

CO₂농도 상승과 온도 상승조건에서 광, 수분, 유기물구배에 따른 멸종위기식물인 황근(*Hibiscus hamabo*)의 생육과 생태적 지위폭의 변화^{1a}

이수인² · 이응필³ · 김의주² · 박재훈² · 조규태² · 이승연² · 유영한^{2*}

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^{1a}

Soo-In Lee², Eung-Pill Lee³, Eui-Ju Kim², Jae-Hoon Park², Kyu-Tae Cho², Seung-Yeon Lee², Young-Han You^{2*}

요 약

CO₂농도와 온도의 상승으로 인한 지구온난화가 진행되었을 때 광, 수분 그리고 유기물 구배에 따른 멸종위기식물인 황근의 생육과 생태적 지위폭의 변화를 알아보았다. 대조구(야외)와 처리구(CO₂ + 온도 상승구)로 나누어 각각 광, 수분 그리고 유기물구배를 두어 재배하였다. 그 연구결과, 황근은 낮은 광량보다 높은 광량을 선호하나, 광량이 787±77.76 μmol m⁻²s⁻¹을 넘어가면 높은 광량이라 하더라도 생육이 어려웠다. 또한 유기물이 없거나(0%) 너무 많은 토양(20%)에서는 생육이 어려웠다. 그러나 수분 구배에 따른 경향이 보이지 않았다. 황근의 고사율은 대조구보다 처리구에서 광량이 높은 조건을 제외한 모든 구배에서 높았다. 이는 CO₂와 온도가 상승하면 광에 대한 내성범위가 좁아진다는 것을 의미한다. 대조구와 처리구를 비교하였을 때, 수분구배에 따른 경향은 보이지 않았다. 유기물구배에서는 대조구보다 처리구에서 모두 고사율이 낮았는데, 이는 유기물에 대한 내성의 범위가 넓어진 것을 의미한다. 황근의 생태적 지위폭은 처리구가 대조구보다 광 구배에서 30.1% 좁아졌으며, 수분 구배에서 8.6% 그리고 유기물 구배에서 30% 넓어졌다. 따라서 CO₂농도와 온도의 증가로 인한 지구온난화가 진행되면, 황근의 생육은 광량에 의해서 제한될 것으로 판단된다.

주요어: 지구온난화, 멸종위기식물, CO₂ + 온도 상승구

ABSTRACT

We investigated growth response and variation of ecological niche breadth of *Hibiscus hamabo* according to light, moisture and nutrient when global warming is proceeded by elevated CO₂ concentration and temperature. *H. hamabo* was cultivated in experimental condition in the greenhouse that are divided by control(ambient condition) and treatment(elevated CO₂ concentration and temperature). Light, moisture and nutrient gradients were treated within the control and the treatment. Although *H. hamabo* prefers higher light

1 접수 2017년 5월 19일, 게재확정 2017년 6월 5일
Received 19 May 2017; Accepted 5 June 2017

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

3 국립생태원 생태보전연구실 Division of Ecological Conservation National Institute of Ecology, Seocheon 33657, Korea

a 본 연구는 2016년도 중견연구자지원사업(NRF-2016R1A2B1010709)과 국립생태원 2017 생태계 기후변화 조사연구(NIE-기반 연구-2017-21)의 지원으로 수행되었습니다.

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

intensity(up to L3) to lowers', Hamabo mallow doesn't like excessive light intensity($787 \pm 77.76 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). Also, *H. hamabo* was difficult to grow in absent nutrient(0%) and excessive nutrient(20%). However, there was no trend with moisture gradients. The death rate of *H. hamabo* in the treatment was higher in all gradients except for the highest light intensity condition than control. It means that range of tolerance about light is narrowed when concentration of CO₂ gas and temperature is elevated. There was no trend of death rate according to moisture gradient, comparing between control and treatment. The death rate in all nutrient gradients within the treatment is lower than the controls'. It means that range of tolerance about nutrient is widened. The ecological niche breadth of *H. hamabo* in the treatment was narrower as 30.1% in light gradients but wider as 8.6% in moisture gradients and 30% in nutrient gradients than in the control. In the conclusion, when global warming is proceeded by elevated CO₂ concentration and temperature, growth of *H. hamabo* would be restricted by light intensity.

KEY WORDS: Global warming, Endangered plant, Elevated CO₂ concentration and temperature

서론

대류권은 장파복사를 흡수하여 지구의 기온을 온화하게 유지해주는데, 대류권에 존재하는 수증기와 이산화탄소가 장파복사를 흡수하는 역할을 한다(Cook, 2007). 이들은 기온을 온화하게 하여 생물이 지구에서 살 수 있게 해준다. 하지만, 산업화 이전부터 인간의 활동으로 인해 이산화탄소 배출량은 계속 증가해왔고, 현재 가장 높은 수준을 보이고 있다(IPCC, 2014). 이러한 이산화탄소는 광합성을 하는 녹색식물과 해양 이외에 수용원이 없기 때문에 대기 중에서 약100~200년간 지속되며 소실되는 속도가 빠르지 않다(Kim, 2012). 우리나라의 평균기온은 20세기 중 1.5°C 상승하였고, 특히 1912년부터 2008년까지 약1.7°C 상승하였다(Korea Meteorological Administration, 2009). 이는 전 지구적으로 1906년부터 2012년까지 관측한 평균기온 0.85°C의 약 2배에 달하는 관측치이다(IPCC, 2014; Korea Meteorological Administration, 2009). 이러한 온도상승의 이유는 지구온난화, 도시화 효과 그리고 열섬 현상 때문이다(IPCC, 2007). 전 지구와 우리나라의 온도상승을 직접적으로 비교하는 것은 관측소의 장소에서 차이가 나기 때문에 달라질 수는 있지만(Kim, 2012), 우리나라의 15개 관측소에서 10년당의 평균기온이 꾸준히 상승하고 있다(Korea Meteorological Administration, 2010).

