

장기 침수가 포도 ‘캠벨얼리’와 ‘거봉’ 품종의 생육과 양분함량에 미치는 영향

강석범* · 이인복 · 장한익 · 박진면 · 문두길¹⁾

농촌진흥청 원예연구소, ¹⁾제주대학교
(2008년 6월 17일 접수, 2008년 6월 24일 수리)

Effect of Long Term Waterlogging on the Growth and Nutrient Contents of ‘Campbell Early’ and ‘Kyoho’ Grapevine Cultivars

Seok-Beom Kang*, In-Bog Lee, Han-Ik Jang, Jin-Myeon Park, and Doo-Khil Moon¹⁾ (National Horticultural Research Institute, RDA, Suwon, 441-440, ¹⁾Faculty of Bioscience and Industry, Cheju National University, Jeju, 690-756, Korea)

ABSTRACT: This work was carried out to investigate the effect of waterlogging on the growth and nutrient contents of ‘Campbell Early’ and ‘Kyoho’ grapevines under the vinyl house condition from June 14 to July 20, 2005. For the trial, seedlings of two-year-old grapevine were transplanted to 40 L pot with a sandy loam soil. Irrigation point of non-waterlogging (control) treatment was controlled at -40 kPa of soil water tension using tensiometer and waterlogging treatments were imposed for 35 days at the water levels of above 10 cm from the soil surface using tap water. The growth of aerial (shoot length, leaf number and stem diameter) and underground (root) parts of ‘Campbell Early’ and ‘Kyoho’ grapevines tended to be wholly reduced by waterlogging, while the growth of aerial parts were more severely impaired in ‘Kyoho’ than in ‘Campbell Early’ cultivar. The different responses for waterlogging between two grapevines seem to be related with the capacity for absorbing mineral nutrients, because nitrogen content of ‘Campbell Early’ cultivar leaves was significantly higher than that of ‘Kyoho’ cultivar although the contents of phosphorus and potassium in leaves of two grapevine cultivars were similarly declined. There was no significant different of fruit quality, such as contents of soluble solid, titratable acidity and weight of berry in ‘Campbell Early’ between waterlogging and control. In ‘Kyoho’ cultivar, however, berry weight and titratable acidity were decreased and soluble solid content was increased by waterlogging. It was assumed that waterlogging stress for grapevines promotes maturation and coloring processes of berries by stimulating maturation hormone such as ethylene. In conclusion, ‘Campbell Early’ cultivar seems to be more tolerable than ‘Kyoho’ cultivar when comparing the growth responses and nutrient contents between two grapevine cultivars under waterlogging.

Key Words: waterlogging, growth, nutrient contents, grapevine

서 언

포도는 2005년 기준 재배면적이 22,057 ha, 생산량이 381,463 M/T에 달하는 우리나라 5대 과수종의 하나이며, 최근 FTA, DDA 등의 영향으로 답전환 재배면적의 꾸준한 증가추세에 따라 포도원의 답전환 면적도 1988년 기준 257 ha에서 최근에는 3,500 ha 정도까지 증가하였다.

그러나 대부분의 답전환 포도원들은 지하수위가 높음에도 불구하고 명거나 암거 등 배수시설을 제대로 하지 않아 상습적인 침수 상태에 놓여 있으며, 그로 인해 생육저해 및 착과 불량 등 과실 수량과 품질의 저하가 우려되고 있다. 게다가 온난화에 따른 기후변화로 집중호우가 잦고 침수피해는 증가하고 있으며¹⁾ 전 세계 농경지의 약 12% 정도가 침수 피해에 시달리고 있는 것으로 알려져 있다²⁾.

