

복분자 재배 기간에 따른 토양의 화학적 특성 변화

이진호 · 이창호 · 강병석 · 안병구^{1*}

전북대학교 생물환경화학과, ¹전라북도농업기술원

Investigations of Soil Chemical Properties in the Cultivation Fields of *Rubus coreanus* with Different Growth Ages

Jin-Ho Lee, Chang-Ho Lee, Byeong-Suk Kang, and Byung-Koo Ahn^{1*}

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

¹Jeollabuk-do Agricultural Research and Extension Services, Iksan 570-704, Korea

This study was conducted to investigate the relations between soil chemical properties and Korean raspberry (*Rubus coreanus* Miq.) growth. Soils were collected from 54 sampling sites in 1 to 6 years old Korean raspberry cultivation fields (RCFs) at Gochang-gun, Jeollabuk-Do, Korea. In RCF with two to six years old plants, soil pH and exchangeable Ca^{2+} and Mg^{2+} contents were higher at the leaf-emergence time, but EC, available phosphorus content, CEC, and total nitrogen content were higher at the harvesting time; especially at the harvesting time, the content of available phosphorus in the RCF with 3~6 years old plants were at least three times higher than in the RCF with 2 years old plants. Water-soluble anions (Cl^- , NO_3^- , PO_4^{2-} , and SO_4^{2-}) in the RCF were also measured. The contents of NO_3^- and SO_4^{2-} were always higher in the RCF with older plants than in the RCF with younger plants, which were not affected by sampling time and sampling locations (rhizosphere and non-rhizosphere sites). However, soils collected from non-rhizosphere at the leaf-emergence time contained higher PO_4^{2-} content, but Cl^- content was higher in the soils collected from rhizosphere at the harvesting time. In general, soils in the RCFs contained excess amounts of inorganic nutrients such as available phosphorus and exchangeable K^+ . Thus, optimal levels of soil properties for Korean raspberry cultivation should be reconsidered.

Key words: Korean raspberry, Soil chemical properties, Withering, Excess fertilization

서 언

복분자 (*Rubus coreanus* Miq.)에 대한 연구는 기능성 물질의 분리와 추출물의 약리작용 및 효능에 대하여 편중되어 왔다. 그러나 복분자가 농가의 주요 소득작물로 재배되면서 재배 방법에 따른 병해충 문제, 연작장해 문제 등이 나타나고 있으므로 이에 대한 많은 관심과 연구가 필요한 실정이다. 특히 복분자를 4년 이상 재배한 포장에서는 생산량이 감소할 뿐 만 아니라 고사율이 증가하고 있다. 또한 복분자 재배지 (Korean raspberry cultivation field, RCF)에 다시 식재를 할 경우에는 연작장해가 나타나며, 이는 복분자 재배농가의 큰 문제점으로 대두되고 있다. 그럼에도 불구하고 RCF의 환경

특성에 대한 연구 (Chung et al., 2008) 및 병해충 및 잡초 방제에 관한 연구 (Park et al., 2003) 등은 일부 제한적으로 이루어지고 있다. 특히 복분자의 연작장해에 따른 피해 조사 및 연구는 인삼, 고추, 땅콩, 참외 등 다른 작물들에 비하여 거의 보고 되어 있지 않은 실정이다.

일반적으로 작물의 연작장해 원인은 토양 내의 투수성과 통기성 불량 등의 물리적 요인, 염류 직접이나 미량원소 결핍 등의 화학적 요인, 미생물상 변화나 선충의 밀도 증가와 같은 생물학적 요인 등으로 알려져 있다. 특히 시설작물 재배지의 경우 단위 수량을 높이기 위하여 밀식된 상태에서 재배되고, 이에 따라 시비량이 많으며 재배지 여건상 비료의 유실이 상대적으로 적어 염류가 집적되기 쉽다. 이러한 원인에 의하여 발생하는 질소, 인산, 칼리의 과잉 축적은 뿌리와 근권 토양의 삼투압 차이를 축소시켜 흡수력이 저하되고, 과잉양분 자체

접수 : 2010. 11. 29 수리 : 2010. 12. 15

*연락처 : Phone: +82632906912

E-mail: ahnbk61@korea.kr

에 의한 장애와 과잉양분에 의한 특정양분의 흡수장애를 일으켜 작물에 다양한 양분결핍 증상을 나타낸다. Ahn et al. (2010b)의 보고에 의하면 전라북도 고창지역 시설수박 연작 재배지에서 나타나는 양분 집적은 적정수준 보다 약 3배 이상 높다고 하였다. 또한 과량으로 시비된 화학비료 및 퇴비 등에서 질산태질소와 인산이온 등 수용성 음이온이 작물에 흡수되지 못하고 점토광물에 흡착되거나, 양이온들과 결합하여 새로운 염을 생성하여 토양에 염류를 집적시키기도 한다 (Kang et al., 1997; Jin et al., 2004).