이산화탄소의 농도와 온도상승은 식물의 성장과 생리적인 특성을 변화시켜 생태계의 구조와 기능에 직접적인 영향을 준다(Florides and Christodoulides, 2009; He *et al.*, 2005; Idso *et al.*, 1987). 보고에 따르면, 지구온난화로 인해 온도가 1.5°C~2.5°C 이상 높아지면, 전체 생물종의 20~30%

는 멸종위기 가능성이 높아지고, 4°C 이상으로 온도가 높아질 경우에는 40% 이상의 생물종이 멸종될 것이며, 다른 스트레스 요인들과 상호작용함에 따라 종 멸종의 위험은 더욱 증가할 것이다(IPCC, 2007; IPCC, 2014). 지구온난화가 생물들을 멸종시키는 이유는 기온 상승과 같은 비생물적인 요인과 온난화에 대한 생물의 적응능력의 부족이다(Kim, 2012). 한편, 이미 멸종위기 야생생물로 지정된 종들은 널리 분포하고 있는 다른 종들에 비해 형태학적 그리고 생리학적으로 스트레스에 매우 약하므로(Lavergne *et al.*, 2004), 이들의 환경요인에 대한 생존 가능한 범위를 나타내는 생태적 지위폭의 변화를 주시해야 할 필요가 있다(Pianka, 1983).

기후변화의 적응은 기후변동에서 생긴 충격을 인류와 자연생태계가 적게 받도록 대체하는 일을 말한다(Hubalek, 2004). 기후변화에 대응하기 위한 국제사회의 온실가스배출량 감축수준이 현저히 낮지만 피해가 지속적으로 발생하고 있으므로, 차선책으로 적응이 감축과 함께 보완적인 차원에서 함께 이루어져야 한다(IPCC, 2014). 우리나라는 일본이나 미국 등 선진국에 비하여 생물다양성의 변화에 대한 실측자료가 부족하여, 종별로 구체적인 대책을 세우기가 어려운 실정이다(Ministry of Environment, 2014). 따라서 우리는 기후변화에 따른 생물의 적응 정책을 마련하기 위해서 각 종들이 기후변화조건에서 어떻게 반응하는지에 대한 구체적인 연구가 필요하다.

본 연구에서 사용한 황근(*Hibiscus hamabo* Siebold & Zucc.)은 우리나라에서는 제주도와 완도에 자생하는 것으로 알려져 있으며(Oh & Kim, 2001), 낙엽관목으로 환경부 지정 멸종위기야생생물 II급이다(Ministry of Environment, 2012). 또한 우리나라의 무궁화속 식물 중에서 유일한 자생 식물로, 최근 해안도로 건설, 항만 건설, 해안 매립 등으로

인해 자생지가 파괴될 우려가 있다(Ministry of Environment, 2014). 겨울철 낮은 온도에 매우 약하여 중부 이북 지방에서 노지 월동이 불가능하며, 전 세계적으로 동아시아에서 한국을 비롯한 일본의 혼슈 남부, 오키나와 등지의 극히 일부 지역에 분포하는 것으로 알려져 있다(Ahn, 2003).

황근의 자생지 생태특성(Kim, 2007; Ahn, 2003), 자생지 식생 및 식물상(Ahn, 2003; Nakanishi, 2000), 종자 발아 촉진(Kim *et al*, 2012) 등에 대한 연구는 보고되었지만, 지구온난화에 따른 황근의 반응에 대한 연구는 보고되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 CO₂농도 상승과 온도 상승 시 광, 수분 그리고 유기물 구배에 따른 황근의 생육과 생태적 지위폭의 변화를 알아보고자 하였다.

연구방법

1. 환경요인

환경처리는 대조구(ambient temperature and ambient CO₂, Control)와 처리구(elevated temperature and elevated CO₂, Treatment)로 하였다. 대조구의 CO₂농도(396±114 ppm)와 온도(16.2±7.6°C)는 대기 중의 환경을 그대로 반영하였다. 처리구의 CO₂농도는 CO₂가스통 2개를 설치한 후, 호스를 연결하여 CO₂가스를 주입하여 대조구에 비해 약 1.7배(677±251ppm) 상승시켰으며, 처리구내에 설치된 CO₂센서(TEL-7001, Onset computer, USA)를 통해 30분 간격으로 모니터링 하였다. CO₂농도는 환경에 대한 가치를 높게 두고 있으며 현재의 상황에 가장 적합한 시나리오인 기후변화 B1시나리오의 농도를 반영하였다(IPCC, 2007). 또한 처리구의 온도는 온실 내의 환경을 반영하였고, 온도 데이터로거(TR-71U, T&D, Japan.)를 사용하여 측정하였으며, 평균 16.7±7.5°C로 대조구에 비해 평균 0.5°C 높았다(Fig. 1).

