

고흡수성 폴리머와 나노셀룰로오스 배합비에 따른 스파티필럼의 생육 반응

최재혁¹, 박봉주²

접수일(2020년 9월 28일), 수정일(2020년 10월 21일), 채택일(2020년 10월 23일)

Growth Response of *Spathiphyllum* spp in accordance Super Absorbent Polymer and Cellulose Nanofiber Mixing Ratio

Jaehyuck Choi¹, Bong-Ju Park²

Received September 28, 2020; Received in revised form October 21, 2020; Accepted October 23, 2020

ABSTRACT

This study was conducted to investigate the value of Cellulose Nanofiber (CNF) as replacement material of Super Absorbent Polymer (SAP). When the mixing ratio of SAP and CNF was 2%, the green coverage rate, chlorophyll fluorescence was the best, and Leaf water contents were the highest, and electrolyte leakage was the lowest, showing relatively high growth response. *Spathiphyllum* had the longest life and maintained a good growth condition with CNF 2% mixing ratio comparing with others under water stress. In addition, the water stress caused by the moisture content is relatively low, so the chlorophyll fluorescence and Leaf water contents were high, and electrolyte leakage is low. As a result, the use of CNF as a high-absorbent polymer substitute is well worth in urban environments, which can be used as a functional material to save maintenance costs and respond to climate change such as drought.

Keywords: *Spathiphyllum* spp, cellulose nanofiber, super absorbent polymer, environmental friendly material

1 배재대학교 문화예술대학 조경학과(Department of Landscape Architecture, Culture and Arts College, Paichai University), 교수

2 충북대학교 농업생명환경대학 원예과학과(Department of Horticultural Science, College of Agriculture, Life & Environment Sciences, Chungbuk National University), 교수

† 교신저자(Corresponding author): E-mail: bjpak@cbnu.ac.kr (Address: Department of Horticultural Science, Chungbuk National University, Cheongju Chungbuk 28644, Republic of Korea)

1. 서론

4차 산업혁명으로 인해 많은 산업분야들이 새로운 도전에 직면하고 있다.¹⁾ 친환경재료 물질에 대한 연구는 정보 통신 기술 등과 같이 우리 인간이 살아가는 데 꼭 필요한 실내·외 환경에 적용되어야 하는 중요한 분야로서 특히 건축·조경 분야에서 중요하게 고려되어야 하는 핵심 분야 중 하나이다.²⁾ 3차 산업혁명으로 현재의 인류가 누리고 있는 많은 이득들의 부정적 영향으로 현재 인류는 화석 연료의 감소와 이산화탄소 배출에 의한 지구온난화 현상과 기후변화로 인해 큰 위협에 직면하고 있다. 따라서 친환경 재료는 산업계 및 학계에서 주요한 현안으로 대두되고 있다.³⁾

최근 환경 친화적인 대체소재에 대한 요구에 대응하기 위해 친환경 대체 물질들을 개발하는 것은 산업계뿐만 아니라 학계를 비롯한 전 분야에서 폭넓게 다루고 있는 주제이다. 이 중 나노셀룰로오스는 친환경 물질로 적합한 소재로서 자연계에서 쉽게 접할 수 있는 천연자원이며 환경 친화적인 소재로 다양한 분야에서 잠재력이 있는 소재로^{4,5)} 천연재료이면서 오염발생을 방지할 수 있어 친환경적일 뿐만 아니라 생분해성 및 효율성 면에서도 장점이 있으며 경제성이 우수하다.⁶⁾ 또한 유해중금속을 흡착시킬수있고⁷⁾ 셀룰로오스를 기반으로 하여 나노영역의 입자를 이용한 코팅을 통해 나노셀룰로오스 복합재료를 제조하여 다양한 분야에서 응용가능성이 높다.⁸⁾

하지만, 이러한 장점을 가지고 있는 나노셀룰로오스 기술을 이용하거나 나노셀룰로오스 기술을 적용한 재료들을 개발하여 이를 문제 해결에 적용한 조경·원예 분야의 연구결과는 많지 않은 상황이다. 새로운 기술을 적용한 소재에 대한 수요는 계속 증가하고 있으나 폭넓은 연구 결과가 도출되고 있지 않은 이유로, 현재에도 수분 흡수 및 조절재료로 조경·원예 분야에서 가장 많이 사용되는 물질은 1950년에 처음 개발된 고흡수성 폴리머(Super Absorbent Polymer, SAP)로 자체 중량의 수백 배에 해당하는 수분을 흡수할 수 있는 고분자재료이다.⁹⁾ 고흡수성 폴리머는 빠른 속도로 물을 흡수하는 능력 외에 물을 함유하는 보습성이 우수하여 건조한 지역과 경사로에 농사가 가능하게 도우며, 식물이 습도 변화의 스트레스를 피할 수 있게 한다.^{10,11)} 보고된 연구에 따르면 고흡수성 폴리머는 미생물 분해 또는 태양으로 인해 5~12년 후에 점차적으로 파괴되고 물, 이산화탄소

