

토양수분포텐셜이 북부형 하이부쉬 블루베리의 생육에 미치는 영향

김홍림* · 곽용범 · 김형득 · 김진국¹ · 최영하

농촌진흥청 국립원예특작과학원 남해출장소, ¹농촌진흥청 국립원예특작과학원 과수과

Effect of Different Soil Water Potentials on Growth Properties of Northern-Highbush Blueberry

Hong-Lim Kim*, Yong-Bum Kwack, Hyoung-Deug Kim, Jin-Gook Kim¹, and Young-Hah Choi

Namhae Sub-Station, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Namhae 668-812, Korea, ¹Fruit Research Division, National Institute of Horticultural & Herbal Science, Rural Development Administration, Suwon 440-706, Korea

The soil moisture has an important effect on growth and development of highbush blueberry (HB), mainly because the root system, devoid of root hairs, is superficial. Moreover, the texture and organic matter content of Korean soil is different from the main producing counties, such as USA and Canada. To facilitate the growth and development of HB and long-term maintenance of productivity, the research related to soil moisture condition in Korea should be the priority. This study was performed to investigate the growth properties of the HB in various soil moisture conditions in order to determine the irrigation trigger point and optimum soil water potential. The texture of soil used in this experiment was loam. For the experiments, the soil was mixed with peatmoss at a rates 30% (v/v). Irrigation was scheduled at -3, -4, -5, -8, -15 and -22 kPa soil water potential then investigated leaf macronutrient, bush growth, and fruit properties. The leaf K content of HB showed the same trend in the soil water potential, but Leaf P and Mg content was highest in -5 and -22 kPa, respectively. The productivity and growth amount of HB showed the peak at the range of -4~-8 kPa as normal distribution pattern, and greatly decreased at above -15 kPa. Total dry weight and Cane diameter were highest at -4 kPa, plant width, fruit weight and yield were highest at -5 kPa, and plant height, cane number and shoot tension were highest at -8 kPa. Soluble solids content showed same trend in the soil water potential, but titratable acidity, anthocyanins and total polyphenols were not significantly different. Therefore, the optimal soil water potential for the development and a maximum production of HB were a range of -4~-8 kPa, and the recommended ideal irrigation trigger point was within -15 kPa.

Key words: Highbush blueberry, Growth, Soil water, Soil water potential

서 언

하이부쉬 블루베리 (*Vaccinium corymbosum* L.)는 *Ericaceae* 과에 속하는 *Vaccinium*속 식물로서, *V. corymbosum*과 *V. australe*이라는 두 야생종에서 발달한 식물이며 (Gough, 1994), 국내에는 2000년대 초반에 도입되어 2010년 현재 재배면적이 약 600 ha에 이르는 것으로 추정되고 있다 (한국 블루베리협회, 2010).

블루베리는 세근의 부재와 천근적 특성을 가진 근계 때문에 생장과 과실생산에 미치는 토양수분의 영향이 매우 크

다 (Gough, 1980; Freeman, 1983; Garren, 1988; Haman et al., 1988; Holzapfel et al., 2004). 적절한 토양수분 조건에서의 블루베리는 건조한 조건과 비교하여 생존력, 생육 그리고 수량 등에서 큰 차이를 나타내며 (Anderson et al., 1979; Davies and Johnson, 1982), 꽃눈형성기간의 건조회피가 착화량을 증대시킨다 (Benoit et al., 1983; Trevett, 1967). 블루베리 생육기간 중 수분 요구량이 가장 많은 시기는 발아기와 낙화 2주 전 그리고 수확 2주 전·후라고 하였다 (Brightwell and Austin, 1980; Bell, 1982; Gough, 1982). 호주의 New South Wales지역은 과실 비대기에 1주일 기준으로 약 38 mm를, 생육기간에는 25 mm를 권장하고 있으며 (Bell, 1982; Freeman, 1983), 미국 Georgia주에서는 생육기간 왕성한 뿌리발달을 위하여 25.5~44.5 mm를 권장하고 있다 (Brightwell and Austin, 1980). Florida북

접수 : 2011. 3. 14 수리 : 2011. 4. 11

*연락처 : Phone: +82558641505

E-mail: khllol@korea.kr

부지역에서는 전 생육 기간 동안 관수와 강수를 포함한 물 소요량이 약 1,000 mm라 하였다 (Lyrene and Crocker, 1991). 이와 같은 블루베리의 높은 수분요구량 때문에 블루베리 재배지 토양은 반드시 충분한 배수조건을 갖추어야 한다 (Coville, 1910; Haynes and Swift, 1985). Korcak (1989)에 따르면 블루베리에 적합한 토성은 사토 (>85% Sand) 또는 양질사토 (>70% Sand; <15% Clay)이며, 유기물 함량은 40~150 g kg⁻¹이 적합하다 하였다.

