韓國環境復元技術學會誌 27(5) : 1~12(2024)
J. Korean Env. Res. Tech. 27(5) : 1~12(2024)
DOI : https://doi.org/10.13087/kosert.2024.27.5.1
ISSN 1229-3032

차광처리에 따른 구상나무 묘목의 생장특성*

박병주[1] · 김영훈[1] · 박성혁[1] · 한성경[1] · 김종갑[2] · 허태임[1] · 이상용[1]

[1]국립백두대간수목원 연구원 · [2]세계유산본부 한라산연구부 연구관

Growth Response of *Abies koreana* (E. H. Wilson) under Different Shading Treatment

Park, Byeong-Joo[1] · Kim, Young-Hoon[1] · Park, Sung-Hyuk[1] · Han, Sung-Kyung[1] · Kim, Jong-Kap[2] · Heo, Tae-Im[1] and Lee, Sang-Yong[1]

[1]Baekdudaegan National Arboretum, Korea Arboreta and Gardens Institute, Researcher,
[2]Hallasa Research Department, World Heritage Office, Jeju Special Self-Governing Province, Senior researcher.

ABSTRACT

The purpose of this study is to provide basic data for sustainable production by investigating the growth characteristics of the endangered Korean fir (*Abies koreana*) under shading treatments. It was found that there was a temperature difference of approximately 6°C between the shading treatment and the control group, and a difference of about 13% in soil moisture content. Only in the shading treatment group did dead individuals of Korean fir appear, and it was confirmed that other individuals also suffered from leaf withering and other physiological damage. The growth response of root diameter was observed in T2, and the growth of seedling height was observed in T3, indicating that satisfactory growth was observed in over 50% of the shading treatment groups. Total Chlrolophyll was higher according to the shading treatment($p<0.05$), This trend is thought to be due to the short-term nature of the experiment, and it is expected that statistical significance will be observed after long-term

*이 논문은 국립백두대간수목원에서 수행 중인 '멸종위기 고산침엽수 현지외보전 인프라 구축' (2024-KS-OB-1-1-1-09) 사업 및 '유한킴벌리와 한수정이 함께하는 멸종위기 고산침엽수 현지외 보전을 위한 구상나무숲 조성'사업과 세계유산본부 한라산연구부의 구상나무 묘목 분양 지원으로 수행되었습니다.

First author : Park, Byeong-Joo, Bioresource Conservation Team, Baekdudaegan National Arboretum, Korea Arboreta and Gardens Institute, Bonghwa 36209, Korea.
Tel: +82-54-679-0665, Email: bzpark@koagi.or.kr

Corresponding author : Lee, Sang-Yong, Bioresource Conservation Team, Baekdudaegan National Arboretum, Korea Arboreta and Gardens Institute, Bonghwa 36209, Korea.
Tel: +82-54-679-2762, Email: sylee@koagi.or.kr

Received : 22 July, 2024. **Revised** : 16 September, 2024 **Accepted** : 9 September, 2024

adaptation. It is considered that over 50% shading effect will be beneficial for survival and growth in *Abies koreana* over 5 years old at the seedling stage.

Key Words: *Shading treatment, Endemic plant, Subalpine conifer*

I. 서 론

구상나무는 한국에 자생하는 희귀식물이자 특산식물로 생물다양성의 보전가치가 인정된 수종이다(Kong, 1998; Kim and Choo, 2000). 또한 구상나무는 지구환경변화에 따른 자생지의 쇠퇴가 대규모화되고 가속화되고 있어 효율적인 보전이 필요한 식물종 중 하나이다 (Kong, 1998; Kim and Choo, 2000).

국내 구상나무 자생지의 감소는 수분스트레스와 풍해에 의한 물리적 피해가 주된 원인으로 제시되어 왔다(Kim and Choo, 2000; Kim et al., 2007; Kong, 1998; Lim et al., 2006; Song et al. 2007). 40여 년간 구상나무 연구가 진행되어 왔으나, 아직 명확한 쇠퇴 원인은 불분명하며, 구상나무 생태계 동태 연구는 특정지역에 국한되어 있어, 국내 구상나무의 생육환경 특성을 확인하기에는 추가 연구가 필요하다(Koo and Kim, 2020). 이는 구상나무를 대상으로 하여, 자생 환경 모니터링과 생리적·물리적 매커니즘을 밝히기 위하여, 다양한 실험을 통한 쇠퇴원인의 종합적 해석이 필요함을 의미한다. 따라서 구상나무의 보전을 위하여 현지외 보전 생육특성 연구가 병행되어야 한다.

특산식물의 현지외 보전 연구는 국제적 협약에서도 필요성을 강조한다. CBD(Convention on Biological Diversity)에서 발표한 생물다양성 보전의 순서는 현지내 보전을 우선시 하고, 자생지 내 쇠퇴가 극심하여 생물다양성 위협 정도가 높은 생물은 현지외 보전을 병행하도록 권고하고 있다. 현지외 보전은 가급적 원산국에서의 보전활동을 수행하는 것으로 기재되어 있는데 (Convention on Biological Diversity, 2024), 특산식물의 자생 국가 내 보전을 우선시 함을 의미한다.

최근 산림청에서 발표한 '제2차 멸종위기 고산침엽수 보전·복원 대책'에서도 멸종위기 고산침엽수 현지내·외 보전을 병행하여 시행하도록 기재하여 다양한 측면의 보전 정책을 제시하고 있다. 따라서 자생환경의 보호구역 선정 및 모니터링 뿐만 아니라 지속가능한 묘목생산을 위한 현지외 보전 생육특성 연구가 필요한 시점이다.

