

한국산 붉은대극(대극과)의 형태적, 유전적 분화

박기룡* · 정한진 · 안병태¹ · 이경순¹ · 김재길¹
(경남대학교 생물학과 · ¹충북대학교 약학과)

본 연구는 분류학적 혼란을 일으키고 있는 경기도 용진군 풍도리의 풍도대극(*E. ebracteolata* var. *coreana*)과 나머지 다섯 지역의 붉은대극(*E. ebracteolata*)으로부터 19개 형태 형질을 측정하여 유집 분석을 수행하고 141 개체의 어린 잎을 이용하여 유전적 변이를 측정하여 종 하 분류군의 타당성을 검증하였으며, 집단 간 유전적 분화와 다양성을 분석하였다. 본 연구 결과에 의하면 풍도대극이 형태 형질을 이용한 유집 분석에서는 붉은대극의 일부 집단과 유집되어 변종처리를 지지하지 않지만, 동위 효소 분석에 의하면 *E. ebracteolata*의 나머지 집단들과 완전히 분리되어 집으로 기존의 변종 처리를 지지하고 있다. 붉은대극이 소수의 고립된 집단을 형성하고 있고, 특수화된 생식양상을 갖고있지 않음에도 불구하고 다른 다년생 초본 식물들과 비교해 볼 때 매우 높은 유전적 다양성을 유지하고 있는 것은 과거 후빙기 때 상당한 기간 동안 은신처인 한반도 남서부에 안정적으로 분포했던 종으로 이를 전후하여 한반도에 널리 분포했을 가능성이 크고, 이 당시 본 종의 유전적 다양성이 현재 소수 집단의 유전적 구조에 크게 기여했을 가능성이 큰 것으로 사료된다.

주요어 : 붉은대극, 동위 효소, 형태 형질

한국에 자생하는 대극속(*Euphorbia* L.)식물은 *Euphorbia ebracteolata* Hayata (붉은대극)를 포함하여 16종이 있으며(Park and Lee, 1988; Ahn *et al.*, 1995), *E. ebracteolata*는 다년생 초본 식물로 중국, 일본, 한국 등 극동 아시아 지역에 분포하며 외부 형태는 우리나라에 자생하는 암대극, 흰대극, 두메대극, 대극 등과는 달리 줄기가 굵고, 털이 없으며 성장 초기 줄기와 잎은 적자색을 띤다. 대개 꽃은 3-4월에 걸쳐 개화하고 5-6월에 줄기의 지상부가 성장하며 삭과가 성숙한다. 뿌리의 경우 황색의 액이 나오는 것이 기존의 종들과 구별되는 특징이라 할 수 있다(Ahn *et al.*, 1996). 서식처는 풍도와 여항산 집단의 경우 골짜기 암석지 부근 부식토에, 그의 집단은 햇빛이 잘 들어오는 산등성이 부식토

*교신저자 : 전화 (0551) 249-2240, 전송 (0551) 244-6504, 전자우편 : park@kyungnam.ac.kr

에 국소적으로 서식하는 특징을 나타낸다. 대부분의 대극속 식물이 파리류와 벌류에 의한 타가수분을 주로 하지만(Park and Elisens, 1997), 붉은대극의 경우 이른 봄 주로 풍뎡이류에 의한 타가수분과 뿌리에 의한 무성생식을 동반한 생식양상을 갖고 있다(Park, pers. obs.).

붉은대극은 Miyak(1884)에 의해 최초로 일본 북해도 Hidaka 지방에서 채집되어 Hayata(1904)에 의하여 *E. ebracteolata*로 최초 기재되었고, Hara(1935)에 의하여 *Galarhoeus ebracteolatus* (Hayata) Hara로 속명이 변경 되었다. 최근 우리 나라에는 풍도와 더불어 새로운 자생지로 충북 옥천, 전남 백양산, 전북 만덕산, 경북 가은, 경남 여항산 등이 알려졌다(Ahn *et al.*, 1996; Park, pers. obs.). 특히 경기도 풍도리에 분포하는 종을 잎이 좁고 총포 내에 털이 밀생하는 특징에 의해 Hurusawa(1940)는 *E. ebracteolata* var. *coreana* Hurusawa로 신변종 처리했으며, 이후 이것을 우리나라 식물명감에는 풍도대극으로 기재하였다(박, 1949). 이후 붉은대극으로 우리나라 식물자원에 대한 보고에서 기록하였다(이, 1969). Ahn *et al.*(1996)에 의한 phenol성 화합물에 대한 집단 간의 비교 연구 결과 우리나라에 서식하는 모든 집단의 *E. ebracteolata*에 있어 유사한 변이 양상을 나타냄으로 *E. ebracteolata* var. *coreana*를 *E. ebracteolata*로 통합함이 타당하다고 보고하였다. 최근에 Lee(1998)는 잎과 줄기가 다른 지역에 비해 더 큰 설악산에 서식하는 *E. ebracteolata*을 *E. ebracteolata* for. *magna* Y. Lee로 기재하였다. 이로써 우리나라의 *E. ebracteolata* 내에는 *E. ebracteolata* var. *coreana*, *E. ebracteolata* var. *ebracteolata*와 *E. ebracteolata* for. *magna*가 기재되었다.