및 암모늄으로 변해 환경과 인간에게 피해를 주지 않는다.¹²⁾ 또한 기질의 팽윤에 따라 토양 공극이 확장되고 통기성이 좋아짐에 따라 식물의 활착과 성장을 촉진하며,^{13,14)} 토양용적수분함량을 증가시키고 토양 표면에서의 증발산량을 감소시키는 역할을 한다.¹⁵⁻¹⁷⁾ 특히 조경·원예 분야에서는 수분흡수력이 뛰어나며 흡수상태를 유지하는 능력 또한 탁월해¹⁸⁾ 관수 횟수를 줄일 수 있어 고흡수성 폴리머를 상토에 섞어 실내·외 공간에 광범위하게 이용하고 있다. 하지만 생분해 기간이 나노셀룰로오스에 비해 길고 토양에 장기간 썩혀 있는 상황에서 환경에 어떤 영향을 미치는지에 대한 비교 연구결과는 조경·원예 분야에서 아주 드문 상황으로 고흡수성 폴리머는 토양 보수제 역할인 토양의 보수성 및 통기성을 증가시키고 관수 횟수를 감소시키는 방법에 초점을 맞춘 연구가 주로 수행되어 왔다. 따라서 이러한 많은 장점을 가지고 꾸준히 이용되고 있는 고흡수성 폴리머보다 더 많은 장점을 가지고 있는 나노셀룰로오스의 조경·원예 분야의 친환경 재료 물질로 대체하여 사용가능한지 알아보기 위해 본 연구를 수행하였으며, 실내 환경 개선의 방법으로 실내조경과 원예 분야에 적용하기 적합한 저관리형 식물 중 스파티필럼(*Spathiphyllum* spp.)을 실험 대상 식물로 선정하여 실험을 수행하였다. 스파티필럼은 크기에 비해 증산작용이 뛰어나 건조해진 실내의 습도를 높이며 벤젠, 아세톤, 트리클로로에틸렌, 포름알데히드 등의 공기오염물질 제거에 매우 뛰어나¹⁹⁾ 가장 인기 있는 식물의 하나로써 소비가 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 본 연구는 고흡수성 폴리머와 나노셀룰로오스를 원예용 상토에 배합하였을 때 배합비별 수분 스트레스 처리 시 스파티필럼의 생육 반응 및 토양 수분함량에 미치는 영향을 비교 조사하기 위해 실시하였으며, 이를 통해 나노셀룰로오스의 친환경 물질로서의 가치를 증명하여 새로운 물질의 이용을 통한 환경개선 효과와 더불어 식물 생육에 도움을 줄 수 있는지를 알아보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

실험에 사용하기 위해 스파티필럼을 충북대학교 첨단 바이오 연구센터 515호에서 균일한 모종을 구비하여 원

형 플라스틱 포트에 350 g의 상토(Doobaena Gold, Nongkyung co., Korea)를 채운 후 이식하였다. 이식 후 4주간 4일 주기로 관수 처리를 해주었고, 8일 주기로 잡초를 제거해주었다. 나노셀룰로오스 제조를 위한 전처리로 카르복시메틸화 처리를 실시하였다. 표백 펄프 100 g을 수산화나트륨 20 g이 용해된 에탄올 1,500 ml에 해리한 후 실온에서 1시간 방치한 뒤 클로로아세트산 20 g이 용해된 에탄올 500 ml를 섞어 90°C에서 2시간 동안 처리하였다. 처리가 끝난 펄프는 세척하여 CNF 제조에 사용하였다. 카르복시메틸화 처리된 표백펄프에 증류수를 가하여 2%(w/w)로 희석 후 고압균질기를 처리하여 CNF를 제조하였다. 사용된 고압균질기(PANDA PLUS, GEA, Germany)의 압력은 600 bar로 조정하였으며 총 5회 통과시켜 CNF를 제조하였다. 제조된 CNF를 80°C에서 6시간 동안 열풍순환식건조기(HB-502M, Hanbaek Science, Korea)에서 건조시킨 후 믹서로 갈아 2 mm 표준체로 걸러 사용하였다.