구상나무의 육묘 및 생리적 실험으로는 한라산 내 자생지의 대기온도에 따른 엽록소 활성화에 대한 연구(Lim et al., 2006)와 종자발아를 위한 전처리 실험 (Lee, 2007) 및 발아율에 대한 연구(Korea Forest Service, 2000)가 이루어 졌으며, 구상나무 묘목의 환경구배(광량, 수분 등) 실험을 진행하였다(National institute of Forest Science, 2021). 또한 구상나무 유묘기까지는 생육환경을 제어하기 용이한 시설양묘에서 증식 및 연구하는 것이 노지양묘보다 유리하다는 선행연구 결과가 있었다(Lee et al., 2019). 시설 내에서는 환경구배의 인위적 처리를 통한 식물의 생리적 매커니즘 연구를 수행하기 적합하다(Taiz and Zeiger, 2006). 따라서 시설 내에서 구상나무의 생육기작에 대한 사례연구를 수행하고, 이를 종합하여 해석하는 것이 중요하다(Magurran, 2004; Taiz and Zeiger, 2006).

본 연구의 목적은 구상나무 용기묘의 차광처리에 따른 생육특성의 변화를 분석하는 것이다. 다양한 차광 조건이 구상나무의 생장 반응에 미치는 영향을 평가하고, 이를 통하여 구상나무의 최적의 생육환경을 규명하고자 한다. 본 연구는

지구환경변화의 급격한 변화와 생태계 쇠퇴가 증가하는 현시점에서 구상나무의 지속가능한 생산과 관리에 필요한 기초 자료를 제공할 것이다.

II. 연구방법

1. 연구재료 시험처리 및 관리

본 연구실험에 사용된 재료는 제주특별자치도 세계유산본부 한라산연구부에서 양묘한 6년생 구상나무 묘를 2022년 4월에 국립백두대간수목원으로 이관하였다. 연구재료는 상토(펄라이트;질석;피트머스 1:1:1)와 마사의 비율을 2:1로 혼합한 상토를 화분용 흑색 비닐포트 (W 200㎜×H 160㎜)에 담아 개체목을 관리하였다. 국립백두대간수목원 연구온실에서 2022년 4월부터 1년간 적응시킨 연구재료를 사용하였다.

시험처리구에 사용된 흑색 차광막은 30~35%(T1), 50~55%(T2), 80~85%(T3)의 차광으로 주문 제작하였다. 실험구는 3개의 처리구와 대조구(C)를 포함한 총 4개의 처리구로 설치하였다. 시험처리구 설치는 2023년 4월 24일에 수행하였으며, 연구재료는 처리구별 5개체 5반복으로 25개체이며, 총 100개체로 본 연구실험을 진행하였다.

시험처리구 내 미기상 요인의 변화를 관찰하기 위해 데이터로거(HOBO UA-002-064 pendant logger, Onset Computer Co., U.S.A)를 이용하여 대기온도와 광량을 측정하였다. 각 처리구 내 차광막 안 하부에서 지면과 약 30 ㎝ 이격 후, 수평으로 설치하였으며, 1시간씩 측정하였다. 기상데이터 측정 시기는 식물의 생육기간을 고려하여 2023년 5월 1일부터 2023년 8월 31일까지이다. 연구재료의 관수량은 용기묘별 각 1L씩 정량 관수하였다. 관수 주기는 기상과 일기에 따라 일광이 강하고 고온의 날씨에는 주 2~3회, 주간 일기가 흐리고 비가 내리는 날에는 주 1~2회로 관수를 수행하였다. 용기묘의 토양상태를 확인하여, 각 처리구별 동일한 수분조건이 되도록 관수하였다. 전체 연구기간은 2023년 4월부터 2023년 11월까지 진행되었다.

2. 생장특성 모니터링

차광처리에 따른 구상나무 생장특성 차이를 확인하기 위하여 근주직경(根株直徑)과 묘고(苗高)를 측정하였다. 근주직경의 경우, 각 개체별 포트의 지면 기준 약 3㎝ 내외의 수간부에서 디지털캘리퍼스(200㎜ (500-182-30), Mitsutoyo Co., Japan)를 이용하여 가로축과 세로축을 측정한 후, 평균값으로 근주직경으로 계산하였으며, 측정 후 페인트 마커로 표시하였다. 묘고는 포트의 가장 위쪽 가장자리 부분을 수평으로 하여, 각 개체의 선단부 길이를 절척(2m, STABILA Co., Germany)으로 측정하였다. 첫 번째 측정은 2023년 4월 1일에 측정하였으며, 마지막 측정은 2023년 8월 30일에 측정하여, 그 간의 차이를 상대생장량으로 계산하였다.

3. 토양성질 모니터링

차광처리에 따른 토양수분, 전기전도도 그리고 pH의 변화를 살펴보았다. 토양수분함량과 전기전도도 측정은 휴대용 토양수분측정기(HD-2, Imko Co., Germany)를 이용하였으며, 측정오차를 최소화하기 위하여 관수 후 2일 이후 오전(09:00~11:00)에 측정하였다. 측정기간은 5월부터 8월까지 진행되었으며, 총 측정횟수는 7회이다.

토양 pH의 측정을 위하여 각 포트별로 약 5~10㎝의 깊이에서 시료를 채취하였다. 채취한 시료는 실험실 내 약 2주간 음건하여 각 시료를 Palcon tube에 보관하였다. 토양시료 5㎖, 증류수 25㎖를 Palcon tube에 섞어 1:5 비율로 시료를 만든 후, pH-meter(A215 pH/Conductivity Benchtop Multiparameter, Thermo scientific, U.S.A.)를 사용하여 측정하였다.

4. 엽록소 함량 모니터링

각 처리구 별 평균 근주직경 및 묘고인 개체

3개체를 선별하여 선단부 주변을 기준으로 신초를 제외한 건강한 잎을 채취하였다. 채취한 잎은 50㎎ 시약병 투입 후, DMSO(dimethyl sulfoxide) 용액을 5㎖ 투입하였다. 그 후, 항온기 내 65℃에 6시간 동안 보관하여 엽록소를 추출하였다. 추출한 용액 엽록소는 마이크로플레이트 리더(Epoch2 Biotek, Agilent, U.S.A.)를 이용하여 663㎚와 645㎚의 파장에서 흡광도를 측정하였다. 계산식은 (Mackinney, 1941; Arnon, 1949)의 방법을 이용하여 엽록소 a, b 그리고 총 엽록소 함량을 아래와 같이 계산하였다. 각 개체별 3반복하여 평균을 최종 계산결과로 이용하였다. 엽록소 함량 실험은 2023년 11월에 수행하였다.

