

분계분석을 이용한 한국산 갈퀴덩굴속(*Galium* L.) 식물의 외부형태학적 연구

정금선 · 박재홍*

경북대학교 자연과학대학 생물학과

The morphological study of *Galium* L. (Rubiaceae) in Korea

Keum Seon Jeong and Jae-Hong Pak*

Department of Biology, College of Natural Sciences, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea
(Received 9 February 2012; Revised 23 February 2012; Accepted 7 March 2012)

적 요: 본 연구에서는 한국산 갈퀴덩굴속(*Galium* L.) 18 분류군에 대하여 줄기, 잎, 꽃, 열매 등의 외부형태학적 33개의 형질에 대하여 분계분석을 실시하였다. 외부형태학적 형질을 이용한 분계분석 결과 얻어진 계통도에서 갈퀴덩굴속은 외군과 분리되어 단계통을 형성하였으며, 크게 2개의 그룹으로 구별되었다. Sect. *Cymogaliae*과 Sect. *Leptogalium*의 분류군들은 다계통군으로 확인되었으며, 나머지 절은 단계통으로 확인되었다. 한국산 갈퀴덩굴속의 속내 분류에서는 줄기의 형태와 화피편의 수, 윤생엽의 수 등은 절을 구별하는데 유용한 형질로 인식되었다. 특히, 화피편 정단이 굽어지거나 편평한 형태는 속내 절 분류에 중요한 형질로 인식되었다. 또한, 절내 분류군간의 구별에는 줄기의 털의 형태, 잎의 형태, 화피편의 색, 화서, 엽두의 모양, 열매 표피면의 털의 형태 등이 유용한 식별형질이였다. 기존의 분류 동정에 이용되었던 종자표면의 털의 형태는 속내 분류에 중요한 인식 형질이였으며 특히, 윤생엽의 수, 잎의 형태는 종 분류에 중요한 것으로 나타났다. 본 연구에서 측정된 33개의 형태 형질 중 31개의 형질은 한국산 갈퀴덩굴속 식물의 유연관계를 파악하고 절(section) 분류 및 종 분류에 유용한 것으로 확인되었다.

주요어: 갈퀴덩굴속, 형태형질, 분계분석

ABSTRACT: To clarify the morphological variations of *Galium*, its morphological characteristics were examined using maximum parsimony analysis. The key characteristics as well as the range of variation in each characteristic were investigated at the species level and were employed to elucidate the relationships between the taxa. This study confirmed that species belonging to genus *Galium* formed a monophyletic group and comprised two main clades. Sect. *Cymogaliae* and sect. *Leptogalium* are polyphyly groups, and other sections are monophyletic group. This study also suggests that the fruit hairs, the types of petal apexes, and the colors of the petals are the most valuable taxonomic characteristics for differentiating different sections. The numbers of the leaves and leaf shape provide useful taxonomic characteristics for the identification of different species.

Keywords: *Galium*, Morphological characters, Cladistic analysis

갈퀴덩굴속(*Galium* L. 1753)은 꼭두선이과 Rubioideae 아과에 속하며, 갈퀴덩굴속 식물들은 일년생 혹은 다년생 초본성으로 단생 혹은 군생한다. 본 속의 속하는 분류군들은 4장 이상의 윤생엽과 분과형의 열매, 화피편 수, 길게 갈라지는 화관의 형태 등을 특징으로 꼭두선이과의 다른 속과 구분된다(Pobedimova, 1958). 그러나, 근연속으로 알려진

선갈퀴속(*Asperula* L.)과는 비슷한 형질을 많이 공유하고 있어 분류학적 혼란을 초래하고 있다(Natali et al., 1995).

갈퀴덩굴속은 Linne (1753)에 의해 처음으로 기재된 이후, 지금까지 약 650여종의 분류군이 보고 되어 있으나, 속내 분류체계에 대한 명확한 연구는 미비하다(Govaerts, 2006). Pobedimova (1958, 2000) 등은 갈퀴덩굴속 분류군들을 잎의 수와 열매 표면의 형질을 중심으로 11 section으로 구별하였다. 이후, Ehrendorfer et al. (2005)는 앞에 언급된

*Author for correspondence: jhpak@knu.ac.kr

형질 외, 줄기의 생육상태, 화서에 관한 형질 등을 이용하여 16 section으로 분류하였다. 하지만, 속내 분류군의 수가 매우 많고 중간 형태학적 형질이 불분명하여 명확한 section 구별에는 어려움이 있다(Schischkin, 2000). 일부 분류군에 대한 학자들의 견해 차이는 있지만, 국내의 분포하는 갈퀴덩굴속 식물들은 Pobedimova (1958, 2000)와 Ehrendorfer et al. (2005)의 분류 체계에 따라 7개의 section으로 분류된다. 본 연구에서는 Pobedimova의 분류체계를 따라 한국산 갈퀴덩굴속을 분류하였다. Sect. *Aparine* DC.는 4-6장의 운생엽과 중자 표면이 갈고리형의 가시를 가지며 덩굴성의 특징을 가진다. Sect. *Aparinoides* Jord.는 화관이 3개 혹은 4개로 갈라지며 무모의 열매를 가진다. Sect. *Cymogaliae* Pobed.은 4장의 운생엽을 가지고, 열매 표면이 돌기형 혹은 갈고리형의 가시가 밀생한다. Sect. *Depauperata* Pobed.은 4-6장의 운생엽을 가지고, 산화화서이며, 긴 화경이 특징이다. Sect. *Leptogalium* Lang은 원추화서이며 열매의 표면은 피침형이거나 갈고리형의 가시를 가지는 특징으로 구별된다. Sect. *Platygalia* DC.은 4장의 운생엽을 가지고, 원추화서이며 열매의 표면이 무모이거나 연모의 특징을 가진다(Pobedimova, 2000). Sect. *Xanthogalia* DC.은 주로 직립하며 원추화서로 선형의 잎을 가지며, 열매의 표면은 무모이거나 연모로 덮여있으며, 전세계의 넓은 지역에 분포한다.

한국산 갈퀴덩굴속은 Nakai (1916)에 의해 갈퀴덩굴(*G. spurium* var. *echinospermon*), 긴잎갈퀴(*G. boreale*), 참갈퀴덩굴(*G. koreanum*)을 포함한 10종 4변종을 분류되었다. 그 후, Chung (1957)이 민둥갈퀴(*G. kinuta*)와 두메갈퀴(*G. paradoxum*), 애기솔나물(*G. pusillum*) 등을 추가하여 10종 7변종을 기재하였다. 또한 Lee (1979)는 15종 8변종 4품종을 보고하였으며, Lee (1996)는 국화갈퀴(*G. kikumugura*) 등을 새로이 인식하여 총 11종 7변종 1품종을 분류하였고, Lee (2004)는 13종 9변종 2품종으로 정리하는 등 학자에 따라 다소 견해 차이가 있다. 네잎갈퀴그룹의 분류군들은 산화화서, 중자표면의 돌기형 가시의 형질을 공유하며 Pobedimova (1958)에 의해 sect. *Cymogaliae* 분류되어 왔으나, Ehrendorfer 분류체계에서는 이들 분류군에 대한 분류학적 위치가 확립되어 있지 않다. 또한, 털둥근갈퀴는 Pobedimova의 분류체계에서는 sect. *Cymogaliae*로 분류하였으나, Ehrendorfer 분류체계에서는 4장의 동일한 크기의 운생엽과, 3맥 등의 특징으로 sect. *Platygalia*로 분류하였다. 본 속은 속내 인식형질의 불명확성, 지리적 변이, 중간 잡종 현상 등에 따른 해석 차이로 인해 종의 누락, 학명의 변경, 변종 및 품종의 추가와 누락 등으로 종의 인식과 분류학적 처리에 있어 차이를 보이며 분류학적으로 혼란을 초래하고 있다(Schischkin, 2000).