Hurusawa(1940, 1954)의 분류체계에 따르면 *E. ebracteolata* Hayata는 *Esula* 아속 내 4개의 절 중, *Esula*절 내 *Galarrhoei* 아절에 포함시키고 있으나, 포엽의 모양, 삭과의 형태, 화분의 표면무늬, 뿌리의 특징에 있어 *Verticillatae*아절에 속하는 낭독(*Euphorbia pallasii*)과 매우 유사하여 근연 관계임을 부인할 수 없으나(Park and Lee, 1988), Phenol성 화합물인 친수성 탄닌의 분포에 있어 같은 아절에 속하는 *E. pekinensis*와 매우 근연임을 보였다(Ahn *et al.*, 1995). 최근, 형태 형질과 화학 형질을 이용한 분계 분석 결과에서도 흰대극 아속 내 붉은대극의 유연 관계는 명확히 규명되지 못한 바 있어 이에 대한 연구가 필요하다고 하겠다(Park *et al.*, 1999).

따라서 본 연구에서는 붉은대극의 서식지로 알려진 충북 옥천을 비롯한 5개 집단과 분류학적 혼란을 일으키고 있는 풍도 집단을 대상으로 형태 형질과 유전적 변이를 측정하여 종 하 분류군의 타당성을 검증하며, 집단간 유전적 분화와 다양성을 연구하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재 료

본 연구에는 기존의 서식지로 알려진 경기도 응진군 풍도리(PD)의 풍도 대극(*E. ebracteolata* var. *coreana*)과 전남 백양산(BY), 전북 만덕산(MD), 충북 옥천(OC), 경북 가은(GE)의 *E. ebracteolata*와 함께 이번 연구에서 새로운 서식지로 발견된 경남 여항산(YH)의 *E. ebracteolata*의 자연집단을 대상으로 하였다. 풍도대극과 여항산의 붉은대극은 계곡 주변 암석 부근 부식토에서, 나머지 집단들은 햇빛이 잘 드는 산등성이에서 채집하였다. 채집되어진 것은 실험실로 가져와 70% 알콜에 담가 두어 형태 형질의 전형질 분석(phenetic analysis)에 이용했고, 동위 효소 분석을 위하여 뿌리와 종자는 온실에 옮겨 심었다.

2. 방 법

1) 형태 형질의 유집 분석 : 유집분석(clustering analysis)을 실시하기 위해 각 집단의 10 개체 이상으로부터 각각 19개의 형태 형질을 측정하여 그 평균치를 Data matrix에 이용하였다(Table 1). Table 1의 Data matrix를 기초로 하여 NTSYS Program (Rohlf, 1992), version 1.70을 이용하여 유집 분석(clustering analysis)을 실시하였다. 측정된 형질들을 표준화 시켜 이 값을 기초로 각 집단 간의 taxonomic distance(분류 거리)를 계산하였으며, 비가중-산술법(UPGMA: Unweighted pair-group method using arithmetic average)을 이용한 전형질도를 그렸다.

2) 동위효소(Isozyme) 분석 : 전분 전기영동(starch gel electrophoretic analysis)을 실시하기 위해 *E. ebracteolata* 6개 집단 중 여항산, 옥천, 가은 3 집단 86 개체는 채집 즉시 완충 용액(extracting buffer)으로 갈아서 결빙시켜 -70℃에 보관하였고, 나머지 3 집단 55 개체는 서식지에서 뿌리를 채집하여 한 달 간 4℃ 냉장 보관하였다가 경남대학교 생물학과 온실에 식재 하였으며, 이로부터 자라난 어린 잎을 전분 전기영동의 재료로 사용하였다.

효소를 추출하기 위한 완충 용액은 0.1M tris-HCl, PH 7.5, 1mM EDTA (tetrasodium salt) 10mM MgCl₂, 10mM KCl, 14mM 2-mercaptoethanol과 5-10mg/ml solid polyvinylpyrrolidone(PVP-40)을 이용하였다(Gottlieb, 1981). 식물체의 어린 잎을 완충 용액을 이용하여 막자 사발에서 간 후 1.5ml tube에 담아 원심분리기를 이용하여 6000rpm에서 1분간 원심분리하여 상층액을 whatman chromatography paper wick(3×15mm)에 흡수시켜 전기영동에 사용하였다. Soltis *et al.*(1983)에 의한 방법을 약간 변형한 11% starch gel을 이용하여 두 개의 buffer system으로 7개의 효소를

Table 1. Morphological characters of six populations of Korean *E. ebracteolata* for clustering analysis (Numbers represent mean values).

