

## 나노셀룰로오스 혼합토에서의 쑥부쟁이 생육 반응

최재혁<sup>1</sup>, 박봉주<sup>2†</sup>

접수일(2021년 8월 3일), 수정일(2021년 8월 16일), 채택일(2021년 8월 18일)

### Growth Responses of *Aster Yomena* Based on Cellulose Nanofiber Mixing Soils

Jaehyuck Choi<sup>1</sup>, Bong-Ju Park<sup>2†</sup>

Received August 3, 2021; Received in revised form August 16, 2021; Accepted August 18, 2021

#### ABSTRACT

This study was conducted to investigate the value of Cellulose Nanofiber (CNF) as a material of plants' growth during drought conditions. When the mixing ratio of CNF was 5%, results showed that the growth responses photosynthetic rate, osmotic potential (MPa), chlorophyll contents were the best, and relative water contents and volumetric water contents were the highest. In addition, electrolyte leakage was the lowest, showing a relatively high growth response. *Aster yomena* had the most extended life and maintained a good growth condition with CNF 5% mixing ratio comparing with CNF 2% mixing ratio and control under drought stress. In addition, the drought stress caused by the moisture content is relatively low, so the chlorophyll contents, relative water contents, and volumetric water contents were high, and electrolyte leakage was low. As a result, the use of CNF is well worth in urban environments or built environments, which can be used as a functional material to save maintenance costs and respond to climate change such as drought conditions.

**Keywords:** *Aster yomena*, cellulose nanofiber, environmental friendly material, drought stress, climate change

---

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

<sup>2</sup> 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, 28644, Republic of Korea)

## 1. 서론

전 세계적인 기후변화에 따른 기온 상승과 도시화의 결과로 인한 인구집중현상은 도시에 살고 있는 대다수 사람들의 정주여건과 보건 환경에도 영향을 미치는 주요한 이슈가 되고 있다. 기후변화가 점차 심화되면서 도시에서는 열섬현상이 발생하는 빈도가 점점 증가하고 있다. 이는 녹지면적의 감소와 아스팔트, 콘크리트 등 불투수층의 증가 등이 원인이다.<sup>1)</sup> 이러한 문제를 해결하기 위해서 기존 도시의 녹지면적을 유지하고 새로운 녹지를 확충해 도심 내 녹지면적을 증가시키는 것이 대도시들의 접근 방법이며<sup>2)</sup> 대표적인 예로 인공적인 구조물 위에 화단을 조성하거나 옥상에 화단을 조성하는 방법이 널리 적용되고 있다.<sup>3)</sup> 특히 옥상녹화는 건물 표면에 그늘을 만들고, 토양에 저장된 빗물이 바로 증발되거나 식생에 의해 증발산되는 과정에서 건물과 건물 주변 온도를 낮추는 역할을 하며 열섬 현상을 완화시키는 다양한 순기능을 제공하고 있다.<sup>4)</sup> 옥상은 도시에 부족한 녹지 공간을 확보하는 것에 유용한 것으로 인식되고 있어서 건축물의 옥상녹화는 도시에서 녹지 공간 확보의 중요한 해결 방안으로 각광받고 있지만,<sup>5)</sup> 옥상 녹화에는 기존의 토양을 사용하기 힘든 하중의 문제가 있기 때문에 다양한 형태의 인공경량토를 이용하여 저 토심 식재 지반에서 최소한의 유지 관리만으로도 식물이 생육할 수 있는 다양한 기술의 적용을 통해 발전하고 있는 상황이다. 이뿐만 아니라 건축에서도 바이오필릭 디자인과 같이 건물 내·외의 환경에 식물을 적용하기 위한 노력을 기울이고 있으며, 그 린인프라와 저영향개발 기술을 적극 도입하여 도시 환경을 개선하고자 하는 노력이 전 세계적으로 폭넓게 진행되고 있는 실정이다.

