

인공토양에 혼합된 지오희머스가 토양수분 증가와 식물의 건조 스트레스에 미치는 영향

이 염¹⁾ · 김동엽²⁾ · 김형보³⁾ · 김영기⁴⁾

¹⁾ 성균관대학교 대학원 조경학과 · ²⁾ 성균관대학교 조경학과
³⁾ (주)E3플랜비 · ⁴⁾ (주)시대에코텍

Effects of Geohumus Mixed with Artificial Soil on Soil Water Retention and Plant Stress Response

Li, Yan¹⁾ · Kim, Dong Yeob²⁾ · Kim, Hyoung Bo³⁾ and Kim, Young Ki⁴⁾

¹⁾ Department of Landscape Architecture, Graduate School, Sungkyunkwan University,
²⁾ Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University,
³⁾ E3 PlanB Co., Ltd, ⁴⁾ Sidae Ecotech Co., Ltd.

ABSTRACT

Currently, urban green space is disappearing due to urbanization, industrialization and various environmental problems including the disruption of the ecology in urban areas. To solve such problems and increase urban green area, roof greening has been suggested as an alternative. Through observing the responses of three plant species (*Mukdenia rossii*, *Dianthus chinensis*, and *Pachysandra terminalis*) planted on the soil mixed with Geohumus, this study investigated the effect of Geohumus on soil water content and plant survival. Soil water content of the rooftop soils has been increased when mixed with Geohumus. The responses were proportional to the amount of Geohumus in the mixture. Geohumus exerted a stronger influence on raising soil moisture content for soil A which had lower water-holding capacity. The stress responses of the plants varied in relation to the amount of Geohumus and soil moisture content. The stress response was lowest for *Dianthus chinensis* and increased in the order of *Mukdenia rossii* and *Pachysandra terminalis*. With the highest plant stress, *Pachysandra terminalis*

First author : Li, Yan, Department of Landscape Architecture, Graduate School, Sungkyunkwan University,
Tel : +82-31-290-7854, E-mail : yusoo0903@gmail.com

Corresponding author : Kim, Dong Yeob, Department of Landscape Architecture, Sungkyunkwan University,
Tel : +82-31-290-7846, E-mail : ydkim@skku.ac.kr.

Received : 29 July, 2015. **Revised** : 12 February, 2016. **Accepted** : 17 February, 2016.

showed the lowest survival rate among the three species. Without irrigation, the plants survived only for six weeks on green roofs. The survival rate differed depending on the amount of Geohumus mixed. The results of the experiment showed, with some exceptions, that Geohumus helped to improve soil water content, reduce plant stress, and extend plant survival period.

Key Words : *Plant growth media, Geohumus, Soil Water Retention, Drought stress, Survival Rate.*

I. 서 론

현대 사회에는 도시화 및 산업화로 인해 도시 내의 녹지 공간 감소, 환경오염 등의 문제가 나타나고 있다. 도시 녹지 면적을 증가시키기 위한 방편으로 인공 지반의 녹화가 시도되고 있다. 옥상환경에서 가장 취약한 부분은 토양의 수분조건이다. 건조한 옥상환경에는 수분 스트레스에 강한 저관리형 식물이 식재되어야 한다 (Ministry of Environment, 2008; Ju et al., 2012). 특히 저관리형 옥상녹화지에서는 생육 가능한 식물의 선정과 함께 토양수분 조건의 개선이 필수적이다(Lee et al., 2007). 식물은 토양수분 함량이 낮아지면 수분 스트레스의 증가로 광합성량이 감소한다(Kil, 1999). 토양수분은 무관수 조건에서 토양 종류에 따라 수분 감소 패턴에 큰 차이가 있으며, 토양수분 감소에 따른 식물의 수분 스트레스에도 차이가 있는 것으로 나타났다(Ahm et al., 2013). 토양의 수분특성을 개선하기 위하여 토양개량제가 사용된다. 유기질 토양개량제는 토양의 수분함량을 증가시키고 식물의 생존과 성장에 긍정적 영향을 주는 것으로 나타났다(Ju et al., 2013). 토양개량제는 건조 지역에서 토양수분 함량을 약 10% 높여주는 것으로 나타났다(Kyung et al., 2004). 옥수수 전분을 주성분으로 한 토양보습제가 건조기에 모래 배양토의 수분조건을 향상시키는 효과가 있는 것이 확인되었다(Choi et al., 2008). 옥상조건에 사용되는 인공배합토양은 자연토양에 비하여 용적밀도가 1/3 이상 낮으며 공극량이 많아 수분

함유능력이 높은 편이다. 그러나 토양개량제를 이용하여 인공토양의 수분조건이 향상된다면 옥상녹화지의 식물 관리에 큰 도움이 될 것이다. 본 연구는 옥상녹화지에서 토양개량제인 지오희머스가 토양수분 조건에 미치는 영향을 규명하고, 토양수분 조건 차이에 따른 식물의 건조 스트레스 반응을 알아보기 위한 목적으로 진행되었다.

