Journal of Environmental Science International
27(5); 291~297; May 2018

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
https://doi.org/10.5322/JESI.2018.27.5.291

ORIGINAL ARTICLE

도시농업을 위한 저관리 용기형 수직녹화에서 피복재가 토양수분 및 한련화와 딸기의 식물생장에 미치는 영향

주진희 · 양지[1)] · 박주영[1)] · 윤용한[*]

건국대학교 녹색기술융합학과, [1)]건국대학교 대학원 녹색기술융합학과

The Role of Cover Material in Soil Water Retention and Growth of *Tropaeolum majus* and *Fragaria* spp. by Vertical Farming using Hanging Baskets in Urban Agriculture

Jin-Hee Ju, Ji Yang[1)], Ju-Young Park[1)], Yong-Han Yoon[*]

Department of Green Technology Convergence, College of Science Technology, Konkuk University, Chungju 27478, Korea

[1)]Department of Green Technology Convergence, College of Science Technology, Graduate School of Konkuk University,Chungju, 27478, Korea

Abstract

Vertical farming systems offer many advantages in urban spaces. They have also been proposed as an engineering solution to increase the productivity per unit area of cultivated land by extending crop production in the vertical dimension. However, soil water retention is a major constraint affecting the plant environment. This study analyzed the effects of growth environment of *Tropaeolum majus* and *Fragaria* spp., on the vertical farming system, by using four different types of cover material types including sphagnum moss (Control), a shading net (S.N.), multi-layered fabric (M.L.F.), and non-woven fabric (N.W.F.). The volumetric soil moisture contents and plant characteristics were investigated from May to September 2014. Plant materials were individually cultivated in hanging baskets measuring 30×17×17 cm, filled with a mixture of soil and perlite, and placed at 1.5m height. Each treatment was performed in quadruplicate and consisted of five plants, amounting to a total of 20 plants. The analysis indicated that different covers were associated with multiple functions and soil water retention improvements may have a positive impact on the vertical farming system. The difference in soil water retention increased in the following order: M.L.F. > Control > N.W.F. > S.N.. Furthermore, the differences in plant height and survival rate increased in the following order: M.L.F. > Control > N.W.F. > S.N. Therefore, M.L.F yielded satisfactory good response for the vertical farming system of cover materials. Our results clearly demonstrate that vertical spaces represent an attractive alternative to urban farming and suggest that further increases in yield may be achieved via different cover materials in vertical farming using hanging baskets.

Key words : Edible plants, Green infrastructure, Rainwater management, Urban agriculture, Vertical farming

Received 19 January, 2018; **Revised** 15 March, 2018;
Accepted 30 March, 2018

[*]**Corresponding author**: Yong-Han Yoon, Department of Green Technology Convergence, Konkuk University, Chungju 27478, Korea
Phone: +82-43-840-3538
E-mail: yonghan7204@kku.ac.kr

ⓒ The Korean Environmental Sciences Society. 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.

1. 서 론

도시에서의 농업은 경제발전, 일자리 창출, 식량 안보 및 지역사회 건설에 기여할 수 있는 해결책을 제시한다고 하겠다(Whittinghill et al., 2011). 특히 교외지역에서 작물을 재배함에 따라 이동에 많은 자원을 소비하는 대신 도시 내에서 먹거리를 재배함으로써 기후변화 대응방안의 하나로 주목받고 있다(Specht et al., 2014). 그러나 지가상승과 도시계획에 의한 개발수요의 증대로 인하여 도시농업이 유지될 수 없는 상황을 초래하기 때문에 도시인이 요구하는 농작물 생산지로서 뿐만 아니라 스트레스를 해소할 수 있는 환경적 요소로서의 기능도 필요하다. 따라서 고밀도 도시 지역의 건물에서 좀 더 효율적으로 식용식물을 생산할 수 있는 방안을 찾는 것이 중요하다고 본다.