Characters		Locality					
		PD	YH	GE	OC	BY	MD
Cyathium	Width	4.60	4.56	7.68	6.50	8.91	7.01
Cyathium	Length	4.43	5.21	5.23	5.61	6.47	5.13
Cyathium	Width/Length	1.05	0.88	1.35	1.40	1.30	1.37
Gland	Width	2.94	3.74	2.78	2.82	4.92	3.59
Gland	Length	1.64	1.74	1.89	1.69	3.00	2.14
Gland	Width/Length	1.82	2.17	1.47	1.68	1.64	1.67
Capsule	Diameter/Length	1.20	1.24	1.01	1.00	1.03	1.08
Pedicel	Diameter/Length	0.14	0.12	0.24	0.14	0.24	0.22
Leaf	Width/Length	0.37	0.32	0.23	0.24	0.17	0.23
Terminal Bract	Width/Length	0.95	1.15	1.03	0.98	1.16	1.06
Filament	Diameter	0.34	0.44	0.39	0.50	0.51	0.46
Filament	Length	0.78	0.71	1.06	1.25	1.16	0.60
Filament	Diameter/Length	0.45	0.62	0.43	0.41	0.47	0.69
Anther	Width	0.81	0.84	1.16	1.21	1.16	1.12
Anther	Length	0.44	0.47	0.86	0.71	0.63	0.78
Anther	Width/Length	1.77	1.71	1.49	1.57	1.87	1.40
Seed	Diameter	2.53	2.64	2.28	2.66	3.15	?
Seed	Length	3.19	3.82	3.38	3.28	4.10	?
Seed	Diameter/Length	0.80	0.69	0.69	0.81	0.77	?

분리하였다. System I은 0.065M L-Histidine을 0.007M citric acid monohydrate을 이용하여 pH 6.5로 적정한 electrode buffer, 증류수와 electrode buffer를 3:1로 희석한 gel buffer를 이용하여 40mA 220V에서 4시간 전기 영동 시켰다. System II는 Lithium hydroxide을 이용하여 pH 8.3으로 적정한 0.192M boric acid의 electrode buffer (part A), part A와 0.008M citric acid anhydrous를 이용하여 pH 8.3으로 적정한 0.052M tris를 1:9의 비율로 희석한 gel buffer를 이용하여 55-60mA 210-250V 상에서 6-7시간 작동시켰다. System I은 malate dehydrogenase(MDH), 6-phosphoglucuronate dehydrogenase(6PGD), isocitrate dehydrogenase(IDH), shikimic dehydrogenase(SKDH)을 분리하는데 사용되었고, system II는 aspartate aminotransferase(AAT), phosphoglucose isomerase(PGI), glutamate dehydrogenase(GDH)를 분리하는데 사용되었다.

Swofford and Selander(1981)의 BIOSYS-1 Program을 이용하여 집단의 대립 유전자 빈도(allele frequencies), 각 좌위에 대한 대립유전자의 평균수(mean number of alleles per locus; A), 다형질 좌위의 백분율(percentage of polymorphic loci; P), 평균 측정 이형접합자(mean observed heterozygosity; H_o), 평균 기대 이형접합자(mean expected heterozygosity; H_e)를 구하였다. Hardy-Weinberg equilibrium 하에서 기대되는 이형접합자율에 대한 편차인 Wright(1978)의 fixation indices(F-statistics)를 F_{IS} , F_{ST} , F_{IT} 의 세 요소로 나누어 구하였다. 세대 당 집단 간 이주 개체 수를 나타내는 Nm 은 Wright(1931)의 $F_{ST}=1/(1+4Nm)$ 에 의해 F_{ST} 값으로부터 계산하였다. Nei (1972)의 유전적 동질성(genetic identity)과 유전적 거리(genetic distance)를 구하여, 후자로부터 UPGMA 전형질도를 그렸다.

결 과

Morphological analysis (형태 형질 분석) : *Euphorbia ebracteolata* 6개 집단에 대해 각 집단 당 10개 개체, 19개의 형태 형질을 측정된 결과 그 평균치는 Table 1과 같다. 대부분의 형태 형질에 있어 모든 집단이 연속적인 수치를 보여주고 있으나 암꽃과 수꽃을 제외한 배상화서(cyathium)의 길이, 정단 포(terminal bract)의 폭과 길이의 비, 화사의 직경, 약의 길이와 폭에 있어서는 풍도 집단(PD)이 다른 집단에 비해 낮은 수치를 보여주고 있다. 풍도 집단(PD)에 있어 배상화서의 폭은 4.60으로 여항산(YH)의 4.56과 비슷하나, 나머지 집단의 6.50-8.91에 비해 좁은 것으로 나타났다. 선체(gland)의 폭과 길이에 있어서 백양산(BY) 집단의 경우 각각 4.92와 3.00으로 나머지 집단보다 현저히 높은 값을 나타내었다. 삭과의 직경에 대한 길이의 비는 풍도 집단과 여항산 집단이 각각 1.20과 1.24로 나머지 집단의 1.00-1.08에 비해 다소 높게 나타났다. 잎의 폭에 대한 길이의 비는 풍도와 여항산 집단에 있어 각각 0.37, 0.32로 나머지 집단의 0.17-0.23에 비해 높은 값을 나타냈다.