이러한 환경을 조성하기 위해서는 기존의 기술을 적용하는 것에 한계가 있으며, 인공지반 녹화와 같은 신기술들을 적용 가능하기 위해서는 기능성을 갖추면서도 친환경적인 재료물질들의 개발이 중요한 역할을 할 수 있을 것이다. 따라서 천연재료로서 오염발생을 방지할 수 있어 친환경적일 뿐만 아니라 생분해성 및 효율성 면에서도 좋으며 경제성이 우수한 셀룰로오스에 대한 관심이 높아지고 있다.<sup>6)</sup> 셀룰로오스(cellulose)는 목재 등 식물 자원의 50% 이상을 차지하고 있어 무한의 지속형 자원으로 활용할 수 있기 때문에 건축·조경·원예 등 다양한 분야에 활용성이 높은 재료물질이라 할 수 있다. 셀룰로

오스를 나노 혹은 마이크로 단위로 제조하여 응용하는 연구를 통해 제조되는 물질들은 고부가가치의 원료로서 사용하기 위한 연구가 진행되고 있으며 셀룰로오스는 지구상에 존재하는 가장 많은 유기물의 한 종류로서 재활용이 가능하다는 점에서 지속 가능한 개발을 위해 아주 긍정적인 소재로 평가받고 있다.<sup>7)</sup> 자연에서 생분해가 가능하고 수분보유능력이 우수한 장점을 가지고 있는 나노셀룰로오스는 인공토양 소재로 뛰어난 잠재력을 가지고 있어 이를 어떻게 이용할지 연구하는 것은 아주 큰 의미를 지닌다.

본 연구에서는 우리나라 대표적인 국화와 다년초 식물로 그 자원이 풍부하고 예로부터 구절초, 감국 등과 같이 식용 및 약용소재로 사용되어온 쑥부쟁이(*Aster yomena*)를 대상으로 나노셀룰로오스와 원예용 상토의 배합비별 생육반응 및 토양 수분함량에 대한 비교연구를 실시하고자 수행하였다. 이를 통해 나노셀룰로오스가 건설, 조경, 원예와 같은 다양한 환경에서 환경오염 유발의 걱정이 없고 자연 순환 과정에 위배되지 않으면서도 기능적으로 기존의 재료물질에 비해 우수하다는 것을 실험을 통해 증명하고자 하였으며, 나노셀룰로오스의 다양한 기능적 측면 중 식물의 기초 대사의 가장 기본적인 수분이 부족할 때 발생하는 식물의 수분스트레스를 완화시킬 수 있는 잠재성에 대해서 알아보하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험재료

실험에 사용한 식물재료인 쑥부쟁이(*Aster yomena*)는 충북대학교 교내에서 자생하고 있는 개체를 이용하였다. 2018년 3월에 직경 12 cm×높이 17 cm의 원형 플라스틱 6구 트레이에 350 g의 상토(Doobaena Gold, Nongkyung co., Korea)를 채운 후 이식하였다. 이식 후 16주간 4일 주기로 관수 처리를 해주었고, 수시로 잡초를 제거해주었으며 온실 내에서 순화과정을 거쳤다. 쑥부쟁이는 약용, 식용 및 관상가치가 우수하여 경관식물로 많이 이용되고 있다.<sup>8)</sup>

나노셀룰로오스는 (주)네이처코스텍에서 제조한 것을 사용하였으며, 나노셀룰로오스 전처리로 카르복실메틸화 처리를 하였고 표백 펄프 100 g을 수산화나트륨 20 g이 용해된 에탄올 1500 mL에 해리하였다. 이후 실온에

서 1시간 방치한 뒤 추가로 2시간동안 클로오아세트산 20 g이 용해된 에탄올 500 mL를 섞어 90°C에서 처리한 다음 세척하고 증류수를 가하여 2%(w/w)로 희석 후 고압균질기로 처리하였다. 600 bar의 압력으로 고압균질기(PANDA PLUS, GEA, Germany)를 조정하여 총 5회 통과시켜 CNF를 완성하였다. 제조된 CNF는 열풍순환식건조기(HB-502M, Hanbaek Science, Korea)를 이용하여 80°C에서 6시간동안 건조시킨 후 믹서로 길이 2 mm 이하의 크기인 것만 사용하기 위해 표준체로 걸러 준비하였다.