그리고 생물체에서 분비된 독소의 축적이나 유기산으로 인한 pH 변화에 따른 영양분 결핍으로 나타나는 피해도 많이 보고되고 있다. 즉, 토양 중 미생물이나 식물체의 분비물, 잔여물에서의 용출되거나, 외부에서 유입된 화합 물질은 식물체 상호간의 타감작용으로 토양에 유해물 집적, 생육 및 수량저하, 연작장애 등 작물생육에 피해를 줄 수 있으며, 폐놀성 화합물이 타감작용을 일으킨다고 하였다 (Jeon et al., 1997; Chou and Kuo, 1986). 특히 자연적으로 합성된 폐놀성 화합물질로 알려진 salicylic acid의 경우 pH 저하, 개화, 종자발아, 기공 개폐, 뿌리 및 줄기 생장 등 다양한 식물반응에 영향을 주는 것으로 알려져 있다 (Durner et al., 1997).

또한 토양 중 중금속은 식물의 뿌리생장, 양분 흡수율 등에 영향을 주는데, 상추의 경우 중금속 함량이 높은 지역이 그렇지 않은 지역에 비하여 생육불량이나 고사율이 높다고 하였다 (Kim, 1995). 더욱이 복분자의 경우에는 한 번 식재를 하면 5~6년 동안 재배하면서 열매를 수확하기 때문에 한 번 피해를 받게 되면 다른 작물에 비하여 재배 농가에 경제적으로 막대한 피해를 줄 수 있다.

그러므로 본 연구에서는 복분자 수령 별 재배지 토양의 화학적 특성을 조사하여 복분자의 연작장애와 관련이 있는 고사 원인을 규명하고 재배환경 개선에 필요한 자료를 제시하고자 수행하였다.

재료 및 방법

토양 시료 본 연구는 2009년 전라북도 고창군의 3개 면 (부안면, 심원면, 아산면)에서 수령이 1~6년 된 RCF를 선정 후 수령 별로 3개 지점씩 총 54개 지점에서 복분자의 출엽기와 수확기에 토양시료를 채취하였다. 일년생 RCF에서는 근권과 비근권 구분 없이 식재된 복분자 사이에서 토양을 채취하였고, 수령이 2~6년 인 RCF 토양에서는 근권과 비근권을 구분하여 토양시

료를 채취하였다. 토양시료는 표토를 1~2 cm 제거하고 augar를 이용하여 15 cm 깊이에서 채취하였으며, 채취한 토양은 음지에서 풍건한 후 직경 2.0 mm의 토양체를 통과시켜 분석용 시료로 사용하였다.

토양 분석 토양분석방법은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)을 준용하여 실시하였다. 토양pH와 전기전도도 (electrical conductivity, EC)는 풍건세토와 증류수를 1:5 (w/v)로 혼합하고 30분 진탕 후 pH Meter (EUTECH COND600)와 EC Meter (EUTECH ECOSCAN)로 각각 측정하였다. 총 질소함량은 CN 원소분석기 (vario Max CN)를 사용하여 Dumas법으로 분석하였으며, 유기물 함량은 CN 원소분석기를 이용하여 총 탄소 함량을 측정한 후에 유기물 계수 (1.724)를 곱하여 환산 하였다. 유효인산은 Lancaster법으로 분석하였으며 UV/Vis spectrophotometer (HP8453 UV-Vis, Agilent)로 720 nm의 파장에서 측정하였고, 표준곡선에서 얻은 P값을 P_2O_5 로 환산하였다. 치환성 양이온 (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+)은 1 M CH_3COONH_4 (pH 7.0)로 추출한 후 유도결합플라즈마 분광광도계 (Integra, GBC)를 이용하여 측정하였다. 양이온치환용량 (cation exchange capacity, CEC)은 치환성 양이온을 추출한 토양을 95% 에탄올로 세척한 후, 1 M KCl로 가하여 진탕한 후 여과하고 Kjeldahl 증류 장치 (2200 Kjeltac Auto Distillation, Foss)를 사용하여 증류 한 후 0.1 N H_2SO_4 로 적정하였다. 토양 중 수용성 음이온 (Cl^- , NO_3^- , PO_4^{2-} , SO_4^{2-})은 시료 10 g에 증류수를 1:3 (w/v)비로 가하여 진탕하고 여과한 후 이온크로마토그래피 (ICS0-1500, Dionex)를 사용하여 측정 하였다.

