

토양 수분 함량에 따른 너도개미자리, 벼룩이울타리, 산괴불주머니의 노지 생육

길 민¹ · 권혁환¹ · 권영현¹ · 정미진² · 김상용³ · 이용하^{4*}

¹배재대학교 원예산림학과 대학원생, ²국립수목원 식물자원연구과 연구사, ³국립수목원 식물자원연구과 연구관,
⁴배재대학교 원예산림학과 교수

Growth of *Minuartia laricina*, *Arenaria juncea*, and *Corydalis speciosa* in Field with Various Soil Water Contents

Min Gil¹, Hyuck Hwan Kwon¹, Young Hyun Kwon¹, Mi Jin Jung², Sang Yong Kim³, and Yong Ha Rhie^{4*}

¹Graduate Student, Department of Horticulture and Forestry, Pai Chai University, Daejeon 35345, Korea

²Researcher, Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea

³Senior Researcher, Division of Plant Resources, Korea National Arboretum, Yangpyeong 12519, Korea

⁴Professor, Department of Horticulture and Forestry, Pai Chai University, Daejeon 35345, Korea

Abstract. Plants native in Korea have not only ornamental values but also have excellent environmental adaptability, so they can be used as garden plants. Studies on proper volumetric water content (VWC) of substrates have been reported, but many have been conducted in glasshouse conditions where environmental factors were controlled. When considering garden planting, it is necessary to perform the automated irrigation system in outdoor conditions where rainfall occurs at frequent intervals. This research aimed to investigate the VWC suitable for the growth of *Minuartia laricina*, *Arenaria juncea*, and *Corydalis speciosa* in open field. Sandy soil which consisted of particles of weathered rock was used, and the VWC of 0.15, 0.20, 0.25, and 0.30 m³·m⁻³ was maintained using an automated irrigation system with capacitance soil moisture sensors and a data logger. No significant differences in growth and antioxidant enzymes activity of *A. juncea* were observed among VWC treatments. However, the survival rate was low at VWC 0.30 m³·m⁻³ treatment, which was the highest soil moisture content. Even considering the efficiency of water use, we recommended that VWC 0.15–0.20 m³·m⁻³ is suitable for the cultivation of *A. juncea*. *Minuartia laricina* showed better growth with lower VWC. Because of frequent rainfall in open field, plant volume and survival rate was high even in VWC 0.15 m³·m⁻³ treatment. In *C. speciosa*, the plant height, number of shoots and lateral shoots, and fresh and dry weight were higher in plants grown in VWC 0.25 m³·m⁻³ as compared with that in the plants grown at 0.15, 0.20, and 0.30 m³·m⁻³. Based on these results, *M. laricina* needed less water in open field, and *A. juncea* and *C. speciosa* required higher VWC, but excessive water should be avoided.

Additional key words : antioxidant enzyme, automated irrigation system, drought stress, native plant

서 론

우리나라에 자생하는 식물종은 4,000여종으로 보고되고 있는데(KFS, 2017), 해외에서 도입되는 식물에 비해 국내 환경 적응성이 뛰어난 장점이 있다. 최근 우리나라에서는 꽃과 자연에 대한 관심이 높아짐에 따라 야생화에 대한 수요 또한 늘고 있다. 야생화의 연간 생산액은 2014년에 354억원이었으나 2018년에 462억원으로 30.5%나 증가하였다(KFS, 2018). 관상가치가 높은 야생화를 산업화하고자 하는 다양한 노력이

이루어지고 있으며 야생화를 이용한 지역 축제도 계절마다 진행되고 있다(Kim, 2009). 이러한 상황을 반영하듯 야생화를 상업적으로 재배하는 농가의 수가 증가하고 있으며, 야생화 시장 규모 또한 증가하는 추세에 있다(Jeon과 Jeong, 2012). 우리나라에 자생하는 식물들은 세계적인 신화훼작물로 활용될 수 있는 잠재력을 가지고 있어 적극적인 야생화의 산업화가 필요한 상황이다.

너도개미자리(*Minuartia laricina* (L.) Mattf)는 백두산에 자생하는 식물로 7–10월에 흰 꽃을 피운다. 너도개미자리는 초장이 짧으면서도 넓게 퍼지는 생육 특성을 가지고 있어 꽃잔디(*Phlox subulata*)를 대체할 수 있는 정원 소재로 여겨진다. 벼룩이울타리(*Arenaria juncea* M.Bieb)는 한국, 북한, 중

*Corresponding author: rhie@pcu.ac.kr

Received June 26, 2020; Revised August 13, 2020;

Accepted August 18, 2020

국, 몽골, 일본, 극동러시아에서 자생하는 식물이며 다수의 꽃을 피우는데 2개월 이상의 긴 개화 기간을 가지며, 잎이 넓게 퍼지는 특징을 가지고 있다(Yeon 등, 2019). 벼룩이울타리는 초형이 맥문동(*Liriope platyphylla*)과 유사하지만 꽃이 흰색으로 다르기 때문에 맥문동을 대체 또는 혼식을 할 수 있는 지 피식재용으로 활용할 수 있다. 관상적인 가치뿐만 아니라 벼룩이울타리의 뿌리는 triterpenoid saponins 성분이 함유되어 건강식품의 원료와 약재로서 가치 또한 높다고 알려져 있다(Gaidi 등, 2005). 산괴불주머니(*Corydalis speciosa* Maxim. ex Regel)는 경기도와 강원도 산간지방의 습한 곳에서 군락지어 자생하는 식물이며, 노란색의 꽃이 피는데 모양이 노리개를 닮았다고 하여 산괴불주머니라는 이름이 붙었다. 산괴불주머니의 자생지가 습기가 많은 반 그늘에서 자생하기 때문에 정원의 하천 부근에 식재가 가능하다.

앞서 소개된 식물의 육묘 조건 또는 개화 조건에 대한 연구는 보고된 바 있으나(Shin 등, 2018; Yeon 등, 2019), 재배 및 정식 환경의 적정 조건에 대해서는 연구된 바가 없다. 정원에 식물이 한번 식재 되면 관리 특성상 식물을 쉽게 옮길 수 없기 때문에 식물의 내환경성에 따라 적절하게 식재하고 관리하는 것이 중요하다. 그 중 토양수분 조건은 식물 생장에 큰 영향을 주는데(Boyer, 1982), 적절한 수분 관리는 식물의 관상 가치를 결정한다. 식물 재배에서 효율적인 수분 관리를 위한 다양한 관수 시스템이 연구되어 왔는데, 그 중 토양수분센서를 이용한 관수시스템은 토양수분을 실시간으로 모니터링하고 일정한 토양수분함량을 유지하는데 효과적이라고 알려져 있다(Burnett와 van Iersel, 2008; Nemali와 van Iersel, 2006). 센서를 이용한 자동관수시스템 연구가 목본류인 *Rhododendron* spp.(Lea-Cox 등, 2008), 수국(van Iersel 등, 2009), 산호수(Nam 등, 2018)에서 화단초화류인 페튜니아(Kim 등, 2011), 가든멈(Rhie 등, 2018)에 이르기까지 다양하게 이루어졌다. 앞선 선행 연구에서도 실외조건에서 연구가 진행되는 경우도 있었으나 강우의 영향을 받지 않는 조건에서 실험이 진행되는 경우가 많았다. 자생식물이 분화가 아닌 정원에 활용되는 경우 우발적인 강우 등과 같은 기상변화에 많은 영향을 받게 된다. 실외 환경에서 토양수분을 제어하는 것이 실내 환경 보다 정밀하지 않지만 정원에 자동관수시스템을 도입하고 자생식물의 적정 수분 관리에 대해 알아보기 위해서는 실외 환경에서의 연구가 필요하다. 따라서 본 실험은 노지 환경에서 자동관수시스템을 이용하여 토양수분을 제어하고 너도개미자리, 벼룩이울타리, 산괴불주머니의 생장 반응을 조사하여 각 식물종의 내건성을 평가하고자 수행하였다. 또한 기존 연구를 살펴보았을 때 실험에 사용한 토양으로 피트모스, 코코피트 등 수분보유력이 좋은 원예상토를 사용하였고 수분보유력과

