

## Assessing Soil Fertility Status of Edible Wild Plants Fields in Ulleung Island

Sang-Jo Park\*, Jun-Hong Park, Byung-Sung Kim, Yun-Hak Chung<sup>1</sup>, Dong-Jun Lee<sup>1</sup>, Oh-Heun Kwon, So-Deuk Park, and Suk-Hee Lee

Gyeongsangbuk-do Agricultural Research and Extension Services, Daegu 41404, Korea

<sup>1</sup>Ulleung-gun Agriculture Technology Center, Gyeongbuk 40232, Korea

(Received: April 12 2016, Revised: August 26 2016, Accepted: August 26 2016)

The perennial edible wild plants such as *Aster glehnii*, *Solidago virgaurea* subsp. *gigantea*, *Allium ochotense*, *Athyrium acutipinnulum*, *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* and *Codonopsis lanceolata* have cultivated as the main income crops introduced into the fields about 30 years ago in Ulleung island. Soil samples were collected from 190 fields and assessed the effects of management practices on soil chemical properties at wild edible plant fields under no-till system. The strong acidic soils of pH 5.4 or less were detected in 45% of the soil samples. The level of soil organic matter was being held at mean  $63 \pm 28 \text{ g kg}^{-1}$ , 2.7 times higher than upland soils in Korea. Available phosphate and exchangeable potassium showed more than recommended levels of upland crops as  $680 \pm 489 \text{ mg kg}^{-1}$  and  $1.94 \pm 1.7 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , respectively. The fields of *Solidago* and *Aster* showing strong soil acidity and high level of available phosphate and water soluble  $\text{NO}_3^-$  were distinguished from other crops in analysis of variance and principal component analysis of soil chemicals. These results suggested that high frequency of acidic soil and high levels of available  $\text{P}_2\text{O}_5$ , exchangeable  $\text{K}_2\text{O}$  and water soluble  $\text{NO}_3^-$  were accompanied with the use of urea and NPK-fertilizer based on nitrogen in the field. However, further research is needed to understand the appropriate management of fertilization and the prevention of soil acidification for wild edible plants.

**Key words:** Edible wild plant, *Aster glehnii*, *Codonopsis lanceolata*, *Athyrium acutipinnulum*, *Solidago virgaurea* subsp. *gigantea*, *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus*, *Allium ochotense*, Soil chemicals

### Comparison of the soil chemical properties from edible wild plants fields in Ulleung island.

Variable	<i>Aster glehnii</i> (n=54)	<i>Codonopsis lanceolata</i> (n=32)	<i>Athyrium acutipinnulum</i> (n=33)	<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>gigantea</i> (n=27)	<i>Aruncus dioicus</i> var. <i>kamtschaticus</i> (n=21)	<i>Allium ochotense</i> (n=23)	F-value	Pr > F
pH <sub>w</sub> (1:5)	5.34±0.9 <sup>bc†</sup>	5.7±0.7 <sup>ab</sup>	5.56±0.9 <sup>abc</sup>	5.14±0.9 <sup>c</sup>	5.62±0.9 <sup>ab</sup>	5.91±0.7 <sup>a</sup>	3.19	0.0088
OM (g kg <sup>-1</sup> )	59.5±27.2	67.6±27.2	69.2±33.2	55.5±21.1	60.1±23.9	69.1±33.8	1.29	0.2714
Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	973±515 <sup>a</sup>	497±412 <sup>c</sup>	620±407 <sup>bc</sup>	793±488 <sup>ab</sup>	418±281 <sup>c</sup>	444±420 <sup>c</sup>	9.03	<0.0001
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1.85±1.41	1.81±1.72	2.22±2.08	1.42±0.67	2.14±2.10	2.32±2.06	1.05	0.3920
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	9.1±6.4 <sup>a</sup>	5.7±4.0 <sup>b</sup>	6.5±3.9 <sup>b</sup>	5.9±3.8 <sup>b</sup>	6.4±4.2 <sup>b</sup>	6.1±4.5 <sup>b</sup>	3.00	0.0124
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3.1±2.1 <sup>a</sup>	2.1±2.1 <sup>b</sup>	2.1±1.7 <sup>b</sup>	2.0±1.4 <sup>b</sup>	2.7±2.0 <sup>ab</sup>	2.0±1.4 <sup>b</sup>	2.68	0.0229
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.21±0.11	0.27±0.23	0.28±0.31	0.22±0.11	0.27±0.16	0.26±0.18	0.90	0.4842
CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	21.5±6.6 <sup>a</sup>	18.1±5.7 <sup>b</sup>	20.1±4.4 <sup>ab</sup>	19.2±4.7 <sup>ab</sup>	18.6±4.8 <sup>ab</sup>	19.7±4.4 <sup>ab</sup>	2.03	0.0765
EC (dS m <sup>-1</sup> )	1.0±0.5 <sup>b</sup>	0.6±0.4 <sup>b</sup>	0.9±0.7 <sup>b</sup>	1.4±0.8 <sup>a</sup>	0.7±0.6 <sup>b</sup>	0.7±0.7 <sup>b</sup>	5.37	0.0001
Cl <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	21±17 <sup>b</sup>	14±13 <sup>b</sup>	17±20 <sup>b</sup>	40±41 <sup>a</sup>	16±21 <sup>b</sup>	17±15 <sup>b</sup>	5.29	0.0001
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	303±209 <sup>b</sup>	179±204 <sup>b</sup>	288±358 <sup>b</sup>	461±435 <sup>a</sup>	212±263 <sup>b</sup>	204±345 <sup>b</sup>	3.25	0.0078
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	73±87 <sup>b</sup>	58±69 <sup>b</sup>	63±58 <sup>b</sup>	120±94 <sup>a</sup>	70±137 <sup>b</sup>	51±51 <sup>b</sup>	2.27	0.0497
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	100±80 <sup>a</sup>	42±56 <sup>b</sup>	55±62 <sup>b</sup>	53±74 <sup>b</sup>	28±38 <sup>b</sup>	43±139 <sup>b</sup>	4.06	0.0016

<sup>†</sup>Within each variable, means followed by the same letter are not differ significantly at  $p < 0.05$  (DMRT).

