

환경구배에 따른 *Bidens* L. 속 식물의 성장에 관한 연구최 상 규* · 양 금 철¹중앙대학교 생물학과, ¹천안공업대학 환경공학과Studies on the Growth of *Bidens* L. Along the Environmental GradientSang-Kyoo Choi* and Keum-Chul Yang¹

Dept. of Life Science, Chung-Ang University, Seoul 156-756, Korea

¹Dept. of Environmental Engineering, Cheonan National Technical College,
Cheonan 330-717, Korea

Abstract - The growth and niche breadth of four species, i.e., native plants such as *Bidens tripartita* and *B. bipinnata* and naturalized plants such as *B. frondosa* and *B. pilosa* var. *minor*, were studied as related with environmental gradients including light intensity, soil moisture and soil nutrient. There were no significant differences in the phenology within each environmental gradients while considerable differences were found between species; the two naturalized species bloomed and produced fruit later than the two native species. Two naturalized species exhibited relatively higher total dry weight than the two native counterparts within all environmental gradients. Total dry weight showed positive responses to light intensity and soil moisture, and negatively to soil nutrient. The relative contribution of the environmental factors to total dry weight decreased in the order of soil nutrient, soil moisture and light intensity. Both *B. bipinnata* and *B. pilosa* var. *minor* showed significantly higher net assimilation rate (NAR) than other species. Also, NARs of *B. bipinnata* and *B. pilosa* var. *minor* decreased with increasing soil nutrient. Relative growth rate (RGR) decreased in order of *B. tripartita*, *B. bipinnata*, *B. frondosa* and *B. pilosa* var. *minor* in response to light intensity. In addition, RGRs of *B. bipinnata* and *B. pilosa* var. *minor* increased in response to soil moisture, while those of *B. pilosa* var. *minor* and *B. tripartita* decreased with increment of soil nutrient. No significant fluctuations of shoot/root ratio were not observed in three species, but a native species, *B. tripartita* showed a decreased shoot/root ratio in response to soil nutrient. Comparing the growth characteristics of the species, *B. pilosa* var. *minor* and *B. tripartita* revealed vigorous growth on barren soil. On the other hand, *B. frondosa* exhibited vigorous growth on fertile soil. Morphologically, *B. tripartita* adapted to light and required considerable moisture. On the contrary, the leaves of *B. bipinnata* did not change considerably in their area, although it preferred habitat with abundant light. In terms of niche breadth, *B. bipinnata* showed the widest ranges of 0.875 and 0.845 for light

* Corresponding author: Sang-Kyoo Choi, Tel. 02-820-5211,
Fax. 02-820-5206, E-mail. skc6199@dreamwiz.com

intensity and soil moisture gradients, respectively. *B. pilosa* var. *minor* showed a value of 0.933 for soil nutrient gradient. *B. tripartita* showed narrow ranges for the three environmental factors, whereas *B. frondosa* showed wide values for light intensity and soil nutrient, but relatively narrow value for soil moisture.

Key words: *Bidens*, NAR, niche breadth, RGR, shoot/root ratio

서 론

한 지역의 식물상은 불변하는 것이 아니라 진화, 산포 효율, 이주, 절멸의 과정을 거쳐 변화한다 (Daubenmire 1978). 이러한 식물상의 변화 요인과 함께 근래에는 활발한 국제간 교류 및 교역, 인간활동의 매개 등에 의하여 자생지로부터 타 지역으로 이동하여 자력으로 생활하게 되거나 도입 재배되는 과정에서 적응하여 생활하는 식물을 귀화식물이라고 한다 (박 1994).

귀화식물의 정착과 분포는 자생식물의 분포와는 여러 가지 점에서 다른 의미를 지닌다. 자생식물의 분포는 역사적 또는 생태적 원인과 관계로 설명될 수 있으나, 귀화식물의 분포는 인문적 요인의 영향을 크게 받는 것으로서 이들의 정착과 분포는 기존의 식물상 또는 식생의 조성, 자생종과의 경쟁에서 나타나는 생태적 지위 등을 반영하므로 중요한 의미를 갖는다 (임과 전 1980). 귀화식물의 정착 원인을 규명하는데에는 한 지역에서의 새로운 종의 정착과 쇠퇴에 중점을 두는 평형설 (MacArthur and Wilson 1963)과 한 종의 무기환경의 호적범위를 찾는 데 중점을 두는 내성의 법칙 (Shelford 1913)에 입각한 방법이 있다. 이러한 종의 정착과 번영은 각 환경구배에서 호적범위를 어떻게 달리하고 있는지 하는 내성의 법칙에 입각한 특성과 한 군집에서 다른 종과의 관계에서 생기는 그 종의 생태적 지위 (Niche)의 특성에 의해 결정된다 (Hutchinson 1958; Levins 1968; MacArthur 1968; Pianka 1983; Giller 1984).

국내의 귀화식물에 관한 연구는 Palibin (1898)에 의해 처음 시도되었으며 대부분의 연구는 신 귀화종의 기록 및 국내의 단편적 분포현황이 대부분이고, 특히 이와 임 (1978)의 보고와 남북한을 포함한 문헌상의 기록 및 남한 200개소의 현지 답사를 통해 얻은 자료를 종합하여 당시의 귀화식물 전체를 보고한 기록 (임과 전 1980) 및 최근까지의 국내 전체종을 기록하고 종별 원산지, 국내 도래시기를 정리한 박 (1994)의 보고가 있다. 그러나 아직 귀화 식물의 분포역에 관한 연구가 대부분이며, 새로운 귀화종의 기록에 분주할 뿐, 귀화식물의 생태적 특성을 밝히고 지위가 비슷한 자생종과의 경쟁이나 생태적 지위

뿐만 아니라 물리적 호적환경에 대한 연구는 거의 전무하다.

