Ecology and Resilient Infrastructure (2022) 9(2): 107-112
https://doi.org/10.17820/eri.2022.9.2.107

http://www.kseie.or.kr/
Online ISSN: 2288-8527

ORIGINAL ARTICLE

저관리 경량형 옥상녹화에서 유기물 멀칭재 유형에 따른 토양수분과 동자꽃의 생육 특성

Growth Characteristics of *Lychnis Cognate* and Soil Moisture by Organic Mulching Material Type in Extensive Green Roof System

박선영[1] · 채예지[2] · 최승용[3] · 윤용한[4] · 주진희[4*]

[1]건국대학교 녹색기술융합학과 박사, [2]건국대학교 녹색기술융합학과 석사과정, [3]건국대학교 녹색기술융합학과 석사, [4]건국대학교 녹색기술융합학과 교수

Sun Young Park[1], Ye Ji Chae[2], Seung Yong Choi[3], Yong Han Yoon[4] and Jin Hee Ju[4*]

[1]Doctoral Degree, Department of Green Technology Convergence, Graduate School, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
[2]Master Course, Department of Green Technology Convergence, Graduate School, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
[3]Master's Degree, Department of Green Technology Convergence, Graduate School, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
[4]Professor, Department of Green Technology Convergence, College of Science & Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

Received 30 May 2022, revised 7 June 2022, accepted 20 June 2022, published online 30 June 2022

ABSTRACT: This study was conducted to investigate the effects of mulching materials in extensive green roof system by comparing and analyzing the soil moisture content and growth response of *Lychnis cognata* according to the types of organic mulching materials. The experimental group consisted of a control group that did not use mulching material (Cont.) and a total of five treatment groups, including cocochip (C.O), woodchip (W.O), straw (S.T), and sawdust (S.A), depending on the mulching material. The soil moisture content according to the type of organic mulching material was high in the order of W.O > S.T > Cont. > C.O > S.A, and there was a significant difference especially in S.A. The plant height showed good growth in the order of S.T > Cont. > C.O > W.O > S.A, and there was no significant difference by mulching materials in other growth items except for plant height. Both the chlorophyll and plant water contents were superior to those of untreated group, so the treatment of organic mulching materials is considered to be effective in maintaining the chlorophyll and plant water contents of *Lychnis cognata*. In particular, the soil moisture content was affected by the characteristics of the mulching material itself. Based on these results, it is required to use a mulching material suitable for the characteristics of each plant in extensive green roof system and it is considered that this can be overcome through organic mulching when selecting a plant species that is weak to water stress.

KEYWORDS: Extensive green roof system, Organic mulching material, *Lychnis cognate*, Soil moisture content

요 약: 본 연구는 유기물 멀칭재 종류에 따른 토양수분함량과 동자꽃의 생육반응을 비교 · 분석하여 저관리 옥상녹화에서 멀칭재의 효용성을 알아보고자 수행하였다. 실험구는 멀칭재를 사용하지 않은 대조구 (Cont.; Control)와 코코칩 (C.O; Cocochip), 우드칩 (W.O; Woodchip), 짚거적 (S.T; Straw), 톱밥 (S.A; Sawdust) 등, 총 5개의 처리구로 조성하였다. 실험결과, 유기물 멀칭재 유형에 따른 토양수분함량은 W.O 〉 S.T 〉 Cont. 〉 C.O 〉 S.A 순으로 높게 나타났으며, 특히 톱밥에서 유의적 차이를 보였다. 생육

***Corresponding author:** jjhkkc@kku.ac.kr, ORCID 0000-0002-6138-3238

ⓒ Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.
This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

측정 결과, 초장에서 S.T 〉 Cont. 〉 C.O 〉 W.O 〉 S.A의 순으로 생육이 좋았으며, 초장을 제외한 다른 생육항목에서의 멀칭재별 유의적인 차이는 미미하였다. 상대엽록소함량과 체내수분량은 모두 무처리구보다 우수하게 나타나 유기 멀칭재 처리가 동자꽃의 엽록소함량 및 체내수분량 유지에 효과적인 것으로 판단된다. 특히 실험구 내 토양수분함량은 멀칭재 자체의 성질에 의해 영향을 받는 것으로 나타나 저관리 옥상녹화에서 각 식물의 특성에 적합한 멀칭재 사용이 요구되며 수분 스트레스에 약한 수종 선정 시 유기물 멀칭을 통해 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어: 유기물 멀칭, 토양수분함량, 동자꽃, 저관리 옥상녹화