갈퀴덩굴속의 형태학적 형질에 대한 연구로는 중앙아시아 갈퀴덩굴속 중자 표면의 형질에 관해 Abdel Khalik et al. (2008)의 연구가 있으나, 한국산 갈퀴덩굴속의 형태학

적 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 한국산 갈퀴덩굴속 식물의 외부형태학적 형질을 재검토하고 형질의 분류학적 가치를 확인하며, 분계학적 분석을 이용한 종의 식별 등의 문제를 해결하고 분류군들 간의 유연관계를 밝히고자 한다.

재료 및 방법

실험 재료는 국내 표본관(KH, SNU, SKK, KWNU)과 국외표본관(TI, PE) 등 6개 표본관에 소장된 표본들과 2005년 3월부터 2009년 6월까지 개화기와 결실기를 중심으로 채집한 건조표본을 사용하였으며, 일부 식물재료는 경북대학교 생물학과 야장에 이식하여 재배한 생체재료를 사용하였다. 실험에 사용된 재료의 증거표본은 원기재문과 참고문헌(Nakai, 1911; Chung, 1957; Lee, 1979; Lee, 1996)을 이용하여 동정하였고 경북대학교 표본실(KNU)에 보관하였다. 본 연구에 사용된 재료와 채집지는 Table 1과 같다.

최소 3집단 이상의 성숙한 식물재료의 건조표본과 생체 재료의 영양기관과 생식기관의 형질을 측정하였으며, 주요 형질은 도해하거나 사진 촬영을 통하여 각 형질의 변이를 파악하였다.

각 분류군을 동정, 분류한 다음 주요 형태적 특징 및 주요 식별형질을 파악하여 33개 형질을 이용하여 분지분석을 실시하였다. 직접 측정된 잎의 길이, 나비, 열매의 직경 등의 형질은 완전히 성숙한 개체의 표본으로부터 측정하였고, 분지분석에 사용된 33개의 형질과 형질상태는 Table 2에 나타내었다. 분계분석을 위해 각 형질을 coding한 후, 작성한 data matrix는 Table 3에 나타내었다. 작성한 data matrix는 PAUP* 4.0b10 program (Swofford, 2003)을 이용하여 분석하였다. 전이단계를 추정할 수 없는 multistate character는 순서를 부여하지 않았고, 모든 형질에 대해서 가중치를 부여하지 않았다. Character State Distributions의 최적화는 MacClade 4.08를 이용하였다. 외부형태학적 형질에 사용한 용어는 Harris & Harris (2001)를 참고하였으며, 국문 용어는 Lee (1996)를 참고하였다.

결 과

1.1 형태학적 특징

가. 줄기(Stem)

줄기의 생육형태, 표면의 털의 형태, 마디의 털의 형태에 따라 다양하게 관찰되었다.

1) 생육형태

A. 덩굴성(Scandeny): 식물체의 지상부가 땅을 기며 성장하는 형태로 갈퀴덩굴, 가는네잎갈퀴, 큰잎갈퀴에서 관

Table 1. Materials and collection data of the Korean *Galium*.

Taxa	Common name	Collection site	Voucher specimen
Sect. Aparine DC.			
<i>G. spurium</i> var. <i>echinospermon</i> (Wallr.) Hayek	갈퀴덩굴	KB: Mt. Palgong JJ: Jocheon-eup	Jeong 108, 134
Sect. Aparinoides Jord.			
<i>G. trifidum</i> L.	가네네잎갈퀴	JJ: Jocheon-eup	Jeong 287
Sect. Cymogaliae Pobed			
<i>G. gracilens</i> (A.Gray) Makino	좁네잎갈퀴	JJ: Yeon-dong JN: Mt. Bongdo	Jeong 142, 148, 380
<i>G. koreanum</i> Nakai	참갈퀴덩굴	KB: Kyungsan-si	Jeong 387-390
<i>G. linearifolium</i> Turcz.	실갈퀴		6785(TI)
<i>G. paradoxum</i> Maxim	두메갈퀴	KW: Mt. Seorak : Mt. Odae JN: Mt. Jiri	Jeong 079, 321-323, 405
<i>G. pogonanthum</i> Franch. & Sav.	산갈퀴	KB: Mt. Juwang : Mt. Gaya JJ: Mt. Halla JN: Mt. Jiri	Jeong 176, 155, 143, 311-313
<i>G. trachyspermum</i> A.Gray	네잎갈퀴	KB: Mt. Palgong KN: Mt. Cheolma JJ: Mt. Halla	Jeong 177, 360-363, 145
<i>G. kamschaticum</i> Steller ex Roem. & Schult.	털둥근갈퀴	JJ: Mt. Halla	Jeong 058-066
Sect. Depauperata Pobed.			
<i>G. trifloriforme</i> Kom.	개선갈퀴	JJ: Mt. Halla KB: Is. Ulreung-do	Jeong 136, 151, 210-214
<i>G. japonicum</i> (Maxim.) Makino & Nakai	검은개선갈퀴	JJ: Mt. Halla KB: Is. Ulreung-do JN: Hamyang-gun JB: Jeongeup-si	Jeong 137, 139, 258, 411-413, 414-418
Sect. Leptogalium Lang			
<i>G. dahuricum</i> Turcz.	큰잎갈퀴	KB: Mt. Gaya KW: Mt. Taebaeg JN: Mt. Jiri	Jeong 062, 097, 191
<i>G. dahuricum</i> var. <i>tokyoense</i> (Makino) Cufod.	흰갈퀴	KK: Pocheon-gun	Jeong 202, 233-234
Sect. Platygalia DC.			
<i>G. boreale</i> L.	긴잎갈퀴	KW: Pyeongchang-gun	Jeong 049, 173, 302
<i>G. kinuta</i> Nakai & Hara	민둥갈퀴	KW: Pyeongchang-gun KB: Mt. Wolak	Jeong 056, 111, 286
Sect. Xanthogalia DC.			
<i>G. verum</i> var. <i>asiaticum</i> Nakai	솔나물	KB: Mt. Bohyeon KN: Busan Mt. Jang KW: Mt. Seorak	Jeong 025, 123, 298
<i>G. verum</i> var. <i>trachycarpum</i> for. <i>nikkoense</i> (Nakai) Ohwi	흰솔나물	KN: Is. Yeonjado	Jeong 178
<i>G. verum</i> var. <i>asiaticum</i> for. <i>pusillum</i> (Nakai) M.Park	애기솔나물	JJ: Mt. Halla	Jeong 121, 322, 327

KB: Kyeongsangbuk-do, KN : Kyeongsangnam-do, KW : Kangwon-do, JN: Jeollanam-do, JB: Jeollabuk-do, JJ : Jeju-do

Table 2. Character analyses of *Galium* and outgroup.