대조구와 처리구내에서 광, 수분, 유기물 구배를 각각

처리하였다. 광처리는 전일광(787±77.76 μmol m⁻²s⁻¹)을 기준으로 차광막의 두께를 조정하여 낮은 조건(L1, 10%), 약간 낮은 조건(L2, 30%), 약간 높은 조건(L3, 70%), 높은 조건(L4, 100%)으로 하였다. 광량은 Lighter meter (LI-250A Light Meter, LI-COR, USA)를 사용하여 측정하였다. 수분처리는 화분의 포장용수량인 700mL를 기준으로 낮은 수분조건(M1, 100mL), 약간 낮은 조건(M2, 300mL), 약간 높은 조건(M3, 500mL), 높은 조건(M4, 700mL)로 하였다. 수분은 3~4일 간격으로 공급하였다. 유기물처리는 동일한 입자크기의 건조된 모래(100%)를 기준으로 유기질비료(주, 몬산토코리아)를 섞어서, 유기물을 처리하지 않은 비처리 조건(N1, 0%), 약간 낮은 조건(N2, 5%), 약간 높은 조건(N3, 10%), 높은 조건(N4, 20%)으로 하였다.

2. 재배 및 측정

환경부 지정 서식지의 보전기관에서 분양받은 황근 종자를 받아 시켜 본 연구의 재료로 사용하였다. 발아한 유식물 중 크기가 유사한 개체들을 선별하였고, 2011년 3월에 한 화분(직경 20cm, 높이 25cm)에 4개체씩 이식하여 각 구배당 3개의 화분을 처리하였다. 실험은 2011년 3월 초부터 2011년 11월 말까지 실시하였다. 2011년 11월에 지상부 길이(cm)와 잎 수(ea)를 측정하였다. 또한 전체 개체수 대비 고사한 개체수를 파악하여 고사율을 측정하였다.

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

3. 생태적 지위

본 연구에서는 광, 수분, 유기물의 구배를 이룬 대조구와 처리구에서 생육한 황근에 대한 기후변화가 진행되었을 때 생태적 지위 변화양상을 파악하고자 각 환경 구배별 각 형질의 평균치를 Levin(1968)의 식에 적용하여 생태적 지위

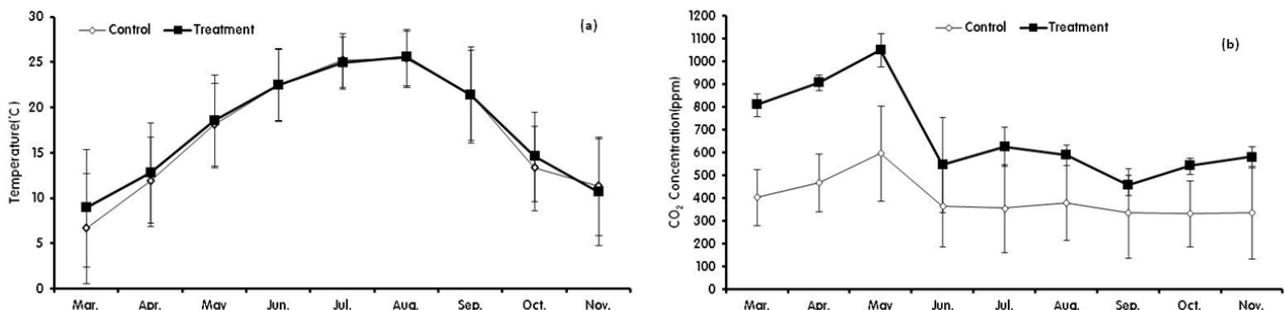


Fig. 1. Average monthly temperature(a) and CO₂ concentration(b) in two environmental condition, control and treatment, from March to November

폭을 계산하였다.

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

B: niche breadth (Levins' B)

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

S: total number of gradients

4. 통계분석

각 환경 구배별 차이를 조사하기 위해 Kolmogorov-smirnov test를 이용하여 정규분포 여부를 확인하였고, 정규분포를 따르지 않아(p<0.05) 비모수 통계분석(Nonparametric analysis)을 사용하였다. 구배별 차이의 유의성은 Mann-Whitney U Test와 Median Test로 확인하였다. 통계적인 분석은 STATISTICA 7(Statsoft, Inc., Tulsa, OK, USA)을 이용하였다.

결 과

1. 생육반응

1) 지상부 길이

지상부 길이는 대조구내에서 광량이 낮은 조건(L1)에서 약간 높은 조건(L3)까지 증가하다가 높은 조건(L4)에서 감소하는 경향이 있었으나 통계적인 차이는 없었다(Fig. 2a). 처리구내에서 황근은 광량이 낮은 조건(L1)과 약간 낮은 조건(L2)에서 고사하였으며, 약간 높은 조건(L3)보다 높은 조건(L4)에서 지상부 길이가 짧아지는 경향이 있었으나 통계적인 차이는 없었다(Fig. 2a).