그러나 국내 토성은 양토 (L), 사양토 (SL) 그리고 미사질 양토 (SiL)가 전체 토양의 80%를 차지하고 있기 때문에 (Kim et al., 2003; Sohn et al., 1999), 이량을 높이고, 피트모스와 같은 유기자재를 30%내외로 혼합함으로써 배수 등의 물리적 환경을 개선하고 있다 (Kim et al., 2010). 그러나 피트모스를 포함한 대부분의 유기자재의 유효수분 범위는 -1.0~-5.0 kPa 이기 때문에 (da Silva et al., 1993), 기존토양의 유효수분 범위 (-10~-100 kPa)와 크게 달라 이들의 혼용은 기존 과수의 관수점과 다를 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 기 보고되었던 적정 피트모스 혼합비율 30% (Kim et al., 2010)의 조건에서 토양수분포텐셜이 블루베리 생육과 과실특성에 미치는 영향을 구명하여 이를 활용하고자 수행하였다.

재료 및 방법

시험품종 및 처리조건 본 연구는 국립원예특작과학원 남해출장소 시설하우스에서 2009년부터 2010년까지 수행하였다. 시험수의 품종은 Spartan (*V. corymbosum* L.)이며, 재식 당시 수령은 3년생이었다. 시험수는 표토 30 cm에 30% (v/v)의 피트모스가 혼합된 콘크리트 무지포트 (D 80 cm, A 12 m)에 재식 하였으며, 멀칭은 하지 않았다. 시험토양의 토성과 화학성은 Table 1에서 보는 바와 같이 pH는 적정 수준인 4.0~4.5과 비교하여 다소 높은 경향이 있으나, 유기물 함량은 적절한 수준이었다 (Coville, 1910; Haynes and Swift, 1985; Korcak, 1989; Gough, 1994).

토양수분처리에는 시험토양의 수분보유곡선 (Fig. 1)을 조사하여 수분함량 변동이 컸던 범위에서 3수준 (-3 kPa, -4 kPa, -5 kPa)과 변동기울기가 거의 정지되어, 수분함량의 변화가 미세했던 범위에서 3수준 (-8 kPa, -15 kPa, -22 kPa)을

관수 개시점으로 설정하여 총 6수준3반복으로 수행하였으며, 반복당 3주의 시험수를 재식 하였다. 각 수준별 토양수분제어는 자동관수제어장치 (Rich-5330, Agronet, Korea)와 전자식 토양수분장력센서 (SKM850C2, SDEC, France)를 이용하여 조절하였다. 또한 보조적으로 토양수분함량측정기 (WP600&WT1000, Mirae sensor, Korea)을 설치하여 수분함량의 경시적인 변화를 관찰하였다. 시비량은 미시간 주립대학에서 제공하는 시비량을 바탕으로 질소 (유안, 1.1 kg 10 a⁻¹)와 칼리 [황산칼리 (kg 10 a⁻¹) = -0.275x + 49.35 (x = 시비 전 토양 치환성 칼륨 함량)]는 기비 60%, 추비40%로 분할하여 시비하였으며, 인산 [용과린 (kg 10 a⁻¹) = -0.1686x + 29.114 (x = 시비 전 토양 유효인산 함량)]은 전량 기비 하였다 (Hanson and Hancock, 1996).

블루베리 생육조사 시험 후 수고, 수폭, 경경, 줄기 (Cane) 수, 결과지의 수분포텐셜 및 건물중 등 생장특성과 과실특성을 조사하였다. 수고는 줄기 지제부에서 선단까지의 길이, 수폭은 주간을 중심으로 신초가 자란 최대 폭을, 경경은 지제부 10 cm상단의 두께를 캘리퍼스로 측정하였다. 줄기수는 지제부 위에 발생한 총 줄기수를 조사하였으며, 결과지의 수분포텐셜은 PMS (Model 1000, USA)를 이용하여 장력의 변화가 비교적 적은 오전에 3장의 잎이 부착된 상태로 측정하였다. 건물중과 엽중 무기성분 조사를 위한 식물체 시료는 10월 하순에 채취하여 잎과 줄기 그리고 뿌리를 각각 분리하여 건조 후 조사하였다. 블루베리 과실의 특성은 과중, 당도, 산함량, 안토시아닌 그리고 총 페놀 함량을 조사하였다. 당도는 굴절당도계로, 산함량은 0.1N NaOH측정법으로 조사하였다. 블루베리 과실의 안토시아닌과 총 페놀 함량을 측정하기 위한 추출법은 Barnes et al. (2009)의 방법을 개량하여 측정하였다. 블루베리 시료 5g을 안토시아닌 추출액 (EtOH : DW : HCl = 70 : 30 : 1, V/V/V)과 함께 1분간 마쇄한 후 원심분리 (14,000 x g, 4°C, 20 min)후 최중부피를 20 mL로 하여 각 성분 분석의 시료로 사용하였다. 블루베리 과실의 총 안토시아닌 함량은 Connor et al. (2002)의 방법에 따라서 측정 후 cyanidin-3-glucoside 함량으로 표기하였다. 총 페놀 함량은 Folin-Denis법 (Singleton and Rossi, 1965)에 따라 추출액 1 mL에 3차 증류수 8 mL을 첨가하고 1 mL Folin-Ciocalteu

Table 1. Physicochemical properties of soil used in experiment.