Table 1의 data matrix를 기초로 한 유집 분석(clustering analysis)의 결과(Fig. 1), 경기도 풍도(PD)와 경남 여항산(YH) 집단이 하나의 유집으로 묶이고, 충북 가은, 옥천과 전북 만덕산, 전남 백양산이 또 다른 유집으로 묶이지만, 전북 만덕산의 경우 가은, 옥천, 백양산 집단과 다소 분리되어 나타났다.

Isozyme analysis (동위효소 분석) : 6개 집단 각각에 대한 10개 동위 효소 좌위의 대립유전자(allele) 빈도가 Table 2에 나타나 있다. AAT 1개, ADH 1개, PGI 2개, IDH 1개, MDH 2개, 6PGD 2개, SKDH 1개의 동위 효소가 높은 활성을 나타냈으며, TPI, GA3PD에는 활성을 나타내지 않아 본 분석에서 제외시켰다. 모든 좌위에 있어 두 개 이상의 대립유전자가 나타났고, 대부분의 좌위에서 공통의 높은 빈도의 대립유전자를 갖고

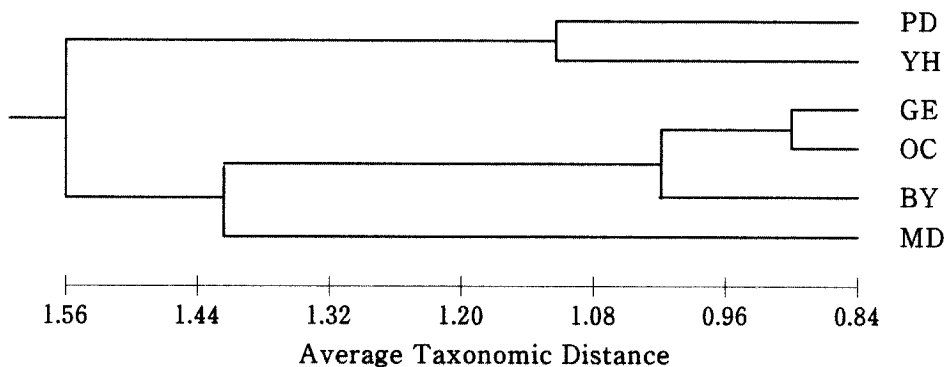


Fig. 1. UPGMA phenogram based on the taxonomic distance of 19 morphological characters among six populations of Korean *E. ebracteolata*.

있었으나 풍도 집단(PD)의 경우 IDH-1^a(78%)와 SKDH-1^a(68%)에서 높은 빈도를 보이거나 나머지 집단에 있어서는 IDH-1^b, SKDH-1^b에서 높은 빈도의 대립유전자를 보여주어 풍도 집단이 다른 집단에 비해 매우 이질적임을 보여 준다. Table 3은 집단 내 유전적 변이를 보여주는데 다형질 좌위의 백분율(P)은 평균 86.7%(range 70-100%)으로 만덕산(MD)이 100%로 가장 높고 가은(GE)이 70%로 가장 낮다. 각 좌위에 대한 대립유전자의 평균수(A)는 평균 2.3(range 2.1-2.3)으로 모든 지역에 있어 차이를 거의 나타내지 않았다. 평균 측정 이형접합자는 0.293(0.139-0.380)으로 옥천(OC=0.139)이 가장 낮고 가은(GE=0.380)이 가장 높은 값을 나타내었다. 대부분의 집단에서 직접 관찰된 이형접합자(H_o)의 빈도가 Hardy-Weinberg 모델 하에서의 기대치 이형접합자(H_e) 빈도에 비해 낮은 수치를 보여주고 있어 어느 정도 이형접합자의 결여(heterozygote deficiency) 현상이 나타난다고 할 수 있으며, 이와 같은 결과는 Wright(1978)의 고정 계수(fixation index)에 있어 F_{IS}가 평균 0.14(Table 5)로 양의 수를 취하고 있기 때문에 채집된 집단 내에 이형접합자의 결여 현상이 어느 정도 나타나고 있다.

집단 간 분화의 정도는 F_{ST}수치가 평균 0.16(Table 5)으로 종 전체 유전적 변이의 16%만이 집단 간에 분포하고 있으므로 집단 간 분화는 상대적으로 큰 수치는 아닌 것으로 사료된다. F_{ST}수치를 기초로한 세대 당 추정되는 유전자 유동율(estimated rates of gene flow=Nm)은 1.283으로 높은 수치는 아니지만 유전적 부동이 집단 간 유전적 분화에 크게 기여하는 것을 방지할 수 있었을 것으로 사료된다.

