

갈참나무와 졸참나무의 기후변화에 따른 생태지위 변화

김윤서*, 박재훈*, 김의주*, 이정민*, 박지원*, 박여빈*, 김세희*, 서지현*, 전보연*, 유해인*, 김규리*,
이주선*, 강연준*, 유명한^{1†}

*공주대학교 생명과학과

Changes of ecological niche in *Quercus serrata* and *Quercus aliena* under climate change

Yoon-Seo Kim*·Jae-Hoon Park*·Eui-Joo Kim*·Jung-Min Lee*·Ji-Won Park*·Yeo-Bin Park*·Se-Hee Kim*·Ji-Hyun Seo*·Bo-Yeon Jeon*·Hae-In Yu*·Gyu-Ri Kim*·Ju-Seon Lee*·Yeon-Jun Kang*·Young-Han You*

*Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea

(Received : 1 August 2023, Revised : 19 August 2023, Accepted : 19 August 2023)

요약

본 연구는 우리나라 산지 하천변의 잠재 자연식생의 주요 구성종인 갈참나무와 졸참나무가 기후변화조건이 되면 그들의 생태지위와 종간 관계가 어떻게 변하는지를 알아보기 위하여 시도되었다. 이를 위하여 CO₂와 온도를 상승시킨 기후변화조건하에서 토양수분과 토양영양소를 4구배로 처리하고, 생육기 말기에 식물을 수확하여 형질의 생육반응을 측정하고, 생태지위폭과 중복력을 계산하고, 이를 대조구의 것과 비교하였다. 또한 두 종간의 관계는 형질값을 이용하여 주성분분석으로 해석하였다. 그 결과 기후변화시 수분환경 조건에서는 갈참나무의 생태지위폭이 졸참나무의 것보다 넓었다. 영양소 조건에서 두 종의 생태지위폭은 서로 유사하였다. 또한 기후변화시 갈참나무와 졸참나무의 토양수분에 대한 생태지위 중복역은 토양 영양소구배 보다 넓었다. 기후변화로 인하여 생태지위폭의 증가가 감소보다 더 많이 일어나는 형질들을 갖는 종은 수분구배와 영양소구배에서 모두 갈참나무이었다. 그리고 개체군들의 반응에서는 기후변화영향으로 토양수분 조건에서는 갈참나무가 졸참나무보다 적응력이 더 높아졌으나, 영양소 조건에서는 두종이 유사하였다. 이러한 결과는 기후변화조건에서 두 종간의 경쟁은 수분환경에 대하여 더 심하게 일어나고 그 때 갈참나무가 졸참나무보다 적응력이 더 높다는 것을 의미하는 것이다.

핵심용어 : 생태지위폭, 생태지위 중복력, 대조구, 환경요인

Abstract

This study was attempted to find out how the ecological niche and interspecies relationship of *Quercus aliena* and *Q. serrata*, which are the main constituents of potential natural vegetation along the riverside of mountains in Korea, under climate change conditions. To this end, soil moisture and soil nutrients were treated with 4 grad ients under climate change conditions with elevated CO₂ and temperature, plants were harvested at the

[†]To whom correspondence should be addressed.

Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea
E-mail : youeco21@kongju.ac.kr

- Yoon-Seo Kim Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(201502761@smail.kongju.ac.kr)
- Jae-Hoon Park Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(kn5314@kongju.ac.kr)
- Eui-Joo Kim Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(euijoo@kongju.ac.kr)
- Jung-Min Lee Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(ljm@smail.kongju.ac.kr)
- Ji-Won Park Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(ecopark@kongju.ac.kr)
- Yeo-Bin Park Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(pyb1994@smail.kongju.ac.kr)
- Se-Hee Kim Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(ksh41631@smail.kongju.ac.kr)
- Ji-Hyun Seo Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(vnd1229@smail.kongju.ac.kr)
- Bo-Yeon Jeon Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(jbytit17@smail.kongju.ac.kr)
- Hae-In Yu Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(feline27@smail.kongju.ac.kr)
- Gyu-Ri Kim Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(gyuri128@smail.kongju.ac.kr)
- Ju-Seon Lee Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(wntjs2433@smail.kongju.ac.kr)
- Yeon-Jun Kang Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(duswns4708@smail.kongju.ac.kr)
- Young-Han You Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Professor(youeco21@kongju.ac.kr)

end of the growing season, growth responses of traits were measured, ecological niche breadth and overlap were calculated, and it was compared with that of the control group(ambient condition). In addition, the relationship between the two species was analyzed by principal component analysis using trait values. As a result, the ecological niche breadth of *Q. aliena* was wider than that of *Q. serrata* under the moisture environment conditions under climate change. Under nutrient conditions, the ecological niche of the two species were similar. In addition, the ecological overlap for soil moisture of *Q. aliena* and *Q. serrata* was wider than the soil nutrient gradient under climate change. The species with traits in which the increase in ecological niche breadth due to climate change occurred more than the decrease was *Q. aliena* in both water and nutrient gradients. And in the responses of the population level, due to climate change, the adaptability of *Q. aliena* was higher than that of *Q. serrata* under the soil moisture condition, but the two species were similar under the nutrient condition. These results mean that the competition between the two species occurs more severely in the water environment under climate change conditions, and at that time, *Q. aliena* has higher adaptability than *Q. serrata*.