II. 연구내용 및 방법

본 연구에서 지오희머스가 혼합된 토양에서 수분조건이 현저히 개선되고 식물의 생존률 향상에 영향을 미치는가 살펴보기 위하여 지오희머스의 효과가 없다는 가설을 설정하고 이를 검증하기 위하여 실험을 진행하였다. 실험은 경기도 수원시 장안구에 있는 성균관대학교 자연과학캠퍼스 생명공학대학 건물 옥상에서 2014년 5월부터 2014년 7월까지 진행하였다. 실험에 사용한 식물은 옥상녹화에 이용 가능한 3가지 식물을 선정하였다. 돌단풍(*Mukdenia rossii*)은 옥상녹화에 많이 이용되며 비교적 건조 환경에 잘 적응한다. 패랭이(*Dianthus chinensis*)도 건조한 환경에 적응력이 좋으며 옥상녹화에 사용된다. 수호초(*Pachysandra terminalis*)는 앞의 두 식물 보다는 건조한 환경에 약한 특성을 가지며 실험 조건에 따른 반응을 살펴보기 위하여 사용되었다. 본 실험에 사용된 토양은 인공혼합토(펄라이트, 피트모스, 코코피트, 부숙커피박, 질석)와 에코소일((주)에코엔바이오)이었다(Table 1). 두 토양

Table 1. Soils used in this study.

Soil	Mixing ratio (%)
A	Pearlite(60), Peat moss(10), Vermiculite(10), Cocopeat(10), Composted coffee ground(10)
B	Eco-soil((주)에코앤바이오)(Pearlite, Peat moss, Vermiculite, Cocopeat, Compost)

Table 2. Experimental plot design.

Soil	Geohumus	Replication 1			Replication 2			Replication 3		
		MURO	DICH	PATE	MURO	DICH	PATE	MURO	DICH	PATE
A	0g (1)	A1-3	A1-2	A1-1	A1-3	A1-2	A1-1	A1-3	A1-2	A1-1
	60g (2)	A2-3	A2-2	A2-1	A2-3	A2-2	A2-1	A2-3	A2-2	A2-1
	120g (3)	A3-3	A3-2	A3-1	A3-3	A3-2	A3-1	A3-3	A3-2	A3-1
B	0g (1)	B1-3	B1-2	B1-1	B1-3	B1-2	B1-1	B1-3	B1-2	B1-1
	60g (2)	B2-3	B2-2	B2-1	B2-3	B2-2	B2-1	B2-3	B2-2	B2-1
	120g (3)	B3-3	B3-2	B3-1	B3-3	B3-2	B3-1	B3-3	B3-2	B3-1

MURO: *Mukdenia rossii*, DICH: *Dianthus chinensis*, PATE: *Pachysandra terminal*

은 조성이 비슷하지만 A 토양은 퇴비대신 부숙 커피박을 유기물로 사용하였다. 토양종류별 물리적 특성을 분석하기 위하여 토양 pH(H₂O 5 : 1), 토양용적밀도, 토양공극량, 토양유기물 함량 (Walkley- Black법)을 측정하였다. 또한 토양의 양분특성은 총질소, 유효인산, 나트륨, 마그네슘, 칼륨, 칼슘의 함량을 측정하였다.

본 실험에서 토양개량재로 사용된 지오희머스는 독일 Geohumus사에서 2005년 개발된 유기탄소, 질소, 칼슘, 산화마그네슘 등의 영양소가 포함되어 있는 갈색의 작은 입자이다. 토양에 혼합되어 수분, 영양소, 통기성 조건을 향상시키기 위한 소재로 개발되었다. 토양 내에서 최장 3년 이상 효과가 지속되는 것으로 알려져 있다(<http://www.geohumus.co.kr>). 유럽, 북미, 중동 및 북부 아프리카 지역에서 조경, 농업, 원예 등의 분야에 사용되고 있다.

지오희머스를 모듈 당 0g, 60g, 120g 씩 토양에 혼합하였다(Table 2). 식물 3 종, 토양 2 종류, 지오희머스 혼합비율 3 수준, 3 반복으로 모두

54개의 식재모듈로 실험구를 설치하였다. 실험구는 50cm × 50cm × 10cm 크기의 식재모듈을 연결하여 설치하였으며(Figure 1) 한 모듈에 식물 9 개체씩 식재하였다(Figure 2). 실험 시작 전 식재모듈에 일주일간 충분히 관수하였으며 이후 무관수 상태로 유지하였다. 실험구에 강우를 막기 위하여 비가림막을 설치하였다. 실험기간 동안 토양수분, 식물 스트레스, 생존률을 일주일 간격으로 측정하였다. 토양수분은 토양수분 측정기(WT-1000N, (주)미래센서)를 사용하여 측정하였고, 식물 수분스트레스는 엽록소형광 측정기(OS-30P, Opti-Sciences)를 사용하여 측정하였다. 식물의 스트레스 반응은 식물의 엽록소형광 측정값 Fv/Fm으로 나타난다. Fv/Fm은 표준화된 매개변수로서 식물의 photosystem II 반응 시 최대양자효율을 나타내는 것으로서 건강한 식물의 경우 엽록소형광 측정값(Fv/Fm)이 0.79~0.84의 범위 내에 나타난다(Maxwell and Johnson, 2000). 스트레스를 받은 식물은 이보다 낮은 값을 보이며 식물의 스트레스 정도를 나타

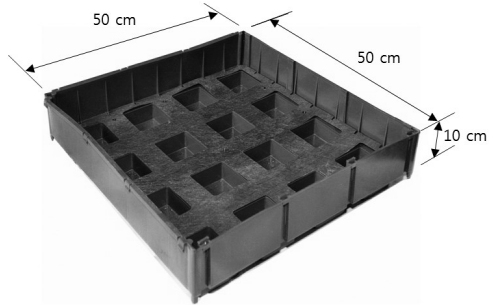


Figure 1. The planting module used for the experiment (50cm×50cm×10cm).



