

한국산 등굴레속(*Polygonatum*)에 대한 유집 및 분계적 분석

장창기* · 김윤식

(고려대학교 이과대학 생물학과)

한국산 등굴레속(*Polygonatum*) 16분류군을 대상으로 외부형태학적, 해부학적 및 세포학적 형질을 조사한 결과를 바탕으로 유집 및 분계적 분석을 실시하여 각 분류군간의 유연관계를 조사하였다. 유집분석에서는 엽서를 기준으로 윤생엽을 가진 분류군과 호생엽을 가진 분류군이 가장 먼저 유집되었다. 또한 호생엽을 가진 분류군은 포의 존재유무에 따라서 두 개의 분류군으로 구분되었고, 포가 있는 분류군내에서 통등굴레(*P. inflatum*)와 종등굴레(*P. acuminatifolium*)는 다른 분류군으로부터 뚜렷이 구분되었다. 분계분석에서는 본 속이 포의 존재유무에 따라서 2개의 서로 다른 분지경로로 나누어 졌다. 포가 있는 분류군은 기본염색체수가 $x=10$ 에서 $x=11$ 인 분류군으로 가는 경로를 가졌다. 포가 없는 분류군 역시 기본염색체수가 $x=9$ 에서 $x=10$ 인 분류군으로 분지하는 경로를 거쳤다. 그리고 윤생엽을 가진 분류군은 기본염색체수가 $x=10$ 이며 포가 없고 호생엽을 가지는 분류군으로부터 여러 형질의 변화를 수반하여 분지되었다.

주요어 : 등굴레속, 유집분석, 분계적 분석, 속내 유연관계

서 론

본 속에 대한 속내분류체계는 일반적으로 엽서(Baker, 1875; Abramova, 1975; Tamura, 1993) 포의 유무 및 형태(Franchet & Savatier 1878; Komarov, 1935; Satake, 1942), 화피의 크기(Tang, 1978), 수술대의 모양 및 돌기나 털의 분포양상(Satake, 1942; Tamura, 1990) 등의 외부형태형질과 기본염색체수를 기준으로 결정되어져 왔다. 그러나 최근에 Tamura(1993)는 수술대의 형태와 기본염색체수와의 관계를 고찰하여 형질간의 통합적인 연관연구를 수행한 바 있다. 그렇지만 이러한 연구들은 소수의 주관적 형질을 중요시 하여 왔는데, 전반적인 형태형질에 대한 고찰과 다양한 분류학적

*교신저자 : 전화 (02) 953-1729, 전송 (02) 923-9522

규준이 반영된 종합적인 형질고찰과 자연분류체계에 대한 필요성이 요구되고 있다.

한국산 등굴레속 식물은 Palibin(1901)이 3종을 보고한 이래 Nakai(1909), Chung(1957), Lee(1979), Lee(1997) 등의 도감류의 기재가 대부분인데, 종의 혼동, 학명의 오용 및 분류계급 설정의 혼란 등을 거듭하여 온 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Jang(1998)은 한국산에 대하여 조직의 해리를 통해 도관요소의 비교 검토 및 줄기, 측근, 잎 등의 횡단면의 해부학적 연구를 수행하였고, 또한 염색체수 조사와 핵형분석을 통하여 세포학적 형질을, 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 잎 표피, 수술대, 주두, 화분 등의 미세형태형질을 조사하였다. 이러한 결과에서 얻어진 자료들을 토대로 유집 및 분계 분석을 수행하였고, 이를 RAPD 분석결과(Jang & Kim, 1998)와 비교 검토하고자 한다.

본 연구의 목적은 첫째, 분류군간의 한계와 계급의 설정에 문제가 많은 등굴레속에 대하여 유용한 분류형질을 찾아내어 이러한 형질을 기준으로 하여 분류군 간의 한계를 규명하고 각 형질을 토대로 분류군간의 유연관계를 파악하는 것이다. 둘째, 본 속의 기존의 속 내 분류체계에 대한 타당성을 재검토하고 적절한 계통분류체계를 확립하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재 료

실험재료는 야외에서 채집하여 일부는 석엽표본과 액침표본으로 제작하였고 일부는 충북대학교 생물학과 온실 및 실험포장에 이식하여 재배하였다. 실험에 사용된 재료의 증거 표본은 고려대학교 생물학과 표본실(KUS) 및 충북대학교 생물학과 표본실(CBU)에 보관하였다. 또한 KUS 및 CBU를 포함하여 서울대학교(SNU), 강원대학교(KWU), 경북대학교(KNU), 성균관대학교(SKK) 및 한남대학교 자연사박물관(HNU) 등 7개 표본관에 소장된 표본 2000여점과, 아시아에서 중국의 KUN, HNWP, SCFI, HWA, 일본의 MAK, TI, 인도의 CAL, 필리핀의 PNH, 싱가포르의 Sing, 유럽에서 핀란드의 H, 스웨덴의 GB, UPS, 폴란드의 KRA, 덴마크의 C, 독일의 DR, M, B, FR, GAT, HAL, 오스트리아의 W, 프랑스의 P, 이탈리아의 PAV, PI, 영국의 BM, OXF & FHO, K, 북미에서 미국의 BH, F, ILLS, NY, TEX, US, UC와 JEPS, A(GH), UMO 등 37지역의 표본관에서 대여한 5339점의 석엽표본중 한국에서 채집된 500여점의 표본을 조사하였다. 상기한 표본관의 약어는 Index Herbarium(1990)을 참조하였다.