대조구내에서 지상부 길이는 수분함량이 낮은 조건(M1)에서 약간 낮은 조건(M2)까지 증가하다가 약간 높은 조건

(M3)에서 다른 구배들 보다 더 많이 감소하고 높은 조건에서 다시 증가하는 경향을 보였으나 통계적인 차이는 없었다(Fig. 2b). 또한 처리구내에서 수분함량에 따른 증감의 폭은 대조구에 비해 다소 작았지만 유사한 경향을 보였다(Fig. 2b).

대조구내에서 황근은 유기물 비처리 조건(N1)과 함량이 높은 조건(N4)에서 고사하였고, 약간 낮은 조건(N2)보다 약간 높은 조건(N3)에서 지상부의 길이가 약간 증가하였으나 통계적인 차이는 없었다(Fig. 2c). 그리고 처리구내에서 지상부 길이는 유기물의 함량이 높아질수록 길었다(Fig. 2c).

각 환경구배간 대조구와 처리구를 비교하였을 때, 광량이 낮은 조건(L1)과 약간 낮은 조건(L2)에서 황근은 대조구와 다르게 처리구에서 모두 고사하였다(Fig. 2a). 수분함량이 낮은 조건(M1)과 높은 조건(M4)내에서 황근의 지상부 길이는 대조구가 처리구보다 길었다(Fig. 2b). 유기물 비처리 조건(N1)과 함량이 높은 조건(N4)내에서 황근은 처리구와 다르게 대조구에서 모두 고사하였다(Fig. 2c).

2) 잎 수

잎 수는 대조구내에서 광량이 낮은 조건(L1)에서 약간 낮은 조건(L2)까지 증가하다가 약간 높은 조건(L3)부터는 적어지는 경향을 보였으나 통계적 차이는 없었다(Fig. 3a). 처리구내에서 황근은 광량이 낮은 조건(L1)과 약간 낮은 조건(L2)에서 고사하였으며, 잎 수는 약간 높은 조건(L3)과 높은 조건(L4)간에 차이가 없었다(Fig. 3a).

대조구내에서 잎 수는 수분함량이 낮은 조건(M1)에서 약간 낮은 조건(M2)까지는 증가하다가 약간 높은 조건(M3)에서 급격히 감소하였으나 높은 조건(M4)에서 다시 증가하였다(Fig. 3b). 처리구내에서 잎 수는 수분함량이 낮은 조건(M1)에서 약간 낮은 조건(M2)까지는 증가하다가 약간 높은 조건(M3)부터 감소하였으나 통계적인 차이는 없었다

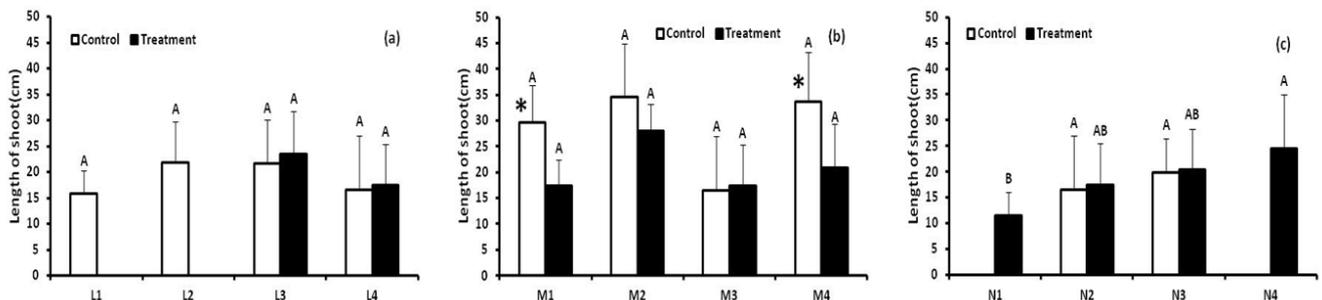


Fig. 2. Length of shoot of *Hibiscus hamabo* according to environmental treatment((a) light, (b) moisture and (c) nutrient) under control and treatment. Uppercase means significant difference among gradients(light, nutrient, moisture)in control and treatment. Asterisk means significant difference between control and treatment.

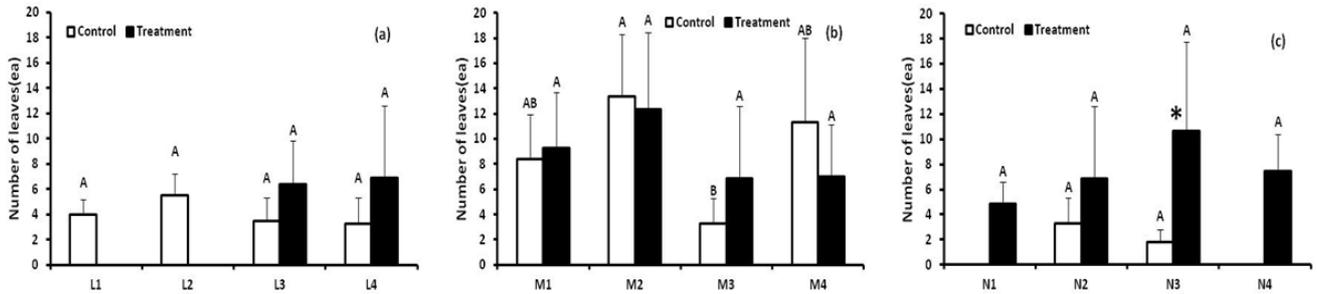


Fig. 3. The number of leaves of *Hibiscus hamabo* according to environmental treatment((a) light, (b) moisture and (c) nutrient) under control and treatment. Uppercase means significant difference among gradients(light, nutrient, moisture)in control and treatment. Asterisk means significant difference between control and treatment.

