

증식 및 복원을 위한 기후변화조건에서 수분과 유기물에 따른 멸종위기식물 죽절초(*Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai)의 생태적 반응 연구^{1a}

이수인² · 이응필² · 정영호² · 김의주² · 이재근² · 이승연² · 박재훈³ · 이상훈⁴ · 유영한^{2*}

Study of Ecological Response of Endangered *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai according to Moisture and Nutrient under Condition of Climate Change for Propagation and Restoration^{1a}

Soo-In Lee², Eung-Pill Lee², Young-Ho Jung², Eui-Ju Kim², Jae-Keun Lee², Seung-Yeon Lee², Jae-Hoon Park³,
Sang-Hun Lee⁴, Young-Han You^{2*}

요약

기후변화에 대비한 멸종위기식물인 죽절초에 대한 정책 마련과 증식 및 복원을 위한 기초자료를 제공하고자 CO₂ 농도와 온도가 상승하였을 때 수분과 유기물 처리에 따른 죽절초의 생육반응을 알아보고 생태적 지위폭의 변화를 확인하였다. 대조구와 처리구(CO₂농도 상승+온도 상승)로 나누었고 그 내에서 각각 수분 구배와 유기물 구배를 두어 실험을 진행하였다. 그 결과, 대조구에서 수분 구배와 유기물 구배에서 생태적 지위폭이 각각 0.899, 0.844이었고, 지구온난화가 진행되었을 때, 수분 구배와 유기물 구배에서 각각 6.60%(0.988), 2.09%(0.858)로 더 넓어졌다. 이러한 결과로 보아, 지구온난화가 진행된다면 죽절초의 생육에 수분과 유기물은 제한요인이 되지 않을 것이다. 하지만, 생육반응에 대한 연구결과에서 죽절초는 유기물이 함량이 낮은 조건(0~5%)보다는 약간 높은 조건(10%)을 선호하기 때문에, 외부환경에 영향을 받지 않는 온실에서 증식을 시킬 때는 유기물의 함량을 약 10%로 조성해주는 것이 죽절초의 개체 복원을 위해서 좋을 것으로 생각된다. 또한 상대적으로 유기물함량이 높은 죽절초의 자생지 상록활엽수림을 보호해야할 필요가 있다.

주요어: 지구온난화, 온실, 상록활엽수림, 죽절초

ABSTRACT

The purpose of this paper is to provide reference data about propagation, restoration, and preparation of policy of endangered *Sarcandra glabra* (Thunb.) Nakai by investigating growth response and variation of ecological niche breadth according to moisture and nutrient under the condition of elevated CO₂ concentration and elevated temperature. We divided the investigation into the controlled group and treated group (elevated CO₂ concentration and elevated temperature) and then varied the moisture and nutrient treatment for testing. The results showed that the ecological niche breadth was wide at moisture and nutrient gradients of 0.899 and 0.844,

1 접수 2017년 10월 16일, 수정 (1차: 2017년 11월 20일, 2차: 2017년 12월 21일, 3차: 2018년 1월 8일), 게재확정 2018년 1월 19일
Received 16 October 2017; Revised (1st: 20 November 2017, 2nd: 21 December 2017, 3rd: 8 January 2018); Accepted 19 January 2018

2 공주대학교 생명과학과 Dept. of Life Science, Kongju National University, Gongju 32588, Korea

3 국립생태원 생태보전연구실 National Institute of Ecology, Seoecheon 33657, Korea

4 국립생태원 생태기반연구실 National Institute of Ecology, Seoecheon 33657, Korea

a 본 연구는 국립생태원 2017 생태계 기후변화 조사연구(NIE-기반연구-2017-21)의 지원을 수행되었습니다.

* 교신저자 Corresponding author: youeco21@kongju.ac.kr

respectively, under control. Also, the ecological niche breadth regarding the moisture and nutrient gradients under treatment simulating global warming was wider as 6.60% and 2.09%, respectively. Therefore, moisture and nutrient will not be the restriction factors concerning the growth of *Sarcandra glabra* under continued global warming. However, it will be advisable to specify the nutrient content condition in the soil to be 10% for population restoration when growing *Sarcandra glabra* in the green house which is not affected by external environment since the studies of rearing reaction reported that *Sarcandra glabra* prefer 10% of nutrient content than 0-5%. Furthermore, it is necessary to protect evergreen broad-leaved forest where is the natural habitat of *Sarcandra glabra* that has relatively high nutrient content.

KEY WORDS : GLOBAL WARMING, GREEN HOUSE, EVERGREEN BROAD-LEAVED FOREST, *Sarcandra glabra*

서론

인위적인 온실가스의 배출량은 산업화 시대 이전부터 계속해서 증가해왔으며, 이산화탄소, 메탄 그리고 아산화질소의 대기 중 농도는 지난 80만년 내 최고의 수준을 보이고 있다(IPCC, 2014). 특히, 화석연료의 사용 등으로 발생하는 이산화탄소의 배출량은 1970년부터 2010년까지 전체 온실가스 배출량 증가의 약 78%를 차지하였다(IPCC, 2014). 이러한 영향은 식물의 생육과 생리적인 특성을 변화시키고, 그 결과 생태계의 구조와 기능에 직접적 영향을 준다(Florides and Christodoulides, 2009; He *et al.*, 2005; Idso *et al.*, 1987). 기후변화가 계속 진행됨에 따라서 21세기 중 후반에는 많은 종들이 멸종 위기에 처할 것이며, 다른 스트레스 요인들과 기후변화간의 상호작용이 발생하면 종의 멸종위험은 더욱 커질 것이다(IPCC, 2014).