Figure 2. Plot installation on the rooftop.

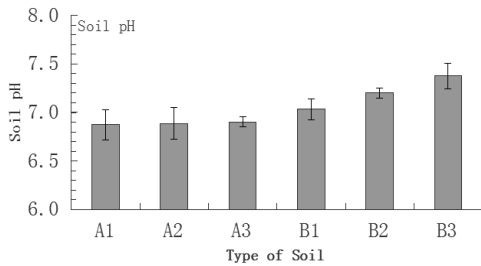
낸다. 실험결과는 SAS Ver 9.4을 이용하여 ANOVA 분석과 유의성 검정을 하였다(Stokes et al., 2012).

III. 결과 및 고찰

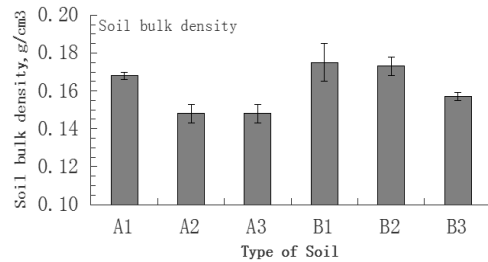
1. 토양 특성

토양 pH는 중성 범위 내에 있었으며 토양 A 보다는 토양 B가 높았다(Figure 3A). B3 처리구

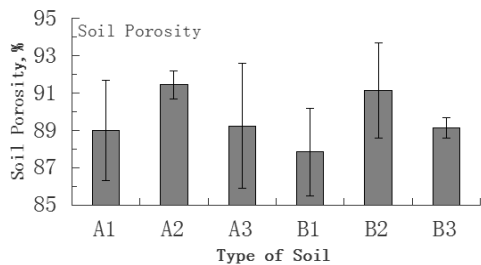
에서 7.4으로 가장 높게 나타났으며, 다음은 B2, B1 처리구 순으로 낮아졌다. 토양 B는 혼합된 퇴비에 의해 pH가 높아진 것으로 보인다. 토양 용적밀도는 토양 B가 토양 A에 비하여 높은 것으로 나타났다(Figure 3B). B1 처리구에서 $0.18\text{g}/\text{cm}^3$ 의 값으로 가장 높았으며, 그 다음으로 B2, B3 순이었다. 토양공극량은 토양 A가 토양 B에 비하여 높았다(Figure 3C). A2 처리구의 값이 91.5%로 가장 높았으며, 다음은 B2, A3 처리구



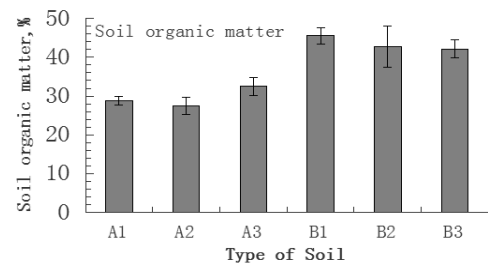
A. Soil pH



B. Soil bulk density



C. Soil porosity



D. Soil organic matter

Figure 3. Properties of the soil used in this study.

Table 3. Soil nutrient contained in the soil.

Type of Soil	T-N %	T-P mg/kg	K ⁺ cmol/kg	Ca ⁺⁺ cmol/kg	Mg ⁺⁺ cmol/kg	Na ⁺ cmol/kg
A ₁	0.55	16	0.37	12.0	5.0	1.09
A ₂	0.47	16	0.43	10.4	6.3	1.23
A ₃	0.60	26	0.68	9.7	7.7	1.89
Mean	0.54	19.33	0.49	10.70	6.33	1.40
B ₁	0.25	67	5.35	14.0	7.9	3.04
B ₂	0.16	57	5.44	15.1	9.9	4.75
B ₃	0.22	72	4.80	15.1	10.3	4.90
Mean	0.21	65.33	5.20	14.73	9.37	4.23

의 순으로 낮아졌다. 토양유기물함량은 토양 B가 토양 A에 비하여 높았으며, 지오희머스 혼합량에 따른 차이는 크지 않았다(Figure 3D). 토양 pH는 대체로 다른 인공토양의 pH 값과 비슷한 범위의 분포를 보였으나 유기물함량은 다소 높은 것으로 나타났다(Kim, 2015).

총질소는 토양 A가 토양 B에 비하여 함량이 높았다(Table 3). A₃ 처리구에서 0.6%로 가장 높았으며, 다음은 A₁, A₂ 처리구 순으로 낮아졌다. 유효인산 함량은 토양 B가 토양 A보다 높은 것으로 나타났다. B₃ 처리구가 72mg/kg로 함량이 가장 높으며, 그 다음으로 B₁, B₂ 처리구의 순으로 낮아졌다. 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등 무기양분은 전반적으로 토양 B가 토양 A에 비하여 높은 것으로 나타났다.