Nei(1978)의 유전적 거리(Table 4)를 기초로 한 UPGMA 전형질도(Fig. 2)에 의하면 풍도 집단을 제외한 나머지 5개 집단이 하나의 유집으로 묶이고 있어 풍도 집단이 유전적으로 이질적인 집단임을 보여주고 있다.

Table 2. Allele frequencies of 10 polymorphic loci of six populations of Korean *E. ebracteolata*.

Locus	Populations					
	Allele	PD	YH	GE	OC	BY
AAT						
a	0.071	0.000	0.250	0.000	0.136	0.000
b	0.714	0.795	0.563	0.903	0.773	0.917
c	0.214	0.205	0.118	0.097	0.091	0.083
ADH						
a	0.000	0.000	0.182	0.000	0.050	0.200
b	0.643	1.000	0.636	0.950	0.800	0.600
c	0.357	0.000	0.182	0.050	0.150	0.200
PGI-1						
a	0.000	0.024	0.269	0.103	0.227	0.083
b	1.000	0.452	0.538	0.517	0.773	0.917
c	0.000	0.524	0.192	0.379	0.000	0.000
PGI-2						
a	0.000	0.369	0.050	0.000	0.045	0.167
b	0.994	0.500	0.575	1.000	0.955	0.833
c	0.056	0.104	0.375	0.000	0.000	0.000
IDH						
a	0.786	0.038	0.192	0.206	0.250	0.167
b	0.000	0.692	0.654	0.765	0.550	0.583
c	0.214	0.269	0.154	0.029	0.200	0.250
MDH-1						
a	0.389	0.139	0.175	0.233	0.227	0.167
b	0.611	0.861	0.825	0.767	0.773	0.833
MDH-2						
a	0.778	0.900	1.000	0.800	0.818	0.667
b	0.222	0.100	0.000	0.200	0.182	0.333
6PGD-1						
a	0.000	0.000	0.000	0.242	0.045	0.083
b	0.994	0.625	1.000	0.226	0.864	0.750
c	0.056	0.375	0.000	0.532	0.091	0.167
6PGD-2						
a	0.056	0.200	0.024	0.036	0.091	0.083
b	0.722	0.533	0.976	0.964	0.864	0.917
c	0.222	0.267	0.000	0.00	0.045	0.000
SKDH						
a	0.688	0.000	0.105	0.036	0.000	0.000
b	0.313	0.647	0.553	0.446	0.750	0.500
c	0.000	0.353	0.342	0.518	0.250	0.500

Table 3. Levels of genetic variation for 10 isozyme loci within six populations of Korean *E. ebracteolata*. *A*=mean number of alleles per locus; *P*=percentage of loci polymorphic; *H_o*=observed heterozygosity; *H_e*=expected heterozygosity.

Population	A	P	H _o	H _e
PD	2.1	90.0	0.297	0.333
YH	2.3	90.0	0.303	0.394
GE	2.4	70.0	0.380	0.378
OC	2.3	80.0	0.139	0.316
BY	2.5	90.0	0.317	0.343
MD	2.3	100.0	0.323	0.385
Mean	2.3	86.7	0.293	0.358

Table 4. Nei's (1972) genetic identity (below diagonal) and distance (above diagonal) for six populations of Korean *E. ebracteolata*.

Population	1	2	3	4	5	6
PD	*****	0.272	0.164	0.251	0.099	0.113
YH	0.762	*****	0.095	0.081	0.081	0.081
GE	0.849	0.909	*****	0.133	0.030	0.044
OC	0.778	0.922	0.875	*****	0.074	0.054
BY	0.906	0.922	0.970	0.928	*****	0.000
MD	0.894	0.922	0.957	0.947	1.000	*****

Table 5. Deviation from Hardy-Weinberg equilibrium among individuals (*F_{IS}*), among populations (*F_{ST}*), and total deviation (*F_{IT}*) for 10 loci from *E. ebracteolata*

Locus	<i>F_{IS}</i>	<i>F_{IT}</i>	<i>F_{ST}</i>
AAT	-0.109	-0.031	0.071
ADH	0.145	0.248	0.121
PGI-1	0.409	0.532	0.208
PGI-2	-0.226	0.046	0.222
IDH	-0.003	0.209	0.211
MDH-1	-0.203	-0.156	0.039
MDH-2	-0.055	0.024	0.075
6PGD-1	0.428	0.580	0.266
6PGD-2	0.612	0.665	0.136
SKDH	0.360	0.482	0.189
Mean	0.140	0.281	0.163

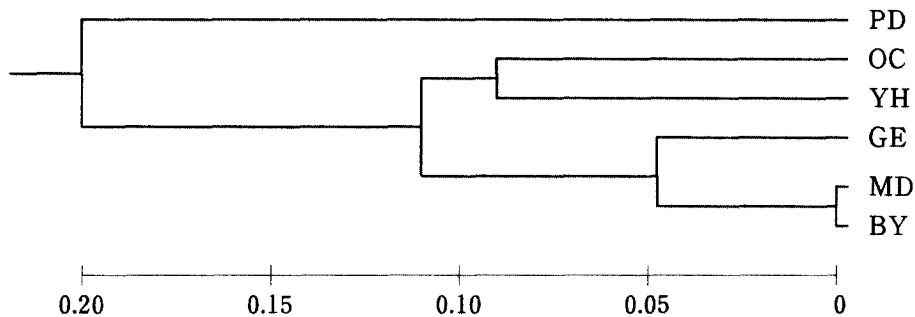


Fig. 2. UPGMA Phenogram based on the Nei's (1972) genetic distance for six populations of Korean *E. ebracteolata*.