2.2 실험방법

2.2.1 실험구 조성

실험구는 대조구와 고흡수성 폴리머와 나노셀룰로오스를 각각 0.5%, 1%, 2% (w/w) 배합비로 혼합하여 5반복하고 직경 18 cm×높이 18 cm의 플라스틱 포트 20개에 정식하여 비슷한 광도 아래에 배치하였다. 시험 토양은 원예용 상토를 이용하였으며 아무 처리를 하지 않은 토양을 대조구로 사용하였다. 식물은 수체생장량이 가장 뚜렷한 식물체를 선별하여 각 실험구에 이식하였다. 24시간 동안 포화수분으로 관수 처리를 해주었으며, 그 후 39일 동안 무관수 상태로 작물의 생육 정도를 측정하였다. 실험기간 내 실내의 기상환경 측정을 위하여 휴대용 습도계(SK-L200TH, SATO, Japan)을 이용하여 실험기간 내 온·습도를 측정하였고, 실내 주야간 평균온도 29.0°C, 상대습도 40.0%를 유지하였다.

2.2.2 생육측정

식물 생육 측정은 나노셀룰로오스가 식물 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 식물체의 초장, 엽장, 엽폭, 생장량과 녹피율, 엽록소 함량, 엽록소형광, 상대수분함량, 그리고 전해질 유출을 7일마다 조사하였으며, 최종 측정에서 생체중과 건물중을 조사하였다. 토양 환경 측정은 토양용적수분함량과 증발산량을 측정하였다. 초장,

엽장, 엽폭 생장량은 자를 이용하여 길이를 측정하였으며, 수고는 지표면을 기준으로 식물의 선단까지의 길이를 측정하였다. 엽장과 엽폭은 가장 높은 잎에서 3번째 잎을 측정하였고, 녹피율은 디지털카메라를 이용하여 대조구와 나노셀룰로오스 배합비별 실험구를 순차적으로 세운 후 촬영을 하였다.

엽록소형광은 환경스트레스에 따른 식물 반응을 알 수 있는 비파괴 검사로, 휴대용 엽록소형광 측정기(OS-30P+, Opti-Science, USA)를 이용하여 조사하였으며 측정 잎은 30분 동안 암적응 후 측정하였다. 엽수분함량은 잎 샘플을 이용하여 측정하였다. 임의로 선정된 잎을 식물의 하부에서 절단 후 신선한 잎의 무게(FW)를 측정하였다. 건조된 잎의 무게(DW)는 70°C에서 72시간 동안 열풍순환식건조기(HB-502M, Hanbaek Science, Korea)를 이용하여 건조시킨 후 측정하였다.

전해질 유출은 스트레스에 의한 세포막 손상으로 인해 생기며²⁰⁾ 막 투과성을 평가하기 위해²¹⁾ 조사하였다. 전해질 유출은 식물을 중간 부분에서 완전히 발달한 잎을 0.2 g 추출하여 측정하였다. 잎의 표면을 증류수로 세척 후 5 cm 씩 절단하여 30 ml 시험관에 넣은 후 15 ml의 증류수를 채워 샘플을 배양 한 후 24시간 동안 실온에서 교반시킨 후 입욕액(L1)의 전기전도도(EC)를 휴대용전도도계(HI-8633, HANNA Instruments, Italy)를 사용해서 전도도를 측정한 후 120°C에서 120분 동안 가열한 후 용액을 실온에 식힌 후 판독 값(L2)을 측정하였다. 전해질 유출은 다음 식을 이용하여 계산하였다(Eq. 1).

$$EL(\%) = \frac{L1}{L2} \times 100(\%) \quad [1]$$

토양용적수분함량 측정은 토양 수분함량과 수분 증발산량에 미치는 영향을 알아보기 위해 토양 용적수분과 증발산량을 조사하였다. 토양수분센서는 토양수분/온도 센서(5TM Soil Moisture and Temperature, Decagon Devices Inc, USA)를 사용하였고 측정되는 데이터는 매일 1시간마다 자동으로 토양수분계 데이터 로거(EM50, Decagon Devices Inc, USA)를 통해 수집되었다. 증발산량은 처음 형성된 대조구와 실험구를 저면 관수로 수분을 공급하여 1일간 포화시킨 후 습윤 상태의 무게를 측정하였다. 그 후 무관수 상태에서 배수된 실험구의 무게를 7일마다 측정하였다. 측정된 무게는 실험 첫날을 기준

으로 감소된 무게의 양을 백분율로 계산하였다. 통계분석은 SAS(Statistical Analysis System, V. 9.3, Cary, NC, USA)를 이용하여 $P < 0.05$ 수준에서 DMRT(Duncan's multiple range test)로 유의성을 검정하였다.