## Introduction

울릉도의 토양은 여러 번의 화산활동으로 형성되었으며 (Kim and Lee, 2008), 조면암, 응회암, 유문암 (부석) 그리고 화산회에서 발달한 울릉토 등 14종의 토양통으로 구성되어 있어서 육지의 것과는 다른 발달 양상을 보이고 있다 (No et al., 1979; Korea Soil Information System, 2013; Sonn et al., 2011). 지표면에는 부석이나 화산회가 산재해 있고, 화산회토가 있으나 화산회가 많이 포함되어 있지 않아서 제주도의 화산회토와 같은 특성을 나타내지 않으며, 토양구조의 발달이 약하고, 점토가 현저하게 집적된 토층이 없는 것으로 밝혀졌다 (No et al., 1979). 이러한 토양에서 보리 옥수수 감자 등 식량작물의 경운재배에서 약 30여 년 전부터 어린순을 이용하는 눈개승마 (삼나물), 울릉미역취 (미역취), 섬쭈부쟁이 (부지쟁이), 섬고사리 (참고비) 그리고 뿌리를 이용하는 더덕 등 다년생 산채식물이 밭에 도입되어 울릉도의 주요 소득작물로 재배되고 있다 (Ulleung-gun Agriculture Technology Center, 2014). 울릉도 경지의 약 70%에 해당하는 270 ha에서 재배하고 있는 이들 산채작물은 파종이나 묘이식 이후 무경운으로 다년간 연속하여 생산하고 지상부가 장기간 토양을 피복하기 때문에 울릉도처럼 점토층이 얇은 밭토양의 보호에 좋은 역할을 하기도 한다. 초종에 따라 정도의 차이는 있으나 봄철에 새순이나 근생엽 또는 줄기 상단부위의 부드러운 잎줄기가 1-3회 나물로 수확되고 남아있는 지상부와 살아있는 그루터기가 지표면을 계속하여 덮고 있으며, 또한 지상부의 잎과 줄기는 잘게 잘려서 가을 이후부터 토양의 피복에 사용되어서 토양과 양분의 유실을 줄이는 효과가 있다 (Joo and Kim, 2007).

비료사용, 경운의 강도와 빈도, 지면피복 등과 같은 양분과 토양의 관리방법은 경지 토양의 화학성에 크게 영향을 미친다 (Ayoubi et al., 2011; Jagadamma et al., 2008; Tarkalson et al., 2006). 질소를 작물의 필요량보다 과다하게 장기간 사용하면 토양 pH를 떨어뜨리고 (Bowman and Halvorson, 1998; Liebig and Doran, 1999), 치환성 양이온 ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )의 수준과 양이온치환용량 (CEC)이 감소하는 것으로 알려져 있다 (Barak et al., 1997; Guo et al., 2010). 작물과 토양미생물의 생육에 필요한 영양성분을 공급하고, 토양 pH 완충능의 향상과 입단형성과 수분보유능 같은 토양물리성의 개선에도 효과가 있는 토양유기물은 경운보다 무경운재배에서 증가 정도가 더 큰 것으로 Mikha et al. (2006)과 Six et al. (1999)에 의해서 보고되었다. 다년생인 산채작물을 재배함으로써 밭토양의 유실을 억제하는 효과를 얻을 수 있으나, 많은 밭이 경사가 큰 사면 (7-100%)에 위치하고 있어서 퇴비 같은 농자재의 수송이나 공급작업이 매우 불편하여 화학비료 (요소와 NPK-복합비료)와 유기질 퇴비에 의존하는 양분관리가 주를 이루고 있으며 이에 맞는

토양관리방법 개발에 대한 노력이 필요하다. 따라서, 이 연구에서는 울릉도의 토양에서 산채생산에 알맞은 양분관리 방법을 찾아내기 위하여 재배면적이 비교적 많은 산채작물을 대상으로 하여 토양의 화학적 특성을 분석하였다.

## Materials and Methods

울릉도에서 농가가 재배하고 있는 울릉미역취 (*Solidago virgaurea* subsp. *gigantea*) 27지점, 눈개승마 (*Arunco dioicus* var. *kamtschaticus*) 21지점, 울릉산마늘 (*Allium ochotense*) 23지점, 섬쭈부쟁이 (*Aster glehnii*) 54지점, 더덕 (*Codonopsis lanceolata*) 32지점 그리고 섬고사리 (*Athyrium acutipinnulum*) 33지점의 밭에서 2013년 8월 중순에 토양 시료를 채취하였다. 산채밭 0-10 cm 깊이의 표토를 3지점에서 채취하여 시료봉투에 담아서 혼합하였다. 시료로 채취한 흙을 통풍이 잘 되는 실내에서 건조시킨 다음 2 mm 체로 쳐서 화학성 분석에 사용하였다.