또한 토양 중 중금속 함량은 토양오염공정시험방법 (ME, 2002)에 따라 실시하였다. 즉, Cu, Cd, Cr, Pb, As함량은 토양 5 g을 삼각 플라스크에 취하고 0.1 M HCl 25 mL를 가한 후 상온에서 1시간 동안 진탕 후 여과하여 추출하였고, Ni, Zn은 토양 시료 3 g에 증류수 약 1 mL와 conc. HCl 21 mL, conc. HNO_3 7 mL를 가하고 환류냉각추출장치 (Gerhardt)로 30°C에서 2시간, 80°C에서 2시간 동안 환류냉각 추출하고 냉각관과 수기를 0.5 M HNO_3 로 세척하고 여과한 후 증류수를 가하여 100 mL로 정용하였다. 각 추출 시료는 유도결합플라즈마 분광광도계 (Integra, GBC)를 이용하여 분석하였고, Hg은 수은분석기 (Hydra-C, Teledyne Lee-man Labs)를 사용하여 측정하였다.

통계 분석 SPSS (12.0K)를 사용하여 Duncan으로 5% 수준에서 분석하였다.

결과 및 고찰

본 연구가 수행된 고창지역에서 복분자의 수령 별 생산량과 고사율을 조사한 결과, 생산량은 4년생 (625 kg ha⁻¹)까지 꾸준히 증가하였으나, 5년생 이후 급격히 감소하였다. 고사율은 2년생 복분자가 8.2%로 가장 낮았고, 5년생 복분자가 16.9%로 가장 높게 나타났으나, 전체적으로 수령이 증가할수록 고사율도 증가하는 경향을 보였다. 그러므로 이러한 원인을 규명하기 위하여 복분자 수령에 따른 생산량 및 고사율 변화와 토양의 화학적 특성간의 상관관계를 조사하였다.

일년생 RCF의 평균 토양 pH는 출엽기에 5.9, 수확기에 6.2로 농촌진흥청에서 제시한 적정 pH 범위와 유사하였다 (Table 1). 토양 중 EC는 출엽기에 비하여 수확기에서 약 5배 정도 높았으나 적정범위를 벗어나지 않았다. 토양 중 유기물 함량은 수확기에 적정범위 (25~35 g kg⁻¹)보다 낮게 (21.6 g kg⁻¹) 나타났으며, 이는

출엽기에 비하여 약 1.5배 낮은 수준이었다. 토양에 함유된 식물 영양성분 중 유효인산을 비롯한 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺은 출엽기에 비하여 수확기에 높게 나타났으나, 총 질소 함량과 치환성 K⁺은 출엽기에 높았다. 특히 유효인산, 치환성 Ca²⁺과 Mg²⁺은 적정함량범위보다 다소 과잉인 것으로 나타났다.

이러한 결과를 바탕으로 2~6년생 RCF의 근권과 비근권을 구분하여 출엽기와 수확기에 토양의 화학적 특성을 조사하였으며, 출엽기 토양특성은 Table 2에 나타나 있다. 토양 pH는 채취지점과 복분자 수령에 관계없이 대부분의 5.5~6.2 수준을 유지하였으며, EC는 근권과 비근권에서 수령에 따라 꾸준히 증가하는 경향을 보였다. 토양 중 유기물 함량은 근권과 비근권에서 27.4~36.0 g kg⁻¹ 수준으로 수령에 관계없이 적정범위 (25~35 g kg⁻¹)의 수준을 보였다. 그러나 유효인산 함량은 근권에서 수령에 따라 증가하는 경향을 보였으나 비근권에서는 수령에 관계없이 400~600 mg kg⁻¹ 수준을 보였다. 치환성 K, Ca, Mg 이온 함량과 CEC는 근권이

Table 1. Mean values of selected chemical properties of soils at leaf-emergence time and harvesting time in the first growth year of *R. coreanus*.

Sampling time [†]	pH	EC	SOM	Avail. P ₂ O ₅	Ex. cations			CEC	Total-N
					Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺		
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	g kg ⁻¹
LET	5.9	0.4	29.3	335	5.2	1.6	1.3	11.9	1.3
HVT	6.2	2.0	21.6	695	7.0	2.4	1.0	15.8	1.2
OLRC	6.0~6.5	< 2.0	25~35	350~550	5.0~6.0	1.5~2.0	0.7~1.0		

[†]LET: soil sampled in leaf-emergence time, HVT: soil sampled harvesting time, OLRC: optimal levels of soil properties for Korean raspberry cultivation.

Table 2. Mean values of soil chemical properties in the *R. coreanus* cultivation fields at leaf-emergence time.

