

한국산 화살나무속(노박덩굴과)의 수리분류학적 연구

김주환* · 최병희¹ · 김윤식²

(대전대학교 생물학과 · ¹인하대학교 생물학과 · ²고려대학교 생물학과)

한국산 화살나무속 16분류군의 분류군간의 한계를 규명하고 속내분류체계의 타당성을 논하고자, 화살나무속 107개의 OTU를 대상으로 60개의 외부형태형질에 대한 유집분석과 주성분분석의 수리분류학적 연구를 수행하였다. 중심연결법과 Ward방법에 의한 두 가지 유집분석의 결과, 유집군들의 구성이 거의 동일하게 나타났으며, group간에는 유사도가 매우 높은 것으로 관찰되었고, 각 종간에는 독립적으로 높은 수준의 유집이 형성되어 뚜렷한 불연속성이 존재하는 것으로 나타났다. 주성분분석결과 주성분1(38.4%), 주성분2(27.5%), 주성분3(17.2%)이 총 83.2%의 기여율을 보였으며, 이를 3차원공간에 투영하여 뚜렷한 5개의 유집군으로 구분할 수 있었다. 본 연구결과, 속내 각 종집단간의 명확한 불연속성이 관찰되었으나, sect. *Biloculares*의 분류학적 위치에 관한 문제점등이 제시되었다. 또한, 속내 분류체계에 있어서 Blakelock의 견해가 타당한 것으로 판단된다.

주요어: 화살나무속, 외부형태, 유집분석, 주성분분석, 분류학적 위치, 속내분류체계.

화살나무속(*Euonymus*)은 노박덩굴과(Celastraceae), 노박덩굴아과(Celastroideae), 화살나무족(*Euonymaceae*)에 속하는 식물군으로(De Candolle, 1825; Loesener, 1942; Prokhanov, 1949; Melchior, 1964), 구대륙과 북미 등지의 온대, 난대 및 열대지역에 200여종이 분포하는 것으로 알려져 있고(Loesener, 1942; Blakelock, 1951; Melchior, 1964; Willis, 1973), 그 중 특히 중국 남부 및 동남아 지역의 난대 및 아열대지역이 분포중심지로 알려져 있다(Blakelock, 1951).

화살나무屬은 Linnaeus(1754)에 의해 屬으로 설정된 이후, De Candolle(1825)은 13종 2변종을 기재한 바 있다. Blume(1826)는 삭과의 형태에 따라 sect. *Subangulatus*, sect. *Lobatus*의 2절로 구분하였고, Rafinesque(1836)는 화수성을 기준으로 *Platomesus*, *Pectinus*, *Physocandra* 등 3군으로 구별하였다. 또한, Beck(1892)는 약실의 형태를 기준으로 subgen. *Euonymus*와 subgen. *Kalonymus* 등 2아속으로 구분하였으며, Pierre(1894)는 화

*교신저자: 전화 (042) 280-2434, 전송 (042) 283-7172

수성과 배주의 형태에 따라 *Euonymus*, *Pragmotessera*, *Pragmatropa* 등 3속으로 구분하였고, Rouy and Foucaud(1897)는 약의 형태에 따라 sect. *Biloculares*와 sect. *Uniloculares*의 2절로 나누었다. 상기 연구에 사용되었던 삭과의 형태, 화수성, 약의 형태 등의 분류형질들은 현재의 분류체계에서도 중요성이 인정되지만(Kim and Kim, 1994c), 대부분이 국지적인 소수의 분류군을 대상으로 이루어졌고 다양한 시점에서의 관찰이 진행되지 못하여 속의 전반적인 분류체계의 확립에는 도달하지 못하였다.

한편, 기재적인 연구로는 Koch(1869)가 아시아산 10종, Hemsley(1876)는 히말라야산 26종, Franchet et Savatier(1878)는 일본산 8종, Maximowicz(1881)는 아무르지방의 17종 5변종을 보고하였다. Loesener(1902)는 중국산 45종을 기재하였고, 이 중에는 *E. japonicus*, *E. bungeanus*, *E. hamiltonianus*, *E. sachalinensis*, *E. oxyphyllus* 등 5종이 한국에 분포하는 것으로 기록되어 있으며, Sprague(1908), Loesener and Rehder(1913), Rehder(1926, 1938), Handel-Mazzetti(1933), Skvortzow(1935) 등이 동아시아산 및 동남아시아산을 중심으로 지역조사와 신종의 발표등 기술적인 작업을 하였다.

그러나 화살나무속에 관한 체계적인 연구는 Nakai이후에야 이루어진 바, Nakai(1941)는 극동지역의 36종을 대상으로 하여 동아와 약의 형태를 중심으로 2군 8절로 구분하였다. Loesener(1942)는 속을 *Scytevonymus*, *Lepteonymus*, *Nanevonymus* 등 3아속 11절로 구분하고 96종을 기재하였으나 아속과 절 등, 속의 하위분류체계에 있어서 영양형질에 많은 비중을 두어 인위적인 분류체계의 흔적이 자주 관찰되고 있다. Nakai(1943)는 일본과 대만산을 대상으로 3신절을 기재하면서, *Masakia*, *Ortheuonymus*, *Melanocarya*, *Melanoeuonymus*, *Vyenomus*, *Turibana* 등 6아속 11절로 구분하였고, 1949년에는 이 중 *Masakia*와 *Turibana*를, 잎의 지속성과 약의 형태를 기준으로 하여, 속으로 계급을 변경하여 3속으로 분류하였다. Prokhanov(1949)는 아속인 *Kalonymus*를 *Euonymus*속으로 부터 독립시켜 2속 4절 16종을 기재한 바 있다. 한편, Blakelock(1951)은 전세계에 분포하는 176종을 대상으로 삭과의 형태를 기준으로한 1신절을 설정하면서 속을 2아속 6절 14열로 구분한 바 있다.

한국산에 관한 연구로는 Palibin(1898)이 4종 1변종을 처음으로 보고한 이래, Komarov(1905)는 6종 5변종을, Nakai(1909)는 4종 3변종을 기록한 이후, 1914년에는 *E. quelpaertensis*, *E. trapococcus*, *E. robustus* 등의 3신종과 함께 *E. maackii*, *E. radicans*, *E. japonicus*, *E. sachalinensis*, *E. oxyphyllus*, *E. macropterus*, *E. hamiltonianus*, *E. alatus*, *E. alatus* var. *striata*, *E. alatus* var. *pubescens* 등 총 11종 2변종으로 정리하였다. 이후 Nakai는 계속된 지역조사결과를 토대로 *E. alatus* 및 *E. japonicus*의 새로운 변종 및 품종 등을 기재하였고, 한국산 식물을 총정리한 마지막 보고서(Nakai, 1952)에는 그가 속으로 신설한(Nakai, 1949) *Masakia*, *Turibana* 등이 포함된 3속 14종 9변종 1품종 등 총 24분류군으로 정리하였으나, 학명의 오용과 오기, 무리한 분류군의 설정 및 분류계급상의 혼란등 많은

문제점이 발견되고 있다. 그외에 Mori(1921), Kitagawa(1939), 정 등(1937), Uyeki(1940), 정(1943), 정 등(1949), 정(1957), Lee(1976), 이(1980)는 각각 향명집, 식물지 또는 도감에 기재하였다. 한편, Kim and Kim(1994a, 1994b, 1994c)은 영양형질과 생식형질을 중심으로 한 외부형태형질과 해부학적 형질을 조사하여, 화살나무속 분류에 있어서 형태학적 분류형질의 타당성과 계급에 따른 식별형질을 검토하였고, 한국산 화살나무속을 2아속 4절 16분류군으로 구분한 바 있다.