Soil texture	pH	EC	OM	Avail. P ₂ O ₅	Exch. Cation			NH ₄ -N	NO ₃ -N
					K	Ca	Mg		
	(1:5)	dS m ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹			mg kg ⁻¹	
Loam	5.47 ± 0.23 [†]	1.80 ± 0.80	41.7 ± 1.69	1,450 ± 65.0	0.94 ± 0.19	6.29 ± 0.83	1.12 ± 0.39	19.7 ± 4.83	58.8 ± 28.6

[†]Mean ± SD (n=9)

시약을 넣어 5분간 반응시킨 후 20% Na₂CO₃ 용액 (50°C)을 1 mL 넣고 실온에서 1시간 정치한 후 흡광광도계 (Agilent, USA)를 이용하여 725 nm에서 측정하였다. 측정값은 Gallic acid (Sigma, USA)를 표준물질로 삼아 검량선 (0~100 µg)을 구한 다음 페놀 함량을 구하였다.

토양 및 식물체 무기물 분석 시험 전 토양 pH, 유기물함량, Av.P₂O₅, NO₃-N, NH₄-N 그리고 치환성 양이온 등은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여, pH는 초자전극법, 유효인산은 Lancaster법, 유기물함량은 Tyurin법, NO₃-N와 NH₄-N는 Kjeldahl법, 양이온은 AA를 이용하여 분석하였다. 엽중 총 질소는 Kjeldahl법으로, 인산은 Vanadate법으로, 칼슘 등 무기성분은 습식분해 후 AA로 분석하였다 (RDA, 2000).

결과 및 고찰

시험토양의 수분보유곡선을 조사하기 위하여 포장에 설치한 토양수분장력계와 수분함량측정기를 이용하여 조사한 결과 Fig. 1과 같이 토양수분포텐셜이 -5 kPa까지 증가하는 동안 토양 수분함량은 크게 감소하였으나, 이후 장력의 증가에 따른 토양수분함량 변동은 매우 미미하였으며, 전형적인 "L"자형 패턴을 나타냈다. 토양 수분보유곡선은 토성에 따라 다르며, 양토 (Loam)의 수분함량은 -10~-1,000

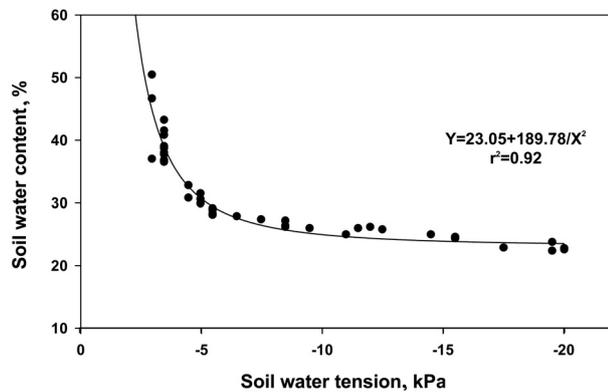


Fig. 1. Water retention curve of soil used in experiment.

kPa범위에서 완만하게 감소하는 반면, 사토 (Sand)는 -1~-10 kPa범위에서 급격히 감소하는 특성을 갖는다 (watanabe et al., 2011). 따라서, 시험토양은 본 토양인 양토보다는 오히려 사토에 더 가까운 토양수분특성을 나타냈으며, 이는 -1.0~-5.0 kPa의 유효수분 영역과 0~-2.5 kPa에서 급격한 수리전도도의 변화를 가지는 피트모스가 다량 혼합되어 나타난 결과로 판단된다 (da Silva et al., 1993; Kang et al., 2004).

토양수분포텐셜과 엽중 다량성분 토양 수분함량에 따른 블루베리 엽중 양분함량은 Table 2와 같다. 엽중 질소함량은 처리간 유의차 없이 약 12.7~14.1 g kg⁻¹ 범위를 나타냈다. 인산함량은 -5 kPa까지 토양수분포텐셜이 증가함에 따라 0.61에서 0.71 g kg⁻¹로 완만하게 증가하였고, 이후 -8 kPa 이상에서는 크게 감소하여 -22 kPa에서는 0.40 g kg⁻¹의 수준을 나타냈다. 엽중 인산함량의 경우 -15 kPa 이상의 수분조건에서 크게 하락하는 경향을 보인 것은 세균이 없는 블루베리 뿌리의 특징적 구조와 더불어 토양 건조로 인한 뿌리 성장하락이 토양과의 접촉 표면적을 크게 낮추었기 때문으로 판단된다 (Table 3).