작물의 재배 기간 중 침수가 발생하면 토양 내 구조의 변형, 산소 결핍, 이산화탄소의 축적과 유기물의 혐기적인 분해가 일어나며, 근권의 산소 공급 제한과 이산화탄소 농도의 증가에 따라 뿌리 노화, 생장 위축 및 부패 등의 피해가 진행되

*연락처:
Tel: +82-31-290-6225 Fax: +82-31-290-6259
E-mail: hortkang@rda.go.kr

고^{3,6)} 잎의 기공전도도와 엽수분포텐셜을 감소시키는 동시에⁷⁻¹⁰⁾ 잎은 주맥을 따라 갈변하게 되며, 지상부에서는 신초 고사가 일어나고 심하면 수체가 죽게 되기도 한다. 이러한 침수 환경 하에서 발생하는 산소부족에 따른 생육장애 현상을 극복하기 위하여 작물은 구조적인 변형을 통해 산소흡수가 용이한 측근의 밀도를 증가시키거나 뿌리/지상부의 비율을 감소시킨다. 이러한 뿌리의 형태학적인 변형으로 침수환경에서는 무기양분의 흡수 양상에도 큰 변화가 오며¹¹⁾, 작물에 따라 N, P, K, Ca, Mg, B, Cu, Zn 등과 같은 무기양분의 흡수 증가 또는 감소가 나타난다¹²⁻¹⁴⁾.

따라서 본 연구는 침수 환경이 포도나무의 생육 반응, 양분흡수, 과실 특성 및 침수 저항성에 미치는 영향을 '캠벨얼리'와 '거봉' 대상으로 실시하여 그 결과를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험재료

실험을 위하여 '캠벨얼리'와 '거봉' 2년생 포도나무 삼목묘를 30 cm내외 크기로 육묘한 후 사용하였다. 실험에 이용된 포도나무 배양토는 사양토와 양송이 퇴비를 8:2(v/v)의 비율로 혼합한 흙으로서 pH는 6.9, 유기물 함량은 53 g kg⁻¹, 유효인산은 1100 mg kg⁻¹, 질산태 질소 함량은 77 mg kg⁻¹이며, 시험 전과 후의 토양 화학적 특성은 Table 1과 같다.

침수처리 및 실험방법

침수 실험을 위하여 모든 포도나무 육묘는 40 L(h×Φ = 39 cm × 48 cm) 포트에 정식하였다. 포도나무에 대한 침수 반응을 비교하기 위하여 처리구는 비침수구(control)와 침수구(waterlogged)로 구분하였다. 비침수구의 경우에는 포도나무 재배동안 텐시오메타를 이용하여 -40 kPa의 토양수분장력 하에서 관수점을 조절하였으며, 산화환원전위(E_h)는 +265 mV이었다. 침수구의 경우에는 포도나무 육묘가 재식된 40 L 포트를 외부가 막힌 125 L(h×Φ = 50 cm × 56 cm)의 플라스틱 재질의 통에 넣어 침수 처리하였다. 포도나무 침수를 위해 표토 위 10 cm까지 물을 채우고 1주일 간격으로 부족한 물을 보충하였으며, 침수구의 산화환원전위(E_h)는 +80 mV이었다. 포도 '캠벨얼리'와 '거봉' 두 품종에 대해 대조구(비침수)와 침수구 등 두 처리를 조합한 4처리 시험구는 3반복 안

전임의배치법으로 비가림 하우스 내에서 처리구를 배치하였으며, 본 실험 기간은 2005년 6월 14일부터 7월 20일까지 5주간 수행하였다.

토양 및 식물체 분석

농촌진흥청¹⁵⁾의 분석방법에 따라 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 하여 그 현탁액을 초자전극법(720, ORION, USA)으로 측정하였고, 유기물은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster법으로 추출후 분광광도계(CINTRA6, GBC, Australia)로 분석하였다. 토양내 질산태질소와 암모니아태질소는 2 M KCl로 추출후 켈달분석법에 의해 질소분석기(K-314, Büchi, Switzerland)로 분석하였다. 치환성 양이온 분석을 위하여 토양을 1 N-NH₄OAc(pH 7)로 추출한 후 유도결합플라즈마발광광도계(ICP-AES, GBC Intergra XM2, Australia)로 정량하였다.

포도나무의 잎과 뿌리에 대한 무기성분 함량을 조사하기 위하여 침수후 35일째에 식물체를 채취한 다음 80°C에서 48시간 동안 열풍 건조하였다. 0.5 g 건조시료에 10 mL의 HNO₃-HClO₄(85:15, v/v) 혼합액을 가하여 습식 분해한 후, 인 분석을 위하여 Ammonium vanadate 법으로 발색 후 470 nm에서 분광광도계(CINTRA6, GBC, Australia)로 측정하였고, 질소는 켈달분석법에 의해 질소분석기(B-339, Büchi, Switzerland)로 분석하였으며, K, Ca, Mg는 유도결합플라즈마발광광도계(ICP-AES, GBC Intergra XM2, Australia)로 정량하였다.