1. Scandeny (0), erect (1), scandeny or erect (2)
2. Stem branched (0), simple (1)
3. Stem length over 60 cm (0), 35-20 cm (1), 20-10 cm (2), less than 10 cm (3)
4. Stem hair strigillose (0), glabrous (1), pubescence (2), muricate (3), glabrous or pubescence (4)
5. Stem node hair is strigillose(0), glabrous (1), pubescence (2)
6. Leaf is 4 (0), 4-6 (1), 6 (2), more than 6 (3)
7. Leaf type cordate (0), ovate (1), elliptic (2), oblanceolate (3), lanceolate (4), oblong (5), round (6), liner (7)
8. Leaf apex type acute (0), acuminate (1), mucronate (2), emarginated (3)
9. Leaf base type cordate (0), aequilateral (1), rounded (2)
10. Vein is 5 (0), 3 (1), 1 (2)
11. Leaf's wide is more than 15 mm (0), 10-15 mm (1), 5-10 mm (2), less than 10 mm (3)
12. Leaf's length over 40 mm (0), 30-40 mm (1), 30-20 mm (2), 10-20 mm (3), less than 10 mm (4)
13. Leaf's upper surface hairs is strigillose (0), glabrous (1), pubescence (2), muricate (3)
14. Leaf's upper vein hairs is strigillose (0), glabrous (1), pubescence (2), muricate (3)
15. Leaf's margin hairs is strigillose (0), glabrous (1), pubescence (2)
16. Leaf's lower surface hairs is strigillose (0), glabrous (1), pubescence (2), muricate (3)
17. Leaf's lower vein hairs is strigillose (0), glabrous (1), pubescence (2), muricate (3)
18. Petiolate (0), sessile (1)
19. Leaf's margin type revolute (0), entire (1)
20. Florescence type panicle (0), cyme (1), dichasium (2), panicle or cyme (3)
21. Florescence terminal (0), terminal/axillary (1)
22. Peduncle's hair is strigillose (0), glabrous (1), pubescence (2), muricate (3)
23. Flower color is yellow green (0), white (1), yellow (2)
24. Flower's wide is more than 4 mm (0), 2-4 mm (1), 1-2 mm (2)
25. Petal is 5 (0), 4 (1), 3 (2)
26. Petal apex type acute (0), acuminate (1)
27. Petal apex is flat (0), cocked (1)
28. Perianth type campanulat (0), rotate (1), shortly funnellform (2)
29. Fruit is berry (0), nutlet (1)
30. Fruit type oblong (0), round (1)
31. Fruit glabrous (0), with spreading hooked hair (1), with punctuate hair (2), pubescence (3)
32. Fruit's wide is over 3 mm (0), 2.5-3 mm (1), 1.5-2.5 mm (2), 0.7-1.5 mm (3) less 0.7 mm(4)
33. Chromosome $x=11$ (0), $x=12$ (1)

찰되었다.

B. 직립성(Erect): 식물체의 지상부가 직립하여 성장하는 것으로 좁네잎갈퀴, 참갈퀴덩굴, 두메갈퀴, 산갈퀴, 네잎갈퀴, 털둥근갈퀴, 흰갈퀴, 개선갈퀴, 검은개선갈퀴, 긴잎갈퀴, 민둥갈퀴, 솔나물, 흰솔나물, 애기솔나물에서 확인되었다.

2) 털의 형태(Stem hair)

털의 형태의 따라 3가지 유형으로 구분되었다(Fig. 3).

A. 강모형(Strigillose): 줄기의 아래로 향한 갈고리 같은

가시로 갈퀴덩굴, 가는네잎갈퀴, 산갈퀴, 개선갈퀴, 큰잎갈퀴, 흰갈퀴에서 확인되었다.

B. 무모(Glabrous): 줄기의 가시나 연모 등의 털이 없는 상태로 좁네잎갈퀴, 네잎갈퀴, 두메갈퀴, 털둥근갈퀴, 검은개선갈퀴, 긴잎갈퀴, 민둥갈퀴, 애기솔나물 등에서 관찰되었다.

C. 연모(Pubescence): 줄기 전체의 짧고 부드러운 털이 밀생하는 털의 형태로 네잎갈퀴, 흰솔나물, 솔나물에서 관찰되며, 종종 긴잎갈퀴와 민둥갈퀴의 일부 개체에서도 확인된다.

Table 3. Data matrix of 18 *Galium* species and one *Rubia* outgroup species.

Taxa	Characters																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	3	3	3								
<i>Rubia akane</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
<i>G. spurium</i> var. <i>echinospermon</i>	1	0	1	0	0	3	5	2	1	2	3	2	3	0	0	0	0	1	0	2	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
<i>G. trifidum</i>	0	0	1	0	0	0	3	3	1	2	3	2	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	1	1	2	0	0	2	1	1	0	2	1	
<i>G. gracilens</i>	1	0	3	1	1	0	2	0	1	2	3	4	2	2	2	2	2	1	0	2	1	0	0	2	1	1	1	1	1	0	2	3	0	
<i>G. koreana</i>	1	0	2	1	1	0	1	0	2	2	2	3	1	3	1	2	2	1	0	2	1	1	0	2	1	1	1	1	1	0	2	3	0	
<i>G. kamschaticum</i>	1	1	3	1	0	0	6	2	1	2	2	3	0	0	1	1	0	1	0	1	0	3	1	1	1	0	0	2	1	1	1	0	0	
<i>G. linearifolium</i>	1	0	1	2	1	0	1	0	2	2	2	4	3	3	1	2	2	1	0	2	0	1	0	2	1	1	1	1	1	0	2	3	0	
<i>G. paradoxum</i>	1	1	2	3	1	0	4	0	2	2	1	3	0	3	0	0	0	0	0	1	1	3	1	2	1	0	0	1	1	1	1	0	0	
<i>G. pogonanthum</i>	1	0	2	3	0	0	7	2	1	2	3	2	0	1	0	3	0	1	0	2	1	3	0	2	1	1	1	1	1	0	2	3	0	
<i>G. trachyspernum</i>	1	0	1	4	2	0	1	0	2	2	2	0	2	3	2	2	2	1	0	2	0	2	0	2	1	1	1	1	1	0	2	3	?	
<i>G. japonicum</i>	2	0	2	1	0	2	1	2	1	2	1	1	3	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	1	1	1	0	0
<i>G. trifloriforme</i>	2	0	2	3	0	2	5	2	1	2	1	1	3	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	2	1	1	1	0	0	
<i>G. dahuricum</i>	0	0	1	0	0	1	3	2	1	2	1	2	0	0	0	0	0	1	1	2	1	0	0	2	1	1	1	1	1	0	1	1	1	
<i>G. dahuricum</i> var. <i>tokyoense</i>	1	0	1	0	0	2	5	3	1	2	2	2	0	0	0	3	0	1	1	2	1	0	1	2	1	0	0	1	1	0	1	1	0	
<i>G. boreale</i>	1	1	1	4	2	0	2	0	1	1	1	0	1	2	2	2	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	0	2	1	0	0	3	1	0
<i>G. kinuta</i>	1	1	1	4	2	0	4	1	1	1	0	0	1	2	2	2	0	1	0	0	0	2	1	1	1	0	0	2	1	0	0	1	0	
<i>G. verum</i> var. <i>asiaticum</i>	1	1	0	4	2	3	7	0	1	2	3	1	1	3	1	3	3	1	1	0	1	2	2	1	1	1	0	1	1	1	0	2	0	
<i>G. verum</i> var. <i>asiaticum</i> for. <i>nikkoense</i>	1	1	0	2	2	3	7	0	1	2	3	1	1	3	1	3	3	1	1	0	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	0	2	0	
<i>G. verum</i> var. <i>asiaticum</i> for. <i>pusillum</i>	1	1	3	1	1	3	7	0	1	2	3	4	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	1	1	1	0	1	1	1	0	2	0	

나. 잎(leaf)

엽신, 엽두의 형태에 따라 다양하게 관찰되며, 엽맥의 수에 따라 분류된다.

1) 윤생엽 수

갈퀴덩굴속 식물의 잎은 탁엽이 본엽처럼 발달하여 윤생엽처럼 보이며 잎 수에 따라 3가지 유형으로 구분된다 (Fig. 4).

A. 4장 윤생엽: *Aparinoides*절, *Cymogaliae*절, *Platygalia* 절의 분류군에서 확인되었다.

B. 6장 윤생엽: *Depauperata*절, *Leptogalium*절의 분류군에서 관찰되었다.

C. 6장 이상의 윤생엽: *Aparine*절, *Xanthogalia*절의 분류군에서 관찰되었다.

2) 엽신

엽신은 분류군에 따라 모양과 크기가 상이하지만 같은 분류군 내에서도 많은 변이를 가지며 5가지 유형으로 구분된다(Fig. 5).