유기물함량이 상대적으로 낮은 마사토에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 마사토에서 큰조롱(*Cynanchum wilfordii*)의 주요생장이 원예상토의 단용 또는 혼용 배지보다 좋지 않았던 것과 같이(Lee 등, 2013), 마사토는 배수성이 좋지만 그만큼 보수력이 좋지 않아 실험에 많이 활용되지 않았다. 그렇지만 실제 정원에 자생 식물이 식재되는 상황에서는 자연 풍화된 마사토를 많이 사용할 것이 예상되어 본 연구에서는 마사토를 사용하여 실험을 진행하였다.

재료 및 방법

1. 식물재료 및 실험환경

2018년에는 벼룩이울타리, 2019년에는 너도개미자리와 산괴불주머니에 대한 실험을 진행하였다. 벼룩이울타리는 2018년 4월 12일 자생식물생산자협회를 통해 분양 받았으며 정식 전 묘의 상태는 초장 22.3 ± 1.3 cm (mean \pm SD), 초폭 28.4 ± 4 cm였다. 2018년 7월 16일까지 배재대학교 온실에서 순화시키다가 7월 19일 외부 포지에 이식을 하여 10월 26일까지 실험을 진행하였다. 너도개미자리도 2019년 자생식물생산자협회를 통해 6월 17일 분양 받았는데 초장 1 cm, 초폭 9 cm로 균일한 묘를 실험에 사용하였다. 산괴불주머니는 2019년 국립수목원 유용식물증식센터에서 종자를 분양 받아 발아 및 활착 시킨 후 사용하였으며 실험에 사용된 묘의 상태는 초장 22.7 ± 0.7 cm, 줄기 수 2.9 ± 0.2 개, 측지 수 21.9 ± 1.6 개였다. 2019년 실험 기간은 7월 16일부터 10월 9일까지 진행되었다.

배재대학교내 실험 노지에 식물의 식재를 위해 가로, 세로 90×210 cm (1.9 m²)의 실험 plot을 제작하였다. 실험구내의 토양은 자연풍화된 마사토이며 복합비료(두프르522, dof, Gyeonggi-do, Korea)를 120 g·m⁻² 수준으로 시비하였다. 마사토의 입도 분포는 5.60 mm, 2.80 mm, 1.40 mm, 710 μ m, 355 μ m, 150 μ m, 106 μ m, 106 μ m 미만 비율이 각각 2.4, 5.4, 16.7, 28.5, 23.1, 13.4, 4.4, 6.1%이었다. NCSU Porometer를 사용하여 토양 삼상을 3반복으로 측정하였으며 실험에 사용한 마사토의 고상, 액상, 기상은 각각 69, 23, 8%이었다.

2. 자동관수시스템 구축

토양의 수분 함량을 지속적으로 유지하기 위해 토양수분함량(VWC, volumetric water content)를 측정하고 제어하는 자동관수시스템을 구축하였다. 토양수분 측정은 토양수분센서(EC-5; Decagon devices, Pullman Washington, USA)를 사용하였으며, 2018년에 사용한 토양에 적용한 보정식($VWC = 0.147 \times mV - 46.654$, $R^2 = 0.98$)과 2019년 토양에 적용한

보정식($VWC = 0.120 \times mV - 35.896$, $R^2 = 0.97$)을 각각 사용하였다. 토양수분 처리구는 VWC 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 $m^3 \cdot m^{-3}$ 로 설정하였다. 2018년 실험은 VWC 처리당 3개의 반복구를 두었는데 반복당 한 개의 센서를 사용하여 처리당 3개의 센서를 사용하였다. 2019년 실험은 반복이 없이 VWC 처리당 한 개의 센서를 사용하였다. 2019년 실험의 경우 두 개의 식물종을 사용하였는데 plot안에 두 개의 식물종을 혼식하고 그 중간에 토양수분센서를 위치시켰다. 이는 각 식물종에 따른 VWC 변화를 반영하지는 못하지만 식물원에서 식물이 혼식되어 있는 상태를 염두하여 평균적인 VWC 를 나타내는 곳에 토양수분센서를 위치 시킨 것이다. Data logger (CR-1000; Campbell Scientific, Logan Utah, USA)와 Multiplexer (AM 16/32B, Campbell Scientific)를 사용하여 토양수분 및 환경데이터를 수집하였다. 수집된 토양 수분 데이터를 바탕으로 VWC 가 임계값보다 낮을 경우 16ch Relay (SDM CD16AC/DC controller, Campbell Scientific)를 사용하여 전자 밸브를 열어 관수를 20분간 실시하였다. 관수에 사용된 점적 호스(Aquadrip 3000, Samin, Gyeonggi-do, Korea)의

유량은 $2.1 L \cdot h^{-1}$ 이다. 점적호스에서 점적의 간격은 30 cm이었으며 점적호스간의 간격도 30 cm로 설치하였다. 압력계를 설치하여 모든 plot의 유량이 일정하도록 유지하였으며, 1회 관수 당 공급되는 물의 양은 $10.3 L \cdot m^{-2}$ 이었다. 설정된 일일 관수 횟수는 Data logger에 기록되었으며, 처리구의 물 사용량은 Data logger에 수집된 관수 횟수를 토대로 계산했다. 토양수분뿐 아니라 실험 기간 동안 외부 환경을 측정하였는데, 온습도(ECT, Decagon devices), 강수량(ECRN-100, Decagon devices)을 60분 단위로 저장하였다. 2018년 외부 실험포지의 최대온도와 최저온도는 각각 $39.5^{\circ}C$ 와 $3.7^{\circ}C$ 이었으며, 2019년은 $37.1^{\circ}C$ 와 $11.1^{\circ}C$ 였다(Fig. 1).