2. 관수 이후 토양수분 함량의 변화

관수 후 토양 B는 토양 A보다 수분 함량이 10% 이상 높았다(Figure 4). 지오희머스를 혼합한 경우 토양별로 수분 함량에 차이가 있는 것으로 나타났다. 토양 A는 토양 B에 비하여 수분함량이 낮았다. 토양 A는 지오희머스 혼합비에 따라 토양수분 함량 차이가 뚜렷하게 나타났으며, 최대 약 2배까지 증가하였다. 인공토양에 토양개량제를 혼합한 다른 연구에서도 이와 비슷한 결과를

얻었으며, 토양개량제 배합비가 높을수록 토양 수분 함량이 높았다(Kim, 2015). 이에 비하여 토양 B는 지오희머스 양에 따른 토양수분의 증가량이 토양 A보다는 적었다. 토양 B는 수분함량 편차가 적은 것으로 보인다. 특히 지오희머스 60g과 120g의 토양 간 토양수분 함량은 비슷했다. 토양수분 함량은 토양 A, B 모두 관수 이후부터 점차 감소하였는데, 실험초기에 수분 함량이 급격하게 감소되었으며, 이후는 완만하게 감소하였다. 토양 A는 토양 B보다 수분 함량 감소속도가 더 완만한 것으로 나타났다. 지오희머스 함량에 따른 토양수분 함량의 차이는 토양 A에서 실험 종료 시까지 계속 나타났다.

지오희머스를 토양에 혼합하여 사용한 결과 토양수분 함량이 혼합량에 비례하여 증가하였고 토양 내 수분보유 기간도 비례적으로 증가하였다(Figure 4). 지오희머스는 토양의 보습제 역할을 하는 것으로 판단되며 토양수분 조건 개선 효과가 있는 것으로 보인다. 또 다른 형태의 수분보습제의 예에서도 수분보유능력이 자체 중량의 200~400% 까지 수분을 흡수하는 것으로 나타났다(Lee, 2008). 본 실험에서 지오희머스를 사용한 후 토양 종류에 따라 토양수분 함량의 차이도 뚜렷하게 나타났다. 무관수 옥상 조건에서 토양 종류에 따라 토양수분의 감소 패턴

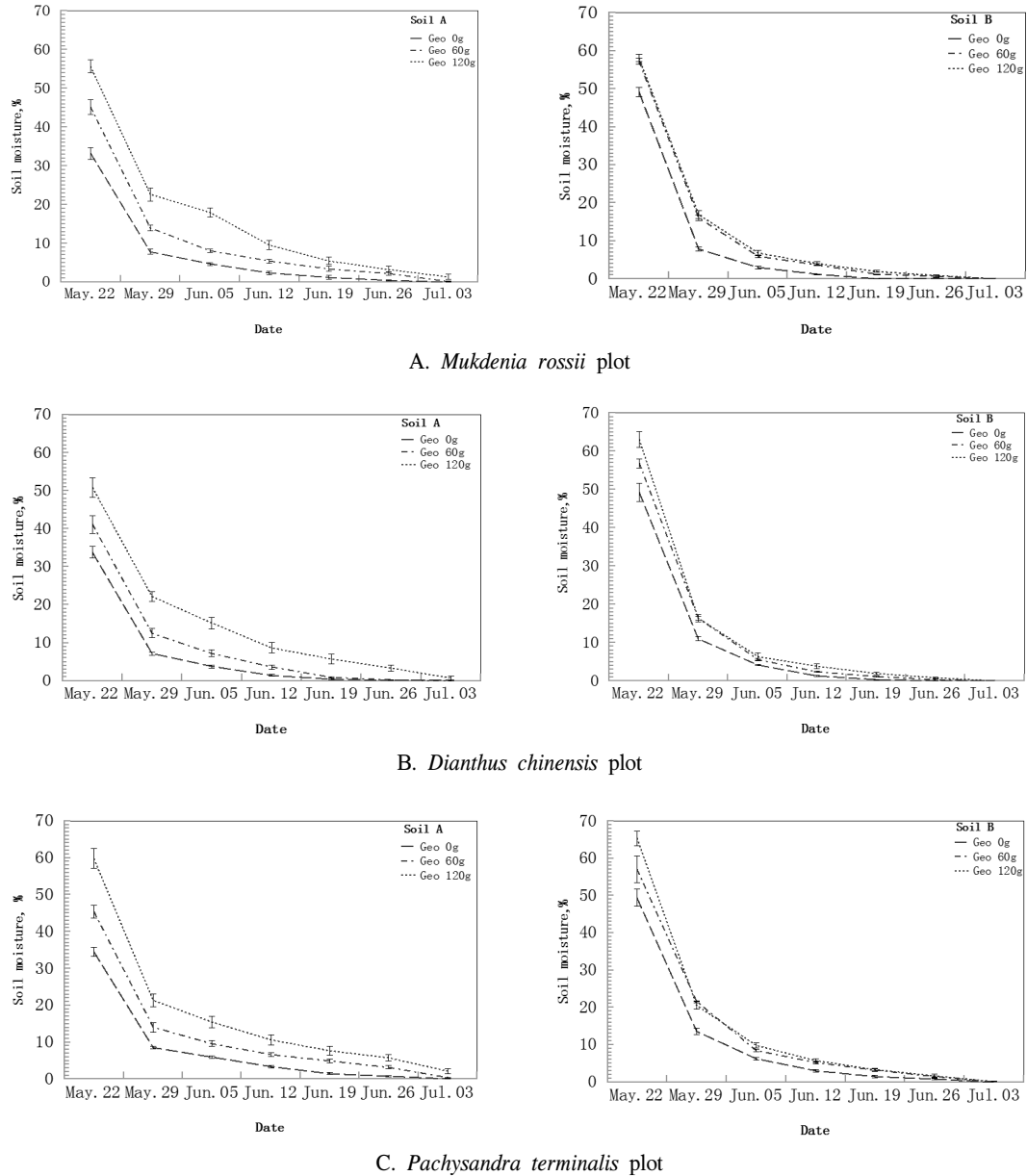


Figure 4. Changes of soil water retention with different levels of Geohumus after irrigation.