A. 난형(Ovate): 잎의 가장 넓은 부분이 엽기에서 2/5되는 것으로 참갈퀴덩굴, 네잎갈퀴, 검은개선갈퀴에서 확인되었다.

B. 타원형(Elliptic): 잎의 가장 넓은 부위가 폭의 2배가 되는 길고 둥근 모양의 형태로 좁네잎갈퀴와 긴잎갈퀴에서 관찰되었다.

C. 도피침형(Oblanceolate): 거꾸로 된 피침형으로 잎의 아래쪽이 좁아지는 형태로 가는네잎갈퀴, 큰잎갈퀴 등의 분류군에서 확인되었다.

D. 피침형(Lanceolate): 창모양으로 끝으로 갈수록 뾰족해지는 잎의 형태로 두메갈퀴, 민둥갈퀴에서 관찰되었다.

E. 장타원형(Oblong): 잎 길이의 1/3되는 곳의 중간이 잎의 가장 넓은 곳인 형태로 갈퀴덩굴, 개선갈퀴, 흰갈퀴에서 관찰되었다.

F. 원형(Roundish): 길이와 폭의 비가 1:1인 것으로 거의 원형의 가까운 형태로 털둥근갈퀴에서 관찰되었다.

G. 선형(Linear): 길고 좁은 형태로 실갈퀴, 산갈퀴 그리고, *Xanthogalia*절의 분류군에서 관찰되었다.

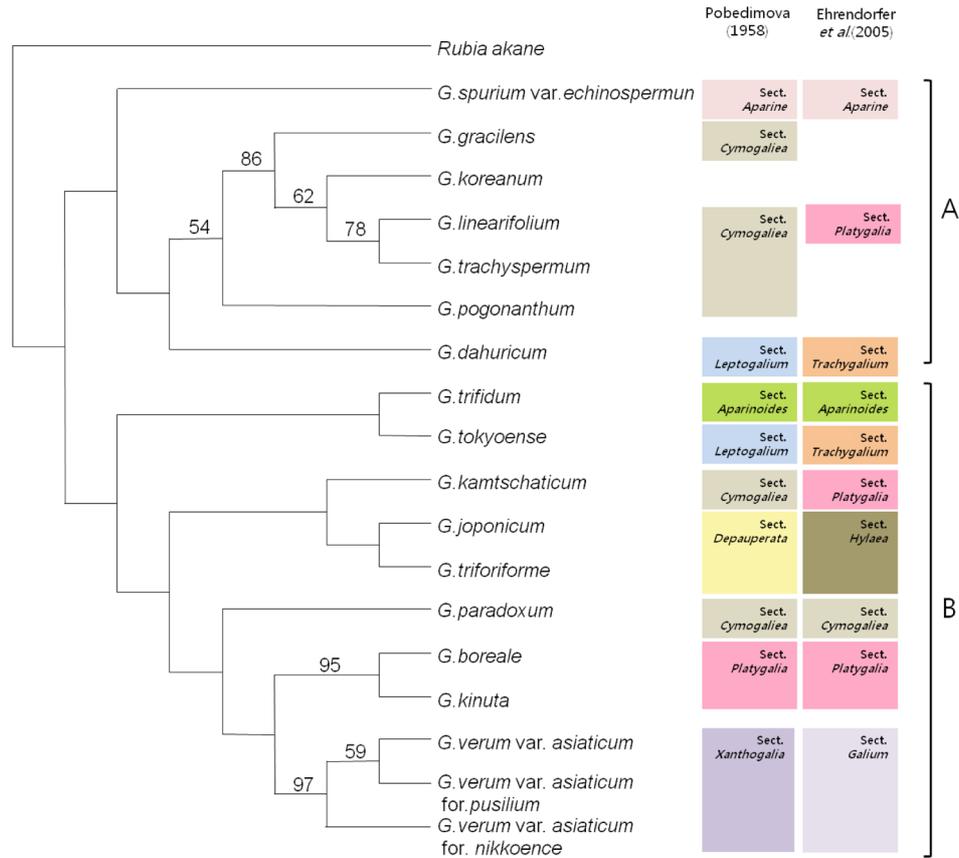


Fig. 1. A strict consensus tree of one of the most parsimony tree resulting from morphological data set and classification of *Galium*.

3) 엽두

엽두의 형태에 따라 4가지로 구별된다(Fig. 6).

A. 예두(Acute): 교각이 45°-90° 사이인 것; 좁네잎갈퀴, 두메갈퀴, 산갈퀴, 검은개선갈퀴, 긴잎갈퀴.

B. 점첨두형(Acuminata): 교각이 45° 이하로 급격히 좁아지는 형태로 민둥갈퀴에서 관찰되었다.

C. 미첨두형(Mucronate): 중앙맥이 돌기형태로 뾰족하게 발달한 것으로 갈퀴덩굴, 산갈퀴, 털둥근갈퀴, 개선갈퀴, 큰잎갈퀴, 솔나물, 흰솔나물, 애기솔나물 등에서 관찰되었다.

D. 요두형(Emarginated): 일차맥의 분지점이 갈라져 있는 형태로 가는네잎갈퀴, 흰갈퀴 등에서 확인되었다.

4) 엽맥

엽맥의 수에 따라 2가지 형태로 나뉜다.

A. 3맥(three-veins): 긴잎갈퀴, 민둥갈퀴에서 확인되었다.

B. 1맥(one-vein): 3맥을 가지는 두 분류군을 제외한 모든 분류군에서 관찰되었다.

다. 화서 (Inflorescence)

화서는 형태에 따라 2가지 유형으로 구분된다(Fig. 7).

1) 원추화서(Paniculiform): 소화경이 분지해서 전체적으로 원통형의 화서형이다.

A. 큰잎갈퀴형(dahuricum type): 갈퀴덩굴, 가는네잎갈퀴, 큰잎갈퀴, 흰갈퀴 등의 분류군에서 확인되었다.

B. 솔나물형(verum type): 긴잎갈퀴, 민둥갈퀴, 솔나물, 흰솔나물, 애기솔나물에서 확인되었다.

2) 취산화서(Cyme): 화축 끝에 꽃이 핀 후 한쪽은 퇴화하고, 뒤이어 주위 꽃들이 피는 화서이다.

A. 두메갈퀴형(paradoxum type): 두메갈퀴, 털둥근갈퀴 등에서 관찰되었다.

B. 산갈퀴형(pogonanthum type): 좁네잎갈퀴, 참갈퀴, 네잎갈퀴, 산갈퀴 등에서 관찰되었다.

C. 개선갈퀴형(trifloriforme type): 개선갈퀴, 검은개선갈퀴 등에서 관찰되었다.

라. 꽃

화피편의 색, 화피편의 수, 화피정단의 형태 등에 따라 구별된다.

