

덕유산 국립공원 삼림식생의 종 다양성

김창환·길봉섭*

이리농공전문대학, 원광대학교 과학교육과*

Species Diversity of Forest Vegetation in Tögyusan National Park, Korea

Kim, Chang-Hwan and Bong-Seop Kil*

Iri National College of Agriculture and Technology,

Department of Science Education, Wonkwang University*

ABSTRACT

Five measurements of species diversity (richness index, diversity index, evenness index, dominance index and species sequences-importance curve) and their relationships with altitude, tree age and community type were studied in Tögyusan National Park, Korea.

Altitude and tree age were the major variables explaining the differences of species diversity in the whole forest. Species diversity of the plant communities was also affected by environmental factors and disturbance. Species richness index, diversity index and evenness index of *Quercus mongolica* and *Pinus densiflora* communities were lower than those of *Carpinus laxiflora*, *Q. serrata*, *Fraxinus mandshurica*, *Q. mongolica* - *P. densiflora* and *Q. serrata* - *Q. mongolica* communities. Dominance index was higher in *Q. mongolica* and *P. densiflora* communities than that in the other communities. The species sequence-importance curve of the forest communities in Tögyusan coincided with the ideal curve calculated by the lognormal-distribution theory.

Key words: Dominance index, Species diversity index, Species sequence-importance curve, Tögyusan

서론

생물 다양성은 생태계의 기원과 역사 및 생태계의 구조와 기능에 관련된 고유 특성에 대한 통합된 결과로서 (Montalvo *et al.* 1993), 다양성을 조사하고 다양성의 차이에 영향을 미치는 요인을 결정하는 것은 생태학의 관심 분야 중 하나이다 (Rey Benayas and Scheiner 1993). 종 다양성은 이처럼 여러 요인의 통합된 결과로서 표현되기 때문에 다양성의 공간적, 시간적 변화 경향 (pattern)에 영향을 미치는 요인을 선별하기가 어렵다.

복합 환경요인으로서 고도는, 식물상 조성 (floristic composition)에 영향을 미치는 주요인으로 작용하기 때문에 (Montalvo *et al.* 1991) 종 다양성 변화에 큰 영향을 미친다 (Whittaker

and Niering 1975). 일반적으로 종 다양성 지수는 고도가 증가함에 따라 감소하는 경향이 있으나 (Itow 1991, Hamilton and Perrott 1981), 습도구배 (Glenn-Lewin 1977, Whittaker 1977, Peet 1978, Minchin 1989) 및 토양구배 (Wilson *et al.* 1990)에 따라 다르게 나타날 수 있다.

토양요인은 식물군락의 종 다양성에 큰 영향을 미치는 것으로 생각되며 (Rey Benayas and Scheiner 1993) 이에 대한 다양한 연구가 보고되고 있으나 (Monk 1967, Proctor 1971) 토양 특성이 식물 다양성에 미치는 일반적 경향을 파악하기 위해서는 보다 많은 연구가 요구된다.

식물군락에서 종의 다양성을 결정하는 또 다른 요인으로서 군락 발달단계(천이)를 들 수 있다 (Whittaker and Niering 1975). 최근에 천이와 종 다양성의 관계에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 천이에 따른 연속적인 자료수집에 어려움이 크다. 따라서 다양한 단계에 있는 여러 이차천이 군락에서 식물종 다양성을 측정함으로써 군락의 발달단계에 따르는 종 다양성의 변화 경향을 간접적으로 예측하고 있다.

본 연구에서는 식물사회학적으로 분류된 덕유산 삼림군집에서 4 종류의 다양성 지수(종 풍부도, 다양도, 균등도, 우점도)를 조사하여, 고도 및 군락 우점종의 종류와 수령에 따른 종 다양성의 변화를 파악하고, 종 서열-중요치 곡선을 이용하여 각 식물의 우점 서열을 결정하고 각 종이 식물 군락내의 자원을 어떻게 분배하고 있는가를 결정하였다.

