

상수리나무와 떡갈나무의 수분과 영양소 구배에 따른 생태지위 중복역

조경미*·설아라**·최윤경*·김세희***·김의주***·김윤서***·이정민***
·이주선***·김규리***·박지원***·박재훈***·유영한**

*한국수목원정원관리원 국립 백두대간수목원

**산림청 국립산림과학원 난대아열대산림연구소

***공주대학교 생명과학과

Ecological Niche Overlap Between *Quercus acutissima* and *Q. dentata* with Soil Moisture and Nutrient Gradients

Kyeong Mi Cho*·Ara Seol**·Yoon Kyung Choi*·Se Hee Kim***·Eui Joo Kim***·Yoon Seo Kim***
·Jung Min Lee***·Ju Seon Lee***·Gyu Ri Kim***·Ji Won Park***·Jae Hoon Park***·Young Han You***

*Korea Arboreta and Gardens Institute, Baekdudaegan National Arboretum Seedvault Center

**National Institute of Forest Science, Warm Temperature and Subtropical Forest Research Center

***Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea

(Received : 10 May 2023, Revised : 20 May 2023, Accepted : 20 May 2023)

요약

본 연구는 토양의 수분함량과 영양소함량을 4구배로 처리한 후에 나타나는 생육반응의 변화에 따른 낙엽성 참나무 두 종-상수리나무와 떡갈나무-의 생태 지위 중복역을 측정하고 두 종간의 경쟁의 정도를 배열법으로 해석한 것이다. 수분환경 구배에서 두 종의 생태 지위 중복역은 광합성과 관련된 잎 기관에서 높았고, 생물량에서는 낮았다. 영양소 구배에서는 줄기 길이와 같은 식물기하학적 형태적 구조와 관련된 형질에서 높았다. 또한 두 종의 경쟁에서 수분구배의 경우 떡갈나무가 현저히 우세하였으나, 영양소구배에서는 오히려 상수리나무가 떡갈나무보다 약간 우세하였다. 이러한 결과는 유사한 환경에서 자라는 유사한 분류군이라도 환경의 종류에 따라 식물체의 형질에 대한 반응이 서로 다르게 나타내는 것이라 할 수 있다.

핵심용어 : 낙엽성 참나무, 경쟁정도, 토양요인

Abstract

This study measured the ecological niche overlap between two deciduous oak species(*Quercus acutissima* and *Q. dentata*) according to the change in growth responses after treating with the moisture and nutrient contents of the soil at four gradients, and interpreted the degree of competition between the two oak species by ordination method. In the moisture environment gradient, the ecological niche overlap of the two species was high in the photosynthesis-related leaf organs and low in plant architecture such as shoot length. In addition, in case of

*To whom correspondence should be addressed.

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

- Kyeong Mi Cho Korea Arboreta and Gardens Institute, Baekdudaegan National Arboretum Seedvault Center/Researcher(32304515@koagi.or.kr)
- Ara Seol National Institute of Forest Science, Warm Temperature and Subtropical Forest Research Center/Researcher(araseol@korea.kr)
- Yoon Kyung Choi Korea Arboreta and Gardens Institute, Baekdudaegan National Arboretum Seedvault Center/Researcher(32304516@koagi.or.kr)
- Se Hee Kim Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(ksh41631@smail.kongju.ac.kr)
- Eui Joo Kim Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(euioo@kongju.ac.kr)
- Yoon Seo Kim Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(201502761@smail.kongju.ac.kr)
- Jung Min Lee Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(ljm@smail.kongju.ac.kr)
- Ju Seon Lee Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(wntjs2433@smail.kogju.ac.kr)
- Gyu Ri Kim Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(gyuri128@smail.kongju.ac.kr)
- Ji Won Park Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(ecopark@kongju.ac.kr)
- Jae Hoon Park Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Researcher(kn5314@kongju.ac.kr)
- Young-Han You Department of Biological Sciences, Kongju National University, Korea/Professor(youeco21@kongju.ac.kr)

competition between two oaks, *Q. dentata* was remarkably dominant in soil moisture gradient, but *Q. acutissima* slightly was slightly advantageous over *Q. dentata* in the soil nutrient gradient. These results show that even in a similar taxonomical group growing in a similar habitat, the response to the organ system of the plant varies depending on the type of environment factor, resulting in different competitive differences among plants.

Key words : Deciduous *Quercus*, competition intensity, soil factors

1. 서 론

모든 생물은 환경의 내성의 범위에서 형성된 생태적 지위 폭 내에서만 생존이 가능하며 이는 종 또는 환경요인의 종류에 따라 다르게 나타난다(Pianka 1983). 생태적 지위폭이 넓은 종은 환경변화에 비교적 잘 적응하여 분포역이 넓고 개체수도 많으나, 그 폭이 좁은 종은 특수한 서식처가 요구되어 분포역이 한정되고 개체수가 상대적으로 적다(Lee, 1985). 일반적으로 생물군집이 발전함에 따라 천이초기 종에 비하여 후기 종이 차지하는 지위폭이 좁은 쪽으로 변한다(Grinnel, 1917; Park, 2003).