토양 pH와 전기전도도 (EC)는 흙을 증류수에 1:5로 넣고 30분간 진탕한 후 여과하여 pH 전극과 EC 전극 (Orion Versa Star, Thermo Scientific, USA)으로 측정하였고, 유효인산은 Lancaster 법으로 추출하여 760 nm (Optizen 3220UV, Mecasys Co., Korea)에서 측정하였다. 치환성 양이온 ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ )은 1 M  $NH_4OAc$  (pH 7.0)로 침출하고 여과한 액을 원자흡광광도계 (AAnalyst 400, PerkinElmer, USA)로 측정하였다. 토양유기물은 원소분석기 (Vario MAX, Elementar Analysen systeme GmbH, Germany)로 측정된 탄소축정치에 1.724를 곱하여 구하였다. 양이온치환용량 (CEC)은 1 M  $NH_4OAc$  (pH 7.0)를 이용하여 측정하였다 (NAAS, 2010b). 토양 음이온 ( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ )은 증류수 20 mL이 들어 있는 50 mL 튜브에 흙 2 g을 넣어 흔든 다음 16시간 후에 150 rpm에서 1시간 진탕하고 원심분리기로 흙을 가라앉힌 후에 상등액을 0.45  $\mu m$  필터로 여과하여 이온크로마토그래피 (Compact IC pro, Metrohm, Swiss)로 측정하였다.

토양시료의 화학성 측정값은 SAS version 9.1을 이용하여 기본통계 (MEAN), 분산분석 (ANOVA)과 주성분분석 (PCA)으로 재배 산채밭의 토양화학적 특성을 평가하였다 (SAS, 2010).

## Results and Discussion

**울릉 산채밭의 표토 화학성** 울릉미역취, 섬쭈부쟁이, 섬고사리, 더덕, 눈개승마 그리고 울릉산마늘 밭의 토양 시료를 분석하여 얻은 울릉도 산채밭의 토양화학성에 대한 기술통계는 Table 1과 같다. 토양 pH, 유효인산 그리고 CEC를 제외한 화학성은 왜도가 1 이상으로서 정규분포를 하지 않았으며, 평균이 증류수보다 크게 나타났는데 이는

**Table 1. Descriptive statistics for soil chemical variables measured at edible wild plants fields in Ulleung island.**

Chemicals <sup>†</sup>	Mean	SD	Min	Median	Max	CV (%)	Skewness
pH <sub>w</sub> (1:5)	5.5	0.9	3.6	5.5	7.3	16	-0.2
OM (g kg <sup>-1</sup> )	63.2	28.2	15.4	59.3	193.3	45	1.1
Avail. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	680	489	45	561	2170	72	0.8
Exch. K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1.9	1.7	0.4	1.5	9.9	87	2.6
Exch. Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	7.0	5.0	0.6	5.8	29.3	71	1.5
Exch. Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2.4	1.9	0.2	2.0	10.7	79	1.6
Exch. Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.24	0.19	0.04	0.20	1.60	80	3.6
CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	19.8	5.5	10.0	18.9	37.0	28	0.9
EC (dS m <sup>-1</sup> )	0.9	0.6	0.2	0.7	3.7	72	1.9
Cl <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	21	24	1.4	13	172	114	3.4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	280	309	2.2	179	1731	111	2.3
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	72	86	7.5	45	654	119	3.7
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	61	82	0	27	671	134	3.1

<sup>†</sup>OM, soil organic matter; CEC, Cation Exchangeable Capacity; EC, electrical conductivity.

**Table 2. Pearson correlation coefficients among soil chemical variables measured at edible wild plants fields in Ulleung island.**

	pH	OM	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	CEC	EC	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
pH	1											
OM	0.030	1										
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-0.326***	0.044	1									
K <sup>+</sup>	0.255***	-0.142	-0.090	1								
Ca <sup>2+</sup>	<b>0.503***</b>	-0.091	-0.022	0.040	1							
Mg <sup>2+</sup>	0.299***	<b>-0.193**</b>	0.082	-0.042	<b>0.770***</b>	1						
Na <sup>+</sup>	0.266***	-0.093	-0.243***	<b>0.705***</b>	0.037	-0.009	1					
CEC	-0.117	0.098	0.104	-0.183*	0.239***	<b>0.273***</b>	-0.143*	1				
EC	-0.381***	0.118	0.357***	0.024	0.033	0.084	-0.037	0.059	1			
Cl <sup>-</sup>	-0.279***	-0.005	0.092	-0.002	-0.052	0.015	0.036	-0.008	0.654***	1		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.388***	0.138	0.284***	0.025	0.034	0.095	-0.028	0.042	<b>0.948***</b>	<b>0.612***</b>	1	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-0.313***	0.001	0.154*	-0.094	-0.162*	-0.125	-0.049	0.023	0.513***	0.180*	0.305***	1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-0.154*	0.187**	<b>0.766***</b>	0.018	0.149*	0.207**	-0.183*	0.113	0.321***	0.015	0.286***	0.054

\*, \*\* and \*\*\* indicate significance at the 0.05, 0.01 and < 0.001 levels, respectively.

우측 긴 꼬리 모양의 왜도에서 알 수 있듯이 오른 쪽에 있는 큰 값의 영향 때문이다. 변이계수는 변수 pH와 CEC에서 각각 15.5%와 27.6%로 비교적 낮았으나, 두 변수를 제외한 다른 변수는 45% 이상이었고, 물 용해성 음이온 (Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)은 100% 이상으로 매우 높았다 (Table 1). 측정 값의 정규성과 변이계수로 토양관리의 균일성을 유추해 볼 수 있는데 (Ayoubi et al., 2011), 변이계수가 크고 정규분포에서 벗어나는 변수가 많은 것은 재배산채의 종류, 재배자의 관리방법 및 밭의 조건이 다양하기 때문인 것으로 판단되었다.