최근 식용식물 생산을 수직적으로 확장하여 경작지의 지역단위 면적당 생산성을 높이기위한 해결책으로 VFS(Vertical Farming System)가 제시되고 있다(Dionysios et al., 2016). 수직농업(Vertical farming)이란 도시의 식량 문제와 인구밀도에 미치는 영향에 대한 부분적인 해결책으로 지역사회를 위한 지속가능한 도시농업 계획이다(Besthornl, 2011). 또한 환경 친화적이며 화학적 이용을 최소화 할 수 있는 방법이다(Garg and Balodi, 2014). 하지만 수직농업의 효율적인 관리를 위해 도시 기후조건에서 식물의 생육조건을 파악하는 것이 필수적이다(Pérez et al., 2011). 특히 식용식물의 생육과 생산성을 높이기 위한 토양관리는 매우 중요하며(Kim et al., 2003), 관수 시스템을 설치하지 않고 자연강우로만 수분이 공급되는 경우 저관리 수직녹화의 효율성을 위한 식재기반의 보수력과 배수성이 중요하다고 하겠다(Ju et al., 2013).

한련화(*Tropaeolum majus* L.)는 남미원산으로 화려한 색상, 향기, 외형으로 인한 뛰어난 관상가치 외에 식미를 돋을 뿐 아니라 최근에는 건강에 도움이 될 수 있는 물질이 밝혀져 수요가 꾸준히 증가하고 있는 식용식물이다(Lee et al., 2011). 딸기(*Fragaria* spp.)는 장미과 여러해살이 풀에 속하는 작물로 거의 모든 계절에 식용할 수 있는 새로운 품종의 개발로 소비가 증가하고 있는 추세이다(Marcia et al., 2008). 한련화와 딸기 모두 관상가치가 높을 뿐 아니라 용기형 수직농업에 적합한 식용식물이라 하겠다(Christenhusz, 2012; Vachon et al., 2003).

따라서 본 연구는 저관리 용기형 수직녹화의 피복재가 식재기반의 토양수분과 식용식물인 한련화와 딸기의 생육에 미치는 영향을 살펴봄으로써 도시농업을 활성화하기 위한 방안을 도출하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구재료

2.1.1. 토양, 식물, 피복재

본 연구에 사용된 공시 토양은 펄라이트(Parago, Kdceratec, Korea), 분갈이용 퇴비(Mi-sung, Green pamix, Korea) 그리고 그린토(Seung-Jin soil, Seung-Jin Fertilizer, Korea)를 사용하였다. 식물재료는 2014년 5월 병천에 위치한 농장에서 직경 12cm 화분의 한련화(*T. majus*)와 딸기(*Fragaria* spp.)를 구입한 후 1개월간 실습장에서 순화시켰다. 피복재 처리는 용기형 행잉와이어의 피복재로 주로 활용되는 수태(sphagnum moss, Modupam, Korea)를 대조구로, 원예 및 조경용으로 흔히 사용되는 피복재인 차광막(shading net, Kelim, Korea), 다겹보온덮개(multi-layered fabric; Bolim, Korea), 부직포(non-woven fabric, NF Sungju, Korea)등을 사용하였다.

2.1.2. 실험구 조성

본 실험은 2014년 5월부터 9월까지 수행하였으며, 건국대학교 글로컬캠퍼스 녹색기술융합학과 전공 온실 남동쪽 벽면에서 실시하였다. 실험기간 환경조건은 최고기온 34.9℃ 최저기온은 3.6℃였으며, 월별 강수량은 5월 26.3, 6월 63.3, 7월 92.6, 8월 284.3, 9월 122.4 mm로 조사되었다. 용기형 실험구의 크기는 30×17×17 cm의 1/4구형 행잉바스켓(hanging basket)으로 전면에 총 4가지 피복재로 각각 피복한 후 후면에 방수시트를 부착하여 벽면에 수직으로 고정시켰다. 식재지반은 용기 높이의 1/3을 펄라이트로 배수층을 형성하고 배합토를 용기의 턱 2~3 cm를 남기고 포설하였다. 한련화(*Tropaeolum majus*)와 딸기(*Fragaria* spp.)를 처리구별로 각 5포트 씩 4반복으로 총 20본 식재하였으며, 실험구는 온실 외부벽면에 설치한 높이 약 1.5 m의 격자형 구조물에 부착하였다. 인위적인

관수는 실시하지 않았으며 자연강우에 의존하였다.

2.2. 연구방법

2.2.1. 토양중량수분함량

피복재에 따른 토양 내 중량수분함량은 2014년 7월 31일부터 8월 28까지 한 달간 모니터링 하였으며, 매일 1회 10반복으로 각 처리구별 용기무게를 전자저울(FG-150KAL-H, Korea)을 이용하여 측정하고 평균값을 산출하였다.