생태적 지위 중복역은 종 간 비교에서 겹치게 되는 생태적 지위폭으로 특정 환경에서 자연에 대한 경쟁의 정도와 그 결과를 가늠할 수 있는 척도가 된다(Park, 2003). 유사한 생태적 지위를 가질 경우 자원에 대한 경쟁이 필연적이다. 경쟁의 정도는 생태적 지위 중복역의 너비에 비례하며, 생태적 지위폭과 생태적 지위 중복역을 이용하여 종 간 경쟁의 정도를 비교할 수 있다.

우리나라 산지대에 주로 분포하는 낙엽성 참나무 중 상수리나무는 종자생산량이 높아 야생동물의 먹이원으로 중요하고, 생육 속도가 빨라 도토리목, 버섯대목, 참숯 등으로 이용되고 있다(Lim, 1995). 상수리나무의 분포는 수평적으로는 함경남도부터 제주도 한라산까지, 수직적으로는 해발 10m-1,100m까지로 낙엽성 참나무 중 저지대의 낮은 전역에 걸쳐 분포한다(Chung and Lee, 1965).

한편 산림 내에서 포유류가 선호하는 비빔목(rubbing trees)으로 이용되는 떡갈나무는 한국에서 내륙 및 해안절벽 등 산립 800m 이하 저지대의 석회암 지역에 우점하고 수평적으로는 함경북도부터 한라산까지의 넓게 분포한다(Korea Forest Research Institute, 1988; Lee and Lee, 2014). 또한, 다른 낙엽성 참나무에 비해 분포 입지 특성상 내음성에는 약하지만 내건성과 내조성에 강하여 해안사구나 바닷가의 임연부에도 분포한다(Lim, 1995).

이처럼 두 종은 공간적으로 분포범위가 유사하여 하나의 식물군집 내에서 흔하게 공생하고 있는 것이 발견되고 있으나(Lee et al., 2000; Kim et al., 2009), 서로 간의 경쟁의 정도나 환경에 대한 반응 등에 대한 연구는 없다.

따라서 본 연구는 식물분포에 핵심적인 환경요인인 수분 함량과 영양소함량에 대하여 두 종의 생태지위 중복역을 측정하여 두 종의 자원에 대한 경쟁의 정도와 이에 대한 형질 반응의 특성을 알아보고자 시도하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 종자 선정 및 파종

실험에는 국내에 자생하고 있는 목본인 상수리나무(*Q. acutissima*, Qa)와 떡갈나무(*Q. dentata*, Qd)의 종자를 사용하였다. 상수리나무와 떡갈나무의 열매는 각각 충청남도 공주시와 충청북도 괴산군의 조령산에서 10월에 채집하고 이를 4°C로 냉장 보관하였다. 이듬해 봄, 모식물의 영향을 최소화하기 위해 크기가 유사한 종자를 선발하여 지름 24cm, 높이 23.5cm인 화분에 파종 후 발아시켰다. 종자가 발아된 화분은 자연광이 입사되고, 비를 막을 수 있는 유리 온실에서 180일 간 키웠다.

2.2 환경요인 처리

2.2.1 토양수분 처리

수분 처리는 건조된 토양을 채운 화분(지름 24cm, 높이 23.5cm)에 물을 공급하며, 화분 아래로 물이 빠져나가기 직전까지의 양인 포장용수량(700ml)을 기준(100%)으로 하여, M1(100ml), M2(300ml), M3(500ml), M4(700ml)의 4구배로 처리하였다. 이러한 4구배의 수분의 양을 참나무 유식물이 자라는 화분에 동일한 시간대 5 - 7일 간격으로 공급하였다.

2.2.2 영양소 처리

영양소 처리는 화분에 사용한 모래의 부피(100%)를 기준으로 하여 유기물의 비율을 N1(0%), N2(2%), N3(4%), N4(8%)를 공급하여 4구배로 사용하였다. 유기물 함량은 유기질비료(46.7%, 효성오엔비(주))를 사용하여 그 비율(양)을 조절하였다.