온난화에 따른 생물의 멸종은 생물의 적응능력 부족이 중요한 요인으로 작용한다(Kim, 2012). 특히, 멸종위기종들은 형태·생리학적으로 스트레스에 매우 약하므로(Lavergne *et al.*, 2004), 환경요인에 대한 이들의 반응을 주시할 필요가 있다. 기후변화 적응은 인류 및 생태계가 기후변화로 생긴 충격을 적게 받도록 대체하는 일을 말한다(Hubalek, 2004). 기후변화 적응을 위한 생물종별 정책을 마련하고, 작게는 증식 및 복원을 위해서 기후변화 조건에서 이들이 어떻게 반응하는지에 대한 구체적인 연구가 필요하다. 이를 위해서는 이들의 자생지에 대한 연구 등 야외 연구와 함께 인위적인 환경 조성이 가능한 온실에서의 연구가 필수적이다.

온실이라는 특수한 환경은 외부의 환경보다 높은 온도를 유지할 수 있으며, 야외에서 실험하는 것보다 효율적으로 CO₂농도를 상승시킬 수 있는 특성을 가지고 있기 때문에 기후변화에 대한 식물의 생육반응을 모니터링 하는데 유리하다. 특히 유리온실은 플라스틱온실보다 투과되는 광량이

높기 때문에(Jeong *et al.*, 2009), 실험을 진행하기에 더 적합하다. 현재 국내에서는 유리온실에서 기후변화에 대한 식물의 생육반응에 대한 많은 연구가 진행되었지만, 이 중 멸종위기식물에 대한 기후변화연구는 단양쭉부쟁이(Han *et al.*, 2012), 독미나리(Park *et al.*, 2014), 섬시호(Ahn *et al.*, 2016), 선제비꽃(Jang *et al.*, 2013) 그리고 황근(Lee *et al.*, 2017) 등이 있을 뿐이다. 따라서, 인위적으로 환경 조절이 가능한 온실에서 다른 종들에 비해 기후변화에 취약한 멸종위기종에 대한 연구가 우선적으로 수행되어야 한다.

본 연구 대상종인 죽절초(*Sarcandra glabra*)는 홀아비꽃대과에 속하는 상록활엽관목으로 국내에서는 제주도의 상록수림의 계곡사면과 가거도의 회룡산 능선 끝자락에 극소수의 개체가 생육하는 등 분포지가 한정되어 있다(Kim *et al.*, 2012). 무분별한 채취로 인해 환경부지정 멸종위기야생생물 II 급으로 지정되어 있다(Ministry of Environment, 2012). 세계적으로는 중국, 대만, 인도, 필리핀, 일본 남부 그리고 말레이시아에 분포한다(Krussmann, 1984). 내음성인 죽절초는 광조건이 생육의 중요한 환경요인으로 작용하므로, 비움처리시 죽절초의 생육(Son *et al.*, 2005), 광량에 따른 죽절초의 생리적인 반응(Choi *et al.*, 2014; Je *et al.*, 2006) 등 광 조건에 대한 연구와 온도처리에 따른 생육특성(Kil *et al.*, 2012) 등에 대한 연구가 진행되었지만, 기후변화 조건에서 죽절초의 생육특성에 대한 구체적인 연구는 보고되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 기후변화에 대비한 멸종위기식물인 죽절초에 대한 정책 마련과 증식 및 복원을 위한 기초자료를 제공하고자 CO₂ 농도와 온도가 상승하였을 때 수분과 유기물 처리에 따른 죽절초의 생육반응을 알아보고자 하였다.

연구방법

1. 환경요인

1) 환경처리

환경처리는 일반 대기 조건인 대조구와 상승된 CO₂농도와 상승된 온도를 처리한 처리구로 하였다. 대조구의 CO₂농도와 온도는 대기 중의 환경을 그대로 반영하였다. 그리고 처리구의 CO₂농도는 호스를 연결하여 CO₂가스통으로부터 온실 내에 CO₂가스를 주입하였다(Fig.1). 본 연구에서는 이산화탄소의 농도가 약 600ppm이 될 것으로 예상하는 B2시나리오를 반영하였다(IPCC, 2007). B2시나리오는 지역공존형 사회 시나리오라고 불리며 경제, 사회 및 환경의 지속가능한 발전에 가치를 두고 있다(IPCC, 2007). 처리구의 온도는 온실 내의 환경을 그대로 반영하였다.

대조구와 처리구내에서 수분과 유기물의 구배를 두었다. 수분 구배는 화분의 포장용수량인 700mL를 기준으로 낮은 수분조건(M1, 100mL), 약간 낮은 조건(M2, 300mL), 약간 높은 조건(M3, 500mL) 그리고 높은 조건(M4, 700mL)로 매일 오전과 오후에 각 1회씩 공급하였다. 수분 구배의 토양은 동일한 입자크기의 건조된 모래를 사용하였다. 유기물 구배는 동일한 입자크기의 건조된 모래(100%)를 기준으로 유기질비료(주, 몬산토코리아)를 섞어 유기물을 처리하지 않은 비처리 조건(N0, 0%), 약간 낮은 조건(N1, 5%), 약간 높은 조건(N2, 10%) 그리고 높은 조건(N3, 20%)으로 하였다. 유기물 구배의 수분은 포장용수량인 700mL를 매일 오전과 오후에 각 1회씩 공급하였다.

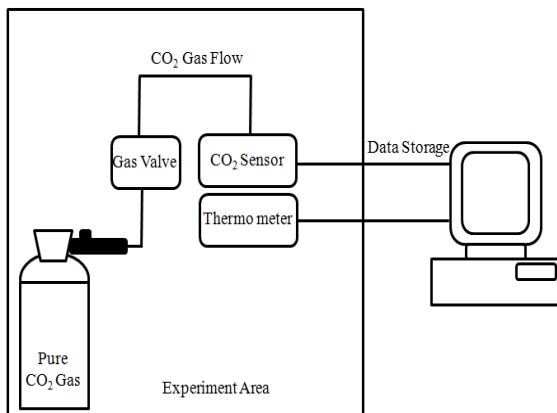


Fig 1. Methods of CO₂ supply in experiment area and environmental data monitoring.

2) 환경데이터 모니터링

CO₂농도는 온실 안과 밖에 설치된 CO₂센서(TEL-7001, Onset computer, USA)를 사용하여 30분 간격으로 모니터

링 하였고, 온도는 온도데이터로거(TR-71U, T&D, Japan.)를 이용하여 모니터링 하였다(Fig.1). 대조구와 처리구의 평균 CO₂농도와 온도는 각각 396±114ppm과 16.2±7.6℃이었으며, 처리구는 677±251ppm과 16.7±7.5℃이었다(Fig.2).