조사방법 및 통계처리

35일간 침수 후 신초장, 엽수, 줄기직경, 뿌리와 지상부의 건물중을 조사하였다. 생육조사 방법은 신초장은 신초가 발생한 기부에서 정부까지의 길이를 조사하였고, 엽수는 신초에 발생한 전엽을 대상으로 조사하였으며, 줄기직경은 신초가 발생한 기부에서 2번째 마디의 위치에서 측정하였으며, 뿌리와 지상부의 건물중은 식물체를 굴취 후 지접부를 기준으로 뿌리와 지상부를 분리한 다음 세정 후 60°C 건조기에서 3일간 건조 후 건물중을 측정하였다.

과실의 착색도는 수확일(날짜)에 과실을 채취하여 색차계(CM-2002, Minolta, Japan)를 이용하여 과립의 중간 부위를 시험구별로 10과립씩 측정하여 Hunter L, a, b 값을 조

Table 1. Soil chemical properties before and after the experiment

Treatment	pH (H ₂ O, 1:5)	OM (g kg ⁻¹)	NH ₄ -N	NO ₃ -N	Av. P ₂ O ₅	K	Ca	Mg
			(mg kg ⁻¹)				(cmol kg ⁻¹)	
Before exp.	6.9a ^{a)}	53a	37.0a	76.9a	1155a	1.7a	9.7a	3.2a
Control	7.0a	44b	33.4a	25.9b	748b	1.2b	9.5a	2.7b
Waterlogging	7.0a	42b	39.1a	26.9b	777b	1.3b	9.1a	2.5c

^{a)}DMRT at *p* = 0.05.

사하였다. 과립중 조사를 위하여 과방 선단 부위에서 각각 10 과립을 채취하여 중량을 측정하고 다음 개당 과립중으로 환산하였고, 과실의 당도조사를 위하여 과실을 착즙하여 굴절당도계로 측정하였다(PR101, Atago, Japan). 산 함량 측정을 위하여 5 mL 과즙에 증류수 20 mL을 넣고 페놀프탈레인 지시약을 떨어뜨린 후 0.1 N NaOH를 이용하여 분홍색이 나타날 때까지 소요된 0.1 N NaOH양을 tartaric acid 함량으로 환산하여 표시하였다.

통계 분석은 SAS Enterprise Guide 3.0 통계 프로그램을 이용하여 던킨다중검정($P=0.05$)과 t-검정($P=0.05$, 0.01, 0.001)으로 처리간의 유의성을 분석하였다.

결과 및 고찰

생육 특성

침수는 일반적으로 지상부와 뿌리의 생장을 감소시키며¹⁶⁻¹⁸, 엽면적과 엽수의 감소¹⁹, 낙엽의 증가²⁰ 등을 유발하여 생육을 저해하는 것으로 알려져 있다. 본 실험 결과 역시 침수 처리로 두 품종 모두 신초장, 엽수, 신초직경 등 지상부의 수체생장 변수들은 현저하게 억제되었다. 그리고 침수환경 하에서 '캠벨얼리'와 '거봉' 두 품종 모두 지상부와 뿌리의 건물중은 크게 감소하였다(Table 2). 두 품종 간 침수반응을 살펴보면, '캠벨얼리'의 경우 신초장, 엽수 및 신초직경은 각각 대조구의 40.9%, 57.0%, 75.0% 수준으로 감소하였으며, '거봉' 침수구는 각각 대조구의 28.7%, 35.8%, 61.1% 수준으로 감소하여 침수처리에 따른 지상부 생육저해 정도는 '캠벨얼리'에 비해 '거봉' 품종에서 더욱 큰 것으로 나타났다. 반면에 자료를 제시하지는 않았으나 침수처리 35일째 '캠벨얼리'와 '거봉' 두 품종 모두에서 지하부 뿌리는 검게 변색되고 뿌리 밀도도 크게 감소하여 뿌리의 고사정도가 심각하였다. 이는 침수에 의한 토양 내 용존산소의 부족으로 혐기조건하에서 생성된 황화수소, 메탄, 환원 철과 망간과 같은 잠재적 독성물질^{21,22}들의 영향으로 판단된다. 비록 조사된 두 품종 모두에