Key words : ecological niche breadth, niche overlap, control, environmental factor

1. 서 론

생태지위는 공간적 의미에서 종의 궁극적인 분포 단위(Grinnell, 1917)이고, 영양수준과 관련하여 생물학적 환경에서 차지하는 생물의 기능적 지위이다(Elton, 1927). 또한 생태지위는 생물체의 구조적 적응, 생리학적 반응 및 특정 행동으로 인한 군집 및 생태계 내 생물체의 기능적 역할 또는 상태이다(Odum, 1969).

생태지위폭이 좁은 종은 특수한 서식처가 필요하고, 그에 따라 종의 분포역이 좁고 개체수가 적으나, 그것이 넓은 종은 환경변화에 잘 적응할 수 있어서 분포역이 넓고 개체수도 많다(Pianka, 1983).

생태지위폭이 종 간 차이가 나타나는 것은 유전적으로 고정되어 있어서 환경이 변화하여도 그대로 있기 때문이며, 그렇기 때문에 이를 측정하여 생물 종의 천이 계열을 밝히는 데도 이용될 수 있다(Zangerl, 1981).

생태중복역은 둘 이상의 종이 동일한 자원의 활용이나 환경적 요인에 대한 유사한 반응을 의미하며, 생태중복역이 클수록 경쟁이 심하다(Schoener, 1970; Hanski, 1978; Hulbert, 1978; Yimin et al., 2006). 또한 생태중복역으로 종내 또는 종간 경쟁의 정도를 추정할 수 있다(Abrams 1980).

우리나라 산지대에 주로 분포하는 낙엽성 참나무 6종 중 갈참나무(*Quercus aliena*)와 졸참나무(*Quercus serrata*)는 우리나라 자연형 하천변에 높은 빈도로 분포하는 잠재자연식생이며(Kim 2008, Kim et al., 2009), 갈참나무는 냉온대 남부·저산지대 및 난온대의 저해발 산록 계곡·계반 언저리에서 수분조건이 양호한 입지에 출현하는 것으로 알려져 있고(Kim, 1992; 2004; Hwang and Yun, 2007), 졸참나무는 난온대와 냉온대 사이, 즉 냉온대 남부·저산지대 식생역을 대표하는 우점종으로 알려져 있다(Kim and Kim, 2017). 일반적으로 졸참나무식물군락은 남부지방에서 숲 천이의 극상종으로 인식되고, 갈참나무는 식물군락이 보다는 한반도 중부지방의 산림군락에서 2차림의 하층식생을 구성하고 있다(Song, 2007).

최근에 대기의 CO₂농도가 급격히 증가하고 기온이 빠르

게 상승되고 있으며(Korea Meteorological Administration, 2008), 그 상승속도가 가속화되어(IPCC, 2014) 온실효과에 의해 2019년 전지구적 평균 기온은 산업화 이전(1850~1900년)에 비해 약 1.1±0.1℃ 더 높아졌다(World Meteorological Organization, 2020). 이러한 CO₂농도는 식물의 기본적인 생리활동인 광합성에 이용되는 원료물질이기 때문에, 공기 중의 CO₂농도가 높을수록 잎 속으로 CO₂ 확산속도가 빨라지고 이용이 높아져 광합성 속도가 증대되는 CO₂ 시비효과(CO₂-fertilization effect)라 부른다(Park, 1993; Park, 2003). 그러나 CO₂농도가 증가함에 따라 식물생장량이 증가하거나(Idso and Idso, 1994, Saxe et al., 1998) 변화가 없고(Garbutt and Bazzaz, 1984), 오히려 감소하기도 한다(Idso and Kimball, 1997). 온도와 CO₂ 농도에 따른 식물의 영향은 식물마다 종 특이성을 갖고 있기 때문에 복합적이고 다양하게 이루어진다(Kim and Kang, 2003). 이러한 CO₂ 농도와 온도의 상승은 식물의 생장뿐만 아니라 개체군의 생태지위에도 영향을 주는 요인이 될 수 있다(Cho et al., 2014).

본 연구는 우리나라 낙엽성 참나무 중 잠재자연하천 식생의 교목층과 하층에 높은 빈도로 분포하는 갈참나무와 졸참나무가 대기 중의 CO₂농도와 기온이 증가하는 기후변화 조건하에서 식물의 생육에 중요한 요소인 수분, 영양분 환경처리에 따라 나타나는 각 형질의 생육반응을 측정하고 이를 생태지위폭과 생태중복역으로 계산하고, 두 종간의 경쟁관계를 비교함으로써 두 종의 생태적 특성의 변화를 밝히고자 시도하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 종자 선정 및 파종

실험에 사용한 2종의 참나무 종자를 충청남도 공주시 신관동 인근 야산에서 실험하기전 해인 10월에 채집하였으며, 약 6개월간 4° C에 냉장 저장한 후 이듬해인 4월에 각 종별 크기가 유사한 종자를 선별하여 파종하였다. 실험에 사용한 유식물은 두 종의 열매를 살균된 모래를 채운 화분(직경 23.5cm, 높이24cm)에 파종하여 발아된 것이다.