조사지 개황

덕유산(1,594 m)은 127°45'00" E와 35°55'00" N에 걸쳐 있고 (Fig. 1) 태백산맥에서 서남방향으로 갈라진 소백산맥의 소백산과 지리산의 중간에 위치하며, 총 면적은 219 km²로서 1971년 국립공원으로, 1975년 2월에 국립공원 11호로 지정되었다.

덕유산에 인접한 장수 지역의 기후는, 년 평균기온이 10.7°C, 7월의 평균기온은 25.6°C, 1월의 평균기온은 -3.2°C이며 년강수량이 742mm로서 여름철에 전체의 48%의 강수량을 나타내고 있는 夏雨型에 속한다 (전주기상대 1994).

이 지역은 식물구계로 보면 남부아구에 속하며 식물군계로 보면 냉온대 남부에 속한다 (이와 임 1978). 이 지역의 식물상은 전체적으로 보아 신갈나무가 우점하며 고도 1,200 m에서부터 한대성 침엽수인 구상나무와 주목이 나타나기 시작한다.

조사방법

1990년 4월부터 1994년 8월 사이에 덕유산 국립공원내에 76개 조사지역을 선정하여 (Fig. 1), 식물사회학적 방법(Braun-Blanquet 1964)에 따라 식물군락을 분류한 후 각 식물군락에서 식물종 다양성을 조사하였다. 종수-면적곡선에 따른 최소면적(15 m×15 m)의 조사구에서 흉고직경(DBH) 3 cm 이상의 수종에 대한 매목조사를 실시하였으며 종서열 중요치 곡선을 작성하기 위하여 중요치로 상대기저면적을 사용하였다 (임과 이 1991). 한편 조사지역내 교목층의 수령 분석을 위하여 생장추를 사용하여 지상 50 cm에서 임목의 장축을 관통하여 core를 채취한 후 연구실로 운반하여 실제 현미경으로 연륜을 측정하였다.

고도별 다양성 분석은 덕유산의 구천동 계곡에서 향적봉으로 이어지는 북·동쪽, 고도 700 m 이상에 대한 중·상부 사면의 30개 조사지점(Fig. 1의 ■)에서 실시하였다. 또한 덕유산 삼림의 식생을 대표하는 5개 군락(신갈나무 (*Quercus mongolica*) 군락, 서어나무 (*Carpinus laxiflora*) 군

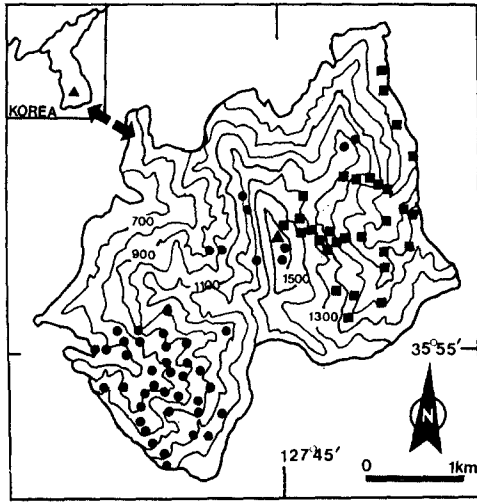


Fig. 1. Sampling sites in Tögyusan National Park.

- indicates sampling sites in 1990~1994.
- for species diversity analysis along altitude.

락, 졸참나무 (*Quercus serrata*) 군락, 들메나무 (*Fraxinus mandshurica*) 군락, 소나무 (*Pinus densiflora*) 군락]과 대체군락으로 예상되는 2개 군락[신갈나무-소나무 (*Quercus mongolica*-*Pinus densiflora*) 군락, 졸참나무-신갈나무 (*Quercus serrata*-*Quercus mongolica*) 군락]에서 종 다양성을 분석하였다.

종 다양도 지수(species diversity index)는 Shannon-Wiener(1949)방법, 종의 풍부도(species richness)는 Margalef(1972)방법, 균등도 지수(evenness index)는 Pielou (1966)방법, 우점도 지수(dominance index)는 Simpson(1949)방법으로 산출하였다. 또한 종 서열-중요치 곡선(Whittaker 1965)을 작성하고 평균기울기를 계산하였다.

