

风毛菊属 6 种植物的核型分析

李双智, 何廷顺, 张大才*, 丁文谦

(西南林业大学 西南山地森林资源保育与利用省部共建教育部重点实验室, 昆明 650224)

摘要: 采用常规压片技术对分布于横断山区菊科(Compositae)风毛菊属(*Saussurea* DC.)的 6 种植物进行染色体数目和核型分析。结果表明: 尖苞雪莲(*S. polycolea* var. *acutisquama*)核型公式为: $2n=2x=32=20m+12sm$, 属 2B 型; 球花雪莲核(*S. globosa*)核型公式为: $2n=2x=34=16m+18sm$, 属 2B 型; 重齿风毛菊(*S. katochaete*)核型公式为: $2n=2x=32=8m+18sm+6st$, 属 3B 型; 柱茎风毛菊(*S. columnaris*)核型公式为: $2n=2x=32=24m+8sm$, 属 2B 型; 禾叶风毛菊(*S. graminea*)核型公式为: $2n=2x=28=8m+18sm+2st$, 属 3B 型; 长毛风毛菊(*S. hieracioides*)核型公式为: $2n=2x=32=12m+16sm+4st$, 属 2B 型。6 个种染色体中均未发现随体。其中尖苞雪莲和柱茎风毛菊染色体为首次报道。

关键词: 风毛菊属; 横断山区; 核型分析; 尖苞雪莲; 柱茎风毛菊

中图分类号: Q343.2⁺2; Q949.783.5

文献标志码: A

Karyotypes of Six Species of Genus *Saussurea* DC. in the Hengduan Mountains, Southwestern China

LI Shuangzhi, HE Tingshun, ZHANG Dacai*, DING Wenqian

(Key Laboratory for Forest Resources Conservation and Use in the Southwest Mountains of China, Ministry of Education, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: The Chromosome numbers and karyotypes of six species of *Saussurea* DC. in the Hengduan Mountains were analyzed with technology of the conventional squashing slides. The karyotype formulas and types were as follow: *S. polycolea* var. *acutisquama*, $2n=2x=32=20m+12sm$, karyotype belonged to stebbins 2B type; *S. globosa*, $2n=2x=34=16m+18sm$, karyotype belonged to stebbins 2B type; *S. katochaete*, $2n=2x=32=8m+18sm+6st$, karyotype belonged to stebbins 3B type; *S. columnaris*, $2n=2x=32=24m+8sm$, karyotype belonged to stebbins 2B type; *S. graminea*, $2n=2x=28=8m+18sm+2st$, karyotype belonged to stebbins 3B type; *S. hieracioides*, $2n=2x=32=12m+16sm+4st$, karyotype belongs to stebbins 2B type. No satellites have been found in these six species. The chromosome number of *S. polycolea* var. *acutisquama* and *S. columnaris* is reported for the first time.

Key words: *Saussurea* DC.; the Hengduan Mountains; karyotype analysis; *S. polycolea* var. *acutisquama*; *S. columnaris*

植物细胞分类学是利用细胞学资料研究植物的
变异规律, 试图探讨各类群间的亲缘关系及起源的

科学^[1]。细胞学的核型分析资料作为分类学的重要
证据^[2]。染色体数目核型的研究有助于探索植物系

收稿日期: 2013-07-15; 修改稿收到日期: 2013-10-29

基金项目: 国家自然科学基金(U1136601); 科技部科技基础性工作专项重点项目(2007FY110100)

作者简介: 李双智(1980—), 男, 在读硕士研究生, 助理实验师, 主要从事植物分类学研究。E-mail: Lishuangzhi1980@163.com

* 通信作者: 张大才, 副教授, 主要从事植物区系地理和生物多样性保护领域的研究工作。E-mail: dczhang24@163.com

统发育过程中属种之间的亲缘和进化关系,以及鉴定近缘植物的分类等级,对探讨植物区系起源和进化有重要的意义。现有研究表明,植物的染色体数目和核型并不是绝对不变的,当外界条件发生变化时,染色体的数目也会发生改变^[3-4]。