2.2 환경요인 처리

기후변화처리는 폐쇄형 유리온실에서 다음과 같이 상승시켰다. CO₂농도 처리는 CO₂ 가스통 2개를 설치한 뒤, 각각 지름 0.2mm인 호스를 연결하여 CO₂가스를 24시간 주입하였고, 유리온실 내 설치된 CO₂센서(TEL-7001, Onset computer, USA)를 통해 농도변화를 모니터링한 뒤, Gas regulator로 조절하여 유리온실 내 CO₂농도를 자동으로(평균 602.7±64.1ppm) 유지시켰다. 온도 측정은 디지털 데이터 온도계(Thermo recorder TR-71U, Co., Japan)를 설치하여 30분마다 모니터링 하였다. 기후변화처리구는 평균 기온과 CO₂의 농도는 야외의 대조구 보다 각각 2.2°C와 222ppm이 높았다.

수분, 유기물의 두 가지 환경요인은 각각 4개의 기용기로 처리하였다. 수분 구배의 네 가지 기용기는 M4-M1 (mL water/plant)로 구분하였으며, 이는 3-4일 간격으로 공급하였다. 공급량은 포장용수량을 최대 M4(700mL)로 하고, 이보다 적은 100mL(M1), 300mL(M2), 500mL(M3)로 구분하여 물을 공급하였다. 물의 양은 포장용수량(700mL)을 기준(100%)으로 하였다.

영양소 구배는 식물재배에 사용한 건조한 모래의 부피(100%)를 기준으로 유기물(주, 효성오앤비)의 비율(유기물 함량 46.7%)을 15%(N4), 10%(N3), 5%(N2), 0%(N1)가 되도록 조절하여 처리하였다.

2.3 형질 측정 및 생태 지위

생태지위는 생육기 말인 10월에 잎 폭 길이(cm), 잎몸 길이(cm), 잎자루 길이(cm), 엽면적(cm²)과 같은 광합성기관과 식물체 구조(줄기길이(cm), 줄기 직경(cm), 지상부 길이(cm), 지하부 길이(cm)), 생물량(잎몸 무게(g), 잎자루 무게(g), 잎 무게(g), 줄기 무게(g), 지상부 무게(g), 지하부 무게(g), 식물체 무게(g))를 측정하여 계산하였다. 지하부는 물로 세척하여 흙을 완전히 제거하였으며, 모든 부분은 무게를 측정하기 전에 70°C에서 48시간 동안 건조한 뒤 측정하였다. 잎폭길이, 잎몸길이, 엽면적은 엽면적계(Skye, 2007)를 이용하였다. 잎자루 길이, 줄기 길이, 줄기 직경, 지상부 길이, 지하부 길이는 vernier calipers (CD-15CPX, Mitutoyo Corp.)를 이용하였고, 잎몸 무게, 잎 무게, 줄기 무게, 지상부 무게, 지하부 무게 등 건중량은 전자저울(UX400H)을 이용하여 측정하였다.

2.3.1 생태지위폭(Ecological Niche Breadth, NB)

생태지위폭(NB)은 환경구배별 각 형질의 상대치를 Levins(1968)의 식에 적용하여 계산하였다. 생태지위폭 최대값인 1을 기준으로 0.900 이상을 넓게 평가하였고, 0.900 이하를 좁게 평가하였다(Lee and You, 2009). 대조구(일반 대기조건)의 갈참나무와 졸참나무의 생태지위폭에 관한 자료는 동일 조건에서 수행되어 얻어진 Lee and You(2012)의 자료를 인용하였다. 또한 기후변화 조건의 생

태지위폭의 값을 대조구의 것으로 나누어 변이률(%)를 계산하여 각 형질의 반응의 특성을 분석하였다.

$B = 1/\sum(P_i^2)$ S(Levins 1968), 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

2.3.2 생태지위 중복역(Ecological Niche Overlap, NO)

졸참나무와 갈참나무의 생태적 지위 중복역은 환경구배별 각 형질의 평균치를 이용하여 Schoener(1970)의 방법에 따라 비례유사도(proportional similarity)로 계산하였다. 생태지위가 동일하면 즉 생태적 지위가 완전히 중복되면 그 값은 1이고 전혀 다르다면 0으로 계산된다(Hullbert, 1978).

$PS = 1 - 1/2 \sum |P_{ij} - P_{ih}|$ (Schoener 1970)

PS:Proportional similarity(niche overlap)

P_{ij} : relative response of species j in the i th gradient

P_{ih} : relative response of species h in the i th gradient

2.3.3 종간 경쟁관계

생태지위폭과 생태지위 중복역 값이 0.9 이상이면 폭이 넓고, 0.9 이하면 폭이 좁은 것으로 해석하였다(Lee and You, 2009; Jeong, 2019). 두 종의 개체들의 상호관계는 두종의 형질 값을 이용하여 주성분 분석(Principle component analyses, PCA)으로 개체들의 공간적 배치와 면적의 크기로 해석하였으며(Chun et al., 2007), 이 때 사용한 통계꾸러미는 PC-ORD 6(MiM Software Co.)이었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 토양 수분에 대한 두 종의 생태지위

기후변화시 갈참나무와 졸참나무에서 토양 수분환경에 따른 15가지 유식물 형질의 생태지위폭은 두 종 모두 0.90 이상으로 비교적 넓게 나타났고(갈참나무:0.991±0.005, 졸참나무:0.975±0.023), 갈참나무가 졸참나무보다 약간 높았다(Table 1). 이러한 결과는 기후변화조건에 대하여 갈참나무가 졸참나무보다 수분환경요인에 대하여 적응성이 더 높음을 의미한다.