따라서 본 연구는 동일 분류군에 속하는 종으로서 생태적 지위가 비슷한 것으로 여겨지는 *Bidens*속의 귀화식물인 *B. frondosa*와 *B. pilosa* var. *minor* 그리고 자생식물인 *B. tripartita*와 *B. bipinnata*의 4종에 대하여 광, 수분, 영양 등 환경요인의 각 구배에서 재배실험을 통하여 성장을 분석함으로써 이들 자생종과 귀화종의 물리적 호적범위를 판단하고, 이들 종에 대한 생태적 지위폭을 밝혀 이후 이들의 분포확산을 밝혀나가거나 예측하는 연구의 기초자료를 마련코자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험재료의 선택과 재배실험

1) 종의 선정

우리나라에서 보고된 도깨비바늘속 (*Bidens*)은 10분류군으로 자생종 7분류군과 귀화종 3분류군이 있으며 (이 1993; 이 1996; 박 1996; 김 등 2000), 이 중에서 1995년 10월에서 12월 사이에 자생종인 *B. bipinnata*와 *B. tripartita*의 2종과, 귀화종으로서 *B. frondosa*와 *B. pilosa* var. *minor*의 종자를 각각 채집하여 실험에 사용하였다. *B. tripartita*는 경기도 남양주시 호평동 천마산에서, *B. bipinnata*는 충북 제천시 청풍면 청풍 문화재 단지에서 채종하였으며, 귀화식물인 *B. frondosa*와 *B. pilosa* var. *minor*는 각각 경기도 안산시 상록수역 인근과 경남 울산시 장생포의 하천변에서 채종하였다. 이들의 성장실험은 경기도 화성군의 실습장에서 1996년 8월 31일까지 실시하였다.

2) 배양토

실험에 사용한 토양은 마사토: 이탄 (peatmoss): 퍼어라이트 (perite)를 각각 90:5:5의 비율로 혼합하여 만들었다. 토양의 입도분석은 2 mm의 체로 친 풍건 토양을 Hydrometer법으로 측정하였다. Sand, Clay, Silt의 구성비는 각각 65.4%, 18.0%, 16.6%이었다. 재배토양은 기비로서 N, P, K가 각각 20%씩 함유된 4종 복합비료 (하이

포넥스)를 건조토양 100 g당 50 mg의 비율로 만들었다.

3) 발아 및 재배실험

채집된 4종의 종자는 채집 후 먼주머니에 넣어 1995년 12월 16일 실습장 주변의 깊이 35 cm의 땅속에 매장하여 습윤저장과 함께 휴면처리를 하였다. 1996년 3월 16일 질석(vermiculite)이 든 발아상에 파종하여 발아시킨 후 4~5엽기에 달한 식물을 1996년 5월 18일, 건조토양 1,300 g이 들어 있는 플라스틱 화분(내경 16 cm, 깊이 18 cm)에 1개체씩 이식하였다. 이식 후 12일 간의 활착기간을 거친 후 활착된 개체들을 골라 1996년 6월 1일부터 각각의 환경조건으로 옮겨 30일 간의 적응기간을 거쳤다. 환경요인·구배·중별로 5회 반복 실험하였으며, 총 600개의 개체와 화분을 이용하였다. 광도 및 토양 무기영양소 구배하에 있는 개체에는 충분히 급수하였으며, 토양무기영양소와 토양함수량 구배하에 있는 개체에는 광을 제한하지 않았다. 이 모든 실험은 온실(6×20 m) 내에서 실시되었고, 주변효과 방지를 위해 주기적으로 화분의 위치를 옮겨주었다. 수분공급은 2~3회/주, 잡초제거는 1회/주에 실시하였다. 실험기간 동안 재배식물의 포식자에 의한 피해 방지를 위해 월 1회에 농약(주렁유제, (주)한농)을 적당량 살포하였다.

2. 환경요인의 구배

1) 광도구배

광도구배는 Black과 Green 두 종류의 차광 망을 적당히 5단계의 구배로 조절하였으며, 차광구의 크기는 2.5×2.5×1.8 m의 철제 frame으로 일정하게 제작하였다. 각 구배에서의 상대조도는 100% (L₅), 64% (L₄), 38% (L₃), 11% (L₂), 5% (L₁)로 하였다. 차광 망에 의한 여름철 온도 상승과 각 실험구의 주변효과를 방지하기 위하여 통풍이 원활하도록 하였으며, 주기적으로 화분의 위치를 임의로 바꾸어 주었다. 재배기간 동안 각 광도구배 사이의 최대 온도차이는 여름철에 있었으며, 일평균 온도차가 3.2°C로 한낮(4.0°C)이 조석(2.0°C)보다 크게 나타났다.

2) 토양함수량 구배

기비가 가해지고 피음하지 않은 동일한 토양조건과 토양량에서 토양함수량만 변화를 주어 토양수분 구배를 만들었다. 토양함수량의 유지를 위하여 화분 안에 비닐 봉지를 넣어 급수한 수분의 손실이 없도록 하고, 급수시에는 화분과 함께 Balance (Sartorius AG)로 평형하면서 증발산된 수분량만큼을 급수하였다. 토양함수량은 건조토양에 대한 비율로 하여 침수(65.5%, M₅)로부터 40% (M₄), 20% (M₃), 10% (M₂), 5% (M₁)까지 5단계로 일정하게

유지하였다.

3) 토양의 무기영양소 구배

실험에 사용된 무기영양소는 기비로 사용하였던 복합비료(N:P:K=20:20:20)를 건조토양 100 g당 일정량씩 가하여 5단계의 구배로 조절하였다. 가장 낮은 영양구(N₁)에는 기비를 가하지 않았으며, N₂에는 25 mg, N₃에는 50 mg, N₄에는 100 mg, N₅에는 200 mg의 복합비료를 가하였다.

3. 식물 성장의 측정 및 분석

각 환경조건에 옮겨진 개체들은 30일간의 적응기간을 거친 후 1차 수확되었으며(1996년 6월 29일), 2차 수확은 60일간의 생육기간이 경과된 1996년 8월 31일에 실시하였다. 또한 1차 수확과 2차 수확의 사이에 2회(7월 20일, 8월 10일)에 걸쳐 개화, 종자형성 및 식물 건중량만을 측정하는 수확을 실시하였다. 수확된 식물체는 뿌리에 손상이 없도록 토양을 물로 완전히 제거한 후, 엽면적을 측정하고 실험실로 옮겨와 식물체의 길이, 직경, 엽 수, 마디 수, 건중량 등을 측정하였다. 식물체의 엽면적은 GT-9000 Color Image Scanner (Seiko Epson Corp.)와 Computer Image Analysis System CI-400 (CID, Inc)을 이용하여 측정하였다. 식물체의 건중량은 부위별(잎, 줄기, 뿌리)로 구분하여 건조기를 이용하여 80°C에서 48시간 동안 완전히 건조시킨 후 각각의 건중량을 측정하였다. 각 측정값들을 95%의 신뢰수준으로 검정하여 선택하였으며 1차 수확과 2차 수확의 측정치를 이용하여 순동화율(NAR, Net Assimilation Rate)과 상대 성장률(RGR, Relative Growth Rate)을 Hunt(1990)의 방법에 따라 계산하였다.

$$\text{상대 성장률(RGR)} = (\log_e W_2 - \log_e W_1) / (T_2 - T_1)$$

순동화율(NAR)

$$= (W_2 - W_1) (\log_e A_2 - \log_e A_1) / (T_2 - T_1) (A_2 - A_1)$$

W₁ : 1차 수확에서 얻어진 식물 개체당 총건중량(g)

W₂ : 2차 수확에서 얻어진 식물 개체당 총건중량(g)

A₁ : 1차 수확에서 얻어진 식물 개체당 엽면적(cm²)

A₂ : 2차 수확에서 얻어진 식물 개체당 엽면적(cm²)

T₁ : 이식후 1차 수확일

T₂ : 이식후 2차 수확일

또한 2회의 수확에서 얻은 측정치에 대해 다음과 같은 성장분석 parameter들을 계산하였다.

