

토양수분퍼텐셜이 복분자 습해와 토양특성에 미치는 영향

안병구* · 김갑철 · 김대향 · 이진호¹

전라북도농업기술원, ¹전북대학교 생물환경화학과

Effects of Soil Water Potential on the Moisture Injury of *Rubus coreanus* Miq. and Soil Properties

Byung-Koo Ahn*, Kab-Cheol Kim, Dae-Hyanf Kim, and Jin-Ho Lee¹

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

¹Department of Bioenvironmental Chemistry, Chonbuk National University

This study was conducted to examine the impacts of different soil water potentials on environmental soil properties related to the moisture injury of Korean raspberry (*Rubus coreanus* Miq.). Soil water potential in the plastic film house plots was differentiated from -5 to -40 kPa. Soils in the plots contained 5.6% of plant available water. Increasing soil water contents based on the changes in water potential increased soil pH and exchangeable Ca²⁺ content and decreased exchangeable K⁺ and total N contents. It also declined soil organic matter content at 9 days after water treatments. Relationship between water potential and soil water content was given as an exponential equation, $y = 96.534 - 20.28\ln(x)$. In particular, when the water potential was higher than -20 kPa (27.5% of soil moisture content), it decreased chlorophyll content in the raspberry leaves, inhibited N uptake by the plant, and increased phosphorus content with increasing days after water treatment. Also, as the 7 days after water treatment at higher than -20 kPa of water potential, the root activity of the plant was significantly decreased, and trunk (top)/root (T/R) ratio of the plant markedly declined until 9 days after water supply. Carbohydrate contents in the raspberry plant leaves and roots at dormant stage were the lowest at -5 and -10 kPa of water potential plots, and it may cause winter injury to the plant.

Key words: Soil water potential, Soil moisture, T/R ratio, Moisture and winter injuries

서 언

복분자딸기는 장미과의 나무딸기속에 속하는 낙엽관목으로 높이가 3 m에 달하고 7~8월에 식용가능한 자흑색의 장과가 결실한다. 장미과의 산딸기속 (*Rubus*)에 속하는 식물은 전 세계에 700여종이 있으며 로마시대부터 식용이나 약용으로 이용하여 왔는데 본격적인 재배는 14세기경 유럽에서 시작되었다 (김, 2000). 우리나라에 자생하고 있는 나무딸기류 (*Rubus*)는 복분자딸기 (*R. coreanus*), 멧석딸기 (*R. parvifolius*), 산딸기 (*R. crataegifolius*), 수리딸기 (*R. corchorifolius*), 줄딸기 (*R. oldhamii*) 등 19종이 관목 또는 초본으로 자생하고 있다. 우상복엽의 잎은 호생하고, 줄기는 자줏빛이 도는 적색이며, 흰가루로 덮여 있는데 줄기가 휘어져 땅에 닿으면 뿌리가 내려 번성하게 된다. 개화기는 5~6월이고 연한 홍색의 꽃이 산방화서로 핀다 (Ahn, 2007;

이, 2006; 이, 1985).

복분자 열매는 주로 젤리나 주스 등으로 가공하고 극히 일부만 생식으로 이용하고 있다. 생산량은 전 세계적으로 약 71,868 ha에서 357,995 만톤이 생산되고 국가별로는 러시아가 102,000 만톤으로 가장 많이 생산하고 있다 (Park et al., 2002).

전라북도는 전국 최대 복분자 생산단지로서 전국 생산량의 84%인 12,055 톤을 차지하고 있다. 전라북도내의 지역별 재배면적과 생산량은 2009년 기준으로 고창지역은 1,238 ha의 재배면적에서 4,694 톤을 생산하고, 정읍지역은 699 ha에서 3,813 톤, 순창지역은 560 ha에서 2,541 톤을 생산한다. 특히, 이들 3개 지역의 재배면적과 생산량은 전라북도 전체 재배면적의 87.7%이며, 생산량은 91.6%를 차지하고 있다. 최근에는 환경적인 요인과 병해충 등에 의한 고사로 2009년 1,455 ha였던 재배면적이 2010년 1,201 ha로 21.1% 감소하였다 (전라북도, 2010).

복분자는 천근성 작물로 뿌리는 지하 20~25 cm 정도 깊이에서 주로 분포하고, 많은 수염뿌리를 가지고 있어 습

접수 : 2011. 3. 15 수리 : 2011. 4. 14

*연락처 : Phone: +82632906193

E-mail: ahnbk61@korea.kr

해에 약한 경향이 있다. 따라서 적절한 수분관리는 복분자 재배에서 매우 중요한 요인 중 하나라고 할 수 있다. 복분자의 수분스트레스에 대한 반응은 식물체 외부의 수분포텐셜이 약간만 낮아져도 세포 생장은 현저하게 낮아지고 줄기와 뿌리의 생장지연을 초래할 수 있다 (Blackman and Davies, 1985; Jon and Christopher, 1998; Nam et al., 2005). 특히 고창지역은 토양의 점토함량이 높아 수직배수 조건이 불량하고, 지형적인 특성으로 강우와 강설 지속기간이 길어 습해와 동해 발생우려가 많다. 따라서 강우와 강설에 의한 습해의 생리적인 특성을 조사하여 습해로 인한 피해를 최소화할 수 있는 자료로 활용하기 위해 본 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