서 침수에 따른 뿌리 피해는 유사한 결과를 보였으나 지상부 피해는 다소 다른 양상을 보였으며, 이는 두 품종 간 질소 흡수 능력의 차이에서 기인하는 것으로 판단된다. 즉, 침수환경 하에서 '캠벨얼리' 품종의 잎 중 질소함량은 대조구와 큰 차이가 없었던 반면, '거봉' 품종의 경우 침수처리로 잎 중 질소함량이 현저하게 낮았으며(Table 4), 그 결과 질소흡수 능력이 상대적으로 높았던 '캠벨얼리' 품종의 지상부 생육저해 정도가 '거봉'에 비해 적었기 때문이다(Table 2). 유사한 결과들로서 Drew 등(1979)²³은 침수된 보리에 질산칼슘을 지속적으로 처리시 침수환경에서 발생하는 피해증상이 나타나지 않았음을 보고하였고, Zhou 등(1997)²⁴은 침수 처리된 유체에 대한 질소처리로 침수피해를 경감할 수 있음을 입증하였다. 이러한 결과들을 고려해 볼 때 침수환경에서의 질소공급 및 작물의 질소 흡수 능력은 침수스트레스 완화 및 적응에 중요한 인자로 판단되며, 작물 간 질소흡수 능력과 침수저항성간에는 깊은 상관성이 있는 것으로 사료된다.

양분 함량

포도나무 침수처리에 따른 수체 부위별 양분함량 변화를 알아보기 위하여 '캠벨얼리'와 '거봉' 품종을 대상으로 5주간 침수 처리한 결과, 두 품종 모두 뿌리 중의 질소함량은 증가하였으나, 잎의 질소함량은 두 품종 간 다소 다른 양상을 보였다. 즉, '캠벨얼리'의 경우 정상과 침수처리구 간에 잎 중 질소 함량에서 통계적 유의차가 인정되지 않았으나, '거봉' 품종의 경우 침수 후 잎 중 질소함량이 8.6 g kg^{-1} 으로서 대조구의 18.8 g kg^{-1} 에 비해 현저하게 감소하였다(Table 3과 4). 두 품종 간 이러한 질소흡수 능력의 차이로 인해 상대적으로 질소 흡수 능력이 약했던 '거봉' 품종의 경우 엽, 줄기 및 신초 생육은 '캠벨얼리' 품종에 비해 뚜렷한 감소를 보였다.

침수환경 하에서 두 품종 모두 잎과 뿌리에서의 인과 칼륨 함량은 대조구에 비해 현저하게 감소하였다(Table 3과 4). '캠벨얼리'와 '거봉' 포도 뿌리의 인 함량은 2.3과 2.5 g kg^{-1} 로서 대조구의 2.8과 3.8 g kg^{-1} 에 비하여 각각 17.9%와

Table 2. Effect of waterlogging for 35 days on the growth of two-year-old 'Campbell Early' and 'Kyoho' grapevines

Treatment	Shoot wt. (d.w. g plant ⁻¹)	Root wt.	Leaf wt. (d.w. g leaf ⁻¹)	Shoot length (cm)	No. of leaves (leaf shoot ⁻¹)	Stem diameter (mm)
'Campbell Early'						
Control	147.3	117.8	1.0	252	29.3	8.4
Waterlogging	55.8	42.4	0.7	103	16.7	6.3
t-test	**	**	NS	**	**	*
'Kyoho'						
Control	125.0	80.8	1.2	244	33.2	9.5
Waterlogging	35.3	54.9	1.2	70	11.9	5.8
t-test	***	NS	NS	***	***	***

NS, *, **, *** Not significant or significant at $P = 0.05$, 0.01, or 0.001, respectively.

Table 3. Effect of waterlogging for 35 days on nutrient composition of root of two-year-old 'Campbell Early' and 'Kyoho' grapevines

Cultivar	Treatment	N	P	(g kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
Campbell	Control	7.6	2.8	7.7	5.4	1.4
Early	Waterlogging	11.8	2.3	2.6	7.7	1.7
	t-test	***	**	***	***	**
Kyoho	Control	9.4	3.8	17.1	7.4	2.3
	Waterlogging	10.7	2.5	3.8	9.2	2.6
	t-test	*	***	***	***	***

NS, *, **, *** Not significant or significant at $P = 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$, respectively.