에 큰 차이를 보인 것으로 보고된 바 있다(Ahn et al., 2013). 지오희머스를 일반토양에 사용한 경우에도 토양수분 함량이 높아진 결과를 얻었다(Duong, 2012). 본 연구의 결과 인공토양에서 지오희머스에 의한 토양수분 증가 효과는 수분 함유 능력이 적은 A 토양에서 더 높은 것으로

나타났으며, 조건이 다른 토양들에서 어떤 효과가 있는지 확인하기 위한 연구가 추가로 필요한 것으로 생각된다.

3. 식물의 건조 스트레스 반응

관수 이후 토양수분의 감소에 따라 식물의 염

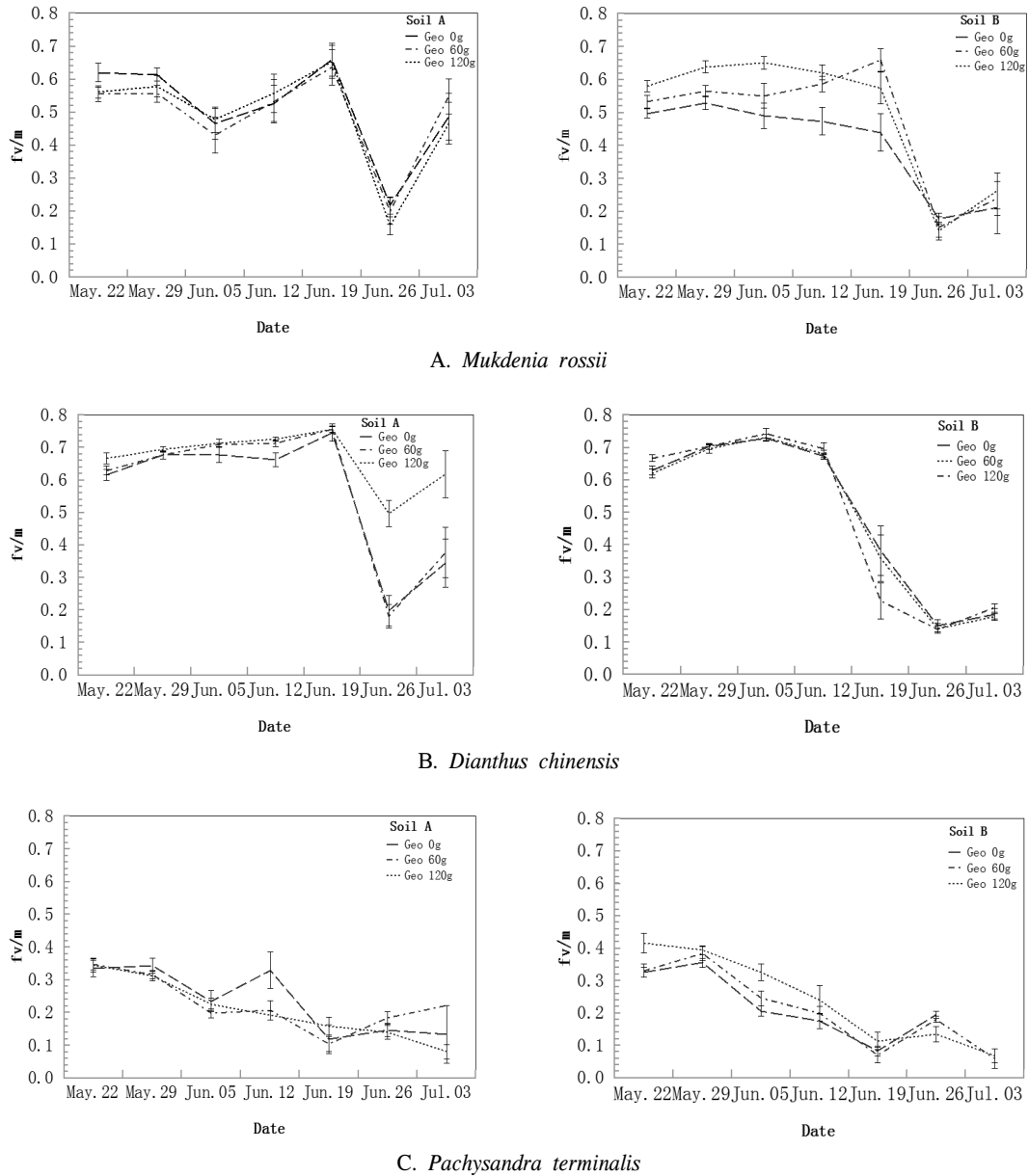


Figure 5. Changes of plant stress response with different levels of Geohumus after irrigation.

록소 형광 측정값이 점차 떨어지는 것으로 나타났다. 돌단풍은 토양 A에서 실험초기에 엽록소 형광 측정값이 0.56~0.62인 것으로 나타났으며, 5주 이후 감소하였다(Figure 5A). 토양 B에서는 초기에 엽록소 측정값이 0.50~0.58을 기록한 이후 완만하게 감소한 것으로 나타났다.