수분포텐셜 (water potential)이 복분자 생육에 미치는 영향을 조사하기 위해 전북 고창군 부안면 용산리 복분자 재배 농가의 시설하우스에서 2010년 10월 8일부터 10월 28일까지 실시하였다. 처리구는 수분포텐셜이 -5, -10, -20, -30, -40 kPa인 수준과 수분공급을 하지 않은 대조구를 단구제로 배치하고, 각 처리구에 전자식 토양수분포텐셜 측정센서 (SKM850C2), Time domain reflectometer (TDR)센서 (Aqua-Tel-TDR)를 복분자와 복분자 사이의 지하 30 cm 깊이에 설치하고, 각 처리구의 수분포텐셜에 따라 자동관수가 이루어지도록 관수자동제어기 (Rich-5330, Agronet, Korea)를 설치하고, 복분자 생리 및 토양 특성을 조사하였으며, 또한 시험포장에 토양온도측정기를 설치하고, 비닐하우스 내에는 온도와 습도측정기를 설치하였다.

토양 시료는 수분공급 후 7, 9, 11, 14, 20일에 채취하였는데 물리성 조사를 위해 표토 시료는 토양표면을 1~2 cm 정도 걷어낸 후 100 cm³ core를 이용하여 3 반복으로 채취한 후 실험실로 옮겨 조사하고, 풍건하여 분석용 시료로 사용하였다.

토양수분은 증량기준으로 조사하였고, 토양수분상수는 pressure chamber (Eijkelkamp Agrisearch Equipment)를 사용하여 측정하였다. 토성은 micro pipette법 (Jung et al., 1996; Park et al., 2006)으로 분석하고, 미국 농무성법 분류기준에 따라 토성을 판정하였다 (Gee and Bauder, 1986). 토양화학성 조사 방법은 농업과학기술원 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준하여 실시하였다. 토양의 pH와 EC는 풍건토양과 증류수를 1:5 (w/v)비율로 하여 pH Meter (EUTECH COND600)와 EC Meter (EUTECH ECOSCAN)로 각각 측정하였다. 유기물함량은 Tyurin법, 전질소 함량은 Kjeldahl 분해장치 (Kjeltec 2400-Analyzer, FOSS)를 이용하여 분석하였고, 유효인산은 Lancaster법, 치환성 양이온

(Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺)은 1 N-CH₃COONH₄ (pH 7.0)로 추출하고 Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICP-AES; GBC, Integra)를 이용하여 분석하였다.

복분자 식물체 분석을 위하여 토양시료 채취 시에 함께 채취한 복분자 잎을 채취하였으며, 채취된 식물체 시료는 증류수로 세척하고 70°C에서 72시간 건조 후 분쇄하여 분석용 시료로 사용하였다. 복분자 잎에 함유된 총질소 함량은 CN 원소분석기 (Variomax CN)을 사용하여 Dumas법으로 분석하였다. 무기성분은 시료 1 g을 도가니에 취하고 500°C에서 4시간 회화한 후, 1 N-HCl 10 mL로 잘 용해한 후, 인(P)의 함량은 UV/Vis Spectrophotometer (HP8453 UV-Vis, Agilent)로 측정하였으며, K, Ca, Mg은 원자흡광광도계 (Avanta, GBC)로 측정하였고, 미량원소 (Fe, Mn, Mo, B) 및 중금속 (Cu, Zn)은 ICP-AES로 측정하였다. 또한 수분 공급이 이루어지고 11일 후에 엽록소함량을 처리구별로 20반복으로 Chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta, Japan)을 사용하여 측정하였다.

뿌리활력 측정을 위하여 토양시료 채취 시에 복분자의 뿌리 시료를 채취하였으며, 채취된 시료는 2,3,5-triphenylterazolium chloride (TTC)를 이용하여 환원력을 측정하였다 (Hirata, 1990). 즉, 생체뿌리시료를 흐르는 물로 씻어 낸 후 2 cm 크기로 절단하여, 2 N H₂SO₄ 2 mL, ethyl acetate 10 mL, 석영사 1 g을 함께 넣고 마쇄하여 formazan을 신속하게 추출하고 470 nm에서 흡광도를 측정하였다. 표준곡선은 1% TTC 용액 5 mL에 ethyl acetate 50 mL와 Na₂S₂O₄ 분말 3.75 g (TTC 0.2 mg 당 15~30 mg)을 넣어 용해하고 상등액 50 mL를 취하였다 (formazan 1,000 mg L⁻¹). 이 용액을 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 mL (formazan 2, 4, 6, 8, 10 mg L⁻¹)를 취하여 ethyl acetate를 이용하여 100 mL로 정용한 후, 470 nm의 파장에서 흡광도를 측정하였다 (Lee et al., 1996).

탄수화물 측정은 2010년 12월 21일에 채취한 복분자 줄기와 뿌리를 건조하고 80% ethanol로 추출한 여액 0.3 mL를 같은 양의 증류수와 혼합하고 0.2% anthrone (conc. H₂SO₄에 용해) 3.4 mL로 발색시켜 620 nm의 파장에서 측정하였으며, 측정 시 표준용액은 1% glucose를 사용하였다.

처리간의 통계적인 분석은 SPSS (12.0K)을 사용하여 Duncan 검정 및 회귀분석을 수행하였다.