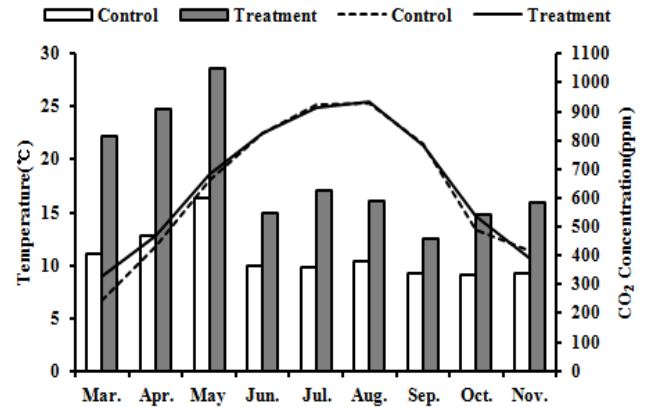


Fig 2. Average monthly CO₂ concentration and temperature in two environmental condition(control and treatment) from March to November. The histograms mean CO₂ concentration and the line graphs mean temperature in control and treatment.

2. 재배 및 측정

본 연구에서 죽절초의 종자를 환경부 지정 서식지의 보전 기관에서 분양을 받은 후 발아시켜 사용하였고, 그 중 지상부 길이가 약 2cm인 개체들을 선별하였다. 2011년 3월에 원형 백색 플라스틱 화분(직경 20cm × 높이 25cm)에 4개체씩 이식하여 각 환경구배당 3개의 화분을 처리하여 2011년 11월 말까지 실험을 진행하였다. 생육상태를 확인하기 위하여 2011년 11월에 지상부 길이(cm), 잎 수(ca) 그리고 고사율(%)을 측정하였다.

$$\text{고사율}(\%) = \frac{\text{고사한 개체 수}}{\text{전체 개체 수}} \times 100$$

3. 생태적 지위폭

본 연구에서는 대조구와 처리구내에서 수분 구배와 유기물 구배에 따라 생육한 죽절초에 대하여 생태적 지위폭의 변화양상을 파악하고자 각 환경 구배별 각 형질의 평균치를 Levin(1968)의 식에 적용하여 생태적 지위폭을 계산하였다.

$$B = 1/\sum (P_i)2S$$

B: niche breadth (Levins' B)

Pi: relative response of a given species to the whole gradients that is realized in gradient i

S: total number of gradients

4. 통계분석

정규분포 여부를 Kolmogorov-smirnov test를 이용하여 확인하였고, 정규분포를 따르지 않아($p < 0.05$) 비모수 통계 분석(Nonparametric analysis)을 실시하여 각 환경구배별 차이를 확인하였다. 구배별 차이의 유의성은 Mann-Whitney U Test와 Median Test로 확인하였다. 또한 지상부 길이와 잎 수와의 상관관계를 알아보기 위해 상관분석과 회귀분석을 실시하였다. 모든 통계적 분석은 STATISTICA 7(Statsoft, Inc., Tulsa, OK, USA)을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 생육반응

1) 수분함량에 따른 반응

대조구내에서 지상부 길이는 수분 100mL(M1)에서 300mL(M2)까지 증가하다가 500mL(M3)부터 다시 짧아지는 경향을 보였다(Fig.3a). 이는 죽절초와 유사하게 음지를 선호하는 인삼의 지상부 길이가 포장용수량 기준 수분함량이 51% 수준에서 가장 길었다가 토양수분이 많아지거나 적어짐에 따라 감소한 결과와 유사하다(Lee *et al.*, 2007). 처리구내에서 지상부 길이는 차이가 없었다(Fig.4a). 이는 CO₂ 농도와 온도가 상승함에 따라 수분에 대한 생육반응의 내성 범위가 넓어졌기 때문이다.

대조구내에서 잎 수는 수분이 100mL(M1)에서 500mL(M3)까지 8.1±1.7개에서 13.5±2.1개로 증가하다가 700mL(M4)에서 10.2±2.5개로 감소하였으나 통계적인 차이는 없었다(Fig.3a). 처리구내에서도 대조구의 결과와 유사한 경향을 보였으며 통계적인 차이는 없었다(Fig.3a). 수분결핍과 수분증기압의 감소는 죽절초의 잎에 있는 기공을 닫히게 하여 광합성율의 감소와 연관될 수 있다(Je *et al.*, 2006). 즉, 낮은 수분함량은 탄소동화율 감소시켜 줄기길이와 잎 수 등의 생육을 상대적으로 저하시킬 수 있으며, 이는 다시 광합성에 큰 영향을 준다(Lawlor and Mitchell, 1991). 이러한 반응은 대조구와 처리구내에서 수분이 100mL에서 잎 수가 상대적으로 적었던 것을 설명할 수 있다(Fig.3a). 하지만, 본 연구결과에서 수분이 700mL(M4)일 때 다시 잎의 수가 감소를 하였다(Fig.3a). 이는 식물체가 건조스트레스

를 받을 때와 같이 과도한 수분을 받으면 엽육의 수분포텐셜이 감소하므로 수분손실을 최소화하기 위해 기공이 닫히게 되며 결과적으로 광합성률의 감소를 야기하기 때문이다(Bennet and Albrecht, 1984; Boyer, 1970).