风毛菊属(*Saussurea* DC.)是北温带分布的一个大属,全世界约有 415 种,主要分布于亚洲、欧洲中部、东部、北部和北美洲西部,亚洲温带高山地区是该属物种多样性最丰富的区域,尤其是西伯利亚、亚洲中部喜马拉雅地区和青藏高原地区。中国分布有 289 种,其中特有 191 种。风毛菊属植物在横断山区获得了高度的分化和特化,共分布有 101 种,是该属植物多样性分布中心之一^[5-7]。

风毛菊属植物分布生境恶劣,物种分化剧烈,且特有种多,在种类鉴定和分类系统的建立等方面存在较大的困难与争议^[8-9]。有关该属植物的染色体数目和核型资料已有部分报道^[7,10-23],而分布于横断山区的种类仅少数有染色体报道^[7,10-11,24]。据已报道的风毛菊属 39 种植物的核型资料,染色体数目多样,2n=24、26、28、30、32、34、48。本实验分析了分布于横断山地区的 6 种风毛菊属植物的细胞学特征,补充和丰富风毛菊属植物的细胞学资料,其中尖苞雪莲(*S. polycolea* var. *acutisquama*)和柱茎风毛菊(*S. columnaris*)的细胞学研究为首次报道。

1 材料和方法

1.1 材 料

实验用 6 种风毛菊属植物瘦果(种子)采集于横断山地区,凭证标本存放于西南林业大学标本馆。具体采集信息见表 1。

1.2 方 法

将 6 种风毛菊植物瘦果(种子)置水中浸泡 12

h,然后在 25℃~28℃ 条件下培养,待根长出 1~1.5 cm 时,切取旺盛的根尖作为实验材料。用 0.002 mol/L 的 8-羟基喹啉和饱和对二氯苯等量混合液避光处理 1.5 h,然后移入卡诺氏固定液(乙醇 3 份,冰醋酸 1 份)中,固定 20~24 h 后,于 45℃ 恒温水浴锅中预热的 1 mol/L HCl 溶液中解离 30 min,蒸馏水清洗后用醋酸苯酚品红染液染色 3~4 min。常规压片、镜检,选择理想的分裂细胞进行观测。

按照第一届全国植物染色体学术讨论会约定的标准^[25],每种选择 30 个染色体分散良好的细胞进行染色体计数,并选择 5 个图象清晰、染色体分散好的细胞拍照,核型计算取 5 个细胞的平均值。测量染色体长臂(L)、短臂(S)长度,计算染色体臂比值、相对长度,其中臂比值=长臂/短臂,染色体相对长度=(染色体长度/染色体组总长度)×100%。染色体相对长度系数(I. R. L)按郭幸荣^[26]的方法,即 I. R. L.=染色体长度/全组染色体平均长度。核型分析参照经修订后的 Levan 系统^[27],按染色体总长度由长至短的顺序进行染色体的编号和排列。染色体核型分类按 Stebbins^[28]提出的原则,即根据核型中最长与最短染色体的比值和臂比值两项特征,用以区分核型对称和不对称的程度,其中染色体长度比=最长染色体/最短染色体。核型不对称系数(As. K%)按 Mano 的方法^[29],即:As. K(%)=(长臂总长/全组染色体总长)×100%