토양 pH는 3.6-7.3 범위에서 분포하였으며, 평균 pH는 2013년의 전국 밭토양 (Kong et al., 2015)보다 0.7 pH 단위가 낮은 pH 5.5수준이었다 (Table 1). 토양시료의 12%는 pH 4.5 미만의 매우 강한 산성, 13%는 강산성 (pH 4.5-4.9),

19%는 중산성 (pH 5.0-5.4), 21%는 약산성 (pH 5.5-5.9) 그리고 35%는 pH 6.0 이상의 매우 약한 산성으로 측정되어 산성토양의 비율이 높았다. 표토의 pH와 유의한 상관관계를 보이는 (Table 2) 치환성 Ca<sup>2+</sup>의 함량이 용탈과 작물에 의한 소비로 낮아지고, 토양의 모재나 다수의 연구자들이 (Bowman and Halvorson, 1998; Liebig and Doran, 1999; Barak et al., 1997; Guo et al., 2010) 경작지 토양의 산성화를 일으키는 원인 중의 하나로 지적하고 있는 질소비료에서 공급되는 산성물질에 의해서 pH가 낮은 울릉도 산채밭 표토의 비율이 높은 것으로 사료되었다.

유기물 수준은 평균 63 g kg<sup>-1</sup>이었는데 (Table 1), No et al. (1979)이 감자, 보리, 옥수수 및 콩 등을 주로 재배하였던 시기에 토양통별로 조사한 유기물 함량 (1.14-4.3%)보다 크게 증가하였다. 이는 제주도 화산회토보다는 낮으나 (Lee

et al., 1983; Song and Yoo, 1991), 경북지역 밭토양의 20 g kg<sup>-1</sup> (Korean Soil Information System, 2013)과 전국 밭토양의 23 g kg<sup>-1</sup> (Kong et al., 2015)보다는 2.7배 이상 많은 수준이었다. 산채의 시설재배에 추천하는 (NAAS, 2010a) 유기물수준 (25–30 g kg<sup>-1</sup>)의 하위수준보다 낮은 토양시료는 4.6%에 불과하였으며, 60 g kg<sup>-1</sup> 이상의 유기물을 함유하고 있는 밭은 48%로서 유기물 수준이 높은 토양시료의 분포비율이 높았다. 산채밭 표토의 유기물 함량이 일반작물을 경운재배하는 밭보다 높은 것은 지표면에 산채해 있는 화산재의 영향도 있으나, 다년생 작물을 연속 재배하여 작물의 뿌리와 매년 밭에 넣어주는 지상부에 의해 유기물이 공급되고, 정식후 무경운으로 재배하여 Varvel and Wilhelm (2010)의 보고처럼 경운에 의한 토양의 교란이 적었기 때문으로 판단되었다.

유효인산은 최소 45 mg kg<sup>-1</sup>에서 최대 2170 mg kg<sup>-1</sup> 범위에서 조사되었으며, 평균은 전국 (Kong et al., 2015)보다 280 mg kg<sup>-1</sup> 많은 680 mg kg<sup>-1</sup>이었다 (Table 1). 청취조사에 의하면, 산채를 재배하는 농가에서는 인산을 함유한 NPK-복합비료를 인산성분을 주로 공급하는데, 질소를 기준으로 비료를 사용하므로 인산을 산채가 필요로 하는 양보다 많이 토양에 공급하거나, 유효인산과 토양 pH사이의 역상관에서 유추할 수 있듯이 (Table 2), 토양 산성화 같은 토양 화학적인 원인으로 산채가 공급된 인산을 충분히 활용하지 못하기 때문에 (McLaughlin et al., 2011) 토양에서 검출되는 인산농도가 높은 것으로 분석되었다.

치환성 K<sup>+</sup>은 최소 0.37 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>에서 최대 9.88 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>범위에서 측정되어 평균 1.94 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> 수준을 보여, 밭작물 재배에 추천하는 NAAS (2010a)의 기준 (0.8 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)보다 2.4배 높았다. Ca<sup>2+</sup>은 평균 9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 NAAS (2010a)의 추천수준 (6.0 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)보다 1.5배 높았고, Mg<sup>2+</sup>은 평균 2.4±1.9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 측정되었다 (Table 1). Barak et al. (1997)에 의하면 pH가 낮아지면 치환성 양이온의 함량이 감소하는 것으로 알려져 있으나, 다른 산채작물보다 섬썩부쟁이밭의 치환성 Ca<sup>2+</sup>과 Mg<sup>2+</sup>의 수준은 높으나 토양 pH는 낮은 수준을 보였는데 이는 산도 개선을 위해 지표면에 뿌린 석회화 토양에서 이동성이 거의 없고 무경운 재배로 시료채취 깊이 (10 cm)까지 고르게 혼합되지 않아 토양 산도를 완화시키는 효과를 발휘하지 못하여서 발생한 현상으로 판단되었다. 전국 밭토양의 검정자료 분석 (Kong et al., 2015)에서 나온 치환성 양이온의 수준과 비교하면, 산채밭에서는 K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> 그리고 Mg<sup>2+</sup>이 각각 1.22, 0.8 그리고 0.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>씩 더 높았고 상대적으로 K<sup>+</sup>의 축적량이 많았다. K<sup>+</sup>과 Na<sup>+</sup> 사이와 Ca<sup>2+</sup>과 Mg<sup>2+</sup> 사이에는 통계적으로 유의하게 높은 상관관이 있었다 (Table 2). NPK-복합비료를 질소기준으로 사용하기 때문에 P와 K의 사용량 조절이 어려워져 추천수준보다 과다하게 축적된 것으로 분석되었다.