- Chlorophyll a (mg·g^{-1}·fresh weight) = (12.7 × A663 - 2.69 × A645)
- Chlorophyll b (mg·g^{-1}·fresh weight) = (22.9 × A645 - 4.68 × A663)
- Total Chlorophyll (mg·g^{-1}·fresh weight) = (8.02 × A663 + 20.20 × A645)

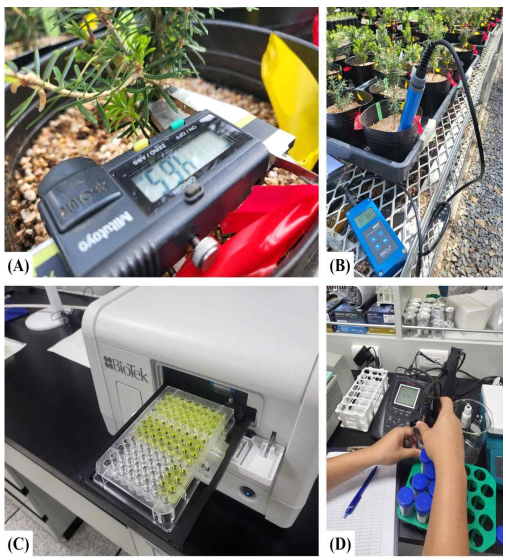

Figure 1. Experimental Study Photographs; (A) Monitoring of Growth Response; (B) Soil Moisture and Electrical conductivity; (C) Chlorophyll content; (D) Measuring Soil pH.

5. 분석방법

본 연구의 각 처리별 통계분석은 SPSS Statistic 프로그램 (22.0 ver., SPSS Inc., U.S.A.)을 이용하였으며, one-way-ANOVA를 통하여 평균비교를, 사후검증은 duncan의 방법을 사용하였다. 각 처리구간 통계적 유의성은 5%의 수준 내에서 차이를 인정하였다 (p<0.05).

III. 연구 결과 및 고찰

1. 대기온도 및 광량변화

처리구 별 대기온도 및 광량의 일평균변화를 살펴본 결과는 Figure 2와 같다. 대기온도의 처리구별 전체 시간대의 평균은 C는 27.44 ℃, T1은 25.08 ℃ T2는 24.75 ℃ T3는 24.66 ℃으로 나타나 차광처리구의 대기온도가 약 2.78 ℃ 낮은 효과를 보이는 것으로 나타났다. 일별 기온의 차이가 가장 많이 나는 시간대는 12시 이며, C는 34.92 ℃ T3는 29.06 ℃로 차광처리구와 약 5.86℃ 온도 차이가 나는 것으로 나타났으며, 아침시간인 오전 5시부터 7시, 그리고 일몰시간인 오후 19시부터 21시까지는 처리구별 온도 차이가 크지 않았다.

광량의 처리구별 전체 시간대의 평균은 C는 1,361.3 ㎛ol/s/㎡, T1은 908.4 ㎛ol/s/㎡, T2는 704.7 ㎛ol/s/㎡ 그리고 T3는 321.4 ㎛ol/s/㎡으로 나타나 C와 T3와는 1,039.9 ㎛ol/s/㎡ 의 차이로 조사되었다. 일별 시간대의 광량차이가 가장 큰 시간대는 12시로 대기온도의 차이가 가장 큰 시간대와 동일한 결과로 나타났다.

2. 근주직경 및 묘고의 상대생장량

차광처리에 따른 구상나무 묘목의 생존 개체수는 C에서 88%의 생존율로 나타났으며, 나머지 차광처리구에서는 모든 개체가 생존한 것으로 확인되어, 차광처리구 내 생존율을 증가시킬 수 있는 것으로 확인되었다. 그러나 C의 경우, 초가을(9월) 이후, 시간이 지날수록 직광으로 인

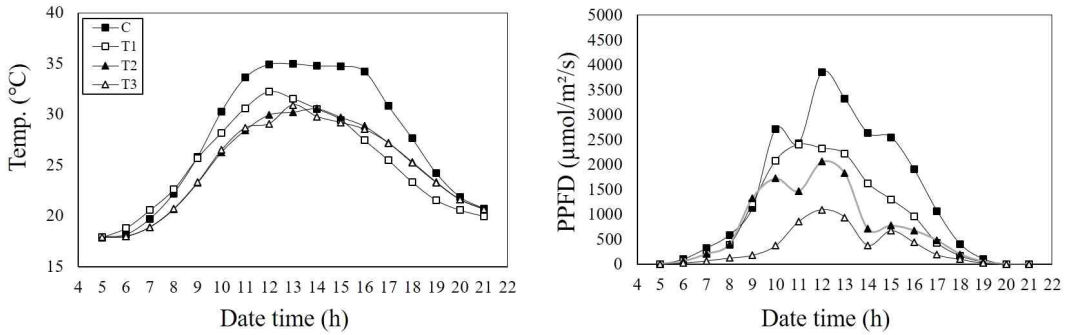

Figure 2. Diurnal changes of temperature and PPFD(Photosynthetic photon flux density) through shading treatments (from 1 May to 31 August).