LAR (Leaf Area Ratio) = leaf area/total dry weight

SLA (Specific Leaf Area) = leaf area/leaf dry weight

$$\text{Shoot/Root ratio} = (\text{leaf dry weight} + \text{stem dry weight}) / \text{root dry weight}$$

실험에 사용된 *Bidens*속 4종에 대한 생태적 지위를 밝히기 위하여 선택한 형질군은 성장군, 엽형군, 형태군, 생산성군의 4군으로 하였다. 성장군의 형질은 살아 있는 잎 수, 죽은 잎 수, 살아있는 가지 수, 죽은 가지 수를, 엽형군은 잎 면적을, 형태군은 식물체의 줄기 길이, 줄기 직경 (2~3번째 마디의 중간부분), 마디 수를, 생산성군은 잎, 줄기, 뿌리의 부위별 건중량을 측정된 결과를 이용하였다.

각 환경요인의 각 구배에서의 각 형질의 평균치를 이용하여 Levins(1968)의 방법에 따라 각 형질군별 생태적 지위폭을 측정하였다.

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

B = Niche breadth (Levins'B)

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

S = A number of gradients

결 과

1. 재배실험종의 Phenology

Bidens 4종의 성장기간동안 생물계절현상은 각 환경요인 중 대표적인 구배인 L_5 , M_4 , N_4 의 각 구배별로 큰 차이는 나타나지 않았으나 종 및 환경요인별로는 차이가 나타나며, 대체로 자생종인 2종이 귀화종인 2종에 비하여 개화 및 결실시기가 상대적으로 빠르게 나타났다(Fig. 1).

2. 총건중량의 변화

실험기간동안 광도, 토양함수량, 토양무기영양소 구배에서 *Bidens*속 4종의 생존율은 각각 93%, 98%, 91%로 높게 나타났으며, 환경구배별 총건중량변화는 Fig. 2와 같이 나타났다.

광도구배에서 각 종은 광도가 증가할수록 건중량도 증가하는 경향을 나타냈으나 *B. bipinnata*만이 L_5 가 L_4 보다 약간 작게 나타났다(Fig. 2A). 토양함수량 구배에서는 4종 모두 광도구배와 대체로 비슷한 구배별 건중량 변화를 나타냈다(Fig. 2B). 토양무기영양소의 증가에 따른 건중량 변화는 *B. tripartita*와 *B. pilosa* var. *minor*에서 오히려 감소하는 경향을 나타냈고, *B. bipinnata*와 *B. frondosa*는 구배별로 건중량 변화가 작고 두드러진 경향이 발견되지 않았다(Fig. 2C). 각 환경요인에 대하여 귀

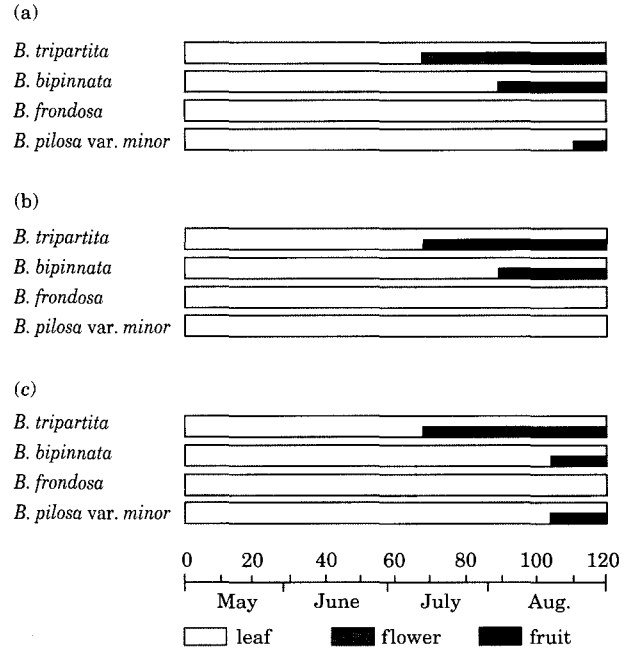


Fig. 1. Phenology of the studied taxa.

(a) Light gradient, L_5 , (b) Moisture gradient, M_4 , (c) Nutrient gradient, N_4 .

화종인 *B. pilosa* var. *minor*와 *B. frondosa*는 모두 높은 총건중량을 나타냈으며, *B. tripartita*가 가장 낮은 총건중량을 나타냈다(Fig. 2).

3. 순동화율 (Net Assimilation Rate: NAR)

광도구배 하에서 *Bidens*속 4종의 NAR은 대체로 광도가 증가할수록 NAR이 증가하는 것으로 나타났다(Fig. 3A). 토양함수량구배 하에서 *Bidens*속 4종의 종별 반응은 M_4 에서 가장 높게 나타나고 *Bidens pilosa* var. *minor*를 제외하고 M_5 에서 가장 낮게 나타나고 있다(Fig. 3B). 토양무기영양소 구배에서도 *B. bipinnata*와 *B. pilosa* var. *minor*가 다른 2종에 비해 대체로 NAR이 높게 나타나고, *B. pilosa* var. *minor*는 토양내 무기영양소가 높을수록 NAR이 낮아지며, 그 외 종은 변동이 다소 심하게 나타났다(Fig. 3C).