2 结果与分析

图 1 为 6 种风毛菊属植物染色体的模式照片(A)、核型图(B)和核型模式图(C);核型分析结果和染色体参数见表 2~3。

表 1 样品采集地信息及凭证标本
Table 1 The information of locality and voucher

采集号 No. of specimen	种名 Species	采集地 Locality	经度 Longitude	纬度 Latitude	海拔 Elevation/m	生境 Habitat
ZhangDC-07ZX-2278	尖苞雪莲 <i>S. polycolea</i> var. <i>acutisquama</i>	四川白玉 Baiyu, Sichuan	90°50'00.6"	30°50'04.4"	4 437	高山灌丛 Alpine shrub
ZhangDC-07ZX-2169	球花雪莲 <i>S. globosa</i>	四川稻城 Daocheng, Sichuan	100°11'15.9"	29°27'17.7"	4 039	高山灌丛 Alpine shrub
ZhangDC-07ZX-2274	重齿风毛菊 <i>S. katochaete</i>	四川白玉 Baiyu, Sichuan	90°50'00.6"	30°50'04.4"	4 437	高山灌丛 Alpine shrub
ZhangDC-07ZX-2117	柱茎风毛菊 <i>S. columnaris</i>	云南香格里拉 Shangri-La, Yunnan	99°49'5.12"	28°34'38.5"	4 436	高山草甸 Alpine meadow
ZhangDC-07ZX-2351	禾叶风毛菊 <i>S. graminea</i>	四川甘孜 Ganzi, Sichuan	99°57'46.8"	31°24'22.9"	4 904	高山草甸 Alpine meadow
ZhangDC-07ZX-2256	长毛风毛菊 <i>S. hieracioides</i>	四川巴塘 Batang, Sichuan	99°13'24.8"	30°33'30.8"	4 223	高山草甸 Alpine meadow

2.1 尖苞雪莲(*S. polycolea* var. *acutisquama*)

核型公式为 $2n=2x=32=20m+12sm$, 由中部着丝点(m)和亚中部着丝点(sm)染色体组成(图 1, C1), 其中第 1、2、7、11、12、14 对染色体由亚中部着丝点(sm)染色体组成, 其余由中部着丝点(m)染色体组成。染色体长度比为 2.32 : 1, 臂比值大于 2 : 1 染色体所占的比例为 25%, 核型不对称系数为

62.51, 属于 2B 型。

2.2 球花雪莲(*S. globosa*)

核型公式为 $2n=2x=34=16m+18sm$, 由中部着丝点(m)、亚中部着丝点(sm)染色体组成(图 1, C2), 其中第 1、4、6、7、9、11、13、15、17 对染色体由亚中部着丝点(sm)染色体组成, 其余由中部着丝点(m)染色体组成。染色体长度比为 2.85 : 1, 臂比值