상기한 많은 연구에도 불구하고, 현재까지 속내에서 종집단간의 명확한 한계의 설정과 분류학적 위치 및 분류군간의 유연관계에 대해서는 아직도 구체적인 연구가 이루어지지 않고 있다. 한편, 현재까지 제안된 속내분류체계들은 화서의 형태, 약실의 수, 화사의 길이 및 삭과의 형태를 중심으로한 형태적 차이에 그 근거를 두고 있으나, 본 속은 생식기관을 포함한 대부분의 형태형질에 있어 변이가 심하고 속이하 분류단계에 있어서 식별형질의 중복현상이 빈번하여 속내분류체계의 설정에 많은 혼란이 있어 왔다. 화살나무속의 분류군들은 동일 분류군내에서는 물론 한 지역의 동일집단내에서도 특히 잎의 변이가 심하고, 분류군에 따라서는 심지어 꽃, 삭과등 생식기관에서조차 기관의 형성시기와 생육조건에 따라 형태의 변화가 많기 때문에, 속내 분류군간의 한계설정에 많은 어려움을 주고 있다 (Kim, 1993). 따라서, 본 연구는 한국산 16분류군을 대상으로 유집분석과 주성분분석 등의 수리분류학적 연구를 실시하여, 이를 토대로 분류계급의 논란이 있어온 화살나무속의 종간한계를 규명하고 속내분류체계의 타당성을 논하여 본 속의 현대적 분류체계의 구축에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

연구재료는 1990년 5월부터 1993년 6월까지 채집하여 제작된 식물표본과 국내외소재의 표본관으로부터 대여한 표본중 생식형질이 식별 및 측정 가능한 것만을 기본재료로 이용하였다(Appendix). 수리분류학적 연구에 사용된 형질의 기본자료는 Kim(1993)의 정성 및 정량적 형질표를 근거로 하였다. 조사된 분류군을 국내외 지역별 총 107개의 OTU (operational taxonomic unit)로 각 OTU에 대하여 조사된 60형질(Table 1)로 data matrix를 작성하였다. 이때, 사용된 정성형질은 존재유무(예: 형질4, 0(absence), 1(presence)), 색의 차이(예: 형질31, 0(pale green), 1(pale purple), 2(bister)) 및 배열상태(예: 형질60, 0(decussate), 1(decussate and obvolvate), 2(obvolvate))등의 형질별 단계에 따라 이단계 또는 다단계로 값을 설정하였다. 작성된 data matrix는 표준화과정을 거쳐, 이를 토대로 주성분분석(principle components analysis)과 비가중중심연결법(UPGMC)과 Ward방법의 두 가지 방법으로 유집분석을 실시하였다. 이들의 다변량 통계분석은 SAS(Statistical Analysis System; 1996, release 6.11) program을 이용하여 IBM compatible PC

Table 1. Characters for numerical analysis of Korean *Euonymus*.

Habit;	
1. tree through small bushes	30. chr.29/chr.28
Twigs;	
2. cross sectional shape of 1-year-old twigs	31. color of petals
3. diameter of 1-year-old twigs	32. presence of serration of petals
4. presence of corky wings or materials	33. lobe length of calyx
Leaves;	
5. length of blade	34. lobe width of calyx
6. width at maximum sites Bud;	35. chr.31/chr.32
7. shape: chr.5/chr.6	36. presence of serration of calyx
8. distance from base to widest on midvein	37. length of style
9. chr.8/chr.5	38. number of anthers
10. length of petioles	39. number of locules of anther
11. chr.10 / chr.5	40. length of filament
12. pubescence above	41. length of anther
13. pubescence below	42. width of anther
14. presence of trichomes or tumors on petioles	43. chr.42/chr. 43
15. evergreen to deciduous	44. color of anther (when fresh)
16. internodal length (1) from top	45. angles of floral disk
17. internodal length (2) from top	46. diameter of floral disk
Inflorescence;	
18. length of inflorescenes	Fruits;
19. numbers of flowers	47. diameter of fruit
20. numbers of divergence	48. length of fruit
21. length of floral axis	49. chr.47/chr.48
22. length of peduncles from 1st diverged	50. presence of wings
23. length of peduncles from 2nd diverged	51. length of wings
24. chr. 22/chr. 20	52. color of fruit (when fresh)
25. the length of pedicels	53. color of fruit (when capsule schized)
Flowers;	
26. number of floral parts	54. length of apical bud
27. diameter of flowers	55. diameter of apical bud
28. length of petals	56. chr.58/chr. 59
29. width of petals	57. numbers of scar
	58. numbers of young leaf
	59. arrangement of young leaves
	60. arrangement of scars

(pentium)로 수행하였고, 수리분류학적 기제에 사용된 용어는 Sneath and Sokal(1973)을 기준으로 하였으며, 용어의 번역은 고(1988), 김과 전(1990)을 참조하였다.

결과 및 고찰

1) 유집분석(cluster analysis)

중심연결법의 결과에 의하면, 거리지수인 중심거리(normal centroid distance)가 0.577에서 유집된 sect. *Ilicifolia*의 한 group과 거리지수 0.658에서 유집된 sect. *Uniloculares*의 한 group이 0.867에서 유집되어 하나의 커다란 유집군을 형성한다. 한편, 거리지수 0.646에서 유집된 sect. *Biloculares*의 *E. hamiltonianus*, *E. hamiltonianus* var. *bungeanus*, *E. hamiltonianus* var. *maackii*는 거리지수 0.696에서 *E. chibai*와 유집되어 한 group을 이루고, 거리지수 0.680에서 유집된 sect. *Melanocarya*의 *E. alatus* 및 그 품종들로 구성된 집단과 sect. *Biloculares*의 *E. pauciflorus*의 다른 한 group은 거리지수 0.853에서 다른 하나의 커다란 유집군을 형성하고, 이어서 두개의 커다란 유집군은 거리지수 0.884에서 하나로 유집되는 결과를 보였다(Fig. 1). 중심연결법에 의한 유집분석에 의하면, 거리지수 0.658에서 크게 4개의 group으로 유집되어 group간의 거리가 매우 높은 것으로 나타났으며, 거리지수 0.646에서 유집되는 *E. hamiltonianus*, *E. hamiltonianus* var. *bungeanus*, *E. hamiltonianus* var. *maackii*와 거리지수 0.578에서 유집되는 *E. japonicus*, *E. japonicus* var. *radicans*의 두 group을 제외한 다른 group들은 거리지수 0.030-0.325의 낮은 수준에서 종 또는 종내분류군들로 유집되어 종간에 뚜렷한 불연속성이 내재하고 있는 것으로 나타났다.