물용해성 음이온 중에서 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도가 280±309 mg kg<sup>-1</sup>로 월등히 높았고 (Table 1), NO<sub>3</sub><sup>-</sup>에 대해 유효인산, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 그리고 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>은 고도로 유의한 정상관을 나타내었다 (Table 2). NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> 그리고 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>은 사용하는 비료에 의해서, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>은 비료 또는 병해 방제용 제제에 의해서 영향을 받는 것으로 판단되었다. 음이온은 토양 pH와는 음의 상관관이 있었고 ( $p < 0.05$ ), EC와는 양의 상관관이 있었다 ( $p < 0.0001$ ) (Table 2). NO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 토양 pH와 EC에 대해 고도로 유의한 상관관이 있었으며 (Table 2), 산채밭의 회귀추정 (stepwise)에서 다음과 같은 관계가 있었다.

$$\begin{aligned} \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}(1:5) &= 5.2 + [0.089 \times \text{Ca}^{2+} (\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})] + [-0.00011 \times \text{NO}_3^- (\text{mg kg}^{-1})] \\ & \quad (r^2 = 0.418, p < 0.0001) \\ \text{EC} (\text{dS m}^{-1}) &= 0.34 + [0.0002 \times \text{NO}_3^- (\text{mg kg}^{-1})] \quad (r^2 = 0.899, p < 0.0001) \end{aligned}$$

EC는 평균 0.9 dS m<sup>-1</sup>이었으며 (Table 1), 토양 시료의 93%는 일반 밭작물에 적정수준인 2.0 dS m<sup>-1</sup> 이하로 조사되었다. EC 2.0 dS m<sup>-1</sup> 이상인 토양시료가 울릉미역취 17.9%, 울릉산마늘 4.2%, 섬썩부쟁이 3.7%, 더덕 3.1%, 섬고사리 8.8%, 눈개승마 5.0%에 지나지 않았고, EC 2.0 dS m<sup>-1</sup> 이상으로 측정되는 시료의 EC값이 높지 않아 산채밭의 염류집적 문제는 심각하지 않았다. 시료의 EC는 유효인산 그리고 수용성 음이온 염과 양의 상관관을 나타내었다 (Table 2).

### 산채별 토양화학성의 비교

토양시료를 분석하여 얻은 측정값으로 6종의 재배 산채별 토양화학성을 분산분석 (ANOVA)으로 비교한 결과를 Table 3에 나타내었다. pH, 유효인산, 치환성 Ca<sup>2+</sup>, 치환성 Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 그리고 EC는 재배하는 산채의 종류에 따라 유의한 차이를 보였으나, 유기물, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 그리고 CEC는 차이가 없는 것으로 나타났다 (Table 3).

왜도가 1이상인 변수를 log<sub>10</sub>변환으로 표준화하여 실시한 주성분분석 (PCA)에서 고유통계량 (eigenvalue)이 1 이상 (Shukla et al., 2006)이고 전체 변이의 77.7%를 설명하는 주성분 축 5개를 구하였다 (Table 4). 주성분1 (PC1)은 전체 변이의 28.3%를 설명하며, EC, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 양의 상관 (>0.42)을, pH와는 음의 상관 (-0.40)이 있었다. 변이의 18.6%를 설명하는 주성분2 (PC2)는 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>과 양의 상관 (>0.52)을 보였다. 치환성 Na<sup>+</sup>은 주성분3 (PC3)과 양의 상관 (0.55)을 보였으며 변이의 13.4%를 설명하였다. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>와 음의 상관 (-0.44)을, 유기물과 CEC와는 양의 상관 (>0.42)이 있는 주성분4 (PC4)는 전체 변이의 9.7%를 설명하는 것으로 나타났다. 전체 변이의 7.7%를 설명하는 주성분 5 (PC5)는 유기물과 높은 상관 (0.80)을 보였다 (Table 4).

Biploting으로 재배산채의 종류별 토양화학성의 차이를 PC1과 PC2로 비교하였을 때 울릉미역취 (*Solidago*)와 섬썩부쟁이 (*Aster*)는 다른 산채와 구별되었으며 (Fig. 1), 각 주

**Table 3. Analysis of variance performed on the soil chemical properties of edible wild plants field in Ulleung island.**