돌단풍은 토양 A에서 상대적으로 건조 스트레스를 더 받는 것으로 나타났다.

패랭이는 실험초기 토양 A에서 엽록소 형광 측정값 0.62~0.67를 보였으며, 5주 이후부터 낮아지기 시작했다(Figure 5B). 6주 이후 0.20~0.50로 낮아졌다. 토양 B에서도 이와 비슷한 경

향을 보였다. 토양 B에서는 엽록소 형광 측정값이 토양 A보다 일주일 먼저 감소되기 시작하였으며, 이는 토양 내 수분 감소 때문인 것으로 생각된다. 패랭이는 다른 두 식물에 비하여 식물 스트레스를 가장 적게 받은 것으로 나타났다.

수호초는 토양 A, B 모두에서 초기 엽록소 형광 측정값 0.34~0.35로 공시식물 중 가장 낮았으며, 시간이 흐름에 따라 점차 감소하였다(Figure 5C). 수호초는 토양수분의 변화에 따라 측정값이 감소하였으며, 실험 종료까지 스트레스가 지속되었다. 수호초는 반음지 조건에서 자라는 습성을 가져 옥상 조건에서는 다른 두 식물에 비해 적응력이 약한 것으로 생각된다.

본 실험은 무관수 조건을 확보하기 위하여 비가림막을 설치하였기 때문에 온도가 대기온도보다 다소 높았고 전반적으로 식물의 스트레스를 증가시킨 것으로 생각된다. 식물의 건조 스트레스 반응은 패랭이에서 가장 낮았고, 돌단풍, 수호초 순으로 높아졌다. 특히 수호초는 실험 초기부터 스트레스 정도가 높았고 시간이 흐르면서 점차 스트레스가 증가한 것으로 나타났다. 실험기간 동안 엽록소 형광 측정값의 변화는 토양수분 함량변화와 비슷한 경향을 보였다.

식물의 건조 스트레스 반응은 종에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 다른 실험에서도 비슷하게 나타난 바 있다(Ahn et al., 2013). 지오희머스의 사용으로 토양수분 함량이 증가했으며, 이에 따라 식물 스트레스 반응도 차이를 보인 것으로 생각된다.

4. 식물의 생존률

토양 내 수분이 감소하면서 식물의 생존률 또한 감소하였다. 또한 토양에 혼합된 지오희머스의 비율에 따라 생존률에 뚜렷한 차이가 나타났다. 돌단풍은 지오희머스를 혼합하지 않은 토양 A에서 3번째 주부터 고사가 시작되었고 시간이 흐르면서 생존률이 감소하였다(Figure 6A). 지오희머스 60g 처리구에서는 5번째 주부터 고사

가 시작되었고 120g 처리구에서는 6번째 주부터 고사가 시작되었다. 토양 A에서 6주 이후 돌단풍 생존률은 지오희머스 0g 처리구에서 50%였다. 토양 B에서는 지오희머스 무처리구에서 4번째 주부터 고사가 시작되었고, 돌단풍 생존률은 20%까지 낮아졌다. 60g과 120g 처리구에서는 6번째 주부터 고사가 시작되었다. 돌단풍의 고사현상은 토양 A에서 일찍 시작되었지만 6주 이후 생존률은 토양 B에서보다 더 높은 것으로 나타났다.

패랭이는 토양 A의 경우 지오희머스 무처리구에서 3번째 주부터 고사현상이 나타났고, 6주 이후 생존률이 급속하게 감소한 것으로 나타났다(Figure 6B). 지오희머스 60g과 120g 처리구에서는 6번째 주부터 고사가 시작되었다. 토양 A에서 생존률은 50%까지 떨어졌다. 토양 B에서는 지오희머스 혼합비와 상관없이 모든 토양에서 6번째 주부터 고사가 시작되었고 실험 종료 시 식물 생존률은 지오희머스 혼합비에 따라 120g, 60g, 무처리구 순으로 높았으며, 6주 후 생존률은 40%까지 떨어졌다.

수호초는 토양 A의 경우 지오희머스 무처리구와 60g 처리구에서 5번째 주부터 고사현상이 나타났다(Figure 6C). 지오희머스 120g 처리구에서는 6번째 주부터 고사현상을 보였으며, 이후 생존률이 급속히 떨어졌다. 토양 B에서는 지오희머스 무처리구에서 4번째 주부터 고사가 시작되었고, 6번째 주부터 생존률이 급하게 감소하였다. 지오희머스 60g과 120g 처리구에서는 6번째 주부터 고사가 시작되었고 이후 생존률이 급하게 감소하였다. 수호초의 생존률은 다른 두 종의 식물보다 낮았으며, 이는 수호초의 건조 스트레스 반응이 가장 높았던 것과 연관이 있는 것으로 보인다.