Sampling site	Plant growth year	pH	EC	SOM	Avail. P ₂ O ₅	Ex. cations			CEC	Total-N
						Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺		
		(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Rhizosphere	2	5.7a [‡]	0.39b	27.4a	432b	4.95a	1.43a	1.43a	11.6a	1.1b
	3	5.9a	0.61ab	34.9a	679a	6.63a	2.23a	1.41a	14.2a	1.4ab
	4	6.2a	0.86ab	33.6a	562ab	8.91a	2.26a	1.67a	12.9a	1.4ab
	5	5.9a	1.27a	32.6a	611a	7.07a	1.89a	1.31a	13.3a	1.6ab
	6	5.6a	1.08ab	33.5a	693a	6.61a	2.06a	1.58a	13.8a	1.8a
Non-rhizosphere	2	6.0a	0.44a	30.1a	481b	7.17a	1.52a	1.48a	12.4a	1.1a
	3	5.8a	0.63a	34.1a	639a	7.04a	2.12a	1.58a	13.3a	1.4a
	4	6.2a	0.67a	31.7a	423ab	7.89a	1.91a	1.27a	12.7a	1.2a
	5	5.9a	1.03a	36.0a	506a	6.86a	1.84a	1.38a	12.3a	1.5a
	6	5.5a	0.77a	33.6a	537ab	8.94a	2.05a	1.80a	13.7a	1.5a
OLRC [†]		6.0~6.5	< 2.0	25~35	350~550	5.0~6.0	1.5~2.0	0.7~1.0	-	-

[†]OLRC: optimal levels of soil properties for Korean raspberry cultivation.

[‡]Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, *P* < 0.05).

나 비근권 모두 수령별로 통계적인 유의성이 없었으나, 치환성 Ca과 K은 적정함량 범위보다 높게 나타났다. 총질소 함량은 근권에서 수령 증가에 따라 다소 증가하는 경향을 보였으나 비근권에서는 차이가 나타나지 않았다. Ahn et al. (2010a)이 보고한 고창지역 밭 토양의 화학적 특성 평균범위를 볼 때, 토양 pH는 5.8, EC는 0.45 dS m^{-1} , 유기물 함량은 18.92 g kg^{-1} , 유효인산은 385 mg kg^{-1} , 치환성 K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 CEC는 각각 0.91, 5.54, 1.84, 0.12 및 $9.3 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 나타났으나, 출엽기 RCF의 경우 EC, 유기물 함량, 유효인산 함량, 치환성 양이온, CEC 등이 일반 밭 토양보다 높게 나타났으며, Song et al. (2006)이 보고한 기존 고창지역 1년생 RCF의 토양특성과 비교해 보더라도 EC, 유기물 함량, 유효인산 함량 등에서 다소 높은 경향을 보였다. 이러한 결과는 다른 작물보다 RCF에서 비료 사용량이 많은 것으로 추정된다.

그리고 수확기 2~6년생 RCF 토양의 화학적 특성을 출엽기의 특성과 비교할 때 다소 상이한 경향을 나타내었다 (Table 3). 토양 pH는 2년생과 4년생 RCF의 근권에서 높게 나타났고, 비근권에서는 차이가 없는 것으로 나타났다. EC는 5년생 RCF의 근권에서 가장 높았으나 나머지는 비슷한 수준이었고, 비근권에서도 비슷한 범위를 나타내었다. 토양 중 유기물 함량은 근권에서는 5년생 RCF, 비근권에서는 6년생 RCF에서 가장 높았고, 1년생 RCF에서는 모두 낮게 나타났다. 유효 인산 함량은 2년생 RCF의 근권과 비근권에서 $378\sim 386 \text{ mg kg}^{-1}$ 으로 모두 적정범위 ($350\sim 550 \text{ mg kg}^{-1}$) 수준을 나타내었으나, 이 후 약 3배 이상 크게 증가하는 경향을

보였다. 치환성 양이온 함량 중 치환성 K^+ 는 근권에서 $0.59\sim 1.19 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 으로 수령이 높은 RCF에서 증가하는 경향이었으나, 비근권에서는 수령에 관계없이 비슷한 수준을 보였다. 치환성 Ca^{2+} 는 비근권에서 약 $4.8\sim 6.4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 까지 수령이 높은 RCF에서 꾸준히 증가하는 경향을 보였으며, 치환성 Mg^{2+} 는 수령에 관계없이 근권에서 2년생을 제외하고 약 $1.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, 비근권에서 약 $2.0 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 수준을 나타내었다. CEC는 5~6년생 RCF에서 증가하는 경향을 보였으며, 총질소 함량은 근권에서는 차이가 나타나지 않았으나, 비근권에서는 수령이 높은 RCF 일수록 증가하는 경향을 보였다. 그러나 출엽기와 수확기의 토양 특성을 비교 할 때 토양 유기물 함량, 치환성 Mg 함량은 비슷한 수준이었고, 토양 pH와 치환성 Ca 및 K함량은 출엽기에서 높았으며, EC, 유효인산 함량, CEC, 총 질소 함량은 수확기에서 높게 나타났으며, 특히 수확기에 EC 값의 증가는 유효인산의 급격한 증가와 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. 또한 수확기 RCF 토양의 화학특성 중 EC, 유기물 함량, 유효 인산 함량, CEC 등은 Ahn et al. (2010a)이 조사한 고창지역 밭 토양 평균값에 비하여 크게 높았고, Song et al. (2006)의 연구결과 보다 EC와 유기물 함량은 다소 낮았으며, 유효인산 함량은 높은 것으로 나타났다. 유효인산 함량이 3년생 이상인 RCF에서 적정수준 ($350\sim 550 \text{ mg kg}^{-1}$) 이상으로 높은 결과가 나타난 것은 같은 작부체계를 3년 이상 반복할 때 토양에 인산이 과량으로 축적된다는 보고와 일치하였다 (Kim et al., 2005). 유효인산이 과잉 되면 생육과 수량이 감소되고 엽기흡수 저해에 따른 생리장애와