Ward방법에 의한 유집분석의 결과는, 유사도지수 RSQ(root mean of sum of square) 0.853에서 유집된 sect. *Ilicifolia*의 한 group과 0.815에서 유집된 sect. *Uniloculares*의 다른 한 group이 0.572에서 유집되어, 유사도지수 0.768에서 유집된 sect. *Biloculares*의 *E. hamiltonianus*, *E. hamiltonianus* var. *bungeanus*, *E. hamiltonianus* var. *maackii*, *E. chibai* 등으로 구성된 group과 유사도지수 0.309에서 유집되어 커다란 유집군을 형성한다. 또한 0.980이상의 높은 유사도지수에서 유집된 sect. *Biloculares*의 *E. pauciflorus*는 sect. *Melanocarya*의 *E. alatus* 및 그 품종들로 구성된 분류군과 0.704에서 커다란 유집군을 형성하고, 이어서 두개의 커다란 유집군은 하나로 유집되는 결과를 보였다(Fig. 2). Ward방법에 의한 유집분석에 의하면, 거리지수 0.704이상의 높은 수준에서 sect. *Ilicifolia*, sect. *Uniloculares*, sect. *Biloculares*, sect. *Melanocarya*와 *E. pauciflorus*로 유집된 4개의 group으로 명확히 구분되어, 각 group간의 한계가 분명한 것으로 나타났으며, 그 중 sect. *Ilicifolia*가 유사도지수 0.853의 가장 높은 수준에서 연결되었고, 각 종 및 종내분류군들은 유사도지수 0.954 이상의 높은 수준에서 유집되어 종의 독립적인 연속성이 유지되고 있는

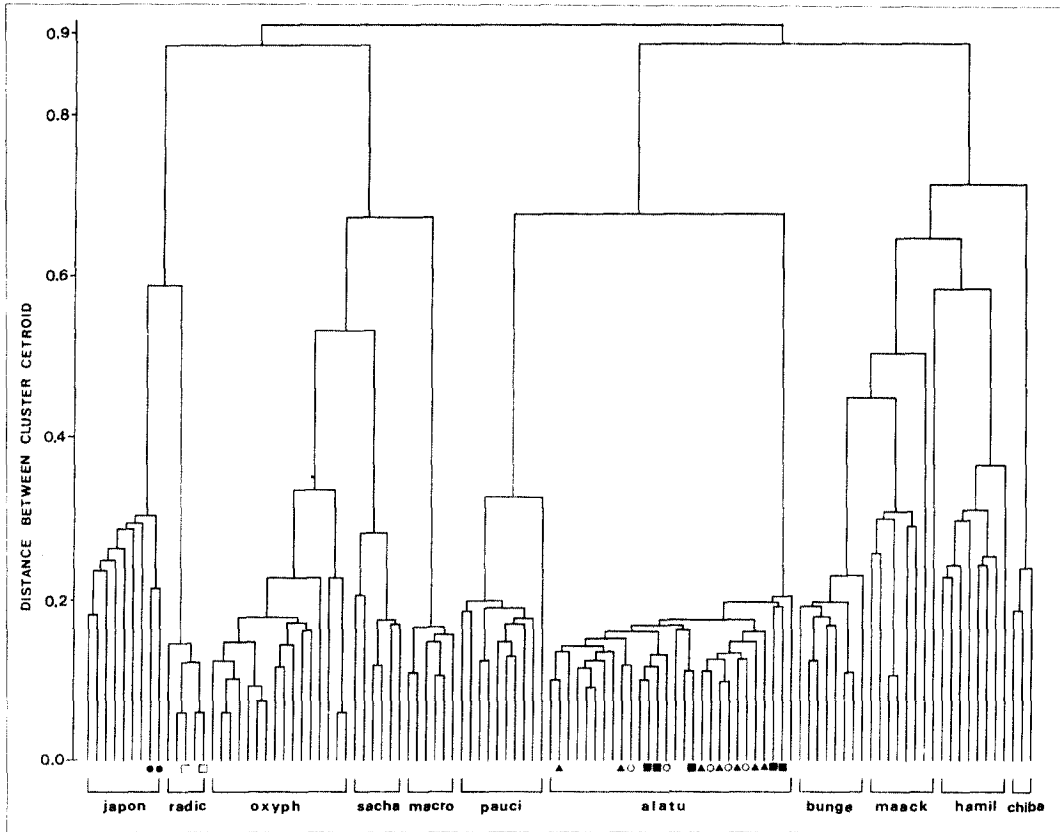


Fig. 1. Phenogram of Korean *Euonymus* by UPGMC based on 60 morphological characters. Treated taxa designated by their first five letters of their epithets. Closed circles (●) indicate *E. japonica* var. *acuta*, open squares (□) *E. fortunei*, triangle (▲) *E. alatus* for. *pilosus*, closed squares (■) *E. alatus* for. *apterus*, open circles (○) *E. alatus* for. *ciliatodentatus*.

것으로 나타났다.

중심연결법과 Ward방법에 의한 두 가지 유집분석의 결과, 유집군들의 유집순서와 거리 등이 다소 차이는 있었으나 서로 형성되는 group들의 구성이 거의 동일하게 나타났으며, group간에는 유사도가 매우 높은 것으로 관찰되었고, 각 종간에는 독립적으로 높은 수준의 유집이 형성되어 뚜렷한 불연속성이 존재하는 것으로 관찰되었다. 특히, 많은 학자들에 의해 분류계급의 설정에 이견을 보여온 좁은잎참빗살나무와 좁참빗살나무는 원종인 *E. hamiltonianus*와 매우 높은 유사성을 보이며 뚜렷한 하나의 연속적인 유집군을 이루어, 두 분류군을 독립된 종이 아닌 변종으로 처리한 Komarov(1904)와 Kim(1993)의 분류학적 처