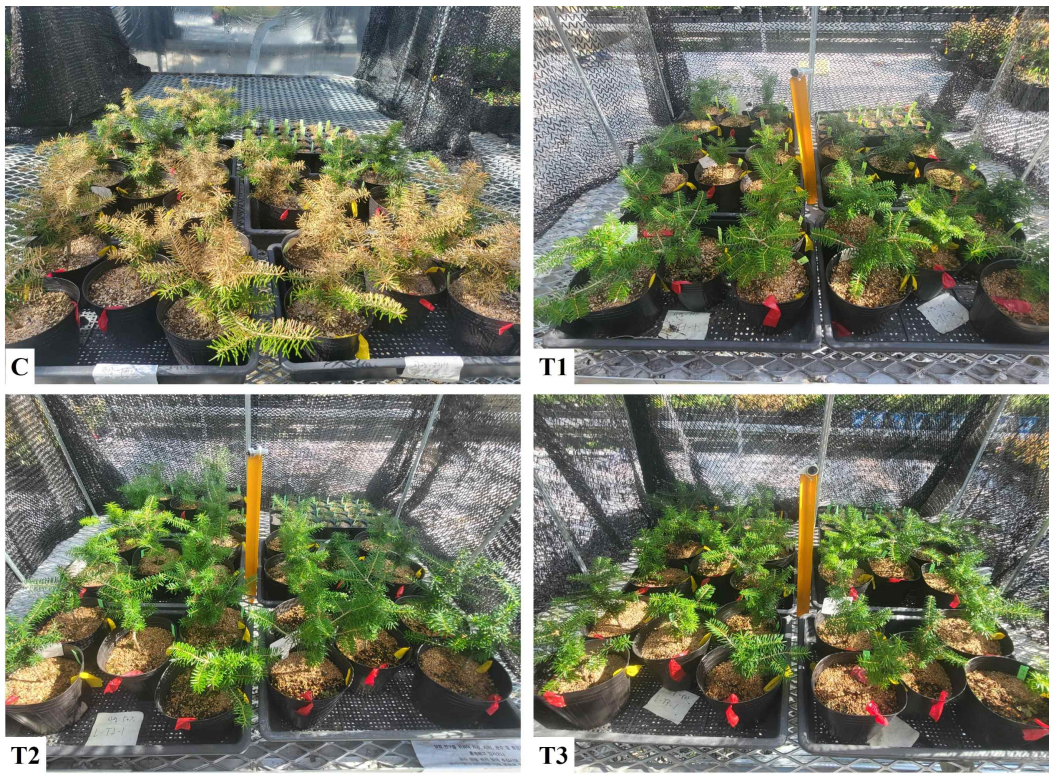

Figure 3. Experimental treatment for *Abies koreana* (6yr), C: full sunlight, T1: shaded 30~35%, T2: shaded 50~55% and T3: shaded 80~85%.

한 스트레스로 잎이 마른 모습으로 관찰되었다 (Figure 3).

차광처리에 따른 근주직경과 묘고의 상대생장량을 비교한 결과는 Figure 4와 같다. 근주직경의 상대생장량은 C부터 T1~T3의 차례대로 1.716±0.129㎜, 1.567±0.130㎜, 2.294±0.162㎜, 1.226±0.120㎜로 나타나 T2에서 가장 높은 근주직경 상대생장량으로 나타났으며, 통계적 유의차가 인정되었다(p<0.05). 묘고의 상대생장량의 경우 C는 1.656±0.739㎝, T1이 1.404±0.161㎝, T2가 0.704

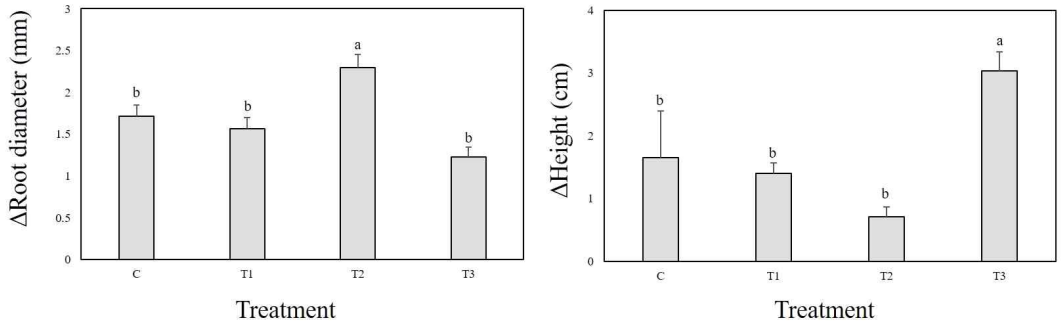

Figure 4. Comparison of relative growth rate for root diameter and height through shading treatment (ANOVA test was used, duncan's multiple range test; $p<0.05$).

±0.155㎝ 그리고 T3 3.036±0.297㎝으로 조사되어 T3에서 가장 높은 묘고 상대생장량으로 나타났으며, 통계적 유의성이 인정되었다($p<0.05$).

종합하면, 근주직경의 경우 T2에서 가장 높은 근주직경으로 분석되었는데, T3와 같이 극단적인 차광조건에서는 생장이 저해됨을 시사하였다. 이는 광합성을 위한 광량의 부족으로 생육에 필요한 에너지를 충분하게 생산하지 못하였기 때문으로 판단되었다(Klopčič et al., 2015). 즉, 차광 조건이 극단적일수록 부피생장이 감소하는 경향이 있음을 확인하였다. 묘고는 중간 차광처리까지는 낮은 상대생장량을 보이다가 T3에서 급격히 높은 수고 상대생장량으로 나타났다.

3. 토양성질

토양수분함량과 전기전도도의 변화를 7차례 모니터링 한 결과는 Figure 5와 같다. 토양수분함량 변화는 C의 경우, 13.30±1.48 %에서 마지막 차수에서는 6.71±1.70 %로 감소하는 추세로 나타났으나 T1~T3까지는 모두 약 2~4% 토양수분 함량이 증가하는 추세로 나타났다. 또한 마지막 모니터링 차수에서 C와 실험구간의 토양수분의 차가 약 10% 이상 차이나는 것으로 조사되었다. C에서는 시간의 흐름에 따라 토양수분이 10% 미만으로 건조한 토양환경이 지속되어, 직사광선에 의한 피해와 동시에 토양수분 스트레스에 영향을 준 것으로 판단된다.

모니터링 차수별 처리구간 토양수분함량의 통계적 유의성은 인정되는 것으로 분석되었다($p<0.01$). 다른 약재식물의 차광처리 선행연구 결과에서도 전광처리구에 속하는 C와 T3처리구간 대기 상대습도가 약 13% 차이가 난 것으로 보아(Lee et al., 2012a, 2012b; Lee et al., 2019), 대기수분환경의 차이는 토양에서도 동일하게 적용되어 유사한 연구결과로 나타났다.