## 2.2 실험방법

### 2.2.1 실험구 조성

실험구는 나노셀룰로오스를 각각 2%, 5%(w/w) 배합비로 혼합하여 6반복하고 직경 12 cm×높이 17 cm의 원형 플라스틱 6구 트레이에 정식하여 비슷한 광도 아래에 배치하였다. 나노셀룰로오스를 배합하지 않은 상토만을 채운 것을 대조구로 하였다. 16주 동안 온실에서 양생해 온 쑥부쟁이를 각각의 실험구에 이식하였다. 6주간 순화과정을 거친 다음, 시험 시작일부터는 무관수 상태로 유지하였다. 실험기간 동안 휴대용 온습도계(SK-L200TH, SATO, Japan)를 이용하여 온실 내 온·습도를 측정하였다. 실험기간 동안 온실 내 주야간 평균온도 29.0°C, 상대습도 40.0%를 유지하였다.

### 2.2.2 생육측정

나노셀룰로오스가 식물 생육에 미치는 영향을 알아보기 위하여 식물체의 초고, 광합성량, 엽록소함량, 상대엽수분함량, 삼투압포텐셜, 전해질 유출, 토양용적수분함량을 2일마다 1회 조사하였으며, 토양수분함량은 매일 조사하였다.

초고는 자를 이용하여 지표면을 기준으로 식물의 선단까지의 길이를 측정하였다.

광합성량은 휴대용 광합성 측정기(LCpro-SD, ADC BioScientific Limited, UK)를 사용하여 광합성이 활발한 오전 9시에서 10시 사이에 측정하였으며, 엽록소함량은 엽록소측정기(SPAD-502plus, Konica Minolta, Japan)를 사용하여 측정하였다.

상대엽수분함량(relative water content; RWC)은 잎 샘플을 이용하여 측정하였다. 임의로 선정된 잎을 식물의 하부에서 절단 후 신선한 잎의 무게(fresh weight;

FW)를 전자저울(AUW 22D, Shimadzu, Japan)로 측정하였다. 측정된 잎 샘플을 증류수를 채운 15 mL 시험관에 넣어 4°C의 암조건에서 24시간 동안 담근 후 포화된 잎의 무게(turgid weight; TW)를 측정하였다. TW 측정 시에는 잎을 페이퍼 타월을 이용하여 물을 닦은 후 측정하였다. 건조된 잎의 무게(dry weight; DW)는 80°C에서 48시간 동안 열풍순환식건조기(HB-502M, Hanbaek Science, Korea)를 이용하여 건조시킨 후 측정하였다. 상대엽수분함량(RWC)은 다음의 식을 이용하여 계산하였다(Eq. 1).

$$RWC(\%) = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100(\%) \quad [1]$$

전해질 유출은 스트레스에 의한 세포막 손상으로 인해 생기며<sup>9)</sup> 막 투과성을 평가하기 위해 조사하였다.<sup>10)</sup> 전해질 유출은 식물을 중간 부분에서 완전히 발달한 잎을 0.2 g 채취하여 측정하였다. 잎의 표면을 증류수로 세척 후 5 cm 씩 절단하여 30 mL 시험관에 넣은 후 15 mL의 증류수를 채우고 샘플을 배양한 다음 24시간 동안 실온에서 교반시킨 후 입욕액(L1)의 전기전도도(EC)를 휴대용전도도계(HI-8633, HANNA Instruments, Italy)를 사용해서 전도도를 측정하였다. 이후 120°C에서 20분 동안 Auto-clave(HS 9041, 한실메디컬주식회사, Korea)에서 멸균한 후 용액을 실온에 식힌 후 판독 값(L2)을 측정하였다. 전해질 유출은 다음 식을 이용하여 계산하였다(Eq. 2).

$$EL(\%) = \frac{L1}{L2} \times 100(\%) \quad [2]$$

삼투포텐셜은 잎을 압착기(LP-27 MARKHART, WESCOR, USA)로 착즙한 후 삼투압측정기(Model 5600, WESCOR, USA)로 삼투압값(Os)을 측정하였다. 삼투포텐셜은 다음 식을 이용하여 계산하였다(Eq. 3).

$$Osmotic\ Potential\ (MPa) = -Os \times 2.58 \times 10^{-3} \quad [3]$$

토양용적수분함량 측정은 토양 수분함량과 수분 증발산량에 미치는 영향을 알아보기 위해 토양용적수분과 증발산량을 조사하였다. 나노셀룰로오스(CNF)가 토양 수분함량에 미치는 영향을 알아보기 위해 토양용적수분함

량을 토양수분측정기(ThetaProbe ML2x, Delta-T, UK)로 측정하였다.