2) 유기물함량에 따른 반응

대조구내에서 죽절초의 지상부 길이는 유기물함량이 0%(N0)에서 5%(N1)까지 짧아지다가 함량이 10%(N2)에서 가장 길었고 높은 20%(N3)에서 가장 짧았다(Fig.3b). 또한 처리구내에서 지상부 길이는 0%(N0)에서 증가하다가 5%(N1)에서 다시 감소하고 10%(N2)에서 또 다시 증가하다 20%(N3)에서 감소하는 경향을 보였지만 통계적인 차이는 없었다(Fig.3b). 대조구와 처리구내에서 모두 유기물의 함량이 10%(N2)에서 지상부 길이가 길었다(Fig.3b). 죽절초는 남쪽의 상록활엽수림이 발달한 곳에서 생육한다(Kim *et al.*, 2012; Song *et al.*, 2012; Kim, 2007). 2010년에 Chung 등과 Lee 등의 난온대 상록활엽수림의 토양유기물 함량에 대한 보고에 따르면, 난온대 상록활엽수림의 유기물 함량은 우리나라의 일반적인 산림토양의 유기물 함량인 4.49%와 비교하였을 때(Jeong, 2002), 5.21~13.71%로 상대적으로 높다. 그렇기 때문에 죽절초의 생육 반응은 토양 내 유기물함량이 10%일 때 가장 내성범위가 넓어졌기 때문이라고 판단된다.

대조구내에서 죽절초의 잎 수는 유기물함량 0%(N0)에서 5%(N1)까지 14.6±5.3개에서 19.5±6.4개로 증가하다가 20%(N3)까지 11.9±5.7개로 감소하는 경향을 보였으나 통계적인 차이는 없었다(Fig.3b). 처리구내에서도 대조구의 결과와 유사한 경향을 보였으며 통계적인 차이는 없었다(Fig.3b). 본 연구에서 처리된 5%(N1)는 일반 산림토양보다 유기물함량이 약간 높고, 10%(N2)는 죽절초의 자생지 환경과 유기물 함량이 유사하다. 그렇기 때문에 잎 수가 증가하는 경향이 있었던 것으로 판단되며, 죽절초는 높은 유기물 함량을 필요로 한다는 것을 알 수 있다.

3) CO₂농도 상승과 온도상승에 따른 반응

각 환경구배간 대조구와 처리구를 비교하였을 때, 수분이 100mL(M1)내에서 죽절초의 지상부 길이는 처리구가 대조구보다 길었다(Fig.3b). 나머지 구배(300mL(M2), 500mL(M3) 그리고 700mL(M4))에서도 처리구가 대조구보다 길었으나 통계적인 차이는 없었다(Fig.3b). 유기물 처리에서 죽절초의 지상부 길이는 유기물 함량이 20%(N3)내에서 처리구가 대조구보다 길었다. 나머지 구배(0%(N0), 5%(N1) 그리고 10%(N2))내에서도 처리구가 대조구보다 길었지만 통계적인 차이는 없었다(Fig.3b).

이는 일반대기조건보다 CO₂농도와 온도를 상승시켰을

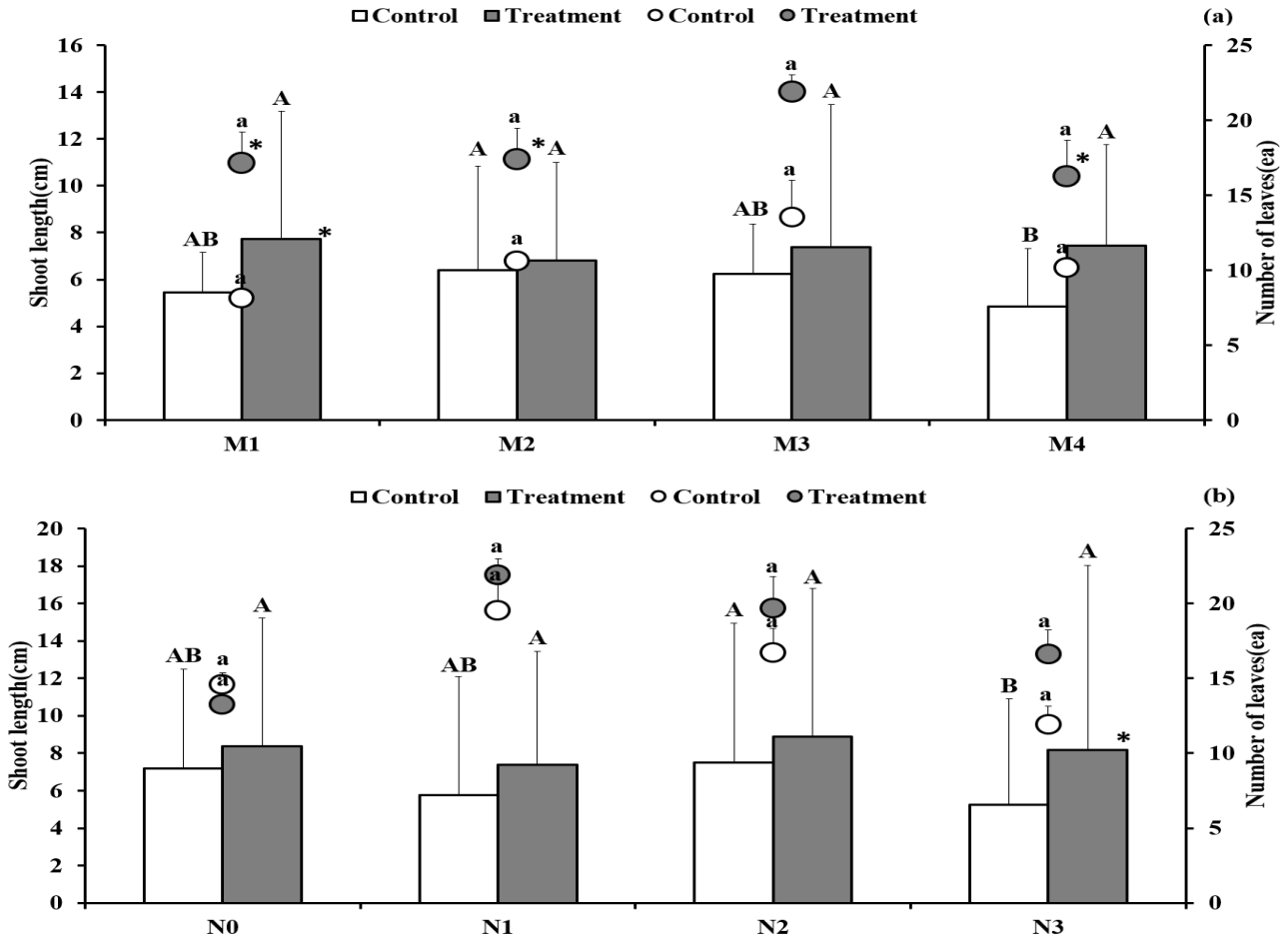


Fig 3. Shoot length and number of leaves of *Sarcandra glabra* according to environmental treatment((a)moisture and (b)nutrient)) under control and treatment. Bar shows shoot length and circle shows the number of leaves respectively of *Sarcandra glabra*. Uppercase means significant difference regarding shoot length among gradients((a) moisture and (b) nutrient) in control and treatment. Lowercase means significant difference regarding number of leaves among gradients in control and treatment. “*” means significant difference between control and treatment.