전기전도도 변화는 C, T1의 경우에는 1차 모니터링과 7차 모니터링간 감소하는 것으로 나타났으며, T2, T3에서는 소폭 증가하였다. 1차시

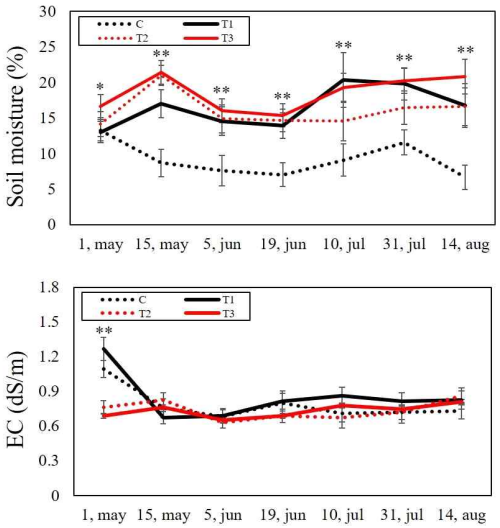

Figure 5. Change of soil moisture and electrical conductivity (ANOVA test was used, duncan's multiple range test; *: $p<0.05$, **: $p<0.01$).

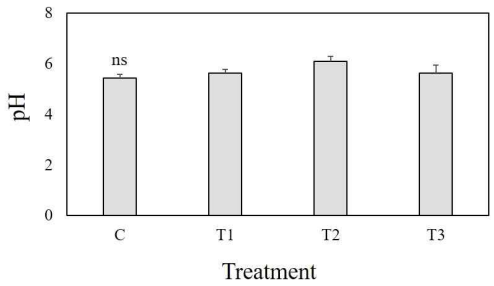

Figure 6. Comparison of soil pH through shading treatment (ANOVA test was used, duncan's multiple range test; $p<0.05$).

모니터링을 제외하고는 나머지 차수에서는 각 처리구간 전기전도도의 큰 차이는 없는 것으로 나타났다($p>0.05$). 차광처리로 인한 전기전도도 변화는 약 0.6~0.8 dS/m의 범위로 나타났다.

토양 pH를 분석한 결과는 Figrue 6과 같다. C는 5.42±0.15, T1은 5.61±0.16, T2는 6.08±0.20, T3는 5.63±0.30 으로 나타나 T2에서 pH가 가장 낮게 나타났으나, 각 처리구간 통계적 유의성은 나타나지 않았다($p>0.05$). The Korea Association of Seedbed Media(2010)에서 발표한 원예용 상토의 pH는 5.5에서 7.0사이로 발표하였는데, 차광처리에 따른 토양화학적 성질 차이는 큰 변화가 없는 것으로 분석되었다.

4. 엽록소 함량

차광처리에 다른 구상나무 묘목의 엽록소함량을 분석한 결과는 Table 1과 같다.

chlorophyll a 함량은

C 4.7257±0.2295 mg·g^{-1} · freshweight,

T1 7.7263±1.3464 mg·g^{-1} · freshweight,

T2 8.3149±0.7000 mg·g^{-1} · freshweight,

T3 8.3672±0.2462 mg·g^{-1} · freshweight로 분석되어 C에서 가장 높은 chlorophyll a 함량으로 나타났으며, 각 처리구별 통계적 유의성이 인정되었다($p=0.029$).

chlorophyll b 함량의 경우

C 1.6032±0.1370 mg·g^{-1} · freshweight,

T1 2.5740±0.2393 mg·g^{-1} · freshweight,

T2 2.8610±0.2184 mg·g^{-1} · freshweight,

T3 3.0706±0.1928 mg·g^{-1} · freshweight로 분석되었으며, 각 처리구별 통계적 유의성이 인정되었다($p=0.003$).

총 엽록소 함량의 결과,

C는 6.3275±0.0663 mg·g^{-1} · freshweight,

T1은 10.2978±1.5853 mg·g^{-1} · freshweight,

T2는 11.1732±0.9141 mg·g^{-1} · freshweight,

T3는 11.4350±0.0803 mg·g^{-1} · freshweight로 분석되었으며, T3에서 가장 높은 총 엽록소 함량으로 나타났으며, 각 처리구별 통계적 유의성이 인정되었다($p=0.014$).

5. 종합고찰

구상나무가 속한 아고산 생태계는 암석노출도가 높고 토양발달이 저조하며, 풍해 및 수분스트

Table 1. Chlorophyll contents in *Abies koreana* on 4 shading treatments. (ANOVA test was used, duncan's multiple range test, '±' means Standard deviation).

contents	chlorophyll a (mg · g^{-1} · freshweight)	chlorophyll b (mg · g^{-1} · freshweight)	Total chlorophyll (mg · g^{-1} · freshweight)
C	4.7257±0.2295^{a}	1.6032±0.1370^{a}	6.3275±0.0663^{a}
T1	7.7263±1.3464^{b}	2.5740±0.2393^{b}	10.2978±1.5853^{b}
T2	8.3149±0.7000^{b}	2.8610±0.2184^{b}	11.1732±0.9141^{b}
T3	8.3672±0.2462^{b}	3.0706±0.1928^{b}	11.4350±0.0803^{b}
F	5.041	10.610	6.598
p-value	0.029	0.003	0.014

레스 등으로 인하여 쇠퇴하고 있으며, 식물종이 생육하기에 취약한 생태환경이다(Hasegawa and Mori, 2007).

또한 구상나무는 관목층에서 교목층으로의 층위구조 발달이 미약하며, 사스래나무와 같은 자작나무류, 청시닥나무와 시닥나무 그리고 부게꽃나무와 같은 음수성 단풍나무류 식물종과의 경쟁으로 향후 임분발달 과정에서 종간 경쟁이 심화될 것이며(Barbour et al., 1987, Park et al., 2021), 이는 곧, 광경쟁으로 이어진다. 이와 같이 구상나무 자생지 환경은 광조건이 생육에 중요한 환경요소 중 하나일 것이며, 광의 정도에 따른 생육특성을 파악하는 것이 중요하다. 따라서 지속가능한 생물다양성 보전을 위하여 현지외보전을 통한 우량 개체를 생산하는 것이 중요하며, 본 연구의 조건인 차광처리에 따른 구상나무 생육특성을 파악하는 것이 의미가 있다.