4. 상대 성장률 (Relative Growth Rate: RGR)

광도구배에서 RGR은 구배에 따른 증가 또는 감소의 경향이 뚜렷하지 않았다(Fig. 4A). 토양함수량 구배에서 4종 모두 토양함수량의 증가에 따라 M_4 까지 RGR이 증가하다가 flooding 상태인 M_5 에서 감소하는 일정한 경향을 나타내었다(Fig. 4B). 다소의 구배별 변동이 있기는

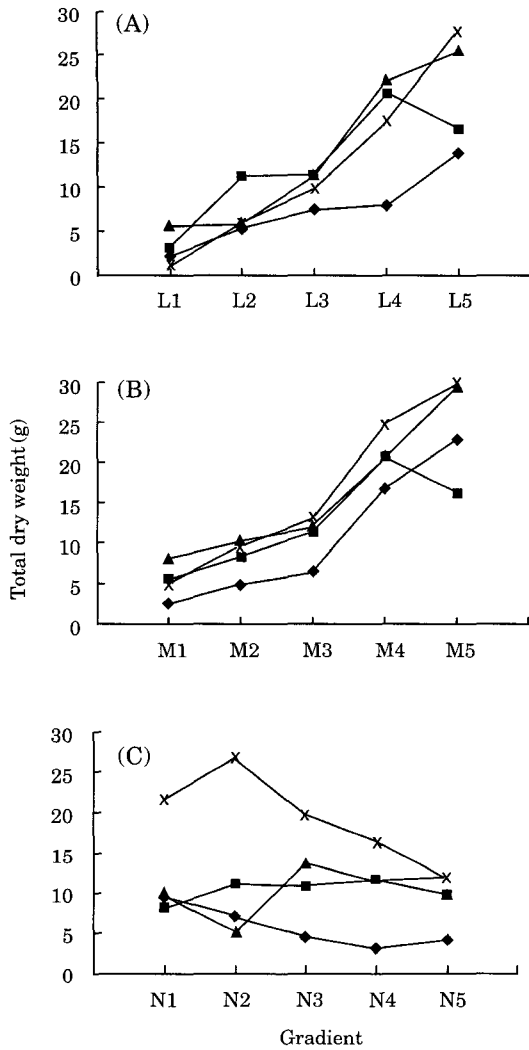


Fig. 2. Changes of total dry weight of 4 species of *Bidens* along the environmental gradient. (◆) *B. tripartita*, (■) *B. bipinnata*, (▲) *B. frondosa*, (×) *B. pilosa* var. *minor*; (A) Light gradient, (B) Moisture gradient, (C) Nutrient gradient

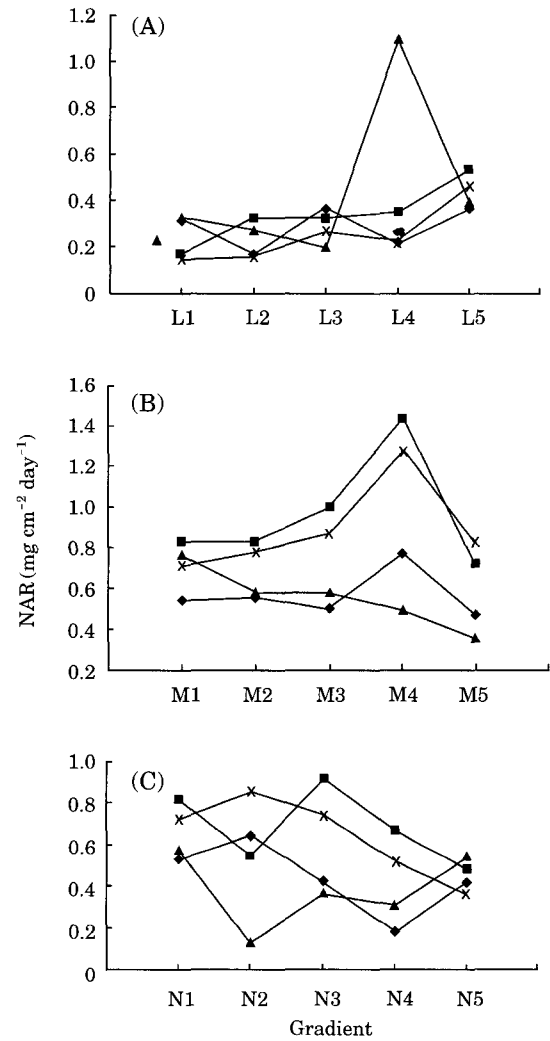


Fig. 3. Changes of NAR of 4 species of *Bidens* along each environmental gradient. (◆) *B. tripartita*, (■) *B. bipinnata*, (▲) *B. frondosa*, (×) *B. pilosa* var. *minor*; (A) Light gradient, (B) Moisture gradient, (C) Nutrient gradient

하지만 토양무기영양소구배 하에서의 RGR은 무기영양소가 높을수록 RGR이 대체로 감소하는 경향을 나타내고 있다 (Fig. 4C). 각 환경조건 중 토양함수량 구배에서는 종별 RGR의 변화가 크지 않았으나 광도와 토양무기영양소구배 증가에 따라서는 대체로 증가하는 양의 상관을 나타냈다.

5. LAR (Leaf Area Ratio)

광도구배하에서 *B. bipinnata*는 광도가 증가함에 따라 점차 감소하여 저 광도에서 엽면적을 크게 하는 경향을 나타내었다. 광도구배 내에서 LAR이 가장 높게 나타난

종은 *B. tripartita*이며, 최저값을 나타낸 종은 *B. frondosa*이었다 (Fig. 5A). 토양함수량 구배에서의 종별 LAR 최대변동폭은 광 또는 토양무기영양소보다 작게 나타났으며, 토양함수량 구배에서 LAR 변동이 가장 큰 *B. frondosa*는 변동폭이 $98.8 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 으로 토양무기영양소 구배에서 *B. frondosa*의 LAR 변동 폭 $146.9 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ 보다 작았다 (Fig. 5B). 토양무기영양소 구배에서도 *B. frondosa*의 LAR은 N₁에서 N₂로 토양무기영양소 증가에 따라 증가하였다가 N₃까지 급격한 감소를 나타내며, 나머지 3종의 LAR은 *B. frondosa*의 변동폭에 비해 상대적으로 구배별 차이가 적었다 (Fig. 5C).