고 찰

Euphorbia ebracteolata var. *coreana*의 타당성-*E. ebracteolata* Hayata에 대한 기존의 연구 결과에 의하면 Hurusawa(1940)는 경기도 풍도 집단 of 개체들이 잎이 좁고 총포 내에 털이 밀생 한다하여 *E. ebracteolata* var. *coreana* Hurusawa로 신 변종 처리한 반면, Ahn *et al.*(1996)에 의한 Phenol성 화합물의 집단 간 비교 연구 결과 우리나라에 서식하는 모든 집단의 *E. ebracteolata*에 있어 유사한 변이 양상을 나타내기 때문에 *E. ebracteolata*로 통합함이 타당하다고 하였다. 그러나 본 연구 결과 Hurusawa(1940)가 제시한 총포 내 털과 잎의 폭은 모든 집단 내 변이가 나타나기 때문에 잎의 모양이나 총포의 형질만을 기준으로 한 Hurusawa의 변종 처리는 동의하지 않으며, 이와 같은 해석은 형태 형질을 이용한 유집 분석에서 풍도 집단이 분리되지 않고 여항산 집단과 유집되어 위와 같은 해석을 지지하고 있으나, 동위효소 분석 결과, 풍도 집단이 IDH, SKDH 좌위에서 다른 집단과는 구별되게 높은 빈도의 독특한 대립인자를 갖고있고, 풍도 집단을 제외한 나머지 집단들이 대립인자의 빈도를 기초로 한 유집 분석에서 하나의 유집으로 묶여 풍도 집단이 나머지 집단과 뚜렷이 구별되기 때문에 본 연구 결과가 풍도 집단을 *E. ebracteolata* var. *coreana*로의 변종 처리한 Hurusawa(1940)의 결과를 어느 정도 지지하여 준다. 현화 식물의 종내 유전적 동질성이 0.90이상임을 고려할 때(Crawford, 1989), 풍도 집단이 백양산 집단을 제외한 다른 집단과 유전적 동질성(GI=0.76-0.89)이 낮게 나타나는 것은 다른 집단에 비해 분화 시기가 오래 되었고, 지리적으로 내륙의 다른 집단들과 격리되어 있어 유전적 유동이 적었을 것으로 사료된다.

*Euphorbia ebracteolata*의 유전적 다양성-동위 효소 분석에 의한 *E. ebracteolata*의 집단 내 유전적 다양성의 평균값($A=2.3$, $P=86.7$, $H_o=0.293$, $H_e=0.358$; Table 3)은 다

른 *Euphorbia* 식물의 결과($A=1.2-1.6$, $P=14.6-36.9$, $H_o=0.055-0.138$, $He=0.043-0.147$; Park *et al.*, 1997)와 비교해 볼 때 매우 높은 값을 나타내고 있다. 최근에 발표된 연구 결과(Hamrick and Godt 1989; Hamrick *et al.* 1991)와 비교해보면, 붉은대극과 유사한 생태적, 생식 양상을 갖는 현화 식물의 경우, 넓게 분포하고($P=43$, $A=1.72$, $He=0.16$), 다년생 초본($P=28$, $A=1.4$, $He=0.1$)이며 탄성에 의해 종자를 산포($P=21$, $A=1.25$, $He=0.06$)하고, 동물에 의해 타가수분($P=36$, $A=1.5$, $He=0.12$)을 하는 종의 경우 붉은대극보다 더 낮은 변이를 보여주고 있어 본 연구의 결과는 기존의 연구 결과와 비교할 때 매우 예외적이라 할 수 있다.