3. 수분보유곡선 측정

실험에 사용한 FDR (frequency domain reflectometry) 토양수분센서는 토양 수분 함량을 부피비로 나타내는 방식이기 때문에, 수분함량과 토양수분 장력의 관계를 알아보고자 수분보유곡선(water retention curve)을 조사하였다. Hyprop (UMS, Munich, Germany)를 이용하여 실험 포지 토양의 토

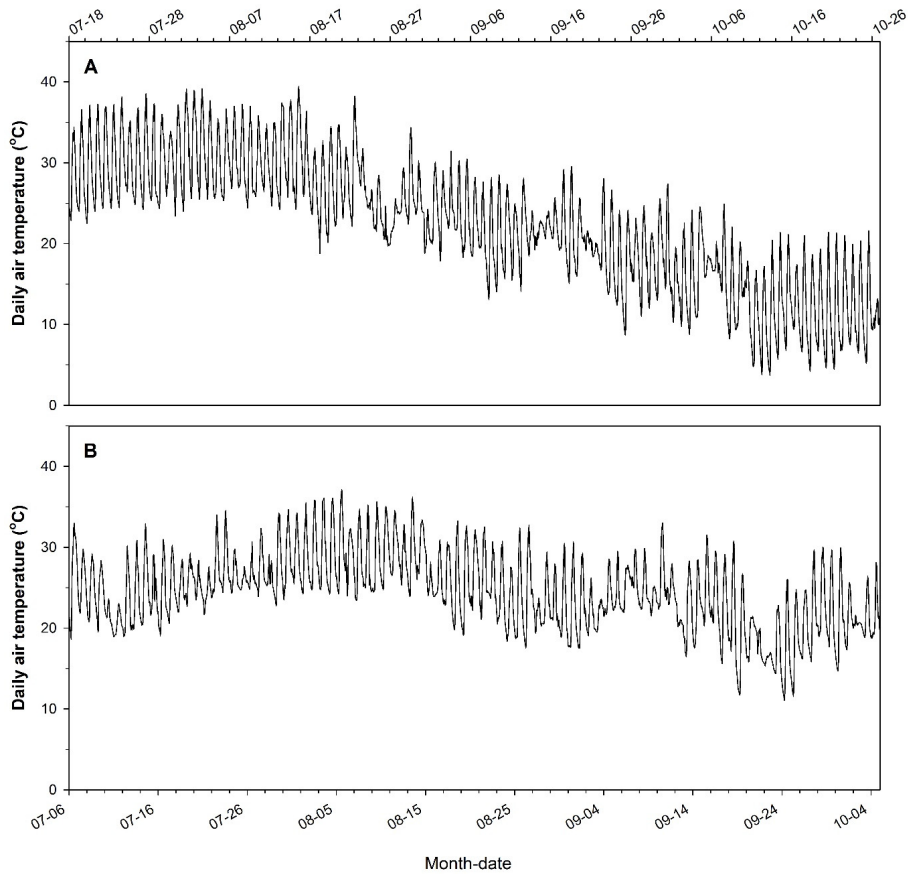


Fig. 1. Daily air temperatures in open field in 2018 (A) and 2019 (B).

양수분 장력과 VWC의 연관관계를 조사하였다. 일반 토양의 field capacity는 -10 kPa (pF 2.0) 또는 -33 kPa (pF 2.5)라고 알려져 있으며 wilting point는 -1500 kPa (pF 4.2)라고 알려져 있다(FAO, 1979). 식물이 토양에서 물을 흡수 할 수 있는 available water의 범위는 field capacity와 wilting point사이의 수분인데 실험 처리인 VWC 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 m³·m⁻³는 Hyprop 결과를 보았을 때 각각 pF 2.4, 2.0, 1.8, 1.5였다(Fig. 2). 이는 VWC 0.25 m³·m⁻³와 VWC 0.30 m³·m⁻³는 field capacity 이상의 수분이 충분한 조건임을 나타내며, VWC 0.15 m³·m⁻³와 VWC 0.20 m³·m⁻³는 available water의 범위에 들어가되 VWC 0.15 m³·m⁻³는 상대적으로 건조한 토양 조건임을 알 수 있다. Available water의 범위는 토양의 종류에 따라 VWC의 범위가 다르게 나타날 수 있다. 사토의 available water를 나타내는 VWC 범위는 0.04-0.10 m³·m⁻³이지만, 사질양토는 0.05-0.18 m³·m⁻³, 양토는 0.07-0.23 m³·m⁻³, 점토는 0.23-0.32 m³·m⁻³이었다(Pardossi 등, 2009). 실험에 사용한 마사토의 경우 인근의 산에서 자연 풍화된 것으로 field capacity (pF 2.0)에 해당하는 VWC가 약 0.20 m³·m⁻³로 사질양토와 양토에 가까운 성질을 가지고 판단된다.

4. 생육조사

벼룩이울타리와 너도개미자리의 식물체 부피는 관상가치를 판단하는 중요한 항목 중 하나이다. 따라서 벼룩이울타리와 너도개미자리의 초장(Height, H)과 폭(Width, W)을 측정하여 개체별 부피(Volume, V)를 계산했으며 반구의 부피를 구하는 다음과 같은 공식[V = (4/3)×π×W²×H]으로 계산했다. 산괴불주머니는 줄기의 수가 많을수록 착화수가 증가하여 관상가치가 높아지므로 줄기수를 측정하였다. 생육조사는 처리

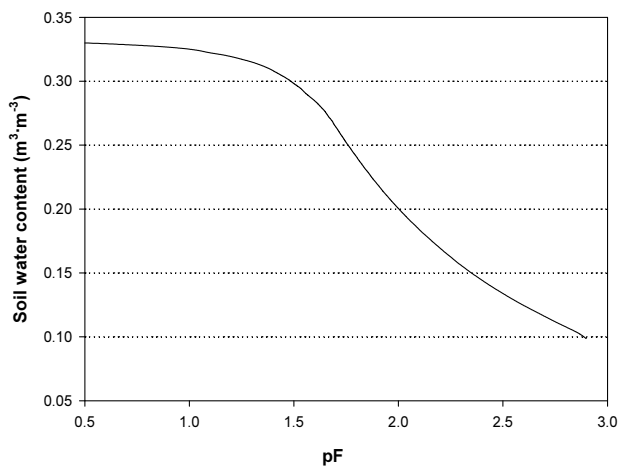


Fig. 2. Moisture retention curve of the field soil.

시작 후 4, 8, 12주에 걸쳐 실시하였다. 실험이 종료되었을 때 실험식물의 생체중, 건물중과 지하부 길이를 측정했으며, 지상부와 지하부의 비율(shoot:root ratio, S:R ratio)를 계산했다. 건물중은 드라이 오븐에서 80°C로 72시간 건조시킨 후에 측정하였다.