Table 3. Mean values of soil chemical properties in the *R. coreanus* cultivation fields at harvesting time.

Sampling site	Plant growth year	pH	EC	SOM	Avail. P_2O_5	Ex. cations			CEC	Total-N
						Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+		
		(1:5)	dS m^{-1}	g kg^{-1}	mg kg^{-1}	-----	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	-----	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	g kg^{-1}
Rhizosphere	2	6.0a [‡]	0.94b	21.6b	378ab	5.32a	2.05a	0.59c	17.4ab	1.2a
	3	5.4ab	1.38ab	32.5ab	1500a	5.10a	0.92a	0.92abc	14.1bc	2.0a
	4	5.9a	0.95b	24.0b	1092ab	5.62a	0.72a	0.72bc	12.9c	1.4a
	5	5.6ab	2.18a	42.7a	1049ab	6.96a	1.19a	1.19a	19.0a	2.4a
	6	5.1b	1.66ab	37.8ab	1176ab	5.38a	1.01a	1.01ab	17.1abc	2.3a
	Non-rhizosphere	2	5.7a	1.42a	20.2b	386b	4.84a	2.13a	0.94a	16.9a
3		5.4a	1.33a	29.5ab	1390a	5.22a	2.09a	1.12a	14.5a	1.7ab
4		5.9a	1.58a	29.1ab	1390a	6.12a	2.22a	0.98a	14.6a	1.7ab
5		5.4a	1.34a	30.0ab	1308a	6.02a	2.00a	1.03a	16.9a	1.8ab
6		5.3a	1.81a	40.1a	1453a	6.35a	1.84a	0.99a	18.6a	2.3a
OLRC [†]			6.0~6.5	< 2.0	25~35	350~550	5.0~6.0	1.5~2.0	0.7~1.0	-

[†] OLRC: optimal levels of soil properties for Korean raspberry cultivation.

[‡] Numbers followed by the same letter within a column are not significantly different (Duncan test, $P < 0.05$).

Table 4. Incidence rate of the withered *R. coreanus* in different soil pH ranges at harvesting time.

Soil pH range	4.1~4.5 (5.6%) [†]	4.6~5.0 (22.2%)	5.1~5.5 (30.6%)	5.6~6.0 (16.7%)	6.1~6.5 (8.3%)	> 6.5 (16.7%)
Withered Rate (%)	14.9	11.2	13.5	14.4	7.0	13.0

[†] Portion (percentage) of each soil pH range varied in fifty-four sampling sites of *R. coreanus* cultivation fields.

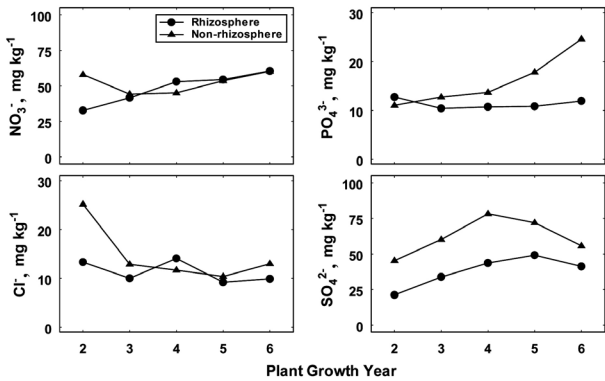


Fig. 1. The concentrations of water-soluble anions (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , and PO_4^{3-}) in soils at the leaf-emergence time of *R. coreanus*.

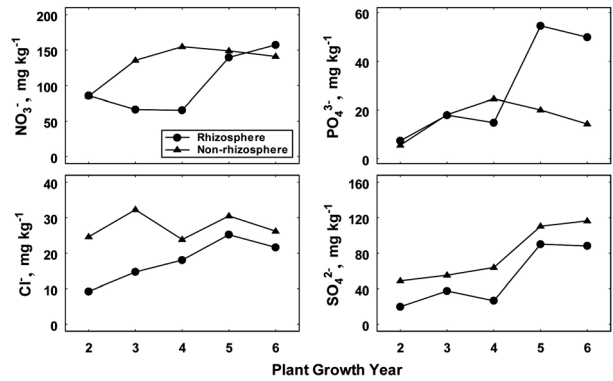


Fig. 2. The concentrations of water-soluble anions (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , and PO_4^{3-}) in soils at the harvesting time of *R. coreanus*.