2.3 형질 측정 및 생태 지위

생태 지위는 17가지의 형태학적 형질을 측정하여 계산하였다. 이 형질들은 생태적으로 유사한 기능을 하는 광합성과 관련된 잎 기관(잎몸길이, 잎폭, 잎자루길이, 엽면적, 잎수), 기하학적 구조와 관련된 형질(줄기길이, 줄기직경, 지상부길이, 지하부길이), 물질투자와 관련된 생물량의 형질(잎몸무게, 잎자루무게, 잎무게, 줄기무게, 줄기+가지무게, 지상부무게, 지하부무게, 식물체무게)의 세 그룹으로 분류하고 정리하였다. 잎몸길이(cm), 잎폭(cm), 엽면적(cm²)은 엽면적계(SI700, Skye)를 이용하여 측정하였다. 잎자루길이(cm), 줄기길이(cm), 줄기직경(cm), 지상부길이(cm)와 지

하부길이(cm)는 Vernier calipers (CD-15CPX, Mitutoyo Corp.)를 이용하였으며, 잎몸무게(g), 잎자루무게(g), 식물체잎무게(g), 줄기무게(g), 지상부무게(g)와 지하부무게(g) 등 건중량은 전자저울(UX400H)을 이용하여 측정하였다.

2.3.1 생태 지위폭(Niche Breadth, NB)

수분, 영양소의 환경요인에 의한 상수리나무와 떡갈나무의 유식물의 생태적 지위폭은 환경 구배별 각 형질의 측정값을 Levins (1968)의 공식에 적용하여 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

2.3.2 생태 지위 중복역(Niche Overlap, NO)

상수리나무와 떡갈나무의 생태적 지위 중복역은 환경구배별 각 형질의 측정값을 이용하여 Schoener (1970)의 방법에 따라 비례유사도(proportional similarity)를 계산하였다. 생태 지위가 동일하다면 즉, 생태 지위가 완전히 중복되면 그 값은 1이고, 전혀 다르다면 0으로 계산된다(Hulbert, 1978). 본 연구에서는 생태적 지위 중복역이 0.9 미만일 경우 상대적으로 중복이 약하고, 0.9이상일 경우 상대적으로 강한 것으로 판단하였다

$$PS=1-1/2\sum|P_{ij}-P_{ih}|$$

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 경쟁 관계

두 종간의 생태 지위 중복과 경쟁의 정도는 생태 지위중복역과 함께 배열법(ordination)을 이용하여 두 종의 개체가 겹치는 공간범위로도 해석하였다. 두 종간의 경쟁에 의한 우세한 정도(competition intensity, CI)는 생태 지위폭(NB)과 생태 지위 중복역(NO) 간의 차이(CI=NB-NO)를 이용하였고, 특정 환경에 대하여 형질의 생태 지위폭이 넓으면서 생태적 지위 중복역이 좁은 종이 상대적으로 경쟁에 유리한 것으로 판단하였다(Schoener, 1974). 배열법은 환경요인에 의한 상수리나무와 떡갈나무의 전체적인 반응 상태를 밝히기 위해 형질의 측정값을 상관계수로 이용하여 주성분분석(PCA)을 사용하였다. 사용한 통계 분석은 통계 패키지 Statistica 7(Statsoft, Inc, 2004)을 이용하였다(Noh and Jeong, 2002).

3. 결과 및 고찰

3.1 수분에 대한 생태지위

수분처리구에서 두 종의 각 형질에 대한 생태적 지위 중복역은 잎자루무게(0.900), 지상부무게(0.905), 줄기무게(0.912), 식물체잎무게(0.915), 잎몸무게(0.918), 지하부길이(0.930), 식물체무게(0.932), 지상부길이(0.938), 지하부무게(0.940), 엽면적(0.940), 줄기길이(0.943), 잎수(0.946), 잎몸길이(0.957)와 잎폭(0.986)의 순으로 더 높게 나타났다(Fig. 1). 생태지위 중복역이 상대적으로 낮은 형질은 줄기 직경(0.893)이었다. 두 종간의 생태지위 중복역은 생물량과 관련된 형질에서 낮고(0.906±0.033), 기하학적 구조와 관련된 형질은 중간정도이고(0.926±0.020), 광합성과 관련된 잎 기관에서 다소 높게 나타났다(0.957±0.017)(Fig. 1). 이러한 결과는 두 종의 수분에 대한 경쟁에서는 식물체의