5. 효소 분석

식물이 건조스트레스 등의 원인으로 세포 내에 활성산소가 과도하게 쌓이게 되면 세포 노화로 인한 세포막 손상이 발생한다(Fridovich, 1975). SOD (superoxide dismutase)는 이러한 활성산소를 제거하는 항산화 효소이며, 활성이 높을수록 활성산소 제거 능력이 크다는 것을 나타낸다. SOD 분석은 Dhindsa 등(1981)의 분석방법을 사용하여 측정했다. 0.1 g의 시료를 0.1 M pH 7.8 buffer와 0.1 mM EDTA mixture 1 mL에 넣은 후 원심분리(11700 rpm, 20분)했다. 원심분리한 시료를 SOD reaction mixture와 riboflavin 용액에 넣은 후 2000 lux, 10분 동안 명반응을 유도했다. Reference, blank, 시료 용액을 nitro blue tetrazolium (NBT)의 광화학적 감소를 spectrophotometer (X-ma 1200, Human, Seoul, Korea)를 사용하여 560 nm 조건에서 측정하였다. SOD 활성 검정식(SOD activity = PS OD560 nm ÷ (reference OD560 - blank OD560) × 100 ÷ 2, PS=plant sample, OD=optical density)을 통해 식물시료의 SOD 활성을 측정하였다.

MDA (malondialdehyde)는 식물이 건조스트레스를 받을 때 생기는 lipid peroxidation의 부산물로 식물 체내 산화정도를 나타내는 지표로도 측정된다(Esterbauer와Cheeseman, 1990). 분석은 Metwally 등(2003)의 분석 방법을 사용하여 측정했다. 식물 시료 0.1 g을 2-thiobarbituric acid (0.5%)와 trichloroacetic acid (20%) mixture 2 mL에 넣은 후 95°C 30분 동안 incubating했다. 냉각 후 원심분리(10258 rpm, 30분)하여 상층액을 spectrophotometer를 사용하여 532 nm와 600 nm 조건에서 측정하였다. 또한 활성 검정식에 사용하기 위해 시료를 첨가하지 않고 상기한 과정을 거친 blank 용액을 532 nm와 600 nm 조건에서 흡광도를 측정하였다. MDA 활성 검정식(MDA activity = (PS OD532 nm - blank OD532 nm) - (PS OD600 nm - blank OD600 nm) × (155 × 0.1) × 0.001 × 1000, PS=plant sample, OD=optical density)을 통해 식물시료의 MDA 활성을 측정하였다.

6. 통계 분석

2018년 실험은 총 4개의 VWC 처리구의 3개의 반복을 두어 12개의 plot을 사용하였으며 반복당 균일한 크기의 식물 6개

체를 이용하였다. 2019년 실험은 총 4개의 VWC 처리구 plot 을 만들었으며 각 plot에 두 개의 식물종을 각각 9개의 개체씩 혼식하였다. 2019년 실험은 반복이 없이 9개의 개체를 소반 복으로 두어 통계처리를 하였다. 실험이 종료된 후 처리마다 동일하게 분석 샘플을 수집하여 분석을 진행하였다. 실험결 과의 분석은 통계분석용 프로그램 SPSS (SPSS 23.0, IBM Corporation, USA)를 이용하여 유의성 검정을 하였고, 사후 검정은 $P = 0.05$ 유의수준에서 Tukey's HSD (honestly significant difference)를 이용하여 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 환경데이터

2018년 실시한 벼룩이울타리 실험은 식물을 식재하고 토양

수분의 설정이 시작된 7월 28일부터 모든 처리구의 임계점에 도달하기까지 약 10일 정도 소요되었다(Fig. 3A). VWC가 가장 낮은 처리인 VWC $0.15 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 에서는 임계값에 가장 늦게 도달하였고 다른 VWC 처리구에 비해 관수시 VWC의 변동 폭이 컸는데 이는 낮은 임계값을 가진 처리구에서는 VWC 변동이 컸다는 기존의 연구에서도 발견되는 현상이었다(Bayer 등, 2013; Nemali와 van Iersel, 2006). 정밀하게 토양 수분을 유지하기 위해서는 1회 관수량을 더 줄이는 것이 필요하다고 여겨진다. 노지에서 실험이 진행된 만큼 실험 기간 중의 강우에 의해 특히 8-9월의 장마 기간 동안 비의도적으로 VWC의 변화가 나타났다(Fig. 3A). 장마기간 중 모든 처리구의 VWC 수치가 임계값보다 높게 측정됐다. 산과 불주머니와 너도개미 자리의 실험이 진행된 2019년에는 식물을 식재하고 토양수분이 설정한 모든 임계점에 도달하는 중 2018년 보다 빈번한 강