2. 방 법

유집분석 : 본 연구에서는 조사된 각 분류군을 하나의 OTU로 취급하였으며 각 OTU에 대하여 환경에 비교적 영향을 적게 받고 분류군간에 비교적 불연속성이 뚜렷하다고 생각되는 36개의 형질을 선택하여 형질의 상태에 따라 0-4까지의 값을 부여하여(Table 1)

Table 1. Characters and their states for cluster analysis by morphological study of *Polygonatum* in Korea.

No.	Characters	Character state
1	Rhizome	0 = filiform, 1 = stout, 2 = moniliform
2	Stem type	0 = erect, 1 = ascending
3	Stem angularity	0 = terete, 1 = angulate
4	Phyllotaxis	0 = alternate, 1 = verticillate
5	Number of leaf	0 = a few, 1 = many
6	Leaf shape	0 = elliptical, 1 = lanceolate, 2 = linear
7	Leaf apex	0 = acute, 1 = obtuse, 2 = cirrihose
8	Leaf texture	0 = herbaceous, 1 = lustrous
9	Pappillae on abaxial surface	0 = glabrous, 1 = pappilose, 2 = pubescent
10	Pappillae on leaf margin	0 = glabrous, 1 = pappilose, 2 = pubescent
11	Presence of petiole	0 = sessile, 1 = petiolate
12	Presence of bract	0 = present, 1 = absent
13	Bract shape	0 = ovate, 1 = lanceolate
14	Bract texture	0 = herbaceous, 1 = membranous
15	Pubescence of bract	0 = pubescent, 1 = glabrous
16	Inflorescence	0 = bifurcate, 1 = cyme, 2 = subumbellate
17	Correlation of peduncle thickness	0 = correlate, 1 = non-correlate
18	Base of peduncle	0 = axillary, 1 = upper axillary
19	Perianth shape	0 = tubular, 1 = urceolate, 2 = funnel-shaped
20	Perianth color	0 = whitish green, 1 = yellow, 2 = white
21	Size of perianth	0 = large, 1 = small
22	Perianth lobe posture	0 = parallel, 1 = opening, 2 = recurved
23	Filament shape	0 = flattened, 1 = cylindrical
24	Adnating position of filament	0 = lower, 1 = middle, 2 = upper
25	Filament surface	0 = trichome, 1 = papillose, 2 = glabrous
26	Fixed type of anther	0 = basifixed-innate, 1 = versatile-innate
27	Stigma shape	0 = tetra-furcate, 1 = tri-furcate, 2 = bi-furcate
28	Height of stigma	0 = above anther, 1 = equal to anther, 2 = below anther
29	Ovary shape	0 = spherical, 1 = ellipsoid
30	Florescence	0 = early, 1 = medium, 2 = late
31	Position of vascular bundle (in stem)	0 = outer adjacent, 1 = inner adjacent, 2 = inner
32	Presence of palisade parenchyma	0 = absent, 1 = present
33	Adaxial epidermis cell shape	0 = undulate, 1 = irregular, 2 = oblong
34	Abaxial epidermis cell shape	0 = undulate, 1 = irregular, 2 = oblong
35	Presence of Casparian strip (in root)	0 = absent, 1 = present
36	Basic chromosome number	0 = x=9, 1 = x=10, 2 = x=11, 3 = x=12, 4 = x=15

Table 2. Characters and their states for cladistic analysis of Korean *Polygonatum*.

No. Characters	Plesiomorph	Apomorph
1 Rhizome [o]	thin (0)	thick (1), beaded (2)
2 Stem type	erect (0)	ascending (1)
3 Stem angularity	nonangulate (0)	angulate (1)
4 Phyllotaxis	alternate (0)	verticillate (1)
5 Leaf shape	elliptical (0)	linear (1)
6 Leaf apex	acute (0)	cirrhiose (1)
7 Pappillae on abaxial surface and leaf margin [o]	pubescent (0)	pappilose (1), smooth (2)
8 Position of leaf blade [n]	erect sloping (0)	erect parallel (1), ascending parallel (1)
9 Presence of petiole	sessile (0)	petiolate (1)
10 Presence of bract	present (0)	absent (1)
11 Inflorescence [o]	racemose (0)	corymbose (1), umbellate (2)
12 Shapes of perianth [o]	tubular (0)	urceolate (1), constrict (2)
13 Colors of perianth [o]	greenish white (0)	white (1), yellowish (2)
14 Shapes of perianth lobe	deltoid (0)	sagittate (1)
15 Adnating position of filament [o]	lower (0)	middle (1), upper (2)
16 Fixed type of anther	basifixed-innate (0)	versatile-innate (1)
17 Height of stigma [n]	above anther (0)	equal to anther (1), below anther (2)
18 Basic chromosome number [o]	x=9 (0)	x=10 (1), x=11 (2), x=12 (3), x=15 (4)

※[o]: ordered character, [n]: non-ordered character

원자료행렬을 작성하였다(Table 3). 이를 기초로 하여 단순연관계수로 OTU간의 유사도 거리를 계산하고, Ward's 방법에 의해 전형질도를 작성하였다(Fig. 1). 이들의 통계분석은 NTSYS program (F.J. Rohlf, ver 1.70, 1992)을 이용하였다.