결과 및 고찰

토양특성 시험기간 동안 일일 평균온도, 지온, 및 습도를 조사한 결과는 Fig. 1에 나타나 있다. 평균온도는 15.9°C (최대 19.3°C, 최소 8.4°C), 평균습도 76.% (최대 90.5%, 최

소 54.8%), 평균지온 17.2°C (최대 19.2°C, 최소 12.1°C)를 보여 주었다.

시험포장의 토양은 산록경사지에 주로 분포하는 장원토(Fine loamy, mixed, mesic family of Typic Fragiudepts)이었으며, 토양의 물리화학적 특성은 Table 1과 같다. 용적밀도는 각각 0.91 Mg m⁻³였고, 토성은 모래 12.9%, 미사 43.2%, 점토 43.9%인 미사질식토이었으며, 중량수분은 21.1%이었다. 토양수분상수의 경우 포장용수량 (-30 kPa) 23.8%, 영구위조점 (-1,500 kPa) 18.2%로 유효수분이 5.6%이었다.

토양화학성은 pH를 제외하고 일반적인 시설재배지의 특

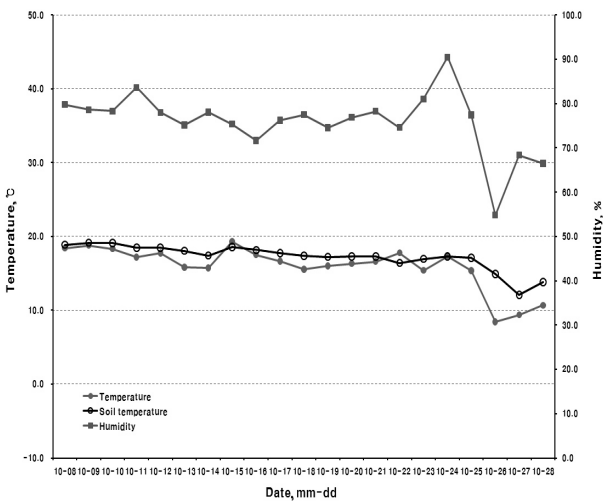


Fig. 1. Changes of air temperature, soil temperature and humidity for Oct. 8 to Oct. 28, 2010.

징과 비슷한 수준이었다. 복분자 재배기준 (pH: 6.0~6.5; EC: <2.0 dS m⁻¹; OM: 25~35 g kg⁻¹; avail. P₂O₅: 350~550 mg kg⁻¹; exch. K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺: 각각 0.7~1.0, 5.0~6.0, 1.5~2.0 cmol_c kg⁻¹)보다 pH는 낮았고, 유효인산은 2배 이상 많았으며, 치환성 K, Ca, Mg 등도 기준보다 높은 편이었다. 특히 시험포장으로 사용한 시설하우스는 농가에서 그동안 무농약으로 재배한 곳이었고, 수확 후 포장관리가 소홀했던 관계로 병해충은 포장 전체에서 관찰되었다 (Table 2). 관찰된 해충은 박쥐나방과 유리나방이었으며, 점무늬병이 처리구에 따라 25~80% 수준으로 관찰되었다. 그러나 병충해 발생정도는 수분포텐셜과 유의성이 없는 것으로 나타났다.

처리구별로 수분을 공급하기 시작한 후 7, 9, 11, 14, 20 일에 채취하여 조사한 토양특성은 Table 3과 같다. 토양 pH는 대조구, -5, -10, -40 kPa 처리구의 경우 처리기간에 따라 증가하는 경향을 보였고, EC는 대조구와 -40 kPa 처리구를 제외하고 변화가 없었다. 토양유기물 함량은 대조구와 -5 kPa 처리구에서 수분공급 시작 후 11일경과시까지 증가하다가 감소하였고, -10 kPa 처리구에서는 9일경부터 감소하기 시작하였다.

유효인산은 -10 kPa 처리구를 제외하고 9일경까지 감소하였고, 치환성 K 이온과 T-N의 함량은 -5와 -10 kPa 처리구에서는 감소하는 경향이 나타났다. 특히 T-N의 함량 변화는 처리된 수분에 의하여 용탈된 NO₃⁻-N의 함량 감소가 영향을 준 것으로 생각된다. 또한 치환성 Mg 이온의 함량은 수분포텐셜의 변화나 처리기간에 따라 유의성 있는 결과가 나타나지 않았다.

그러나 대체적으로 수분포텐셜이 높은 구에서 유효인

Table 1. Selected physical and chemical properties of soil in experimental field.

Soil texture	Bulk density	Porosity	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation				T-N
							K	Ca	Mg	Na	
	Mg m ⁻³	%	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹				%
Silty clay	0.91	56.6	5.3	1.81	38	1,245	1.36	7.92	3.42	0.11	0.20

Table 2. Incidence rate of insect pest and disease in *R. coreanus* during the experimental season.

Water treatment	Inset pest [†]			Disease	
	+++ [‡]	++	+	Diseased plant ratio	Diseased leaf ratio
kPa	%			%	
Control	20.0	6.7	73.3	33.3	0.1
-5	20.0	6.7	73.3	66.7	0.1
-10	20.0	6.7	73.3	80.0	0.5
-20	15.0	10.0	75.0	25.0	0.1
-30	26.7	13.3	60.0	40.0	0.1
-40	10.0	10.0	80.0	50.0	0.1

[†]Inset pest: *Endoclyta excrescens*, *Paranthrene regalis*; Disease: Leaf spot.

[‡]+: one stem damaged, ++: two stems damaged, +++: more than three stems damaged.