1. 서 론

옥상녹화는 도심 내 추가적인 토지 확보 없이 녹지 확대가 가능하며 이상기후 피해 완화 및 도시열섬현상 완화, 에너지 절약을 위한 대안으로 고려되고 있다 (Han et al. 2016). 이러한 옥상녹화 중 초본류 위주의 식재 조성과 낮은 토심으로 지속적인 유지관리 없이도 식생이 유지되어 건축물의 하중과 관리 부담이 적은 저관리 경량형 (extensive green roof) 옥상녹화가 주목받고 있다 (Kim and Park 2013). 하지만 옥상은 자연환경과 비교했을 때, 높은 고도와 강한 일사, 바람에 대한 노출, 극심한 온도 변화, 수자원 확보가 어렵다는 단점과 함께 저관리 경량형 옥상녹화 조성 시 토양층 기반이 얕아 식물 생육에 불리한 조건을 가지고 있다 (Han et al. 2016).

아울러 옥상은 식물이 필요로 하는 양분의 운반 및 팽압유지, 식물체온의 하강 등의 역할을 하는 토양수분함량 또한 확보하기 어려운 환경이며 (Lee et al. 2010) 식재 수종 선택의 제한에 따라 식생 다양성이 감소하고, 낮은 토심으로 인해 옥상에 식재된 식물들의 수분스트레스가 극심해져 옥상녹화의 다양한 효과를 기대하기 어렵다 (Kim et al. 2015).

이러한 저관리 경량형 옥상녹화의 한계점을 극복하기 위해 빗물의 표면 유출을 감소시켜 토양 내로 수분 침투를 증가시키며 토양표면의 증산을 억제해 근권부의 수분함량을 보존하는 멀칭 (mulching)이 주목받고 있다. 멀칭은 수분함량 보존뿐만 아니라 토양의 물리성을 개선하고 토양 내 무기함량을 증가시켜 식물 생장에 도움을 준다 (Ju and Yoon 2012). 그 중 무기물 멀칭보다 토양의 물리, 화학적 개선 효과가 우수한 유기물 멀칭재가 각광 받고 있는 실정이다 (Lee et al. 2010). 현재 국내에서 옥상녹화의 멀칭재에 관한 연구는 무관수 옥상녹화에서 유기질 비료와 멀칭재에 따른 리아트리스 생육 반응 (Ju and Yoon 2012) 및 옥상녹화에서 멀칭재에 따른 토양수분변화와 식물 생육 반응 (Woo 2019) 등이 이루어졌지만 저관리 경량형 옥상녹화에서 유기물 멀칭재의 유형에 따른 토양수분함량 및 식물 생육과 생리에 미치는 영향에 관련된 현장적용 실험은 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 저관리 경량형 옥상녹화에서 수분에 민감한 식물인 동자꽃을 식재하여 유기물 멀칭재의 유형이 토양수분함량과 식물 생육에 미치는 영향을 살펴보고 비교 분석하여 저관리 경량형 옥상녹화의 한계를 극복하기 위한 방안을 마련하고자 수행하였다.