2.2.2. 식물생육 및 생리

생육실험은 실험구에 정식후 2개월이 경과한 생육이 왕성한 시기인 2014년 7월에 초장을 식물 하단에서 정단부까지 자를 이용하였다. 실험종료 후 생존율과 지상부 생체중과 건물중, 지하부 생체중과 건물중을 조사하였다. 생존율은 각 처리구별 육안으로 측정 후 생존수/전체수×100으로 계상하였다. 생체중과 건물중은 각각 지상부와 지하부로 나누어 잰 뒤, 70℃의 드라이오븐(C-DF, Changshin Sci Co, Korea)에서 48시간 건조한 후 측정하였다.

2.2.3. 분석

본 연구의 통계분석은 수집된 데이터를 PASW statistics 18(SPSS Inc., USA) 프로그램을 이용하여 Duncan 다중검정($p < 0.05$)으로 각 처리 간 유의성을 검증하였으며, 이를 SigmaPlot 12.3(Systat software, Inc., San Jose, CA, USA)을 통해 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양중량수분함량

실험기간 중 피복재 처리에 따른 토양중량수분함량의 변화는 Fig. 1과 같다. 다른 처리에 비하여 다겹보온덮개에서 측정기간 동안 지속적으로 높은 함량을 보였으며, 대조구, 부직포, 차광막 순으로 낮았다. 다겹보온덮개는 태양열에 강하고 내구성이 강한 화학섬유 원료를 사용하여 단섬유 부직포를 두껍게 제조한 것으로(Kwon et al., 2001), 수명이 길고 수분유지와 토사유출방지 효과가 있다. 또한 배수성이 탁월하여 부패성이 없다(Uhm et al., 2014). 이러한 다겹보온덮개의 특성이 차광막재 보다 자체 흡수량이 많고 수분방출량 또한 서서히 감소되는 수분보유력이 있는 것으로 생각되며(Ju et al., 2015), 벽면녹화 식재 지반 내 수분보유량을 높이는데 효과적으로 활용될 수 있음을 보여주고 있다.

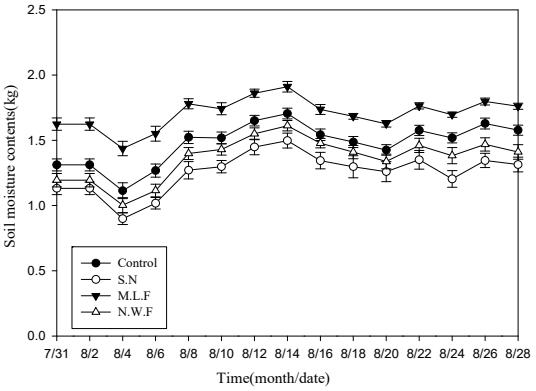

Fig. 1. Changes in gravimetric water content in the vertical farming affected by different cover materials. Vertical bars give the standard error (SE) of the mean. Control; sphagnum moss, S.N.; shading net, M.L.F.; multi-layered fabric, N.W.F.; non-woven fabric.

3.2. 식물생육

3.2.1.생존율

한련화(*T. majus*)의 생존율을 살펴본 결과, 다겹보온덮개 > 수태 > 부직포 > 차광막 순으로 다겹보온덮개가 73.3%로 가장 높은 값을 보였으며, 대조구 59.86%, 부직포 53.28%로, 모두 50%이상의 생존율을 보였다(Fig. 2). 반면 차광막에서는 26.6%의 가장 낮은 수치를 보였는데 이는 식재지반 내 토양수분이 가장 낮아(Fig. 1), 생존율이 감소한 것으로 해석된다. 한련화의 최종 생육사진을 비교해보면 다겹보온덮개에서 가장 양호한 상태임을 알 수 있으나 나머지 피복재별 처리구간 차이는 육안으로 뚜렷한 차이를 발견하지 못하였다(Fig. 3).