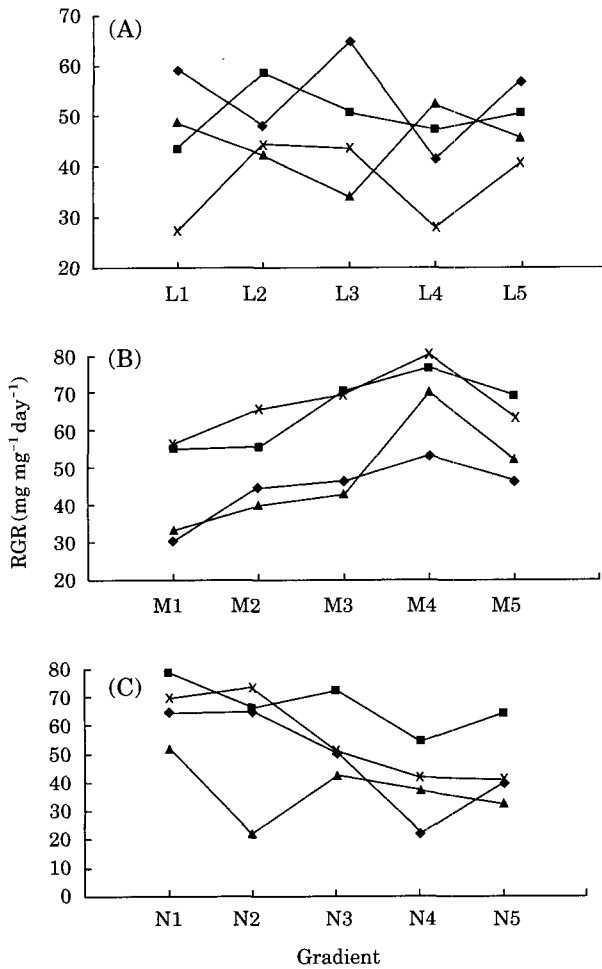


Fig. 4. Changes of RGR of 4 species of *Bidens* along each environmental gradient. (\blacklozenge) *B. tripartita*, (\blacksquare) *B. bipinnata*, (\blacktriangle) *B. frondosa*, (\times) *B. pilosa* var. *minor*; (A) Light gradient, (B) Moisture gradient, (C) Nutrient gradient

6. SLA (Specific Leaf Area)

광도의 증가에 따른 SLA는 각 종에서 감소경향이 뚜렷하였으며, 특히 *B. pilosa* var. *minor*가 월등히 높은(평균 $903.611 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) 반면에 *B. bipinnata*는 낮게(평균 $246.729 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$) 나타냈다(Fig. 6A). 토양함수량 구배에서는 *B. frondosa*가 함수량 증가에 따라 SLA가 급격히 증가하고, *B. tripartita*는 *B. frondosa*에 비하여 큰 변화는 아니나 함수량 증가에 따라 지속적 증가를 나타냈다(Fig. 6B). 토양무기영양소 구배에서는 *B. frondosa*를 제외한 3종의 변동이 상대적으로 작았다(Fig. 6C).

7. Shoot/Root Ratio

S/R Ratio는 광도구배에서 *B. pilosa* var. *minor*는 L₂,

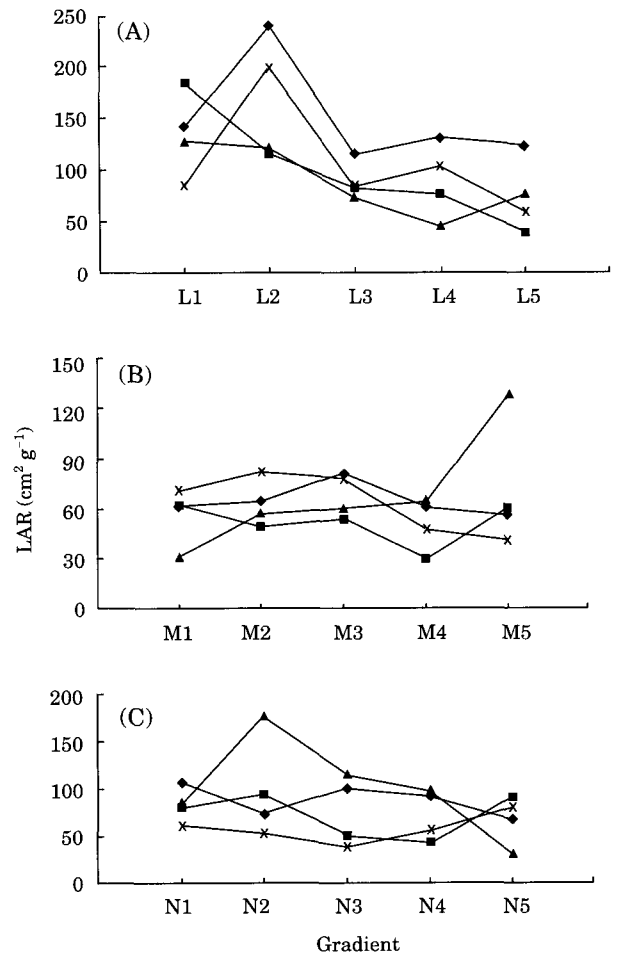


Fig. 5. Changes of LAR of 4 species of *Bidens* along each environmental gradient. (\blacklozenge) *B. tripartita*, (\blacksquare) *B. bipinnata*, (\blacktriangle) *B. frondosa*, (\times) *B. pilosa* var. *minor*; (A) Light gradient, (B) Moisture gradient, (C) Nutrient gradient

L₃에서 높고 나머지 구배에서 낮게 나타났으며 종별 비교로도 가장 높은 S/R Ratio를 나타낸다. 4종 중 *B. tripartita*만이 광도의 증가에 따라 S/R Ratio가 급격히 감소하는 경향을 나타냈다(Fig. 7A). 토양함수량 구배에서는 함수량 증가에 따라 S/R Ratio가 감소하는 추세를 보이고 있으며, 특히 종별로는 *B. frondosa*가 가장 큰 감소를 나타냈다(Fig. 7B). 토양무기영양소 구배에서는 *B. tripartita*가 영양소 증가에 따라 지수 함수적으로 급격히 감소하는 추세를 보인 반면 다른 3종은 $9.524 \text{ g g}^{-1} \sim 27.710 \text{ g g}^{-1}$ 의 범위로 종별 S/R Ratio의 변동이 작았다(Fig. 7C).