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

나노셀룰로오스(NC) 혼합 비율에 따른 생육변화는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 단수처리 5일 전까지는 실험 처리구간 육안 상 차이가 잘 나타나지 않았으나, 5일 후에는 대조구의 경우 조금씩 잎이 시드는 것이 관찰되었으며 7일째에 급격히 마르는 것으로 나타났다. CNF 2% 처리구도 대조구와 비슷한 경향을 보였으나, CNF 5% 처리구는 단수처리 7일째에도 전혀 시들지 않아 나노셀룰로오스에 의한 효과가 나타났다.

초고의 경우에는 단수 기간이 경과함에 따라 낮아지는 경향을 보였으며, 대조구와 CNF 2% 처리구는 건조 스트레스를 받아 지속적으로 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 CNF 5% 처리구의 초고는 단수처리 직전 33.0 cm 였던 것이 단수 7일 후에도 28.8 cm로 다른 처리구들에 비해 상대적으로 적게 감소하는 것으로 나타났다.

무관수시 초고, 잎면적, 녹피율은 지속적으로 감소하여 결국에는 식물이 고사하게 되는데,<sup>11)</sup> 본 연구에서는 CNF 5%를 배합한 실험구에서는 건조에 따른 수분스트레스를 저감시켜 식물생육에 도움을 주는 것으로 나타나, 향후 다양한 배합비율 생육변화를 모니터링하여 식물생육에 최적의 배합비율을 찾는 연구가 추가적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

광합성량은 수분스트레스가 경과함에 따라 모든 실험구에서 감소하는 경향을 보였다(Table 1). 특히, 대조구에서는 단수처리 후 급격히 광합성량이 감소하는 경향을 보였으며, 단수 7일째에는 광합성량 측정이 불가능하였다. 나노셀룰로오스 처리구의 광합성량은 대조구에 비교하여 상대적으로 양호하였다. CNF 2% 배합비에서는 단수 3일까지는 광합성량에 큰 변화가 없으나 그 이후에는 급격히 감소하는 경향을 보였으나, CNF 5% 처리구에서는 단수 5일째까지도 초기 광합성량과 비슷한 값을 유지하다가 7일째에 감소하는 경향을 보였다.

식물이 수분스트레스를 받게 되면 내부의 수분 손실을 막기 위한 방어기작으로 식물체의 증산율을 낮추어 수분 손실을 감소시켜 식물 수분이용 효율을 증대시키게 되는데<sup>12)</sup> 이때 식물이 기공을 닫게 되면서 엽육 세포 내에 CO<sub>2</sub> 농도가 낮아지게 되고, 이에 따라 광합성 능력이 떨어지는 현상을 동반하게 된다.<sup>13,14)</sup> 이처럼 광합성량은 수분스트레스와 밀접한 관련성을 지니고 있기 때문에 광합