저관리 벽면녹화에서 피복재에 따른 딸기의 생존율에 있어서 다겹보온덮개에서 59.9%로 높은 값을 보인 반면부직포에서 13.3%의 낮은 생존율을 보였다(Fig. 4). 또한 대조구는 26.6%, 차광막에서는 19.9%로 다겹보온덮개를 제외한 나머지 처리구에서는 30% 이하로 낮은 생존율을 확인 할 수 있었다. 딸기의 최종

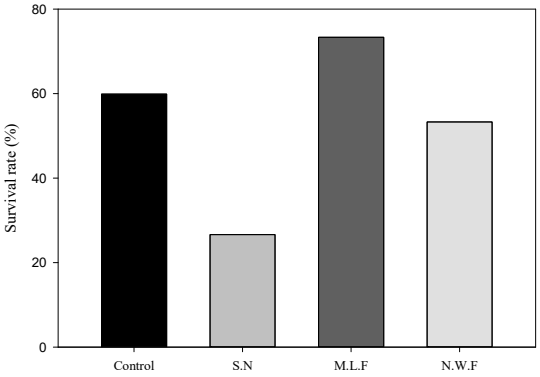

Fig. 2. Survival rate of the *Tropaeolum majus* in response to cover material type of hanging basket in vertical farming. Control; sphagnum moss, S.N.; shading net, M.L.F.; multi-layered fabric, N.W.F.; non-woven fabric.

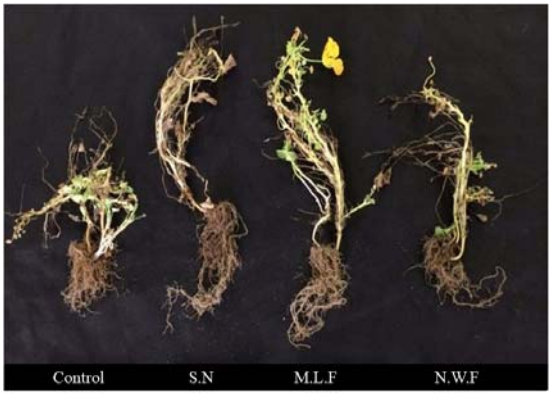

Fig. 3. Growth of *Tropaeolum majus* in response to cover material type of hanging basket in vertical farming. Control; sphagnum moss, S.N.; shading net, M.L.F.; multi-layered fabric, N.W.F.; non-woven fabric.

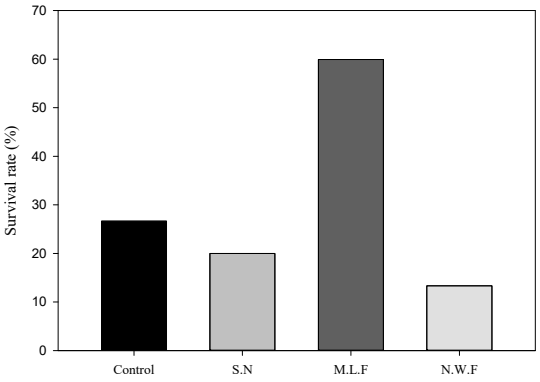

Fig. 4. Survival rate of the *Fragaria* spp. in response to cover material type of hanging basket in vertical farming. Control; sphagnum moss, S.N.; shading net, M.L.F.; multi-layered fabric, N.W.F.; non-woven fabric.

Fig. 5. Growth of *Fragaria* spp. in response to cover material type of hanging basket in vertical farming. Control; sphagnum moss, S.N.; shading net, M.L.F.; multi-layered fabric, N.W.F.; non-woven fabric.

생육사진을 비교해 보면 다겹보온덮개에서 생육상태가 가장 우수하나 나머지 처리구간의 차이는 뚜렷하지 않았다(Fig. 5).

3.2.2.초장

한련화의 초장은 다겹보온덮개가 28.4 cm로 가장 길었으나 대조구에서도 27.9 cm로 비슷한 수치를 보여 뚜렷한 경향을 찾기 어려웠다. 반면, 차광막에서는 13.3 cm으로 가장 저조한 생육상태를 보였다. 딸기의 초장에서는 처리구별 유의적인 차이는 나타나지 않았지만, 다겹보온덮개에서 21.1 cm로 가장 높았고 대조구 20.3 cm, 부직포 20.3 cm으로 비슷한 수치를 보였다. 반면 차광막에서는 19.8 cm로 가장 낮은 생육상태를 보였다(Table 1). 이는 다겹보온덮개에서 토양중량수분함량이 높고 차광막에서 가장 낮았던 결과와 유사하였다. 생육적기에는 식물의 증산작용으로 인하여 토양수분의 소모량이 많아지는데 다겹보온덮개가 식