1) 화피편의 색

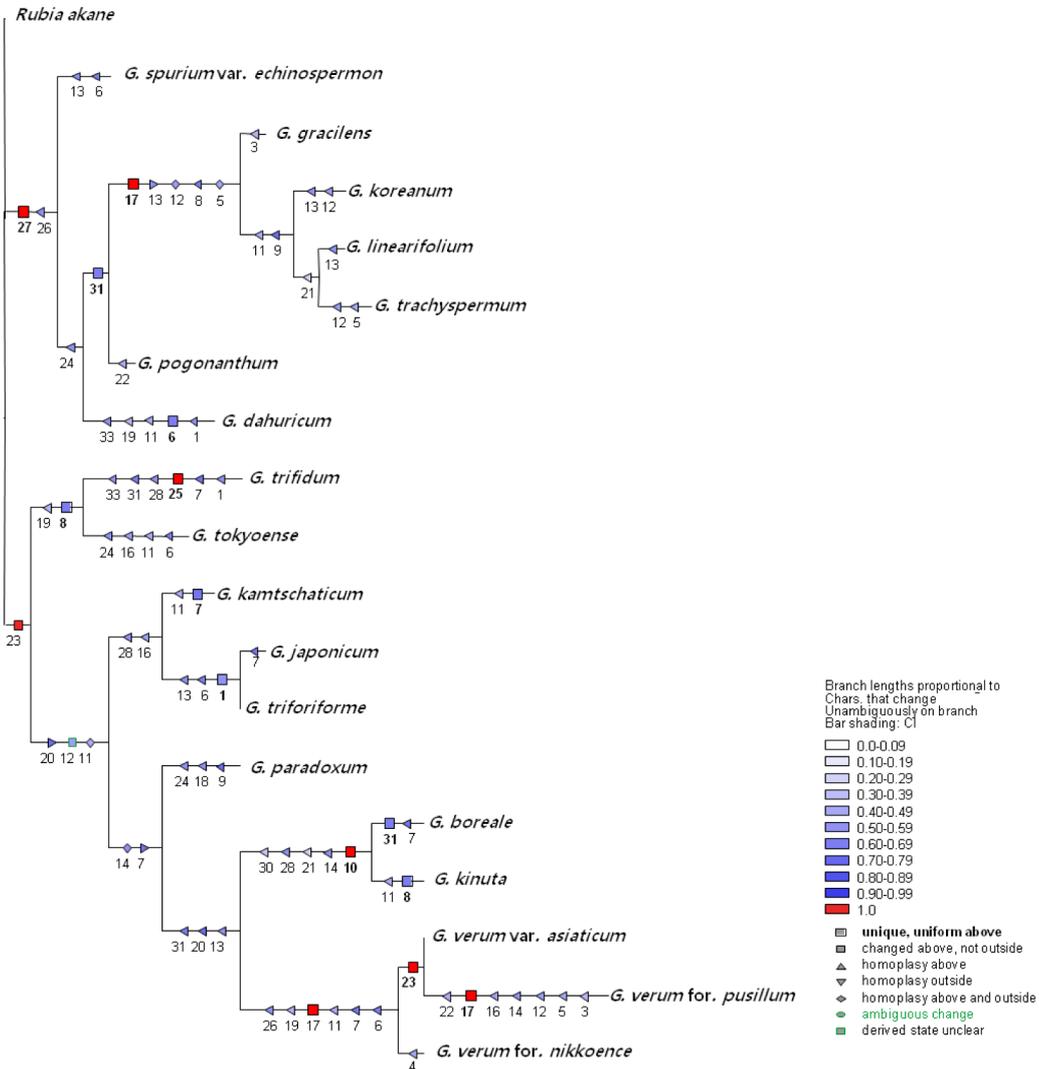


Fig. 2. Optimization of morphological characters on a parsimonious tree.

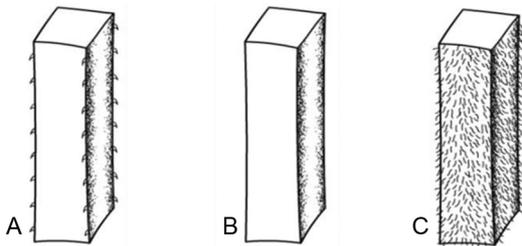


Fig. 3. Type of stem hair in Korean *Galium*. A. Strigillose type; B. Glabrous type; C. Pubescence type

화피편의 색에 따라 3가지 유형으로 구분된다.

A. 연두색(Yellow-green): 갈퀴덩굴, 좁네잎갈퀴, 참갈퀴덩굴, 산갈퀴, 네잎갈퀴, 큰잎갈퀴등의 분류군에서 관찰되었다.

B. 흰색(White): 가는네잎갈퀴, 두메갈퀴, 털둥근갈퀴,

개선갈퀴, 검은개선갈퀴, 흰갈퀴, 긴잎갈퀴, 민둥갈퀴, 흰솔나물등의 분류군에서 확인되었다.

C. 노란색(Yellow): 솔나물에서 관찰되었다.

2) 화피편의 수

화피편의 수에 따라 2가지 유형으로 나뉜다.

A. 3수성(corolla 3): *Aparine*절.

B. 4 수성(corolla 4): 나머지 분류군.

3) 화피편 정단의 형태

정단의 모양에 따라 2가지 형태로 구별된다(Fig. 8).

A. 편평한 형(Flat); 화피편의 끝의 모양이 예두형으로서 굽어지지 않은 형으로 가는네잎갈퀴, 두메갈퀴, 털둥근갈퀴, 개선갈퀴, 검은개선갈퀴, 흰갈퀴, 긴잎갈퀴, 민둥갈퀴, 솔나물, 흰솔나물, 애기솔나물 등에서 관찰되었다.

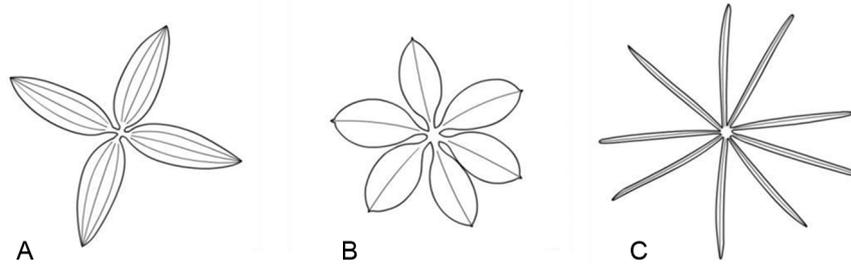


Fig. 4. Leaf number of in Korean *Galium*. A. Verticillate of 4 leaves; B. Verticillate of 6 leaves; C. Verticillate of 6 leaves more