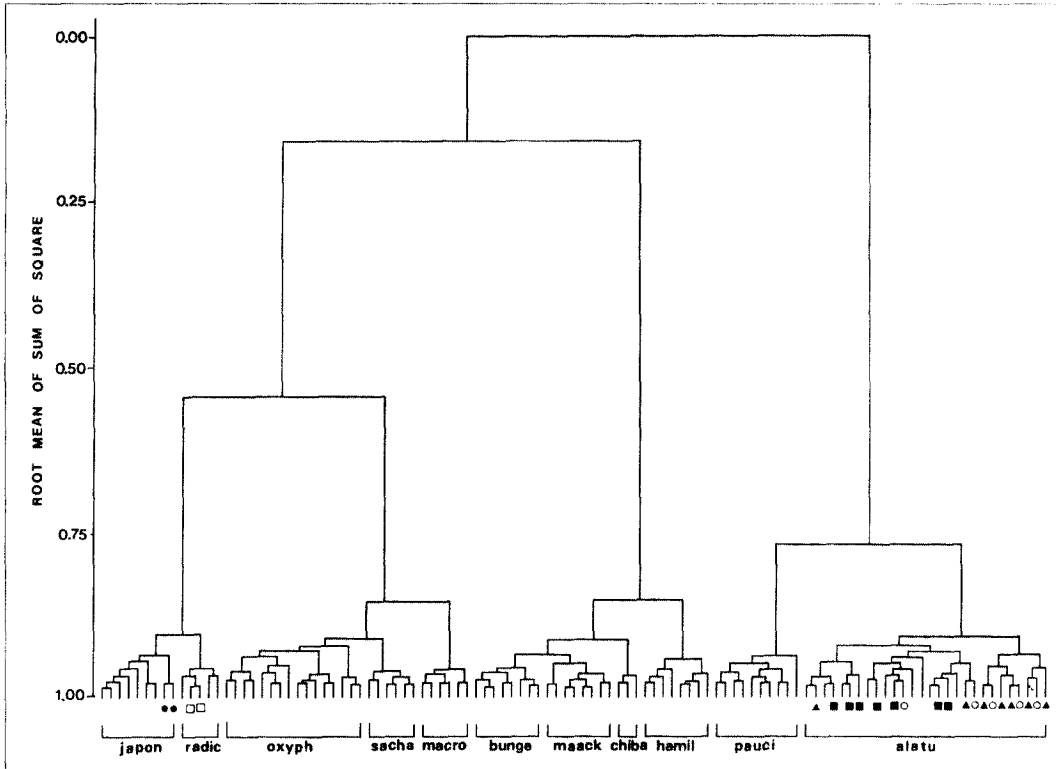


Fig. 2. Phenogram of Korean *Euonymus* Ward's method based on 60 morphological characters. Treated taxa designated by their first five letters of their epithets. Closed circles (●) indicate *E. japonica* var. *acuta*, open squares (□) *E. fortunei*, triangle (▲) *E. alatus* for. *pilosus*, closed squares (■) *E. alatus* for. *apterus*, open circles (○) *E. alatus* for. *ciliatodentatus*.

리가 타당한 것으로 생각된다. 한편, sect. *Ilicifolia*와 sect. *Uniloculares*는 매우 독립적인 유집군으로 판단되며, 이는 두 분류군을 절로 설정한 Blakelock(1951)의 견해와 일치하였다. 또한, 중심연결법과 Ward방법에 의한 두 가지 유집분석의 결과 산출되어진 유집지수에 의하면, sect. *Ilicifolia*를 genus *Masakia*로, sect. *Uniloculares*를 genus *Turibana*로 구분하였던 Nakai(1949, 1952), Prokhanov(1949)와는 다소 차이를 나타내었으며, 본속을 포괄적인 단일속으로 인정한 Blakelock(1951), Kim and Kim(1994c)의 견해와 일치하고 있다. 그러나, sect. *Biloculares*의 *E. pauciflorus*가 sect. *Melanocarya*의 *E. alatus* 집단과 하나의 group으로 유집되는 현상은 자연상태에서 두집단이 유사한 생육환경을 나타내는 습성과 잎의 형태와 크기, 줄기의 형태 및 소지상의 돌출물 존재 등의 영양형질과 화서의 형태

와 크기 등의 여러형질의 크기 등 형태적 유사성의 결과로 추측되기는 하지만, 향후 이 group에 대한 좀더 면밀한 연구가 필요한 것으로 생각된다.

2) 주성분분석(principle components analysis)

60개의 형질과 107개의 OTU로 이루어진 기초자료행렬(data matrix)을 가지고 주성분 분석을 실시한 결과, 각 주성분(principle component, 이하 PC)에 대한 형질의 주성분적 재값(PC loading value)과 그 주성분의 고유값(eigenvalue) 및 분산의 기여율을 산출하였다(Table 2).

Table 2. Loadings of the 60 characters for the first 5 principle components from the analysis of 107 OTUs of Korean *Euonymus*.

Characters	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
C1	-0.57499	-0.59759	0.45603	0.04626	-0.11093
C2	-0.53741	0.46109	-0.07996	0.60834	0.20770
C3	0.13284	-0.07841	0.40368	0.02044	-0.08214
C4	-0.81601	-0.46807	-0.21436	0.10274	0.16366
C5	0.42318	0.45189	-0.15009	-0.10661	0.55056
C6	0.59141	0.40327	-0.07933	0.01554	0.22268
C7	-0.29946	0.05310	-0.11221	-0.17723	0.37981
C8	0.31581	0.42672	-0.04848	0.12607	0.42751
C9	0.18666	0.00753	-0.19027	-0.44998	0.10550
C10	0.24175	0.84515	0.30758	0.15466	0.07960
C11	0.16119	0.71029	0.38436	0.18318	-0.25411
C12	-0.37939	-0.09239	-0.05963	-0.63397	0.06694
C13	-0.67137	-0.31334	-0.12458	-0.30041	0.08252
C14	-0.63771	-0.35837	0.09695	-0.36488	-0.09862
C15	-0.18543	-0.36325	-0.86728	-0.02669	0.23611
C16	0.24604	-0.05070	-0.08611	-0.09125	0.35378
C17	-0.09389	0.03531	0.06067	0.10942	0.50325
C18	0.90792	0.01250	-0.07688	-0.12609	0.12955
C19	0.69822	0.06069	0.39040	-0.02098	-0.09557
C20	0.86625	-0.00557	0.29089	-0.00908	-0.01345
C21	0.88039	-0.08548	-0.00466	-0.19243	0.04915
C22	0.82718	0.24376	-0.03042	-0.15565	0.32920
C23	0.76625	-0.05002	0.10972	-0.06508	0.14565
C24	0.58653	0.55727	0.09072	-0.14663	0.31683
C25	0.03926	0.65582	-0.08415	0.37820	0.26851
C26	0.71163	-0.27184	-0.43754	-0.23469	0.12740