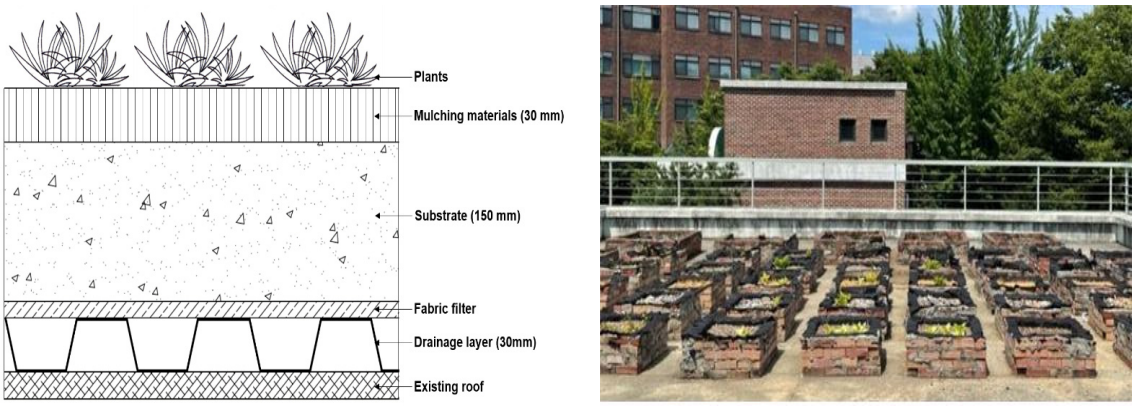
2. 연구 방법

2.1 실험구 조성

본 연구는 충북 충주시 소재 대학교 캠퍼스 내 건물 옥상에서 2021년 5월부터 8월까지 수행하였다. 환경조건은 월별 평균기온 5월 16.2˚C, 6월 22.1˚C, 7월 26.4˚C, 8월 24.4˚C로 조사되었으며 월별 평균 강수량은 5월 9.9 mm, 6월 9.3 mm, 7월 23.9 mm, 8월 14.9 mm였다. 실험구는 50 cm × 50 cm × 20 cm의 정방형 모듈에 3 cm 배수판을 설치하였고, 토양의 유실 방지를 위해 부직포 (Roof barrier seats, Citygreen, Korea)를 깔아주었다. 그 위로 식재지반은 경량형 인공토양 (Citygreen-soil, Hansulgreen, Korea)을 15 cm로 균일하게 포설하였으며, 멀칭재를 사용하지 않은 대조구 (Cont.; Control)와 멀칭재료를 각각 3 cm의 높이로 포설한 (C.O; Coco-chip, W.O; Woodchip, S.T; Straw, S.A; Sawdust) 5가지 처리구를 3반복하여 총 15개의 실험구를 조성하였다 (Fig. 1). 또한 저관리 경량형 옥상녹화의 특성상 인위적 관수는 실시하지 않고 강우에 의존하였다.

2.2 연구재료

식물재료는 유기물 멀칭재의 수분 보유력을 확인할



(a) (b)

Fig. 1. Experimental section (a) and plots (b) on the rooftop. Cont.; no mulching, C.O; cocochip, W.O; woodchip, S.T; straw, S.A; sawdust.

Table 1. Materials for experiments

Merterials	Types	Conditions			
Plant*	*Lychnis cognata*	Plant height (mm)	51.9±20.1	Leaf length (mm)	35.5±7.9
		Leaf width (mm)	15.1±2.6	No. of leaves	24.3±15.5
		Stem diameter (mm)	11.6±8.4		
Mulching materials*	C.O	Cocochip, Modufarm, Korea			
	W.O	Pine woodchip, GLpark, Korea			
	S.T	Straw, GLpark, Korea			
	S.A	Pine Sawdust, GLpark, Korea			

*Plants with the same specifications for each experimental plots were planted. Data are means±SD (n=15).
**C.O; cocochip, W.O; woodchip, S.T; straw, S.A; sawdust.

수 있는 습도에 민감한 동자꽃 (*Lychnis cognata*)을 식재하였고 (Song 2007), 유기물 멀칭재료는 토양수분 및 온도 유지 효과가 있는 코코칩 (C.O), 우드칩 (W.O), 짚거적 (S.T), 톱밥 (S.A)을 사용하였다 (Table 1).

2.3 측정항목 및 방법

동자꽃의 생육이 가장 활발한 개화 시기 (5 - 7월)를 기준으로 (Kim 2011) 토양수분함량과 식물의 생육 및 생리 모니터링을 실시하였다. 초장, 엽장, 엽폭, 엽수, 경경, 상대엽록소함량을 2주 간격으로 조사하였으며 실험 종료 후, 식물체를 수거하여 생체중, 건물중을 쟀다. 초장, 엽장, 엽폭은 30 cm 스테인리스 자 (Stainless steel ruler, SB, Korea)를, 경경은 디지털 버니어 캘리퍼스 (Digital vernier calipers, Sparkfun, Japan)를 사용하여, 엽수는 육안으로 직접 조사하였다. 상대엽록소함량은 휴대용 엽록소측정기 (Spad-502, Minolta, Japan)로 잎의 중앙부 근처를 3반복하여 모니터링하였으며 유기물 멀칭재에 따른 토양수분함량은 기기를 (Hobo usb micro station data logger, Mx2301, USA)이용해 매일 30분 간격으로 측정하였다. 생체중은 미세전자저울 (SF-400C, Electronic Compact Scale, China)로, 건물중은 드라이오븐 (C-DF, Changshin Sci Co, Korea)을 사용하여 70˚C에서 72시간 건조 후 미세전자저울을 이용했다. 이렇게 조사된 생체중과 건물중으로 체내수분량 (생체중-건물중)을 산출하였다.