미량요소의 난용화에 의한 미량원소결핍 등이 발생할 수 있으나 (Kim et al., 2000), Uhm et al. (2001)의 보고에 의하면 토양 중 인산이 기준 이상으로 축적되어도 작물에 따라서는 다른 성분들처럼 과잉장애가 발생하지 않을 수 있다고 하였다. 그러므로 토양 중 유효인산 함량의 변화와 복분자 생육과의 상관관계에 대하여 연구가 필요하다고 생각된다.

또한 토양 pH는 일반적으로 작물의 양분 흡수에 영향을 주어 식물의 생육에 영향을 미치므로 (Lucas and Davis, 1961; Tisdale et al., 1993), 수확기 RCF 토양을 pH 수준에 따라 분류하여 복분자 고사율과의 관계를 조사하였다 (Table 4). 농촌진흥청에서 제시한 RCF의 적정 pH는 6.0~6.5이나, 본 연구에서는 수확기 RCF 토양의 pH는 약 70% 이상이 적정수준에 비하여 산성으로 나타났다. 복분자 고사율은 pH가 6.0~6.5인 수준에서 가장 낮았으며, 토양 pH가 올라가거나 낮아질수록 증가하는 경향을 나타냈으며, 이러한 결과로 볼 때 복분자 고사율과 토양 pH는 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다.

그리고 Jung et al. (2003)은 식물이 Cr, Cu, Pb, As, Zn 등의 중금속을 한계량 이상 흡수할 경우 작물이 생육장애를 일으킬 수 있다고 하였다. 그러므로 본 연구에서도 출엽기와 수확기 RCF 토양의 중금속 함량을 조사하였다 (data not shown). 토양 중 Pb 함량은 출엽기와 수확기 모두 2년생 RCF에서 가장 높았으며 복분자 수령이 높은 재배지 토양일 수록 감소하였다. Ni

은 출엽기 토양 중 복분자 수령이 높을 수록 감소하는 경향이 나타났으나, As는 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, Cr은 출엽기 토양에서 약 0.9 mg kg^{-1} 로 수확기에 비해 약 3배 이상 높게 나타났으며, As는 약 0.3 mg kg^{-1} 으로 수확기의 약 25% 수준으로 낮게 나타났다. 그러나 이러한 결과는 토양환경보전법의 토양오염 우려기준 (Cr 4 mg kg^{-1} , Cd 1.5 mg kg^{-1} , Pb 100 mg kg^{-1} , Cu 50 mg kg^{-1} , Ni 40 mg kg^{-1} , Zn 300 mg kg^{-1} , As 6 mg kg^{-1} , Hg 4 mg kg^{-1})보다 낮은 수준으로 복분자 생육에 장애를 일으킬 수 있는 수준은 아니었다.

염류집적 및 식물영양문제와 관계가 깊은 수용성 음이온 (Cl^- , NO_3^- , PO_4^{2-} , SO_4^{2-}) 함량을 출엽기와 수확기 복분자 수령별 재배지의 근권과 비근권 토양에서 조사하였다 (Fig. 1과 2). 출엽기 토양에서 수용성 NO_3^- 함량은 근권과 비근권에 관계없이 수령이 높은 RCF로 갈 수록 꾸준히 증가하여 6년생 복분자 재배지 토양에서는 약 60 mg kg^{-1} 까지 함유하였고, 수용성 SO_4^{2-} 함량은 꾸준히 증가하여 근권의 경우 5년생 RCF, 비근권의 경우 4년생 RCF에서 각각 49.2 mg kg^{-1} , 78.3 mg kg^{-1} 로 가장 높았으며, 근권에 비하여 비근권에서 높게 나타났다. 출엽기 근권 토양의 수용성 Cl^- 함량은 수령에 관계없이 $10\sim 15 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 수준이었으며, 특히 비근권 토양에서는 복분자 수령이 높은 토양일수록 감소하였다. 그러나 수용성 PO_4^{3-} 함량은 근권에서는 10 mg kg^{-1} 수준을 유지하였고, 비근권 토양에서는 꾸준히

증가하였으며 5~6년생 RCF 토양에서는 급격히 증가하였다.