식물체의 유사한 형질을 묶은 기관 그룹의 생태지위폭은 갈참나무에서 식물체 구조(0.994)=광합성 기관(0.994) > 생물량(0.988) 순으로 낮게 나타났다. 졸참나무에서는 식물체 구조(0.993) > 광합성 기관(0.986) > 생물량(0.957) 순으로 낮았다. 이처럼 식물의 기관들이 기후변화에 대하여 반응하는 생태지위폭의 변화 유형은 대체로 식물체 구조와

관련된 형질이 두 종에서는 안정적으로 반응하고, 가장 민감하게 반응하는 것은 생물량과 관련된 형질로 나타났다. 특히 생물량(무게)과 관련된 형질 중 지상부의 무게의 생태지위폭에서 갈참나무가 졸참나무의 것보다 가장 큰 차이(0.040)를 보였다.

기후변화시 두 종 갈참나무와 졸참나무의 토양 수분에 대한 생태지위 중복역은 0.941 ± 0.037 로 나타났다(Table 1). 수분환경에서 영양소환경보다 약간 높았다. 이러한 결과는 기후변화조건에서 두 종간의 경쟁은 수분에 대하여 더 심하게 일어날 수 있음을 시사하는 것이다.

15가지 생육형질 중 생태중복력이 0.9 이상인 형질은 잎 폭 길이(0.989), 잎몸 길이(0.970), 잎자루 길이(0.965), 엽면적(0.970), 줄기 길이(0.965), 줄기 직경(0.950), 지상부 길이(0.983), 지하부 길이(0.968), 잎몸 무게(0.919), 잎자루 무게(0.948), 줄기 무게(0.928), 지상부 무게(0.912)의 12개 형질(0.912~0.983)이었다. 반면 잎 무게(0.868), 지하부 무게(0.883), 식물체 무게(0.892)의 3개 형질(0.868~0.892)에서는 비교적 좁게 나타났다.

수분환경에서 15가지 형질을 유사한 기능을 갖는 특성으로 구분한 그룹의 생태지위 중복역은 광합성 기관(0.973) > 식물체 구조(0.967) > 생물량(0.907) 순으로 광합성 기관과 관련된 형질에서 가장 넓었는데 이는 생태지위폭과 유사한 경향을 보였다(Table 1).

3.2 토양영양소 대한 두 종의 생태지위

기후변화조건에서 갈참나무와 졸참나무에서 영양소 구배에 따른 15가지 형질의 생태지위폭은 수분구배의 것과 다르게(갈참나무; 0.980 ± 0.018 , 졸참나무; 0.983 ± 0.013) 두 종이 유사하게 나타났다(Table 1). 유사한 형질의 기능그룹으로 구분하면, 갈참나무나 졸참나무 2종 모두에서 식물체 구조(0.994:0.992) > 광합성 기관(0.984:0.984) > 생물량(0.970:0.978) 순으로 낮았다. 이러한 영양소구배에 대한 식물형질들의 반응은 전술한 수분환경구배에 대한 경향성과 일치하는 것으로 이는 기후변화조건에서 생육형질들의 반응은 종류와 상관없이 일정하게 일어나는 특성임을 뜻한다.

기후변화처리구에서 영양소에 대한 두종의 생태지위 중복역은 0.921 ± 0.029 로 수분의 것보다 약간 낮았다. 생태중복역이 0.9이상으로 비교적 높은 것은 잎 폭 길이(0.958), 잎몸 길이(0.962), 잎자루 길이(0.936), 엽면적(0.916), 줄기 길이(0.960), 줄기 직경(0.942), 지상부 길이(0.948), 지하부 길이(0.936), 잎자루 무게(0.923)의 9개 형질(0.916~0.962)이었고, 0.9이하인 것은 잎몸 무게(0.887), 잎 무게(0.886), 줄기 무게(0.883), 지상부 무게(0.885), 지하부 무게(0.899), 식물체 무게(0.896)의 6개 형질(0.883~0.896)이었다 생태지위 중복역은 잎몸길이(0.962)가 가장 넓었고, 줄기무게(0.883)에서 가장 좁았다(Table. 1).

Table 1. Ecological niche breadth and overlap of *Q. aliena* and *Q. serrata* by soil moisture and nutrient gradients under climatic change conditions (elevated CO₂-elevated temperature)

Character Group	Character	<i>Q. aliena</i>		<i>Q. serrata</i>		Overlap	
		Moisture	Nutrient	Moisture	Nutrient	Moisture	Nutrient
Photo-synthetic organs	Leaf width length	0.991	0.997	0.995	0.988	0.989	0.958
	Leaf lamina length	0.999	0.999	0.993	0.997	0.970	0.962
	Leaf petiole length	0.992	0.941	0.974	0.982	0.965	0.936
	Leaf area	0.994	0.998	0.983	0.969	0.970	0.916
	Mean	0.994	0.984	0.986	0.984	0.973	0.943
Plant architecture	Stem length	0.988	0.993	0.998	0.994	0.965	0.960
	Stem diameter	0.998	0.995	0.981	0.995	0.950	0.942
	Shoot length	0.998	0.996	0.994	0.996	0.983	0.948
	Root length	0.991	0.992	0.999	0.983	0.968	0.936
	Mean	0.994	0.994	0.993	0.992	0.967	0.947
Biomass	Leaf lamina weight	0.992	0.989	0.980	0.954	0.919	0.887
	Leaf petiole weight	0.981	0.969	0.984	0.974	0.948	0.923
	Leaves weight	0.984	0.954	0.921	0.994	0.868	0.886
	Stem weight	0.983	0.960	0.951	0.992	0.928	0.883
	Shoot weight	0.991	0.967	0.951	0.991	0.912	0.885
	Root weight	0.990	0.973	0.952	0.965	0.883	0.899
	Plant weight	0.996	0.978	0.963	0.976	0.892	0.896
Mean	0.988	0.970	0.957	0.978	0.907	0.894	
	Grand mean	0.991	0.980	0.975	0.983	0.941	0.921
	Standard deviation	0.005	0.018	0.023	0.013	0.037	0.029