2.4 분석

본 연구에서 수집된 데이터는 Pasw statistics 28 (SPSS Inc. USA)을 이용해 일원배치 분산분석 (One-way ANOVA)을 실시하였으며, 처리구간 평균값은 Duncan 다중검정 ($p \leq 0.05$)으로 각 실험구 간 유의성을 검증하였다. 또한 Sigmaplot 12.3 (Systat software,

Inc., San jose, Ca, USA)을 사용하여 그래프로 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

3.1 토양수분함량

유기물 멀칭 유형에 따른 토양수분함량은 다음과 같다 (Fig. 2). 5월부터 7월까지 S.A실험구에서의 토양수분함량이 다른 실험구에 비해 현저히 낮았으며, S.A를 제외한 나머지 처리구에서 통계적인 차이는 미미했으나 W.O > S.T > Cont. > C.O 순으로 나타났다. 즉 대조구를 기준으로 W.O과 S.T처리구에서 수분함량이 높았고 C.O과 S.A처리구순으로 토양수분함량이 낮게 나타났다. 이는 코코넛 코이어 배지에서 chip이나 fiber의 함량이 감소할수록 평균 수분함량과 최소 수분함량이 증가한다는 것을 고려해볼 때 (Park et al. 2010), 배지 내 코코칩 함량이 토양수분함량에 영향을 준 것으로 판단된다. 또한 S.A처리구는 다른 모든 처리구와 유의한 차이를 보이며 토양수분함량이 가장 낮았는데 이는 수분흡수력이 높은 톱밥 (Kim 2019)자체의 성질 때문인 것으로 판단되며 토양 내 유기물 처리에 따른 수분함량은 상당히 달라질 수 있음을 (Kim et al. 2017) 시사한다.

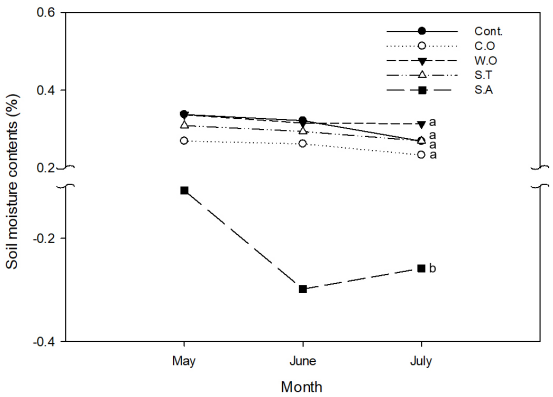


Fig. 2. Comparison on soil moisture contents according to organic mulching materials from May to July in 2021. Different letters indicate significant different among treatments at $p \leq 0.05$ by Dunkun's multiful range test. Cont.; no mulching, C.O; cocochip, W.O; woodchip, S.T; straw, S.A; sawdust.