Table 3. Effects of water potential on the changes of soil chemical properties.

DWS [†]	Water Treatment	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation				T-N
						K	Ca	Mg	Na	
	kPa	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	-----	cmol _c kg ⁻¹	-----		%
7	Control	5.6	2.10	27.1	739	1.21	6.96	2.30	0.23	0.19
	- 5	6.1	0.54	26.5	901	0.84	9.13	2.28	0.10	0.20
	- 10	6.3	0.45	26.7	654	0.77	9.05	1.89	0.09	0.10
	- 20	6.3	0.64	25.5	875	1.37	5.68	2.47	0.15	0.10
	- 30	6.3	0.57	33.3	788	0.83	8.52	2.24	0.21	0.21
	- 40	5.7	1.71	33.1	1,136	1.17	7.93	1.92	0.16	0.24
9	Control	5.1	1.77	29.5	662	1.22	6.01	2.73	0.19	0.13
	- 5	6.1	0.60	30.3	543	0.94	10.89	2.28	0.19	0.25
	- 10	6.4	0.42	27.7	660	1.27	10.57	2.26	0.18	0.21
	- 20	6.3	0.35	20.5	665	0.61	9.59	2.36	0.19	0.10
	- 30	6.8	0.27	21.9	590	0.68	7.18	1.48	0.21	0.12
	- 40	6.0	1.25	32.4	726	0.80	9.09	2.09	0.23	0.13
11	Control	5.6	1.28	32.9	636	1.15	6.66	1.90	0.16	0.13
	- 5	6.2	0.78	31.2	803	0.81	12.98	2.33	0.20	0.10
	- 10	6.6	0.76	23.2	617	0.86	10.40	2.26	0.13	0.16
	- 20	6.0	0.52	28.7	723	0.84	5.81	1.47	0.15	0.10
	- 30	6.2	0.82	24.6	557	1.26	6.49	2.12	0.15	0.12
	- 40	5.0	1.09	30.9	603	1.02	6.76	2.38	0.18	0.14
14	Control	5.7	1.35	28.5	689	1.09	6.30	1.78	0.17	0.13
	- 5	6.9	0.48	29.3	655	0.44	13.28	0.79	0.24	0.13
	- 10	6.5	0.52	24.0	790	0.74	10.78	2.30	0.21	0.13
	- 20	6.1	0.52	29.9	757	0.72	13.48	2.02	0.22	0.10
	- 30	6.1	0.48	27.3	827	0.78	8.44	1.58	0.19	0.11
	- 40	5.4	0.56	29.1	804	0.73	6.07	1.35	0.16	0.18
20	Control	6.4	1.90	30.3	675	1.27	6.17	2.20	0.22	0.12
	- 5	7.0	0.49	26.0	701	0.52	15.48	1.67	0.26	0.11
	- 10	6.6	0.44	21.9	699	0.76	11.80	2.40	0.21	0.09
	- 20	5.7	0.40	28.9	723	0.83	7.45	1.71	0.24	0.08
	- 30	5.7	0.38	26.0	774	0.80	10.43	1.90	0.21	0.09
	- 40	6.0	0.56	28.5	775	0.90	6.29	2.35	0.21	0.13

[†]DWS: Days of water supply.

산, 치환성 Ca, Mg, Na 이온 함량이 낮았고, 특히 유효인산의 감소가 현저하였다. 이는 침수로 환원화가 진행되면 가용성 Fe²⁺와 Mn²⁺ 용해도가 증가하는데 (Ponnamperuma, 1972), 이때 가용성 Fe²⁺이 H₂PO₄⁻와 결합하여 FeH₂PO₄⁻의 형태로 침전이 진행되기 때문이다 (Lindsay, 1979).

치환성 Ca 이온의 함량은 토양수분량이 많아지면 (-5와 -10 kPa) 점점 증가하는 경향을 보였다. 토양 중에서 불용성 형태로 존재하고 있는 Ca 이온이 수분 증가에 따라 가용성형태로 변화되어 나타난 결과로 보이며, 이와 함께 희석 효과에 의하여 pH도 상승하는 결과를 보였다.

토양수분함량을 알면 토양 중 물의 이동과 식물이 흡수

할 수 있는 물의 상태를 알 수 있다. 그러나 물의 상태는 토양수분함량만으로는 알 수가 없기 때문에, 토양수분포텐셜의 상태를 아는 것이 중요하다. 그러므로 토양수분의 행동을 알기 위해서는 토양수분함량과 수분포텐셜과의 관계를 알아 볼 필요가 있다. 일반적으로 토양 수분함량이 감소하면 수분포텐셜도 감소한다. 이러한 수분함량과 수분포텐셜의 관계를 나타내는 관계식을 토양수분특성곡선 (soil moisture characteristic curve)이라 하고, 이는 토성과 토양구조에 따라 달라지며, 토양의 수분보유력을 알 수 있는 좋은 자료가 된다. 같은 토양수분포텐셜에서 토성에 따라 수분함량이 달라 단순히 수분함량을 비교하여 토양

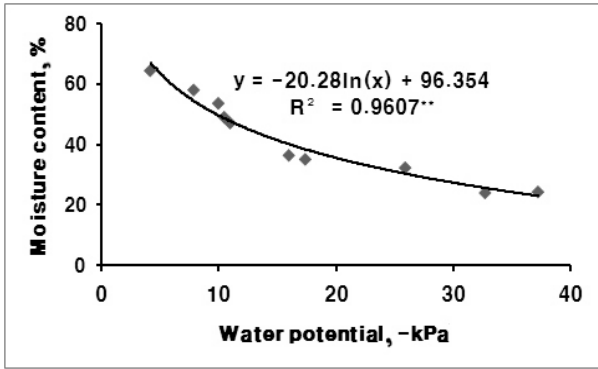


Fig. 2. Relationships between moisture contents and water potential in the soil studied.