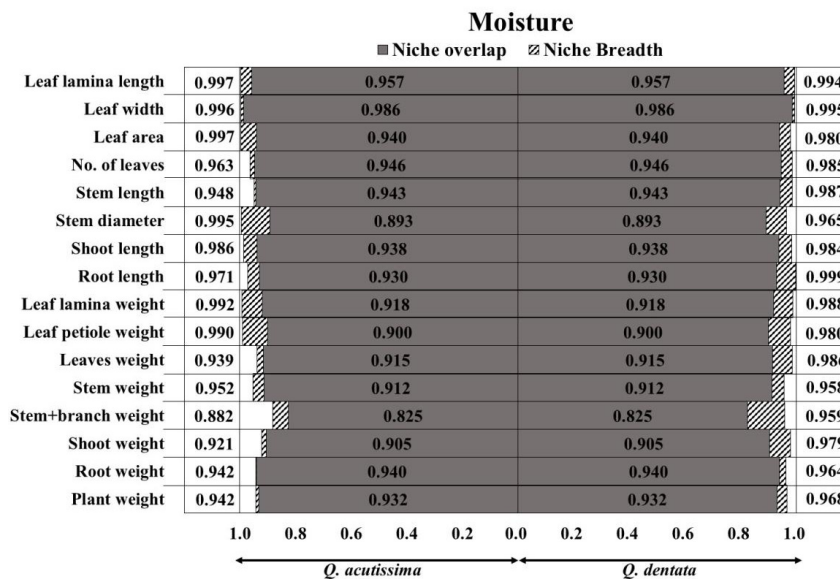


Fig 1. Ecological niche breadth and ecological niche overlap of *Quercus acutissima* and *Quercus dentata* under the moisture gradient treatment

다른 기관보다도 잎과 관련된 광합성 조직에서 심하게 일어남을 의미한다.

수분환경에서 두 종간의 생태지위에 대한 경쟁정도(CI)는 엽면적(0.057), 잎자루무게(0.090)와 줄기직경(0.102)등의 3가지 형질에서는 상수리나무가 우세하였고, 지하부무게(0.024), 식물체무게(0.036), 잎수(0.039), 줄기길이(0.044), 줄기무게(0.046), 지하부길이(0.069), 식물체잎무게(0.071)와 지상부무게(0.074)등의 8가지 형질에서는 떡갈나무가 우세하였다. 잎폭(0.001), 지상부길이(0.002), 잎몸길이(0.003)와 잎몸무게(0.004)등은 서로 유사하였다

두 종간의 경쟁에서 광합성과 관련된 잎 기관(Qa:0.031 ± 0.019 > Qd:0.031 ± 0.013)은 경쟁정도가 비슷했고, 기하학적 구조와 관련된 형질(Qa:0.049 ± 0.035 < Qd:0.058 ± 0.013)과 생물량과 관련된 형질(Qa:0.037 ± 0.031 < Qd:0.057 ± 0.020)에서는 떡갈나무가 유리하였다.

수분 처리구에서 두 종의 개체들의 분포는 상수리나무(Qa)에서 좌우로 넓게, 떡갈나무(Qd)에서 상하로 상대적으로 좁게 나타났다(Fig.2). 떡갈나무 개체들은 연속적으로 분포하였으나 상수리나무의 약간 건조(Qd M2) 처리한 개체들은 다른 개체들과 이격되어 분포하였다. 두 종이 겹치고 밀집되어 분포하는 영역에서 두 종의 분포를 보면, 상수리나무에서는 건조하거나(Qa-M1) 수분이 높은 조건의 개체들(Qa-M4)과 떡갈나무에서는 수분이 중간 정도인 개체들(Qd-M2, Qd-M3)이 인접하여 나타나고 있다.

이는 생태 지위폭(NB)과 중복역(NO)의 차이(NB-NO)로 수분에 대한 경쟁(CI)의 관계를 판단해 볼 때 떡갈나무가 상수리나무보다 대부분의 형질에서 생태 지위측면에서 우세하였으므로(Fig 1), 결과적으로 이러한 수분 환경조건에서는 떡갈나무가 상수리나무를 이길 수 있는 것으로 판단된다.

이런 환경조건을 갖는 곳에서는 떡갈나무 서식처로 상수리나무가 이입되어 정착하게 된다면, 장기적으로는 상수리나무는 쇠퇴하고, 떡갈나무는 유지될 것이라 해석된다. 그 반대로 상수리나무가 먼저 정착한 곳에 떡갈나무가 후자로 이입되어도 결국에는 상수리나무가 쇠퇴하고, 떡갈나무는 우세할 것으로 판단된다. 이처럼 수분에 대하여 상수리나무가 떡갈나무에 비하여 불리한 것은 상수리나무는 수분이 많은 조건을 선호하여 생태 지위가 좁지만(Jeong et al., 2009), 떡갈나무는 수분 조건에 생태 지위가 넓기 때문이라 판단된다(Jeong, 2019; Lee et al., 2010).

두 종의 개체들이 수분에 대하여 가장 폭넓게 반응하는 것은 평면에서 가장 넓게 흩어져 있는 Qa-M2(좌-우)와 Qd-M2(상-하)처리구로 이는 두 종이 모두 약간 건조한 조건에 적응되어 있기 때문으로 판단된다.