Table 1. Plant height of the *Tropaeolum majus* and *Fragaria* spp. in response to cover material type of hanging basket in vertical farming

Species	Cover materials	Plant height (cm)
T. majus	Control[y]	27.9 a[z]
	S.N.	13.3 b
	M.L.F.	28.4 ab
	N.W.F.	23.8 ab
Fragaria spp.	Control	20.3 a
	S.N.	19.8 a
	M.L.F.	21.1 a
	N.W.F.	20.3 a

[z]Means followed by different letters indicate significant differences using Duncan's multiple range test at 5% level.
[y]Control; sphagnum moss, S.N.; shading net, M.L.F.; multi-layered fabric, N.W.F.; non-woven fabric.

재지반의 토양중량수분함량을 높여(Choi et al., 2007), 한련화와 딸기 모두 초장발달에 영향을 준 것으로 본다. 따라서 다겹보온덮개가 대조구, 부직포, 차광막에 비해 수직녹화 식재지반 내 수분보유량을 높일 뿐 아니라 식용식물 생육에도 긍적적인 영향을 줄 수 있음을 보여주고 있다. 이 외에도 다겹보온덮개는 발아, 생육촉진, 저온방지 및 병해충 예방 등에 의한 생육촉진의 효과가 있는 것으로 알려져 있다(Uhm et al., 2014).

3.2.3. 생체중과 건물중

피복재별 한련화의 지상부 생체중은 다겹보온덮개> 차광막> 부직포> 대조구 순으로 나타났다. 다겹보온덮개에서 5.7 g으로 가장 높은 반면, 대조구에서 4.6 g으로 가장 낮았다. 지상부 건물중에서도 다겹보온덮개> 차광막> 대조구> 부직포 순으로, 다겹보온덮개에서 가장 높은 값을 나타냈으며 무게는 3.0 g으로 측정되었다. 제일 낮은 수치를 나타낸 처리구는 부직포였으며 1.8 g이었다. 한편, 지하부 생체중의 경우 차광막> 다겹보온덮개> 부직포> 대조군 순으로 나타났다.

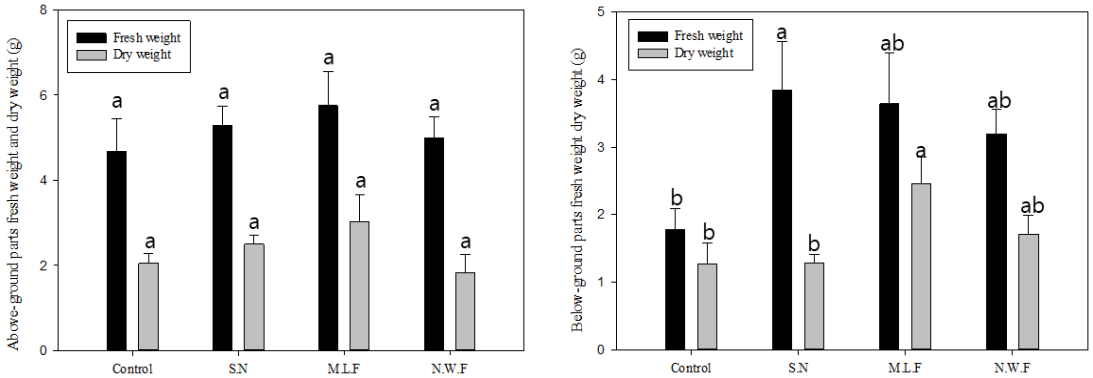

Fig. 6. Effect of cover materials of vertical farming on the fresh weight and dry weight of *Tropaeolum majus* Each value in the figure is the mean and the vertical bars give the standard error (SE) of the mean Least significance difference (LSD) test was used to evaluate the significance of difference between the treatments at $p < 0.05$ (n=20). Bars with the same letters within each graph are not significant. Control; sphagnum moss, S.N.; shading net, M.L.F.; multi-layered fabric, N.W.F.; non-woven fabric.