결 과

Table 1은 고도에 따른 다양성 지수를 나타낸 것이다. 풍부도 지수(SR)와 다양도 지수(H')는 고도 1,100 m 이상에서 저고도에 비하여 낮았고, 균등도 지수(J')와 우점도 지수(C)는 고도에 따라서 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다.

조사된 7개 군락 우점종의 교목층 수령은 45~124년으로 조사된 지점에 따라 차이는 있으나 평균적으로 비슷한 수령분포를 나타내고 있어 심한 교란(벌목) 후 형성된 이차림임을 보여주고 있다 (한국임정연구회 1975).

7개 군락별 다양성 지수를 살펴보면 종의 풍부도 지수(SR), 다양도 지수(H'), 균등도 지수(J')는 신갈나무 군락과 소나무 군락이 다른 군락에 비해 낮았으며, 들메나무 군락과 졸참나무-신갈나무 군락에서 높게 나타났다 (Table 2).

Table 1. Species diversity of Tögyusan forest along the altitude (Mean ± SD)

Number of stands	Altitude (m)	Age (Tree layer)	SR	H'	J'	C
4	700~ 800	45~ 55	6.3±1.2	0.83±0.13	0.767±0.088	0.26±0.14
4	800~ 900	47~ 60	6.3±2.8	0.78±0.23	0.745±0.055	0.34±0.10
5	900~1,000	60~ 81	7.0±2.7	0.83±0.22	0.750±0.132	0.22±0.13
6	1,000~1,100	62~115	6.4±1.4	0.87±0.05	0.789±0.029	0.16±0.04
6	1,100~1,250	62~153	5.4±3.6	0.75±0.27	0.746±0.086	0.24±0.17
5	1,250~1,450	60~132	3.9±1.5	0.66±0.17	0.779±0.136	0.28±0.16

Note; SR = Species richness index
J' = Evenness index

H' = Shannon Wiener diversity index
C = Simpon's dominance index

Table 2. Species diversity of trees (≥ 3 cm DBH) in the seven communities of Tögyusan forest (Mean \pm SD)

Community	Number of stands	Age (Tree layer)	SR	H'	J'	C
<i>Quercus mongolica</i>	22	48~124	4.2 \pm 1.4	0.69 \pm 0.26	0.73 \pm 0.14	0.30 \pm 0.17
<i>Carpinus laxiflora</i>	5	52~85	7.7 \pm 1.2	0.84 \pm 0.05	0.70 \pm 0.08	0.21 \pm 0.06
<i>Quercus serrata</i>	9	45~68	7.0 \pm 0.7	0.85 \pm 0.13	0.84 \pm 0.01	0.17 \pm 0.03
<i>Fraxinus mandshurica</i>	8	51~102	9.5 \pm 1.6	1.02 \pm 0.10	0.81 \pm 0.04	0.13 \pm 0.04
<i>Pinus densiflora</i>	10	46~90	6.0 \pm 2.3	0.73 \pm 0.22	0.67 \pm 0.11	0.35 \pm 0.16
<i>Quercus mongolica</i> - <i>Pinus densiflora</i>	4	39~95	7.3 \pm 1.5	0.92 \pm 0.12	0.78 \pm 0.06	0.15 \pm 0.06
<i>Quercus serrata</i> - <i>Quercus mongolica</i>	4	42~64	8.6 \pm 0.9	1.00 \pm 0.11	0.83 \pm 0.06	0.12 \pm 0.05

Abbreviations are the same as in Table 1.

신갈나무 군락에서 종의 풍부도 지수(4.20)와 다양도 지수(0.69)가 가장 낮았으나, 다양도 지수의 표준편차가 0.26으로 다른 군락에 비하여 조사지점에 따라서 다양도 지수가 큰 변이를 나타내었다. 이러한 현상은 신갈나무 군락의 군락발달 단계(교목층의 우점종 수령이 48~124년의 범위)가 다양하기 때문인 것으로 보인다.