식물은 각각의 종이 보유하고 있는 고유 기질과 적응상태 그리고 환경에 따라 생육패턴의 변화를 보인다(Salisbury and ross, 1991). 그 중 광량과 생장의 상관관계에 대한 연구는 수종의 광량 선호정도 및 내음성을 확인하기 위한 여러 가지 사례연구가 반복적으로 시행되어 왔으며(Ashton and Berlyn, 1992; Lim et al., 2006; Cho et al., 2007; Cho et al., 2008), 이를 구상나무에 적용하고 검증하는 의미에서 본 연구의 의미가 있다.

차광처리를 통한 생육에서 수고는 T3, T2에서는 직경생장이 가장 높아져, T2 이상에서의 구상나무 생육이 양호한 것으로 나타났다. 조림학적 관점에서 우량목 생산을 위해 수고 생장을 우선 촉진시킨 후 부피생장으로 유도하는 육묘기술을 이용한다(Kozowski and Pallardy, 1997). 이는 교목성 수종 육묘를 위한 기본적인 생육메커니즘이다. 따라서 본 연구결과를 바탕으로 하여 구상나무 묘목은 초기에 T3 차광으로 묘고를 우선 생장시킨 다음, 목표 묘고에 도달한 후, T2 차광으로 바꾸어 부피생장을 촉진시키는 것이 필요할 것으로 판단된다.

내음성 수종은 적은 광량에 적응한 식물일수록 그늘에 의한 생장이 양호한 경향을 나타내는데(Kobe et al., 1995; Cho et al., 2008), 내음성 수종에 속하는 구상나무도 수목생리적 선행연구와 일치하는 것으로 나타났다. 이는 차광효과가 높아진 곳에 적응한 식물체는 줄기부분의 상대적 생장을 증가시켜 부족한 광량을 극복하기 위한 것으로 알려져 있다(Loach, 1970; Kim, 2000). 또한 구상나무는 광량이 약한 처리구 내에서 광경쟁이 강화되면서 광합성 산물이 대부분 묘고 생장에 이용되는 것으로 판단되었다(Cho et al., 2008).

구상나무가 속한 소나무과 목본식물은 정아생장에 있어 유한생장(determinate growth)을 하며, 유한생장을 하는 수종은 한가지당 1년에 한 번 혹은 두세 번 정아가 차례대로 형성되면서 신장한다(Lee, 2007). 소나무과 목본식물은 수목 경쟁이 치열한 울폐된 임분 내에서 수고생장은 수준을 유지하고 있지만 직경생장량은 감소하며, 이로 인하여 피도율이 낮아져 쇠퇴하는 경향이 있다(Bassett, 1966). 따라서 유묘시기에는 약 T2(50%)의 차광으로 수고 생장효과를 증진시킨 다음, 어느 시점에서 직경생장을 촉진시킬 수 있는 환경을 조성해야 하는지에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 차광처리는 구상나무 개체의 생존율을 증진 시키는데도 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

구상나무는 어린 개체시기에는 음수성을 띄고 있어(Lee, 1980) 구상나무 현지외보전원 조성시 중요한 요소로 사료된다. 차광처리에 따른 토양 pH와 EC는 차이가 없는 것으로 나타나 토양 화학적 성질에서는 큰 변화를 발견할 수 없었다. 토양수분은 시간에 따른 처리구간 변화가 있는 것으로 나타났다. 차광처리구의 토양수분 함량은 약 15~20%의 범위였으나, C의 경우 10% 미만의 토양수분 함량으로 나타났는데, 추후 구상나무 건전 개체를 육성하기 위하여 토양

수분 모니터링 시 참고할 만한 기초자료로 판단되었다. 최근 기후변화 시나리오를 적용한 고온 및 고광량의 스트레스에 노출시킨 구상나무 묘목의 생육특성 연구에서 차광처리에 따라 토양수분 및 온도를 조절하여 생존율을 크게 향상시킨 선행연구와 유사한 연구결과를 도출하였다(Park et al., 2023).

일반적인 식물이 토양 내에서 이용 가능한 수분의 함량인 모세관수의 수분함량은 양토기준으로 10%~23% 인 것으로 보아(Lee, 2021) 본 연구의 결과를 뒷받침 한다. 10% 이하의 수분함량을 가지게 될 경우 토양 수분의 함량은 영구위조점(permanent wilting point)에 도달하여 더 이상 수분을 흡수 할 수 없게 되면서 생육이 저조해지고 결국 쇠퇴한다(Lee, 2021). 따라서 구상나무 묘목의 적정 생육을 위하여 토양수분 함량을 연속적으로 모니터링 하는 것이 중요하다.

식물체는 건조 스트레스에 대응하기 위하여 기공을 닫아 수분손실을 최소화하여 생장보다 개체의 생존을 위한 메커니즘이 활성화되나, 연속적인 건조 스트레스는 광합성 활성화를 감소시키고, 엽육세포의 탈수작용을 비롯한 대사작용의 장애를 유발하여 결국 식물체는 고사하게 된다(Taiz and Zeiger, 2006). 엽록소는 광합성을 위한 핵심 구성요소 중 하나이며, 엽록소의 함량은 광합성의 속도와 상관관계가 있다(Guo and Li, 1996). 일반적으로 엽록소 b는 안테나계 색소들과 단백질의 복합체인 광수확복합체(Light harvesting complex)를 구성하는 것으로 알려져 있고, 엽록소 a는 반응중심(Reaction center)을 포함한 핵심복합체(Core complex)에 많이 분포하는 것으로 알려져 있다(Kwon et al., 2003). 또한 엽록소 b가 낮아질수록 안테나 색소로부터 수용하는 광에너지가 낮아져 광합성의 반응 전달의 효율성이 낮아짐을 의미한다(Kwon et al., 2003).

엽록소는 광합성의 필수요소인 엽록체의 구성요소이며, 이는 광합성 효율과 속도와 상관관계가 있다(Guo and Li, 1996). 구상나무와 같은 내음성 식물은 광량이 높을수록 총 엽록소 함량이 낮게 나타나며, 차광처리가 강할수록 총 엽록소 함량이 높게 나타나는 것이 일반적인데(Kim and Lee, 2001; Hansen et al., 2002; Valladares et al., 2002), 본 연구에서도 이와 상응하는 결과로 나타났다. C와 같이 광노출이 높은 조건에서 엽록소 함량이 감소하는 것은 일종의 광보호작용으로 광흡수를 조절하기 때문인 것으로 판단된다(Kyparissis et al., 2000).