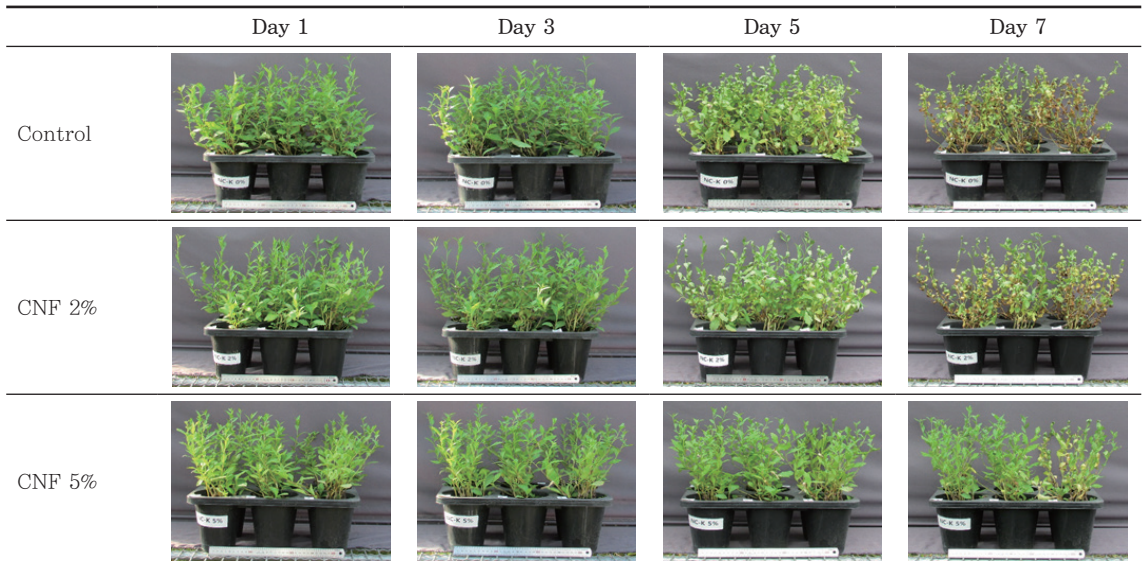


Fig. 1. Growth responses of *Aster yomena* with Nano-cellulose mixing ratios.

Table 1. Change in photosynthetic rate ( $\mu\text{mol} \cdot \text{CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) of *Aster yomena* based on three different mixing ratio

	Day 1		Day 3		Day 5		Day 7	
Control	13.1±0.1	b <sup>z</sup>	9.5±0.3	b	1.9±0.3	c	-	-
CNF 2%	14.4±0.5	a	10.5±0.7	a	4.9±0.7	b	0.9±0.3	b
CNF 5%	13.9±0.9	ab	10.5±0.7	a	10.7±0.6	a	5.6±0.9	a
Significance	**		**		***		***	

<sup>z</sup> 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.

Data are shown as mean±SD (n=6).

성량을 양호한 상태로 유지하기 위해서는 수분스트레스를 최대한 적게 받도록 할 필요성이 있다. 이러한 관점에서 CNF 5% 배합비는 수분스트레스 하의 쑥부쟁이 광합성량을 일정수준으로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

엽록소함량 측정결과, 모든 실험구에서 단수 3일 후까지는 모두 같은 엽록소함량을 유지하였으나, 그 이후에는 실험구별로 다르게 나타났다(Table 2). 단수 5일 때에는 대조구의 엽록소함량이 많이 감소하였으며 7일 때에는 급격히 감소하는 것으로 나타났다. CNF 혼합 처리구를 살펴보면 2%와 5% 배합비 모두 단수 후 5일째까지는 유사한 경향을 보였으나 단수 7일 후에는 2% 배합비 처리구에서는 초기값의 50% 정도로 감소한 반면에 5% 배합비에서는 초기값과 거의 유사한 경향을 보였다.

이는 정상적으로 생육한 식물체보다 수분 스트레스에 노출된 식물에서 초기에는 증가하는 경향을 보이지만 수분함량이 감소해 감에 따라 대체적으로 감소하게<sup>15)</sup> 되는데 본 실험에서는 CNF 5% 처리구가 토양수분함유량이 가장오래 유지해 상대적으로 식물이 수분 스트레스에 대한 영향을 덜 받았기 때문으로 판단된다.

삼투포텐셜도 단수 후 시간이 경과함에 따라 감소하는

경향을 보였다(Table 3). 단수 후 3일째까지는 모든 실험구에서는 비슷한 값을 보였으나 그 이후에는 실험구별로 다른 값을 보였다. 대조구는 단수 후 5일째에 -2.7 MPa의 값을 보인 후 단수 7일째는 식물이 거의 고사하여 측정이 불가능하였다. CNF 2% 처리구는 단수 5일째에는 -2.2 MPa의 값을 보였으나 단수 7일째는 -4.3 MPa로 급격히 감소하는 경향을 보였다. CNF 5% 처리구는 단수 7일째에도 -1.7 MPa의 값을 보여 단수 1일째인 -1.5 MPa가 거의 변하지 않은 것으로 나타났다. 삼투포텐셜은 감소에 따라 식물의 수분부족 현상이 나타나고, 그로 인해 뿌리 발달을 어렵게 만들어 수분부족 하에 나타나는 여러 가지 증상들이 나타난다.<sup>16)</sup>