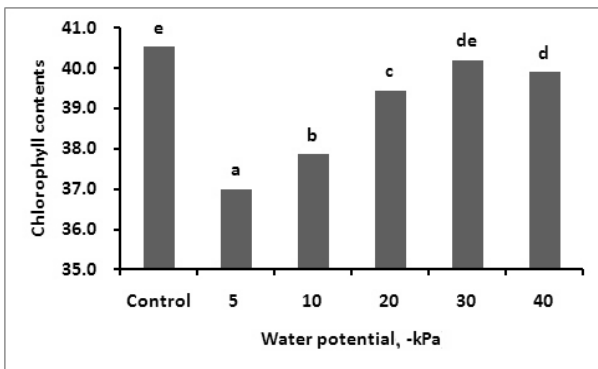


Fig. 3. Chlorophyll contents of *R. coreanus* leaves at 11 days after water supply. Bars with same letters are not significantly different at 0.05 significant level.

수분 상태를 알 수는 없다 (김, 2008).

따라서 Fig. 2는 본 시험의 토양수분함량과 수분포텐셜과의 관계를 보여준 것으로 수분포텐셜과 토양수분함량 사이에는 $y = 96.534 - 20.28\ln(x)$ 의 지수함수 근사식이 얻어지고, 이 근사식을 이용할 경우 -5, -10, -20, -30, -40 kPa의 수분함량은 63.7%, 49.7%, 35.6%, 27.4%, 21.5%이었다. 이러한 관계식은 수분포텐셜을 이용하여 측정하는 재배지에서 이에 대응하는 수분함량을 예측할 수 있는 식으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다 (Kim et al., 2009).

복분자 특성 수분 공급이 이루어지고 11일 후에 조사한 복분자 잎의 엽록소함량은 Fig. 3에 나타나 있다. 수분포텐셜이 -20 kPa 이상이면 엽록소함량이 감소하기 시작하여 -5 kPa이면 대조구에 비해 8.6%가 감소하는 것으로 나타났다.

엽 중 엽록소 함량을 나타내는 SPAD-chlorophyll meter 값은 토양수분 함량이 낮을수록 증가하고 (Kim et al., 2000), 엽 중 질소함량과 SPAD값은 정의 상관관계가 있다 (Nielsen et al., 1995)고 하였고, 인산, 칼리 및 마그네슘은 처리간에 유의성이 없다 (Kim et al., 2000)고 하였다.

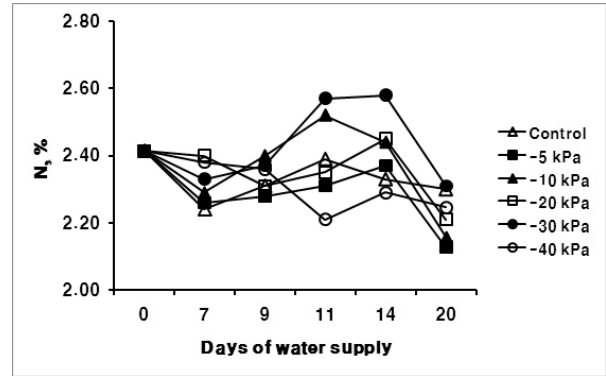


Fig. 4. Effects of water potential on nitrogen contents in leaves of *R. coreanus* during 20 days after water supply.

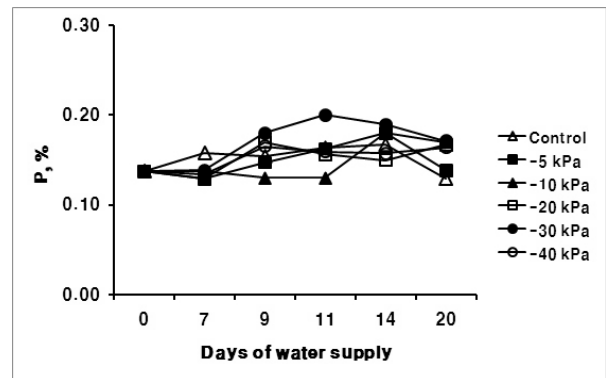


Fig. 5. Effects of water potential on phosphorus contents in leaves of *R. coreanus* during 20 days after water supply.

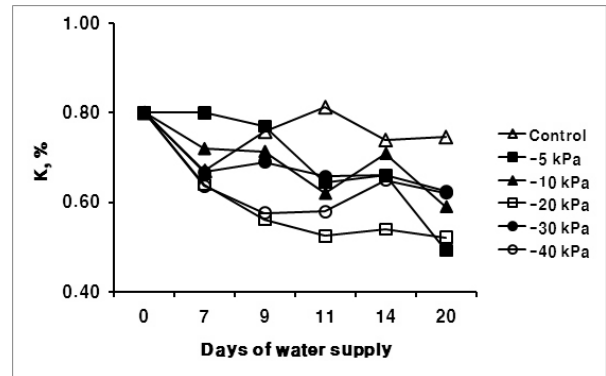


Fig. 6. Effects of water potential on potassium contents in leaves of *R. coreanus* during 20 days after water supply.