3.2 식물생육

옥상녹화에서 유기물 멀칭 유형에 따른 동자꽃의 생육 항목별 결과, 초장은 S.T > Cont. > C.O > W.O > S.A 순으로 W.O를 제외하고 멀칭재별 토양수분함량의 결과와 비교적 일치하였다. 특히 S.T와 C.O실험구에서 대조구와 함께 높게 조사되었으며 통계상 뚜렷한 차이를 보였다. 엽장의 경우, S.T와 C.O실험구에서, 엽폭은 C.O과 W.O실험구에서 대조구에 비해 높게 나타났다. 엽수는 모든 실험구가 대조구에 비해 적었으나 경경의 경우, S.A > C.O > Cont. > W.O > S.T 순으로 멀칭재별 토양수분함량의 결과와 비교적 상반되게 나타났다 (Table 2). 특히 토양수분함량이 높았던 W.O처리구의 경우 초장, 엽장, 엽수, 경경에서 타 처리구에 비해 비교적 낮은 생육을 보이며 대조되는 결과가 나타났다. 이는 주로 산지의 반그늘에 습지가 많은 환경에서 자라는 자생종인 동자꽃이 차광없는 옥상의 고온 저습한 환경에 지속적인 노출로 인한 영향으로 판단된다. 특히 동자꽃은 습한 조건에는 강한 편이지만 건조에는 무척 약하므로 한발이나 여름철 고온장해를 줄여 주는 것이 좋으며, 화단이나 화분에 심어 키를 낮추려면 햇빛이 잘 드는 곳에 관리한다 (Song 2007). Kim (2004)은 내음성 지피식물인 참비비추 (*hosta clausa*)를 대상으로 차광을 하지 않은 Control구가 조절구에 비하여 엽의 신

Table 2. Growth characteristics of *Lychnis cognata* by organic mulching materials in 2021

Treatments	Plant height (mm)	Leaf length (mm)	Leaf width (mm)	Number of leaves	Stem diameter (mm)
Cont.	183.40a*	44.42a*	17.23a*	40.43a*	5.39a*
C.O	163.09a*	45.58a*	18.34a*	32.95a*	7.76a*
W.O	105.63b*	44.23a*	17.65a*	25.77a*	5.26a*
S.T	193.59a*	46.62a*	16.57a*	30.30a*	5.12a*
S.A	73.93b*	34.47a*	13.19a*	26.38a*	8.41a*

*Different letters indicate significant different among treatments at $p \leq 0.05$ by Dunkun's multiful range test. Cont.; no mulching, C.O; cocochip, W.O; woodchip, S.T; straw, S.A; sawdust.

장과 신장율, 엽폭 증가 역시 낮은 경향을 보였고 차광 조절구에서 엽수의 높은 증가율을 보여 내음성 식물은 전일광보다 차광하에서 생육이 더 좋은 환경임을 구명하였다. 따라서 토양수분함량과 관계없이 실험기간 동안 월평균 34˚C - 38˚C의 차광없는 무관수 옥상환경에서 동자꽃의 생육이 전반적으로 저하된 것으로 판단된다. 특히 C.O처리구는 멀칭 배지의 특성이 영향을 준 것으로 생각된다. 코코넛 코이어 배지는 수분에 민감하여 측정위치에 따라서도 수분함량 차이가 나타나는데 적정한 수준의 chip 함량의 배지에서 급액 후 배지 내 수분이 수직보다 수평으로 많이 이동하였다고 예측한 바 (Park et al. 2014), 호습성인 동자꽃의 생리적 특성과 함께 엽장, 엽폭, 경경의 항목에서 대조구보다 좋은 생육을 보인 것으로 사료된다.

3.3 생리특성

3.3.1 상대엽록소함량

저관리 경량형 옥상녹화에서 유기물 멀칭재 유형에 따른 동자꽃의 상대엽록소함량 분석 결과, C.O > W.O > S.A > S.T > Cont.의 순으로 멀칭재를 처리한 모든 실험구에서 대조구보다 높게 나타나 멀칭재 처리가 여름철 엽록소함량 유지에 효과적인 것으로 나타났다. 반면 무처리구는 5월에는 엽록소함량이 가장 높은 26.16을 보였으나 7월의 경우 12.15로 급격히 감소하였다 (Fig. 3). 멀칭재별 상대엽록소함량 차이는 토양 내 수분함량이 엽록소함량에 영향을 미치는데 (Park 2017), 실험대상지인 옥상의 고온저습한 환경과 여름으로 인한 폭염이 지속되면서 무관수에서나 고온에서의 생육감소 등 각 식물 종의 생육 특성으로 인한 생육저조의 결과로 (Han et al. 2016) 무관수 환경과 함께 상대적으로 내건성이 약한 동자꽃의 생육환경에 적합하지 않아 상대엽록소함량이 지속적으로 저하된 것으로 판단된다.