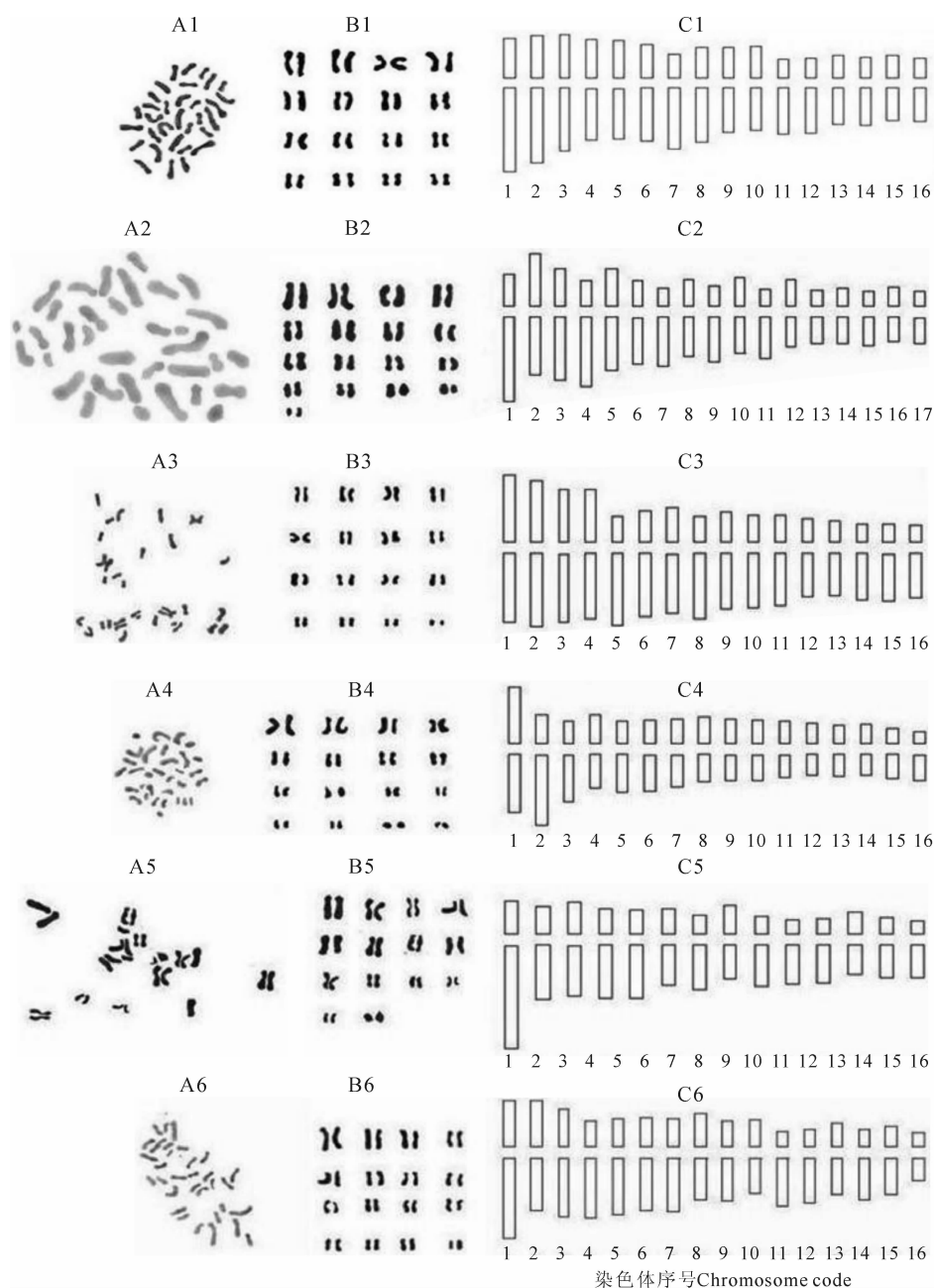


图 1 横断山区 6 种风毛菊属植物染色体模式照片(A)、核型图(B)和核型模式图(C)

1. 尖苞雪莲; 2. 球花雪莲; 3. 重齿风毛菊; 4. 柱茎风毛菊; 5. 禾叶风毛菊; 6. 长毛风毛菊

Fig. 1 Chromosomes(A), karyotypes images(B) and ideograms(C) of six species

of genus *Saussurea* in the Hengduan Mountains

1. *S. polycolea* var. *acutisquama*; 2. *S. globosa*; 3. *S. katochaete*; 4. *S. columnaris*; 5. *S. graminea*; 6. *S. hieracioides*

大于 2 : 1 染色体所占的比例为 41%,核型不对称系数为 64.23,属于 2B 型。

2.3 重齿风毛菊(*S. katochaete*)

核型公式为 $2n=2x=32=8m+18sm+6st$,由中部着丝点(m)、亚中部着丝点(sm)和亚端部着丝点(st)染色体组成(图 1,C3),其中第 1、2、3、4 对染色体由中部着丝点(m)组成,第 5、15、16 对染色体由亚端部着丝点(st)组成,其余染色体由亚中部着丝点(sm)组成。染色体长度比为 2.22 : 1,臂比值大于 2 : 1 染色体所占的比例为 63%,核型不对称系数为 65.12,属于 3B 型。

2.4 柱茎风毛菊(*S. columnaris*)

核型公式为 $2n=2x=32=24m+8sm$,由中部(m)和亚中部着丝点(sm)染色体组成(图 1,C4),其中第 2、3、5、16 对染色体由亚中部着丝点(sm)染色体组成,其余由中部着丝点(m)染色体组成。染色体长度比为 3.00 : 1,臂比值大于 2 : 1 染色体所占的比例为 19%,核型不对称系数为 58.21,属于 2B 型。

2.5 禾叶风毛菊(*S. graminea*)

核型公式为 $2n=2x=28=8m+18sm+2st$,由中部丝点(m)、亚端部着丝点(st)和亚中部着丝点(sm)染色体组成(图 1,C5),其中第 1 对染色体由亚端部着丝点(st)组成,第 2、4、5、7、9、10、11、13、14 对染色体由亚中部着丝点(sm)染色体组成,其余由中部着丝点(m)染色体组成。染色体长度比为 2.90 : 1,臂比值大于 2 : 1 染色体所占的比例为 64%,核型不对称系数为 67.71,属于 3B 型。