신갈나무-소나무 군락 및 졸참나무-신갈나무 군락의 다양도 지수는 비교적 높았는데, 이는 이 군락이 우점종의 대체에 따르는 종 조성 변화가 큰 대체군락이기 때문인 것으로 생각된다. 서어나무 군락과 졸참나무 군락은 다양도 지수가 중간치를 나타냈으며, 이 값은 지리산 피아골(장과 임 1985), 한라산(임과 이 1991), 가야산(정 1991) 및 무등산(강 1992)의 연구 결과와 유사하였다.

덕유산 국립공원내에 분포하는 7개 주요 군락의 종 서열-중요치 곡선은 대수정규분포에 상당히 접근하고 있었다 (Fig. 2). 종서열-중요치 곡선에서 윗부분의 기울기가 급하여 몇몇 종의 우점도가 높았으나 전체의 기울기가 완만하여 다수의 종이 나타나고 균등도가 높다는 것을 알 수 있다. 그러므로 덕유산 삼림은 소수의 몇몇 종이 우점하는 상태로 군락이 형성되어 있으나 전반적으로 이들 군락을 형성하는 구성종은 풍부한 것으로 판단된다.

각 군락안에서 주요 수종의 상대기저면적을 보면, 신갈나무 군락에서는 신갈나무 (78.9), 쇠물푸레 (3.4), 졸참나무 (3.8), 당단풍 (2.3)의 순으로 나타났으며, 서어나무 군락에서는 서어나무 (41.7), 개서어나무 (14.4), 졸참나무 (11.0), 거제수나무 (4.2)의 순이며, 졸참나무 군락에서는 졸참나무 (52.8), 신갈나무 (16.1), 물박달나무 (7.2), 서어나무 (7.3)의 순으로, 들메나무 군락에서는 들메나무 (66.0), 층층나무 (11.7), 고로쇠 (8.8), 읍나무 (6.8)의 순으로 나타났으며, 소나무 군락에서는 소나무 (78.3), 신갈나무 (8.1), 졸참나무 (3.9), 굴참나무 (3.1)의 순이며, 신갈나무-소나무 군락에서는 소나무 (61.6), 신갈나무 (33.5), 졸참나무 (1.8) 순으로, 졸참나무-신갈나무 군락에서는 신갈나무 (35.0), 졸참나무 (33.5), 소나무 (11.0), 거제수나무 (8.20)의 순으로 나타났다.

이러한 결과로 볼 때 각 군락에서 우점종이 군락내의 자원을 차지하는 비율이 상당히 높음을 알 수 있다. 신갈나무 군락에서 DBH 3 cm 이상인 수목이 31종으로 전 군락에서 가장 많았으나 신갈나무에 의하여 강하게 우점되어 있어서 종의 다양도 지수(H'=0.69)는 낮고 우점도 지수(C=0.30)는 다른 군락에 비하여 높았다. 이처럼 신갈나무 군락에서 신갈나무에 의한 공간자원

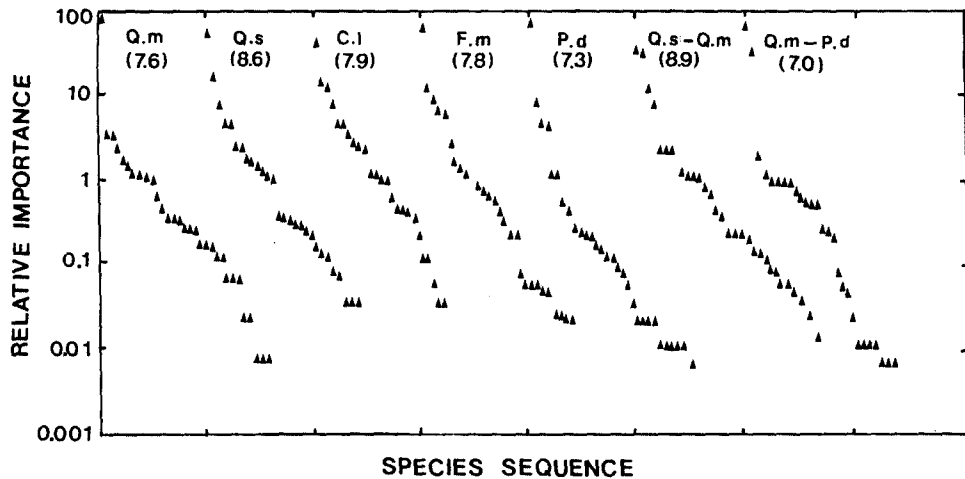


Fig. 2. Species sequence vs. relative importance curve of seven plant communities of Togyusan National Park. Numerals in parenthesis indicate average slopes.