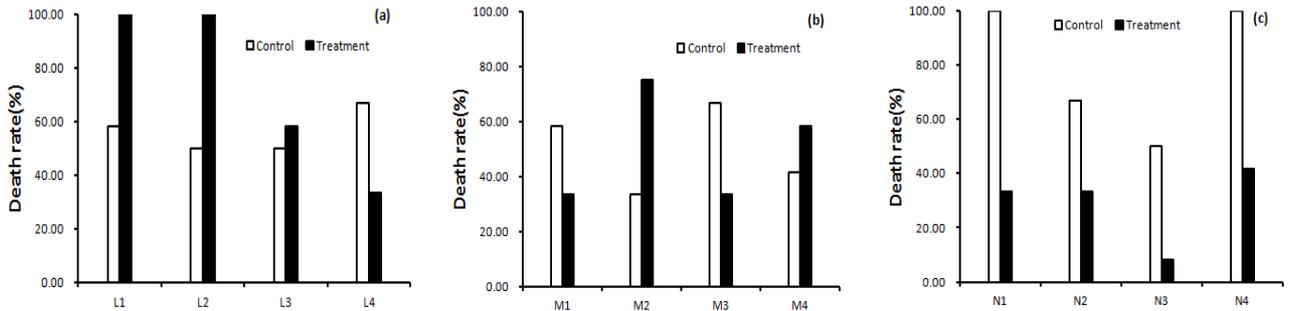


Fig. 4. Death rate of *Hibiscus hamabo* according to environmental treatment((a) light, (b) moisture and (c) nutrient) under control and treatment.

(Fig. 3b).

대조구내에서 황근은 유기물 비처리 조건(N1)과 함량이 높은 조건(N4)에서 고사하였고, 약간 낮은 조건(N2)에서 약간 높은 조건(N3)으로 갈수록 잎 수는 감소하는 경향은 있었으나 통계적인 차이는 없었다(Fig. 3c). 처리구내에서 잎 수는 유기물 함량이 약간 높은 조건(N3)까지 증가하다가 높은 조건(N4)에는 감소하는 경향을 보였으나 통계적인 차이는 없었다(Fig. 3c).

각 환경구배간 대조구와 처리구를 비교하였을 때, 유기물 함량이 약간 높은 조건(N3)내에서 황근의 잎 수는 처리구가 대조구보다 많았다(Fig. 3c).

2. 고사율

대조구내에서 황근은 광구배에서 L4(66.67%)> L1(58.33%)> L2(50%)= L3(50%), 수분구배에서 M3(66.67%)> M1(58.33%)> M4(41.33%)> M2(33.33%) 그리고 유기물구배에서 N1(100%)= N4(100%)> N2(66.67%)> N3(50%) 순으로 고사율이 높았다(Fig. 4). 처리구내에서 황

근은 광구배에서 L1(100%)= L2(100%)> L3(58.33%)> L4(33.33%), 수분구배에서 M2(75%)> M4(58.33%)> M1(33.33%)= M3(33.33%) 그리고 유기물구배에서 N4(41.67%)> N1(33.33%) = N2(33.33%)> N3(8.33%) 순으로 고사율이 높았다(Fig. 4).

각 환경구배간 대조구와 처리구를 비교하였을 때, 황근은 대조구보다 처리구에서 광량이 높은 조건(L4)을 제외한 모든 광구배에서 고사율이 높았다(Fig. 4a). 수분구배의 경우 처리구가 약간 낮은 조건(M2)와 높은 조건(M4)에서 고사율이 높았고, 낮은 조건(M1)과 약간 높은 조건(M3)에서 고사율이 낮았다(Fig. 4b). 또한 모든 유기물구배가 대조구보다 처리구에서 고사율이 낮았다(Fig. 4c).

3. 생태적 지위폭

생태적 지위폭은 대조구에서 광(0.913)>수분(0.786)>유기물(0.479), 처리구에서 수분(0.935)>유기물(0.870)>광(0.482) 순으로 나타났다(Table 1). 처리구에서 황근의 생태적 지위폭은 대조구보다 광 구배에서 30.1% 좁아졌으며,

Table 1. Comparison of ecological niche breadth of *Hibiscus hamabo* along environmental factor (light, moisture, nutrient) under control and treatment conditions

Character	Control			Treatment		
	Light	Moisture	Nutrient	Light	Moisture	Nutrient
Length of shoot	0.924	0.833	0.462	0.496	0.960	0.914
Number of leaves	0.902	0.740	0.497	0.467	0.910	0.826
Mean±	0.913±	0.786±	0.479±	0.482±	0.935±	0.870±
S.D	0.016	0.066	0.024	0.020	0.035	0.062

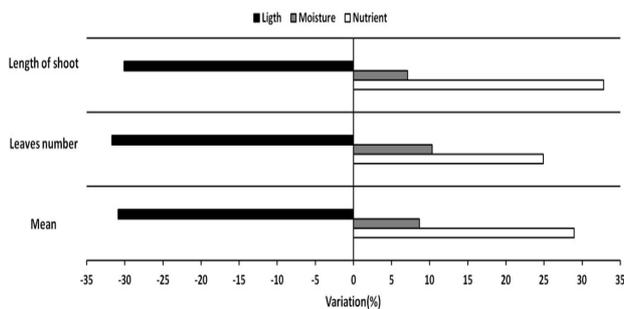


Fig. 5. Percent of variation of the ecological niche breadth of two characters of *Hibiscus hamabo* under treatment conditions relative to controls.