인공토양에 관수를 할 경우에 비하여 무관수 시 생존률이 50% 이하로 감소한 것을 보였다(Kim, 2015). 본 연구에서는 인공토양에 무관수 시 식물의 생존률이 지오희머스의 비율이 증가

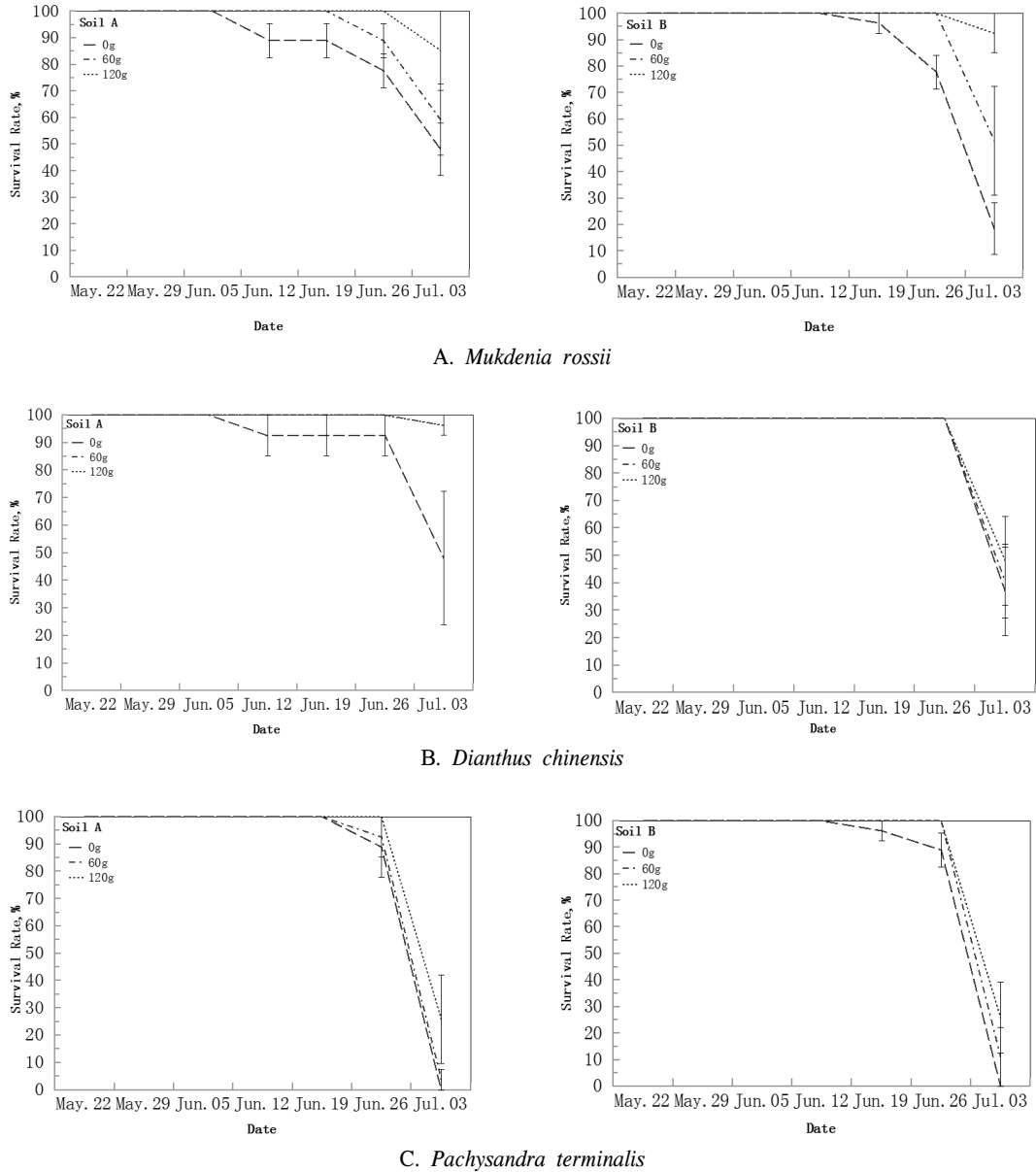


Figure 6. Plant survival rates with different levels of Geohumus after irrigation.

함에 따라 높아진 것으로 나타났다. 인공토양에 유기질 토양개량재를 혼합하여 조성된 인공지반은 들잔디의 성장을 증진시킨 것으로 보고되었다(Lee and Moon, 1999). 지오희머스 처리구의 생존률은 초기에는 혼합비에 비례하는 차이를 보였지만 6주 후 생존률은 모두 급하게 떨어

졌다. 일반적으로 토양보습제의 효과는 토양 조건과 기상 상태에 따라 차이가 있으며, 특히 초기 식물 생육에 긍정적인 영향을 미친다(Kim, 2014). 본 연구의 결과 지오희머스는 토양의 수분조건을 개선시키며, 돌단풍의 경우 토양 A, B에서, 패랭이의 경우 토양 A에서 식물의 건조

피해가 시작되는 시점을 연장시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. 그리고 이 경우 식재 모듈 당 120g의 지오희머스 혼합물이 가장 좋은 결과를 가져왔다.

IV. 결 론

인공 경량토양에 토양개량제인 지오희머스를 혼합하여 돌단풍, 패랭이, 수호초를 대상으로 무관수 실험을 진행한 결과 지오희머스를 사용하면 대체적으로 토양수분 함량, 식물의 건조 스트레스, 식물의 생존률에 긍정적인 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 A토양 돌단풍, B토양 패랭이, A토양 수호초에서는 뚜렷한 차이가 나타나지 않았다. 지오희머스에 의한 인공토양의 초기 수분함량 증가 효과는 지오희머스 혼합비에 비례하였다. 지오희머스는 수분함유능력이 낮은 A토양에서 더 큰 효과를 보이는 것으로 나타났다. 기존의 토양개량제로 사용된 유기물, 황토, 옥수수 전분, 수분보습제 등은 토양의 수분, 양분 조건의 개선 효과로 인하여 식물의 성장과 생존률을 향상시키는 것으로 나타났으며, 본 연구에서 사용된 지오희머스도 토양수분 조건의 향상과 생존률 증가에 기여하는 것으로 나타났다.