Q.m: *Quercus mongolica*, Q.s: *Quercus serrata*, C.l: *Carpinus laxiflora*, F.m: *Fraxinus mandshuica*, P.d: *Pinus densiflora*, Q.s-Q.m: *Quercus serrata-Quercus mongolica*, Q.m-P.d: *Quercus mongolica-Pinus densiflora*.

점유율이 높음에도 불구하고 종 서열-중요치 곡선을 보면 상대기저면적 0.1~4%의 범위에 있는 22종이 전체 수종의 70.9%를 차지하여 대수정규분포에 접근하고 있다. 들메나무와 소나무 군락 역시 신갈나무 군락과 유사한 종 서열-중요치 곡선을 보였다. 이들 군락에서 종 서열-중요치 곡선의 평균기울기(AS)는 신갈나무군락이 7.6, 들메나무 군락이 7.8, 소나무 군락이 7.3으로 비슷하였고, 곡선의 전체적인 모양은 대수정규분포에 접근하였다 (Fig. 2). 졸참나무 군락과 졸참나무-신갈나무 군락에서 상대기저면적이 0.1~4% 범위에 속하는 종이 각각 20종(전체 종의 71.4%)과 19종(전체의 50%)이었으며, 곡선의 평균기울기(AS)가 각각 8.6과 8.9로서 대수정규분포에 접근하였다. 그러나 이들 군락에서 제 1위 종에 의한 공간자원 점유율이 다른 군락보다 낮은 반면 제 2, 3, 4위 종들의 공간자원 점유율이 높았다. 소나무-신갈나무 군락에서 상대기저면적 0.1~4%의 범위에 13종(전체 종의 48%)이 차지하고 있으며, 곡선의 평균기울기는 조사된 군락 중에서 가장 낮은 7.0으로서 곡선의 기울기가 다른 군락에 비해 급하게 나타나고 있으며 제1위 종인 소나무와 제2위 종인 신갈나무가 95.18%를 점유하고 있었다. 서어나무 군락은 상대기저면적이 0.1~4%의 범위에 16종(전체 종의 64%)를 차지하고 있으며, 곡선의 평균기울기는 7.9로 나타났다. 이 군락 역시 제 1위 종인 서어나무에 의한 공간자원 점유율이 다른 군락과 비교해 볼 때, 낮은 반면 제 2, 3, 4위 종들의 공간자원 점유율이 높게 나타났다.

고 찰

삼림에서 종 조성의 변화를 조절하는 주요인으로서 작용하는 고도는 (Montalvo *et al.* 1991), 종 다양성에 큰 영향을 미친다 (Whittaker and Niering 1975). 덕유산의 삼림군집에서 고도 1,100 m 이상의 높은 고도에서는 고도가 높아짐에 따라 종의 풍부도 지수(SR), 다양도 지수

(H')가 점점 낮아지는 경향을 보였다 (Table 1). 이러한 결과는 고도의 증가에 따른 온도의 감소로 종 조성이 소수로 제한 되기 때문인 것으로 생각된다 (Whittaker 1975). 그러나 고도 900 m 이하의 군집에서 오히려 다양도 지수(H')가 낮았는데, 이들 군락의 입상에 조릿대가 밀생하여 야고목층의 형성을 억제하기 때문인 것으로 생각된다.