두 종의 형질에 반응하는 양상은 상수리나무는 1축(전체 분산의 40.46%)에, 떡갈나무는 2축(22.11%)과 더 관련되어 분포하였다(Fig 2). 배열법 상에서의 분포유형에 영향을 미치는 형질을 보면($r > 0.5$ 인), 요인 1의 경우, 잎폭, 잎수, 잎무게, 줄기무게, 줄기+가지무게, 지상부무게, 지하부무게

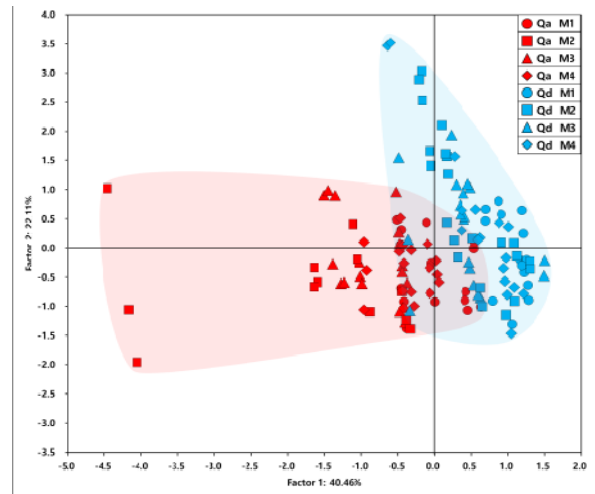


Fig 2. Two dimensional of PCA of *Q. acutissima*(Qa) and *Q. dentata*(Qd) using 17 variables treated with moisture gradients(M1-M4)

와 식물체 무게로 생물량과 관련된 형질변수가 연관되어 나타났고, 요인 2의 경우에는 잎폭과 엽면적, 잎무게, 잎자루무게, 잎면적 등으로 광합성 기관과 관련성이 높았다 (Table 1).

Table 1. Correlation matrix of 17 variables treated with moisture gradients in the first and two principal component scores of PCA (* means a statistically significant greater than $r=0.5$)

variables	Factor 1	Factor 2
Leaf lamina length	0.241226	0.886662*
Leaf width	0.512074*	0.684889*
Leaf petiole length	0.066092	0.325456
Leaf lamina weight	0.170572	0.870425*
Leaf petiole weight	0.038234	0.665903*
Leaf area	0.147061	0.920977*
No. of leaves	0.832448*	0.339957
Leaves weight	0.943255*	0.082776
Stem length	0.301056	0.346146
Stem diameter	0.334287	0.011278
Stem weight	0.720659*	0.174484
Shoot length	0.858441*	0.220158
Stem+branch weight	0.879966*	0.116156
Shoot weight	0.962089*	0.103607
Root length	0.417212	0.001633
Root weight	0.846274*	0.056449
Plant weight	0.932496*	0.011774
Expl.Var	6.878071	3.759270
Prp.Totl	0.404592	0.221134

3.2 영양소

영양소 처리구에서 두 종의 각 형질에 대한 생태지위 중복역은 잎자루무게(0.906), 잎수(0.911), 잎몸길이(0.934), 잎폭(0.934), 줄기직경(0.947), 지상부길이(0.979)와 지하부길이(0.988)의 순으로 높게 나타났다(Fig. 3). 생태적 지위 중복역이 상대적으로 낮은 형질은 지하부무게(0.826), 지상부무게(0.826), 식물체잎무게(0.832), 식물체무게(0.835), 엽면적(0.859), 잎자루길이(0.866), 잎몸무게(0.866), 줄기길이(0.896)와 줄기무게(0.896)이었다. 두 종간의 생태적 지위 중복역은 생물량과 관련된 형질에서 낮고(0.851±0.032), 광합성과 관련된 잎 기관은 중간정도이고(0.901±0.032), 기하학적 구조와 관련된 형질에서 다소 높게 나타났다(0.953±0.036)(Fig 3). 이러한 결과는 두 종의 영양소에 대한 경쟁은 식물체의 구조적 배열이나 형태에 영향을 미친다는 것을 뜻한다(Barbour et al., 2015).

영양소 환경에서 두 종간의 경쟁이 일어날 때(Niche breadth-Niche overlap의 차이)(NB-NO) 상수리나무(Qa)는 잎몸길이(0.062), 잎자루무게(0.068), 줄기길이(0.088), 잎몸무게(0.117), 엽면적(0.132), 식물체무게(0.149)와 지하부무게(0.165)의 7가지 형질에서 상수리나무가 유리하였고, 떡갈나무(Qd)는 줄기무게(0.062), 잎수(0.066), 식물체잎무게(0.113), 잎자루길이(0.115)와 지상부무게(0.127)의 5가지 형질에서 상수리나무보다 유리하게 나타났다. 두 종간의 생태 중복에서 경쟁 정도에 차이가 거의 없는 형질은 줄기직경(0.001), 잎폭(0.002), 지하부길이(0.003), 지상부길이(0.004)이었다(Fig.3). 이처럼 상수리나무가 영양소구배에서 떡갈나무와의 경쟁에서 우위를 차지하는 것은 상수리나무보다 떡갈나무의 영양소 요구량이 높기 때문으로 판단된다(Lee et al., 2010).