지오희머스를 사용한 인공토양에서 식물의 건조 스트레스 반응은 패랭이가 가장 낮았고, 다음은 돌단풍, 수호초의 순으로 높아졌다. 본 실험은 무관수 조건을 확보하기 위하여 비가림막을 설치하였기 때문에 기온이 다소 상승했으며, 일부 측정값에 영향을 준 것으로 보인다. 무관수 실험에서는 비가림막의 설치 높이와 통풍 조건이 중요한 것으로 생각된다. 식물은 종에 따라 건조 스트레스 반응에 차이를 보였으며, 수호초는 건조 스트레스를 가장 많이 받아 생존률이 다른 두 종의 식물보다 낮았다. 다른 두 종의 식물은 수호초에 비하여 건조 스트레스가 높지 않았지만 시간이 흐르면서 건조 스트레스 반

응이 나타났다.

식물의 생존률은 모든 실험구에서 실험 시작 6주 후부터 급하게 감소했다. 관수 이후 시간이 지남에 따라 높은 온도 조건과 함께 토양수분의 감소로 인하여 식물들의 스트레스 반응이 심해졌다. 무관수 옥상 조건에서 건조에 따른 식물의 성장한계점은 6주 정도인 것으로 판단된다. 식물의 생존률은 지오희머스의 비율에 따라 차이를 보였다. 지오희머스는 토양수분 조건을 개선하여 식물의 생존에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 생각된다. 토양의 건조 상태는 인공토양의 종류 및 구성에 따라 달라지기 때문에 향후 다양한 토양조건에서 추가 실험을 할 필요가 있는 것으로 생각된다.

References

- Ahn GY · Han SW and Lee EH. 2013. Soil moisture reduction pattern and that influences for plants in the condition of no Rainfall and no irrigation. *Korean Journal of Environment and Ecology* 27(6): 745-756. (in Korean with English summary)
- Choi JS · Yang GM · Ahn SH and Cho YS. 2008. Effect of Cornstarch-Based Absorbent Polymer on the Growth of Cool Season Turfgrasses in Sand-Based Mixture. *Turfgrass Society of Korea*. 22(1): 75-84. (in Korean with English summary)
- Duong, V. N. 2012. Environmental effects on physical properties of Geohumus and effects of its application on drought responses in maize. Ph.D dissertation, The University of Hohenheim.
- Ju JH · Bae GT · Kim WT and Yoon YH. 2012. Computation of Irrigation Interval and Amount as affected by Growing Substrate and Soil Depth Planted with *Zoysia japonica* in

- Green Roof during a Dry Summer. Journal of the Environmental Sciences. 21(3): 289-296. (in Korean with English summary)
- Ju JH · Lee SY and Yoon YH. 2013. Effect of Organic Soil Conditioner Ratio on the Soil Moisture Content and Growth of *Cotoneaster horizontalis* in the Container Type for Wall-Planting under Non-irrigation, Journal of the Environmental Sciences. 22(1): 17-23. (in Korean with English summary)
- Kil MJ. 1999. Physiological Changes in Indoor Plants *Spathiphyllum 'Clevelandii'* according to Soil Water Contents. Master dissertation, Konkuk University. (in Korean)
- Kim HR. 2015. Plant growth assessment of flowering shrub species in a vertical greenery system with different substrates for low maintenance. Ph.D. dissertation, Konkuk University. (in Korean with English summary)
- Kyung JH · Son YH · Yi MJ · Lee CY and Youn HJ. 2004. Effects of Fertilization and Soil Amendments on Growth and Nutrients of *Populus alba* var. *pyramidalis* in a Sandy Land of Inner Mongolia, China. Journal of the Korean Forest Bioenergy Society. 23(2): 9-20. (in Korean with English summary)
- Lee EH · Cho EJ · Park MY · Kim DW and Jang SW. 2007. Selecting plants for the extensive rooftop greening based on herbal plants, Journal of the Korea Society of Environmental Restoration Technology. 10(2): 84-96. (in Korean with English summary)
- Lee EY and Moon SK. 1999. Effects of soil mixtures and soil depths on the growth of *Zoysia japonica* for the artificial planting ground. Journal of the Korea Society for Environmental Restoration and Revegetation Technology. 2(2): 24-32. (in Korean with English summary)
- Journal of Korean Environmental Restoration and Lee JY. 2008. An application of the water storing polymer products for the restoration and revegetation of the disturbed slope. Master dissertation, Dankook University. (in Korean)
- Maxwell, K. and G. N. Johnson. 2000. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. J. of Experimental Botany vol. 51, No. 345, pp. 659-668.
- Ministry of Environment. 2008. Restoration Technology for Damaged Ecosystem; Technology Development for Restoration Natural Ecosystem of Urban Artificial Ground. (in Korean)
- Stokes, M. E., C. S. Davis and G. G. Koch. 2012. Categorical Data Analysis Using the SAS System, 3rd Edition. SAS Institute.
- <http://www.geohumus.co.kr>