분계분석: 분계도의 작성은 조사된 형질 가운데 비교적 진화경향성이 뚜렷하다고 판단되는 18개의 형질을 원시형질과 파생형질로 구분하였으며, 원시형질에는 0, 파생형질인 경우에는 1, 그리고 여러 상태의 형질인 경우에는 각 상태마다 각기 다른 값을 부여하였다(Table 2). 이에 따라 모든 원시형질을 가진다고 가정한 조상형을 포함한 17개의 분류

Table 3. Data matrix for cluster analysis of *Polygonatum* in Korea.

Characters /Taxa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36										
LAS	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	·	·	·	0	1	1	0	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	2	1	1	2	1	1	1								
HUM	0	0	1	0	0	0	0	2	2	0	1	·	·	·	0	0	0	1	2	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1								
ODO	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	·	·	·	·	1	0	0	1	2	0	1	1	1	2	0	2	0	1	0	1	0	2	1	1	1	1	1									
PLU	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	·	·	·	·	1	0	0	1	2	0	0	1	1	1	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1								
IFU	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	·	·	·	·	1	0	0	2	1	0	1	1	2	1	0	2	2	1	1	0	0	2	1	1	0	0	2	1	1	0						
THU	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	·	·	·	·	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	2	0	0	1	0	1	0	1	2	0	1	0	1	2	0	1					
ROB	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	·	·	·	·	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	2	0	0	1	0	1	0	1	2	0	1	0	1	2	0	1					
GRA	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	·	·	·	·	1	0	0	0	2	0	1	1	1	1	0	2	1	1	0	0	1	2	1	1	0	0	1	2	1	1	0					
FAL	2	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	·	·	·	2	1	0	0	2	0	0	1	1	2	0	0	1	1	2	0	0	1	2	1	2	1	1	0	1	2	1	1	0			
CRY	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	1	2	1	1	0	2	1	1	0	2	1	1	1	0	2	0	1	0	2	0	1	0		
DES	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	2	0	1	1	2	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	2	1	0	2	1	0	0	1	0			
INV	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	2	0	2	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0		
INF	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	2	1	0	0	1	0	2	0	2	0	1	2	1	0	2	0	1	2	1	0	2	0	2	1	0	2	1	0	2		
ACU	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	2	0	2	0	1	2	2	0	1	2	2	1	2	2	0	2	1	0	2	1	0	2			
SIB	1	0	0	1	1	2	2	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	0	0	2	1	1	1	2	1	1	2	2	0	1	1	2	2	0	1	0	1	2	2	1	0	1	2	2	1	3
STE	0	0	0	1	1	2	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0	2	2	1	1	1	0	2	2	1	2	2	0	2	1	1	4		

*Abbreviation of taxa corresponds to Fig. 1.

Table 4. Data matrix for cladistic analysis of *Polygonatum* in Korea.

Characters\ Taxa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
LAS	1	1	0	0	0	0	2	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
HUM	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1
ODO	1	1	1	0	0	0	2	1	1	1	0	0	2	0	1	1	0	1
PLU	1	1	1	0	0	0	2	1	1	1	0	0	1	0	1	1	2	1
IFU	1	1	0	0	0	0	2	1	1	1	0	2	2	0	2	1	2	0
THU	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	2	2	0	2	1	2	0
ROB	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	2	0	1	1	0	1
GRA	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0
FAL	2	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	2	0	1	1	0	0
CRY	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	2	1	2	0
DES	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	0	1	1	1	2	1	0	0
INV	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	0	1	2	1	2	1	0	0
INF	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	2	1	2	1	2	1	1	2
ACU	0	1	0	0	0	0	2	1	1	0	2	1	2	1	2	1	2	2
SIB	1	0	0	1	1	1	2	0	0	0	2	0	1	0	2	1	2	3
STE	1	0	0	1	1	0	2	1	0	0	0	0	1	0	1	1	2	4
ANC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※Abbreviation of taxa corresponds to Fig. 1.

군에 대하여 원자료행렬을 작성하였다(Table 4). 이들의 분석은 PAUP (D.L. Swofford, Illinois National History Survey, Ver. 2.4, 1985)를 통해 Farris-Wagner's tree method로 분계도(Fig. 2)를 작성하였다.

형질처리의 기준: 분계분석에 사용된 형질의 형질상태는 주로 문헌을 위주로 하였다. 단자엽식물의 지하경은 비대해지고 특수화한다는 일반적인 견해를 따랐고(Dahlgren & Clifford, 1982, Dahlgren *et al.* 1985), 줄기의 직립여부와 능각의 유무는 Dahlgren & Clifford (1982)의 견해와 같이 강해지고 단단해지는 쪽으로 발달한다고 보았다. 엽서는 일반적인 견해와 같이 호생하는 것이 가장 원시적인 형질이라고 하였다(Dahlgren & Clifford, 1982, Dahlgren *et al.* 1985, Goldberg, 1986, Takhtajan, 1991). 잎의 형태는 Dahlgren & Clifford (1982)와 Dahlgren *et al.* (1985)의 견해와 같이 선형이 타원형보다 더 발달된 것이라고 보았고, 엽선이나 엽신의 배열방향 등은 Jang(1998)의 견해에 따라 특수화해지는 방향으로 발달한다고 보았으며, 돌기나 털의 유무는 동굴레족내의 다른 군과 비교했을 때, 없어지는 방향으로 발달된다고 보았다. 엽병은 일반적인 견해에 따라