3.3.2 체내수분량

유기물 멀칭재 종류에 따른 생체중은 C.O, S.A, Cont., W.O, S.T처리구의 순으로 높게 나타났고, 건물중의 경우 C.O > Cont. > S.A > W.O > S.T의 순으로 나타났다. 생체중과 건물중간 중량은 대조구와 비교하여 볼 때 S.A처리구를 제외하고 순서의 변화가 없었다. 이는 토양수분함량 결과에서와 같이 수분흡수력이 높은 톱밥 자체의 성질에 기인한 것으로 판단된다. 생체중은 실험구별 유의적인 차이가 나타나지 않았으나 건물중에서는 유의적인 차이를 보였다 ($p \leq 0.05$).

이어서 멀칭재 유형별 동자꽃의 체내수분량은 S.T > W.O > C.O > S.A > Cont. 순으로 멀칭재를 처리한 모든 실험구에서 대조구보다 체내수분량이 높게 나타났다 (Fig. 4). 체내수분량이 높게 측정된 S.T과 W.O실험구의 경우 토양수분함량에서도 대조구를 기준으로 수분함량이 높게 나타난 것을 고려해볼 때 식물의 체내수분량은 토양수분함량과 밀접한 연관이 있으나 배지 상태, 멀칭재 자체 성질에 따라 달라질 수 있는 것으로 판단된다.

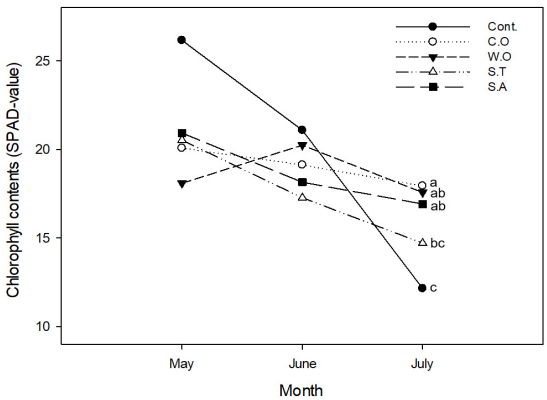


Fig. 3. Changes in chlorophyll contents of *Lychnis cognata* by organic mulching materials from May to July in 2021. Different letters indicate significant different among treatments at $p \leq 0.05$ by Dunkun's multiful range test. Cont.; no mulching, C.O; cocochip, W.O; woodchip, S.T; straw, S.A; sawdust.

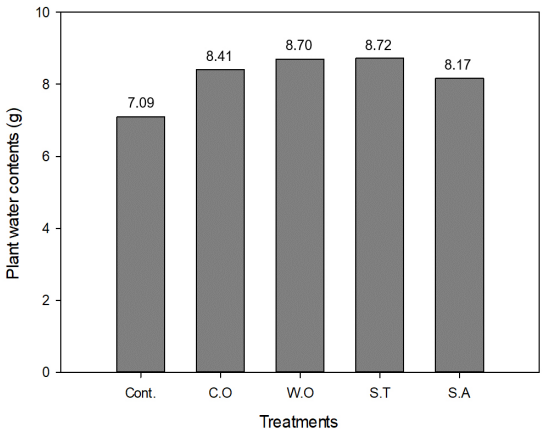


Fig. 4. Plant water contents of *Lychnis cognata* by organic mulching materials. Cont.; no mulching, C.O; cocochip, W.O; woodchip, S.T; straw, S.A; sawdust.