일반적으로 집단 내 높은 유전적 다양성을 나타내는 경우 넓은 분포 영역, 타가 수정과 집단 간의 매우 높은 빈도의 유전적 유동을 유도하는 수분 및 종자 산포 매개자에 의해 설명되고 있으나(Hamrick *et al.*, 1991), 우리 나라의 붉은대극 집단은 소수개체로 구성된 10개 미만의 집단만이 격리된 지역에서 현재까지 보고되고 있고, 모든 집단의 고정계수(Fixation indices)가 0.14로 양수 값을 취하고 있어 타가 수분보다는 집단 내 근친 교배에 의해 주로 생식을 하는 것으로 생각되기 때문에 집단 간 유전적 유동으로는 높은 집단 내 유전적 다양성을 설명하기가 힘들다(Li and Haufler, 1999). 하지만 집단 간 분화의 정도를 나타내는 F_{st} 가 평균 0.16이고 세대 당 이동하는 개체 수 역시 1.28로 어느 정도의 집단 간 유전자의 유동이 있었을 것으로 사료되며, 이와 같은 가능성은 대부분의 대극속 식물의 종자가 탄성에 의해 이동하나 물에 뜨는 부유성이 있고, 붉은대극의 집단들이 대부분 계곡주변, 바닷가 그리고 섬에 분포하는 것을 고려하면 해류나 하천에 의해 장거리의 종자 산포가 가능하리라 생각된다. 이와 같은 가능성은 붉은대극이 어느 정도의 유전적 다양성을 포함할 수 있는 요소라 하겠다.

이와 같은 예외성을 설명할 수 있는 또 다른 가능성은 본 종을 구성하는 조상 집단의 나이가 새로운 유전적 변이를 축적할 수 있을 정도로 꽤 오래 동안 안정적으로 유지되었다는 가설로서 이와 같은 해석은 과거 후빙기를 전후하여 한반도가 겪었던 지질학적 사건과도 깊은 연관성이 있다고 할 수 있다. 즉, 한반도가 *E. ebracteolata*가 주로 분포하는 중국 동부와 일본 북부에 비해, 과거 유전적 다양성을 감소시킬 수 있는 지질학적 요인들로부터 보호받을 수 있는 은신처로써 본 종의 유전적 다양성이 우리 나라의 도서 지방이나 내륙에서 높게 보존되었다고 볼 수 있다. 이와 같은 해석은 기존에 플레이스토센 빙하기(Pleistocene glaciation)동안 은신처에 보존되었던 많은 분류군들—*Euphorbia* (Park and Elisens, 1997), *Polygonella* (Lewis and Crawford, 1995), *Liriodendron* (Parks *et al.*, 1994), *Eurya* (Chung and Kang 1994) 그리고 *Magnolia* 종(Qui and Parks, 1994)에서 나타나는 일반적인 유전적 양상으로 보고되고 있다. 한반도의 경우, Kang and Chung (1997)은 우리 나라 고유종인 *Hemerocallis hakuunensis* Nakai의 경우 빙하기 동안 안정적인 크기의 집단을 유지하면서 가까운 종과의 교잡에 의한 유전적 유동에 의해

고유종 임에도 불구하고 높은 유전적 다양성을 유지할 수 있었다고 설명하고 있다. 이와 같은 맥락에서 본다면 붉은대극 역시 과거 후빙기에는 현재보다도 더 넓은 분포영역을 유지하며 집단 간에 빈번한 유전적 교류가 있었을 가능성을 배제할 수 없다.

사 사

본 연구를 위해 채집과 실험에 도움을 주신 경남대학교 조민철, 이승훈, 성혜주께 감사드립니다.

인 용 문 헌

- Ahn, B., S. Lee, J. Ro., and K. Lee. 1995. A chemotaxonomic study on Euporbiaceae in Korea. *Nat. Pro. Sci.* 1: 86-98.
- Ahn, B., J. Kim, J. Ro, C. Yook, and K. Lee. 1996. Taxonomic reexamination on *Euphorbia ebracteolata* Hayata. *Kor. J. Pharm.* 27: 129-135.
- Chung, M. and S. Kang. 1994. Genetic variation and population structure in populations of *Eurya japonica* (Theaceae) in Korea. *Amer. J. Bot.* 81: 1077-1082.
- Crawford, D. J. 1989. Enzyme electrophoresis and plant systematics. *In* Isozymes in plant biology. Soltis, D.E. and P.S. Soltis (eds.), Dioscorides Press, Portland, OR. Pp. 146-164.
- _____ and Smith, E. B. 1984. Allozyme divergence and intraspecific variation in *Coreopsis grandiflora* (Compositae) *Syst. Bot.* 9: 219-255.
- Gottlieb, L. D. 1981. Electrophoretic evidence and plant populations. *Progress in Phytochemistry*, 7: 1-46.
- camrick, J. L. and M. J. W. Godt. 1989. Allozyme diversity in plant species. *In* Plant population genetics, breeding, and genetic resources. Brown, A. H. D., Clegg, M. T., Kahler, A. L. and B. S. Weir (eds.), Sinauer, Sunderland, Mass. Pp. 43-63.
- _____, M. J. W. Godt, D. A. Murawski, and M. D. Loveless. 1991. Correlation between species traits and allozyme diversity: implications for conservation biology. *In* Genetics and conservation of rare plants. Falk, D. A. and K. E. Holsinger (eds.), Oxford University Press, New York. Pp. 75-86.
- Hara, H. J. 1935. Observations ad Plantas Asiae Orientalis (IV). *J. Jap. Bot.* 11: 381-391.

