properties of paddy field soil as influenced by regional topography in Jeonbuk province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:393-398.
- Buykx, S.E., M.A. van den Hoop, and P. de Joode. 2004. Simultaneous extraction of bromide, chloride, fluoride and sulfate from soils, waste- and building materials. *J. Environ. Monit.* 6:552-558.
- Courchesne, F. 1992. Relationships between soil chemical properties and sulfate sorption kinetics in podzolic soils from Quebec. *Can. J. Soil Sci.* 72:467-480.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. In Klute A. (2nd ed.). *Methods of soil analysis. Part I* pp. 383-411, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
- Kim, H.C. and I.W. Choi. 2009. Temperature effects on ion leaching from soils. *J. Korean Soc. Environ. Anal.* 12:283-288.
- Lee, D.B., Y.J. Lee, S.B. Lee, and J.K. Sung. 2017. *Cultivation, the harmony of soil and nutrition*. RDA Interobang, 194. RDA.
- Lee, K.K., I.K. Mok, M.H. Lee, H.J. Kim, and D.Y. Chung. 2012a. Mechanisms of phosphate solubilization by PSB (Phosphate-solubilizing bacteria) in soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:169-176.
- Lee, S.W., G.S. Park, C.H. Lee, and E.Y. Kim. 2004. Physicochemical properties of forest soils related to sulfate adsorption. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 37:371-377.
- Lee, Y.J., H.B. Yun, R.Y. Kim, J.S. Lee, Y.S. Song, J.K. Sung, and J.E. Yang. 2012b. Determination of exchangeable cations in soils affected by different types of salt accumulation. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 45:135-142.
- Menzies, N.W. and L.C. Bell. 1988. Evaluation of the influence of sample preparation and extraction technique on soil solution composition. *Aust. J. Soil Res.* 26:451-464.
- Paul, E.A. and F.E. Clark. 1989. *Soil microbiology and biochemistry*. Academic press, New York, USA.
- RDA (Rural Development Administration). 2000. *Methods of soil and plant analysis*. RDA, National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- RDA (Rural Development Administration). 2010. *Method of soil chemical analysis*. RDA, National Academy of Agricultural Science, Suwon, Korea.
- Shin, K.S., W.J. Lim, S.E. Lee, J.S. Lee, and G.S. Cha. 2009. Development of extracting solution for soil chemical analysis suitable to interated ion-selective micro-electrodes. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 42:513-521.
- So, H.B., N.W. Menzies, R. Bigwood, and P.M. Kopittke. 2006. Examination into the accuracy of exchangeable cation measurement in saline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 37:1819-1832.