영양소구배에서 15가지 형질을 유사한 특성에 따른 형질 그룹의 생태지위 중복역은 식물체 구조 (0.947) > 광합성 기관 (0.943) > 생물량 (0.894) 순으로 좁았다. 이러한 결과는 수분조건의 것과 생물량은 유사하나 나머지 기관들의 것은 서로 달랐다(Table 1).

3.3. 두 종 생태지위폭의 변화율

기후변화가 되면 일반대기조건(대조구)에 비하여 생태지위폭이 환경(수분, 영양소)과 종, 형질의 종류에 따라 각각 다르게 반응하였다(Fig. 1).

기후변화가 되면, 수분조건에 대하여 반응하는 갈참나무의 생태지위폭은 대조구에 비하여 6개의 형질에서 증가하였고, 9개의 형질에서 감소하였다. 반면 갈참나무의 생태지위폭은 10개 항목에서 상승하였고, 5개의 항목에서 감소하였다.

기후변화가 되고 영양소가 변하는 환경에서 갈참나무의 생태지위폭은 대조구에 비하여 4개의 형질에서 증가하였고, 11개의 형질에서 감소가 일어났다. 그러나 갈참나무에서는 9개의 형질에서 생태지위폭이 증가하였고, 6개 형질에서 감소가 일어났다.

이러한 결과로 볼 때 기후변화조건이 되면 수분환경이나 영양소환경에 대하여 갈참나무가 갈참나무보다 더 유리하

게 될 것으로 예측된다.

또한 수분이나 영양소 환경변화에서는 5개의 형질에서만 두 종이 반응하는 경향성(증가나 감소)이 일치하였고, 나머지 10개의 형질은 서로 다른 경향성을 보였다.

이는 매우 유사한 동일한 속(genus)이라도 기후환경 변화에 대하여 각 식물의 형질이 독립적인 모듈처럼 독립적으로 반응함을 의미한다(Barbour et al., 2015).

3.4. 두 종 개체군의 변화

기후변화조건이 되면, 수분 구배와 영양소 구배에 대한 두 종의 반응은 뚜렷하게 나타났고, 두 종이 서로 다르게 나타났다(Fig. 2). 갈참나무는 수분조건에 대하여 기후변화 처리구가 대조구에 비하여 면적이 크게 증가하였으나 갈참나무는 오히려 크게 감소하였다. 이러한 결과는 기후환경 변화시 수분환경이 변하는 서식처에서는 갈참나무에게 유리하게 작용하여 경쟁 등에서 우세할 것으로 예측된다. 즉 두 종이 CO₂ 농도와 온도에 대하여 생태학적으로 다르게 반응한다는 것을 의미한다.

영양소 환경에서는 수분환경과는 정반대로 나타났다. 즉 갈참나무는 영양소조건에 대하여 기후변화처리구가 대조구에 비하여 면적이 감소하였으나 갈참나무는 오히려 증가하였다. 그러나 갈참나무의 면적감소가 기후변화처리구에서