수분 구배에서 8.6% 그리고 유기물 구배에서 30% 넓어졌다(Fig. 5).

고찰

황근은 호광성을 나타내는 식물로, 교목층이나 아교목층이 존재하지 않고 초장이 짧은 초본류들이 분포하고 있는 비교적 광량이 높은 지역에 자생하고 있다(Ahn, 2003). 즉, 황근은 낮은 광량보다 높은 광량을 선호하며, 대조구내에서 광량이 약간 높은 조건(L3)까지 지상부 길이가 길어지는 경향을 보인 본 연구결과(Fig. 2a)는 높은 광량을 선호하는 황근의 특성을 설명할 수 있다. 하지만, 본 연구결과에서 광량이 787±77.76 μmol m⁻²s⁻¹(L4)을 넘어가면 높은 광량이라 하더라도 잘 자라지 못하는 경향을 보였다(Fig. 2a). 이러한 본 연구결과는 *Hibiscus acetosella*가 받은 하루 총 광량이 높으면 식물체의 높이가 낮았다는 연구결과와 유사하였다(Warner & Erwin, 2001). 또한 처리구에서 황근은 광량이 낮은 조건에서 고사하였고(Fig. 4a), 대조구와 마찬가지로 광량이 일정량이 넘어가면 잘 자라지 못하는 경향을 보였다(Fig. 2a). 본 연구결과는 *H. acetosella* 이외에 무궁

화속의 다른 식물들과는 다른데(Warner & Erwin, 2001), 이는 종마다 생태적 지위의 범위가 다르기 때문으로 판단된다.

*H. acetosella*은 관개를 통해 공급된 하루 수분의 양이 0L~30L 까지는 식물체의 길이가 길어졌지만, 그 이상이 되면 식물체 길이가 짧았다(Bayer *et al.*, 2013). 이는 대조구와 처리구내에서 수분 함량이 약간 높은 조건(L2)까지 지상부 길이가 증가하고, 높은 조건(M3)에서는 감소하는 경향을 보인 본 연구 결과와 유사하다(Fig. 2b). 하지만, 수분 함량이 높은 조건(L4)에서 지상부의 길이가 증가한 것은 위의 연구결과(Bayer *et al.*, 2013)와 다르다. 제주도의 황근 순군락의 토양 환경은 1979년 Nakanishi에 의해 조사된 일본에 분포하는 황근 군락과 같은 형태로, 이들은 토양이 척박하고 건조한 입지에 형성되어 잘 적응한다(Nakanishi *et al.*, 2004). 하지만, 맹그로브의 특성을 가지고 있는 일본 서큐슈 지역에 분포하고 있는 황근 군집은 하구 퇴적지와 작은 늪 주변에 서식한다(Nakanishi, 2000). 환경 복합개념에 의하면 환경요인들은 상호 의존적이고 상승효과가 있기 때문에 종의 분포나 수도에 영향을 주는 단일 환경요인을 지적하기가 불가능하다(Billings, 1952). 즉, 서식하는 지역의 토양의 영양분 상태에 따라 필요로 하는 수분의 양이 달라지거나, 수분의 양에 따라 필요로 하는 영양분의 양이 달라질 수 있다는 것을 말한다.

황근 자생지는 열악한 토양상태로 인해 구성종이 단순하다(Ahn, 2003). 즉, 황근은 토양이 비옥한 지역에서 서식하는 식물들에 비해 필요로 하는 유기물의 양이 적지만 본 연구결과로 보아 유기물이 없거나 너무 많은 토양에서는 생육이 어렵다(Fig. 4c). 이는 *Hibiscus cannabinus*는 유기물 함량이 10ton/ha 보다 높고, 30ton/ha 보다 낮은 20ton/ha에서 식물체 높이가 가장 높았던 것과 유사하다(Hossain *et al.*, 2011). 처리구내에서 유기물의 함량이 높아질수록 황근의 지상부 길이가 길었던 것(Fig. 2c)은 온도가 높을수록 토양 내 유기물 분해가 빨라지는데(Wenman & Katterer, 2006), 상대적으로 유기물 함량이 높은 구배보다 유기물 함량이 적은 구배에서 유기물 분해가 빨라서 식물체가 이용할 유기물이 적기 때문이다.