그리고 수분공급 7일이 경과하면 복분자 잎의 N 함량이 감소하기 시작하여 과습 조건 (-5와 -10 kPa)이 되면 근권의 산소부족이 발생하고 뿌리호흡장애로 이어져 질소 농도가 급격히 감소하는 것으로 나타났다 (Fig. 4). 그러나 -30, -40 kPa 수준과 대조구의 경우 9일 이후부터 약간 증가하는 것으로 나타났다.

또한 복분자 잎의 P 함량은 수분공급 시간에 따라 증가하는 경향을 보였다 (Fig. 5). 이는 토양 중 인산 이용률이 증가하였고, 토양 중 유효인산 함량이 감소하는 결과로 이

어졌다.

산소부족으로 뿌리호흡 장애가 나타나면 무기성분 흡수가 줄어들었다고 하였고, 실제로 질소에서 그러한 증상이 나타났는데, 칼륨의 경우에는 반대의 경향을 보였다 (Fig. 6). 즉 7일차까지는 모든 처리구에서 감소하다가, 대조구와 -40 kPa 처리구를 제외하고는 감소 폭이 둔화되거나 소폭 증가하였는데 수분함량이 적은 -40 kPa 처리구에서는 크게 감소하였다. 이는 상대적으로 토양수분함량 낮음에 따라 복분자 식물체의 칼륨 흡수량도 제한을 받은 것으로 판단된다. Kang et al. (2006)의 연구에서 -15 kPa 처리구 보다 -30 kPa과 -40 kPa 처리구에서 토마토 당도가 현저히 증가한 것은 관수량을 줄일 경우 식물체내 (과실) 수분함량이 상대적으로 감소하기 때문에 당도가 증가한다고 하였다.

그리고 장기간 침수에 따른 캠벨얼리 포도나무 잎에서의 P, K, Ca, Mg의 함량은 대조구에 비해 낮아졌으나, 포도 잎의 N함량은 차이가 없었다 (Kang et al., 2010)고 하였고, Kozłowski and Pallardy (1984)는 25종의 식물에서 침수 또는 혐기적 상태에서 N 흡수를 조사한 결과 18종은 흡수가 감소, 5종은 증가, 2종은 차이가 없다고 보고하였다. 이러한 결과는 식물간에 N의 흡수 능력에 차이가 있는 것으로 보고 있으며, 침수가 되면 K 흡수는 강하게 억제된다 (Lawton, 1945).

특히 과습이나 침수가 되면 식물은 뿌리호흡과 활력이 감소한다 (Kang et al., 2010; Carperter and Mitchell, 1980; Ro et al., 1995; Tripepi and Mitchell, 1984). 뿌리활력이 감소되는 주요 원인으로는 침수 시 용존산소가 뿌리내로 원활하게 확산되지 못하기 때문인데, 본 실험에서는 처리별 수분공급을 다르게 한 후 뿌리활력을 측정하기 위하여 처리구별로 잔뿌리가 손상되지 않도록 채취하였다. 복분자 뿌리분포는 지하 20~25 cm, 직경 120 cm 내에 분포 (Fig. 7)하였고, 뿌리활력은 TTC 환원력으로 측정하였다 (Fig. 8).

뿌리활력은 수분을 공급하기 시작하여 7일부터 감소하기



Fig. 7. Distribution of *R. coreanus* root.

시작하였고, 수분장력이 높을수록 뿌리활력이 떨어진 것으로 나타났다. 토양수분조건이 과습 조건 (-5 ~ -20 kPa)일 때 9일차까지 감소폭이 컸고, 그 이후부터는 감소정도가 완만하게 진행되었다. 토양수분퍼텐셜이 -30, -40 kPa인 경우와 대조구에서 뿌리활력은 큰 차이가 없었다. Harr et al. (1999)의 보고에 의하면 마늘에 수분 stress를 유발시키면 초장, 건물중, 엽면적, 마디수 등에 대한 생육억제가 심하였으며 특히 뿌리보다는 줄기의 생장억제가 심하다고 하였으며, Nam et al. (2005)도 토양수분이 많아지면 뿌리에 비해 초장의 생육이 현저하게 떨어진다고 하였다. 포도나무의 경우에도 침수 시 뿌리활력은 현저하게 저하되는 것으로 알려져 있다 (Kang et al., 2010).

수분퍼텐셜에 따른 복분자 지상부와 뿌리 발육상태를 조사하기 위하여 지상부에 대한 뿌리비율 (T/R율)을 조사하였다 (Fig. 9). T/R율은 대조구를 제외하고 수분공급을 시작한 9일경까지 급격히 감소하다가 그 이후부터는 안정된 모습을 보였다. 즉 수분 stress로 인하여 초기에는 뿌리발달이 둔화되고 10일경부터는 복분자 전체 생장이 정지상태에 접어들었다고 판단된다. 일반적으로 정상적인 생육이 이루어지고 있는 경우 T/R율이 1.0 이상인 반면 침수구는 0.8 이하로써 침수피해는 지하부 보다는 지상부에서

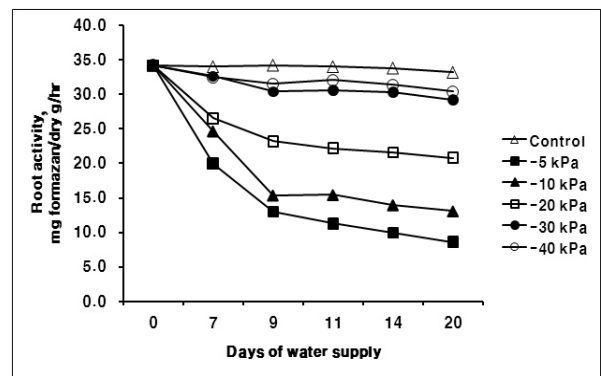


Fig. 8. Effects of water potential on root activity of *R. coreanus* during 20 days after water supply.