- Hayata, B. 1904. Euphorbiacearum et Buxacearum Japonicarum. J. Coll. Sci. Tokyo XX-3, 71. et Tab. IV, I: 63-79.
- Hurusawa, I. 1940. Species generis Euphorbiae Imperi Japonic (I-IV). J. Jap. Bot. 16: 330-516.
- _____. 1954. Eine nochmalige Durchsicht des herkommlichen systems der Euphorbiaceen im weiteren sinne. Fac. Sci. Univ. Tokyo, III, Bot. 6: 209-342.
- Kang, S. and M. Chung. 1997. Genetic variation and population structure in Korean endemic species: IV. *Hemerocallis hakuunensis* (Liliaceae). J. Plant Res. 110: 209-217.
- Lee, Y. 1998. New taxa on Korean flora (6). Kor. J. Plant. Tax. 28: 25-39.
- Lewis, P. O. and D. J. Crawford. 1995. Pleistocene refugium endemics exhibit greater allozymic diversity than widespread congeners in the genus *Polygonella* (Polygonaceae). Amer. J. Bot. 82: 141-149.
- Li, J. and C. H. Haufler. 1999. Genetic variation, breeding systems, and patterns of diversification in Hawaiian *Polypodium* (Polypodiaceae). Syst. Bot. 24: 339-355.
- Nei, I. 1972. Genetic distance between populations. Amer. Nat. 106: 283-292.
- Park, K. and S. Lee. 1988. A palynotaxonomic study of the Korean Euphorbiaceae. Kor. J. Plant. Tax. 18: 69-94.
- _____ and W. J. Elisens. 1997. Isozyme and morphological divergence within Euphorbia seccion *Tithymalopsis* (Euphorbiaceae) Int. J. Plant. Sci. 158: 465-475.
- _____, B. Ahn, and K. Lee. 1999. Reexamination of sectional classification in Far Eastern *Euphorbia* subgenus *Esula* (Euphorbiaceae) using morphological and phenolic data. J. Plant Biol. 42: 199-204.
- Parks, C. R., J. F. Wendel, M. M. Sewell, and Y. Qui. 1994. The significance of allozyme variation and introgression in the *Liriodendron tulipifera* complex (Magnoliaceae) species from the southeastern United States. Amer. J. Bot. 81: 1300-1308.
- Qui, Y. and C. R. Parks. 1994. Disparity of allozyme variation levels in three *Magnolia* (Magnoliaceae) species from the southeastern United States. Amer. J. Bot. 81: 1300-1308.
- Rohlf, F. J. 1992. NTSYS-pc: numerical taxonomy and multivariate analysis system (version 1.70). Exeter Software, New York.
- Soltis, D. E., C. H. Haufler, D. C. Darrow, and G. J. Gastony. 1983. Starch gel

- electrophoresis of ferns: a compilation of grinding buffers, gel and electrode buffers, and staining schedules. *Amer. Fern J.* 73: 10-27.
- Swofford, D. L. and R. B. Selander. 1981. BIOSYS-1: a FORTRAN program for the comprehensive analysis of electrophoretic data in population genetics and systematics. *J Hered.* 72: 281-283.
- Webster, G. L. 1994. Synopsis of the genera and suprageneric taxa of Euphorbiaceae. *Ann. Missouri Bot. Gard.* 81: 33-144.
- Wright, S. 1931. Evolution in mendelian populations. *Genetics* 16: 97-159.
- Wright, S. 1978. Evolution and the genetics of populations, vol. 4. Variability within and among natural populations. University of Chicago Press, Chicago, IL.
- 박만규. 1949. 우리나라 식물명감. 문교부, 서울.
- 이창복. 1969. 우리나라의 식물자원. 서울대학교 논문집 생농계 20: 89-223.

Genetic and morphological divergence in Korean *Euphorbia ebracteolata* (Euphorbiaceae)

Park, Ki-Ryong* Han-Jin Jung, Byung-Tae Ahn¹,
Kyung-Soon Lee¹, and Jae-Gil Kim¹

(Department of Biology, Kyung-Nam University, Masan 631-701, Korea;

¹College of Pharmacy, Chung-Buk National University, Cheongju 360-763, Korea)

To clarify hypothesized infraspecific boundaries, genetic divergence, and variation among populations of *Euphorbia ebracteolata*, we examined six populations for 10 isozyme loci and 19 morphological characters. Although the morphological variation do not support the recognition of *E. ebracteolata* var. *coreana*, the pattern of isozyme variation strongly support the separation of *E. ebracteolata* var. *coreana* from remaining populations of *E. ebracteolata*. In spite of the limited numbers of the populations, and without a specialized breeding system in Korean *E. ebracteolata*, the unusually high genetic variation within the species might be related to the refugial scenario for the southwestern Korean peninsula during the Pleistocene glaciations.

key words : *Euphorbia ebracteolata*, isozyme, morphological characters

*Corresponding author : Phone +82-551-249-2240, Fax. +82-551-244-6504

e-mail : park@kyungnam.ac.kr