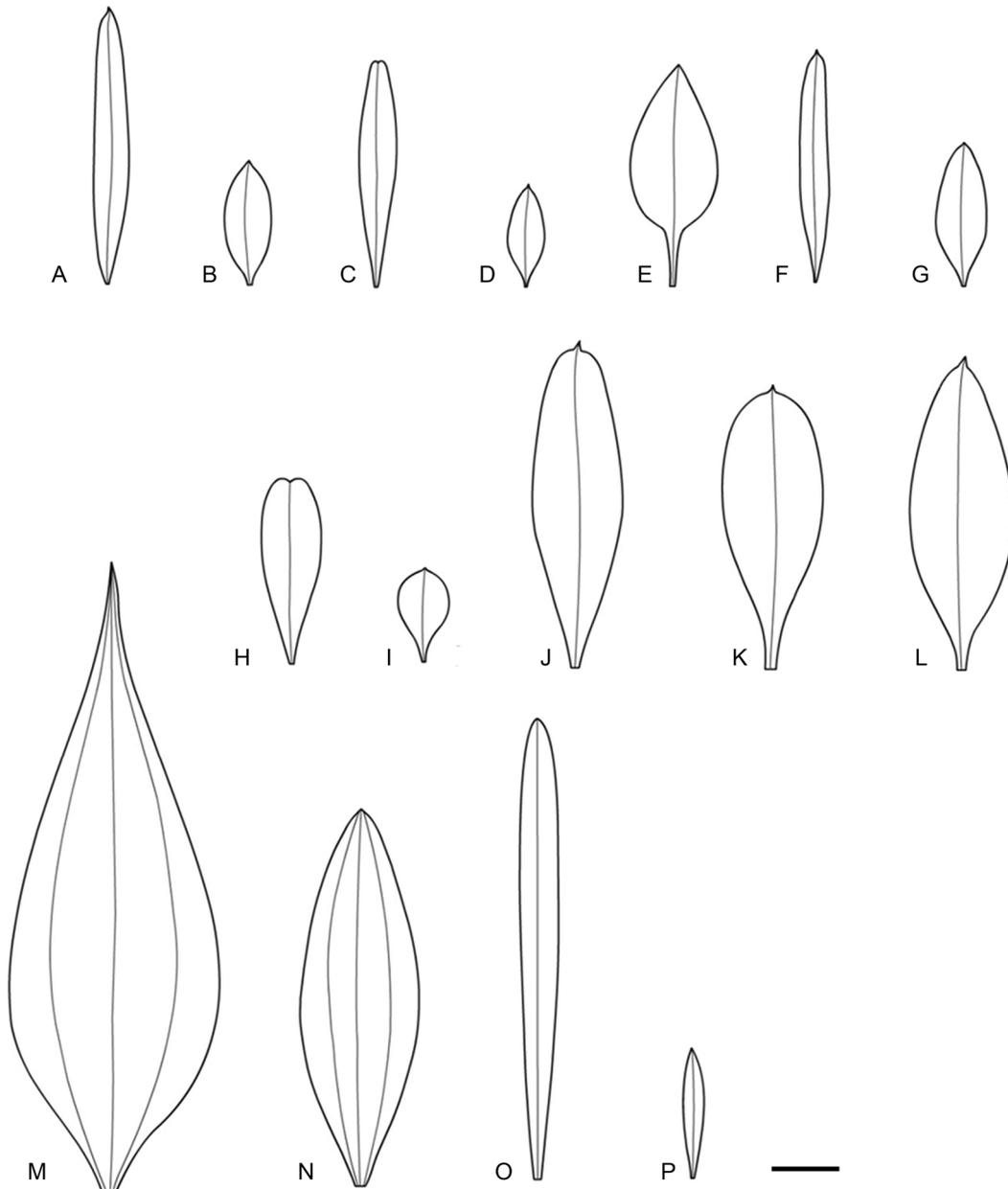


Fig. 5. Leaf shapes of in Korean *Galium*. A. *G. spurium* var. *echinospermon*; B. *G. trifidum*; C. *G. trachyspermum*; D. *G. gracilens*; E. *G. paradoxum*; F. *G. pogonanthum*; G. *G. koreanum*; H. *G. tokyoense*; I. *G. kamtschaticum*; J. *G. trifloriforme*; K. *G. japonicum*; L. *G. dahuricum*; M. *G. kinuta*; N. *G. boreale*; O. *G. verum* var. *asiaticum*; P. *G. verum* var. *asiaticum* for. *pusillum*; Bar 5mm.

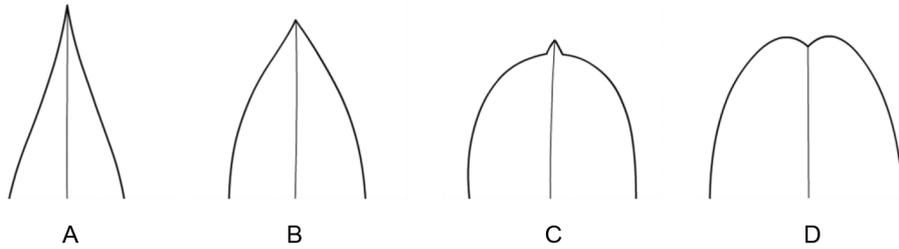


Fig. 6. Leaf apex of in Korean *Galium*. A. Acuminate; B. Acute; C. Mucronate; D. Emarginated

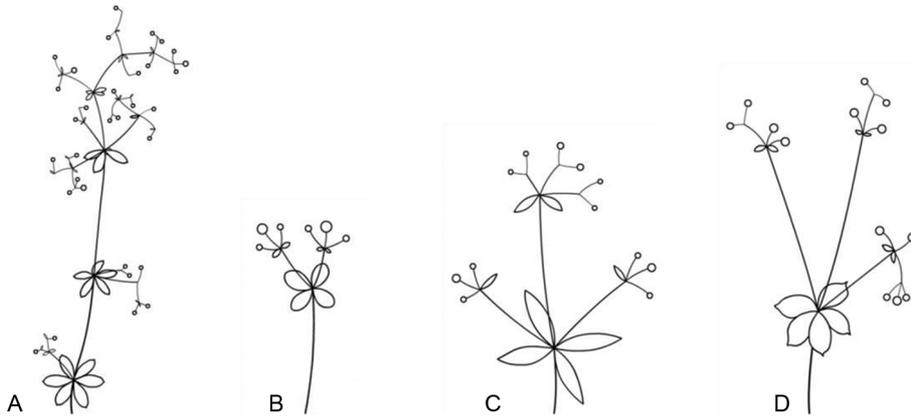


Fig. 7. Inflorescence types of the Korean *Galium*. A. dahuricum type; B. paradoxum type; C. pogonanthum type; D. trifloriforme type

B. 굽어진 형(Cocked): 화피편의 정단부분이 미첨두형이며 위를 향해 90°로 굽어진 형태로 갈퀴덩굴, 참갈퀴덩굴, 쯤네잎갈퀴, 산갈퀴, 네잎갈퀴, 큰잎갈퀴 등의 분류군에서 관찰되었다.

마. 열매

갈퀴덩굴속 식물의 열매의 형태는 모두 분과형이며, 열매 표면의 털의 형태는 속내 분류에 중요한 인식형질이다.

1) 털의 형태

열매의 표면에 털에 형태에 따라 4가지 형태로 구별된다(Fig. 9).

A. 갈고리형가시(Hooked like hair): 종자 표면에 끝이 굽은 갈고리형의 긴 가시가 밀생하는 형태로 갈퀴덩굴, 두메갈퀴, 털둥근갈퀴, 개선갈퀴, 검은개선갈퀴, 큰잎갈퀴 등에서 관찰되었다.

B. 돌기형가시(Punctuate hair): 가시 같은 작고 굽은 가시들이 표면에 밀생하는 형태로 쯤네잎갈퀴, 참갈퀴덩굴, 산갈퀴, 네잎갈퀴, 실갈퀴 등에서 관찰되었다.

C. 연모(Pubescence): 짧고 가는 부드러운 털이 덩성하게 분포하는 형으로 긴잎갈퀴에서 확인된다.

D. 무모(Glabrous): 표면이 매끈하며 돌기, 털 등의 2차 구조가 없으며, 가는네잎갈퀴, 민둥갈퀴, 솔나물, 흰솔나물, 애기솔나물 등에서 관찰된다.

1.2 분지분석

갈퀴덩굴속 식물 18분류군에 대하여 33개 형질의 data matrix (Table 3)의 분석결과 156 step의 tree length를 갖는 6개의 most parsimony trees를 얻었다. 일치계수(CI)는 0.401, 보유계수(RI)는 0.462로 확인되었으며, 전체 33개 형질 중 31개의 형질은 계통학적으로 유효하였으며 화피의 수와 열매의 형태(건과 혹은 장과) 등 2개의 형질은 유효하지 않은 것으로 확인되었다. Pasimony analysis를 통해 얻어진 strict consensus tree를 Fig. 1에 나타내었으며, 50% 이상의 bootstrap value를 표시하였다.

외부형태학적 형질을 이용한 계통도에서 갈퀴덩굴속은 50% 미만의 낮은 bootstrap value로 외군과 분리되어 단계통을 형성하였으며, 크게 2개의 그룹(clade A, B)으로 구별되었다. 네잎갈퀴 그룹(산갈퀴, 참갈퀴덩굴, 실갈퀴, 네잎갈퀴, 쯤네잎갈퀴)은 86%의 높은 bootstrap value로 단계통군을 지지하였으며, 갈퀴덩굴 등과 50% 미만의 낮은 bootstrap value로 Clade A를 형성하였다. Clade B는 긴잎갈퀴와 민둥갈퀴는 95% bootstrap value로 높게 지지되었고, 솔나물, 흰솔나물, 애기솔나물의 세 분류군은 97%의 높은 bootstrap value로 지지되며 가까운 유연관계를 나타내었다.