3. 결과 및 고찰

혼합 비율에 따른 녹피율은 Fig. 1과 같았으며 14일까지는 육안상 차이가 없었으나 28일째에 급격히 감소하였다. SAP 0.5%와 SAP 1%는 28일째에 가장 급격하게 줄어드는 것으로 나타났고, 대조군과 CNF 0.5% CNF 1%는 28일째에 가장 급격한 변화가 나타났으며 35일째에 고사하였다. 대체적으로 14일 이후로 녹피율이 대부분의 실험구에서 낮아지다가 28일째에 급격히 감소하였으며 CNF 2%만 녹피율의 감소와 고사가 가장 느렸으며, 35일째 유일하게 고사하지 않았다.

초장은 실험이 진행됨에 따라 낮아지는 경향을 보였으며, 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 실험 초

기와 고사 직전을 비교했을 때 SAP 2%와 CNF 2%가 가장 높은 것이 확인되었다. 엽장은 7일째에서 SAP 2%와 CNF 2%가 가장 높았으나 통계적으로는 유의적 차이가 없었으며 실험이 진행됨에 따라 낮아지는 경향을 보였고 엽폭과 엽장도 비슷한 결과가 도출되었다. 본 연구의 실험 결과와 같이 무관수 시 식물 높이, 잎 면적, 녹피율은 지속적으로 감소하다가 고사하게 되는데 이는 수분 스트레스가 식물의 생장에 영향을 미친다는 연구²²⁾와 일치하는 결과이며 이번 실험에서는 전체 배합비 중 CNF 2%가 이러한 수분 스트레스를 줄여 식물생장에 도움을 줄 수 있는 가능성이 가장 높은 것으로 판단된다.

엽록소 함량은 고흡수성 폴리머를 혼합한 경우 SAP 2% 21일차 측정을 제외하고 가장 높았으며, 나노셀룰로오스를 혼합한 경우는 7일차에서는 CNF 2%가 가장 높았으나, 14일과 35일 측정에서는 CNF 1%가 가장 높았고, 21일과 28일 측정에서는 CNF 0.5%가 가장 높을 것으로 나타났다. 이는 수분 스트레스로 인해 유의한 차이를 나타내지 않았던 것으로 판단된다(Table 1).

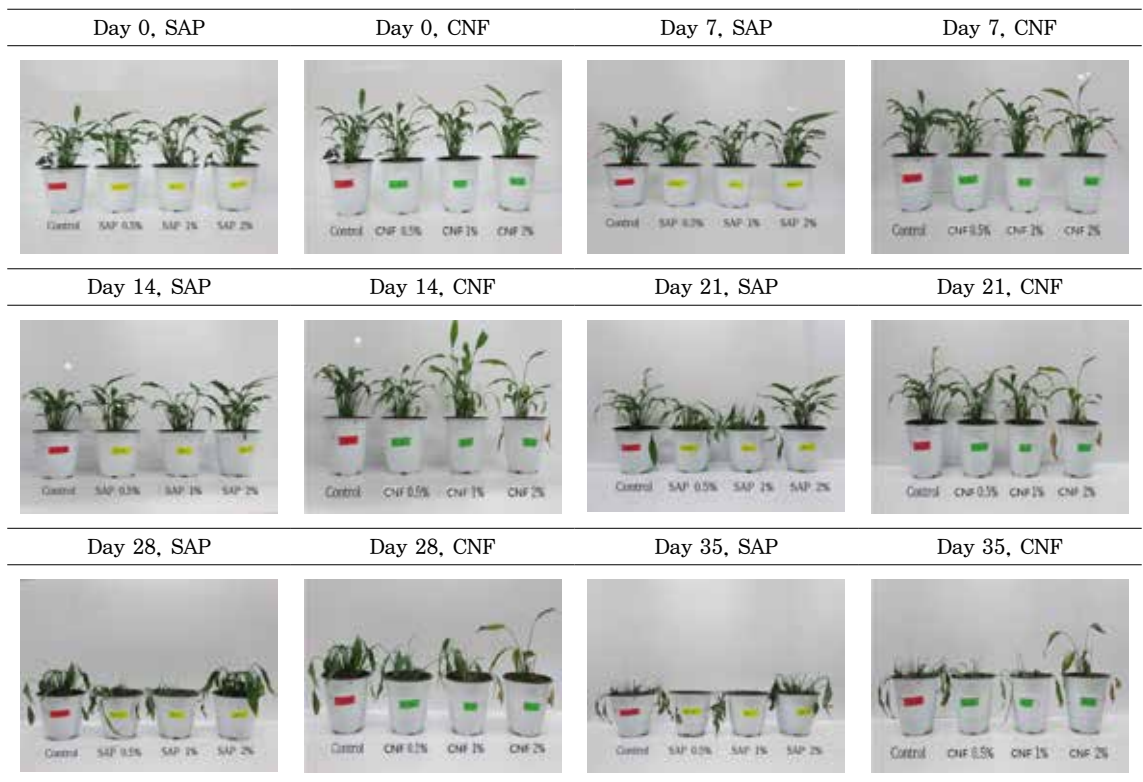


Fig. 1. Changes of ratio of green coverage.