Variable	<i>Aster glehnii</i> (n=54)	<i>Codonopsis lanceolata</i> (n=32)	<i>Athyrium acutipinnulum</i> (n=33)	<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>gigantea</i> (n=27)	<i>Aruncus dioicus</i> var. <i>kamtschaticus</i> (n=21)	<i>Allium ochotense</i> (n=23)	F-value	Pr > F
pH <sub>w</sub> (1:5)	5.34±0.9 <sup>bc†</sup>	5.7±0.7 <sup>ab</sup>	5.56±0.9 <sup>abc</sup>	5.14±0.9 <sup>c</sup>	5.62±0.9 <sup>ab</sup>	5.91±0.7 <sup>a</sup>	3.19	0.0088
OM (g kg <sup>-1</sup> )	59.5±27.2	67.6±27.2	69.2±33.2	55.5±21.1	60.1±23.9	69.1±33.8	1.29	0.2714
Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg kg <sup>-1</sup> )	973±515 <sup>a</sup>	497±412 <sup>c</sup>	620±407 <sup>bc</sup>	793±488 <sup>ab</sup>	418±281 <sup>c</sup>	444±420 <sup>c</sup>	9.03	<0.0001
K <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	1.85±1.41	1.81±1.72	2.22±2.08	1.42±0.67	2.14±2.10	2.32±2.06	1.05	0.3920
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	9.1±6.4 <sup>a</sup>	5.7±4.0 <sup>b</sup>	6.5±3.9 <sup>b</sup>	5.9±3.8 <sup>b</sup>	6.4±4.2 <sup>b</sup>	6.1±4.5 <sup>b</sup>	3.00	0.0124
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	3.1±2.1 <sup>a</sup>	2.1±2.1 <sup>b</sup>	2.1±1.7 <sup>b</sup>	2.0±1.4 <sup>b</sup>	2.7±2.0 <sup>ab</sup>	2.0±1.4 <sup>b</sup>	2.68	0.0229
Na <sup>+</sup> (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.21±0.11	0.27±0.23	0.28±0.31	0.22±0.11	0.27±0.16	0.26±0.18	0.90	0.4842
CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	21.5±6.6 <sup>a</sup>	18.1±5.7 <sup>b</sup>	20.1±4.4 <sup>ab</sup>	19.2±4.7 <sup>ab</sup>	18.6±4.8 <sup>ab</sup>	19.7±4.4 <sup>ab</sup>	2.03	0.0765
EC (dS m <sup>-1</sup> )	1.0±0.5 <sup>b</sup>	0.6±0.4 <sup>b</sup>	0.9±0.7 <sup>b</sup>	1.4±0.8 <sup>a</sup>	0.7±0.6 <sup>b</sup>	0.7±0.7 <sup>b</sup>	5.37	0.0001
Cl <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	21±17 <sup>b</sup>	14±13 <sup>b</sup>	17±20 <sup>b</sup>	40±41 <sup>a</sup>	16±21 <sup>b</sup>	17±15 <sup>b</sup>	5.29	0.0001
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	303±209 <sup>b</sup>	179±204 <sup>b</sup>	288±358 <sup>b</sup>	461±435 <sup>a</sup>	212±263 <sup>b</sup>	204±345 <sup>b</sup>	3.25	0.0078
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	73±87 <sup>b</sup>	58±69 <sup>b</sup>	63±58 <sup>b</sup>	120±94 <sup>a</sup>	70±137 <sup>b</sup>	51±51 <sup>b</sup>	2.27	0.0497
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	100±80 <sup>a</sup>	42±56 <sup>b</sup>	55±62 <sup>b</sup>	53±74 <sup>b</sup>	28±38 <sup>b</sup>	43±139 <sup>b</sup>	4.06	0.0016

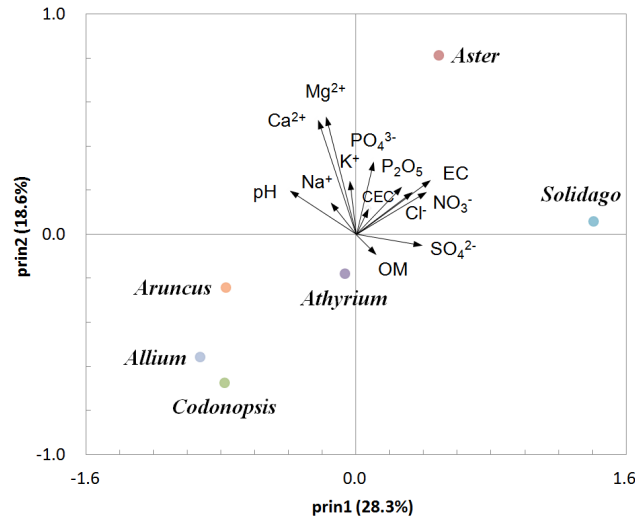
<sup>†</sup>Within each variable, means followed by the same letter are not differ significantly at  $p < 0.05$  (DMRT).

**Table 4. Coefficients for the first five principal components for the 13 soil chemical variables included in the principal components analysis.**

Variables	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
pH <sub>w</sub> (1:5)	-0.3964	0.1977	0.1137	0.1809	0.2560
log <sub>10</sub> Organic Matter	0.1199	-0.0904	-0.0318	<b>0.4413</b>	<b>0.7956</b>
Available P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2660	0.2174	-0.3523	-0.3300	0.2768
log <sub>10</sub> K <sup>+</sup>	-0.0392	0.2465	0.4330	-0.3788	0.2347
log <sub>10</sub> Ca <sup>2+</sup>	-0.2255	<b>0.5216</b>	-0.0472	0.2452	-0.0332
log <sub>10</sub> Mg <sup>2+</sup>	-0.1800	<b>0.5349</b>	-0.1197	0.1682	-0.1304
log <sub>10</sub> Na <sup>+</sup>	-0.1509	0.1500	<b>0.5510</b>	-0.1079	0.0081
Cation Exchangeable Capacity	0.0712	0.1187	-0.2667	<b>0.4167</b>	-0.2801
log <sub>10</sub> EC	<b>0.4425</b>	0.2480	0.1567	0.1226	0.0039
log <sub>10</sub> Cl <sup>-</sup>	0.3358	0.1944	0.2561	0.0603	-0.2020
log <sub>10</sub> NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<b>0.4178</b>	0.1940	0.1550	0.1461	0.0660
log <sub>10</sub> SO	0.3899	-0.0517	0.1248	0.1027	-0.1085
log <sub>10</sub> PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.1000	0.3322	-0.3917	-0.4427	0.1273

성분의 score를 산채 종류별로 비교하였을 때에도 통계적으로 유의한 차이를 보였다 (Table 5). 섬쑥부쟁이와 울릉미역취 받은 최저 pH가 4.0이하로 떨어지고, pH 5.0 이하의 강산성의 시료가 각각 43%와 33%로 비교적 높게 분포하여 평균 토양 pH는 각각 5.3과 5.1로 낮은 수준이었으며, 유효인산은 상대적으로 높게 나타났다. 또한, 섬쑥부쟁이받은 치환성 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 그리고 인산이온 (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>)이, 울릉미역취받은 질산이온 (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 황산이온 (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) 그리고 염소이온 (Cl<sup>-</sup>) 이 다른 산채작물보다 유의하게 높았다. Herr et al. (2007) 과 Vanderhoeven et al. (2006)에 따르면 미국미역취는 자