때 지상부 길이가 길었던 독미나리와 유사하다(Park *et al.*, 2014). 일반적으로 CO₂ 농도 상승은 식물체에 공급되는 CO₂의 양이 많아져 광합성 속도가 증대되고 그에 따라 식물의 성장을 증진시킨다(Park, 1993; Park, 2003). 따라서 CO₂농도와 온도가 상승하면 지상부 길이가 길어질 것이다.

각 환경구배간 대조구와 처리구를 비교하였을 때, 수분 500mL(N3)을 제외한 모든 구배(100mL(M1), 300mL(M2) 그리고 700mL(M4))에서 처리구가 대조구보다 잎 수가 많았다(Fig.3b). 수분 500mL(M3)에서 죽절초의 잎 수는 처리구가 대조구보다 많은 경향이 있었으나 통계적인 차이는 없었다(Fig.3b). 특히, 수분함량이 약간 높은 조건을 제외한 3구배(100mL(M1), 300mL(M2), 700mL(M4))에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났는데, 이를 보아 CO₂농도 상승과 온도상승은 죽절초의 수분함량에 대한 내성의 범위를

넓힌다. 유기물 처리에서 0%를 제외한 모든 구배에서 처리구가 대조구보다 잎 수가 많은 경향이 있었으나 통계적인 차이는 없었다(Fig.3b). 이는 CO₂농도와 온도를 상승시킨 곳에서 일반대기조건보다 잎 수가 많았던 섬시호의 결과와 유사하다(Ahn *et al.*, 2016). 또한 beech, paper birch, black cherry, sugar maple 그리고 hemlock가 상승된 CO₂ 농도로 인해 생물량이 증가하였고 반대로 pine은 감소하였다(Bazzaz, *et al.*, 1990). 이러한 것으로 보아 CO₂농도 상승에 대한 식물의 생장은 종에 따라 차이가 있는 것으로 보인다(Leadley *et al.*, 1999).

수분처리에 대한 지상부 길이와 잎 수는 대조구내에서 상관관계가 없었으나 처리구내에서 정의 상관관계를 나타냈다(Fig. 4a, b). 유기물처리에 대한 지상부 길이와 잎 수는 대조구내에서 정의 상관관계가 있었으나 처리구내에서 상