고흡수성 폴리머와 나노셀룰로오스의 배합비에 따른 스파티필름의 엽록소형광은 Table 2와 같았다. 대부분 식물에서 건강한 잎의 경우 Fv/Fm값이 보통 0.83 정도²³⁾인데 이번 실험에서 엽록소형광은 실험 초기인 7 일째부터 Fv/Fm값이 0.83보다 낮은 0.749에서 0.778 사이로 나타났으며, 28일까지 유의한 차이를 보이지 않다가 35일 측정치에서 SAP 2%, CNF 1%, CNF 2%를 제외한 모든 실험구에서 급감하는 경향을 나타냈다. SAP 2% 와 CNF 2% 배합 시에는 상대적으로 식물이

수분 스트레스에 대한 영향을 덜 받는 것으로 보인다 (Table 2).

전해질 유출은 실험 초기에는 큰 차이가 나타나지 않았으나 SAP 2%는 초창기부터 아주 조금씩 높아지다가 35 일째 상승하였고 CNF 2%는 7일보다 14, 15일 오히려 낮아졌고, 35일째 상승하였다. CNF 배합에서는 엽록 소형광 측정 때와 같이 배합비율이 높아질수록 더 좋은 결과가 나타났다. 35일째 수치를 보면 SAP 2%와 CNF 2%가 대조구보다 상당히 낮은 전해질 유출량이 나타내

Table 1. Change in chlorophyll content (SPAD value) based on three different mixing ratio

	Day 7		Day 14		Day 21		Day 28		Day 35	
Control	50.6	a ^z	47.7	b	51.9	b	51.5	b	48.5	a
SAP 0.5%	47.0	a	45.1	b	53.2	b	52.6	ab	50.8	a
SAP 1%	48.5	a	48.7	b	58.9	a	49.2	b	47.4	a
SAP 2%	52.8	a	54.4	b	51.8	b	55.7	a	59.7	a
Significance	NS		*		*		*		NS	
Control	50.6	a ^z	47.7	ab	51.9	a	51.5	a	48.5	a
CNF 0.5%	47.2	a	45.8	b	53.9	a	53.1	a	45.4	a
CNF 1%	48.4	a	51.0	a	53.2	a	47.5	a	51.7	a
CNF 2%	52.2	a	47.8	ab	48.8	a	47.4	a	43.0	a
Significance	NS		NS		NS		NS		NS	

z Means separation within columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.
NS, *, **, *** Non-significant or significant at p=0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

Table 2. Change in chlorophyll fluorescence (Fv/Fm value) based on three different mixing ratio

	Day 7		Day 14		Day 21		Day 28		Day 35	
Control	0.768	a ^z	0.775	a	0.780	ab	0.772	a	0.324	b
SAP 0.5%	0.776	a	0.792	a	0.772	ab	0.724	a	0.137	b
SAP 1%	0.773	a	0.781	a	0.790	a	0.755	b	0.118	b
SAP 2%	0.749	a	0.772	a	0.763	b	0.764	ab	0.746	b
Significance	NS		NS		*		*		**	
Control	0.768	a ^z	0.775	a	0.780	a	0.772	a	0.324	ab
CNF 0.5%	0.775	a	0.765	a	0.777	a	0.761	a	0.174	b
CNF 1%	0.778	a	0.758	a	0.763	a	0.771	a	0.552	ab
CNF 2%	0.774	a	0.756	a	0.737	b	0.754	a	0.729	a
Significance	NS		NS		**		NS		*	

z Means separation within columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.
NS, *, **, *** Non-significant or significant at p=0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

고 있는데(Table 3) 이는 스파티필름이 고사하기 직전에 전해질 유출량이 급증한 것으로 스트레스를 받으면 세포 내 활성산소종의 생성이 증가하는데²⁴⁾ 이로 인해 세포막 지질의 구조가 변화하거나 손상 및 투과성이 상실되어 전해질 유출이 증가하게 된다는²⁵⁾ 이전 연구와 같은 결과를 보여주고 있다고 할 수 있다. 따라서 CNF 2%의 경우 스파티필름의 수분흡수를 도와 세포벽의 성질이 유지되고 전해질 유출이 다른 실험구에 비해 낮아지도록 하여 35일째에도 고사하지 않은 것으로 판단

된다.