존재하는 것이 발달된 형질이라고 여겼으며(Takhtajan, 1991), 포는 탁엽과 같이 보호기능을 수행하는 기관으로 탁엽과 같이 없어지는 쪽으로 발달한다고 보아진다(Goldberg, 1986). 화서는 Goldberg (1986)와 Takhtajan (1991)의 견해에 따라서 총상형에서 산방형, 산형으로 발달한다고 보았다. 화피의 형태는 두꺼운 것에서 얇은 것으로, 형태가 특수화하는 쪽으로 발달한다고 보았으며(Jang, 1998), 화피의 색은 화피내의 색소의 존재와 종류 등을 기준으로 발달형태를 구분한 Goldberg (1986)의 견해를 따랐다. 화피열편의 모양과, 약과 비교한 주두의 높이는 본 속 식물의 수분과정에 연관된 것으로 해석한 Jang(1998)의 견해에 따라 삼각형의 화피열편, 약보다 높이 위치한 주두 등을 원시적인 상태의 형질로 보았다. 수술대가 화피통에 부착되는 위치(Dahlgren *et al.* 1985, Goldberg, 1986)나 약이 수술대에 달리는 위치(Goldberg, 1986)는 일반적인 견해를 따랐으며, 기본 염색체수는 원시적인 단자엽식물들에서 $x=7$ 인 기본염색체수를 가지며, 수가 증가하는 방향으로 분화한다는 Dahlgren & Clifford (1982)의 견해에 따라 속내에서 최소치인 $x=9$ 를 가장 원시적인 형질로 보았다. 파생형질의 형질상태가 다수인 형질중에서 엽신의 위치(Character No. 8)와 주두의 높이(Character No. 17)를 제외하고 모두 ordered characters이다.

결 과

1) 유집분석

한국산 동굴레속 16분류군에 대하여 유집분석을 실시한 결과 Fig. 1과 같은 전형질도를 얻었다. 잎이 윤생인 분류군(Sect. *Verticillata*)과 잎이 호생하는 분류군(Sect. *Polygonatum*)간에는 유사도지수 0.416에서 유집되고 잎이 호생하는 분류군 중에서 포의 유무에 따라 포가 있는 분류군(Ser. *Bracteata* & Ser. *Inflata*)과 포가 없는 분류군(Ser. *Polygonatum*)이 0.463에서 유집되었다. 또한 포가 있는 분류군중에서 화서 및 포의 소질과 기본염색체수가 차이가 나는 통동굴레와 중동굴레가 0.560에서 유집되었다. 그리고 잎이 호생하며 포가 없는 분류군들에서 죽대(*P. lasianthum*)와 진황정(*P. falcatum*)이 0.560에서 유집되고 다시 각시동굴레(*P. humile*)가 0.593에서 유집되어 *P. odoratum* group과 구분되었다. *P. odoratum* group은 풍도동굴레(*P. odoratum* var. *odoratum*), 동굴레(*P. odoratum* var. *pluriflorum*), 늦동굴레(*P. infundiflorum*), 산동굴레(*P. thunbergii*), 선동굴레(*P. grandicaule*), 왕동굴레(*P. robustum*) 등으로서 서로간에 불연속적인 형질들을 많이 가지고 있는 유연관계가 아주 가까운 group이다(Jang, 1998). *P. odoratum* group내에서는 왕동굴레가 0.650에서 유집되어 가장 뚜렷이 구분되었고 다시 줄기의 능각여부에 따라서 줄기에 능각이 없고 원주형이며 기본염색체수가 $x=9$ 인 산동굴레, 늦동굴레, 선동굴레 등이 줄기에 능각이 있으며 기본염색체수가 $x=10$ 인 동굴레,