두 종간의 경쟁에서 개개의 형질을 유사한 기능군의 유형으로 묶어서 보면, 광합성과 관련된 잎 기관(Qa:0.077±

0.030 > Qd:0.074±0.023), 기하학적 구조와 관련된 형질(Qa:0.031±0.033 > Qd:0.024±0.017)과 생물량과 관련된 형질(Qa:0.104±0.035 > Qd:0.083±0.032) 모두에서 상수리나무가 떡갈나무보다 유리한 것으로 나타났다. 이는 영양소함량을 고려하여 두 종의 경쟁시 상수리나무가 떡갈나무보다 유리하게 반응한다고 할 수 있다.

영양소 처리구에서 두 종의 개체들의 분포는 수분구배 처리구와 유사하게 상수리나무(Qa)에서는 좌우로 넓게, 떡갈나무(Qd)에서는 상하로 상대적으로 좁게 나타났다(Fig.4). 떡갈나무 개체들은 연속적으로 분포하였으나 상수리나무의 약간 높은 영양소조건(Qd-N3) 처리한 개체들은 다른 개체들과 이격되어 왼쪽으로 치우쳐 분포하였다. 두 종이 겹치고 밀집되어 분포하는 영역에서 두 종의 분포를 보면, 상수리나무는 영양소가 적거나(Qa-N1) 높은(Qa-N4)개체들이 떡갈나무에서는 영양소가 약간 적은 구배들의 개체들(Qd-N2) 인접하여 나타나고 있다(Fig 4).

이는 생태 지위폭(NB)과 중복역(NO)의 차이(NB-NO)로 경쟁의 관계를 판단해 볼 때 상수리나무가 떡갈나무보다 7:5의 비율로 형질 경쟁에서 우세하였으므로(Fig.3), 결과적으로 이러한 영양소 조건에서는 상수리나무가 떡갈나무를 일부 형질에서 경쟁우위에 있는 것으로 판단된다. 그러나 영양소 경쟁에서 나타나는 두종 경쟁력의 우위는 수분조건에서 떡갈나무가 상수리나무를 이기는 것(8 : 3의 형질비율)처럼 명확하지 않고 다소 불확실하게 나타날 것이라 판단된다. 따라서 영양소를 대상으로 한 두 종의 경쟁은 전체적으로 비등하지만, 상수리나무가 다소 우세할 것으로 판단된다.

두 종의 개체들이 가장 폭넓게 반응하는 것은 가장 넓게 흩어져 있는 Qa-N3(좌-우방향)와 Qd-N4(상-하방향)처리구로 이는 떡갈나무가 상수리보다 영양소가 다소 풍부한 환경적 입지조건에 적응되었기 때문으로 판단된다(Lee et

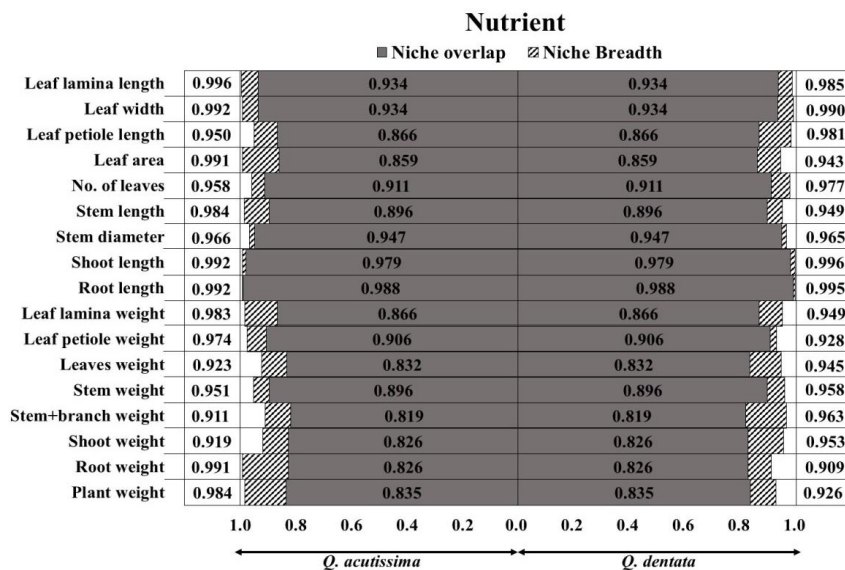


Fig 3. Ecological niche breadth and ecological niche overlap of *Quercus acutissima* and *Quercus dentata* in the nutrient gradient treatment