2.6 长毛风毛菊(*S. hieracioides*)

长毛风毛菊的核型公式为 $2n=2x=32=12m+16sm+4st$,由中部(m),亚端部着丝点(st)和亚

中部着丝点(sm)染色体组成(图 1,C6),其中第 1、4、5、6、7、14、15、16 对染色体由亚中部着丝点(sm)染色体组成,第 2、3、8、9、10、13 对染色体由中部着丝点(m)染色体组成,其余由亚端部着丝点(st)染色体组成。染色体长度比为 3.46 : 1,臂比值大于 2 : 1 染色体所占的比例为 31%,核型不对称系数为 64.74,属于 2B 型。

3 讨 论

3.1 风毛菊属植物核型的多样性

本实验涉及的 6 种植物染色体数量为 28、32 和 34 等 3 种类型,核型为 2B 和 3B 类型,首次报道的尖苞雪莲($2n=2x=32$,2B 型)和柱茎风毛菊($2n=2x=32$,2B 型),均为风毛菊属植物已报道过的染色体数量与核型。但研究表明,球花雪莲染色体($2n=2x=34$,2B 型)与已报道研究结果($2n=2x=32$,2B 型)^[16]染色体数目不一致。已报道的球花雪莲染色体基数 $x=16$,本实验中球花雪莲染色体基数 $x=17$,表明该种植物存在多基数现象。同种植物内染色体存在多基数已有较多报道^[30-33],菊科植物中也存在该现象^[34-35]。国产风毛菊属植物目前还未见报道同种存在多基数现象,但其他国家有相关报道^[36-38]。

本实验中长毛风毛菊和重齿风毛菊的染色体和核型与已报道的采自青藏高原东缘甘肃玛曲的长毛风毛菊和重齿风毛菊一致^[15,20]。表明这 2 种风毛菊染色体数量在青藏高原区域相对稳定,不易发生变异,但核型在种内还是存在一定的分化。

长毛风毛菊染色体相对长度变异范围 3.08~10.67,染色体长度比 3.46 : 1,臂比大于 2 : 1 的占

表 2 核型分析结果
Table 2 Results of karyotype analysis

种名 Species	染色体相对 长度变异范围 Chromosome relative length rang	染色体长度比 Chromosome length ratio	臂比值大于 2 : 1 的 染色体比例 Chromosome ratio/%	核型公式 Karyotype formula	染色体长度组成 Chromosome length consitution	核型 Karyotype	核型不 对称系数 As. K/%
尖苞雪莲 <i>S. polycoleavar. acutisquama</i>	4.15~9.62	2.32 : 1	25	$2n=2x=32=20m+12sm$	$2n=32=6L+10M_2+8M_1+8S$	2B	62.51
球花雪莲 <i>S. globosa</i>	3.42~9.75	2.85 : 1	41	$2n=2x=34=16m+18sm$	$2n=34=10L+2M_2+12M_1+10S$	2B	64.23
重齿风毛菊 <i>S. katochaete</i>	4.22~9.36	2.22 : 1	63	$2n=2x=32=8m+18sm+6st$	$2n=32=8L+6M_2+8M_1+10S$	3B	65.12
柱茎风毛菊 <i>S. columnaris</i>	4.1~12.34	3.00 : 1	19	$2n=2x=32=24m+8sm$	$2n=32=4L+8M_2+10M_1+10S$	2B	58.21
禾叶风毛菊 <i>S. graminea</i>	4.8~14.07	2.90 : 1	64	$2n=2x=28=8m+18sm+2st$	$2n=28=2L+8M_2+14M_1+4S$	3B	67.71
长毛风毛菊 <i>S. hieracioides</i>	3.08~10.67	3.46 : 1	31	$2n=2x=32=12m+16sm+4st$	$2n=32=6L+8M_2+16M_1+2S$	2B	64.74