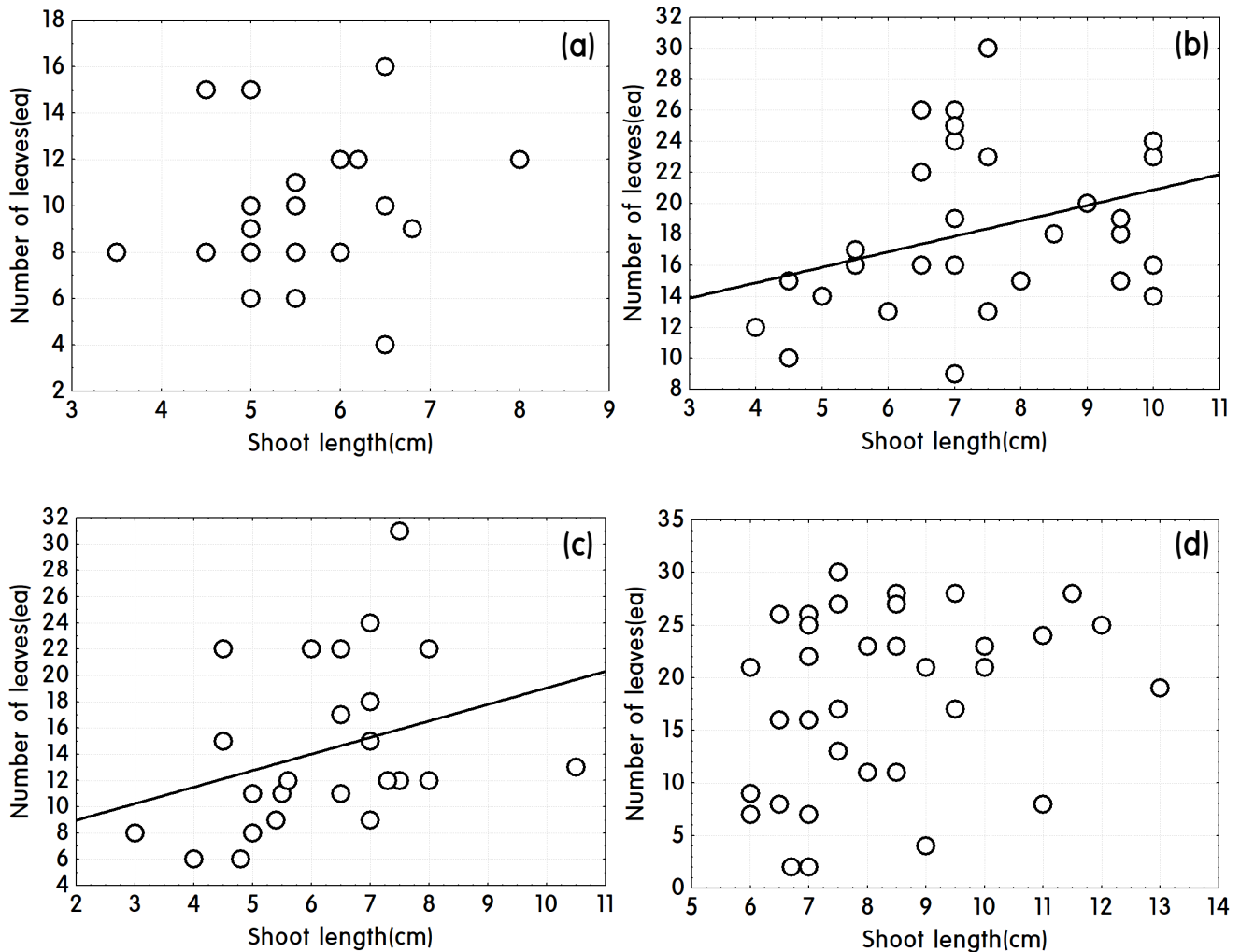


Fig 4. Regression analysis between shoot length and number of leaves according to moisture in control(a) and treatment(b) and according to nutrient in control(c) and treatment(d) ($p < 0.05$).

관관계가 없었다(Fig. 4c, d). 이로 보아 지상부 길이와 잎수와 상관성은 CO₂농도와 온도가 아닌 수분과 유기물이 기여하는 것으로 판단된다.

2. 고사율

대조구내에서 죽절초는 수분 구배에서 M3(83.33%)>M2(58.33%)>M4(50%)>M1(33.33%) 순으로 수분 500mL(M3)에서 고사율이 가장 높았으며, 수분 100mL(M1)에서 고사율이 가장 낮았다(Fig.5a). 이는 죽절초의 지상부 길이와 잎수에 대한 앞선 결과와 상반되는 결과이지만(Fig.3), 본 연구결과에서 생태적 지위폭의 범위를 보면 수분함량에 대하여 죽절초는 생태적 지위가 넓게 나타났(Fig.6).

대조구내에서 죽절초는 유기물 구배에서 N1(83.33%)>

N0(58.33%)>N2(33.33%)>N3(8.33%) 순으로 5%에서 고사율이 가장 높았으며, 20%에서 고사율이 낮았다(Fig.5b). 상대적으로 죽절초의 고사율이 적은 유기물함량 10%와 20%는 죽절초가 생육하고 있는 난온대 상록활엽수림의 토양의 유기물함량과 유사하므로(Chung *et al.*, 2010; Lee *et al.*, 2010) 이러한 결과가 나타난 것으로 생각된다.

처리구내에서 죽절초는 수분 구배에서 M1(41.67%)>M2(33.33%)=M3(33.33%)=M4(33.33%) 순으로 수분100mL(M1)에서 고사율이 가장 높았다(Fig.5a). 그리고 유기물 구배에서 N0(66.65%)>N1(33.33%) 순으로 고사율이 높았으며, N2와 N3에서는 고사한 개체가 없었다(Fig.5b).

각 환경 구배간 대조구와 처리구를 비교하였을 때, 죽절초는 수분 100mL(M1)를 제외한 모든 구배(300mL(M2), 500mL(M3) 그리고 700mL(M4))에서 대조구가 처리구보

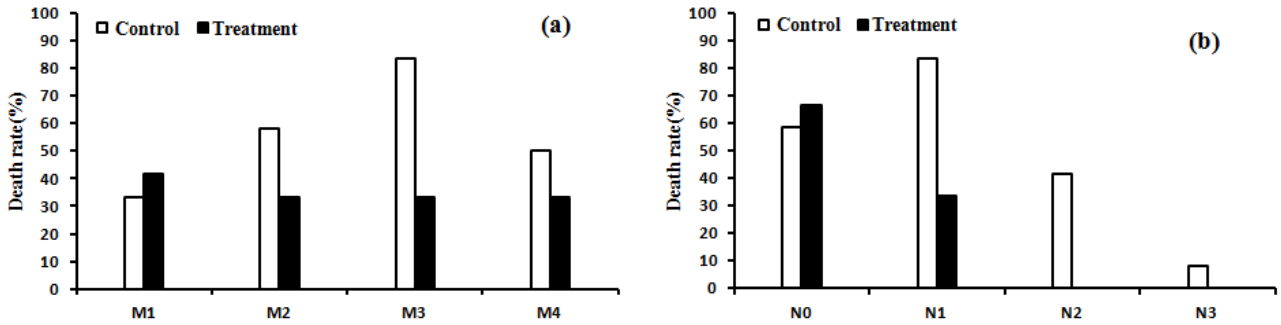


Fig 5. Death rate of *Sarcandra glabra* according to environmental treatment((a)moisture and (b)nutrient) under control and treatment.

다 고사율이 높았다(Fig.5a). CO₂농도 상승이 광합성률은 증가시킬 수 있지만(Park, 1993; Park, 2003), 온도상승은 증산을 위해 기공을 열리게 하므로, 수분이용효율이 낮아질 수 있다. Lee *et al*(2013)에 따르면, CO₂농도 상승과 온도상승은 백합나무의 수분이용효율을 저하시켰다. 이는 수분 100mL(M1)에서 처리구에서 고사율이 높았던 이유를 설명할 수 있다. 하지만 다른 구배에서는 대조구가 처리구보다 고사율이 높았다.

유기물 구배의 경우 0%(N0)을 제외한 모든 구배(5%(N1), 10%(N2) 그리고 20%(N3))에서 대조구가 처리구보다 고사율이 높았다(Fig.5b). 0%(N0)에서는 대조구보다 처리구에서 고사율이 높았는데, 이는 온도가 높을수록 토양 내 유기물 분해가 빨라지면서(Wennman and Katterer, 2006) 식물체가 이용할 유기물이 적기 때문이다(Lee *et al.*, 2017). 반대로 높은 유기물의 함량에서는 온도가 높을수록 분해가 빠르더라도 이용할 수 있는 유기물이 많기 때문에, 상반된 결과가 나온 것으로 생각된다.