엽중 칼륨함량은 질소와 인산과 달리 토양수분포텐셜의 증가와 같은 경향을 나타냈으며, -3 kPa에서는 4.38 g kg⁻¹이었던 수준이 -22 kPa에서는 7.40 g kg⁻¹로 증가하였다. 토양건조에 따른 엽중 칼륨함량의 증가는 다른 작물들에서 일반적으로 나타나는 경향이며 (Huang, 2001; Samarah et al., 2004; Kusaka et al., 2005), 엽중 칼륨이온의 증가가 기공조절, 증산, 삼투조절, 팽압 그리고 단백질 합성과 같은 대사에 관여함으로써 작물의 건조 저항성을 증대시키기 때문으로 알려져 있다 (Marschner, 1995). 칼슘함량은 처리간 유의차 없이 7.1~9.7 g kg⁻¹ 수준을 나타냈다. 그러나 마그네슘함량은 -15 kPa까지 1.50 g kg⁻¹ 내외의 수준에서 처리간 유의차를 보이지 않았으나, -22 kPa수분 조건에서는 2.29 g kg⁻¹로 크게 상승하였다. 일반적으로 토양건조는 작물의 엽중 칼리 함량 뿐만 아니라 칼슘과 마그네슘농도 역시 증가시킨다 (Erlandsson, 1975; Marschner, 1995; Alam, 1999; Huang, 2001; Kaya et al., 2006) 그러

Table 2. Effect of different soil water potentials on the content of macro-nutrients in blueberry leaves.

Treatment	N	P	K	Ca	Mg
			g kg ⁻¹		
-3 kPa	12.9a [†]	0.61b	4.38c	9.00a	1.64b
-4 kPa	12.8a	0.67ab	4.57c	8.19ab	1.53b
-5 kPa	14.1a	0.71a	5.09bc	7.05b	1.54b
-8 kPa	14.0a	0.64ab	5.10bc	8.34ab	1.60b
-15 kPa	13.8a	0.46c	6.03b	8.11ab	1.69b
-22 kPa	12.7a	0.40c	7.40a	9.76a	2.29a

[†]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at p=0.05.

Table 3. Effects of different soil water potentials on the blueberry growth and shoot tension.

Treatment	Plant height	Plant width	Cane Diameter	No. of cane	Dry weight			Shoot tension
					Leaf	Stem	Root	
	----- cm plant ⁻¹ -----		mm	No. plant ⁻¹	----- g plant ⁻¹ -----			MPa
-3 kPa	182.3a [†]	95.3a	11.8ab	15.0a	710.0a	1,327b	687ab	-0.68c
-4 kPa	197.3a	88.7a	12.1a	17.7a	776.7a	1,720a	830a	-0.81c
-5 kPa	191.0a	84.0a	11.6ab	16.3a	543.3b	1,190b	613b	-0.78c
-8 kPa	178.0a	70.3ab	9.9bc	17.3a	406.7c	853c	617b	-0.75c
-15 kPa	129.0b	48.3bc	10.2abc	6.70b	150.4d	316d	357c	-1.24b
-22 kPa	110.7b	38.3c	8.7c	7.70b	107.6d	233d	333c	-1.42a

[†]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

나 블루베리는 칼슘에 대한 토양수분 반응은 크지 않았으며, 마그네슘 역시 반응이 크지 않은 것으로 판단된다. 일반적으로 엽중 마그네슘 증가는 토양수분보다는 토양 pH, 치환성 양이온 함량 그리고 망간의 농도에 대한 영향이 더 크다고 알려져 있다 (Metson, 1974; Hanson and Hancock, 1996).

토양수분포텐셜과 생육특성 토양수분포텐셜에 따른 블루베리 생장과 결과지의 수분포텐셜을 조사한 결과는 Table 3과 같다. 수고는 -8 kPa까지 178~197 cm범위로 차이를 보이지 않았으나, -15 kPa 이상에서는 크게 억제되어, -22 kPa에서는 110.7 cm에 머물렀다 (Fig. 2). 수폭은 -5 kPa까지 84~95 cm의 수폭을 유지하였으나, -8 kPa 이상에서는 크게 위축되어 -22 kPa에서는 38.3 cm의 수폭을 나타냈다. 줄기의 굵기는 -4 kPa까지는 11.8에서 12.1 mm로 다소 굵어지는 경향이었으나, -5 kPa부터 토양수분포텐셜이 증가함에 따라 다소 가늘어지는 경향이 있었다. 줄기 개수는 -8 kPa까지 토양수분조건에 따른 차이 없이 약 16개 내외를 보였으나, -15 kPa 이상에서는 크게 감소하여 6~7개의 줄기만을 발생하였다.