表 3 染色体参数
Table 3 The parameters of chromosomes

种名 Species	编号 Chromosome No.	相对长度 (短臂+长臂=全长) Relative length (short arm+long arm=total)	臂比值(类型) Arm ratio (type)	相对长度系数 Absolute length	编号 Chromosome No.	相对长度 (短臂+长臂=全长) Relative length (short arm+long arm=total)	臂比值(类型) Arm ratio (type)	相对长度系数 Absolute length
尖苞雪莲 <i>S. polycolea</i> var. <i>acutisquama</i>	1	3.11+6.51=9.62	2.09 (sm)	1.54(L)	9	2.41+3.44=5.85	1.43 (m)	0.94(M ₁)
	2	3.32+5.79=9.11	1.74 (sm)	1.46(L)	10	2.52+3.27=5.79	1.30 (m)	0.93(M ₁)
	3	3.41+4.86=8.27	1.43 (m)	1.33(L)	11	1.52+3.61=5.13	2.38 (sm)	0.82(M ₁)
	4	3.01+3.96=6.97	1.32 (m)	1.12(M ₂)	12	1.57+3.45=5.02	2.20 (sm)	0.80(M ₁)
	5	2.92+3.87=6.79	1.33 (m)	1.09(M ₂)	13	1.75+2.81=4.56	1.61 (m)	0.73(S)
	6	2.61+4.08=6.69	1.56 (m)	1.07(M ₂)	14	1.65+2.85=4.50	1.73 (sm)	0.72(S)
	7	1.87+4.71=6.58	2.52 (sm)	1.05(M ₂)	15	1.78+2.52=4.30	1.42 (m)	0.69(S)
	8	2.43+4.12=6.55	1.70 (m)	1.05(M ₂)	16	1.57+2.58=4.15	1.64 (m)	0.67(S)
柱茎风毛菊 <i>S. columnaris</i>	1	6.01+6.33=12.34	1.05 (m)	1.97(L)	9	2.69+2.85=5.54	1.06 (m)	0.89(M ₁)
	2	3.16+7.59=10.75	2.40 (sm)	1.72(L)	10	2.53+2.85=5.38	1.13 (m)	0.86(M ₁)
	3	2.37+5.06=7.43	2.14 (sm)	1.19(M ₂)	11	2.37+2.53=4.9	1.07 (m)	0.78(M ₁)
	4	3.16+3.64=6.8	1.15 (m)	1.09(M ₂)	12	2.22+2.37=4.59	1.07 (m)	0.73(S)
	5	2.37+4.11=6.48	1.73 (sm)	1.04(M ₂)	13	1.9+2.53=4.43	1.33 (m)	0.71(S)
	6	2.53+3.93=6.46	1.55 (m)	1.03(M ₂)	14	2.06+2.36=4.42	1.15 (m)	0.71(S)
	7	2.69+3.48=6.17	1.29 (m)	0.99(M ₁)	15	1.58+2.69=4.27	1.70 (m)	0.68(S)
	8	2.85+3.01=5.86	1.06 (m)	0.94(M ₁)	16	1.27+2.85=4.12	2.24 (sm)	0.66(S)
长毛风毛菊 <i>S. hieracioides</i>	1	3.72+6.95=10.67	1.87 (sm)	1.70(L)	9	2.15+3.64=5.79	1.69 (m)	0.92(M ₁)
	2	3.73+4.46=8.19	1.20 (m)	1.31(L)	10	2.21+3.15=5.36	1.43 (m)	0.85(M ₁)
	3	3.12+4.98=8.10	1.60 (m)	1.29(L)	11	1.23+4.08=5.31	3.32 (st)	0.85(M ₁)
	4	2.12+5.08=7.20	2.40 (sm)	1.15(M ₂)	12	1.35+3.75=5.10	2.78 (st)	0.81(M ₁)
	5	2.26+4.77=7.03	2.11 (sm)	1.12(M ₂)	13	1.91+3.06=4.97	1.60 (m)	0.79(M ₁)
	6	2.43+4.41=6.84	1.81 (sm)	1.09(M ₂)	14	1.36+3.56=4.92	2.62 (sm)	0.78(M ₁)
	7	2.25+4.46=6.71	1.98 (sm)	1.07(M ₂)	15	1.61+3.13=4.74	1.94 (sm)	0.76(M ₁)
	8	2.77+3.46=6.23	1.25 (m)	0.99(M ₁)	16	1.12+1.96=3.08	1.75 (sm)	0.49(S)