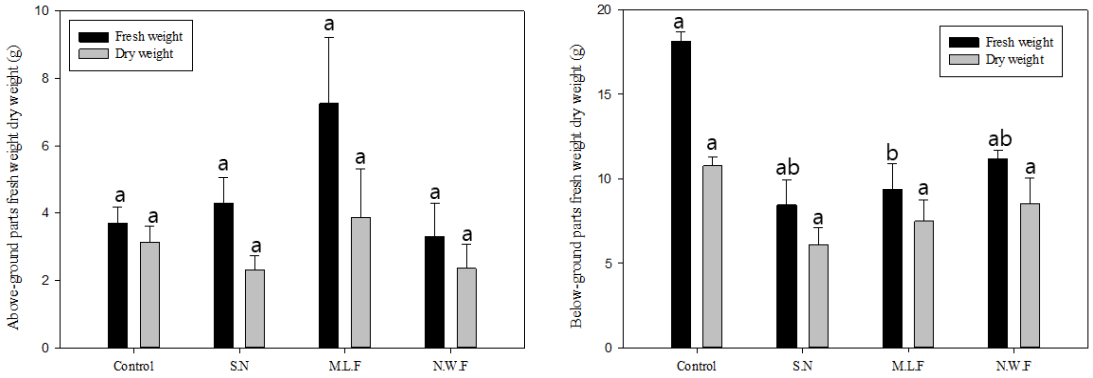

Fig. 7. Effect of cover materials of vertical farming on the fresh weight and dry weight of *Fragaria* spp. Each value in the figure is the mean and the vertical bars give the standard error (SE) of the mean Least significance difference (LSD) test was used to evaluate the significance of difference between the treatments at $p < 0.05$ ($n = 20$). Bars with the same letters within each graph are not significant. Control; sphagnum moss, S.N.; shading net, M.L.F.; multi-layered fabric, N.W.F.; non-woven fabric.

대조구 1.8 g에 비해 모든 피복구에서 높은 것으로 조사되었고 특히 차광막에서 3.8 g으로 가장 높은 값을 보였다. 한련화의 지하부 건물중은 다겹보온덮개에서 2.5 g으로 가장 큰 무게를 보였고 대조구와 차광막에서는 각각 1.2, 1.2 g 으로 낮은 값을 보였다. 따라서 지상부와 지하부 모두 대체적으로 다겹보온덮개에서 높은 값을 보여주고 있어 도시 내 식물의 현존량(Biomass) 확보에도 긍정적인 영향을 줄 것으로 본다(Hong et al., 2001).

딸기의 지상부 생체중을 조사한 결과, 다겹보온덮개> 차광막> 대조구> 부직포 순으로 나타났으며 유의적 차이는 크지 않았다. 또한 다겹보온덮개에서 7.3 g으로 높은 값을 보인 반면 부직포에서 3.3 g으로 가장 낮았다. 지상부의 건물중 또한 통계적 유의성은 없으나 다겹보온덮개가 3.8 g으로 가장 우수하였고 부직포와 차광막은 2.3 g으로 동일한 값을 보였다. 한편 지하부 생체중은 대조구> 부직포> 다겹보온덮개> 차광막 순으로, 차광막 8.4 g보다 대조구에서 18.1 g으로 두 배 이상 차이를 보였다. 건물중 또한 대조구에서 10.8 g으로 가장 높게 나타났으며, 부직포> 다겹보온덮개> 차광막 순으로 나타났다(Fig. 7). 이러한 결과는 대조구 피복재인 수태가 보수성 및 통기성이 우수해 딸기의 뿌리 발달에는 긍정적 효과를 준 것으로 해석된다.

4. 결 론

본 연구는 용기형 수직녹화에서 피복재에 따른 식재지반 내 토양수분과 식용식물인 한련화와 딸기의 생육에 미치는 영향을 살펴봄으로써, 도시농업을 위한 저관리 벽면녹화에 효과적인 피복재의 효용성을 분석하고자 하였다. 용기형 벽면녹화의 식재지반 조성은 피복재에 따라 대조구, 차광막, 다겹보온덮개, 부직포로 조성하여 2014년 5월부터 9월 까지 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

식재지반 내 토양중량수분함량은 다겹보온덮개> 대조구> 부직포> 차광막 순으로 나타났으며 수분방출량 또한 다겹보온덮개가 차광막재에 비해 서서히 감소되었다. 한련화의 생존율은 다겹보온덮개에서 가장 우수한 것으로 보아 식물의 생장에 긍정적 영향을 미치는 것으로 나타났다. 초장은 다겹보온덮개> 대조구> 부직포> 차광막 순으로 토양 중량수분함량의 결과와 유사하였다. 딸기의 생존율은 다겹보온덮개에서 가장 높았으며 초장은 다겹보온덮개> 대조구> 부직포> 차광막 순으로 나타났다. 한련화와 딸기 모두 생체중 건물중 측정값의 경우 처리구별 뚜렷한 차이가 확인되지는 않았지만 다겹보온덮개에서 가장 양호

하였다.