Table 4. Effect of waterlogging for 35 days on nutrient composition of leaf of two-year-old 'Campbell Early' and 'Kyoho' grapevines

Cultivar	Treatment	N	P	(g kg ⁻¹)		
				K	Ca	Mg
Campbell	Control	19.9	6.1	9.1	16.7	2.5
Early	Waterlogging	18.6	3.7	6.9	11.5	3.1
	t-test	NS	***	*	*	NS
Kyoho	Control	18.8	5.1	9.7	14.9	3.5
	Waterlogging	8.6	2.9	2.6	14.9	3.8
	t-test	***	***	***	NS	NS

NS, *, **, *** Not significant or significant at $P = 0.05, 0.01, \text{ or } 0.001$, respectively.

34.2%가 감소하였으며, '캠벨얼리'와 '거봉' 품종의 잎 중 인 함량은 3.7과 2.9g kg⁻¹로서 대조구의 6.1과 5.1g kg⁻¹에 비하여 각각 39.3%와 43.1%가 감소하여, 인의 감소 정도는 '캠벨얼리'에 비해 '거봉' 포도에서 심하고, 또한 뿌리에 비하여 잎에서 현저한 감소를 보였다. 유사한 결과로서 Jones (1974)²⁵⁾에 의해 연구된 몇 가지 초지작물을 대상으로 한 실험에 따르면 침수조건 하에서 뿌리 내에서 증가한 철에 의해 인산이 불용화 될 수 있으며, 그 결과 인산 흡수 및 전송 억제로 작물 생장이 현저하게 저해될 수 있음을 보고하였고, Close와 Davidson(2003)¹²⁾은 유칼리나무를 8개월간 침수시켰을 때 잎 중 인 함량은 2.4배가량 감소한다고 하였다. '캠벨얼리'와 '거봉' 포도 뿌리의 칼륨 함량은 각각 2.6과 3.8 g kg⁻¹으로 대조구의 7.7과 17.1g kg⁻¹에 비해 66.2%와 77.8%가 감소하였으며, '캠벨얼리'와 '거봉' 포도 잎에서의 칼륨 함량은 각각 6.9와 2.6 g kg⁻¹로서 대조구의 9.1과 9.7 g kg⁻¹에 비해 24.2%와 73.2%가 감소하였다. 침수에 따른 두 포도나무 품종 간 부위별 칼륨의 함량은 인과 유사한 양상으로서, 이러한 결과들은 침수로 인해 잎 내 칼륨 함량이 감소하는 것으로 알려진 유칼리나무¹²⁾, 유채¹³⁾, 녹두¹⁴⁾등 작물과 같은 결과이다.

침수처리에 의한 '캠벨얼리'와 '거봉'의 칼슘 흡수는 포도 품종 간 다소 다른 반응을 보였다. 침수처리로 '캠벨얼리'와

'거봉' 뿌리 모두에서 칼슘 함량은 대조구에 비해 현저하게 증가하였으나, '캠벨얼리' 잎의 칼슘 함량은 침수처리로 감소하고 '거봉' 잎의 칼슘 함량은 처리 간 현저한 변화가 없었다 (Table 3과 4). 이러한 결과는 체내 이동성이 낮은 칼슘의 경우 뿌리에서 흡수된 칼슘이 침수조건하에서 지상부로 원활하게 이동하지 못했음을 의미하며, 일시적인 침수처리로 장미과 뱀무속(*Geum rivale*) 식물의 잎 중 칼슘은 감소하고 뿌리의 칼슘은 증가하였다고 보고한 Waldren 등(1987)²⁶⁾의 결과와 유사하다. 반면에 조사된 두 포도 품종 모두에서 침수처리에 의해 부위별 마그네슘 함량은 증가하였다.