3. 생태적 지위폭

생태적 지위폭은 대조구와 처리구에서 각각 수분(0.899) > 유기물(0.844), 수분(0.988) > 유기물(0.858) 순으로 나타났다(Table. 1). 죽절초의 생태적 지위폭은 대조구보다 처리구에서 수분 구배 6.60%, 유기물 구배 2.09%로 넓어졌다(Fig.6). 현재 국내에서 죽절초가 자생하고 있는 곳은 제주도의 상록활엽수림 계곡 사면과 가거도 회룡산 능선의 상록활엽수림 아래로(Kim *et al.*, 2012), 2개의 생육지는 상록활엽수림이라는 공통점을 가지며 수분함량은 차이가 난다. 이러한 자생지특성과 본 연구의 결과로 보아 죽절초는 수분함량에 대한 내성의 범위가 넓은 것을 알 수 있으며(Table. 1), CO₂농도 상승과 온도상승은 죽절초의 수분함량에 대한 내성의 범위를 더 넓게 하므로(Fig.6), 죽절초의 분포에서 CO₂농도 상승과 온도상승으로 인한 지구온난화가 진행되

었을 때, 수분함량은 제한요인이 되지 않을 것으로 보인다.

유기물함량 0%(N0)를 제외한 모든 유기물 구배에서 대조구보다 처리구에서 생육이 양호하였던 본 연구결과와 상록활엽수림에 자생하는 죽절초의 특성으로 보아 지구온난화는 유기물이 없거나 일반적인 산림토양에서는 죽절초의 생육을 저하시킬 수는 있지만, 유기물 구배에 대한 생태적 지위폭은 지구온난화 조건에서 2.09%로 약간 넓어진 것을 확인 할 수 있었다(Fig.6).

Table 1. Ecological niche breadth comparison of *Sarcandra glabra* according to environmental factor (moisture and nutrient) under control and treatment

Character	Control		Treatment	
	Moisture	Nutrient	Moisture	Nutrient
Shoot length	0.874	0.828	0.998	0.863
Leaves number	0.924	0.859	0.979	0.854
Mean	0.899	0.844	0.988	0.858
±S.D.	0.035	0.022	0.014	0.007

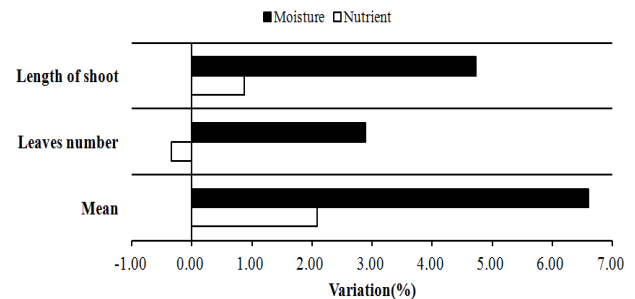


Fig 6. Variation of the ecological niche breadth of two characters of *Sarcandra glabra* under treatment conditions relative to control.

결론

본 연구결과에서 CO₂농도 상승과 온도 상승에 따른 개체의 생육은 전반적으로 대조구보다 처리구에서 양호했던 것을 확인하였고 수분과 유기물에 대한 생태적 지위폭 역시 넓어진 것을 확인하였다. 따라서, 지구온난화가 진행된다면 죽절초의 생육에 수분과 유기물은 제한요인이 되지 않을 것이다. 하지만 죽절초는 유기물의 함량이 낮은 조건(0~5%)보다는 약간 높은 조건(10%)을 선호하므로, 외부환경에 영향을 받지 않고 온실에서 토양 내 유기물 함량을 10%로 조성하여 죽절초의 복원 및 증식을 해야 한다. 또한 유기물함량이 높은 이들의 자생지인 상록활엽수림을 보호해야 할 필요가 있다.

REFERENCES

- Ahn, K.H., Y.H. You, and K.T. Cho(2016) Growth response to Light, Moisture and Nutrients for the Conservation Measures of *Bupleurum latissimum*(Apiaceae, endangered species) under Future Climate Environment(Elevated CO₂ Concentration and Temperature). *Korean Journal of Environment and Ecology* 30(5): 803-809. (in Korean with English abstract)
- Bazzaz, F.A., J.S. Coleman and S.R. Morse(1990) Growth responses of seven major co-occurring tree species of the northeastern United States to elevated CO₂. *Canadian Journal of Forest Research* 20(9): 1479-1484.
- Bennett, J.M. and S.L. Albrecht(1984) Drought and flooding effects on N₂ fixation, water relations, and diffusive resistance of soybean. *Agronomy journal* 76(5): 735-740.
- Boyer, J.S. (1970) Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. *Plant physiology* 46(2): 236-239.
- Choi, S.M., H.C. Shin, J.H. Yoon, and Y.B. Park(2014) Shade Tolerance Assessment with Light Intensity of Broad-Leaved Evergreen three species. *Korean Forest Society* 121. (in Korean with English abstract)
- Chung, J.M., H.R. Jung, J.T. Kang and H.S. Moon(2010) Vegetation Structure and Soil Characteristic around *Camellia japonica* Stand in Hakdong, Geoje Island. *Journal of Agriculture & Life Science* 44(3): 31-40. (in Korean)
- Florides, G.A. and Christodoulides, P.(2009) Global warming and carbon dioxide through sciences. *Environment International* 35: 390-401.
- Han, Y.S., H.R. Kim and Y.H. You(2012) Effect of Elevated CO₂ Concentration and Temperature on the Ecological Responses of *Aster altaicus* var. *uchiyamae*, Endangered Hydrophyte. *Journal of Wetlands Research* 14(2): 169-180. (in Korean)
- He, J.S., Kelly, Wolfe-Bellin S, Bazzaz(2005) Leaf-level physiology, biomass and reproduction of *Phytolacca americana* under conditions of elevated CO₂ and altered temperature regimes. *International J. of Plant Sciences* 166(4): 615-622.
- Hubalek, Z.(2004) An annotated checklist of pathogenic microorganisms associated with migratory birds. *Journal of Wildlife Diseases* 40(4): 639-659.
- Idso, S.B., B.A. Kimball, M.G. Anderson and J.R. Mauneyv(1987) Effect of atmospheric CO₂ enrichment on plant growth: the inter- action role of air temperature. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 20: 1-10.
- IPCC. (2007) *Climate change 2007: Mitigation of Climate Change. Contribution Working Group III Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge university press, Cambridge, New york, USA. 863.
- IPCC. (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)].* IPCC, Geneva, Switzerland, 151.
- Jang, R.H., S.H. Lee, Y.S. Han, K.T. Cho and Y.H. You(2013) Ecological Response of the endangered aquatic plant, *Viola raddeana* Regal, to Effect of Increased CO₂ Concentration and Air Temperature. *Journal of Wetlands Research* 15(3): 381-386. (in Korean)
- Je, S.M., S.G. Son, S.Y. Woo, K.O. Byun and C.S. Kim(2006) Photosynthesis and Chlorophyll Contents of *Chloranthus glaber* under Different Shading Treatments. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 8(2): 54-60. (in Korean)
- Jeong, J.H., K.S. Koo, C.H. Lee and C.S. Kim(2002) Physiochemical properties of Korean forest soils by regions. *Journal of Korean Forest Society* 91(6): 694-700. (in Korean)
- Jeong, W.J., J.H. Lee, H.C. Kim and J.H. Bae(2009) Dry Matter Production, Distribution and Yield of Sweet Pepper Grown under Glasshouse and Plastic Greenhouse in Korea. *The Korean Society for Bio-Environment Control Quarterly* 18(3): 258-265.
- Kil, M.J., S.Y. Choi and Y.S. Kwon(2012) Dwarfing Effect by Different Temperature Treatment in *Chloranthus glaber*. *Journal of Bio-Environment Control* 21(4):343-347. (in Korean with English abstract)
- Kim, C.S.(2007) Studies on the distribution and vegetation of the endangered wild plants in Jeju Island. D. Dissertation, Jeju Univ., Jeju, 139. (in Korean with English abstract)
- Kim, J. H. (2012) *The Global Warming as seen by Biologist.* Seoul National University Press. 566. (in Korean)
- Kim, J.H., G.H. Nam and J.S. Kim(2012) The vascular plants in Is. Gageo (Jeollanam-do). *Journal of Environmental Science International* 21(4): 437-450.