8. 생태적 지위폭 (Niche breadth)

각 종의 생태적 지위폭을 Table 1과 같이 4개 군별로

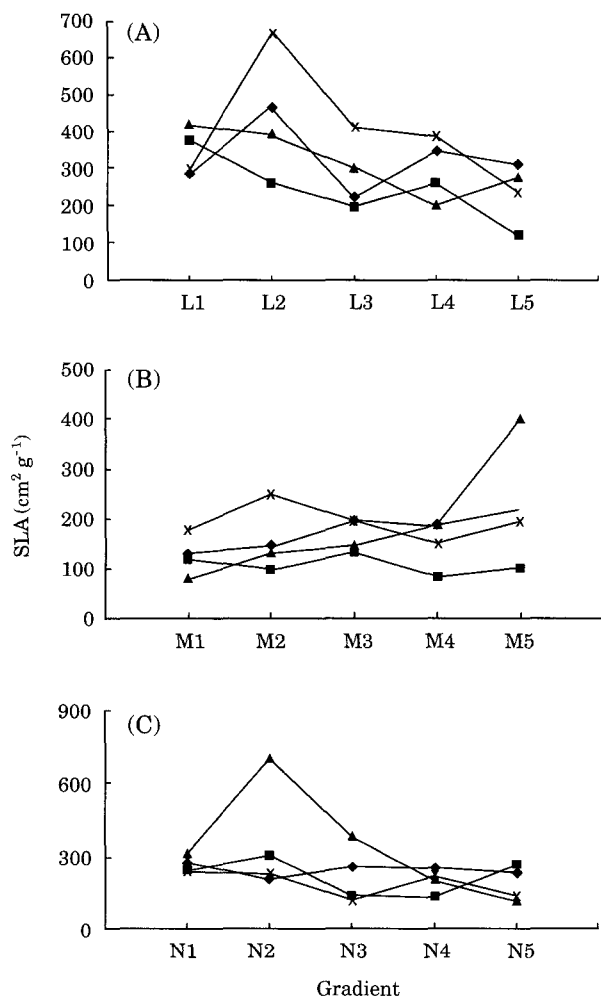


Fig. 6. Changes of SLA of 4 species of *Bidens* along each environmental gradient. (◆) *B. tripartita*, (■) *B. bipinnata*, (▲) *B. frondosa*, (×) *B. pilosa* var. *minor*; (A) Light gradient, (B) Moisture gradient, (C) Nutrient gradient

나타내었다. 각 종의 3개 환경요인에 대한 생태적 지위폭을 종합할 때 폭이 넓은 군은 광도구배에서 *B. bipinnata*가 0.875로 가장 넓고, 다음은 *B. frondosa*, *B. tripartita*, *B. pilosa* var. *minor*의 순으로 나타났다. 수분구배에서도 *B. bipinnata*가 가장 넓었으며, 다음은 *B. pilosa* var. *minor*, *B. tripartita*, *B. frondosa*의 순으로 좁아졌다. 토양무기영양소 구배에서의 지위폭은 귀화식물인 *B. pilosa* var. *minor*가 0.933으로 가장 넓었고, 다음은 *B. frondosa*, *B. tripartita*, *B. bipinnata*의 순으로 나타났다.

고찰

생태적 지위는 생물적 관계에서 만들어지는 적응의 총

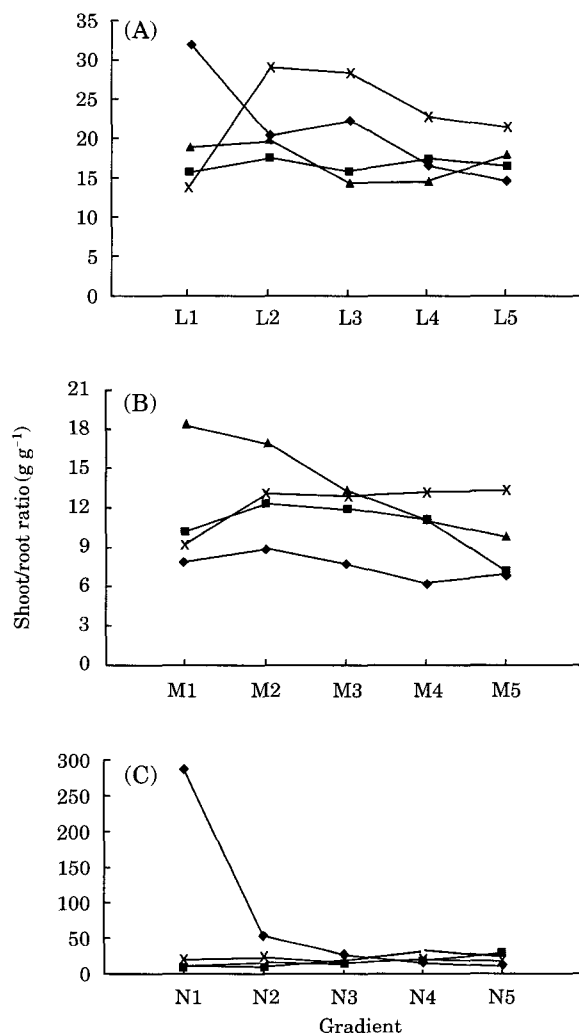


Fig. 7. Changes of Shoot/Root ratio of 4 species of *Bidens* along each environmental gradient. (◆) *B. tripartita*, (■) *B. bipinnata*, (▲) *B. frondosa*, (×) *B. pilosa* var. *minor*; (A) Light gradient, (B) Moisture gradient, (C) Nutrient gradient

화(Pianka 1983)이며, 환경구배에 대한 종의 반응은 유전적으로 고정되어 있어서 환경구배가 달라져도 쉽게 적응하여 변화되지 않는다(Zangerl 1981).

각 환경요인의 구배에서 식물개체의 총건중량의 변화는 모든 실험종이 광도의 증가와 수분함량의 증가에 따라 늘어나는 일반적인 경향을 보였으나, 영양소 구배에서는 *Bidens tripartita*와 *B. bipinnata*는 건중량의 변화가 크지 않아 양분구배에 대한 변이폭이 적었다. 그러나 *B. pilosa* var. *minor*와 *B. frondosa*는 양분증가에 따라 총건중량이 감소하여 낮은 영양소 구배에서 성장이 좋았다. 각 환경요인에 대하여 귀화식물인 *B. pilosa* var. *minor*와 *B. frondosa*는 모두 높은 총건중량을 나타냈으

Table 1. Niche breadth of each group on each gradient

Taxa	Factor and group	Environmental factor	Vegetative group	Leaf feature group	Plant architecture group	Production group	Mean
<i>B. tripartita</i>		Light	0.838	0.831	0.963	0.765	0.849
		Moisture	0.854	0.747	0.936	0.663	0.800
		Nutrient	0.903	0.798	0.956	0.856	0.878
<i>B. bipinnata</i>		Light	0.827	0.877	0.978	0.818	0.875
		Moisture	0.856	0.823	0.965	0.735	0.845
		Nutrient	0.825	0.924	0.873	0.859	0.870
<i>B. frondosa</i>		Light	0.878	0.826	0.991	0.749	0.861
		Moisture	0.912	0.530	0.929	0.815	0.797
		Nutrient	0.923	0.863	0.974	0.907	0.917
<i>B. pilosa var. minor</i>		Light	0.894	0.747	0.963	0.630	0.809
		Moisture	0.729	0.890	0.969	0.764	0.838
		Nutrient	0.878	0.952	0.974	0.928	0.933

Vegetative group: No. of living and dead leaves, No. of living and dead stems, Leaf feature group: Leaf area, Plant architecture: Length of stem, Diameter of stem, No. of knot, Production group: Dry weight of leaves, stems and roots.