블루베리의 줄기수는 과실 생산량과 높은 상관관계를 가지고 있기 때문에 (Pritts and Hancock, 1985), 적어도 10개 이상의 줄기를 확보하는 것이 매우 중요하다 (Gough, 1994). 또한 5년 이상 된 블루베리 줄기는 물관의 압축과 막힘, 그로 인한 양·수분 전류속도의 저하로 인하여 생육하락을 유도하기 때문에 (Gough, 1994), 매년 약 20~40% 정도의 오래된 줄기를 제거하고 새로운 줄기를 발생시켜야 한다 (Siefker and Hancock, 1987). 따라서 적정량의 줄기발생을 위하여 적어도 -15 kPa 이하의 토양수분포텐셜을 유지하는 것이 바람직하다 볼 수 있다. 토양수분 포텐셜에 따른 블루베리 건물중 역시 매우 유사한 경향을 나타냈다. 총 건물중은 -4 kPa까지 증가하는 경향이었으나, 이후 토양수분포텐셜이 증가함에 따라 크게 감소하는 경향을 나타냈다. 엽과 줄기 그리고 뿌리 건물중은 -4 kPa에서 각각

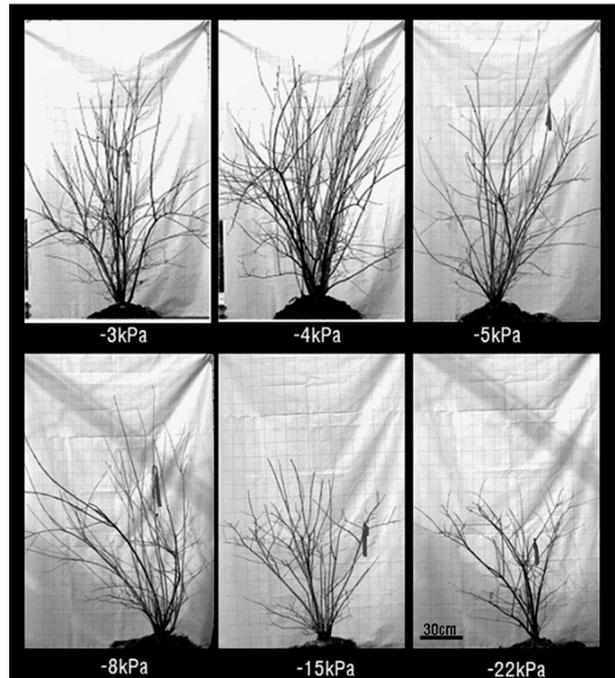


Fig. 2. Blueberry growth owing to different soil water potentials.

776, 1,720 그리고 830 g plant⁻¹로 가장 높은 성장량을 나타냈으나, 이후 장력이 증가함에 따라 크게 감소하여, -22 kPa에서는 각각 108, 233 그리고 333 g plant⁻¹을 나타냈다. 또한 블루베리의 건물중 무게 분포는 3단계의 특성을 나타냈다. 가장 많은 관수량을 갖는 -3 kPa 조건에서는 각각의 무게가 <줄기> <잎> <뿌리> 순이었으나, 장력이 증가함에 따라 <뿌리> <건물중> 감소보다는 <잎과 줄기>의 건물중 감소가 더 높아 -4~-8 kPa에서는 <줄기> <뿌리> <잎>, -15 kPa 이상에서는 <뿌리> <줄기> <잎> 순으로 무게비율을 나타냈다. 따라서 토양건조가 블루베리 생육에 미치는 영향은 지하부보다는 지상부가 더 크다는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 블루베리의 영양기관의 무게 분포는 생육초기 <엽> <뿌리> <줄기> 순이며, 수령이 증가함에 따라 착과량 감소의 반작용으로 엽의 무게비율이 극단적으로 증가한다 (Pritts

Table 4. Effects of different soil water potentials on the soluble solids, titratable acidity, total anthocyanins and total polyphenols in the blueberry fruits.

Treatment	Soluble solids	Titratable acidity	Total anthocyanins	Total polyphenols
	°Brix	%	mg 100g ⁻¹	mg 100g ⁻¹
-3 kPa	9.5c [†]	0.83a	126.2a	320.4a
-4 kPa	9.7bc	0.86a	118.3a	303.6a
-5 kPa	10.2bc	0.68a	105.0a	275.4a
-8 kPa	10.1bc	0.78a	122.2a	311.9a
-15 kPa	10.9ab	0.66a	89.0a	241.5a
-22 kPa	11.7a	0.60a	122.9a	313.3a

[†]Mean separation within columns by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