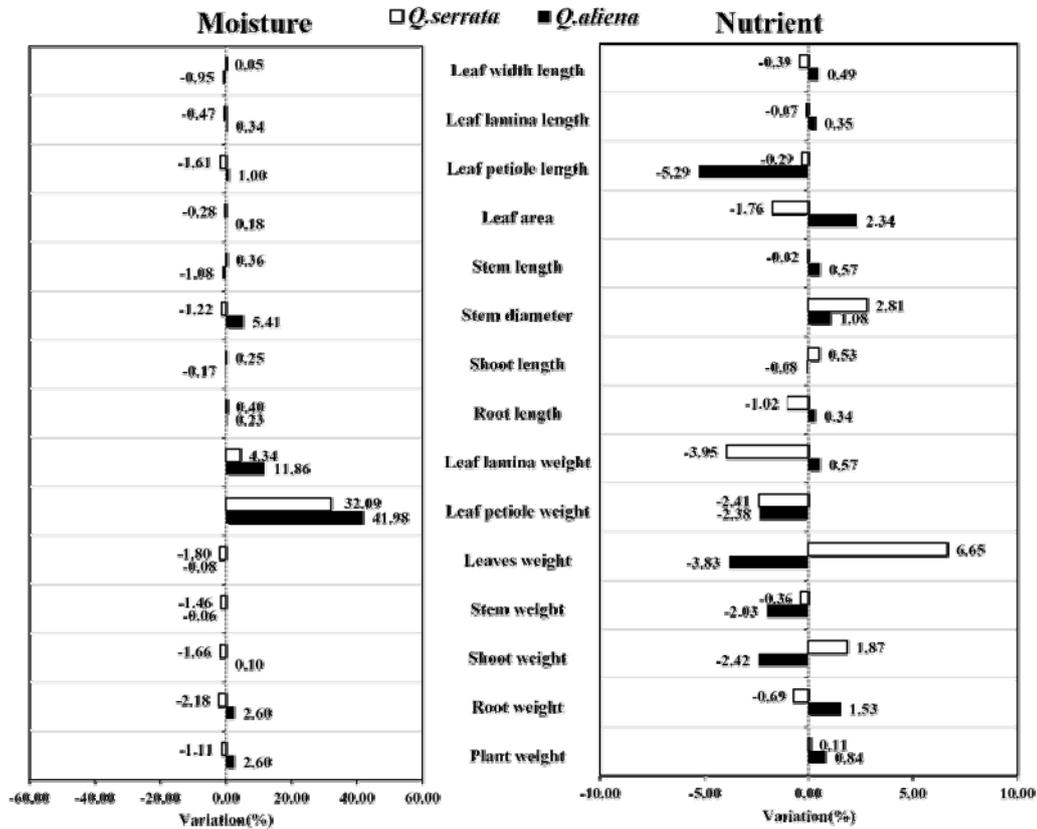


Fig. 1. Percent variation(%) of the ecological niche breadth of 15 characters of *Q. serrata* and *Q. aliena* under climate change treatment in soil moisture and nutrient environment to ambient atmosphere condition(control). Negative numbers indicate a decrease relative to the control, and positive numbers indicate an increase.

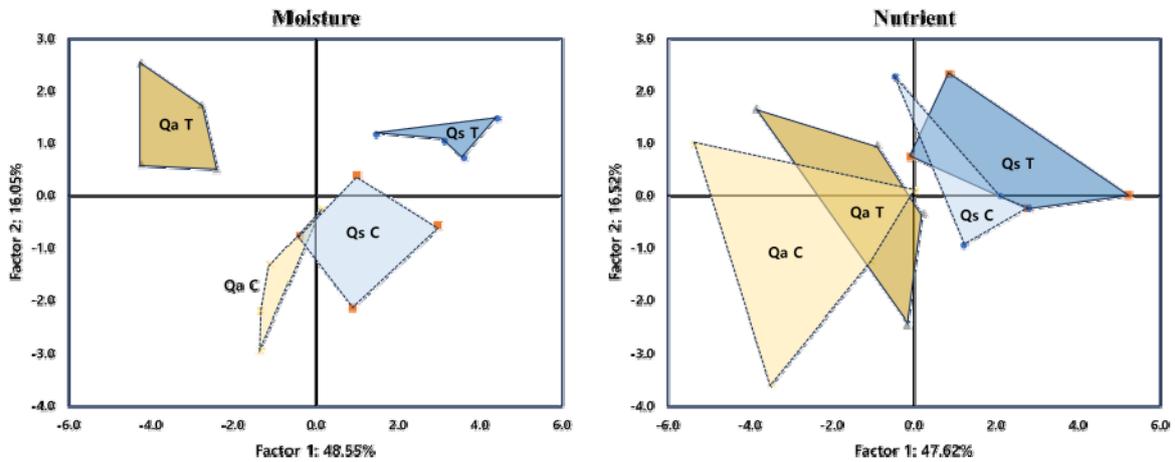


Fig. 2. Principal component analysis ordination of 15 character variables of *Q. serrata*(Qs) and *Q. aliena*(Qa) under control (C, ambient CO₂-ambient temperature) and climatic change treatment (T, elevated CO₂-elevated temperature) by soil moisture and nutrient gradients.

일어났지만, 두종의 면적은 유사하였다.

이러한 결과는 기후환경 변화시 영양소환경이 변하는 서식처에서는 졸참나무 개체군과 갈참나무 개체군에게 거의 비슷하게 작용하여 두 종의 경쟁관계의 변화는 거의 없을 것으로 판단된다(조 등, 2014).

또한 이러한 두 종의 배열법 상의 분포유형에 미치는 개체들의 형질($r > 0.5$)은 수분환경에서는 잎 폭 길이, 잎몸 길이, 잎자루 길이, 잎몸 무게, 잎자루 무게, 엽면적, 잎 전체 무게, 줄기 무게, 지하부 무게, 식물체 무게로 광합성 기관과 생물량과 관련성이 높았다(Table 2). 영양소 환경에서는 잎 폭 길이, 잎몸 길이, 엽면적, 지하부 길이, 잎몸 무게,

잎자루 무게, 잎 전체 무게, 줄기 무게, 지상부 무게, 지하부 무게, 식물체 무게로 광합성 기관과 생물량에 관련성이 높았다(Table 2). 이는 기후변화에 대한 식물의 반응이 소수의 형질이 아닌 대부분의 형질이 관련되어 있음을 의미하는 것이다.

이러한 결과는 기후변화시 육상식물에서 생태지위의 변화는 거의 일어나지 않는다는 보고(Petitpierre et al., 2012)와 상반되는 것으로서 더 다양한 목본식물에 대한 실험적 연구결과와 자료의 축적이 필요하다고 판단된다.