엽수분 함량의 경우 대조구 SAP 0.5%, SAP 1%는 21일부터 감소하였고 SAP 2%는 28일부터 감소하였다. SAP 0.2%, 1%와 비교하여 SAP 2%는 엽수분 함량이 줄어드는 시점이 7일 정도 늦춰졌으며 35일 후에도 SAP 0.5%, SAP 1%와 비교하여 엽수분 함량이 높게 유지되었다. 반면 CNF는 35일 후에도 SAP와 비교하여 CNF 0.5%, 1%, 2% 모두 높은 엽수분 함량을 나타내었다. CNF 1%는 SAP 2%와 엽수분 함량의 경향이 유사하였으며 CNF 2%는 35일

Table 3. Electrolyte leakage based on three different mixing ratio

	Day 7		Day 14		Day 21		Day 28		Day 35	
Control	5.41	a ^z	4.24	a	4.34	b	7.56	b	44.01	b
SAP 0.5%	5.13	a	4.50	a	6.00	ab	16.66	a	67.63	a
SAP 1%	5.49	a	5.88	a	7.82	a	11.86	ab	67.31	a
SAP 2%	4.04	a	4.39	a	4.58	b	5.67	b	16.52	c
Significance	NS		NS		NS		NS		***	
Control	5.41	a ^z	4.24	b	4.34	b	7.56	a	44.01	ab
CNF 0.5%	4.12	a	4.12	b	5.17	b	6.46	a	58.65	a
CNF 1%	4.63	a	6.95	a	10.39	a	8.44	a	42.18	ab
CNF 2%	5.33	a	4.28	b	4.32	b	7.34	a	15.28	b
Significance	NS		NS		*		NS		*	

z Means separation within columns by Duncan's multiple range test, p=0.05. NS, *, **, *** Non-significant or significant at p=0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

Table 4. Leaf water contents based on three different mixing ratio

	Day 7		Day 14		Day 21		Day 28		Day 35	
Control	93.5	a ^z	92.5	a	78.0	a	63.9	ab	38.2	ab
SAP 0.5%	90.6	a	91.3	a	79.5	a	53.9	b	20.1	bc
SAP 1%	88.5	a	87.0	a	75.2	a	50.5	b	14.3	c
SAP 2%	90.8	a	94.5	a	85.9	a	75.4	a	44.6	a
Significance	NS		NS		NS		*		*	
Control	93.5	a ^z	92.5	a	78.0	a	63.9	ab	38.2	b
CNF 0.5%	90.8	a	88.3	a	79.5	a	57.9	b	40.4	b
CNF 1%	85.8	b	94.3	a	81.5	a	72.6	a	51.0	ab
CNF 2%	95.3	a	85.3	a	60.9	a	64.4	ab	71.3	a
Significance	*		NS		NS		NS		*	

z Means separation within columns by Duncan's multiple range test, p=0.05. NS, *, **, *** Non-significant or significant at p=0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

후에도 초기 7일차의 약 75% 수분의 엽수분을 함유하고 있는 것으로 나타났다(Table 4).

초기의 토양용적수분함량은 SAP 배합비가 높을수록 높았으며 일정이 경과함에 따라 완만하게 감소하는 경향을 보였다. 실험 마지막 측정일인 35일에는 CNF 2%가 8.4로 측정된 모든 배합비 중에서 가장 높은 수분 함량을 보였다. 실험 21일까지는 증발산량이 높았으나 21일 이후로 낮아졌으며, 35일 이후에도 SAP와 CNF의 토양용적수분함량은 유사하였다(Table 5, 6).

4. 결론

1950년대에 개발되어 지금까지 폭넓게 이용되고 있는 고흡수성 폴리머는 확실히 여러 장점을 가지고 있다. 하지만 4차산업 시대에 접어들면서 새로운 친환경 재료 물질들에 대한 요구가 상승하고 있으며 안전하면서 더 많은 기능을 수행할 수 있는 새로운 소재들에 대한 연구는 지속적으로 이루어질 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 우수한 보습효과가 있는 것으로 알려진 나노셀룰로오

Table 5. Volumetric water content based on three different mixing ratio

	Day 0		Day 7		Day 14		Day 21		Day 28		Day 35	
Control	23.6	b ^z	19.3	b	13.1	a	9.2	a	6.7	a	4.3	a
SAP 0.5%	23.6	b	17.8	b	13.0	a	9.1	a	3.5	a	4.2	a
SAP 1%	29.5	a	20.8	b	10.4	a	5.4	a	3.5	a	1.3	a
SAP 2%	30.4	a	28.1	a	14.6	a	7.9	a	7.8	a	6.1	a
Significance	NS		NS		*		NS		*		NS	
Control	23.6	a ^z	19.3	a	13.1	ab	9.2	ab	6.7	ab	4.3	a
CNF 0.5%	26.1	a	17.7	a	13.6	ab	9.7	a	7.7	ab	4.6	a
CNF 1%	21.7	a	17.9	a	11.8	b	5.9	b	3.6	b	4.4	a
CNF 2%	26.4	a	20.8	a	14.7	a	10.3	a	8.4	a	8.4	a
Significance	NS		NS		NS		NS		NS		NS	