전해질 유출은 스트레스로 인한 식물의 세포손상 정도를 알아보기 위하여 상대전기전도도를 측정하는 것으로 모든 실험구에서 단수 3일째까지는 큰 차이를 보이지 않았다(Table 4). 그러나 대조구에서는 단수 5일째 값이 증가하다가 단수 7일째에는 52.6으로 급격히 상승하는 것으로 나타나 수분스트레스에 따른 식물 세포의 손상 정도가 심각한 것으로 나타났다. CNF 2%는 초기부터 아주 서서히 증가하다가 7일째 10.5로 상승하였으며, CNF

Table 2. Change in chlorophyll contents (SPAD value) of *Aster yomena* based on three different mixing ratio

	Day 1		Day 3		Day 5		Day 7	
Control	31.4	a <sup>z</sup>	30.7	a	14.7	b	3.6	c
CNF 2%	31.7	a	31.7	a	24.2	b	14.9	c
CNF 5%	29.0	a	29.8	a	28.2	a	25.1	a
Significance	***		***		***		NS	

<sup>z</sup> 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 3. Change in osmotic potential (MPa) of *Aster yomena* based on three different mixing ratio

	Day 1		Day 3		Day 5		Day 7	
Control	-1.4±0.1	a <sup>z</sup>	-1.6±0.1	b	-2.7±0.0	c	-	-
CNF 2%	-1.5±0.1	a	-1.4±0.1	a	-2.2±0.2	b	-4.3±2.2	b
CNF 5%	-1.5±0.1	a	-1.4±0.0	ab	-1.7±0.0	a	-1.7±0.4	a
Significance	NS		NS		***		***	

<sup>z</sup> 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.  
 Data are shown as mean±SD (n=6).

Table 4. Electrolyte leakage based on three different mixing ratio

	Day 1		Day 3		Day 5		Day 7	
Control	3.6	c <sup>z</sup>	4.8	c	14.1	b	52.6	a
CNF 2%	3.6	b	3.9	b	7.6	ab	10.5	a
CNF 5%	4.0	a	4.0	a	4.2	a	4.7	a
Significance	***		***		*		NS	

<sup>z</sup> 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.

5%는 단수 1일째인 4.0이 단수 7일째에도 4.7의 값을 보여 거의 변동이 없는 것으로 나타났다. 이는 식물은 고사하기 직전에 전해질 유출량이 급증하여 스트레스를 받으면 세포 내 활성산소종의 생성이 증가하는데<sup>17)</sup> 이로 인해 세포막 지질의 구조가 변화하거나 손상 및 투과성이 상실되어 전해질 유출이 증가하게 된다는<sup>18)</sup> 이전 연구와 같은 결과를 보여주고 있었다.

상대습수분함량은 모든 실험구에서 단수 3일째 까지 유의한 차이가 나타나지 않았다(Table 5). 단수 5일째에는 대조구와 CNF 2% 처리구에서 상대습수분함량이 급격하게 감소하였다. CNF 5% 처리구는 단수처리 후 5일째까지는 거의 변화가 없다가 7일째 1일째와 비교해서 약 10%정도 감소하는 경향을 보였다. 단수 7일째의 대조

구와 CNF 2% 처리구의 상대습수분함량은 비슷하게 낮은 값을 보였으나 CNF 5% 처리구는 68.2%로 상대습수분함량을 높게 유지하는 것으로 나타났다.

식물체의 수분함량은 뿌리로부터 흡수하는 상대습수량과 증산량에 의해 조절되며 수분스트레스는 각 기관의 물질분배비의 변화, 분화 및 발달의 억제를 통해서 식물의 생산활성을 현저히 저하시켜, 식물의 생장, 형태, 개체발생 및 대사생리에 영향을 미치며<sup>19)</sup> 잎의 수분포텐셜이 -1.3 MPa일 때 광합성작용, 엽록소 a 와 b, 카로티노이드 등의 함량이 감소되었으며, 잎의 수분포텐셜이 -1.9 MPa 정도로 더 심한 수분스트레스를 받았을 때 엽록소 a의 함량이 약 30%, 엽록소 b는 약 20.7% 정도 감소하며 카로티노이드의 함량도 약 37.9% 정도로 더 크게

Table 5. Relative water contents based on three different mixing ratio

	Day 1		Day 3		Day 5		Day 7	
Control	79.5	a <sup>z</sup>	68.3	a	38.4	b	25.2	b
CNF 2%	75.9	a	75.3	a	57.9	b	33.3	c
CNF 5%	76.9	a	76.4	a	74.0	a	68.2	a
Significance	***		***		***		NS	

<sup>z</sup> 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.