과실 특성

35일 동안 지속적인 침수 처리에도 불구하고 '캠벨얼리' 포도는 침수구와 대조구 간 당·산도 및 과립중에 차이가 없었다(Table 5). 그러나 '거봉' 품종의 경우에는 침수구에서 과립중이 감소하였으며, 산 함량은 낮은 반면 당도는 높게 나타났는데 이는 침수 스트레스에 의해 '거봉' 품종의 과립이 위축되고 조기 착색되면서 성숙이 촉진되었기 때문으로 판단되었다. 과실의 착색은 '거봉'과 '캠벨얼리' 두 품종 모두 침수구가 Hunter 'L'값(밝기)이 대조구에 비해 낮았고, 'a'값(적색도)은 높고 'b'값(녹색도)은 낮게 나타났는데 이는 두 품종 모두 침수처리로 과실의 착색이 조장되었음을 의미한다

(Fig. 1). 침수 처리에 따른 이러한 과실의 조기착색 현상은 침수처리 후 식물체내에서 현저하게 증가하는 에틸렌 생성²⁷⁻²⁹⁾과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. Bradford와 Yang (1980)의 보고³⁰⁾에 의하면 토마토를 침수시켰을 경우 뿌리로부터 생성된 에틸렌 전구물질인 ACC(1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid)가 줄기를 통해 지상부로 이동하여 잎에서의 산소와 반응함으로써 에틸렌 가스가 발생한다고 하였다. 본 실험에서도 침수에 따른 침수 스트레스에 의해 노화와 성숙을 촉진시키는 에틸렌²⁹⁻³¹⁾ 생성이 비침수구 보다 침수구 포도나무의 수체와 과실 내에서 증가하여 과립의 착색과 성숙이 조기 촉진된 것으로 보인다.

결론적으로 ‘캠벨얼리’와 ‘거봉’ 두 품종에 대한 침수반응은 대체로 유사한 반응으로서 장기적인 침수로 인해 수체의 생육과 양분의 함량은 현저하게 감소하였다. 그러나 ‘거봉’ 품종의 경우 ‘캠벨얼리’ 품종에 비해 침수환경 하에서 질소의 흡수 및 전송이 보다 크게 저해를 받았고, 수체생장은 보다 심하게 억제되었다. 더욱이 ‘캠벨얼리’에 비해 ‘거봉’의 과실 당도가 높고 착색이 신속하게 진행되었다는 것은 ‘캠벨얼리’ 품종에 비해 ‘거봉’ 품종이 심한 침수스트레스를 받았음을 의미하며, 침수환경하에서 두 포도나무 품종간 양분상태, 생육 반응 및 과실특성을 고려할 때 ‘캠벨얼리’에 비해 ‘거봉’ 품종이 침수에 약한 것으로 판단된다.

Table 5. Effect of waterlogging for 35 days on the characteristics of fruit of two-year-old ‘Campbell Early’ and ‘Kyoho’ grapevines

Treatment	Soluble solid contents (°Brix)	Titratable acidity (%)	Berry weight (g berry ⁻¹)	Hunter color value ^z		
				L	a	b
‘Campbell Early’						
Control	10.7	1.5	3.5	51.6	-9.7	20.1
Waterlogging	10.4	1.5	3.2	35.7	6.5	2.8
t-test	NS	NS	NS	***	***	***
‘Kyoho’						
Control	6.4	3.3	6.3	53.7	-10.5	20.3
Waterlogging	11.6	1.7	3.4	36.0	5.2	-2.3
t-test	***	**	*	***	***	***

^zL, 0 (dark) ~ 100 (light); a, -60 (green) ~ +60 (red); b, -60 (blue) ~ +60 (yellow).
NS, *, **, *** Not significant or significant at P = 0.05, 0.01, or 0.001, respectively.



Fig. 1. Fruit characteristics in two-year-old ‘Campbell Early’ and ‘Kyoho’ grapevines as affected by waterlogging for 35 days.