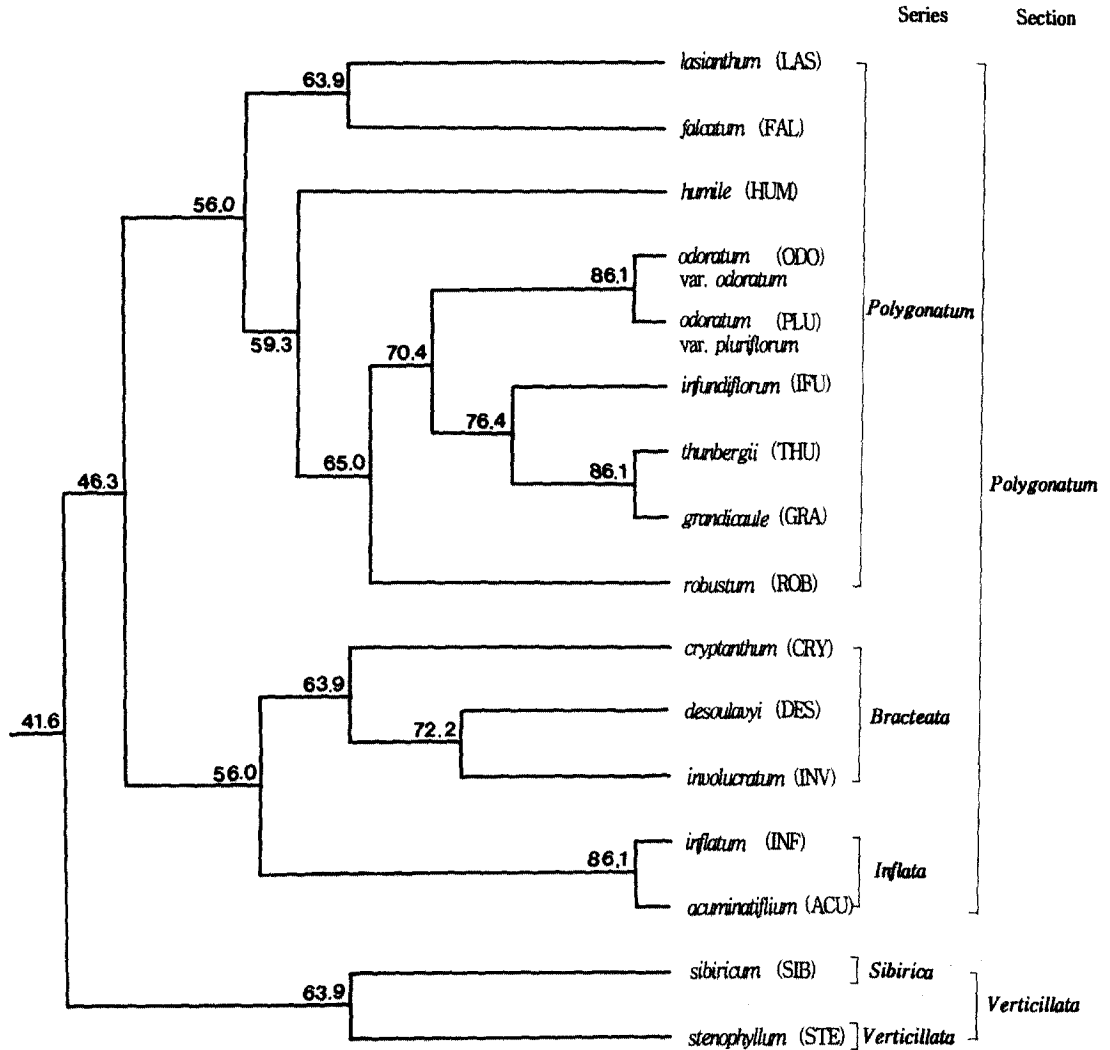


Fig. 1. Phenogram on 16 taxa of Korean *Polygonatum* by Ward's method.

풍도둥굴레와 0.704에서 유집되었다. 이들 중에서 늦둥굴레는 산둥굴레와 선둥굴레에 대해 0.764의 유사성으로 분리되었고, 후자의 두 종은 0.861의 유사성을 보여주었다. 또한 둥굴레와 풍도둥굴레는 서로 0.861로 유집되어 아주 높은 유사성을 보여주었다.

2) 분계분석

한국산 둥굴레속 16분류군에 대하여 분계적 분석을 실시한 결과 Fig. 2와 같은 분지도

를 얻었다. 지하경(character No. 1)과 잎의 형태(character No. 5)는 상동형질로서 분류군들이 분지하는데 아무런 영향을 주지 않았으며, 동형형질들은 다양하게 변하여 분류군들이 분지하는데 기여하였다. 본 속의 분류군들은 두개의 군으로 분지하였는데, 포(character No. 10)가 없어지면서 동굴레계열(Ser. *Polygonatum*)과 층층동굴레절(Sect. *Verticillata*)이 속하는 한 군으로 분지하였다. 한편 화피의 모양(character No. 12)이 호형이 되고 화피열편의 모양(character No. 14)이 화살촉모양이 되면서 용동굴레계열(Ser. *Bracteata*)과 통동굴레계열(Ser. *Inflata*)이 속하는 다른 군으로 분지되었다.