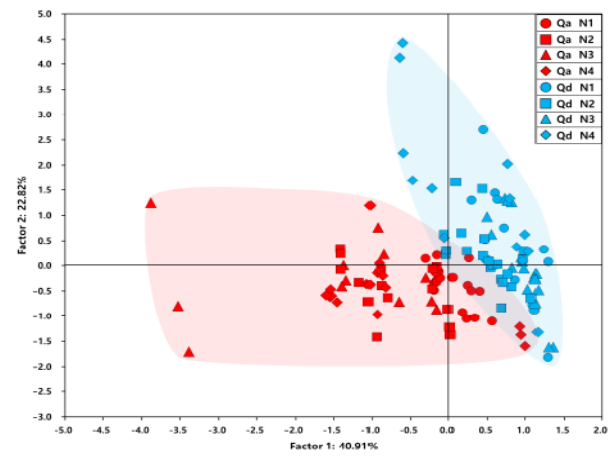


Fig 4. Two dimensional ordination of PCA of *Q. acutissima*(Qa) and *Q. dentata*(Qd) using 17 variables treated to nutrient gradients(N1-N4)

al., 2000). 특히 자연 서식지에서 토양의 높은 영양소의 함량은 석회암지역과 같은 생육지에서 발견된다(Kim et al., 1990; Kim et al., 1991).

영양소 구배에 대한 두 종 참나무의 형질이 반응하는 양상은 수분구배와 유사하게(Fig 2), 상수리나무는 1축(전체 분산의 40.91%)에, 떡갈나무는 2축(22.82%)과 더 관련되

Table 2. Correlation matrix of 17 variables treated with nutrient gradients in the first and two principal component scores of PCA (* means a statistically significant greater than 0.5)

variables	Factor 1	Factor 2
Leaf lamina length	0.186960	0.889446*
Leaf width	0.584786*	0.640447*
Leaf petiole length	0.01269	0.499261
Leaf lamina weight	0.259865	0.887593*
Leaf petiole weight	0.073967	0.699682*
Leaf area	0.201216	0.927089*
No. of leaves	0.793368*	0.348738
Leaves weight	0.945452*	0.011687
Stem length	0.192507	0.126082
Stem diameter	0.422165	0.114004
Stem weight	0.851426*	0.001763
Shoot length	0.849256*	0.308563
Stem+branch weight	0.911585*	0.099485
Shoot weight	0.974269*	0.054743
Root length	0.241832	0.163977
Root weight	0.801202*	0.067148
Plant weight	0.893843*	0.038221
Expl.Var	6.954894	3.879040
Prp.Totl	0.409111	0.228179

어 분포하였다(Fig 4). 배열법 상에서의 개체들의 분포형에 영향을 미치는 형질을 보면($r > 0.5$ 인), 요인 1의 경우, 잎폭, 잎수, 줄기무게, 줄기길이, 줄기+가지무게, 지상부무게, 지하부무게와 식물체무게와 관련성이 높았고, 요인 2의 경우에는 잎길이, 잎폭과 엽면적, 잎무게, 잎자루무게, 엽면적 등으로 광합성 기관과 관련성이 높았다(Table 2). 이러한 영양소에 대한 개체들의 반응과 관련이 높은 형질들은 전술한 바와 같이 수분에 대한 개체들의 형질반응과 유사한 것이다(Table 1).

4. 결론

한반도의 낙엽수림 생태계의 주요 구성종이면서, 공서종인 상수리나무와 떡갈나무의 생태지위의 중복역을 실내에서 유식물을 대상으로 하여 나머지 환경 조건은 동일하고 수분(4 구배)과 영양소(4 구배)의 두 조건만 다르게 처리한 후 나타나는 형질 및 생육 반응을 측정하고 개체들 간의 상호작용을 주성분분석(PCA)으로 배열하여 두 종간에 일어나는 경쟁의 정도와 특징을 해석하였다.

두 종의 경쟁의 정도는 환경요인인 수분구배에서는 두 종의 생태지위 중복역은 광합성과 관련된 잎 기관에서 높았고, 생물량부분에서는 낮았고, 영양소 구배에서는 줄기 길이와 같은 식물기하학적 형태적 구조와 관련된 형질에서 높게 나타났다. 이러한 결과는 두 종간의 경쟁은 환경요인에 따라 서로 다르게 나타났다는 것을 의미하는 것이다.

또한 생태 지위폭과 생태 중복역의 차이로 경쟁의 정도를 해석하면, 수분환경 조건에서는 떡갈나무가 대부분의 형질 반응에서 현저히 우세하였으나, 영양소환경 조건에서는 오히려 상수리나무가 떡갈나무보다 일부의 형질에서 약간 우세하게 나타났다.