형태형질을 바탕으로 나타난 parsimony tree로부터 형질의 변화를 추적하였다(Fig. 2). Clade A는 화피편정단 모양이 점첨두형이며, 위로 굽어지는 형질을 공유파생형질로

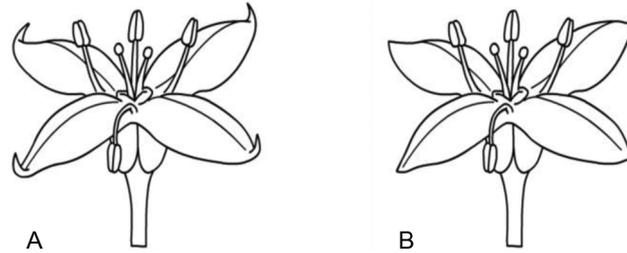


Fig. 8. The Flower apex types of the Korean *Galium*. A. Cooked type; B. Flat type

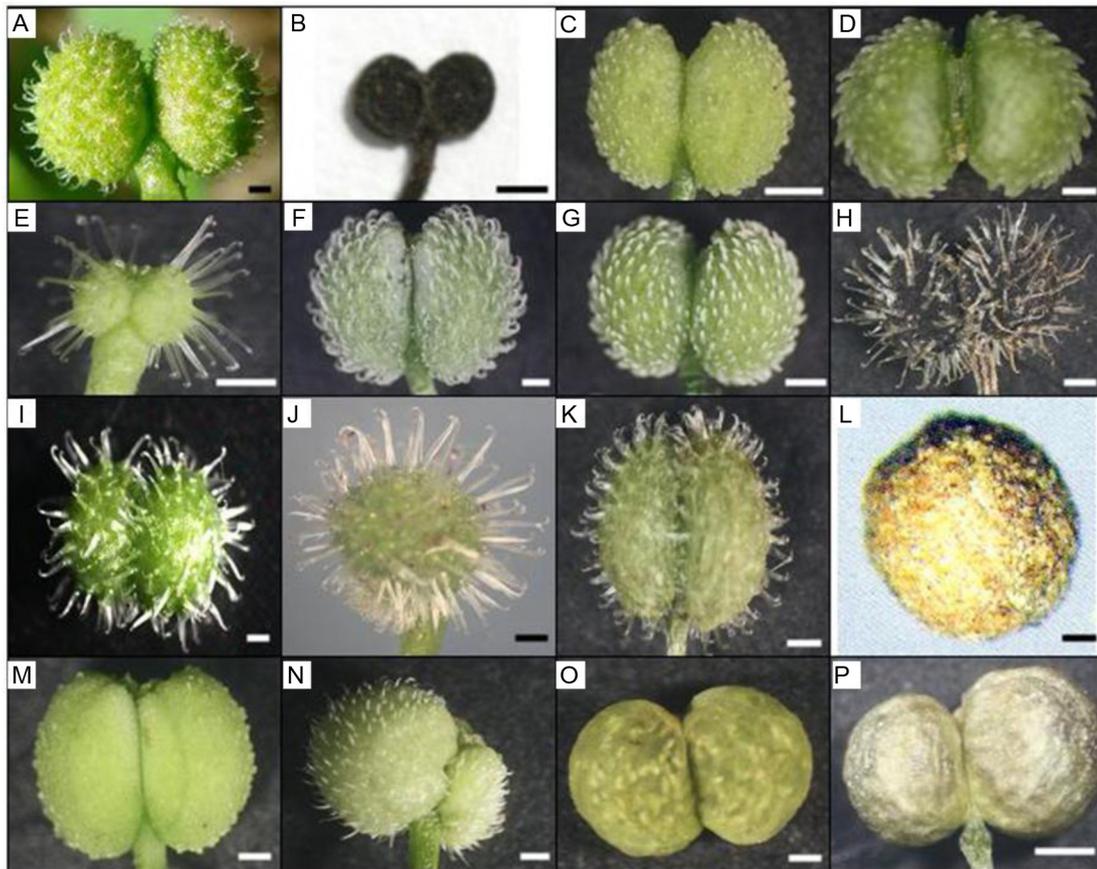


Fig. 9. Various type of Fruit in Korean *Galium*. A. *G. spurium* var. *echinospermon*; B. *G. trifidum*; C. *G. gracilens* D. *G. koreanum*; E. *G. paradoxum*; F. *G. pogonanthum*; G. *G. trachyspermum*; H. *G. kamtschaticum*; I. *G. trifloriforme*; J. *G. japonicum*; K. *G. dahuricum*; L. *G. kinuta*; M. *G. tokyoense*; N. *G. boreale*; O. *G. verum* var. *asiaticum*; P. *G. verum* var. *asiaticum* for. *pusillum* ; Bar 2 mm.

인식하였다. 갈퀴덩굴은 잎이 6장이며, 잎뒷면 표면의 돌기형의 털이 다른 분류군들과 구별되는 형질로 확인되었다. 큰잎갈퀴는 꽃의 직경이 1-2 mm인 형질을 네잎갈퀴 그룹의 분류군들과 공유하였다. 네잎갈퀴 그룹은 열매표면의 돌기형의 가시가 덮혀 있는 형질을 공유하였으며, 산갈퀴는 화경에 산재하는 가시를 파생형질로 인식하여 다른 분류군들과는 분리되었다. 산갈퀴를 제외한 네잎갈퀴 그룹은 잎 뒷맥 위에 연모의 형질을 고유파생형질(char. 17)로 인식하였고, 줄기와 잎의 관한 여러 형질(char. 5, 8, 12, 13)을 공유하였다.

Clade B는 화색이 노란색이거나 흰색인 형질(char. 23)을 공유파생형질로 단계통 그룹을 형성하였다. 가는네잎갈퀴에서 화피편이 3장으로 갈라지는 형질은 고유파생형질로 확인되었다. 개선갈퀴와 검은개선갈퀴는 줄기의 생육 형태, 6장의 잎, 잎표면의 돌기형의 가시를 가지는 형질들을 공유하였다. 또한, 두 분류군들은 털등근갈퀴와 잎과 화관형에 관한 형질(char. 16, 28)을 공유하였다. 솔나물 그룹(솔나물, 흰솔나물, 애기솔나물)은 잎의 수, 잎의 털의 형태, 잎 가장자리 형태, 화서(char. 6, 7, 11, 17, 19, 26) 등의 형질을 공유하며 강하게 유집되었다. 긴잎갈퀴와 민둥갈

귀는 잎맥이 3열하며, 원추화서, 화관의 형태(char. 10, 14, 21, 28, 30)형질들을 공유하면서 단계통을 형성하였고, 솔나물 그룹의 분류군들과 잎, 화서, 무모의 열매(char. 13, 20, 31)등의 형질로 가깝게 유집되었다. 두메갈퀴는 잎, 엽병, 꽃 직경에 관한 (char. 9, 18, 24)형질이 고유파생형질로 인식되었다.

고 찰

갈퀴덩굴속 식물의 줄기 형태는 기는줄기와 직립성의 두 가지 형태로 구별된다. 주로 습한 지역에서 자라는 가느다란 갈퀴, 큰잎갈퀴, 갈퀴덩굴 등은 기는줄기의 형태를 나타내고 긴잎갈퀴, 솔나물과 같이 바위틈이나 양지바른 곳에 생육하는 분류군은 직립성의 특성을 나타내었다. 줄기에 밀생하는 털의 형태는 갈고리형의 가시, 연모, 무모로 대별되었으며, sect. *Cymogaliae*의 네잎갈퀴그룹과 sect. *Depauperata*의 분류군 구별에는 유용한 형질로 인식되었다. 잎은 동일한 분류군내에서도 크기와 모양 등에 다양한 변이가 관찰되는 형질로 종의 분류동정시 많은 혼동이 있어 왔다. 잎의 수는 분류군의 식별에 중요한 형질이며, 본 속 식물에서도 절간 구별에 유용한 형질로 판단된다. Sect. *Aparinoides*와 sect. *Cymogaliae*, sect. *Platygalia*의 분류군들은 4장의 윤생엽을 가지고 있으며, sect. *Xanthogalia*의 솔나물과 애기솔나물 등은 6장 이상의 윤생엽을 가지고, 그 외 분류군들은 6장의 윤생엽을 가진다. 잎의 형태는 모두 단엽으로 크게 4가지 형태로 구별되었으며, sect. *Depauperata*에 속하는 개선갈퀴와 검은개선갈퀴 분류에 유용한 형질로 작용하였다. 또한 잎의 형태는 sect. *Cymogaliae*의 네잎갈퀴그룹 분류군들의 유연관계 파악에 중요한 형질이라 생각된다. 특히, 산갈퀴, 네잎갈퀴, 좁네잎갈퀴, 참갈퀴덩굴은 여러 외부형태학적 형질의 구별이 불분명하여 동정의 혼란이 많은 분류군이다. 본 연구결과, 이들 4개의 분류군은 식물체 전체의 크기, 잎의 길이와 잎의 형태 등의 형질에서 차이가 나는 것으로 확인되었으며, 이러한 형질의 차이는 sect. *Cymogaliae*의 네잎갈퀴그룹의 중간 구별에 중요한 분류 형질로 인식되었다. 엽두의 형태는 점첨두형, 예두형, 미첨두형, 요두형 등으로 크게 4가지 형태로 나뉘어졌다. 대부분의 분류군은 미첨두형의 형태를 나타내었다. 또한, 분류동정에 많은 혼동이 있었던 긴잎갈퀴와 민둥갈퀴는 각각 예두와 점첨두형으로 뚜렷하게 구별되는 엽두의 형태를 가지고 있어 두 분류들간 구별에 유용한 형질로 확인되었다. 화서는 크게 2가지 형태, 원추화서와 산형화서로 구별되었다. 주로 기는줄기 형태의 분류군들은 큰잎갈퀴형의 화서(원추화서형)로 확인되었고, 그외 분류군들은 주로 산형화서의 형태를 가지는 것으로 나타나, 화서의 관한 형질들은 갈퀴덩굴속내에서 중간 분류군을 구별하는데 유용한 형질로 판단된다. 본 연구에서 확인된 화피편 정단형의 형질은 절간 구별에