요 약

포도나무 수체의 생육, 양분흡수 및 과실특성에 미치는 침수의 영향을 구명하기 위하여 '캠벨얼리'와 '거봉' 포도나무 2년생 유목은 40 L 포트에 정식하여 비닐하우스에서 2005년 6월 14일부터 7월 20일까지 35일간 비침수구(대조구)와 침수구로 구분하여 실험을 수행하였다. 실험기간 동안 대조구의 포도나무는 -40 kPa 수분장력하에서 관수점을 조절하였으며, 침수구는 포트 지면위 10 cm까지 물에 잠기게 하여 침수 처리하였다. 침수처리로 '캠벨얼리'와 '거봉' 품종 모두에서 지상부와 뿌리의 건물중은 크게 감소하였으며, 지상부 생육의 저해 정도는 '캠벨얼리'에 비해 '거봉' 품종에서 심한 경향이었다. '캠벨얼리'와 '거봉' 품종의 침수처리구에서 뿌리 중 질소함량은 증가하였으며, '캠벨얼리' 잎의 질소함량은 처리구간 현저한 차이가 없는 반면 '거봉'의 잎 중 질소함량은 크게 감소하였다. '캠벨얼리'와 '거봉' 품종 모두에서 뿌리와 잎의 인과 칼륨 함량은 감소하였으며, 잎 중 인과 칼륨의 감소 정도는 '캠벨얼리'에 비해 '거봉' 품종에서 심한 경향이었다. 그 결과 '거봉' 품종의 경우 엽, 줄기 및 신초 생장은 '캠벨얼리' 품종에 비해 크게 감소하였다. 한편 침수처리 간 '캠벨얼리'의 당·산도 및 과립중은 현저한 차이가 없었다. 그러나 '거봉' 품종의 경우에는 침수에 의해 과립중이 감소하였고 산 함량은 낮은 반면 당도는 높게 나타났는데 이는 침수 스트레스에 의해 과일이 조기 착색되면서 성숙이 촉진되었기 때문으로 판단되었다. 결론적으로 '캠벨얼리' 품종에 비해 '거봉' 품종에서 지상부로의 양분전송이 현저하게 감소하여 수체생장은 보다 심하게 억제된 반면, 과실 당도는 높고 착색이 신속하게 진행되었다는 고려할 때 '캠벨얼리'에 비해 '거봉' 품종이 침수에 약한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. KNSO, (2006) Damages from storms & floods (1971-2004), <http://kosis.nso.go.kr/>.
2. Dudal, R. (1976) Inventory of the major soils of the world with special reference to mineral stress hazards: Plant adaptation to mineral stress in problem soils, Cornell University, Ithaca, New York, p. 3-13.
3. Barrett-Lennard, E. G., Leighton, P. D., McPharlin, I. R., Setter, T. and Greenway, H. (1986) Methods to experimentally control waterlogging and measure soil oxygen in field trials, *Aust. J. Soil, Res.* 24, 477-483.
4. Barrett-Lennard, E. G., Leighton, P. D., Buwalda, F., Gibbs, J., Armstrong, W., Thomson, C. J. and Greenway, H. (1988) Effects of growing wheat in hypoxic nutrient solutions and of subsequent transfer to aerated solutions. I. Growth and carbohydrate status of shoots and roots, *Aust. J. Plant Physiol.* 15, 585-598.
5. Drew, M. C. (1983) Plant injury and adaptation to oxygen deficiency in the root environment, a review, *Plant Soil* 75, 179-199.
6. Huck, M. G. (1970) Variation in taproot elongation rate as influenced by composition of the soil air. *Agron. J.* 62, 815-818.
7. Else, M. A., Hall, K. C., Arnold, G. M. and Davies, W. J. (1995) Export of abscisic acid, 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid, phosphate, and nitrate from roots to shoots of flooded tomato plants, *Plant Physiol.* 107, 377-384.
8. Jackson, M. B. and Hall, K. C. (1987) Early stomatal closure in waterlogged pea plants is mediated by abscisic acid in the absence of foliar water deficits, *Plant Cell Environ.* 10, 121-130.
9. Kriedemann, P. E. and Sands, R. (1984) Salt resistance and adaptation to root-zone hypoxia in sunflower, *Aust. J. Plant Physiol.* 11, 287-301.
10. Moezel van der, P. G., Watson, L. E. and Bell, D. T. (1989) Gas exchange responses of two Eucalyptus species to salinity and waterlogging, *Tree Physiol.* 5, 251-257.
11. Rubio, G. and Lavado, R. (1997) Mechanism for the increase in phosphorus uptake of waterlogged plants: soil phosphorus availability, root morphology and uptake kinetics, *Oecologia* 112: 150-155.
12. Close, D. C. and Davidson, N. J. (2003) Long-term waterlogging: nutrient, gas exchange, photochemical and pigment characteristics of *Eucalyptus nitens* saplings, *Russian Journal of Plant Physiology* 50, 843-847.
13. Gutierrez Boem, F. H., Lavado, R. S. and Porcelli, C. A. (1996) Note on the effects of winter and spring waterlogging on growth, chemical composition and yield of rapeseed. *Field Crops Research* 47, 175-179.
14. Smethurst C. F., Garnett, T. and Shabala, S. (2005) Nutritional and chlorophyll fluorescence response of lucerne (*Medicago sativa*) to waterlogging and subsequent recovery, *Plant and Soil* 270, 31-45.
15. Rural Development Administration (RDA). (1988) Soil Chemical Analysis, RDA.
16. De Witt, M. C. J. (1978) Morphology and function