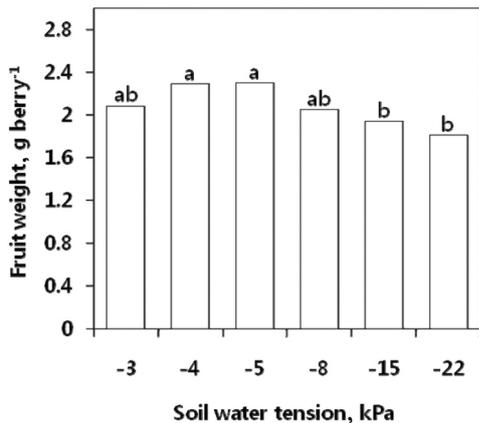


Fig. 3. Effects of different soil water potentials on the blueberry fruit weight. Different letter indicate significant difference by Duncan's multiple range test at $p=0.05$

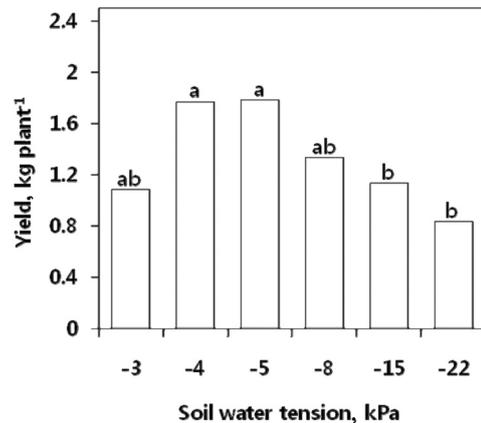


Fig. 4. Effects of different soil water potentials on the blueberry fruit yields. Different letter indicate significant difference by Duncan's multiple range test at $p=0.05$.

and Hancock, 1985). 결과지의 수분포텐셜은 토양수분함량이 -8 kPa까지는 차이가 없었으나, -15 kPa 이상에서는 크게 증가하였다.

토양수분포텐셜에 따른 블루베리 과실의 당과 산 함량 그리고 안토시아닌과 총 페놀함량을 조사한 결과는 Table 4와 같다. 당함량은 토양 수분함량이 낮을수록 증가하는 경향을 나타내어 -22 kPa에서는 11.7 °Brix를 나타냈다. 그러나 산함량은 처리간 유의차 없이 0.6~0.8% 수준으로, 토양수분포텐셜이 증가할수록 약간 감소하는 경향을 나타냈다. 총 안토시아닌 함량과 총 페놀함량은 처리간 유의성 있는 차이를 보이지 않았으며 각각 100과 250 mg 100 g⁻¹ 내외를 나타냈다.

토양수분포텐셜에 따른 블루베리 과중과 과실 생산량은 Fig. 3, Fig 4와 같다. 과중과 과실생산량은 -4~-5 kPa에서 가장 많았으며, 각각 2.3 g berry⁻¹과 1.8 kg plant⁻¹을 나타냈다. 그러나 관수량이 더 많았던 -3 kPa에서의 과중과 과실생산량은 각각 2.1 g berry⁻¹과 1.1 kg plant⁻¹을 생산하는데 그쳤다. 또한 상대적으로 관수량이 적었던 -5 kPa 이상의 토양수분포텐셜에서는 블루베리의 과중과 수량이 크게 감소하여 -22 kPa에서는 각각 1.8 g berry⁻¹과 0.83 kg plant⁻¹을 생산하였다.

이상의 결과를 종합하면, 피트모스의 혼합은 기존 토양의 토양수분특성을 바꾸며, 토양수분함량은 블루베리의 엽중 양분농도와 기능성분함량에 미치는 영향이 크지 않았으나, 수체생장과 과실생산에 미치는 영향은 매우 컸음을 알 수 있었다. 각 생육기관별 토양수분에 대한 반응은 건물중과 줄기경경이 가장 컸으며, 수폭과 과실비대 및 과실생산량이 뒤를 이었고, 수고, 줄기갯수 그리고 줄기장력이 가장 낮은 반응을 나타냈다. 또한 이와 같은 수체생장과 과실생육에 대한 토양 수분반응은 -4~-8 kPa를 정점으로 하락하였으며, -15 kPa 이상의 토양수분포텐셜에서는 -8 kPa 이하의 생육량에 비해 크게 감소하였다. 이와 같은 결과는 레빗아이 블루베리와 달리 하이부쉬 블루베리의 적정 토양수분포텐셜은 -10 kPa 이하이며, -20 kPa 이상에서는 수체생육과 과실생산이 50%이하로 하락한다는 결과와 매우 유사하였다 (Haman et al., 1994; Haman et al., 1988; Smajstrla et al., 1988). 그러나 기존 발표된 연구보다 더 넓은 범위의 토양 수분조건을 처리한 결과 -5 kPa에서 생장억제가 시작되었고, 수량은 -8 kPa에서 감소하기 시작했음을 확인하였다. 기 발표된 문헌의 최대 수분처리량이 -10 kPa 이상에서 이루어진 점은 수분조절 및 측정의 기술적 문제와 현장 실효성 등을 고려하여 관수점을 설정한 것으로 판단된다.