4. 결론

Table 2. Correlation matrix of 15 variables treated with moisture gradients and nutrient one in the first and two principal component scores of PCA (Statistically significant factors with values greater than 0.5 are marked in *)

	Moisture		Nutrient	
	factor 1	factor 2	factor 1	factor 2
Leaf width length	-0.864122*	0.146885	-0.810735*	0.020006
Leaf lamina length	-0.869340*	0.222395	-0.937984*	-0.059395
Leaf petiole length	-0.819068*	0.282758	-0.368257	-0.610288*
Leaf area	-0.930274*	0.044397	-0.896600*	-0.060180
Stem length	-0.329732	0.633358*	-0.061681	0.806269*
Stem diameter	-0.379719	-0.404130	-0.382893	0.563567*
Shoot length	-0.300499	0.693134*	-0.200934	0.648342*
Root length	0.427256	-0.417791	0.620328*	-0.120460
Leaf lamina weight	-0.792562*	-0.000509	-0.921630*	0.061234
Leaf petiole weight	-0.924636*	0.074470	-0.672662*	-0.068307
Leaves weight	-0.603297*	-0.181836	-0.676561*	0.284931
Stem weight	-0.721588*	0.007016	-0.677007*	0.480621
Shoot weight	-0.432150	-0.770148*	-0.749542*	0.017743
Root weight	-0.773649*	-0.339265	-0.761354*	-0.463858
Plant weight	-0.752073*	-0.536995*	-0.855411*	-0.398766
Variance explained(%)	48.55	16.05	47.62	16.52

한반도 산지 하천변의 잠재 자연식생의 주요 구성종인 갈참나무와 졸참나무가 기후변화조건이 되면 그들의 생태지위와 종간 관계가 어떻게 변하는지를 알아보기 위하여 CO₂와 온도를 상승시킨 기후변화조건하에서 토양수분(4구배)과 토양영양소(4구배)를 처리하고 나타나는 형질의 생육 반응을 측정하고, 생태지위폭과 중복력을 계산하고, 이를 대조구의 것과 비교하였다. 또한 두 종간의 관계는 형질값을 이용하여 주성분분석(PCA)으로 배열하여 두 종간의 경쟁도와 특징을 해석하였다.

기후변화시 수분환경 조건에서는 갈참나무의 생태지위폭이 졸참나무의 것보다 넓었다. 수분환경에서 갈참나무는 식물체 구조와 광합성 기관부분에서 높았고, 졸참나무는 식물체 구조와 관련된 부분에서 높게 나타났다. 영양소 조건에서 두 종의 생태지위폭은 서로 유사하였다. 영양소환경에서 두 종 모두 식물체 구조와 관련된 부분에서 높았다. 또한 기후변화시 갈참나무와 졸참나무의 토양수분에 대한 생태지위 중복역은 토양 영양소구배 보다 넓었다. 수분환경의 생태지위중복역은 광합성 기관과 관련된 형질에서 가장 넓었는데, 이는 생태지위폭과 유사한 경향을 보였다. 영양소환경의 생태지위 중복역은 식물체 구조와 관련된 형질에서 가장 넓었으며, 이는 생태지위폭과 유사한 경향을 보였다.

기후변화로 인하여 생태지위폭의 증가가 감소보다 더 많이 일어나는 형질들을 갖는 종은 수분구배와 영양소구배에서 모두 갈참나무이었다. 그리고 개체군들의 반응에서는 기후변화영향으로 토양수분 조건에서는 갈참나무가 졸참나무보다 적응력이 더 높아졌으나, 영양소 조건에서는 두종이 유사하였다. 이러한 결과는 기후변화조건에서 두 종간의 경쟁은 수분환경에 대하여 더 심하게 일어나고 그 때 갈참나무가 졸참나무보다 적응력이 더 높다는 것을 의미하는 것이다. 즉 두 종이 CO₂농도와 온도에 대하여 생태학적으로 다르게 반응한다는 것을 의미한다.

사사

이 논문은 2022년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구 지원에 의하여 연구되었음.

References

- Abrams P. 1980. Some comments on measuring niche overlap. *Ecology* 61: 44-49. [https://doi.org/10.2307/1937153]
- Barbour MG, Burk JH, Pitts WD, Gilliam FS and Schwartz MW. 2015. *Terrestrial Plant Ecology*. 3rd ed. Mun HT, Jeong YS, You YH, translator. Hongreung publusing company. Seoul, Korea.
- Cho KT, Jeong HM, Han YS and Lee SH. 2014. Variation of Ecological Niche of *Quercus serrata* under Elevated CO₂ Concentration and Temperature. *Korean Journal of Environmental Biology*, 32(2), 95-101. [https://doi.org/10.11626/KJEB.2014.32.2.095]
- Chun YJ, Collyer ML, Moloney KA and Nason JD. 2007. Phenotypic plasticity of native vs. invasive purple loosestrife: a two-state multivariate approach. *Ecology*, 88(6), 1499-1512. [https://doi.org/10.1890/06-0856]
- Chun YJ, van Kleunen M and Dawson W. 2010. The role of enemy release, tolerance and resistance in plant invasions: linking damage to performance. *Ecology letters*, 13(8), 937-946. [https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2010.01498.x]
- Elton CS. 1927. *Animal Ecology*. Sidgwick and Jackson, London.
- Garbutt K and Bazzaz FA. 1984. The effects of elevated CO₂ on plant. III. Flower, fruit and seed production and abortion. *New Phytologist* 98(4): 433-446. [https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1984.tb04136.x]
- Grinnell J. 1917. The niche relationships of the California thrasher. *Auk* 34: 427-433.
- Hanski I. 1978. Some comments on the measurement of niche metrics. *Ecology* 59: 168-174. [https://doi.org/10.2307/1936644]
- Hulbert SH. 1978. The measurement of niche overlap and some relatives. *Ecology* 59: 67-77.
- Hwang SM and Yun CW. 2007. Vegetation structure of Secheon valley area and forest vegetation types in Mt. Sikjang. *Korean J. Environ. Biol.* 25(3): 249-259. [in Korean with English abstract]
- Idso KE and Idso SB. 1994. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: a review of the past 10 years. *Agricultural and Forest Meteorology* 69: 153-203. [https://doi.org/10.1016/0168-1923(94)90025-6]
- Idso SB and Kimball BA. 1997. Effects of longterm atmospheric CO₂ enrichment on the growth and fruit production of sour orange trees. *Global Change Biology* 3: 89-96.
- 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.3.
- Jeong YH. 2019. *Growth Response and Ecological Niche Breadth of Quercus dentata, According to Environmental Conditions Under Climate Change*. Kongju National University. Kongju, Korea. [in Korean with English summary]
- Kim JW. 1992. *Vegetation of northeast asia: On the*