CO₂농도와 온도의 상승은 여러 식물들에게 영향을 주는데, 특히 CO₂농도의 상승에 따른 영향은 식물의 종류에 따라 큰 차이를 보인다(Kim, 2012). 별노랑이(*Lotus corniculatus*)는 생산성이 271% 증가하였지만, 작은오이풀(*Sanguisorba minor*)에서는 CO₂상승에 따른 영향이 없었으며 6종류의 토끼풀(*Trifolium*)의 경우 생산량이 감소하였다(Leadley *et al.*, 1999). 즉, CO₂농도의 상승에 따른 반응은 종 특이적이다(Leadley *et al.*, 1999). 본 연구에서 지상부 길이의 차이를 보면, CO₂농도와 온도의 상승은 황

근의 광에 대한 내성범위를 좁힌다(Fig. 5). 또한 수분함량이 낮거나 높은 곳에서 활력을 떨어뜨리지만(Fig. 3b), 유기물에 대한 내성범위는 넓힌다(Fig. 5).

국화(*Chrysanthemum morifolium*)는 하루에 받은 총광량이 높을수록 잎 수와 전체 엽면적은 증가하였고 엽면적비가 감소하였으며(Kjaer & Ottosen, 2011), *Hibiscus tiliaceus*는 광량이 낮을수록 엽면적 비가 높았지만, 광합성률이 감소하였다(Santiago, 2000). 이는 광량이 낮은 조건(L1, L2)에서 잎 수가 많았고, 높은 조건(L3, L4)에서는 상대적으로 잎 수가 적은 경향을 보인 본 연구결과와 다르며(Fig. 3), 상수리나무(*Quercus acutissima*)가 광과 영양소가 적은 곳에서 잎 수가 증가한 연구결과와 유사하다(Cho, 2014).

처리구내에서 황근은 광량이 낮은 조건과 약간 낮은 조건에서 고사하였는데(Fig. 3a), 이는 앞서 기술하였듯이 CO₂와 온도상승에 따른 종특이적인 반응으로(Leadley *et al.*, 1999), 온도와 CO₂상승은 황근의 광에 대한 내성범위를 감소시킨다(Fig. 5).

대조구내에서 수분함량이 약간 높은 조건(M3)을 제외한 모든 구배에서 잎 수가 많았고, 처리구내에서는 통계적인 차이는 없었지만 대조구와 같은 경향을 보였는데(Fig. 3b), 황근은 수분함량이 적은 토양과 매우 높은 토양에서도 서식하고 있기 때문이다(Nakanishi *et al.*, 2004; Nakanishi, 2000).

대조구내에서 유기물함량에 따른 잎 수에 대한 결과로 보아, 황근은 유기물이 없거나 함량이 높은 토양에서 생육이 어렵다(Fig. 3c). 처리구내에서 유기물함량이 증가할수록 잎 수가 증가하고 유기물 함량이 높은 조건(N4)에서 다시 감소하는 경향을 보였는데(Fig. 3c), 이는 CO₂와 온도상승에 따른 종특이적인 반응이다(Leadley *et al.*, 1999).

광량이 약간 높은 조건(L3)과 높은 조건(L4)내에서 황근의 잎 수는 처리구가 대조구보다 많은 경향이 있었다(Fig. 3a). 유기물의 함량이 약간 높은 조건(N3)내에서 황근의 잎 수는 처리구가 대조구보다 많았고, 약간 낮은 조건(N2)내에서 통계적 차이는 없었지만 많아지는 경향을 보였다. 이는 식물체의 생물량의 90% 이상은 동화된 CO₂로부터 얻어지므로(Luo & Mooney, 1994) CO₂농도의 상승이 황근의 잎 수를 증가시키는 것으로 판단된다.

대조구내에서 황근은 광량이 높은 조건(L4)에서 고사율이 가장 높았고, 낮은 조건(L1)이 그 다음으로 높았는데(Fig. 4a), 황근은 호광성이지만 일정광량(787±77.76 μmol m⁻²s⁻¹)을 넘어가면 잘 자라지 못한다. 수분구배에서 황근의 고사율은 함량이 약간 높은 조건(M3)에서 가장 높았고 낮은 조건(M1), 높은 조건(M4), 약간 낮은 조건(M2) 순이었다(Fig. 4b). 수분 기율기에 따른 경향을 보이지 않았는데,

황근이 자생하고 있는 곳이 수분이 적거나, 많은 곳이기 때문이다. 유기물 구배에서 함량이 높은 조건(N4)과 비처리 조건(N1)에서 100%로 고사율이 가장 높았고, 약간 낮은 조건(N2) 그리고 약간 높은 조건(N3) 순이었는데(Fig. 4c), 황근은 유기물이 없거나 너무 많은 토양에서는 생육이 어렵다.

황근은 대조구보다 처리구에서 높은 조건을 제외한 모든 광구배에서 고사율이 높았으며(Fig. 4a), 황근의 생태적 지위폭은 처리구가 대조구보다 광 구배에서 30.1% 좁아졌다(Fig. 5). 대조구와 처리구를 비교하였을 때 수분구배에 따른 경향은 보이지 않았으며(Fig. 4b), 황근의 생태적 지위폭은 처리구가 대조구보다 수분 구배에서 8.6% 넓어졌다(Fig. 5). 유기물구배에서는 대조구보다 처리구에서 모두 고사율이 낮았는데(Fig. 4c), 황근의 생태적 지위폭은 처리구가 대조구보다 유기물 구배에서 30% 넓어졌다(Fig. 5). 따라서 CO₂농도와 온도의 증가로 인한 지구온난화가 진행되면, 황근의 생육은 광량에 의해서 제한될 것이다.