전자에서 동굴레계열 중 이면 맥과 엽연의 털이나 돌기(character No. 7)가 존재하는 각시동굴레가 먼저 분지되었다. 그 다음 주두 높이(character No. 17)가 약의 높이와 같아지면서 늦동굴레, 산동굴레, 선동굴레 등이 분지되었다. 이들 중 선동굴레가 일찍 분지되었고, 화피의 모양이 협착형으로 분화되고, 화피의 색(character No. 13)이 미색으로 되며, 수술대의 부착위치(character No. 15)가 화피통의 윗쪽으로 올라가고 주두의 위치가 약보다 낮아지면서 나머지 두 종이 나누어 졌다. 그리고 나서 엽연과 이면맥위의 돌기가 평활해 지면서 늦동굴레가 갈라져 나왔다. 한편 다른 분지군에서 화서(character No. 11)가 산방형으로 되고 수술대의 부착위치가 화피통의 아랫쪽으로 내려가면서 진황정이 분지되었다. 그리고 기본염색체수(character No. 18)가 $x=10$ 으로 되면서 나머지 분류군들이 분지되었다. 그 중 왕동굴레가 화피색이 미색으로 되면서 먼저 분지되었고, 엽연과 잎 이면맥위의 돌기가 없어지면서 나머지 분류군들이 나누어 졌다. 그리고 수술대의 부착위치가 화피통의 아래로 내려가고 약이 수술대의 기저부에 부착하면서(character No. 16) 죽대가 분리되었다. 그 후 화피의 색이 백색으로 변하면서 풍도동굴레가 갈라졌다. 그리고 동굴레가 잎이 윤생인 분류군들과 함께 분지되었는데, 여기에는 주두 위치가 약보다 낮아지면서 분지되고 이들에서 줄기(character No. 2)가 직립하고 엽병(character No. 9)이 없어지며 막질의 포가 달리고 줄기 능각(character No. 3)이 없어지며 엽서(character No. 4)가 윤생으로 되고 기본염색체수가 $x=12$ 로 되면서 윤생엽을 가진 분류군(Sect. *Verticillata*)이 분지되었다. 잎이 윤생하는 분류군 중 엽선(character No. 6)이 달리고 엽선의 위치(character No. 8)가 지면과 수평이 되며 화서가 산형으로 바뀌고 수술대 부착위치가 화피통의 윗쪽으로 올라가면서 층층갈고리동굴레(*P. sibiricum*)가 분리되었고, 마지막으로 기본염색체수가 $x=15$ 로 되면서 층층동굴레(*P. stenophyllum*)가 분지하였다.

후자에서는 화서가 총상으로 되고 화피의 색이 녹백색으로 바뀌면서 용동굴레계열 중에서 목포용동굴레(*P. cryptanthum*)가 먼저 분지되었다. 그리고 엽연이나 이면 맥위의 털이 없어지고 수술대 부착위치가 화피통의 윗쪽으로 가면서 다른 분류군들이 분리되었다. 화피의 색이 미색으로 되면서 용동굴레(*P. involucratum*)와 통동굴레계열이 함께 분지하였다. 화서가 산형으로 되고 주두의 높이가 약과 같아지며 엽색체의 수가 $x=11$ 이 되면서

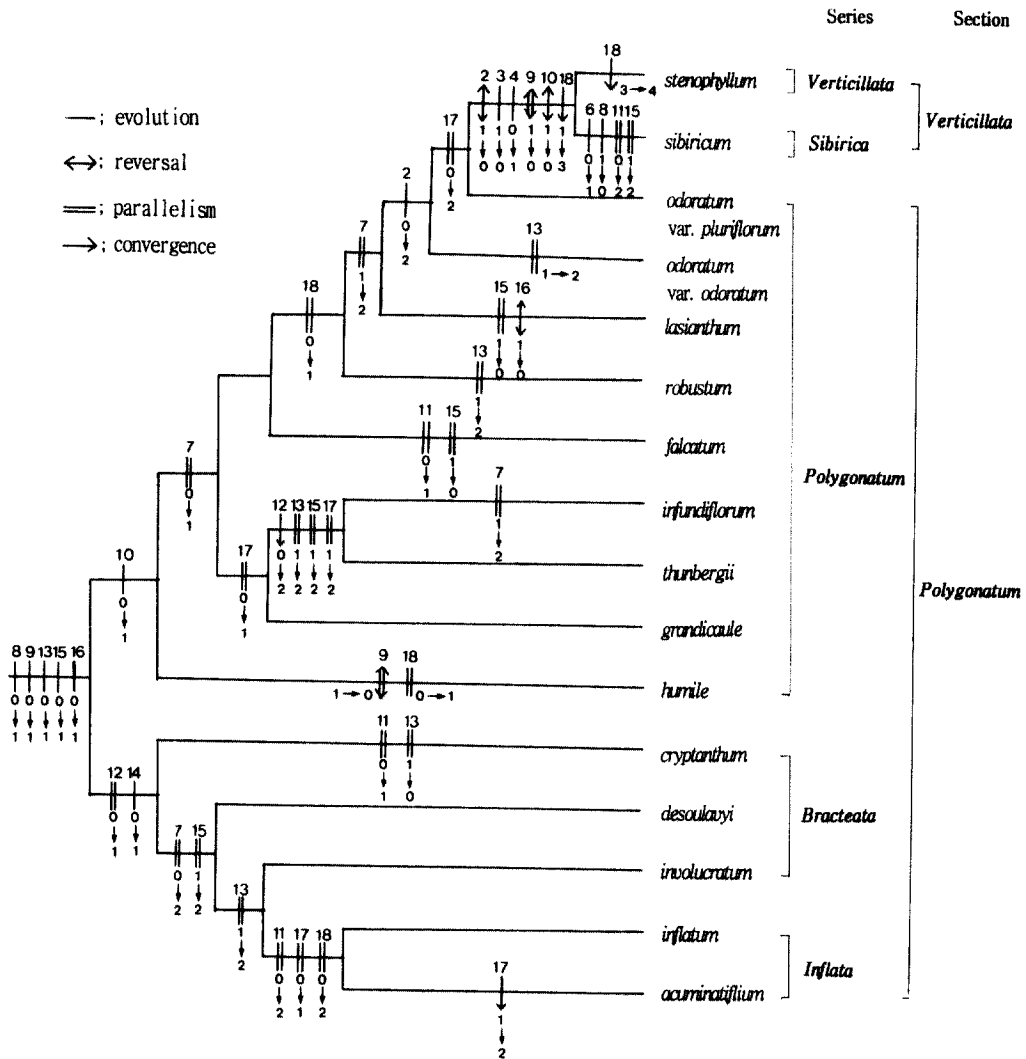


Fig. 2. Cladogram on 16 taxa of Korean *Polygonatum* based on morphological, anatomical and cytological characters.