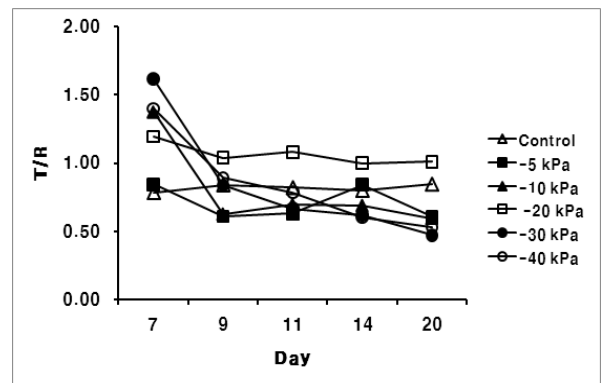


Fig. 9. Effects of water potential on top-root ratio of *R. coreanus* during 20 days after water supply.

Table 4. Carbohydrate contents in shoot and root of *R. coreanus*.

Treatment	Shoot	Root
kPa	----- % -----	
Control	34.2	1.2
-5	27.2	0.4
-10	27.2	0.5
-20	31.0	0.7
-30	42.6	1.3
-40	39.8	1.0

크게 나타나는 경향이 있다 (Kang et al., 2010).

토양근권에서 산소부족에 따른 생육장애 현상을 극복하기 위해 작물은 구조적인 변형을 통해 산소흡수가 용이한 측근의 밀도를 증가시키거나 T/R율을 감소시킨다. 이러한 뿌리의 형태적인 변형으로 침수환경에서 무기양분의 흡수 양상에도 큰 변화가 나타나며 (Rubio and Lavado, 1997), 작물에 따라 N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn 등과 같은 무기양분의 흡수에 변화 (증가 또는 감소)가 나타난다 (Close and Davidson, 2003; Smethurst et al., 2005).

수분 stress에 의한 복분자의 동해를 예측하기 위하여 휴면상태, 즉 잎이 낙엽 된 이후에 복분자 식물체의 줄기와 뿌리의 탄수화물함량을 조사하였다 (Table 4). 수분포텐셜이 증가할수록 줄기와 뿌리의 탄수화물함량이 감소하였고, 수분포텐셜이 -30과 -40 kPa의 경우 대조구와 비슷한 수준의 탄수화물함량을 나타내었다. 수분포텐셜이 -5와 -10 kPa의 경우 수분 stress가 발생하여 탄수화물의 합성에 부정적으로 작용하여 다른 처리구와 비교할 때 탄수화물 양이 적은 상태로 휴면기에 들어가 저온에 의한 피해가 나타날 수 있다고 판단된다.

요 약

토양수분포텐셜이 복분자 생육에 미치는 영향을 조사하기 위하여 복분자 시설하우스에서 -5 ~ -40 kPa 수준으로 토양수분을 처리하였다. 시설하우스내의 토양유효수분은 5.6%이었고, 수분포텐셜에 따라 토양수분함량이 높아지면 토양 pH와 치환성 Ca은 증가하였고, 치환성 K와 전질소 함량은 감소하였으며, 유기물함량은 수분처리 9일 이후부터 감소하였다. 수분포텐셜과 토양수분함량 간에는 $y = 96.534 - 20.28\ln(x)$ 의 지수함수 근사식이 성립되었다. 수분포텐셜이 -20 kPa (토양 수분 27.5%) 이상이면 복분자 잎의 엽록소 함량이 감소하였고 질소흡수가 억제되며, P 함량은 수분공급 시간에 따라 증가하였다. 수분포텐셜 -20 kPa 이상의 수준으로 7일 이상이 경과하면 뿌리활력이 급격히 감

소되어 생육이 위축되었다. 지상부에 대한 뿌리비율 (T/R률)은 수분공급 9일까지 급격히 감소하였다. 휴면기의 복분자 줄기와 뿌리의 탄수화물 함량은 -5 kPa과 -10 kPa 처리구에서 가장 낮아 동해 위험도가 가장 높았다.