따라서 본 결과는 피트모스가 30% 혼합된 재배토양의 최적 토양수분포텐셜은 $-4\sim-5$ kPa이었으며, 블루베리의 안정 생육을 위한 토양수분포텐셜의 Critical level, 즉 관수개시점은 $-8\sim-15$ kPa 안에서 이루어져야 한다고 사료된다.

요 약

하이부시 블루베리는 근모가 없는 섬유질 뿌리와 천근적 분포 특성으로 인하여 생장과 생육에 대한 토양수분의 영향이 매우 크다. 특히 국내 토양의 토성과 유기물 함량은 미국과 캐나다 같은 주산지와 크게 다르다. 따라서 안정된 생육과 지속적인 생산성을 확보하기 위해서는 토양수분에 대한 연구가 선행되어야 한다. 따라서 본 연구는, 국내 토양조건에서, 북부형 하이부시 블루베리의 토양수분함량에 따른 생장특성을 구명함으로써 블루베리의 안정생육을 위한 적정 관수점과 최적 토양수분함량을 확립하고자 수행하였다. 본 시험에 사용된 토양의 토성은 양토 (Loam)이며, 피트모스를 30% (v/v)혼합 하였다. 토양수분은 $-3, -4, -5, -8, -15$ 그리고 -22 kPa을 관수개시점으로 설정하여 블루베리의 양분흡수, 수체생장 그리고 과실특성을 조사하였다. 엽중 칼리함량은 토양수분포텐셜의 증가와 같은 경향이었으나, 인산과 마그네슘농도 각각 $-5, -22$ kPa에서 가장 높았다. 수체생장과 수량은 $-4\sim-8$ kPa을 정점으로 정규분포패턴을 나타냈으며, -15 kPa 이상에서는 생육이 크게 하락하였다. 줄기경경과 건물중은 -4 kPa에서, 수폭과 과실비대 및 과실생산량은 -5 kPa에서, 수고와 줄기개수 그리고 줄기장력은 -8 kPa에서 가장 높았다. 과실의 품질 중 당함량은 토양수분포텐셜이 증가할수록 높아지는 경향을 나타냈으나, 산함량, 안토시아닌 그리고 총 페놀함량은 차이가 없었다. 따라서 블루베리의 수체생장과 과실생산을 위한 최적의 토양수분포텐셜은 $-4\sim-8$ kPa이었으며, 이를 위한 관수 개시점은 -15 kPa 이하로 사료된다.

인 용 문 헌

한국블루베리 협회. 2010. 블루베리뉴스. 9:3-5.

- Alam, S.M. 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions. In: Pessaraki, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York. 285-314.
- Anderson, P.C., D.W. Buchanan, and L.G. Albrigo. 1979. Water relations and yields of three rabbiteye blueberry cultivars with and without drip irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104:731-736.
- Barnes, J.S., H.P. Nguyen, S. Shen, and K. A. Schug. 2009. General method for extraction of blueberry anthocyanins and identification using high performance liquid

- chromatography-electrospray ionization-ion trap-time of flight-mass spectrometry. J. Chromatogr. 1216: 4728-4735.
- Bell, R. 1982. The blueberry, Department of Agriculture NSW, Sydney, Australia. Bull.
- Benoit, G.R., W.J. Grant, A.A. Ismail, and D.E. Yarborough. 1983. Effect of soil moisture on the potential and actual yield of lowbush blueberries. Can J. Plant Sci. 64:683-689.
- Brightwell, W.T. and M.E. Austin. 1980. Rabbiteye blueberries. University of Georgia College of Agriculture Experiment Station, Georgia, USA. Res. bull. 259.
- Connor, A.M., J.J. Luby, and C.B.S. Tong. 2002. Variability in antioxidant activity in blueberry and correlations among different antioxidant activity assays. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 127:238-244.
- Coville, F.V. 1910. Experiments in blueberry culture. USDA Bul. 193.
- Davies, F.S. and C.R. Johnson. 1982. Water stress, growth, and critical water potentials of rabbiteye blueberry. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107:6-8.
- da SILVA, F.F., R. Wallach, and Y. Chen. 1993. Hydraulic properties of sphagnum peat moss and tuff (scoria) and their potential effects on water availability. Plant and Soil. 154:119-126.
- Erlandsson, G. 1975. Rapid effects on ion and water uptake induced by changes of water potential in young wheat plants. Physiol. Plant. 35:256-262.
- Freeman, B. 1983. Blueberry production, Agfact H3 1.4. Department of Agriculture, NSW, Australia.
- Garren, R. 1988. Riegoy poda en arándano. In: Seminario El Cultivo del Arándano, Programa Frutales y Viñas, Serie Carillanca No. 2. INIA, Temuco, Chile. 73-79.
- Gough, R. 1980. Root distribution of Coville and Laterblue highbush blueberry under sawdust mulch. J. Am. Soc. Hort. Sci. 105:576-578.
- Gough, R.E. 1982. Better management means more blueberries. In: Fruit Grower. University of Rhode Island, Kingston, RI, USA.
- Gough, R.E. 1994. The highbush blueberry and its management. Food Products Press, New York, USA, Chapter 1.
- Haman, D.Z., A.G. Smajstrla, and P.M. Lyrene. 1988. Effects of irrigation and ground cover on growth of blueberry. Proc. Fla. State Hort. Soc. 101:235-238.
- Haman, D.Z., A.G. Smajstrla, R.T. Pritchard, F.S. Zazueta, and P.M. Lyrene. 1994. Water use in establishment of young blueberry plants. Bulletin 296. Gainesville, Fla.: Univ. of Florida Coop.
- Hanson, E. and J. Hancock. 1996. Managing the nutrition of highbush blueberries. Extension Bulletin E-2011, Michigan State University.
- Haynes, R.J. and R.S. Swift. 1985. Effects of soil acidification on the chemical extractability of Fe, Mn, Zn and Cu and