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.
NS, *, **, *** Non-significant or significant at p=0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

Table 6. Evapotranspiration based on three different mixing ratio

	Day 7		Day 14		Day 21		Day 28		Day 35	
Control	22.8	b ^z	25.3	b	22.9	ab	16.7	ab	12.4	bc
SAP 0.5%	25.7	ab	27.7	ab	21.6	ab	15.4	b	11.8	c
SAP 1%	29.7	a	29.5	a	21.1	b	16.7	ab	14.0	a
SAP 2%	22.4	b	27.9	ab	23.0	a	17.6	a	12.8	b
Significance	*		NS		NS		*		**	
Control	22.8	a ^z	25.3	a	22.9	ab	16.7	a	12.4	a
CNF 0.5%	22.9	a	24.7	a	22.3	ab	15.9	ab	12.9	a
CNF 1%	19.4	a	24.2	ab	24.2	a	15.8	ab	11.1	b
CNF 2%	22.2	a	21.1	b	21.1	b	14.5	b	12.0	a
Significance	NS		NS		NS		*		**	

^z Means separation within columns by Duncan's multiple range test, p=0.05.
NS, *, **, *** Non-significant or significant at p=0.05, 0.01, or 0.001, respectively.

스가 조경·원예용으로 식물 생장에 도움을 주면서 토양 보습제의 역할을 할 수 있는지 알아보기 위하여 기존에 폭넓게 사용되고 있는 고흡수성 폴리머와 비교 실험을 실시하였으며, 친환경물질로 환경에 영향을 주지 않으면서도 식물 생장에 도움을 주고 특히 도시의 실내·외 환경에서 조경·원예용으로 이용될 수 있는 나노셀룰로오스를 고흡수성 폴리머를 대체하여 이용가능하다는 것을 증명하고자 하였다.

실험 결과 고흡수성 폴리머와 나노셀룰로오스의 배합비가 2%일 때 녹피울, 엽록소 함량, 엽록소형광 및 상대수분 함량이 가장 높았으며 전해질 유출이 가장 낮아 생육 반응이 비교적 높게 나타났다. 나노셀룰로오스 2% 배합 시 수분 스트레스 하에서 녹피울과 생장이 가장 오래 유지되지만, 건물중이 낮은 걸로 보아 식물 체내의 수분 증발이 빠른 것을 알 수 있었다. 또한 수분함량에 따른 수분 스트레스는 상대적으로 적어 엽록소형광과 엽수분 함량이 높으며 전해질 유출이 적었다. 이에 따라 생육이 유지되면서 고사가 가장 늦은 것으로 판단된다. 이러한 결과로 볼 때 나노셀룰로오스를 고흡수성 폴리머 대체 물질로 사용하는 것이 도시환경에서 충분한 가치가 있으며 이를 통해 유지 관리 비용을 절약하고 가뭄과 같은 기후변화에 대응하기 위한 기능성 재료로 활용할 충분한 가치가 있다고 할 수 있다. 하지만 본 연구는 스파티필름을 이용하여 실험실에서 수행된 결과로 보다 많은 실험 결과를 바탕으로 조경·원예 시공 현장에 적용되기 위해서는 향후 외부환경에서의 추가 실험과 다양한 식물을 대상으로 한 실험이 이루어져야 할 것이다.

사 사

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2017R1A6A3A01076759).