구상나무의 온도에 따른 광합성 효율은 15℃ 일 때 가장 높고 25℃ 이상일 때 쇠퇴하기 시작한다(Woo et al., 2008). 이는 광합성에 관여하는 효소반응의 문제로 효소는 단백질로 이루어져, 온도가 높아질수록 효소변성에 의한 광합성의 쇠퇴로 이어진다(Salisbury and Ross, 1991). 아고산침엽수가 기후상승으로 인한 생리적 장애 영향은 *Abies* sp. 및 *Picea* sp.의 식생에서도 동일하게 나타난다(Cairns, 2001; Bertamini et al., 2006). 따라서, 여름철 오전 10시부터 해가 지는 시점, 그리고 여름철 고온의 조건에서 구상나무의 효율적 생산을 위하여 최소 50%이상의 차광조건 환경을 조성하는 것이 중요하다. 차광 조건은 식물체 온도 증감에 큰 영향을 미친다(Salisbury and Ross, 1991). 여름철 구상나무 묘목의 광합성과 기공전도도 등 생리적 활동이 감소하여 차광 처리 도입이 이러한 생리적 기작 스트레스를 완화하는데 도움을 줄 수 있다(Jo et al., 2022).

IV. 결 론

본 연구의 목적은 우리나라 멸종위기 아고산 침엽수인 구상나무를 대상으로, 차광처리에 따른 생육특성을 파악함으로써 지속가능한 시설양묘를 위한 기초자료를 마련하는 것이다. C와 T3와의 대기온도는 약 6℃ 차이가 나는 것으로 나타났으며, 토양수분함량에서도 약 13%의 차이가

나는 것으로 분석되었다. 구상나무의 전광처리구에서만 고사개체가 나타났으며, 나머지 개체에서도 잎마름 등 수목생리적 피해를 받고 있음을 확인할 수 있었다. 근원직경의 생장은 T2, 묘고의 생장은 T3에서 나타나 50%이상의 차광처리구에서 생장이 양호한 것으로 나타났다. 총 광합성 함량은 강차광처리에 따라 높게 나타났으며, 통계적 유의성이 인정되었다(p<0.05). 그러나 이는 단기간의 실험에 의하여 나타나는 경향이며, 추후 장기적인 적응 후 연속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다. 유묘시기에 해당하는 구상나무의 5년차 이상에서는 약 50%이상의 차광효과가 생존과 생장에 유리할 것으로 판단된다.

본 연구는 생육특성과 외부 환경요인 비교를 통한 식물체 영향을 제시한 것에 의의가 있으나, 수목생리적 측면에서의 심화된 연구를 진행하지 못한 것에 대한 것이 한계점이다. 따라서, 환경구배에 따른 기공의 개폐 그리고 광합성 활성정도에 대한 면밀한 심화연구가 필요하다. 또한 기후변화시나리오 챔버를 이용한 시설장비를 이용하여, 기후변화에 따른 구상나무의 생육변화에 대한 실증적 모니터링 데이터가 요구되며, 이러한 연구결과를 바탕으로 기후변화가 생물다양성의 쇠퇴에 대한 중요성을 뒷받침하는 과학적 근거자료를 확보하는 것이 중요하다.

References

Arnon, D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. Plant Physiology 24(1): 1-15.

Ashton, P.M. and G.P. Berlyn. 1992. Leaf adaptations of some Shorea species to sun and shade. *New Phytologist* 121(4): 587-596.

Barbour, M.G. · J.H. Burk and W.D. Pitts. 1987. Terrestrial Plant Ecology. Califonia: Benjamin/Cumings Publish

Bassett, J.R. 1966. Seasonal diameter growth of liblolly pine. *Journal of Forestry* 64: 674-676.

Bertamini E. · K. Muthuchelian and N. Nedunchezhian. 2006. Shade effect alters leaf pigments and photosynthetic response in Norway spruce (*Picea abies* L.) grown under field conditions. *Photosynthetica* 44: 227-234.

Cairns DM. 2001. Patterns of winter desiccation in krummbolz forest of Abies lasiocarpa at treeline sites in glacier national park, Montana, USA. Geografiska Annaler: Series A. *Physical Geography* 83(3): 157-168.

Cho MS · Kwon KW and Choi JH. 2007. Photosynthetic responses and growth performances in the three deciduous hardwood species under different shade treatments. *Journal of Korean Forest Society* 96(4): 462-468. (in Korean)

Cho MS · Kwon KW · Kim GN and Woo SY. 2008. Chlorophyll Contents and Growth Performances of the Five Deciduous Hardwood Species Growing Under Different Shade Treatments. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 10(4): 149-157. (in Korean)

Convention on Biological Diversity. 2024. http://www.cbd.int (2024. 2).

Guo, P. and M. Li. 1996. Studies on photosynthetic characteristics in rice hybrid progenies and their parents. chlorophyll content, chlorophyll -protein complex and chlorophyll fluorescence kinetics. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* 4: 60-65.

Hansen U., Fiedler B., and Rank B. 2002. Variation of pigment composition and antioxidative systems along the canopy light gradient in a mixed beech/oak forest: a comparative study

on deciduous tree species differing in shade tolerance. *Trees* 16: 354-364.

Hasegawa, S.F. and A. Mori. 2007. Structural characteristics of *Abies mariesii* saplings in a snowy subalpine parkland in central Japan. *Tree Physiology* 27(1):141-148.

Jo HJ · Noulèkoun, F. · Khamzina, A. and Chang HN. 2022. Physiological and Shoot Response of Abies holophylla and Abies Koreana Seedlings to Open-Field Experimental Warming and Increased Precipitation. *Water.* 14(3): 356.

Kim GT and GC Choo. 2000. Comparison of Growth Condition of Abies koreana Wilson by Districts. *Journal of Ecology and Environment* 14(1): 80-87 (in korean).