REFERENCES

- Ahn, Y. H., Chung, K. H., & Park, H. S.(2003). Vegetation and flora of *Hibiscus hamabo* inhabited naturally in Soan Island. *Journal of Environmental Science International* 12(11): 1181-1187.(in Korean with English abstract)
- Bayer, A., Mahbub, I., Chappell, M., Ruter, J., & van Iersel, M. W.(2013). Water use and growth of *Hibiscus acetosella* 'Panama Red' grown with a soil moisture sensor-controlled irrigation system. *HortScience* 48(8): 980-987.
- Billings, W. D.(1952). The environmental complex in relation to plant growth and distribution. *The Quarterly Review of Biology* 27(3): 251-265.
- Cho, K. T.(2014). Effects of elevated CO₂ concentration and temperature on the growth and ecological niche of three Oaks species of Korea. D. Dissertation, Kongju National Univ., Gongju, 192pp.(in Korean with English abstract)
- Cook, A.(2007). *The Greenhouse Effect, Indianapolis: Alegracy*
- Florides, GA and Christodoulides, P.(2009). Global warming and carbon dioxide through sciences. *Environment International*, 35: 390-401.
- He, JS, Kelly, Wolfe-Bellin S and 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.
- Hossain, M. D., Hanafi, M. M., Jol, H., & Hazandy, A. H.(2011). Growth, yield and fiber morphology of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) grown on sandy soil as influenced by different levels of carbon. *African Journal of Biotechnology* 10(50):

- 10087-10094.
- Hubalek, Z.(2004). An annotated checklist of pathogenic microorganisms associated with migratory birds. *Journal of Wildlife Diseases* 40(4): 639-659.
- Idso, SB, Kimball, BA, Anderson, MG and Mauneyv, JR(1987). Effect of atmospheric CO₂ enrichment on plant growth: the interaction role of air temperature. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 20: 1-10.
- 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 pp.
- 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.
- Kim, C.S.(2007). *Studies on the distribution and vegetation of the endangered wild plants in Jeju Island*. D. Dissertation, Jeju Univ., Jeju, 139pp.(in Korean with English abstract)
- Kim, J. H.(2012). *The Global Warming as seen by Biologist*. Seoul National University Press.(in Korean)
- Kim, S. H., Seo. H. S., M. W. Park, M. H. Jang, S. I. Shim and Y. W. Na(2012). Effects of sulfuric acid treatment on germination of water impermeable seeds in Hamabo mallow(*Hibiscus hamabo* Siebold&Zucc.). *Journal of the Korean Society of International Agriculture*, 24(3): 316-324.(in Korean with English abstract)
- Kjaer, K. H., & Ottosen, C. O.(2011). Growth of chrysanthemum in response to supplemental light provided by irregular light breaks during the night. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 136(1), 3-9.
- Korea Meterological Administration(2009). *Understand of Climate Change II-Korea Climate Change : From present to future*. Korea Meterological Administration.(in Korean)
- Korea Meterological Administration(2010). *Heavy rain and damage in the Gangneung area*.(in Korean)
- Lavergne, S., Thompson, J. D., Garnier, E., & Debussche, M.(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.
- Leadley, P. W., Niklaus, P. A., Stocker, R., & Karner, C.(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.
- Levins, R.(1968). *Evolution in changing environments: some theoretical explorations* (No. 2). Princeton University Press.
- Luo, Y., Field, C. B., & Mooney, H. A.(1994). Predicting responses of photosynthesis and root fraction to elevated [CO₂] a: interactions among carbon, nitrogen, and growth. *Plant, Cell & Environment* 17(11): 1195-1204.
- Ministry of Environment(2012). *White paper*. Ministry of Environment.(in Korean)
- Ministry of Environment(2014) *The Final Report on Policy Measures through Analysis of Biodiversity Changes according to Climate Change*.(in Korean)
- Ministry of Environment(2014) *White paper*. Ministry of Environment.(in Korean)
- Nakanishi, H.(2000). Distribution and ecology of the semi-mangrove, *Hibiscus hamabo* community in western Kyushu, Japan. *Vegetation Science*, 17(2): 81-88.
- Nakanishi, H., Hong Kim, M., & Soo Kim, C.(2004). Distribution and ecology of *Hibiscus hamabo* and *Paliurus ramosissimus* in Jeju Island, Korea. *Bulletin-faculty of education nagasaki university natural science*, 1-10.
- Oh, S.Y. and J.H. Kim(2001). *Distribution maps of vascular plants in Korea*. Academic Publishing Co., Seoul. p. 638(in Korean)
- Pianka, E.R(1983) (3rd ed.) *Evolutionary ecology*. Harper& Row, NY. 253pp.
- Santiago, L. S., Lau, T. S., Melcher, P. J., Steele, O. C., & Goldstein, G.(2000). Morphological and physiological responses of Hawaiian *Hibiscus tiliaceus* populations to light and salinity. *International journal of plant sciences* 161(1): 99-106.
- Warner, R. M., & Erwin, J. E.(2001). Variation in floral induction requirements of *Hibiscus sp.* *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126(3): 262-268.
- Wennman, P., & Katterer, T.(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.