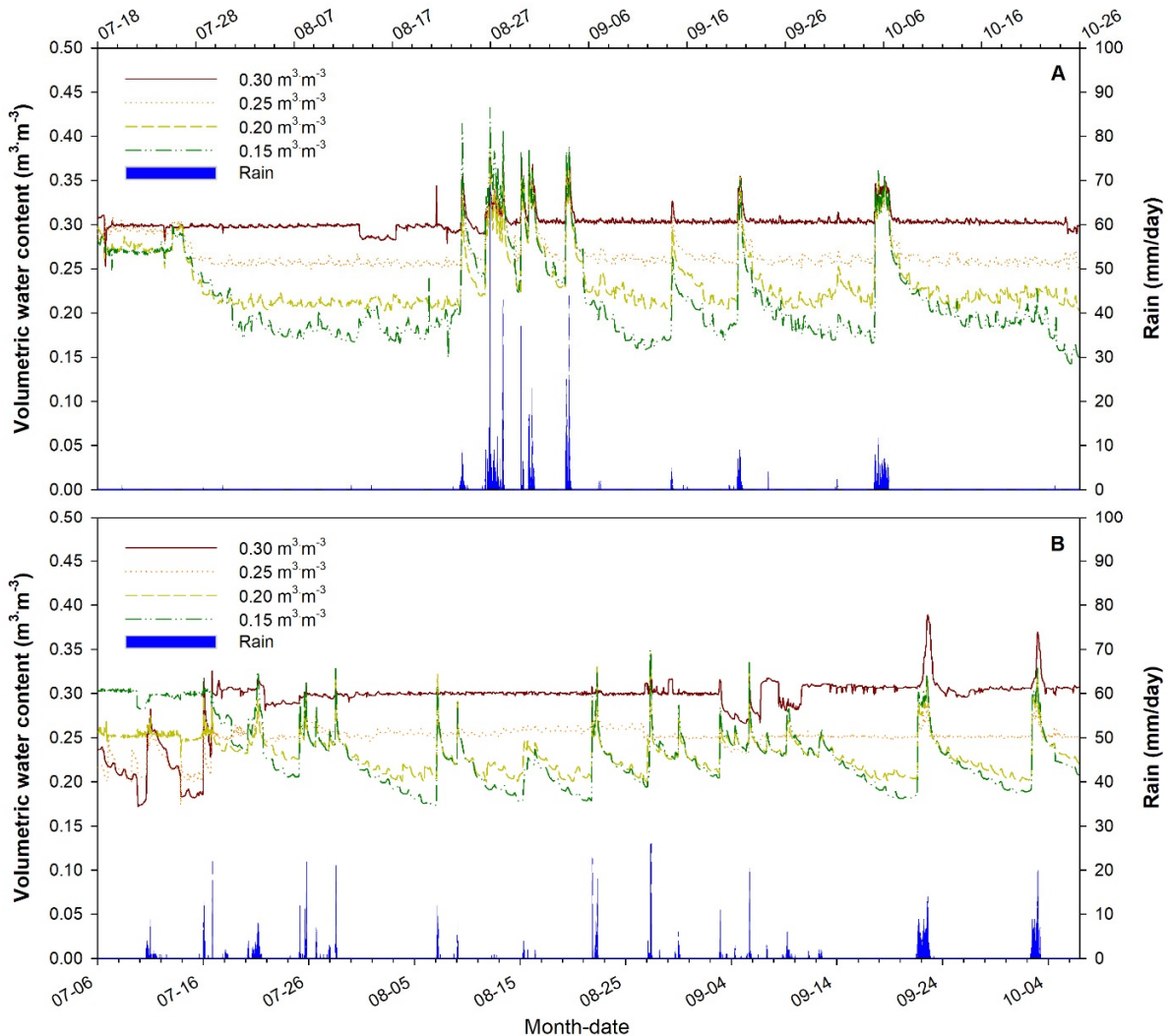


Fig. 3. Average volumetric water content of soil as maintained by an automated irrigation system in open field in 2018 (A) and 2019 (B).

우로 인해 VWC 변동이 자주 일어났다(Fig. 3B). 강우가 발생할 때 지정된 임계값을 웃도는 VWC 수치가 나타나며, 다시 감소하는 기간은 10일 이상 소요되는 경우도 발생하였다. 물 사용량은 VWC가 높은 처리구일수록 더 많은 양이 관수가 되었다(Fig. 4).

2. 식물 생육과 내건성 평가

벼룩이울타리의 초장, 폭, 부피에서 VWC가 높아질수록 증가하는 경향을 보였으나 통계적인 유의성은 없었다(Fig. 5A). 뿌리길이, R:S ratio, 생체중, 건물중에서도 VWC 처리간 유의미한 차이가 나타나지 않았으며(Table 1), 효소 분석 결과 또한 유의미한 차이가 발생하지 않았다(Fig. 6). 다만 VWC 0.30 m³·m⁻³ 처리에서 생존율이 약 66.7%로 다른 처리구에 비해 낮았는데 반복의 개수가 적어 통계적인 유의성은 없었다(Table 1). 벼룩이울타리는 과습한 환경만을 피한다면 비교적 광범위한 VWC 조건에서 생육이 가능할 것으로 여겨지며, 정원 식재 도입시 효율적인 물 사용을 고려한다면 VWC 0.15–0.20 m³·m⁻³ 수준으로 관리하는 것이 적당할 것으로 판단된다.

너도개미자리의 초장, 폭, 부피에서는 VWC에 따른 유의성이 나타나진 않았다(Fig. 5B). 뿌리의 생체중, 건물중, 뿌리길이를 보았을 때 VWC 0.15 m³·m⁻³에서 가장 높은 수치를 나타냈고 VWC가 높아질수록 유의적으로 줄어들었다(Table 1). VWC 0.15 m³·m⁻³ 처리구는 VWC 0.30 m³·m⁻³ 처리구보다 뿌리의 생체중은 9.5배, 건물중은 6배 높았다. 뿌리길이는

VWC 0.15 m³·m⁻³ 처리구에서 20.5 cm, VWC 0.3 m³·m⁻³ 처리구에서 4.8 cm로 VWC 0.15 m³·m⁻³ 처리구가 약 4.3배 길었다. S:R ratio는 VWC 0.15 m³·m⁻³에서는 3.4였지만, VWC 0.30 m³·m⁻³에서는 18.4였는데 이는 높은 VWC 처리구에서 토양의 과습으로 인해 너도개미자리의 뿌리생장이 악화되었기 때문으로 판단된다. VWC에 따른 생존율은 VWC 0.15 m³·m⁻³ 처리에서는 100%로 가장 높았으며, 나머지 VWC 처리구에서는 70% 미만으로 상대적으로 낮았지만 유의성은 없었다. 너도개미자리는 SOD 및 MDA 분석을 진행할 시료 중량이 나오지 않아 분석을 진행하지 않았다. 너도개미자리는 물 사용량이 적었던 VWC 0.15 m³·m⁻³ 처리구와 VWC 0.20 m³·m⁻³ 처리구에서 생육이 가장 좋은 것으로 보아 건조 스트레스에 강하고 오히려 과습한 조건에서는 식물의 생육이 저하됨을 알 수 있었다.

산피블주머니의 초장, 줄기수, 측지수는 VWC 0.15, 0.20 m³·m⁻³ 처리보다는 VWC 0.25, 0.30 m³·m⁻³ 처리에서 높았는데 초장, 측지수에서 VWC 0.25 m³·m⁻³ 처리구가 27.3 cm, 116개로 가장 좋았다(Fig. 5C). 뿌리 길이에서는 VWC 처리간 유의성이 나타나진 않았지만, 지상부와 지하부의 생체중과 건물중에서는 VWC 0.25, 0.30 m³·m⁻³ 처리가 VWC 0.15, 0.20 m³·m⁻³ 처리보다 높게 나타났다(Table. 1). 총 건물중에서는 VWC 0.25 m³·m⁻³ 처리가 VWC 0.30 m³·m⁻³ 처리보다 높게 나타났다. 생존율에서는 VWC 0.20, 0.25 m³·m⁻³ 처리에서는 고사한 식물이 없었지만, VWC가 가장 낮은 0.15 m³·m⁻³

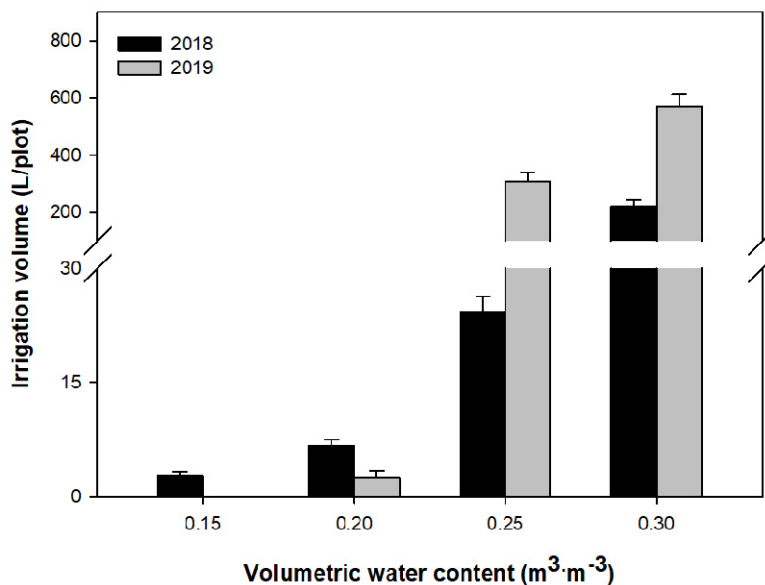


Fig. 4. Average daily amount of irrigation maintained by an automated irrigation system with various substrate water contents in open field in 2018 and 2019.