군락별 종 다양도 지수는 신갈나무 군락과 소나무 군락이 비교적 낮았으며, 들메나무 군락, 신갈나무-소나무 군락 그리고 졸참나무-신갈나무 군락이 높게 나타났다 (Table 2). 신갈나무 군락은 고도 900 m 이상, 계곡을 제외한 전지역에 분포하고 있어 조사된 측구에 따라 다양성의 차이가 컸다 (SD=0.260). 소나무 군락은 인간의 간섭이 있거나 척박한 곳에 군락을 형성하고 있어, 낮은 고도에도 불구하고 종의 다양도가 낮게 나타난 것으로 보인다 (김 1992, Pigott and Taylor 1964, Tilman 1985). 들메나무, 소나무-신갈나무 그리고 졸참나무-신갈나무 군락은 조사된 군락중에서 높은 다양도지수(H')를 보였으나 다양도 지수가 높은 이유는 상이하다고 생각된다. 즉, 들메나무 군락은 고도 900 m 이상에서 형성되나, 주로 사면 하부와 계곡에 한정되어 있어 토양의 영양분과 수분이 다른 군락보다 풍부하여 다양도 지수가 높은 것으로 생각된다 (김 1992). 소나무-신갈나무 군락과 졸참나무-신갈나무 군락은 각각 소나무와 졸참나무의 교목층 우점종의 대체에 따르는 환경의 변화에 의하여 다른 종의 침입이 가능하기 때문에 종 다양도 지수가 높을 것이다 (Horn 1975).

중서열-중요치 곡선은 신갈나무, 서어나무, 졸참나무, 들메나무, 소나무, 신갈나무-소나무 및 졸참나무-신갈나무 군락에서 대수정규분포에 접근하고 있어서, 군락간의 약간의 차이는 있지만 대체적으로 어떤 특정종이 군집내 자원공간을 독점하지 않고 적절히 분배하여 사용하고 있음을 시사해 주고 있다. 한편, 신갈나무 군락, 소나무 군락, 신갈나무-소나무 군락은 구성 종수는 많으나 곡선의 윗부분이 급한 것으로 보아 신갈나무와 소나무에 의한 우점도 집중이 크다는 것을 알 수 있었다. 졸참나무 군락과 졸참나무-신갈나무 군락의 경우, 곡선 전체의 기울기가 완만하여 많은 종이 공간자원을 균등하게 나누어서 사용하고 있는 것처럼 보이나, 군락의 구성종이 부분적으로 대체되고 있어서 실제로는 다른 군락에 비하여 불안정한 상태에 있다고 할 수 있다. 덕유산 삼림군락의 중서열-중요치 곡선의 유형은 종 다양성이 높은 Great Smoky Mountains(Whittaker 1975), 설악산(Choi and Yim 1984) 및 한라산(임과 이 1991)과 유사한 것으로 보아 이곳 삼림의 종 다양성이 높다고 판단된다.

적 요

덕유산 국립공원의 62개 지점에서 조사된 7개 군락 즉, 신갈나무 (*Quercus mongolica*), 서어나무 (*Carpinus laxiflora*), 졸참나무 (*Q. serrata*), 들메나무 (*Fraxinus mandshurica*), 소나무 (*Pinus densiflora*), 신갈나무-소나무 (*Q. mongolica*-*P. densiflora*) 및 졸참나무-신갈나무 (*Q. serrata*-*Q. mongolica*) 군락에서 종 풍부도, 다양도, 균등도 및 우점도의 종 다양성 분석, 중서열-중요치 곡선을 이용하여 삼림식생 구조를 분석하였다.

고도와 군락의 발달단계는 삼림의 종 다양성에 영향을 미치는 중요한 변수로서 작용하였다. 또한 삼림군락의 다양성은 환경변수(토양습도, 토양유기물 등)와 교란에 의하여 영향을 받았다. 종 풍부도, 다양도 및 균등도 지수는 신갈나무와 소나무 군락에서 낮았으나 들메나무와 졸참나무-신갈나무 군락에서는 높았으며 우점도 지수는 신갈나무와 소나무 군락에서 높았다. 중서열-중요치 곡선에서 신갈나무, 서어나무, 졸참나무, 소나무, 들메나무, 신갈나무-소나무 및 졸참나무

무-신갈나무 군락은 대수정규분포에 접근하였다.