- syntaxonomy and synegeography of the oak and beech forests. Department of Vegetation Science & Biological Conservation, Ph.D dissertation, University of Vienna.
- Kim YS and HJ Kang. 2003. Effects of elevated atmospheric CO₂ on wetland plants: a review. *Korean J. Limnol.* 36:391–402.
- Kim JW. 2004. Vegetation ecology. Seoul: World Science. (in Korean)
- Kim SB. 2008. wetlands and environmental resources. *Worin*, pp 61–83.
- Kim IT, Song MS and Jung SH. 2009. Analysis of Distribution and Association Structure on the Sawtooth Oak (*Quercus acutissima*) Forest in Korea. *Korean Journal of Life Science*, 19(3), 356–361. [<https://doi.org/10.5352/JLS.2009.19.3.356>]
- Kim YH and Kim JW. 2017. Distributional uniqueness of deciduous Oaks (*Quercus* L.) in the Korean Peninsula. *Journal of the Korean Society of Environmental Restoration Technology*, 20(2), 37–59. [<https://doi.org/10.13087/kosert.2017.20.2.37>]
- Korea Meteorological Administration. 2008. Report of Global Atmosphere Watch 2008. Seoul, Korea. pp 177 (in Korean)
- Levins R. 1968. *Evolution in Changing Environments*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Lee HJ and You YH. 2009. Ecological Niche Breadth of *Q. mongolica* and Overlap with *Q. acutissima* and *Q. variabilis* along with Three Environment Gradients. *Korean J. Environ. Biol.*, 27(2), 191–197.
- Lee SH and You YH. 2012. Measurement of ecological niche of *Quercus aliena* and *Q. serrata* under environmental factors treatments and its meaning to ecological distribution. *Journal of Ecology and Environment*, 35(3), 227–234. [<https://doi.org/10.5141/JEFB.2012.027>]
- Lim H, Kim HR and You YH. 2012. Growth Difference between the Seedlings of *Quercus serrata* and *Q. aliena* under light, moisture and nutrient Gradients. *Korean Wetlands Society*, 14(2), 237–242. [<https://doi.org/10.17663/JWR.2012.14.2.237>]
- Lee JH, Suh SH and Hong SC. 2005. Community structure of forest vegetation in Mt. Bislan. *Agric. Res. Bull. Kyungpook Natl. Univ.* 23: 9–18. (in Korean with English abstract)
- Odum EP. 1969. The strategy of ecosystem development. *Science* 164: 262–270.
- Park WK. 1993. Increasing atmospheric carbon dioxide and growth trends of Korean subalpine conifers *Jour. Korean For. Soc.* 82(1): 17–25.
- Park BH. 2003. Studies on the Niche of Four Herbal Species along the Environmental Gradient. MD. Thesis, Seowon University. Cheongju, Korea.
- Petitpierre B, Kueffer C, Broennimann O, Randin C, Daehler C and Guisan A. 2012. Climatic niche shifts are rare among terrestrial plant invaders. *Science (New York, N.Y.)*, 335(6074), 1344–1348. [<https://doi.org/10.1126/science.1215933>]
- Pianka ER. 1983. *Evolutionary Ecology*. 3rd ed. Harper & Row, New York.
- Saxe H, Ellsworth DS and Heath J. 1998. Tansley review No.98 Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere. *New Phytol* 139: 359–436.
- Schoener TW. 1970. Nonsynchronous spatial overlap of lizards in patchy habitats. *Ecology* 51: 408–418. [<https://doi.org/10.2307/1935376>]
- Song MS. 2007. Analysis of distribution and association structure on the Sawtooth oak (*Quercus acutissima*) forest in Korea. PhD Dissertation, Changwon National University, Changwon, Korea.
- Yimin L, Xihao S and Chongying G. 2006. Niche width and niche overlap: a method based on type-2 fuzzy sets. *Ecol Res* 21: 713–722. [<https://doi.org/10.1007/s11284-006-0180-z>]
- Zangerl AR. 1981. Relationships between population and ecological variability. Ph. D. thesis, Univ. of Illinois, Ill. 102P.