이러한 결과는 두 종이 사는 서식지의 조건이 수분변화가 심한 곳에서는 떡갈나무가 상대적으로 우세해지고 영양소 함량변화가 큰 곳에서는 상수리나무가 천이후기종이 될 가능성이 높음을 시사하는 것이고, 식물생태학적으로는 유사한 환경에서 같이 자라는 식물이라도 환경의 종류에 따라 서로 다르게 반응하고, 동일종의 동일개체에서도 형질의 종류에 따라 각기 반응이 개별적으로 이원화되어 나타난다는 것을 뜻한다.

사사

[본 연구는 국립산림과학원 난대·아열대산림연구소의 지원으로 수행되었습니다.(Project No. FE0100-2019-02-2023)] / [난대·아열대산림연구소 제주도 63582]

References

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.
- Chung TH and Lee WC. 1965. A Study of the Korean Woody Plant Zone and Favorable Region for the Growth and Proper Species. *Sungkyunkwan University Symposium*. Seoul, 10, pp. 329-66. [Korean Literature]
- Grinnell J. 1917. The Niche-Relationships of the California Thrasher. *The Auk*. 34(4). pp. 427-33. [https://doi.org/4072271]
- Hulbert SH. 1978. The Measurement of Niche Overlap and Some Relatives. *Ecology*. 59(1), pp. 67-77. [https://doi.org/10.2307/1936632]
- Jeong HM, Kim HR and You YH. 2009. Growth Difference among Saplings of *Quercus acutissima*, *Q. variabilis* and *Q. mongolica* under the Environmental Gradients Treatment. *Korean Journal of Environmental Biology*. 27(1), pp. 82-87. [in Korean with English summary]
- 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]
- Korea Forest Research Institute. 1988. A Study on the Development of Comprehensive Use of Oak Tree Resources (I). Ministry of Science and Technology. Korea. [in Korean with English summary]
- Kim IT, Song MS and Jeong SH. 2009. Analysis of Distribution and Association Structure on the Sawtooth Oak (*Quercus acutissima*) Forest in Korea. *Journal of Life Science*. 19(3), pp. 356-361. [in Korean with English summary] [https://doi.org/10.5352/JLS.2009.19.3.356]
- Kim JH, Mun HT and Kwak YS. 1990. Community structure and soil properties of the *Pinus densiflora* forests in limestone areas. *The Korean Journal of Ecology*. 13(4), pp. 285-95.
- Kim JH, Mun HT and Kwak YS. 1991. Community Structure and Soil Properties of Chinese Cork Oak (*Quercus variabilis*) forests in limestone area. *The Korean Journal of Ecology*. 14(2), pp. 159-69.
- Levins R. 1968. Evolution in Changing Environments: Some Theoretical Explorations. Princeton University Press. New Jersey, US.
- Lee DK, Kwon KC, Jin YH and Kim YS. 2000. Sprouting and Sprout Growth of four *Quercus* Species -At Natural Stands of *Quercus mongolica*, *Q. variabilis*, *Q. acutissima* and *Q. dentata* Growing at Kwangju-Gun, *Kyonggi-Do*. *Journal of Korea Forestry Energy*. 19(2), pp. 61-68. [in Korean with English summary]
- Lee SK, You YH and Yi HB. 2010. The Growth Response of *Quercus dentata* Sapling to the Environmental Gradients Treatment. *Journal of Life Science*. 20, pp. 597-601. [in Korean with English summary] https://doi.org/10.5352/JLS.2010.20.4.597
- Lee HS. 1985. Studies on the Niche for Several Plant along the Environmental Gradient. Ph. D. Thesis, Seoul National University. Seoul, Korea. [in Korean with English summary]
- Lee SM and Lee WS. 2014. Selection of the Rubbing Trees by Wild Boar (*Sus scrofa*) and its Ecological Role in a Mixed Forest, Korea. *Journal of Korean Forest Society*. 103(3), pp. 510-518. [in Korean with English summary] [https://doi.org/10.14578/jkfs.2014.103.3.510]
- Lim TH. 1995. An Oak and Our Culture. Soomoon Press. Seoul, Korea. [Korean Literature]
- Noh HJ and Jeong HY. 2002. Easy-to-Understand Statistical Analysis by STATISTICA. Hyungseul Publisher. Seoul, Korea. [in Korean with English summary]
- Pianka ER. 1983. *Evolutionary Ecology*(3rd ed.). Harper & Row Publisher. New York, US.
- Park BH. 2003. Studies on the Niche of Four Herbal Species along the Environmental Gradient. MD. Thesis, Seowon University. Cheongju, Korea. [in Korean with English summary]
- Schoener TW. 1970. Nonsynchronous Spatial Overlap of Lizards in Patchy Habitats. *Ecology*. 51(3), pp. 408-18. [https://doi.org/10.2307/1935376]
- Schoener TW. 1974. Some Methods for Calculating Competition Coefficients from Resource Utilization Spectra. *American Naturalist*. 108(961), pp. 332-340. [https://doi.org/10.1086/282911]