며, *B. tripartita*가 가장 낮은 총건중량을 나타냈다.

NAR은 *B. bipinnata*와 *B. pilosa var. minor*에서 광도와 수분의 증가에 따라 증가속도가 컸으며, 반대로 *B. tripartita*와 *B. frondosa*는 그 증가속도가 적었다. 그러나 양분구배에 대하여는 *B. bipinnata*와 *B. pilosa var. minor*에서는 오히려 감소하는 경향을 나타내었다.

RGR은 광도 증가에 따라 *B. tripartita*, *B. bipinnata*, *B. frondosa*, *B. pilosa var. minor*의 순서로 작은 값을 나타냈으며, 수분구배에 대하여는 *B. bipinnata*와 *B. pilosa var. minor*에서는 양분이 증가할수록 RGR은 작아지는 경향을 나타냈다. 따라서 *B. pilosa var. minor*와 *B. tripartita*는 양분이 척박한 입지에서 생육이 왕성한 특징을 보이고, *B. frondosa*는 양분이 풍부한 입지에서 생육이 왕성한 대조적 현상을 나타내었다. *B. tripartita*는 양분의 증가에 따라 NAR은 감소하는 경향을 나타내나 RGR값에는 변화가 없게 나타나 비옥한 토양을 선호하는 것으로 나타났다. 수분구배에 대하여 *B. bipinnata*와 *B. pilosa var. minor*는 수분증가에 따라 NAR, RGR, 총건중량이 증가하는 수분이 많은 입지를 선호하나 상대적으로 *B. frondosa*와 *B. tripartita*는 수분증가에 따라 NAR과 RGR의 증가경향은 적었다. 광도에 대하여는 *B. bipinnata*에서 광도 증가에 따라 NAR과 RGR의 빠른 증가를 보였고, *B. pilosa var. minor*에서는 NAR은 높아지나 RGR의 증가는 크지 않았고, *B. tripartita*는 그 반대였다. *B. frondosa*는 그 중간의 값을 보였다. *B. tripartita*의 경우에 광도 감소에 따라 LAR과 SLA값을 신속히 증가시켜 광을 선호하나 *B. bipinnata*는 반대로 LAR과 SLA의 증가는 크지 않았다. 그러나 양분이 많은 조건에서 SLA

를 크게 증가시켜 양호한 광 조건에서 빨리 성장하였다. *B. frondosa*와 *B. pilosa var. minor*는 광도의 증가에 따라 LAR과 SLA의 변화경향은 반대이나 *B. pilosa var. minor*에서는 양분이 적은 곳에서 SLA은 작으나 LAR은 크게 증가시키고, *B. frondosa*는 LAR 보다 SLA를 증가시켜 풍부한 광 조건에서 빨리 성장할 수 있다.

따라서, *B. bipinnata*는 비옥한 곳에서 잎의 형태를 크게 변화시키지 않으면서 잘 자라는 특성을 가지며, *B. frondosa*와 *B. pilosa var. minor*의 경우에는 빛 조건에 따라 잎의 수 또는 잎의 면적을 효과적으로 조절하여 높은 NAR과 RGR을 갖는 호광성과 호습성 성질을 나타내는 한편, *B. pilosa var. minor*는 척박한 곳을, *B. frondosa*는 비옥한 곳을 선호하는 결과를 나타냈다. *B. tripartita*의 경우에는 빛에 대한 형태적 적응은 크고, 수분을 좋아하는 특성을 보였고, *B. bipinnata*는 빛에 대한 형태적 특성은 크게 변하지 않으나 양지바른 입지를 선호하며 과다한 수분공급은 기피하는 경향을 나타냈다. 이상과 같은 parameter 종별, 환경구배별 분석결과에 대하여 생태적 지위폭의 결과 및 서식지와의 비교는 다음과 같다.

환경요인별 생태적 지위폭은 광도와 토양함수량 구배에서 *B. bipinnata*가 각각 0.875, 0.854로 가장 높으며 토양무기영양소 구배에서는 *B. pilosa var. minor*가 0.933으로 매우 넓게 나타났다. 생태적 지위폭을 자생종과 귀화종으로 구분하여 볼 때 자생종인 *B. bipinnata*는 광도와 수분구배에서 4분류군 중 가장 낮은 값을 나타내 이것이 분포의 제한요인이 될 가능성이 있으며, *B. tripartita*는 3가지 환경요인 모두에서 좁은 폭을 나타내었다. 귀화종인 *B. frondosa*는 광도와 토양무기영양소 구배에서 높으나

토양함수량 구배에서는 4분류군 중 가장 좁은 폭을 나타내고 있으며, 토양무기영양소 구배에서의 *B. pilosa* var. *minor*와 같이 자생종인 나머지 2종보다 월등히 넓게 나타나 토양무기영양소가 두 귀화종 분포의 제한 요인은 되지 않을 것으로 판단된다. 또한 *B. pilosa* var. *minor*는 광도구배에서 다른 종에 비하여 가장 좁은 폭을 나타내어 빛이 서식 또는 분포의 제한요인이 될 수 있을 것으로 추정된다.