감사의 글

본 연구는 재단법인 고창복분자연구소의 2010년 지역농식품 선도클러스터 육성사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- Ahn, Y.H. and Y.H. Kim. 2007. Distribution and ecological characteristics of native *Rubus coreanus* in Korea. Kor. J. Env. Eco. 21(2):176-185.
- Blackman, P.G. and W.J. Davies. 1985. Root to shoot communication in maize plants and the effect of soil drying. J. Ecp. Bot. 36:39-48.
- Carperter, J.R. and C.A. Mitchell. 1980. Root respiration characteristics of flood-tolerant and intolerant tree species. J. Am. Soc. Hort. Sci. 105:684-687.
- Close, D.C. and N.J. Davidson. 2003. Long-term waterlogging: nutrient, gas exchange, photochemical and pigment characteristics of *Eucalyptus nitens* saplings. Russian J. Plant Physiology. 50:843-847.
- Gee, G.W. and J.W. Bauder. 1986. Particle size analysis. In Method of soil analysis part I. A. Klute (2nd ed.) p. 383-411. American Society of Agronomy, Madison. WI.
- Harry, T., P.F. Pace, S.H. Cralle, M. El-Halawany, J.T. Cothren, and S.A. Senseman. 1999. Drough-induced changes in shoot and root growth of young cotten plants. J. Cotten. Sci. 3:183-187.
- Hirata, K. 1990. Plant nutrient experiment method. Haku-bunkan Shinshu Publishers, Ltd., Tokyo. p. 52-55.
- Jung, G.B., B.Y. Kim, K.S. Kim, J.S. Lee, and I.S. Ryu. 1996. Distribution of heavy metal contents in medicinal plants and soils with soil texture. Korean. J. Soc. Soil Sci. 29:158-164.
- Kang, N.J., M.W. Cho, J.K. Kweon, H.C. Rhee, and Y.H. Choi. 2006. Effects of deficit irrigation on the total soluble solids and fruit yields of fresh tomato. J. Bio-Environ. Control. 15(4):335-339.
- Kang, S.B., I.B. Lee, J.M. Park, and T.J. Lim. 2010. Effect of waterlogging conditions on the growth, root activities and nutrient content of 'Campbell early' grapevine. Kor. J. Hort. Sci. Technol. 28(2):172-179
- Kim, H.J., D.W. Son, S.O. Hur, M.Y. Roh, K.Y. Jung, J.M. Park, J.Y. Rhee, and D.H. Lee. 2009. Comparison

- of wetting and drying characteristics in differently textured soils under drip irrigation. *J. Bio-Environ. Control.* 18(4): 309-315.
- Kim, Y.B., C.G. An, and Y.H. Lee. 2000. Effect of soil moisture on quality and yield in tomatoes. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 41(2):139-142.
- Kozłowski, T.T. and S.G. Pallardy. 1984. Effects of flooding on water, carbohydrate, and mineral relations. p. 165-193. In T.T. Kozłowski (de.), *Flooding and plant growth.* Academic Press. Orlando. FL, USA.
- Lawton, K. 1945. The influence of soil aeration on the growth and absorption of nutrients by corn plant. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 10:263-268.
- Lee, S.Y., C.S. Kim, J.W. Cho, and T.G. Kang. 1996. Physiological response of barley seedlings to salt stress. *Korean. J. Crop. Sci.* 41:665-671.
- Lindsay, W.L. 1979. *chemical equilibration in soils.* Wiley-Interscience. USA. p. 129-148.
- Nam, S.S., I.H. Choi, and Y.S. Jang. 2005. Response of root elongation and plant height growth in southern type garlic (*Allium sativum* L.) under different soil water potential conditions. *Kor. J. Hort. Sci. Techno.* 23(1):1-5.
- Nam, S.S., I.H. Choi, and Y.S. Jang. 2005. Response of root elongation and plant height growth in southern type garlic (*Allium sativum* L.) under different soil water potential conditions. *Kor. J. Hort. Sci. Technol.* 23(1):1-5.
- Neilsen, D., E.J. Hogue, G.H. Neilsen, and P. Parchomchuk. 1995. Using SPAD-502 values to assess the nitrogen status of apple trees. *HortScience.* 30:508-512.
- NIAST. 2000. *Method of soil and plant analysis.* National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.
- Park, P.J., S.C. Lo, and S.S. Han. 2002. Control of disease, insect pest and weed in cultivation area of *Rubus coreanus* Miquel. *J. Life Sci. & Nat. Res.* 26:56-67 (Wonkwang University).
- Park, S.N., K.H. Kim, and J.Y. Kang. 2006. Accuracy and precision of spectrophotometric measurement of clay content in soils. *Korean. J. Soc. Soil Sci.* 49:153-157.
- Ponnamperuma, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. *Adv. Agron.* 24:29-96.
- Ro, H.M., J.M. Park, and K.Y. Kim. 1995. Effect of dissolved oxygen on the leaf water potentials, leaf nutrient compositions, root activities of Tsugaru apple tree and the chemical environment of rhizosphere. *J. Kor. Soc. Hort. Sci.* 36:493-499.
- Rubio, G. and R. Lavado. 1997. Mechanism for the increase in phosphorus uptake of waterlogged plants: soil phosphorus availability, root morphology and uptake kinetics. *Oecologia,* 112:150-155.
- Smethurst, C.F., T. Garnett, and S. Shabala. 2005. Nutritional and chlorophyll fluorescence response of lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery. *Plant Soil.* 270:31-45.
- Tripepi, R.R. and C.A. Mitchell. 1984. Stem hypoxia and root respiration of flooded maple and birch seedlings. *Physiol. Plant.* 60:567-571.
- 김만지. 2000. 복분자밭기의 재배 및 전망. *산림지* 8월호. p. 110-113.
- 김선관. 2008. *토양학.* 도서출판 그린토마토, 서울.
- 이영노. 2006. *원색한국식물도감.* 교학사, 서울.
- 이창복. 1985. *대한식물도감.* 향문사, 서울.
- 전라북도. 2010. *전북 복분자산업 광역화 추진백서.* 전라북도청