라면서 토양 pH를 떨어뜨리고, 땅속의 P를 끌어 올려서 표토의 P 농도를 증가시킨다는 연구 결과도 있으나, 토양화학성에 영향을 주는 요인으로 작물재배, 경운 그리고 표토관리방법 등이 보고되고 있고 (Schroder et al., 2011; Tarkalson et al., 2006), 이 연구에서 나타난 비료성분의 축적량과 토양산도의 분석결과로 볼 때, 작물별 비료 사용방법 등 토양 및 재배 관리방법이 상이하기 때문에 산채밭의 토양화학성의 차이가 나는 것으로 판단되었다.



**Fig. 1.** Biplot of principal components analysis derived from soil chemical variables and edible wild plants. *Aster*, *Aster glehnii* (n=54); *Solidago*, *Solidago virgaurea* subsp. *gigantea* (n=27); *Athyrium*, *Athyrium acutipinnulum* (n=33); *Aruncus*, *Aruncus dioicus* var. *kamtschaticus* (n=21); *Allium*, *Allium ochotense* (n=23); *Codonopsis*, *Codonopsis lanceolata* (n=32).

**Table 5.** Effects of edible wild plants on the component scores.

Crop	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
<i>Aster glehnii</i> (n=54)	0.4891 <sub>b</sub> *	0.8119 <sub>a</sub>	-0.5221 <sub>b</sub>	-0.1464 <sub>b</sub>	-0.1156 <sub>ab</sub>
<i>Codonopsis lanceolata</i> (n=32)	-0.7776 <sub>c</sub>	-0.6752 <sub>b</sub>	0.0915 <sub>ab</sub>	-0.0224 <sub>a</sub>	0.2886 <sub>a</sub>
<i>Athyrium acutipinnulum</i> (n=33)	-0.0652 <sub>bc</sub>	-0.1803 <sub>b</sub>	0.0148 <sub>ab</sub>	0.0767 <sub>a</sub>	0.2175 <sub>a</sub>
<i>Solidago virgaurea</i> subsp. <i>gigantea</i> (n=27)	1.4091 <sub>a</sub>	0.0605 <sub>ab</sub>	0.2945 <sub>a</sub>	-0.0206 <sub>a</sub>	-0.4301 <sub>b</sub>
<i>Aruncus dioicus</i> var. <i>kamtschaticus</i> (n=21)	-0.7713 <sub>c</sub>	-0.2416 <sub>b</sub>	0.3273 <sub>a</sub>	-0.0010 <sub>a</sub>	-0.0624 <sub>ab</sub>
<i>Allium ochotense</i> (n=23)	-0.9228 <sub>c</sub>	-0.5586 <sub>b</sub>	0.4329 <sub>a</sub>	0.2900 <sub>a</sub>	0.1196 <sub>ab</sub>

\*Within column, means followed by the same letter are not significantly different at  $p < 0.05$  (Duncan's Multiple Range Test).

## Conclusions

섬쑥부쟁이에 대한 질소 분시 방법 (Kim et al., 1997)에 대한 연구와 미역취와 산마늘 등 일부 산채에 대한 비닐하우스 시설재배의 비료사용 추천기준 (NAAS, 2010b)외에 울릉도 현지에서 산채작물의 비료사용방법에 대한 검정자료가 아직 없어서 산채에 적합한 토양비옥도를 평가하기는 어렵다. 산채 시설재배지의 추천기준이 일반 밭 작물의 수준과 비슷하여 산채밭의 토양화학적 발 노지재배 작물의 추천기준에 준하여 비교하면, 산채밭은 유기물 함량이 높아 토양 화학 물리 생물적인 면에서 긍정적인 면이 있으나, 인산, 칼륨, 칼슘 그리고 마그네슘의 수준이 높게 측정되어 비료의 사용량이 필요량보다 많고, 토양 산성화 정도가 높은 것으로 분석되었다. 농가에서 NPK-복합비료와 유기질비료를 위주로 양분관리를 하고 있고, Table 2의  $\text{NO}_3^-$  이 유효인산,  $\text{Cl}^-$ , 그리고  $\text{PO}_4^{3-}$ 과의 정상관으로 볼 때, 질소를 기준으로 비료를 사용하고 있어서 P, K, Mg의 수준이 높았던 것으로 분석되었다. 또한, pH 완충 작용하는 Ca과 Mg의 수준이 섬쑥부쟁이밭에서 가장 높았으나, 질소비료와 치환성 양이온의 용탈에 의해서 토양산성화가 촉진된 것을  $\text{NO}_3^-$ 와

pH 그리고 양이온 사이의 상관분석에서 유추할 수 있었다 (Table 2 and 3). 울릉미역취와 섬쑥부쟁이 밭은 토양 pH가 낮고,  $\text{NO}_3^-$ 과 유효인산이 높아 다른 산채작물과 구별되는 것을 분산분석과 주성분분석으로 확인되었고, 봄부터 여름까지 2-3회 나물 수확 시 마다 사용하는 질소비료 (요소)의 잦은 사용도 토양 pH 감소에 영향을 미친 원인의 하나로 분석되었다. 그러나, 울릉도 산채밭 토양에 대한 화학적 특성의 정확한 평가를 위해서는 현지의 경사도가 높은 밭에 적합한 비료사용기준, 토양산성화의 원인에 대한 추가적인 연구가 필요하였다.