- their uptake by highbush blueberry plants. *Plant and Soil*. 84:201-212.
- Holzappel, E.A., R.F. Heppb, and M.A. Mariño. 2004. Effect of irrigation on fruit production in blueberry. *Agricultural Water Management*. 67:173-184.
- Huang, B.R. 2001. Nutrient accumulation and associated root characteristics in response to drought stress in tall fescue cultivars. *Hort. Sci.* 36:148-152.
- Kang, J.Y., N.S. Park, H.H. Lee, and H.G. Kim. 2004. Determination of water retention characteristics of organic and inorganic substrates for horticulture by european standard method. *K. J. Soil Sci. Fert.* 37:55-58.
- Kaya, C., L. Tuna, and D. Higgs. 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *J. Plant Nutr.* 29:1469-1480.
- Kim, H.L., J.H. Lim, B.K. Sohn, and Y.J. Kim. 2003. Chemical properties of cut-flower rose-growing soils in plastic film houses. *K. J. Soil Sci. Fert.* 36:113-118.
- Kim, H.L., H.D. Kim, J.G. Kim, Y.B. Kwack, and Y.H. Choi. 2010. Effect of organic substrates mixture ratio on 2-year-old highbush blueberry growth and soil chemical properties. *K. J. Soil Sci. Fert.* 43:858-863.
- Korcak, R.F. 1989. Variation in nutrient requirements of blueberries and other calcifuges. *HortScience*. 24:573-578.
- Kusaka, M., M. Ohta, and T. Fujimura. 2005. Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf holding for drought tolerance in pearl millet. *Physiol. Plant.* 125:474-489.
- Lyrene, P.M. and T.E. Crocker. 1991. Commercial blueberry production in Florida. Institute of Food and Agricultural Science, University of Florida, Gainesville, USA. Bull. SS-FRC-002.
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK.
- Metson, A.J. 1974. Magnesium in New Zealand Soils. 1. Some factors governing the availability of soil magnesium: a review. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 2. 277-319.
- Pritts, M.P. and J.F. Hancock. 1985. Lifetime biomass partitioning and yield component relationships in the highbush blueberry, *Vaccinium corymbosum* L. (Ericaceae). *Amer. J. Bot.* 72:446-452.
- RDA. 2000. Methods of analysis of soil and plant. National Institute of Agricultural Science and Technology, Rural Development Administration, Korea.
- Samarah, N., R. Mullen, and S. Cianzio. 2004. Size, distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. *J. Plant Nutr.* 27:815-835.
- Siefker, J.A. and J.F. Hancock. 1987. Pruning effects on productivity and vegetative growth in the highbush blueberry. *HortScience*. 22:210-211.
- Singleton, V.L. and J.A.J. Rossi. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Vitic.* 16:144-158.
- Sohn, B.K., J.S. Cho, J.G. Kang, J.Y. Cho, K.Y. Kim, H.W. Kim, and H.L. Kim. 1999. Physico-chemical properties of soils at red pepper, garlic and onion cultivation areas in korea. *K. J. Soil Sci. Fert.* 32:123-131.
- Smajstrla, D.Z., D.Z. Haman, and P.M. Lyrene. 1988. Use of tensiometer for blueberry irrigation scheduling. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 101:232-235.
- Trevett, M.F. 1967. Irrigating lowbush blueberries the burn year. *Maine Farm Research*, Vol. 15, No. 2. Maine Agricultural Experiment Station, Univ. of Maine, Orono.
- Watanabe, K., T. Kito, T. Wake, and M. Sakal. 2011. Freezing experiments on unsaturated sand, loam and silt loam. *Annals of Glaciology*. 52:37-43.