- Krussmann. (1984) Manual of cultivated broad-leaved trees and shrubs. Timber press, Vol. 1. 448.
- Lavergne, S., J.D. Thompson, E. Garnier and M. Debussche(2004) The biology and ecology of narrow endemic and widespread plants: a comparative study of trait variation in 20 congeneric pairs. *Oikos* 107(3): 505-518.
- Lawlor, D.W. and R.A.C. Mitchell(1991) The effects of increasing CO₂ on crop photosynthesis and productivity: a review of field studies. *Plant, Cell & Environment* 14(8): 807-818.
- Leadley, P.W., P.A. Niklaus, R. Stocker and C. Karner(1999) A field study of the effects of elevated CO₂ on plant biomass and community structure in a calcareous grassland. *Oecologia* 118(1): 39-49.
- Lee, H.S., S. Lee, J.C. Lee, K.W. Kim and P.G. Kim(2013) Effects of Elevated CO₂ Concentration and Temperature on Physiological Characters of *Liriodendron tulipifera*. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 15(3): 145-152. (in Korean)
- Lee, J.H., S.K. So, K.U. Suh, M.Y. Kim and H.K. Song(2010) Vegetation and Soil Properties of Warm Temperate Evergreen Broad-Leaved Forest in Hongdo, Korea. *Korean Journal of Environment and Ecology* 24(1): 54-61. (in Korean)
- Lee, S.I., E.P. Lee, E.J. Kim, J.H. Park, K.T. Cho, S.Y. Lee and Y.H. You(2017) Growth response and Variation of ecological niche breadth of *Hibiscus hamabo*, the endangered plant, according to Light, Moisture and Nutrient under elevated CO₂ concentration and temperature. *Korean Journal of Environment and Ecology* 31(3): 279-286.
- Lee, S.W., D.Y. Hyun, C.G. Park, T.S. Kim, B.Y. Yeon, C.G. Kim and S.W. Cha(2007) Effect of soil moisture content on photosynthesis and root yield of *Panax ginseng* CA Meyer seedling. *Korean Journal of Medicinal Crop Science* 15(6): 367-370. (in Korean)
- Ministry of Environment. (2012) White paper of environment. Ministry of Environment.896. (in Korean)
- Park, H. R.(2003) Global warming and its effects and preventive. Uyoug, Seoul, 285. (in Korean)
- Park, J.H., Y.S. Hong, H.R. Kim, J.K. Jeong, H. M. Jeong and Y.H. You(2014) Effects of Elevated CO₂ and Temperature on the Growth of Endangered Species, *Cicuta virosa* L. in Korea. *Journal of Wetlands Research* 16(1): 11-18. (in Korean with English abstract)
- Park, W.K.(1993) Increasing atmospheric carbon dioxide and growth trends of Korean subalpine conifers-Dendrochronological analysis. *Journal of Korean Forestry Society* 82(1): 17-25. (in Korean)
- Saxe, H., D.S. Ellsworth and J. Heath(1998) Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere. *The New Phytologist* 139(3): 395-436.
- Son, S.K., K.O. Beon, M.J. Kim, S.Y. Woo and C.S. Kim(2005) Effect of Different Shading Treatment in *Chloranthus glaber* Thunb. Mak. The Plant Resources Society of Korea 12:141-143. (in Korean with English abstract)
- Song, G.P., C.G. Jang and S.H. Kang(2012) Conservation and vegetation structure of *Euchresta japonica* (Leguminosae) in Jeju Island. *Korean Journal of Plant Resources* 25(1): 89-95. (in Korean with English abstract)
- Wennman, P. and T. Katterer(2006) Effects of moisture and temperature on carbon and nitrogen mineralization in mine tailings mixed with sewage sludge. *Journal of environmental quality* 35(4): 1135-1141.