따라서, 도시농업을 위한 저관리 벽면녹화 용기형 피복재료는 다겹보온덮개가 가장 효율적인 피복재로 활용될 수 있을 것으로 판단되며 추후 생산성 확보측면에서 지속적인 생육 및 생리에 관한 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 본다.

REFERENCES

Besthorn, F. H., 2013, Vertical farming: social work and sustainable urban agriculture in an age of global food crises, Australian Social Work, 66, 187-203.

Choi, Y. J., Chun, H., Choi, Y. H., Yum, S. H., 2007, Nutritional components content of oriental melon fruits cultivated under different greenhouse covering non-woven fabrics, Journal of Bio-Environment Control, 16, 72-77.

Christenhusz, M. J. M., 2012, Tropaeolum majus, Curtis's Botanical Magazine, 29(4), 331-340.

Dionysios, T., Ian, D., Martin, M., 2016, Vertical farming increases lettuce yield per unit area compared to conventional horizontal hydroponics, Food and Energy Security, 5, 184-191.

Garg, A., Balodi, R., 2014, Recent trends in agriculture: vertical farming and organic farming, Advances in Plants and Agriculture Research, 1, 1-4.

Hong, S. J., Kim, H. K., Park, S. W., 2001, Effect of mulching materials on growth and flowering of oriental hybrids lilies in alpine area, Kor J. Hort. Sci. & Technol, 4, 585-590.

Ju, J. H., Kim, H. R., Kim, W. T., Choi, E. Y., Yoon, Y. H., 2015, Plant growth assessment of flowering shrub species in a vertical greenery system with different cover materials and substrates for low maintenance, J. People Plants Environ, 5, 371-378.

Ju, J. H., Lee, S. Y., Yoon, Y. H., 2013, Effect of organic soil conditioner ratio on the soil moisture content and growth of *Cotoneater horizontalis* in the container type for wall-planting under non-irrigation, Journal of Environmental Science International, 22, 17-23.

Kim, I. J., Kim, M. J., Nam, S. Y., Lee, C. H., Kim, H. S., 2003, Effects of mulching materials on growth, yield and weed occurrence of *Polygonatum sibiricum* REDOUT, Kor. J Weed. Sci, 23, 34-39.

Kwon, J. K., Choi, Y. H., Park, D. K., Lee, J. H., Um, Y. C., Park, J. C., 2001, Optical and physical properties of covering materials for plastic greenhouse, Protected Horticulture and Plant Factory, 10(3), 141-147.

Lee, J. A, You, E. H., Kim, K. J., Kwon, H. J., Song, J. S., 2011, Effect of storage non-woven fabrics type on quality maintenance in edible flower, Flower Res. J., 19(4), 212－218.

Marcia, S. P, Franco,M. L., Marcia, I. G., 2008, Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (Fragaria x ananassa Duch.), Food Chemistry, 107, 1629-1635

Pérez, G., Rincón, L., Vila, A., González, J. M., Cabeza, L. F., 2011, Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings, Applied Energy, 88, 4854-4859.

Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U. B., Sawicka, M., Werner, A., Thomaier, S., Henckel, D., Walk, H., Dierich, A., 2014, Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings, Agric. Hum. Values, 31, 33-51.

Uhm, M. J., Kwon, S. W., Song, Y. J., 2014, Influences of tunnel covering materials and seeding dates on the growth and productivity of water spinach (*Ipomoea aquatic* F.) under unheated greenhouse, Protected Horticulture and Plant Factory, 23, 349-355.

Vachon, C., D'Aprano, G., Lacroix, M., Letendre, M., 2003, Effect of edible coating process and irradiation treatment of strawberry fragaria spp. on storage -keeping quality, Journal of Food Science, 68(2), 608-611.

Whittinghill, L. J., Rowe, D. B., 2011, The role of green roof technology in urban agriculture, Renewable Agriculture and Food Systems, 27(4), 314-322.