Characters	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
C27	0.06672	0.46785	0.17381	0.04753	0.54712
C28	0.13968	0.57313	0.33792	-0.16036	0.54558
C29	-0.21922	-0.34771	0.66404	0.02523	0.27297
C30	0.24987	0.73370	-0.03932	-0.14093	0.31417
C31	-0.14236	0.35153	-0.16293	-0.78106	0.29396
C32	-0.81601	-0.46807	-0.21436	0.10274	0.16366
C33	-0.56245	-0.09728	0.25088	0.47434	0.44660
C34	-0.19184	-0.05214	0.54286	0.61257	0.36101
C35	-0.71075	-0.08361	-0.26219	-0.25720	0.16445
C36	-0.81601	-0.46807	-0.21436	0.10274	0.16366
C37	-0.01556	0.55366	0.57534	0.44840	0.10637
C38	0.71163	-0.27184	-0.43754	-0.23469	0.12740
C39	-0.74898	0.24681	0.54121	0.17441	0.06606
C40	-0.26905	0.16630	0.69057	0.53393	0.13786
C41	-0.12605	0.78536	0.49091	0.06067	-0.05642
C42	0.08108	0.27215	0.94887	0.03250	-0.08086
C43	-0.12789	0.28790	-0.68293	-0.04415	-0.04818
C44	-0.04233	0.93635	0.07301	0.08226	0.18945
C45	0.71163	-0.27184	-0.43754	-0.23469	0.12740
C46	-0.50614	-0.26847	-0.25504	0.72561	0.23853
C47	-0.00266	-0.11521	0.28150	-0.05592	-0.41732
C48	0.09588	-0.02123	0.45222	-0.21040	-0.38981
C49	-0.48845	-0.38317	-0.40588	0.57866	0.06414
C50	-0.01951	0.72899	-0.21495	-0.34243	-0.10250
C51	-0.45459	-0.37966	-0.44776	0.39113	-0.16463
C52	-0.21851	0.78644	-0.06609	-0.36115	-0.04387
C53	-0.26395	0.76782	0.07090	-0.37255	0.04037
C54	0.78461	-0.43928	0.10587	-0.20610	-0.23548
C55	0.77311	-0.19948	0.32273	0.01331	-0.15406
C56	0.54558	-0.54385	-0.08009	-0.41362	-0.24685
C57	-0.55018	-0.06224	0.07550	0.77264	0.23925
C58	0.24704	0.20855	0.82051	0.12620	-0.03449
C59	0.17896	-0.83224	0.30870	0.00713	-0.16427
C60	-0.49652	-0.82027	-0.17714	0.01976	-0.00165
Eigenvalue	17.13853	12.29034	7.69086	3.77867	1.70940
Proportion	0.3842	0.2755	0.1724	0.1071	0.0607
Cumulative	0.3842	0.6597	0.8321	0.9393	1.0000

모출된 주성분중 고유값이 1.00 이상인 5개의 주성분중에서(Kaiser's rule; 김과 전, 1990) 주성분 1, 2, 3이 전체분산의 83.2%를 설명하고 있었다. 주성분1은 전체분산의 38.4%를 설명하였고, 주성분1에 높은 적재값을 나타내는 형질은 소지와 엽병표면의 부속물존재(c4, c14), 잎의 폭(c6), 잎이면의 모용분포(c13), 동아의 크기(c54, c55) 등과 같은 영양기관에 관한 형질들과 화서의 길이(c18), 꽃의 수(c19), 화경의 분지횟수(c20), 총화경의 길이(c21), 1차 및 2차화경의 길이(c22, c23), 화수성(c26), 화판의 거치(c32), 약의 형태(c35)와 거치(c36), 약실의 수(c39) 등의 생식형질과 관련된 18형질이였다. 전체분산에 대한 기여도가 27.5%인 주성분2에 높은 주성분적재값을 갖는 형질은 엽병의 길이(c10), 엽신의 길이에 대한 엽병길이의 비(c11), 아엽(c59)과 인편의 배열(c60) 등의 영양형질과 소화경의 수(c25), 화판의 길이(c28)와 색(c44), 약의 길이(c41), 삭과의 날개존재유무(c50), 화피의 길이에 대한 폭의 비(c50), 과피의 색(c52, c53) 등의 생식형질에 관련된 12형질이였다. 한편, 주성분3에 높은 주성분적재값을 갖는 형질은 소지의 직경(c3), 잎의 소질(c15), 아엽의 수(c58) 등의 영양형질과 화사의 길이(c40), 약의 나비(c42), 화판의 나비(c29), 화수의 길이(c37), 약의 나비에 대한 길이비(c43) 등의 생식형질로 전체분산에 대한 기여도가 17.2% 이었다. 주성분 1, 2, 3에 높은 주성분적재값을 갖는 38형질들은 재분류된 주성분적재값의 순서대로 배열하였고(Table 3), 38형질의 각주성분에 대한 OTU들의 주성분점수(PC score)에 따라 OTU들을 3차원공간에 배열하였다(Fig. 3).

결론적으로 보면, 도출된 주성분 1, 2, 3이 전체분산의 83.2%를 설명할 수 있는 결과를 보였음에도 불구하고, 주성분의 일정한 경향성을 구체화하기에는 형질들의 분포가 연속성을 나타내지는 않았다. 그러나, 주성분 1, 2, 3에 높은 주성분적재값을 갖는 38형질중 약실의 수(c39), 화사의 길이(c40) 및 동아의 크기(c54, c55)등은 화살나무속을 아속으로 구분하는 주요한 식별형질이며, 소지와 엽병표면의 부속물존재유무(c4, c14), 잎이면의 모용분포(c13), 화수성(c26), 화판의 거치(c32), 약의 거치(c36), 엽신의 길이에 대한 엽병길이의 비(c11), 삭과의 날개(c59)등은 속에서 종 또는 종이하분류군을 구분하는 형질로 인정된 바 있다(Kim and Kim, 1994b). 또한, 화살나무속을 절로 구분할 수 있는 중요형질인 화서와 연관된 4가지 형질(ch20, ch21, ch22, ch23)은 주성분 1에 높은 적재값을 갖는 것으로 나타났다. 한편, 주성분 1, 2, 3의 주성분점수에 의한 3차원 배열(plotting)결과, 다음의 무리한 5개의 유집군으로 구분이 되었다(Fig. 3). 우선, 제1군은 sect. *Ilicifolia*의 *E. japonicus*, *E. fontanei*이 좌상면에, 제2군은 sect. *Uniloculares*의 *E. oxyphyllus*, *E. macropterus*, *E. nicholinsensis* 등이 좌하면에, 제3군은 sect. *Melanocarya*의 *E. alatus*와 sect. *Biloculares*의 *E. pauciflorus*로 우하면에, 제4군은 sect. *Biloculares*의 *E. hamiltonianus*, *E. hamiltonianus* var. *maackii*, *E. hamiltonianus* var. *bungeanus*등이 우상면에 각각 위치하고 있다. 또한, 제1군의 중앙부에 제5군으로 sect. *Biloculares*의 *E. chibai*가 배열되었다. 제1군과 sect. *Biloculares*의 제2군은 sect. *Uniloculares*를 대표하는 유집군으로 관찰되었으나, 제

Table 3. Loadings of the 38 characters for the first 3 principle component from the analysis of 107 OTUs of Korean *Euonymus*.