감소하였다는 연구<sup>20)</sup> 결과와 비교해보면 CNF 5% 처리구의 상대엽수분함량이 가장 높았기 때문에 다른 처리구들에 비해 광합성작용, 엽록소함량이 가장 높은 경향을 보였다. 따라서, 토양수분을 오래 유지하여 쑥부쟁이의 생육에 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단되었다.

토양용적수분함량은 실험초기인 단수처리 후 2일째부터 급격히 감소하는 경향을 보였다(Table 6). 토양용적수분함량이 0%에 도달하는 시간은 대조구에서는 단수 6일째로 가장 빨랐으며, CNF 2%는 단수 7일째였다. 그러나 CNF 5%는 단수 8일째까지도 1.45%를 유지하고 있어 토양수분 유지에 효과적인 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

나노셀룰로오스는 다양한 분야에서 이용되고 있으나 건설, 조경, 원예 등의 작업이 이루어지는 외부 환경에서 이용되는 경우는 많지 않은 실정이다. 하지만 4차 산업 시대에 접어들면서 새로운 친환경 재료 물질들에 대한 요구가 증가하고 있다. 건축·조경·원예 등과 같은 우리 인간이 생활하는 환경을 보다 친환경적으로 조성하기 위한 여러 시도는 이미 전 세계적으로 이루어지고 있으며 기후변화에 대응할 수 있는 친환경 물질들에 대한 요구는 그 어느 때보다 높아지고 있다. 따라서 안전하면서 더 많은 기능을 수행할 수 있는 새로운 소재들에 대한 연구는 지속적으로 이루어질 필요성이 있다.

본 연구는 친환경적이고 흡수성이 뛰어난 나노셀룰로오스가 조경·원예용 식물 생장에 도움을 주면서 토양보습제의 역할을 할 수 있는지 알아보기 위하여 실험을 수행하였다. 이를 통해 친환경물질로 환경에 영향을 주지 않으면서도 식물 생장에 도움을 주고 특히 도시의 실내·외 환경에서 조경·원예용으로 나노셀룰로오스가 기능성 물질로 첨가되었을 때 필요로 하는 양이 얼마인지를 실험을 통해 규명하고자 하였다.

실험 결과, 친환경 신소재인 나노셀룰로오스의 배합은 수분스트레스 조건에서 쑥부쟁이의 생육에 긍정적인 영향을 주었고, 이는 초고, 광합성량, 엽록소함량, 삼투포텐셜, 상대수분함량, 전해질유출 등의 결과로 확인되었다. 특히 나노셀룰로오스를 원예용상토와 5% 배합한 토양은 단수처리 후에 토양용적수분함량을 가장 오래 유지시켰고 이로 인해 대조구인 원예용 상토 단독 사용보다 수분스트레스에 의한 쑥부쟁이의 생육피해를 감소시키는 효과를 확인할 수 있었다. 생육상태뿐만 아니라 토양수분함량을 오랫동안 유지하는 것으로 나타나 수분스트레스로부터 더 오랜 기간 식물이 생존할 수 있어 관수 등 유지관리에 있어 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

하지만, 본 연구 결과만으로는 실제 옥상녹화 등과 같은 인공지반에서의 식재기반에서 나노셀룰로오스를 배합한 토양이 식생에 미치는 영향을 충분히 증명하였다고 할 수는 없으나, 상토와 나노셀룰로오스가 5% 이상 배합 비율일 경우 긍정적인 효과를 도출할 수 있을 것으로 판단되며, 더 많은 식물들에 대한 추가적인 연구와 실험을

Table 6. Volumetric water contents based on three different mixing ratio

	Control		CNF 2%		CNF 5%	
Day 1	41.93	a <sup>z</sup>	44.43	a	41.64	a
Day 2	17.74	b	23.68	b	26.23	b
Day 3	12.76	c	17.77	c	20.56	c
Day 4	3.62	d	6.96	d	9.53	d
Day 5	1.97	e	3.80	e	7.77	d
Day 6	0.56	f	2.25	f	4.13	e
Day 7	0.09	f	0.88	g	3.21	ef
Day 8	0.00	f	0.03	g	1.45	f
Significance	***		***		***	

<sup>z</sup> 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.