인용문헌

- 강선희. 1992. 무등산의 식물군락구조에 관한 연구. 원광대학교 석사학위 논문. 55p.
- 김창환. 1992. 덕유산 국립공원 삼림식생의 구조와 2차천이에 관한 연구. 원광대학교 박사학위 논문. 156p.
- 이우철 · 임양재. 1978. 한반도 관속식물의 분포에 관한 연구. 한국생태학회지 4:257-284.
- 임양재 · 이진화. 1991. 한라산 국립공원 삼림식생의 우점도-다양성에 관하여. 한국생태학회지 14:257-271.
- 전주기상대. 1994. 기상월보.
- 장윤석 · 임양재. 1985. 지리산 피아골의 식생형과 그 구조. 한국식물학회 28:165-175.
- 정민호. 1991. 가야산의 식생. 원광대학교 석사학위 논문. 52p.
- 한국임정연구회. 1975. 치산녹화 30년사. 동신인쇄소, 서울. 480p.
- Braun-Blanquet, J. 1964. Pflanzensozologie. 3. Springer-Verlag, Wien. 865p.
- Choi, K.R. and Y.J. Yim. 1984. On the dominance-diversity in the forest vegetation of Mt. Seolag. Kor. J. Bot. 27:25-32.
- Glenn-Lewin, D.C. 1977. Species diversity in North American temperate forest. Vegetatio 33:153-162.
- Hamilton, A.C. and R.A. Perrott. 1981. A study of altitudinal zonation in the montane forest belt of Mt. Elgon, Kenya /Uganda. Vegetatio 45:107-125.
- Horn, H.S. 1975. Markovian properties of forest succession. In M.L. Cody and J.M. Diamond (eds.), Ecology and Evolution of Communities. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts. pp.196-211.
- Itow, S. 1991. Species turnover and diversity patterns along an evergreen broad-leaved forest coenocline. J. Veg. Sci. 4:477-488.
- Margalef, R. 1972. Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. Trans. Connect. Acad. Arts Sci. 44: 211-35.
- Minchin, P.R. 1989. Montane vegetation of the Mt. Field massif, Tasmania: a test of some hypotheses about properties of community patterns. Vegetatio 83:97-110.
- Monk, C.D. 1967. Tree species diversity in the eastern deciduous forest with particular reference to north central Florida. Am. Nat. 101:173-187.
- Montalvo, J., M.A. Casado, C. Levassor and F.D. Pineda. 1991. Adaptation of ecological systems: compositional patterns of species and morphological and functional traits. J. Veg. Sci. 2:655-666.
- Montalvo, J., M.A. Casado, C. Levassor and F.D. Pineda. 1993. Species diversity patterns in Mediterranean grasslands. J. Veg. Sci. 4:213-222.
- Peet, R.K. 1978. Forest vegetation of the Colorado front range: patterns of species diversity. Vegetatio 37:65-78.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological colle-

- ctions. *J. Theor. Biol.* 13:131-44.
- Pigott, C.D. and K. Taylor. 1964. The distribution of some woodland herbs in relation to the supply of nitrogen and phosphorus in the soil. *J. Ecol.* 52 (Suppl.):175-185.
- Proctor, J. 1971. The plant ecology of serpentine. *J. Ecol.* 59:827-842.
- Rey Benayas, J.M. and S.M. Scheiner. 1993. Diversity patterns of wet meadows along geochemical gradients in central Spain. *J. Veg. Sci.* 1:103-108.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. Univ. Illinois Press, Urbana. 117p.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* 163:688.
- Tilman, D. 1985. The resource ratio hypothesis of succession. *Am. Nat.* 123:827-852.
- Wilson, J.B., W.G. Lee and A.F. Mark. 1990. Species diversity in relation to ultramafic substrate and to altitude in southwestern New Zealand. *Vegetatio* 86:15-20.
- Whittaker, R.H. 1965. Dominance and diversity in land plant communities. *Science* 147:250-60.
- Whittaker, R.H. 1975. *Communities and Ecosystems*. MacMillan, New York. 385p.
- Whittaker, R.H. and W.A. Niering. 1975. Vegetation of Santa Catalina Mountains, Arizona. V. Biomass, production and diversity along the elevational gradient. *Ecology* 46:429-452.
- Whittaker, R.H. 1977. Evolution of species diversity in land communities. *Evol. Biol.* 10:1-67.

(1996년 3월 18일 접수)