Characters	PC1	PC2	PC3
C18	0.90792*	0.01250	-0.07688
C21	0.88039*	-0.08548	-0.00466
C20	0.86625*	-0.00557	0.29089
C22	0.82718*	0.24376	-0.03042
C32	-0.81601*	-0.46807	-0.21436
C36	-0.81601*	-0.46807	-0.21436
C4	-0.81601*	-0.46807	-0.21436
C54	0.78461*	-0.43928	0.10587
C55	0.77311*	-0.19948	0.32273
C23	0.76625*	-0.05002	0.10972
C39	-0.74898*	0.24681	0.54121
C45	0.71163*	-0.27184	-0.43754
C26	0.71163*	-0.27184	-0.43754
C38	0.71163*	-0.27184	-0.43754
C35	-0.71075*	-0.08361	-0.26219
C19	0.69822*	0.06069	0.39040
C13	-0.67137*	-0.31334	-0.12458
C14	-0.63771*	-0.35837	0.09695
C44	-0.04233	0.93635*	0.07301
C10	0.24175	0.84515*	0.30758
C59	0.17896	-0.83224*	0.30870
C60	-0.49652	-0.82027*	-0.17714
C52	-0.21851	0.78644*	-0.06609
C41	-0.12605	0.78536*	0.49091
C53	-0.26395	0.76782*	0.07090
C30	0.24987	0.73370*	-0.03932
C50	-0.01951	0.72899*	-0.21495
C11	0.16119	0.71029*	0.38436
C25	0.03926	0.65582*	-0.08415
C28	0.13968	0.57313*	0.33792
C42	0.08108	0.27215	0.94887*
C15	-0.18543	-0.36325	-0.86728*
C58	0.24704	0.20855	0.82051*
C40	-0.26905	0.16630	0.69037*
C43	-0.12789	0.28790	-0.68290*
C29	-0.21922	-0.34771	0.66404*
C37	-0.01556	0.55366	0.57534*
C3	0.13234	-0.07841	0.40368*
Eigenvalue	17.13853	12.29034	7.69086
Proportion	0.3842	0.2755	0.1724
Cumulative	0.3842	0.6597	0.8321

*relative high value

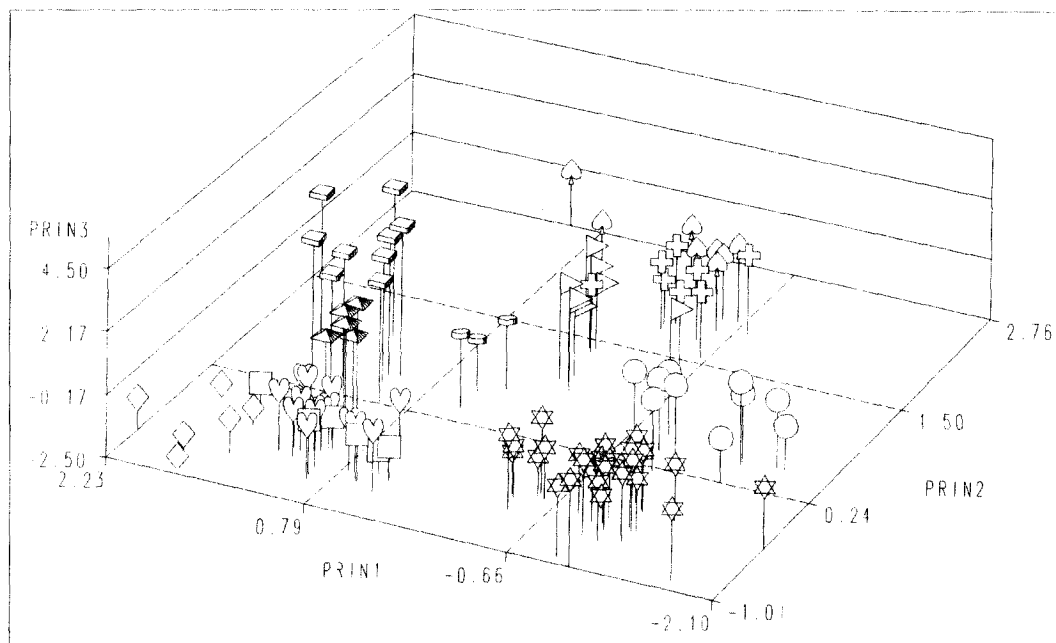


Fig. 3. The 3-dimensional scatter plotting of Korean *Euonymus* by three principle components. Treated taxa designated by several symbols displayed below.

☆: *E. alatus* (including its forms) ▷: *E. hamiltonianus* ♁: *E. hamiltonianus* var. *bungeanus* ⊕: *E. hamiltonianus* var. *maackii* ⊖: *E. chibai* ○: *E. pauciflorus* ⊕: *E. japonicus* (including its variety) ⊖: *E. fortunei* (including its variety) ♥: *E. oxyphyllus* ◇: *E. sachalinensis* □: *E. macropterus*

3군은 *E. alatus*와 *E. pauciflorus*가 두종을 구분하는 화사의 길이(ch40), 약실의 수(ch39) 및 약의 거치(ch36) 등의 소수의 분류학적 식별형질(Kim, 1993)보다는 주성분분석에 이용된 기여율이 높은 다른 다수의 형질에 근거하여 유집분석과 마찬가지로 하나의 집단을 형성하는 것으로 생각된다. 한편, 제4군은 sect. *Biloculares*의 *E. hamiltonianus* complex를 대표하고 있으나, 제5군인 *E. chibai*는 독립적인 유집을 형성하고 있다. 화살나무속은 삭과의 형태와 삭과열편의 갈라짐 등의 국지적인 형태형질에 근거하여 절로 구분되어 지는데(Kim, 1993), 삭과에 근거한 형질중 주성분2에 0.768의 기여도를 갖는 열개시 삭과의 색(ch53)을 제외한 다른 형질들은 주성분에 대한 기여도가 매우 낮은 것으로 나타나, 주성분분석에 의한 절간 구분이 명확하게 관찰되지 않았다. 본 연구에는 sect. *Biloculares*에 *E. hamiltonianus* complex, *E. chibai* 및 *E. pauciflorus*가 포함되어 있으나, *E. chibai*는 다른 집단들과는 독립된 하나의 집단을 형성하고, *E. pauciflorus*는 sect. *Melanocarya*의 *E. alatus*와 하나의 집단을 형성하고 있다. 결국, sect. *Biloculares*에 속한 분류군들은 매우 이질적인 집단들로 판단되고, 이들을 하나의 절로 구분한 Rouy and Foucaud(1897)와 Kim

(1993)의 분류학적 처리가 다소 인위적인 것으로 생각되며, 본질의 분류학적 위치에 대하여는 앞으로 광범위한 다방면의 면밀한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 1996년 인하대학교 교내연구비 일부지원에 의해 수행되었음을 밝히며, 논문 심사와 수정에 도움을 주신 장진성 박사님께 감사드립니다. 귀중한 표본을 대여해주신 US, PE, A, NY, GAT, M, MO, TL, BH, E, KEW, B, TUS등의 관계자 들에게 감사드립니다.