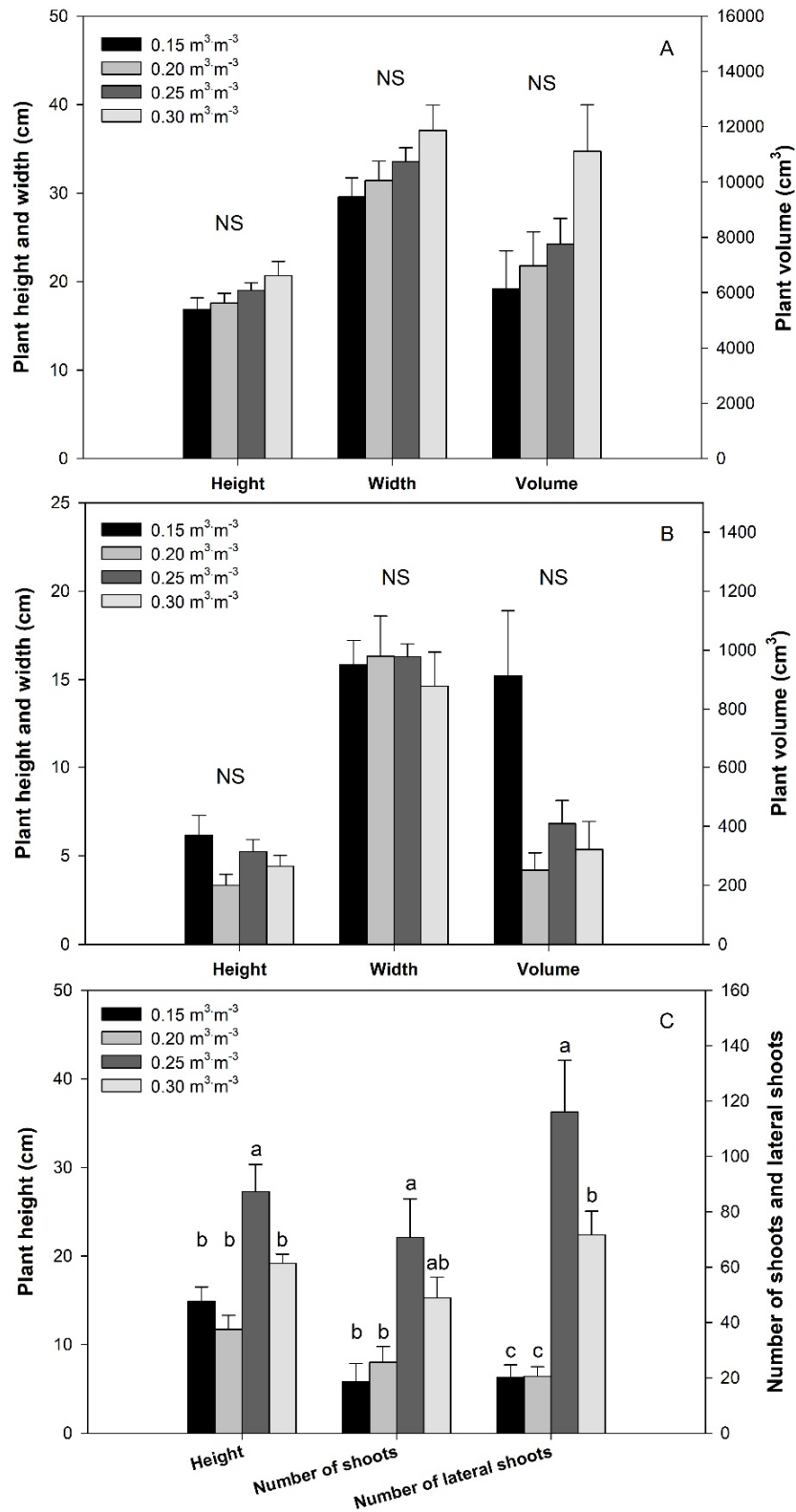


Fig. 5. Growth parameters of *Arenaria juncea* (A), *Mimuartia laricina* (B), and *Corydalis speciosa* (C) as affected by different volumetric water contents of soil. Bars represent standard errors. Means were separated by Tukey's HSD ($P < 0.05$).

Table 1. Effects of volumetric water contents of soil on the vegetative characteristics and survival rate of *Arenaria juncea*, *Mimuartia laricina*, and *Corydalis speciose*.

Volumetric water content (m ³ ·m ⁻³)	Root length (cm)	S:R ratio	Fresh weight (g)			Dry weight (g)			Survival rate (%)						
			Shoot	Root	Total	Shoot	Root	Total							
<i>Arenaria juncea</i>															
0.15	16.9	0.6	6.7	9.7	16.4	1.7	2.9	4.6	89.0						
0.20	19.1	0.7	6.4	7.9	14.2	1.5	2.2	3.7	94.0						
0.25	18.9	0.7	7.0	7.4	14.4	1.5	2.2	3.7	94.0						
0.30	19.4	0.7	7.4	8.7	16.1	1.5	2.2	3.7	66.7						
Significance	NS ^z	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS						
<i>Mimuartia laricina</i>															
0.15	20.5	a ^y	3.4	b	9.1	3.8	a	12.9	2.1	0.6	a	2.6	100.0		
0.20	22.4	a	3.3	b	6.3	3.2	a	9.5	1.5	0.4	a	2.0	66.7		
0.25	11.1	b	12.0	ab	6.6	0.8	b	7.5	1.5	0.2	b	1.7	66.7		
0.30	4.8	c	18.4	a	5.7	0.4	b	6.2	1.1	0.1	b	1.2	66.7		
Significance	***	***	NS	***	NS	NS	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
<i>Corydalis speciose</i>															
0.15	27.5	6.1	b	29.0	b	9.8	b	38.7	b	3.8	b	0.6	4.4	b	88.9
0.20	25.0	10.4	b	37.9	b	7.7	b	45.6	b	4.6	b	0.4	5.1	ab	100.0
0.25	25.0	25.8	a	240.0	a	15.9	ab	226.0	a	22.2	a	0.8	23.0	a	100.0
0.30	25.0	6.8	b	209.0	ab	19.6	a	228.0	ab	15.2	ab	1.7	16.9	ab	88.9
Significance	NS	***	*	**	*	*	NS	*	NS	*	NS	*	NS	NS	

^zNS, *, **, ***: non-significant and significant at $P < 0.05$, $P < 0.01$, and $P < 0.001$.