Literature Cited

- Jang, S. I., Changes of Industrial Structure and Policy in the Fourth Industrial Revolution, *Kukto* 424:22-30 (2017).
- Lee, J. S., A Study on the Actual Condition of the Fourth Industrial Revolution and Application of Landscape Architecture, *Journal of the Korean Institute of Traditional Landscape Architecture* 37(1):68-75 (2019).
- An Y. J., Electrospinning of Lignocellulose and Its Characterization, Ph.D. dissertation, Konkuk Univ., Seoul (2013).
- Pääkkö, M. and Ankerfoes M., Enzymatic Hydrolysis Combined with Mechanical Shearing and High-Pressure Homogenization for Nanoscale Cellulose Fibrils and Strong Gels, *Biomacromolecules* 8(6): 1934-1941 (2007).
- Zhou C. and Wu Q., Recent development in application of Cellulose Nanocrystals for Advanced Polymer-based Nanocomposites by novel fabrication strategies, *Nanocrystals-synthesis, characterization and applications* 103-120 (2012).
- Jung J. H., Characteristics of Cellulose Nanofiber and Its High Efficient Productin Method, Master's Thesis, Kangwon National Univ., Chuncheon (2011).
- Kim E. J., Evaluation of Cadmium Adsorption Characteristics in Wastewater using Holocellulose Aerogel, Master's Thesis, Seoul Univ., Seoul (2014).
- Ko H. U., Kim J. H and Kim D. G., Fabrication of ZnO cellulose hybrid materials and characterizations, *Conference Proceedings of Spring 2011(Summer)*, Korean Society of Precision Engineering 6:1207-1208 (2011).
- Martin W. P., Status report on soil conditioning chemicals, I. *Soil Science Society of America Journal* 17(1): 1-9 (1953).
- Montazar A., Study the effect of stockosorb super absorption polymer on the flow advance time and infiltration parameters in furrow irrigation, *Journal of Soil and Water* 22(2):341-357 (2008).
- Sarvaš, M., Pavlenda, P., and Takáčová, E.,

- Effect of Hydrogel Application on Survival and Growth of Pine Grainling in Reclamations, *Journal of Forest Science* 53(5):204–209 (2007).
12. Poresmail P., Habibi D. and Roshan B., Super absorbent polymer a way for reducing agricultural water use, *Agricultural and Natural Resources Engineering Disciplinary Organization* 15:80–82 (2007).
 13. Taban M., and Movahedi Naeini S. A. R., Effect of aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation with different evaporation potentials and soil textures, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 37(13–14):2031–2055 (2006).
 14. Zeineldin F. I. and Aldakheel Y. Y., Hydrogel polymer effects on available water capacity and percolation of sandy soil at Al-Hassa, Annual Conference, Edmonton, Canada (2006).
 15. Akhter, J., Mahmood K., Malik K. A., Mardan A., Ahmad M. and Iqbal M. M., Effects of Hydrogel Amendment on Water Storage of Sandy Loam and Loam Soils and Grainling Growth of Barley, Wheat and Chickpea, *Plant Soil Environment* 50(10):463–469 (2004).
 16. El-Hady, O. A., and Wanas S. A., Water and Fertilizer Use Efficiency by Cucumber Grown under Stress on Sandy Soil Treated with Acrylamide Hydrogels, *Journal of Applied Sciences Research* 2(12): 1293–1297 (2006).
 17. Sivapalan S., Effect of a Polymer on Growth and Yiled of Soybeans (*Glycine Max*) Grown in a Coarse Textured Soil. *Irrigation 2001 Regional Conference*, Toowoomba, Queensland, Australia, pp. 93–99 (2001).
 18. Huttermann A., Orikiriza L. J., and Agaba H., Application of superabsorbent polymers for improving the ecological chemistry of degraded or polluted lands, *Clean-Soil, Air, Water* 37(7):517–526 (2009).
 19. Wolverton B. C., Interior landscape plants for indoor air pollution abatement, NASA Report 1–21 (1989).
 20. Dexter S. T., Tottingham W. E., and Graber L. F., Investigations on the hardiness of plants by measurement of electrical conductivity, *Plant Physiology* 7(1):63–78 (1932).
 21. Korkmaz A., Korkmaz Y., and Demirkiran A. R., Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedling by exogenous application of 5-aminolevulinic acid, *Environmental and Experimental Botany* 67(3):495–501 (2010).
 22. Tongo A., Mahabavi A., and Sayad E., Effect of Superabsorbent Polymer Aquasorb on Chlorophyll, Antioxidant Enzymes and Some Growth Characteristics of *Acacia Victoriae* Seedlings under Drought Stress, *Ecopersia* 2(2): 571–583 (2014).
 23. Choi Y. H., Kang J. S., Kwon J. K., Lee J. H., Kang N. J. and Cho M. W., Effect of night and daytime temperatures on growth and yield of paprika ‘Fiesta’ and ‘Jubilee’, *Journal of Bio-Environment Control* 13(4):226–232 (2004).
 24. Anderson M. D, Prasad T. K., and Stewart C. R., Changes in isozyme profiles of catalase, peroxidase, and glutathione reductase during acclimation to chilling in mesocotyls of maize seedlings, *Plant Physiology* 109(4):1247–1257 (1995).
 25. Bailly C., Benamar A., Corbineau F., and Dome D., Changes in malondialdehyde content and in superoxide dismutase, catalase and glutathione reductase activities in sunflower seed as related to deterioration during accelerated aging. *Physiologia Plantarum* 97(1):104–110 (1996).