인 용 문 헌

- 고철환. 1988. 수리분류학. 대우학술총서. 자연과학 52. 민음사, 서울.
- 김기영, 전명식. 1990. SAS 인자분석. 자유아카데미, 서울.
- 이창복. 1980. 대한식물도감. 향문사, 서울.
- 정태현. 1943. 조선삼림식물도설. 조선박물연구회, 경성.
- _____. 1957. 한국식물도감. 상권(목본). 신지사, 서울.
- _____, 도봉섭, 심학진. 1949. 조선식물명집. 조선생물학회, 서울.
- _____, _____, 이덕봉, 이휘재. 1937. 조선식물향명집. 조선박물연구회, 경성.
- Beck, G. 1892. *Euonymus*. Flora von Nieder-Osterreich, abt. 1. Wien. Pp 587-589.
- Blakelock, R.A.. 1951. A synopsis of the genus *Euonymus* L. Kew Bulletin. 2: 210-290.
- Blume, C.L. 1826. Celastineae. Bijdragen tot de flora van Nederlandsch Indie, part 17. Batavia. Pp 1146-1149.
- Candolle, A.P. de. 1825. Celastineae. Prodrromus Systematis Universalis Regni Vegetabilis 2: 2-18.
- Franchet, A. and P. Savatier. 1878. Celastineae. Enumeratio Plantarum Japonicarum, pars secuda. Paris. Pp311-313.
- Handel-Mazzetti, H. 1933. *E. fortunei* (Turcz.) Handel-Mazzetti. Symbolae Sinicae 7: 660.
- Hemsley, W.B. 1876. Spindle trees. Garden 9: 213-215.
- Kim, J.-H. 1993. A Taxonomic Study of *Euonymus* in Korea. Ph. D. dissertation, Korea University. Seoul (in Korean with English abstract).
- _____. and Y.S. Kim. 1994a. A taxonomic study of Korean *Euonymus* L. on the anatomical characters. Kor. J. Pl. Tax. 24: 61-71 (in Korean).
- _____ and _____. 1994b. A taxonomic study of Korean *Euonymus* L. (Celastraceae) based on the morphology of vegetative characters. Kor. J. Pl.

- Tax. 24: 215-230 (in Korean).
 _____ and _____. 1994c. A taxonomic study of Korean *Euonymus* L. (Celastraceae) based on the morphology of reproductive characters. Kor. J. Pl. Tax. 24: 231-245 (in Korean).
- Kitagawa, M. 1939. *Euonymus*. Lineamenta Flora Manschuricae. Inst. Sci. Res. Manchoukuo. Pp 307-309.
- Koch, K.H.E. 1869. *Euonymus*. Dendrologie, Band 1. Verlag von Ferdinand Enke, Enlargen. Pp 625-633.
- Komarov, V.L. 1905. Flora Manshuriae (translated in Japanese). Trudy Imp. S.-Peterburgsk. Bct. Sada 5: 77-93.
- Lee, T.B. 1976. Vascular plants and their uses in Korea. Bull. Kwanak Arb. 1: 62-63.
- Linnaeus, C. 1754. *Euonymus*. Genera Plantarum. 5th ed. Stockholm. Pp 91.
- Loesener, T. 1902. Übersicht über die bis jetzt bekannten chinesischen Celastraceen. Bot. Jahrb. Syst. 30: 446-474.
- _____. 1942. Celastraceae. Nat. Pflanzenfam. 20B. 85-107.
- _____. and A. Rehder. 1913. An enumeration of the woody plants collected in western China for the Arnold Arboretum of Harvard University. In Plant Wilsonianae. Sargent C.S, The University Press, Cambridge. Vol 1. Pp 484-497.
- Maximowicz, C.J. 1881. Celastraceae. Diagnoses plantarum novarum japoniae et mandshuriae. Melanges Biol. Bull. Phys-Math. Acad. Imp. Sci. Saint-Petersbourg 11: 185-190.
- Melchior, H. 1964. A. Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien, Band 2. Berlin. Pp 292-294.
- Mori, T. 1921. An Enumeration of Plant Hither to Known From Korea. Gov. Gen. Chos. Pp 237-239.
- Nakai, T. 1909. *Euonymus*. Flora Koreana 1. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo 24: 120-124.
- _____. 1914. Celastraceae. Chosen-Shokubtsu. Tokyo. Pp 203-210 (in Japanese).
- _____. 1941. Subdivisions of the genus *Euonymus*. Journ. Jap. Bot. 17: 615-619 (in Japanese).
- _____. 1943. Genitia, genus novum Celastracearum. (Appendix) Systema novum generis *Euonymi* Nippoensis. Act. Phytotax. Geobot. 13: 20-32 (in Japanese).
- _____. 1949. Classes, Ordines, Familiae, Subfamiliae, Tribus, Genera nova quae attinent ad plantas Koreanas. J. Jap. Bot. 24: 8-14.
- _____. 1952. A synoptical sketch of Korean flora. Bull. Sci. Mus. Tokyo 31: 72-74. (in Japanese).
- Palibin, J. 1898. Celastrineae. Conspectus Florae Koreae. Trudy Imp. S.-Peterburgsk. Bot. Sada 17: 53-54.

- Pierre, J. P. L. 1894. Flore Forrestiere de la Cochinchine, pars 4. Paris. Pp 20.
- Prokhanov, Y. I. 1949. Celastraceae Lindl. Fl. URSS. 14: 546-573.
- Rafinesque, C. S. 1836. *Euonymus*. New Flora of North America, Vol 3. Philadelphia. Pp 58.
- Rehder, A. 1926. Enumeration of ligneous plants of northern China 3. J. Arnold Arbor. 7: 200.
- _____. 1938. New species, varieties and combinations from the herbarium and the collections of the Arnold Arboretum. J. Arnold Arbor. 19: 76-78.
- Rouy, G. and J. Foucaud. 1897. *Euonymus*. Flore de France, part 4. Paris. Pp 158-159.
- Skovortzow, R. W. 1935. Notes on trees and shrubs of northern Manschuria. 10. The Genus *Euonymus* L. China Journ. 23: 176-178.
- Sneath, P. H. and R. R. Sokal. 1973. Numerical Taxonomy. W.H. Freeman, San Francisco.
- Sprague, T. A. 1908. The prickly-fruited species of *Euonymus*. Bull. Misc. Inform. 1908: 29-36.
- Uyeki, H. 1940. Woody Plants and Their Distributions in Tyosen. Agricultural and Forestry College at Suigen, Government General at Tyosen. Pp 65-67. (in Japanese)
- Willis, J. C. 1973. A Dictionary of the Flowering Plants and Ferns. 8th ed. Cambridge U.P, London.

Appendix. The OTU sample list of *Euonymus* L. (Celastraceae) in this study and their deposits.