통해 나노셀룰로오스의 이용이 식물 생육에 긍정적 효과가 있다는 근거를 확보할 필요가 있다고 생각된다. 따라서 실외 옥상과 같은 실제 외부환경과 유사한 조건에서의 추가실험 및 다양한 식물 종을 이용한 실험이 수행되어질 필요성 있다.

## Literature Cited

- Kim H. M., Chung M. H., Park J. C., and Rhee E. K., A scale model test of PCM & cool roof materials for mitigation of urban heat island, *Proceeding of Annual Conference of the Architectural Research* 35(1): 235–236 (2015).
- Kang K. Y. and E. H., The study on native plants and planting soil for extensive rooftop greening, *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 8(4):23–31 (2005).
- Suh J. T., Lee H. S., Lee H. K., Yoo D. L., Nam C. W., and Ryu S. Y., Selection of drought tolerance wild-flowers using of pot-flower and rooftop plant, *Korean Journal of Horticultural Science Horticulture Abstracts* 22(1):87–87 (2004).
- Park E. J., Kang K. L., and Nam M. A., Green roof strategy for mitigating the urban heat island effect, *Policy research* 25:1–168 (2010).
- Kim H. and Lee G. G., Relationships between ecological and utilizational effectiveness of green roof sites, *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology* 11(2):114–121 (2008).
- Shin J. H., Nanocellulose at KRICT: Cellulose Nanocrystals (CNCs) and Cellulose Nanofibers (CNFs), *Korea Research Institute of Chemical Technology Abstracts* 2017 1:135–135 (2017).
- Yong S. M., Lee Y. K. and Won J. M., Manufacturing characteristics of nanofibrillated cellulose from wastepaper, *Journal of Korea TAPPI* 49(2):41–48 (2017)
- Jung, B. M., Lim, S. S., Park, Y. J., and Bae, S. J., Inhibitory effects on cell survival and quinone reductase induced activity of *Aster yomena* fractions on human cancer cells, *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition* 34:8–12 (2005).
- 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).
- 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).
- 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).
- Je, S. M., Son, S. G., Woo, S. Y., Byun, K. O., and Kim, C. S., Photosynthesis and chlorophyll contents of *Chloranthus glaber* under different shading treatments, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(2): 54–60 (2006).
- Hernandez, J. A., Olmos, E., Corpas, F. J., Sevilla, F., and Del Rio, L. A., Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plant, *Plant Science* 105(2):151–167 (1995).
- Takemura, T., Hanagata, N., Sugihara, K., Baba, S., Karube, I., and Dubinsky, Z., Physiological and biochemical responses to salt stress in the mangrove, *Bruguiera gymnorhiza*, *Aquatic Botany* 68(1):15–28 (2000).
- Kang S. J., Response of monodehydroascorbate reductase(MDHAR) in lettuce (*Lactuca sativa* L.) leaves subjected to water deficit stress, *Protected Horticulture and Plant Factory* 17(4):273–282 (2008).



16. Munns, R., Schachtman, D. P., and Condon, A. G., The significance of a two-phase growth response to salinity in wheat and barley, *Functional Plant Biology* 22(4):561-569 (1995).
17. 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).
18. 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).
19. Pugnaire, F. I., Serrano, L., and Pardos, J., Constraints by water stress on plant growth. *Handbook of plant and crop stress*, Marcel Dekker, Inc., New York, USA. 271-283 (1999).
20. Iturbe-Ormaetxe I, Escuredo, P. R., Arrese-Igor, C., and Becana, M., Oxidative damage in pea plants exposed to water deficit or paraquat. *Plant physiology* 116(1):173-181 (1998).