Kim GT · GC Choo and TW Um. 2007. Studies on the Structure of *Abies koreana* Community at Subalpine Zone in Hallasan. *Journal of Ecology and Environment* 21(2): 161-167 (in korean).

Kim JJ. 2000. Studies on optimum shading for seedling cultivation of Cornus controversa and C. walteri. *Journal of Korean Forest Society* 89(5): 591-597.

Kim PG and Lee EJ. 2001. Ecophysiology of photosynthesis 2: adaptation of the photosynthetic apparatus to changing environment. *Korean Journal of Agricultural Forest Meteorology* 3: 171-176. (in Korean)

Klopčič, M · T. Simončič and A. Bončina. 2015. Comparison of regeneration and recruitment of shade-tolerant and light-demanding tree species in mixed uneven-aged forests: experiences from the Dinaric region. Forestry. *An International Journal of Forest Research.* 88(5): 552-563.

Kobe, R.K. · S.W. Pacala · J.A. Silander and C.D. Canham. 1995. Juvenile tree survivorship as a component of shade tolerance. *Ecological Applications* 5(2): 517-532.

Kong WS. 1998. The Distributional Patterns of Alpine Plants of Mt. Halla, Cheju Island, Korea. *Journal of Korean Geographical Society* 33(2): 191-208. (in Korean)

Koo KA and Kim DB. 2020. Review Forty-year Studies of Korean fir (*Abies koreana* Wilson). Journal of Ecolgy and Environment 34(5): 358-371 (in Korean).

Korea Forest Service. 2000. Forest and Forestry Technology 1. Daejeon: Korea Forest Service. (in korean).

Kozowski T.T. · S.G. Pallardy. 1997. Growth Control in Woody Plants. Amsterdam: Elsevier.

Kwon SY · Choi SM · Ahn YO · Lee HS · Lee HB · Park YM and Kwak SS. 2003. Enhanced stress-tolerance of transgenic tobacco plants expressing a human dehydroascorbate reductase gene. *Journal of Plant Physiology* 160(4): 347-353. (in Korean)

Kyparissis A. · P. Drilias and Y. Manetas. 2000. Sea sonal fluctuations in photoprotective (xanthophylls cycle) and photoselective (chlorophylls) capacity in eight Mediterranean plant species belonging to two different growth forms. *Australian Journal of Plant Physiology* 27: 265-272.

Lee HJa. 2007. Effects of Pretreatments on Seed Germination of *Abies koreana*. Korea University master's thesis. (in Korean).

Lee KC · Han SK · Kwon YH · Jeon SR · Lee CW · Seo DJ and Park WG. 2019. Effects of Shading Treatments on Growth and Physiological Characteristics of *Arunces dioicus* var. *kamtschaticus* (Maxim.) H. Hara

Seedling. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 27(1): 30-37. (in Korean)

Lee KC · Lee HB · Park WG and Han SS. 2012a. Physiological Response and Growth Performance of Parasenecio firmus under Different Shading Treatments. *Korean Journal of Agricultural of Forest Meteorology* 14(2): 79-88. (in Korean)

Lee KC · Noh HS · Kim JH · Ahn SY and Han SS. 2012b. Changes of Characteristics Related to Photosynthesis in Synurus deltoides under Different Shading Treatments. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 20(5): 320-330. (in Korean)

Lee KJ. 2021. Tree physiology. Seoul: Seoul National University Press, (in Korean)

Lee TB. 1980. Illustrated Flora of Korea. Seoul: Hyangmonsa. (in Korean).

Lim JH · Woo SY · Kwon MJ · Chun JH and Shin JH. 2006. Photosynthetic capacity and water use efficiency under different temperature regimes on healthy and declining Korean Fir in Mt. Halla. *Journal of Korean Forest Society* 95(6): 705-710. (in Korean)

Loach, K. 1970. Shade tolerance in tree seedlings Ⅱ. Growth analysis of plants raised under artificial shade. *New Phytologist* 69(2): 273-286.

Mackinney, G. 1941. Absorption of light by chlorophyll solutions. *Journal of Biological Chemistry* 140(2): 315-322.

Magurran, A.E. 2004. Measuring biological diversity. New York: Blackwell.

National institute of Forest Science, 2021. Conservation and Restoration Directions for Endangered Genetic Resources -Restoration Cases of Genetic Diversity in *Abies koreana*-. Seoul: National institute of Forest Science. (in Korean)

Park BJ·Kim JD·Lee JW·Cho SW·Heo TI·Lee DH and Byeon JG. 2021. A Study on Correlation between Species Composition and Environmental Factors in *Abies koreana* Forest. *Korean Journal of Plant Resources* 34(2): 144-155. (in Korean)

Park JH · Lim HI · Seo HN and Yoon YH. 2023. Effects of Shading Treatment on Growth of *Abies koreana* Seedlings in High-Environments. *Journal of Environmental Science International.* 32(11): 811-820.

Salisbury, F. and C. Ross. 1991. Plant Physiology (4th edition). Cengage learning: Massachusetts.

Song JH · Lee JJ · Lee KJ · Lee JC and Kim YY. 2007. Variation in Needle Morphology of Natural Population of *Abies nephrolepis* Maxim. and *A. koreana* Wilson in Korea. *Korean Society Forest Science.* 96(4): 387-392. (in Korean)

Taiz, L. and E. Zeiger. 2006. Plant Physiology 4th ed. Massachusetts: Sinauer Associates.

The Korea Association of Seedbed Media. 2010. http://www.sangto.org (2024. 2).

Valladares, F. · J.M. Chico · I. Aranda · L. Balaguer · P. Dizengremel · E. Manrique and E. Dreyer. 2002. The greater seedling high-light tolerance of *Quercus robur* over Fagus sylvatica is linkes to a greater physiologi cal plasticity. *Trees* 16: 395-403.

Woo SY · Lim JH and Lee DK. 2008. Effects of temperature on photosynthetic rates in Korean fir (*Abies koreana*) between healthy and dieback population. *Journal of Integrative Plant Biology* 50(2): 190-193. (in Korean)