1. Sect. *Melanocarya* (Turcz.) Nakai (화살나무절) *E. alatus* for. *alatus* Sieb. (화살나무)– Taquet 153, Quelpaert (US); Kim *s.n.*, Kwangreung (KUS); Kim *s.n.*, Namhaedo (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Chiri (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Kyeryong (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Halla (KUS); Boratynski 137, An-ju (A); Tsiang 5781, Anhui (NY); Li 1779, Hebei (PE); Sohma 26967, Aomori (TUS); Togashi *s.n.*, Yamanashi (M). *E. alatus* for. *pilosus* Ohwi (털화살나무)–Purdom 50, Hebei (US); Kim *s.n.*, Hongreung (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Odae (US); Lautensach 831, Hamnam (GAT); Wang 43946, Guangdong (M); Komarov 1038, Manshuria (NY); Togashi 1506, Osaka (MO). *E. alatus* for. *chilatodentatus* Hiyama (회잎나무)–Kim *s.n.*, Ullung Is. (KUS); Kim *s.n.*, Chiri (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Odae (KUS); Wilson 4178, Sichuan (A); Takeda 16, Hokkaido (K). *E. alatus* for. *apterus* Rehder (털회잎나무)–Kim *s.n.*, Mt. Solak (KUS); Kim *s.n.*, Songsan (KUS); Kozima 1629, Nagano (TI); Kitamura *s.n.*, Shikoku (BH); Chiao 2615, Shantung (B).

2. Sect. *Biloculares* Rouy and Foucaud (참빗살나무절) *E. hamiltonianus* Wall. (참빗살나무)– Kim *s.n.*, Mt. Pukan (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Kyeryong (KUS); Kim *s.n.*, Oseungsaengak (KUS); Yao 9062, Anhui (A); Chen 616, Manshuria (NY); Forrest 16143, Yunnan (K); Watt 8691, N.W. Himalaya (E); Ward 94, Burma (NY). *E. hamiltonianus* var. *bunceanus* Kim et Kim (좁참빗살나무)–Kim *s.n.*, Kwangreung (KUS); Kim *s.n.*, Orimok (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Wolchul (KUS); Ching 2743, Anhui (E); Meyer 930, Peijing (NY); Chiao 2454, Shantung (B); Cheo 18391, Zhejiang (BH); Jaepffer *s.n.*, Amur (M). *E. hamiltonianus* var. *maackii* Komarov (좁은잎참빗살나무)–Kim *s.n.*, Mt. Pukan (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Kyeryong (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Sobaek (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Chiri (KUS); Yao 9062, Anhui (NY); Mizushima 2392, Shinamo (A); Fukuoka 1542, Hyogo (TUS); Aipatoba *s.n.*, Amur (M). *E. pauciflorus* Maxim. (회목나무)–Kim *s.n.*, Mt. Paekun (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Odae (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Solak (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Unak (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Wolak (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Chuheul (KUS); Maximowicz 1039, Manchuria (P); Kung 1795, Kirin (NY); Hers 2355, Hopei (A); Skvortsov *s.n.*, Primorsk (M). *E. chibai* Makino (섬회나무)–Hatusima 16286, Okinawa (A); Oka 35070, Yamaguchi (KYO); Tsang 21352, Kwantung (M).

3. Sect. *Ilicifolia* Nakai (사철나무절) *E. japonicus* Thunberg (사철나무)–Kim *s.n.*, Ullung Is. (KUS); Kim *s.n.*, Songsan (KUS); Kim *s.n.*, Pusan (KUS); Kim *s.n.*, Anmyon Is. (KUS); Kim *s.n.*, Komun Is. (KUS); Murata & Endo 40, Kyushu (TUS); Ohashi & Sohma 10690 (TUS). *E. japonicus* var. *acuta* Rehder (뽕족잎사철나무)–Kim *s.n.*, Ullung Is. (KUS); Wilson 505, Hupei (MO). *E. fortunei* Handel-Mazzetti (좁사철나무)–Kim *s.n.*, Ullung Is. (KUS); Kim *s.n.*, Orimok (KUS). *E. fortunei* var. *radicans* Rehder (줄사철나무)–Kim *s.n.*, Ullung Is. (KUS); Kim *s.n.*, Orimok (KUS); Fortune A46, Hongkong (A).

4. Sect. *Uniloculares* Rouy and Foucaud (회나무절) *E. oxyphyllus* Miquel (참회나무)–Kim *s.n.*,

Mt. Paekun (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Kyeryong (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Odae (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Chiri (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Pukan (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Chuheul (KUS); Kim *s.n.*, Kwangreung (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Chonma(KUS); Kim *s.n.*, Mt. Halla (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Hwaya (KUS); Kim *s.n.*, Anamdong (KUS); Yuan 31099, Anhui (MO); Huang 163242, Chekiang (TAI); Satomi 1737, Kago (BH); Kawahara 10095, Chiba (NY); Faurie 453, Hokkaido (MO). *E. sachalinensis* Maxim. (회나무)--Kim *s.n.*, Mt. Yongmun (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Chiak (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Solak (KUS); Murata et al. 38522, Hokkaido (A); Motorina 3882, Sachalin (A); Palczevsky 3629, Vladivostok (BH). *E. macropterus* Ruprecht (나래 회나무)--Kim *s.n.*, Mt. Odae (KUS); Kim *s.n.*, Mt. Sorak (KUS); Choi *s.n.*, Mt. Chiri (KUS); Dorsett 3215, Manshuria (A); Krebs 2634, Sachalin (B); Ohashi 22348, Miyagi (TI).

Numerical Taxonomy of *Euonymus* L. (Celastraceae) in Korea

Kim, Joo-Hwan*, Byoung-Hee Choi¹ and Yun Shik Kim²

Department of Biology, Taejeon University, Taejeon 300-716, Korea

¹Department of Biology, Inha University, Incheon 402-751, Korea

²Department of Biology, Korea University, Seoul 136-701, Korea

Abstract

This study was conducted to elucidate the delimitations of 16 taxa of *Euonymus* in Korea and to discuss the infrageneric classification system among the treated taxa by cluster analysis and principle components analysis (PCA) using 107 OTUs with 60 morphological characters. Based on the results of cluster analyses by the Ward and the UPGMC methods, there were similarities on the composition of clustered taxa and distinct discontinuity independently among the species. The treated taxa were divided into five groups by the PC1, PC2 and PC3, and the sums of contributions for the total variance were 83.2% (PC1 38.4%, PC2 27.5% and PC3 17.2%, respectively). This study suggested that there were taxonomic problems on the limits and composition of taxa in sect. *Biloculares*. The current study supported the infrageneric system of *Euonymus* proposed by Blakelock.

Key words: *Euonymus*, morphology, cluster analysis, principle components analysis, taxonomic status, infrageneric classification.

*Corresponding author: Phone +82-42-280-2434, Fax +82-42-283-7172