^yMean separation within columns Tukey's HSD (honestly significant difference) test at $P \leq 0.05$.

m³ 처리와 VWC가 가장 높은 0.30 m³·m⁻³ 처리구에서 생존율이 89%로 약간 낮았으나 처리간 통계적인 유의성은 없었다. 산괴불주머니의 MDA 분석에서 VWC 0.15 m³·m⁻³ 처리와 VWC 0.20 m³·m⁻³ 처리에서 수치가 높았으며 VWC가 높아 질수록 MDA 함량이 줄어들었다(Fig. 7A). 이는 산괴불주머니가 낮은 VWC 처리구에서 건조스트레스를 받아 MDA 활성이 높게 나타난 것으로 여겨지며, 메리골드(*Tagetes erecta*)에서도 건조스트레스를 받을수록 MDA 함량이 높게 나타난 결과와 동일하였다(Tian 등, 2012). SOD 함량은 VWC 0.15 m³·m⁻³와 VWC 0.30 m³·m⁻³ 처리에서 각각 21, 17 units·g⁻¹로 높게 나타났으며 그 중간 VWC인 0.20, 0.30 m³·m⁻³는 오히려 상대적으로 적게 나타났(Fig. 7B). 식물이 건조스트레스를 받았을 때 SOD가 높게 발현이 되는 것이 일반적으로 나타나는 현상인데(Tian 등, 2012), 이번 실험에서는 낮은 VWC뿐 아니라 높은 VWC에서도 SOD가 높게 발현되었다. 다양한 사과 품종에서 뿌리가 저산소 피해를 받았을 때 SOD가 활성화되는 것이 발견되었는데(Bai 등, 2010), 산괴불주머니의 경우 토양의 과습으로 인한 저산소 피해가 일어날 가능성이 있

다고 여겨진다. 산괴불주머니의 생육에 있어서도 VWC 0.30 m³·m⁻³ 처리가 VWC 0.25 m³·m⁻³보다 낮게 나타났는데 산괴불주머니는 건조한 토양 조건보다는 수분이 충분한 환경에서 잘 자라지만 너무 과습한 조건에서는 오히려 생육의 저하가 일어난다는 것을 알 수 있다.

결론적으로 벼룩이울타리는 다양한 VWC 처리에서 생육의 유의적인 차이가 보이지 않은 것으로 보아 다양한 수분 환경 조건에서 관리가 가능한 종이라고 여겨지며, 너도개미자리의 경우 토양수분이 낮은 처리구에서 식물의 생육이 가장 좋았으므로 내건성이 강한 종이라고 여겨진다. 특히 VWC 0.15, 0.20 m³·m⁻³ 처리구는 노지 환경에서 자연 강수가 있어 거의 관수가 이루어지지 않은 점을 미루어 볼 때 수분 관리에서도 용이한 종이라고 여겨진다. 산괴불주머니는 토양수분이 높은 VWC 0.25 m³·m⁻³ 처리구에서 생육이 가장 좋았으므로 너도개미자리에 비해 내건성이 약하며 관수를 통해 토양수분을 높게 유지해야 할 필요가 있다.

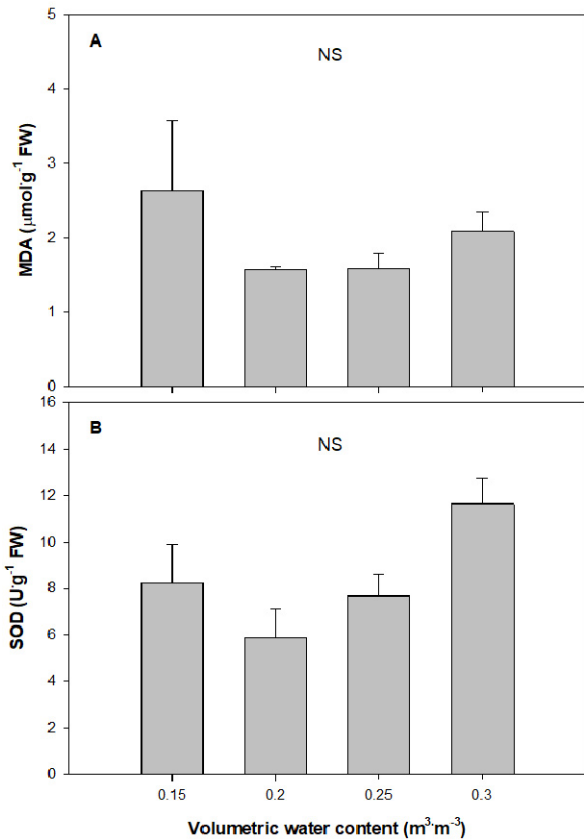


Fig. 6. Effects of volumetric water contents of soil on malondialdehyde (A) and superoxide dismutase (B) of *Arenaria juncea*. Bars represent standard errors. Means were separated by Tukey's HSD ($P < 0.05$)

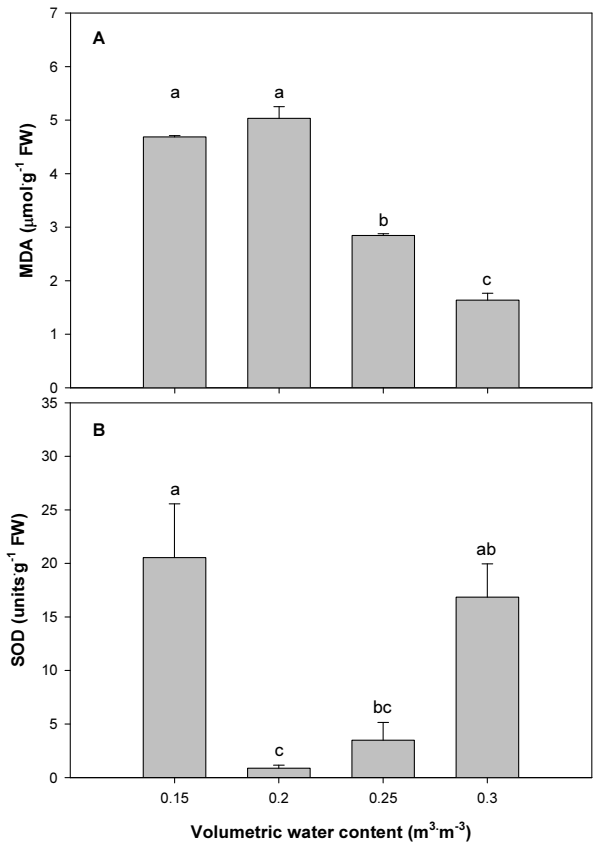


Fig. 7. Effects of volumetric water contents of soil on malondialdehyde (A) and superoxide dismutase (B) of *Corydalis speciosa*. Bars represent standard errors. Means were separated by Tukey's HSD ($P < 0.05$).