## References

- Ayoubi, S., F. Khorrali, K.L. Sahrawat, and A.C. Rodrigues de Lima. 2011. Assessing impacts of land use change on soil quality indicators in a loessial soil in Golestan Province, Iran. *J. Agr. Sci. Tech.* 13:727-742.
- Bowman, R.A. and A.D. Halvorson. 1998. Soil chemical changes after nine years of differential N fertilization in a no-till dryland wheat-corn-fallow rotation. *Soil Sci.* 163:241-247.
- Barak, P., B.O. Jobe, A.R. Krueger, L.A. Peterson, and D.A.

- Laird. 1997. Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant Soil* 197:61-69.
- Guo, J.H., X.J. Liu, Y. Zhang, J.L. Shen, W.X. Han, W.F. Zhang, P. Christie, K.W.T. Goulding, P.M. Vitousek, and F.S. Zhang. 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science* 327:1008-1010.
- Herr, C., L. Chapuis-Lardy, N. Dassonville, S. Vanderhoeven, and P. Meerts. 2007. Seasonal effect of the exotic invasive plant *Solidago gigantea* on soil pH and P fractions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170:729-738.
- Jagadamma, S., R. Lal, R.G. Hoefl, E.D. Nafziger, and E.A. Adee. 2008. Nitrogen fertilization and cropping system impacts on soil properties and their relationship to crop yield in the central Corn Belt, USA. *Soil Tillage Res.* 98:120-129.
- Joo, J.H. and S.J. Kim. 2007. Evaluation of soil management practices using wild edible greens for reduction of soil erosion in highland. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:488-494
- Kim, C.H, H.S. Lee, C.K. Kim, K.B. Choi, and B.S. Choi. 1997. Effects of nitrogen split application methods on the growth and yield of *Solidago virgaurea* var. *asiatica* Nakai. *RDA J. Agro-Environ. Sci.* 39:30-34.
- Kim, K. and G. Lee. 2008. A study on volcanic stratigraphy and fault of Ulleung-do, Korea. *J. Eng. Geol.* 18:321-330.
- Korean Soil Information System. 2013. <http://soil.rda.go.kr>.
- Kong, M.S., S.S. Kang, M.J. Chae, H.I. Jung, Y.G. Sonn, D.B. Lee, and Y.H. Kim. 2015. Changes of chemical properties in upland soils in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48:588-592.
- Lee, S.K., K.S. Cha, and I.T. Kim. 1983. Studies on the physico-chemical properties and characterization of soil organic matter in Jeju volcanic ash soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 16:20-27.
- Liebig, M.A. and J.W. Doran. 1999. Impact of organic production practices on soil quality indicators. *J. Environ. Qual.* 28: 1601-1609.
- McLaughlin, M.J., T.M. McBeath, R. Smernik, S.P. Stacey, B. Ajiboye, and C. Guppy. 2011. The chemical nature of P accumulation in agricultural soils - implications for fertiliser management and design: an Australian perspective. *Plant Soil* 349:69-87.
- Mikha, M.M., M.F. Vigil, M.A. Liebig, R.A. Bowman, B. McConkey, E.J. Deibert, and J.L. Pikul, Jr. 2006. Cropping system influences on soil chemical properties and soil quality in the Great Plains. *Renew. Agric. Food Sys.* 21:26-35.
- NAAS. 2010a. Fertilizer application recommendation for crops. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- NAAS. 2010b. Methods of soil and crop plant analysis. National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- No, Y.P., Y.T. Jung, and R.K. Park. 1979. A study on the agriculture and soil characteristics in Ulreung island. *Res. Rept. RDA (Agro-Environ.)* 21:65-75.
- SAS. 2010. SAS/STAT 9.2 user's guide. SAS Inst., Cary, NC.
- Schroder, J.L., H. Zhang, K. Girma, W.R. Raun, C.J. Penn, and M.E. Payton. 2011. Soil acidification from long-term use of nitrogen fertilizers on winter wheat. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 75: 957-964.
- Shukla, M.K., R. Lal, and M. Ebinger. 2006. Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Tillage Res.* 87: 194-204.
- Six, J., E.T. Elliott, and K. Paustian. 1999. Aggregate and soil organic matter dynamic under conventional and no-tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:1350-1358.
- Song, K.C. and S.H. Yoo. 1991. Andic properties of major soils in Cheju island. I. Characterization of volcanic ash soils by selective dissolution analysis. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 24:86-94.
- Sonn, Y.K., C.W. Park, Y.S. Zhang, B.K. Hyun, K.C. Song, and E.S. Yoon. 2011. Characteristics of soils distributed on the "Dokdo" island in South Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:187-193.
- Tarkalson, D.D., J.O. Payero, G.W. Hergert, and K.G. Cassman. 2006. Acidification of soil in a dry land winter wheat-sorghum/corn-fallow rotation in the semiarid U.S. Great Plains. *Plant Soil.* 283:367-379.
- Ulleung-gun Agriculture Technology Center. 2014. [www.ula.go.kr](http://www.ula.go.kr).
- Vanderhoeven, S., N. Dassonville, L. Chapuis-Lardy, M. Hayez, and P. Meerts. 2006. Impact of the invasive alien plant *Solidago gigantea* on primary productivity, plant nutrient content and soil mineral nutrient concentrations. *Plant Soil* 286:259-268.
- Varvel, G.E. and W.W. Wilhelm. 2010. Long-term soil organic carbon as affected by tillage and cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 74:915-9921.