그리고 수확기 RCF 토양의 수용성 음이온 함량 (Fig. 2) 중 근권 토양의 NO_3^- 은 4년생 RCF까지는 감소하다가 5년생 RCF부터 급격히 증가하여 6년생 RCF 토양에서는 약 157.2 mg kg^{-1} 수준까지 측정되었다. 그러나 비근권 토양 중 수용성 NO_3^- 함량은 4년생 RCF까지 꾸준히 증가 (154.7 mg kg^{-1})하였으나 5~6년생 RCF에서는 다소 감소하는 경향을 나타냈다. 수용성 SO_4^{2-} 함량은 근권과 비근권에서 모두 수령이 높은 RCF 토양에서 꾸준히 증가하였으며, 특히 비근권 토양에서 더욱 높게 나타났다. 수용성 Cl^- 함량은 근권에서 꾸준히 증가하여 5년생 RCF 토양에서 25.2 mg kg^{-1} 로 나타났으나, 비근권은 수령 별 RCF와 관계없이 $23.0\sim 32.3 \text{ mg kg}^{-1}$ 까지 다양하게 분포하였다. 그리고 수용성 PO_4^{3-} 함량은 전반적으로 $10\sim 20 \text{ mg kg}^{-1}$ 수준을 유지하였으나, 5년생 복분자 RCF의 근권 토양에서 50 mg kg^{-1} 이상까지 급격히 증가하였다. 일반적으로 토양에 집적되는 주요 음이온은 Cl^- 와 NO_3^- 로 알려져 있고 (Kang et al., 1997; Jin et al., 2004; Chung et al., 2008), 특히 Chung et al. (2008)에 의하면 복분자 재배지 토양에서 NO_3^- 뿐만 아니라 Cl^- 도 꾸준히 축적된다고 보고하였으나, 본 연구에서는 Cl^- 이 증가하는 경향은 나타나지 않았다.

토양 중 수용성 음이온의 축적량은 $\text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{PO}_4^{3-} > \text{Cl}^-$ 순으로 나타났는데 이는 Chung et al. (2008)의 보고에서도 유사한 경향을 보여주었다. 본 연구에서는 PO_4^{2-} 을 제외한 음이온들은 전반적으로 근권에 비하여 비근권 토양에서 높게 나타났고, 수확기의 경우 출엽기에 비하여 약 2배 정도 높게 나타났다. 이러한 결과는 복분자 재배지에 과량의 비료 성분이 공급되고 있다는 것을 의미하며, 출엽기 이전보다 출엽기 이후부터 수확기까지 공급되는 양이 많은 것으로 판단된다. 특히, RCF 토양의 화학적 특성 중 유효인산과 치환성 K 등의 무기양분이 과잉인 것으로 나타났다. 더욱이 RCF의 시비처방 적정수준은 다른 밭 작물이나 과수 등 작물 별 시비처방 (RDA, 2006) 기준에 비하여 상당히 많은 양의 양분을 공급하는 것으로 나타나 있다. 그러므로 야생의 척박한 환경에서도 자랄 수 있는 복분자에 대한 시비기준의 재검토가 이루어져야 한다고 판단된다.

요 약

복분자 재배지 (Korean raspberry cultivation field, RCF)의 재배환경과 고사원인을 규명하기 위하여 전라북도 고창군의 1~6년생 RCF 54개 지점에서 복분자 출엽

기와 수확기에 토양을 채취하여 토양의 화학적 특성과 복분자 생육관계를 조사하였다. 복분자 수령별 생산량은 4년생이 가장 많았으며, 고사율은 수령이 증가함에 따라 꾸준히 증가하였다.

1년생 RCF 토양의 화학적 특성 중 토양 pH, EC, 유효인산 함량, 치환성 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 함량, CEC 등은 출엽기보다 수확기에 높게 나타났으며 유기물, 치환성 K+ 함량, 총 질소 함량 등은 출엽기에 더욱 높았다. 특히 유효인산 함량과 치환성 Ca^{2+} 과 Mg^{2+} 함량은 적정수준의 범위보다 다소 과잉인 것으로 나타났다. 또한 복분자 2~6년생 재배지에서 복분자 출엽기와 수확기의 토양특성을 비교한 결과 토양 유기물 함량, 치환성 Mg^{2+} 함량은 비슷한 수준이었고, 토양 pH와 치환성 Ca^{2+} 및 Mg^{2+} 함량은 출엽기에 높았으며, EC, 유효인산 함량, CEC, 총 질소 함량은 수확기에 높게 나타났다. 특히 수확기의 유효인산 함량은 3년생 이상의 RCF에서 $1,000 \text{ mg kg}^{-1}$ 이상으로 3배 이상 증가하였다. 토양 중 중금속 (Cr, Cu, Pb, As, Zn 등) 함량은 토양오염 우려기준보다 낮은 수준으로 복분자 생육에 장애를 일으킬 수준은 아니었다. 그러나 토양의 수용성 음이온 중 NO_3^- 과 SO_4^{2-} 함량은 채취시기와 장소에 관계없이 수령이 높은 RCF로 갈수록 꾸준히 증가하는 경향을 나타내었으며, PO_4^{2-} 함량은 출엽기-비근권, Cl^- 함량은 수확기-근권에서 수령이 높은 RCF 일수록 높게 나타났다. 그러나 수확기의 수용성 음이온 함량은 대체로 근권보다는 비근권에서 높았다. 이러한 결과로 볼 때 출엽기 이전보다 출엽기 이후부터 수확기까지 공급되는 비료성분의 양이 많은 것으로 판단되며, 특히 RCF 토양의 화학적 특성 중 유효인산 함량과 치환성 K+ 등의 무기양분이 과잉인 것으로 나타났다. 그러므로 복분자 재배를 위한 시비기준의 재검토가 이루어져야 한다고 판단된다.