통등굴레계열이 분리되었다. 여기서 다시 주두의 높이가 약보다 아래에 위치하게 되면서 종등굴레가 분리되었다.

고 찰

유집분석의 결과 층층등굴레(Sect. *Verticillata*)절이 등굴레절(Sect. *Polygonatum*)과 41.6%의 아주 낮은 유사도 수준에서 유집되어져, 외부형태학적으로 엽서를 절을 구분하는 기준으로 사용한(Baker, 1875, Abramova, 1975, Jang, 1998) 기존의 분류체계를 잘못받침 해주고 있다. 또한 포가 있는 분류군인 용등굴레계열과 통등굴레계열이 등굴레계열과 46.3%의 유사도 수준에서 뚜렷이 구분되어 포를 절이나 계열을 구분하는 중요한 식별형질로 취급한 여러 분류체계를 지지해준다(Franchet & Savatier, 1878, Komarov, 1935, Satake, 1942, Jang, 1998). 또한 통등굴레계열은 용등굴레계열과 56.0% 수준에서 구분되어 새로운 속내분류군으로 취급하는데 있어서 객관적인 증거를 제시하였으며(Satake, 1942, Tamura, 1993, Jang, 1998) 위의 결과들은 기본염색체수의 변화와 동일한 경향을 보이고 있어 전체적인 속내의 분화경향성을 미루어 짐작해 볼 수 있다(Han *et al.* 1998). 또한 분류학적으로 문제가 되고 있던 *P. odoratum* group에서 기본염색체수에 따라 $x=9$ 인 산등굴레, 선등굴레, 늦등굴레가 76.4%의 아주 높은 유사도 수준에서 유집되었는데, 이러한 결과는 RAPD 분석에 의한 유집분석의 결과와 거의 일치하였다(Jang and Kim, 1998).

분계분석에서는 다루어진 분류군이 모두 한국산에 국한되지만 형질의 분화는 아주 뚜렷한 진화경향성을 보여주었다. 우선 용등굴레계열과 통등굴레계열은 엽신의 위치, 엽병의 유무, 화피색, 수술대 부착위치, 약의 부착형태 등에 의해 등굴레계열과 다르게 분지되어서, 기존의 분류체계 뿐만아니라(Franchet & Savatier, 1878, Komarov, 1935, Satake, 1942, Jang, 1998) 염색체 결과에서 나온 분화의 양상을 아주 잘 지지해 준다고 여겨진다(Han *et al.* 1998). 그리고 기존의 Baker (1875), Franchet & Savatier (1878), Abramova (1975) 등이 속내분류체계에서 중요하게 취급하였던 엽서, 포, 수술대의 형태 이외에도 화서, 화피색, 수술대의 화피통에의 부착위치, 주두의 높이, 기본염색체수 등이 절이나 계열 수준의 분화가 이루어 질 때마다 중요한 형질로 작용하여 본 속의 분류에 중요한 형질임이 확인되었다. 그리고 용등굴레계열은 통등굴레계열의 자매군으로 연결되어 두 계열간의 가까운 유연관계를 보여주어 유집분석의 결과와 일치하고 통등굴레계열이 다시 용등굴레계열로 부터 분리되어 이를 계열수준으로 인정한 견해들을 뒷받침해 주고 있다(Tamura, 1993, Jang, 1998). *P. odoratum* group내에서 기본염색체수에 따라 $x=9$ 인 늦등굴레, 산등굴레, 선등굴레가 $x=10$ 인 다른 분류군들보다 먼저 분지되어 뚜렷이 구분되어 유집분석의 결과와 거의 유사하였다. 그러나 유집분석에서 등굴레계열과는 아주 먼 유연관계에 있는 것으로 나타났던 층층등굴레절은 아주 많은 형질의 변화가 수반되어 등굴레계열로 부터 분지하였다. 이것은 염색체수가 한 개씩 증가하여 순차적으로 종이 분화된다는 Han *et al.*(1998)의 견해와는 차이가 있지만 다른 많은 형질들의 변화로 인해서

기본염색체수의 변화가 급속하게 일어나는 것으로 사료된다. 그리고 충충둥굴레절내에서도 엽선의 모양, 엽선의 위치, 화서, 수술대 부착위치 등 여러 형질이 변하여, 유집분석에서 아주 유연관계가 먼 것으로 나타났던 충충갈고리둥굴레계열(*Ser. Sibirica*)이 분지되었다. 이러한 사실은 충충갈고리둥굴레계열을 충충둥굴레계열과 다른 계열로 취급한 견해들을 잘 지지해준다(Abramova, 1975, Jang, 1998). 이상의 결과에서 외부형태학적 주요 형질과 연계해 볼 때, 엽서에 따라 윤생군을 높은 수준의 계급으로 분리할 수 있고 포의 존재유무나 소질 역시 속내의 분류계급을 설정할 수 있는 기준이 되고 기본염색체수는 이를 뒷받침할 수 있는 충분한 증거가 될 수 있음을 보여주었다. 본 연구의 결과는 속 전체의 형질분화방향을 제시해주고, 속내분류군들의 분지형태를 나타내 주었다.