유용한 형질로 확인되었으며, pasimony analysis에서 그룹지어진 두 clade의 중요한 파생형질로 인식되었다(Fig. 8). 열매에 관한 형질은 본 속 식물간의 중요한 분류형질로 인식되어 왔다(Pobedimova, 1958). 갈퀴덩굴속 식물은 분과형의 열매 형태를 가지지만, 일부 종들의 경우 생육환경에 따라 하나의 열매만이 성숙하여 단과형인 것처럼 보이는 경우가 종종 있다. 종자표면의 털의 형태는 속내 분류에 중요한 인식 형질이었으며, 잎의 수, 잎의 형태는 중분류에도 중요한 분류 형질로 확인되었다. 또한, 화피편 정단의 굽어진 형태와 편평한 형태는 속내 절 분류에 중요한 형질로 인식되었다.

형태학적 형질에 의한 분계분석 결과, 한국산 갈퀴덩굴속은 외군과 분리되어 단계통군을 형성하였다. 본 연구결과, 한국산 갈퀴덩굴속의 형태학적 분류는 이전 학자들이 제시한 분류체계(Pobedimova, 1958; Ehrendorfer et al., 2005)와는 절(section)의 분류에서 다소 차이를 나타내었다. 이전 학자들이 같은 section으로 분류하였던 큰잎갈퀴와 흰갈퀴는 다분지하여 서로 다른 clade에 속하였으며, 이들 두 분류군은 형태학적으로 잎의 형태, 꽃 색, 종자 표면의 털의 형태 등에서도 뚜렷하게 구별되며, 염색체수 조사에서도 서로 다른 기본염색체수를 가지는 것으로 확인되었다. 이는 이들 두 분류군이 서로 독립적으로 분지하였을 가능성이 큰 것으로 판단된다. 또한, 네잎갈퀴그룹과 털등근갈퀴, 두메갈퀴는 다분지하여 먼 유연관계를 나타냈으며 이전 분류체계와 일치하지 않았다. 또한 Ehrendorfer et al. (2005)는 이들 분류군들 중 실갈퀴와 털등근갈퀴와 긴잎갈퀴그룹(긴잎갈퀴, 민둥갈퀴)를 sect. *Platygalia*로 인식하였으나, 본 연구결과에서는 모두 다분지하여 서로 다른 clade를 형성하였으며 서로 먼 유연관계가 확인되어(Fig. 1) 이전 학자들의 견해와 일치하지 않았다. 이 분류군들은 4장의 윤생엽을 공유하지만, 잎의 형태, 종자 표면의 털의 형태 등에서는 서로 다른 형질을 나타내고 있다.

한국산 갈퀴덩굴속 식물의 외부형태학적 분석결과 이전 학자들의 분류체계를 지지하는 반면, 일부 분류군들은 이전 분류체계를 지지하지 않았으며, sect. *Cymogaliae*과 sect. *Leptogalium*은 다계통으로 서로 먼 유연관계를 확인하였다. 이는 한국산 갈퀴덩굴속 분류군들은 종내 변이가 심하며, 다양한 형태학적 형질을 가지고 있기 때문인 것으로 생각된다. 또한 일부 잎의 크기, 털의 유무 등에 관한 형질, 갈라진 화피편의 수와 같은 형질들은 유전적으로 완전히 고정되지 않았거나 완전히 분화되지 않은 형질로 생각되며, 현재에도 형질 분화가 계속 진행중인 것으로 판단되어 속내 분류군 등에 대해 지속적인 연구가 필요하다.

인용문헌

Abdel, K., Abd, M. & Kordy, A. E. 2008. Fruit and seed morphol-

- ogy in *Galium* L. (Rubiaceae) and its importance for taxonomic identification. *Act. Bot. Croatica* 67:1-20.
- Chung, T. H. 1957. Korean flora. Vol. II. Shinjisa, Seoul. Pp. 611-620.
- Ehrendorfer, F., Schonbeck-Temesy, E., Puff, C. & Rechinger, W. 2005. Rubiaceae. Part 176 of: K. H. Rechinger, *Flora Iranica*. Verlag des Naturhistorischen Museums Wien, Vienna, Austria.
- Govaerts, R. (ed.). 2006. World checklist of selected plant families. In *Species 2000 & ITIS catalogue of life*: F. A. Bisby, Y.R. Roskov, M. A. Ruggiero, T. M. Orrell, L. E. Paglinawan, P. W. Brewer, N. Bailly, and J. van Hertum, (eds.). www.catalogueoflife.org/annualchecklist/2007/. Species 2000, Reading, U. K.
- Harris, J.G. and Harris, M. W. 2001. Plant identification terminology : An illustrated Glossary. Spring Lake.
- Lee, T. B. 1979. Illustrated flora of Korea. Hyangmun-sa, Seoul. Pp. 696-701 (in Korean).
- Lee, W. T. 1996. Lineamenta Florae Koreae. Academy Press, Seoul. Pp. 289-291 (in Korean).
- Lee, Y. N. 2004. Flora of Korea. Kyohaksa, Seoul. Pp. 642-649 (in Korean).
- Lee, Y. S. 1979. Remarks on chromosome numbers in Rubiaceae. *Korean J. Pl. Taxon.* 9: 57-66.
- Linne, C. 1753. *Species Plantarum*. Ed. 1. Stockholm.
- Nakai, T. 1911. *Flora Koreana* II. J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo. 29: 1-573.
- Nakai, T. 1916. Praecursores ad Floram sylvaticam Koreanam. VII. *Bot. Mag. (Tokyo)* 30: 224-225.
- Natali, A., Manen, J.F. & Ehrendorfer, F. 1995. Phylogeny of the Rubiaceae-Rubioideae, in particular the tribe Rubieae: Evidence from a non-coding chloroplast DNA sequence. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 82: 428-439.
- Pobedimova, E. G. 1958. *Galium* L. In *Flora of the URSS*, Vol. 23. Schischkin, B. K. (ed.). Academiae Scientiarum URSS. Mosqua. Pp. 345-457.
- Pobedimova, E.G. 2000. *Galium* L. In *Flora of the U.S.S.R.*, Vol. 23. B. K. Schischkin (ed.). Bishen Singh Mahendra Pal Singh, Dehra Dun. India and Koeltz Scientific Books, Koenigstein, Germany. Pp. 345-459
- Schischkin, B. K., (ed.). 2000. In *Flora of the U.S.S.R.*, Vol. 23. Bishen Singh MahendraPal Singh, Delhra Dunn, India and Koeltz Scientific Books, Koenigstein
- Swofford, D.L. 2003. PAUP*: Phylogenetic analysis using parsimony (and other method). Ver.4.0b10. Sinauer Associates, Sunderland, MA