공간 또는 종내에 있어서 경쟁이나 생식능력, 온도에 대한 종의 반응 등에 대해서는 본 실험에서 고려하지 않은바, 이러한 영향을 배제한다면 이들 각 종의 현재의 서식 또는 분포지역과의 연관성은 다음과 같이 분석이 가능하다. 자생종인 *B. tripartita*가 타종에 비하여 낮은 NAR, 좁은 생태적 지위폭을 나타낸 것은 현재의 분포지역이 전국적이기는 하나, 종의 협역 서식지는 단지 답(밭)에 국한된 극히 제한적으로 분포하는 것과 비교할 때 예상된 결과였으나, *B. bipinnata*가 광도 및 토양함수량 구배에서 가장 넓은 지위폭을 나타낸 것은 예상치 못한 결과이다. 현재의 분포지가 산록부에서 경작지 사이의 약간 건조한 지대에 분포하고 있어 토양무기영양소 구배가 본 종의 제한 요인이 될 수는 있지만 추후 본 종의 상세한 서식지 분포 및 분포요인에 관한 보다 상세한 연구가 추가적으로 수행될 필요가 있다. *B. frondosa*는 광도와 토양무기영양소 구배에서 대체로 양호한 성장을 나타내나, 토양함수량에서 가장 낮은 값을 나타내 경작지, 수로와 같은 함수량이 높은 지역외의 지역에서 분포가 제한적으로 작용할 수 있다고 판단된다. *B. pilosa* var. *minor*는 토양함수량, 토양무기영양소 구배에서 넓으나 광도구배에서 가장 낮은 생태적 지위폭을 나타내 삼림 또는 기타의 광조건이 부족한 지역에서 분포가 제한될 수 있을 것으로 판단된다.

적 요

자생종인 가막사리 (*Bidens tripartita*), 도깨비바늘 (*B. bipinnata*), 귀화종인 미국가막사리 (*B. frondosa*), 흰도깨비바늘 (*B. pilosa* var. *minor*)의 도깨비바늘속 (*Bidens*) 4분류군의 성장반응과 생태적 지위폭을 비교·분석하기 위하여 광도, 토양함수량, 토양무기영양소의 3가지 환경요인별, 구배별 재배실험을 하였다.

Phenology는 구배별로 큰 차이가 없으나, 종별로는 차이를 나타내어 귀화종인 2종이 자생종인 2종에 비해 개화 및 결실시기가 늦다. 총건중량은 자생종인 2종에 비해 귀화종인 2종이 대체로 높으며, 구배별로는 광도와 토양

함수량이 증가할수록 건중량도 증가하였고, 토양무기영양소 구배에는 반대의 경향이 나타났다. 환경요인별 총건중량은 토양무기영양소, 토양함수량, 광도의 순으로 낮아졌다.

NAR은 *B. bipinnata*와 *B. pilosa* var. *minor*에서 광도와 함수량증가에 따른 증가속도가 크며, 반대로 *B. tripartita*와 *B. frondosa*는 그 증가속도가 작았다. 그러나 토양무기영양소에 대해서는 영양소 증가에 따라 *B. bipinnata*와 *B. pilosa* var. *minor*가 오히려 감소하는 경향을 나타냈다. RGR은 광도의 증가에 따라 *B. tripartita*, *B. bipinnata*, *B. frondosa*, *B. pilosa* var. *minor*의 순서로 작아졌으며, 토양함수량 구배에서는 *B. bipinnata*와 *B. pilosa* var. *minor*에서 증가경향이 컸다. 토양 무기영양소 구배에서는 *B. pilosa*와 *B. tripartita*는 토양무기영양소 증가에 따라 RGR이 작아지는 경향을 나타냈다. Shoot/root ratio는 환경요인별로 종별 변동이 크지 않으나, 자생종인 *B. tripartita*는 Shoot/root ratio에서 각 환경요인별로 감소 경향이 뚜렷하다.

종별 성장특성의 비교결과 *B. pilosa* var. *minor*와 *B. tripartita*는 양분이 척박한 입지에서 생육이 왕성한 특징을 보이며, *B. frondosa*는 양분이 풍부한 입지에서 생육이 왕성한 종으로 분석된다. *B. tripartita*는 광에 대한 형태적 적응이 크고 수분을 좋아하는 특성이 있으며, *B. bipinnata*는 잎에 대한 형태적 형질은 크게 변화시키지 않으나 광이 풍부한 입지를 선호한다.

Niche breadth는 *B. bipinnata*가 광도와 토양함수량 구배에서 0.875, 0.845로 가장 넓으며, 토양 무기영양소에서는 *B. pilosa* var. *minor*가 0.933으로 넓게 나타났다. *B. tripartita*는 세 가지 환경요인에서 Niche breadth가 모두 좁았고, *B. frondosa*는 광도와 토양 무기영양소에서 넓고 토양함수량에서는 가장 좁은 값을 나타냈다.

참 고 문 헌

- 김준민, 임양재, 전의식. 2000. 한국의 귀화식물. (주)사이언스북스 서울. 281pp.
- 박수현. 1994. 한국의 귀화식물에 관한 연구. 자연보존. 85:39-49.
- 박수현. 1995. 한국귀화식물원색도감. 일조각. 서울. 372pp.
- 이우철. 1996. 한국식물명고. 도서출판 아카데미서적. 서울. 1688pp.
- 이창복. 1993. 대한식물도감. 향문사. 서울. 990pp.
- 이우철, 임양재. 1978. 한반도 관속식물의 분포에 관한 연구. 식물분류지. 8(부록):1-33
- 임양재, 전의식. 1980. 한반도의 귀화식물 분포. 한국식물학회

- 지. 23 (3-4):69-83.
- Daubenmire R. 1978. Plant geography. Academic Press, New York. 338pp.
- Giller PS. 1984. Community structure and the niche. Chapman and Hall, New York. 176pp.
- Hunt R. 1990. Basic growth analysis. London Uniwin Hyman. England. 112pp.
- Hutchinson GE. 1958. Concluding remarks. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 22:415-427.
- Levins R. 1968. Evolution in changing environments. Princeton Univ. Press, Princeton.
- MacArthur RH and EO Wilson. 1963. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17:373-387.
- MacArthur RH. 1968. The theory of niche. pp.159-176. *In* RC Lewontin (ed.), *Population biology of evolution*. Syracuse Univ. Press, Syracuse.
- Palibin JW. 1898. Conspectus florum Koreae (I). *Act. Hort. Petrop.* 17:1-128.
- Pianka ER. 1983. *Evolutionary ecology*. Harper & Row, New York. 253pp.
- Shelford VE. 1913 (2nd. ed. 1937). *Animal communities in temperate America*. *Bull. Geog. Soc. Chicago*, 5:1-368.
- Zangerl AR. 1981. Relationships between population variation and ecological variability. Ph. D. Thesis, Univ. of Illinois, Urbana.

Manuscript Received: November 3, 2003

Revision Accepted: January 14, 2004

Responsible Editorial Member: Joo-Hwan Kim
(Daejeon Univ.)