인 용 문 헌

- Ahn, B.K., J.H. Lee, K.C. Kim, D.C. Choi, J.H. Lee, and S.S. Han. 2010a. Investigation of relationships between soil physic-chemical properties and topography in Jeonbuk upland fields. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:268-274.
- Ahn, B.K., Y.H. Lee, and J.H. Lee. 2010b. Fertilizer management practices with rice straw application for improving soil quality in watermelon monoculture greenhouse plot. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:75-82.
- Chou, C.H. and Y.L. Kuo. 1986. Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan III. Allelopathic exclusion of understory by *Leucaena leucocephala*. *J. Chem. Eco.* 12:1431-1448.
- Chung, B.Y., K.S. Lee, M.K. Kim, Y.H. Choi, M.K. Kim,

- and J.Y. Cho. 2008. Physico-chemical properties of rainfall interception culture and open field culture soil of *Rubus sp.* in Gochang-gun, Jeollabuk-do. Korean J. Soil Sci. Fert. 41:303-309.
- Durner, J., J. Shah, and D.F. Klessing. 1997. Salicylic acid and disease resistance in plant. Trends Plant Sci. 2:266-274.
- Jeon, I.S., M.C. Kim, J.H. Hur, C.Y. Yu, D.H. Cho, and E.H. Kim. 1997. Bioassay of allelopathy substance related injury by successive cropping in alfalfa (*Medicago sativa* L.). Korean J. Crop Sci. 42:228-235.
- Jin, S.J., H.J. Cho, and J.B. Chung. 2004. Effect of soil salinity on nitrate accumulation of lettuce. Korean J. Soil Sci. Fert. 37:91-96.
- Jung, G.B., W.I. Kim, J.S. Lee, J.D. Shin, J.H. Kim, and S.G. Yun. 2003. Assessment on the control of heavy metal in orchard soil in middle part of Korea. Korean J. Environ. Agric. 20:15-21.
- Kang, B.K., J.M. Jeong, J.J. Kim, S.D. Hong, and K.B. Min. 1997. Chemical characteristics of plastic film house soils in Chunbuk area. Korean J. Soil Sci. Fert. 30: 265-271.
- Kim, B.K. 1995. Effect of heavy metal contents in upland soil on the uptake by green onion and lettuce and their growth. Kor. J. Environ. Agric. 14 November.
- Kim, E.S., D.H. Kim, D.D. Kang, C.H. Lee, G.W. Song, and Z.R. Choe. 2005. Changes of yield, available P₂O₅ and exchangeable cation of soil as affected by successive cropping systems employing upland crops. Gyeongnam provincial ARES.
- Kim, J.G., K.B. Lee, S.B. Lee, D.B. Lee, and S.J. Kim. 2000. The effect of long-term application of different organic material sources on chemical properties of upland soil. Korean J. Soil Sci. Fert. 33:416-431.
- Lucas, R.E. and J.F. Davis. 1961. Relationships between pH values of organic soils and availabilities of 12 plant nutrients. Soil Sci. 92:177-182.
- ME (Ministry of Environment). 2002. Enforcement decree of the soil environment conservation act. Ministry of Environment, Korea.
- NIAST (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAST, Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea.
- Park, P.J., S.C. Lo, and S.S. Han. 2003. Control of disease, insect pest and weed in cultivation area of *Rubus Coreanus* Miquel. J. Life Sic & Nat. Res. 26:56-67
- RDA (Rural Development Association). 2006. Fertilization standard of crop plants. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Korea.
- Song, Y.S., B.K. Jeong, H.J. Jeon, U.G. Park, and P.J. Park. 2006. Fertilizing standards of N, P, and K by soil inspection in raspberry cultivation field. Farming application. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Korea.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, J.D. Beaton, and J.L. Havlin. 1993. Soil fertility and fertilizer. 5th ed., Macmillan Publishing Company, NY. USA.
- Uhm. M.J., S.G. Han, K.C. Kim, Y.H. Moon, and J.S. Choi. 2001. Properties of plastic film house soils and physiological disorder of eggplant. Korean J. Soil Sci. Fert. 34:192-198.