사 사

이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비(과제번호 : 01-D-0449)에 의하여 연구되었음.

인 용 문 헌

- Abramova, L. I. 1975. On the taxonomical structure of the genus *Polygonatum* Mill. Bot. Zhurn. (Moscow & Leningrad) 60: 490-497. (in Russian with English summary).
- Baker, J. G. 1875. *Polygonatum*. Revision of the Species and Genera of Asparagaceae. Journ. Linn. Soc. Lond. 14: 552-561. pl. 17-20.
- Chung, T. H. 1957. Korean Flora II. Pp. 947-951. Schinzisa, Seoul. (in Korean)
- Dahlgren, R. M. T. and H. T. Clifford. 1982. The monocotyledon: A comparative study. Academic Press, New York. 378 Pp.
- Dahlgren, R. M. T., Clifford, H. T. and Yeo, P. F. 1985. The Families of the Monocotyledons. 520 Pp. Springer-Verlag. Berlin.
- Franchet, A. and L. Savatier. 1878. Enumeratio Plantarum Jap. vol. 2: 54-55, 524. 789. F. Savy, Bibliopolam, Paris.
- Goldberg, A. 1986. Classification, Evolution, and Phylogeny of the Families of Dicotyledons. Smithsonian Institution Press, Washington. Pp. 24-26.
- Han, M. K., C. G. Jang, B. U. Oh and Y. S. Kim. 1998. A cytotaxonomic study of genus *Polygonatum* in Korea. Kor. J. Plant Tax. 28: 187-208. (in Korean)
- Jang, C. G. 1998. A systematic study of the genus *Polygonatum* (Liliaceae): with a special reference to Korean species. Ph. D. dissertation, Korea University

- Seoul. Pp. 458 (in Korean with English abstract).
- Jang, C. G. and Y. S. Kim. 1998. Relationship of the Korean *Polygonatum* (Liliaceae) using the RAPDs analysis. Kor. J. Plant Tax. 28: 371-384 (in Korean)
- Komarov, V. L. 1935. *Polygonatum* (Tourn.) Adans. In Komarov, V.L. (ed.) Flora URSS. Vol. 4: 456-467. Leningrad:Academiae Scientiarum URSS.
- Lee, T. B. 1979. Illustrated Flora of Korea. Hyangmoonsa, Seoul. Pp. 213-214. (in Korean)
- Lee, W. T. 1996. Lineamenta Florae Koreae. Academy Press, Seoul. Pp. 1271-1276. (in Korean)
- Nakai, T. 1909. Flora Koreana. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo 26: 246-249.
- Palibin, J. 1901. Conspectus Florae Koreae III. Acta Hort. Petrop. 19: 103-105.
- Satake, Y. 1942. Fragmentary news from the Herbarium of the Tokyo Science Museum (4). *Polygonatum involucreatum* Maxim. and its allies. Journ. Jap. Bot. 18: 29-38. (in Japanese)
- Takhtajan, A. 1991. Evolutionary trends in flowering plant. Columbia University Press. New York. Pp. 241.
- Tamura, M. N. 1990. Biosystematic studies on the genus *Polygonatum* (Liliaceae) I. Karyotype analysis of species indigenous to Japan and its adjacent regions. Cytologia 55: 443-466.
- Tamura, M. N. 1993. Biosystematic studies on the genus *Polygonatum* (Liliaceae) III. Morphology of staminal filaments and karyology of eleven European species. Bot. Jahrb. Syst. 115: 1-26.
- Tang, Y. C. 1978. *Polygonatum* Mill. In Wang, F.T. and T. Tang (eds.), Flora Reipublicae Popularis Sinicae, vol. 15, Pp. 52-81. 250. Science Press, Beijing. (in Chinese)

Cluster and cladistic analyses of the Korean *Polygonatum* (Liliaceae)

Jang, Chang-Gee* and Yun-Shik Kim

(Department of Biology, Korea University, Seoul 136-701, Korea)

The study of the taxonomic relationship and phylogeny for 16 taxa of Korean *Polygonatum* was conducted using cluster and cladistic analyses based on morphological, anatomical and cytological characters. The result of cluster analysis showed that the Korean species of the genus clustered into two groups such as verticillated phyllotaxis or alternated one. In addition, the taxa having alternated phyllotaxis were classified into another two groups dependent on the presence/absence of bract. Among bracteate taxa, *P. inflatum* and *P. acuminatifolium* were clearly distinguished from others. The cladistic analysis result suggested that this genus had been diverged into two clades. One clade include the taxa having bract, and the other without bract. The taxa with basic chromosome number of $x=10$ differentiated to the taxa having $x=11$ in the bracteate taxa. Furthermore, the result indicated that the taxa having 10 basic chromosomes ($x=10$) distinguished from those having $x=9$ in the ebracteate taxa. The result also demonstrated that the taxa having verticillated phyllotaxis were divided from the taxa with characteristics of alternated phyllotaxis, ebracteate and $x=10$ through changes of some characters.

Key words: *Polygonatum*, cluster analysis, cladistic analysis, phylogeny

*Corresponding author : Phone +82-2-953-1729, Fax +82-2-923-9522