적 요

국내 자생식물은 관상적가치 뿐만 아니라 환경 적응력도 뛰어나므로 정원 식물로 활용가능하다. 토양의 적절한 용적수 분함량(volumetric water content, VWC)에 대한 연구가 이루어져 왔지만, 환경적 요인이 통제되는 온실 환경 조건에서 수행되는 경우가 많았다. 정원 식재를 고려할 때 빈번한 강우가 발생하는 실외 조건에서 자동 관수 시스템 연구가 진행될 필요가 있다. 본 연구는 노지 환경에서 너도개미자리, 벼룩이울타리 및 산피불주머니의 생장에 적합한 VWC를 조사하는 것을 목표로 하고 있다. 실험에 사용한 토양은 자연풍화 마사토를 이용했으며, FDR 방식의 토양 수분 센서 및 데이터로거를 사용하여 0.15, 0.20, 0.25, 0.30 $m^3 \cdot m^{-3}$ 수준의 VWC를 유지시켰다. 벼룩이울타리는 VWC 처리간에 성장 및 항산화 효소 활성에 유의한 차이가 관찰되지 않았다. 단지 토양 수분 함량이 가장 높았던 VWC 0.30 $m^3 \cdot m^{-3}$ 처리에서 생존율이 낮았다. 물 사용 효율을 고려하면 벼룩이울타리는 VWC 0.15–0.20 $m^3 \cdot m^{-3}$ 수준이 재배에 적합하다고 판단된다. 너도개미자

리는 VWC 조건이 낮을수록 성장량이 높았다. 실외의 빈번한 강우로 인해 관수가 거의 이루어지지 않았던 VWC 0.15 $m^3 \cdot m^{-3}$ 처리에서도 식물 부피 및 생존율이 높았다. 산피불주머니는 초장, 줄기 수, 측지 수, 생물중 및 건물중이 VWC 0.25 $m^3 \cdot m^{-3}$ 처리에서 가장 높았다. 종합하면, 너도개미자리는 VWC가 낮은 환경에서도 관리가 가능한 식물종이며 벼룩이울타리와 산피불주머니는 너도개미자리보다 VWC를 높게 유지되 과도한 수분 공급은 피해야할 것이다.

추가 주제어 : 항산화효소, 자동관수시스템, 건조스트레스, 자생식물

사 사

본 연구는 국립수목원 위탁연구과제인 ‘야생화 산업화를 위한 활용도 다변화, 연중재배 및 개화조절 기술 개발(KNA1-2-33)’의 지원을 받아 수행되었습니다.

Literature Cited

- Bai T., C. Li, F. Ma, F. Feng, and H. Shu. 2010. Responses of growth and antioxidant system to root-zone hypoxia stress in two *Malus* species. *Plant and Soil*. 327:95-105.
- Bayer A., I. Mahbub, M. Chappell, J. Ruter, and M. W. van Iersel. 2013. Water use and growth of *Hibiscus acetosella* 'Panama Red' grown with a soil moisture sensor-controlled irrigation system. *HortSci*. 48:980-987.
- Boyer J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*. 218:443-448.
- Burnett S.E. and M. W. van Iersel. 2008. Morphology and irrigation efficiency of *Gaura lindheimeri* grown with capacitance sensor-controlled irrigation. *HortSci*. 43:1555-1560.
- De Boodt M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Hortic*. 26:37-44.
- Dhindsa R. S., P. Plumb-Dhindsa, and T. A. Thorpe. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *J. Exp. Bot*. 32:93-101.
- Esterbauer H., and K. H. Cheeseman. 1990. Determination of aldehydic lipid peroxidation products: malonaldehyde and 4-hydroxynonenal. p. 407-421 *Methods in Enzymology*. Elsevier.
- FAO. 1979. Yield response to water. FAO irrigation and drainage paper 33. Rome: FAO, p. 193.
- Fridovich, I. 1975. Superoxide dismutases. *Ann. Rev. Biochem*. 44:147-159.
- Gaidi G., T. Miyamoto, and M. A. Lacaille-Dubois. 2005. An unusual new sulfated triterpene saponin from *Arenaria juncea*. *Die Pharmazie*. 60:635-637.
- Jeon, I.-J. and J.-H. Jeong. 2012. Crop and cultivation status of native plants in Korea. *Food Pres. Process. Ind*. 11:3-6.
- KFS. 2017. Korean plant names index committee. Available via <https://www.nature.go.kr> Accessed 31 July 2020.
- KFS. 2018. Production of forest products. Available via https://www.forest.go.kr/kfswb/cop/bbs/selectBoardArticle.do?nttId=3137117&bbsId=BBSMSTR_1016&pageIndex=1&pageUnit=10&searchtitle=title&searchcont=&searchkey=&searchwriter=&searchdept=&searchWrd=&ctgryLrcls=CTGRY071&ctgryMdcls=&ctgrySmcls=&ntcStartDt=&ntcEndDt=&orgId=&mn=NKFS_04_05_10 Accessed 31 July 2020.
- Kim, J., M. W. van Iersel, and S. E. Burnett. 2011. Estimating daily water use of two petunia cultivars based on plant and environmental factors. *HortSci*. 46:1287-1293.
- Kim, T. 2009. Relationship of the tourist's motivation and satisfaction in a local festival. Master Diss., Kangwon Univ.
- Lea-Cox J. D., G. F. Kantor, and A. G. Ristvey. 2008. Using wireless sensor technology to schedule irrigations and minimize water use in nursery and greenhouse production systems. *Comb. Proc. Int. Pl. Prop. Soc*. 58:512-518.
- Lee S.G., W. W. Cho, J. J. Ku, and H. D. Kang. 2013. Effects of seed pre-treatment and seedling culture system on germination and subsequent growth of *Cynanchum wilfordii*. *Korean J. Plant Res*. 26:75-83.
- Metwally A., I. Finkemeier, M. Georgi, and K.-J. Dietz. 2003. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant Physiol*. 132:272-281.
- Nam S., D.-H. Lee, and J. Kim. 2018. Effect of substrate volumetric water content on performance of *Ardisia pusilla* grown in indoor conditions. *Flower Res. J*. 26:124-131.
- Nemali K. S., and M. W. van Iersel. 2006. An automated system for controlling drought stress and irrigation in potted plants. *Sci. Hortic*. 110:292-297.
- Pardossi A., L. Incrocci, G. Incrocci, F. Malorgio, P. Battista, L. Bacci, B. Rapi, P. Marzialetti, J. Hemming, J. Balendonck. 2009. Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors*, 9:2809-2835.
- Rhie Y. H., S. Kang, D. C. Kim, and J. Kim. 2018. Production traits of garden mums subjected to various substrate water contents at a commercial production farm. *Hortic. J*. 87:389-394.
- Shin U.S., S.J. Song, H.J. Oh, J.S. Lee, S.Y. Kim, and S.Y. Lee. 2018. Changes in vegetative growth and flowering of *Minuartia laricina* (L.) Mattf. under various shading rates. *Proc. Kor. Soc. Hortic. Sci. Conf*. p. 182.
- Tian Z., F. Wang, W. Zhang, C. Liu, and X. Zhao. 2012. Antioxidant mechanism and lipid peroxidation patterns in leaves and petals of marigold in response to drought stress. *Hortic. Environ. Biotechnol*. 53:183-192.
- van Iersel M., R. M. Seymour, M. Chappell, F. Watson, and S. Dove. 2009. Soil moisture sensor-based irrigation reduces water use and nutrient leaching in a commercial nursery. *Proc. Southern Nursery Assn. Res. Conf*. 54:17-21.
- Yeon S. H., S. Y. Lee, and C. H. Lee. 2019. Cultivation factors for pot-plant production of *Arenaria juncea* M. Bieb. *Proc. Plant Res. Soc. Kor. Conf*. p. 59