4. 결 론

본 연구는 저관리 경량형 옥상녹화에서 동자꽃의 생육 및 생리특성, 배지 내 토양수분함량에 대한 유기물 멀칭재 유형의 영향을 구명하기 위해 수행되었다. 실험구는 멀칭재를 사용하지 않은 대조구 (Cont.; Control)와 코코칩 (C.O; Cocochip), 우드칩 (W.O; Woodchip), 짚거적 (S.T; Straw), 톱밥 (S.A; Sawdust) 등, 총 5개의 처리구로 조성하였다. 실험결과 유기물 멀칭재 유형에 따른 토양수분함량은 W.O > S.T > Cont. > C.O > S.A 순으로 높게 나타났으며, 특히 S.A처리구에서 유의적 차이를 보였다. 동자꽃 초장에서 S.T > Cont. > C.O > W.O > S.A의 순으로 생육이 좋았으며, 초장을 제외한 다른 측정항목에서의 멀칭재별 유의적인 차이는 미미하였다. 상대엽록소함량은 C.O > W.O > S.A > S.T > Cont. 순으로 높았으며, 멀칭재 유형별 동자꽃의 체내 수분량 또한 멀칭재를 처리한 모든 실험구에서 대조구보다 높게 나타나 유기 멀칭재 처리가 식물의 엽록소함량 및 체내수분량 유지에 효과적인 것으로 판단된다. C.O처리구에서 동자꽃의 생육 및 생리측정 결과가 비교적 우수하였으나 토양수분함량에서는 상반된 결과를 보였다. 이러한 결과는 멀칭재 종류에 따른 토양수분함량과 수분보유 시간의 차이가 있어 식재 시 각 식물의 특성에 맞는 멀칭재 사용이 요구되며 저관리 경량형 옥상녹화에서 수분 스트레스에 약한 수종 선정 시 유기물 멀칭을 통해 극복할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 한정적인 수종과 장소, 각 멀칭재 자체의 수분보유량을 확인할 수 없다는 한계가 있어 추후 멀칭재 처리에 따른 다양한 수종의 장기적 생육 모니터링뿐만 아니라 저관리 경량형 옥상녹화에서 유기물 멀칭재 유형에 따른 토양환경 차이에 관한 정량적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

References

Han, Y.C., Lee, B.N.R., Ahn, G.Y., and Lee, E.H. 2016. Comparison of planting types on an extensive green roof based on summer surface temperature, Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology 19: 55-69. (in Korean)

Ju, J.H. and Yoon, Y.H. 2012. Effect of organic matter ratios in substrate and mulching materials on growth of *Liatris spicata* under non-irrigated green roofs. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture 40: 130-137. (in Korean)

Kim, E.J., Kim, H.G., and Guak, S.H. 2017. Effect of peatmoss-based organic material mixtures on soil pH, growth and fruit quality of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plants. Protected Horticulture and Plant Factory 26: 43-48. (in Korean)

Kim, H.T. 2011. Study on the growth of native herbaceous plants for three soil types on a green rooftop. Master's thesis. Sungkyunkwan University. (in Korean)

Kim, J.J. 2019. Effect of particle size and moisture content of sawdust bedding with cattle manure on anaerobic digestion characteristics. Master's thesis. Konkuk University. (in Korean)

Kim, K.S. 2004. The effect of light intensity on the development of ground cover plant in *Hosta clausa.* Weed& Turfgrass Science 18: 15-27. (in Korean)

Kim, S.C. and Park, B.J. 2013. Assessment of temperature reduction and heat budget of extensive modular green goof system. Horticultural Science and Technology 31: 503-511. (in Korean)

Kim, S.M., Han, S.W., Jang, H.K., Kim, J.S., and Jeong, M.I. 2015. Characteristics of soil moisture rate for optimal growth conditions on greenroof plants. Korean Journal of Environment and Ecology 29: 947-951. (in Korean)

Lee, C.Y., Kim, T.J., and Lee, G.J. 2010. Effects of organic mulching on potato production and weed management. Korean Journal of Organic Agriculture. 18: 587-598. (in Korean)

Park, J.H. 2017. Study on soil physico-chemical management with different ratio of mixed substrates for a healthy planting foundation. Doctoral Dissertation. Konkuk University. (in Korean)

Park, S.T., Choi, K.Y., and Lee, Y.B. 2010. Water content characteristics of coconut coir substrates on different mixture ratios and irrigation rate and times. Horticultural Science and Technology 28: 227-233. (in Korean)

Park, S.T., Jung, G.H., Yoo, H.J., Choi, E.Y., Choi, K.Y., and Lee, Y.B. 2014. Measuring water content characteristics by using frequency domain reflectometry sensor in coconut coir substrate. Protected horticulture and plant factory 23: 158-166. (in Korean)

Song, J.S. 2007. Cultivation and using for garden and potted plant of plant of *Lychnis cognate* native to korea. Landscaping tree 96: 19-21. (in Korean)

Woo, G.O. 2019. Soil moisture changes and plant growth responses under different mulching material on a green roof area. Master's thesis. Sungkyunkwan University. (in Korean)