- of roots and shoot growth of crop plants under oxygen deficiency, *In* Hook, D. D. and R. M. M. Crawford, (ed.). *Plant Life in Anaerobic Environments*, Ann Arbor Sci. Press, Ann Arbor, MI. p. 333-350.
17. Kozlowski, T. T. (1982) Water supply and tree growth, II. Flooding, *For.* 43, 145-161.
 18. Anderson, P. H. and Pezeshki, S. R. (1999) The effect of intermittent flooding on seedlings of three forest species, *Photosynthetica* 37, 543-552.
 19. Domingo, R., Perez-Pastor, A. and Ruiz-Sanchez, M. C. (2002) Physiological responses of apricot plants grafted on two different rootstocks to flooding conditions, *J. Plant Physiol.* 159, 725-732.
 20. Kozlowski, T. T. (1984) Responses of woody plants to flooding. *In* T.T. Kozlowski (ed.). *Flooding and Plant Growth*, Academic Press, Orlando, FL, USA, p. 129-163.
 21. Wang, T. S. C., S. Cheng, Y. and Tung, H. (1967) Dynamics of soil organic acids, *Soil Sci.* 104, 138-144.
 22. Hook, D. D., Brown, C. L. and Kormanik, P. P. (1971) Inductive flood tolerance in swamp tupelo (*Nyssa sylvatica* var. *biflora* (Walt.) Sarg.), *J. Exp. Bot.* 22, 78-89.
 23. Drew, M. C., Sisworo, E. J. and Saker, L. R. (1979) Alleviation of waterlogging damage to young barley plants by application of nitrate and a synthetic cytokinin, and comparison between the effects of waterlogging, nitrogen deficiency and root excision, *New phytol.* 82: 315-329
 24. Zhou, W., Zhao, D. and Lin, X. (1997) Effects of waterlogging on nitrogen accumulation and alleviation of waterlogging damage by application of nitrogen fertilizer and Mixtalol in winter rape (*Brassica napus* L.), *J. Plant Growth Regul.* 16: 47-53.
 25. Jones, R. (1974) Comparative studies of plant growth and distribution in relation to waterlogging. VIII. The uptake of phosphorus by dune and dune slack plants, *J. Ecol.* 62: 109-116.
 26. Waldren, S., Etherington, J. R. and Davies, M. S. (1987) Comparative studies of plant growth and distribution in relation to waterlogging. X IV. Iron, manganese, calcium and phosphorus concentration in leaves and roots of *Geum rivale* L. and *G. urbanum* L. grown in waterlogged soil, *New Phytol.* 106:689-696.
 27. Bradford, K. J. and Yang, S. F. (1981) Physiological responses of plants to waterlogging. *HortScience* 16, 25-30.
 28. Kawase, M. (1981) Anatomical and morphological adaptation of plants to waterlogging. *HortScience* 16, 30-34.
 29. Reid, D. M. and Bradford, K. J. (1984) Effect of flooding on hormone relations, *In* T. T. Kozlowski (ed.). *Flooding and plant growth*, Academic Press, Orlando, FL, USA, p 195-219.
 30. Bradford, K. J. and Yang, S. F. (1980) Xylem transport of 1-aminocyclopropane-l-carboxylic acid, and ethylene precursor, in waterlogged tomato plants, *Plant Physiol.* 65, 506-509.
 31. Abeles, F. B. 1973. *In* Ethylene in Plant Physiology. Academic Press.