续表 3 Continued Table 3

球花雪莲 <i>S. globosa</i>	1	2. 63+7. 12=9. 75	2. 71(sm)	1. 66(L)	10	2. 31+3. 06=5. 37	1. 32(m)	0. 91(M ₁)
	2	4. 32+4. 93=9. 25	1. 41(m)	1. 58(L)	11	1. 38+3. 57=4. 95	2. 59(sm)	0. 84(M ₁)
	3	3. 15+5. 33=8. 48	1. 69(m)	1. 44(L)	12	2. 21+2. 56=4. 77	1. 16(m)	0. 81(M ₁)
	4	2. 16+5. 89=8. 05	2. 73(sm)	1. 37(L)	13	1. 32+2. 72=4. 04	2. 06(sm)	0. 69(S)
	5	3. 12+4. 57=7. 69	1. 46(m)	1. 31(L)	14	1. 52+2. 31=3. 83	1. 52(m)	0. 65(S)
	6	2. 12+3. 89=6. 01	1. 83(sm)	1. 02(M ₂)	15	1. 25+2. 53=3. 78	2. 02(sm)	0. 64(S)
	7	1. 52+4. 13=5. 65	2. 72(sm)	0. 96(M ₁)	16	1. 56+2. 15=3. 71	1. 38(m)	0. 63(S)
	8	2. 21+3. 35=5. 56	1. 52(m)	0. 95(M ₁)	17	1. 21+2. 21=3. 42	1. 83(sm)	0. 58(S)
	9	1. 72+3. 81=5. 53	2. 22(sm)	0. 94(M ₁)				
重齿风毛菊 <i>S. katochaete</i>	1	4. 51+4. 85=9. 36	1. 08 (m)	1. 50(L)	9	1. 98+3. 94=5. 92	1. 99 (sm)	0. 95(M ₁)
	2	4. 07+5. 18=9. 25	1. 27 (m)	1. 48(L)	10	1. 73+3. 81=5. 54	2. 20 (sm)	0. 89(M ₁)
	3	3. 53+4. 82=8. 35	1. 37 (m)	1. 34(L)	11	1. 78+3. 73=5. 51	2. 10 (sm)	0. 88(M ₁)
	4	3. 54+4. 61=8. 15	1. 30 (m)	1. 30(L)	12	1. 52+3. 15=4. 67	2. 07 (sm)	0. 75(S)
	5	1. 63+5. 03=6. 66	3. 09 (st)	1. 07(M ₂)	13	1. 38+3. 05=4. 43	2. 21 (sm)	0. 71(S)
	6	2. 05+4. 47=6. 52	2. 18 (sm)	1. 04(M ₂)	14	1. 12+3. 29=4. 41	2. 94 (sm)	0. 71(S)
	7	2. 29+4. 12=6. 41	1. 80 (sm)	1. 03(M ₂)	15	1. 09+3. 28=4. 37	3. 01 (st)	0. 70(S)
	8	1. 65+4. 63=6. 28	2. 81 (sm)	1. 00(M ₁)	16	1. 03+3. 19=4. 22	3. 10 (st)	0. 68(S)
禾叶风毛菊 <i>S. graminea</i>	1	3. 39+10. 68=14. 07	3. 15 (st)	1. 95(L)	8	2. 93+3. 62=6. 55	1. 24 (m)	0. 91(M ₁)
	2	2. 86+5. 83=8. 69	2. 04 (sm)	1. 21(M ₂)	9	1. 88+4. 43=6. 31	2. 36 (sm)	0. 88(M ₁)
	3	3. 26+5. 34=8. 60	1. 64 (m)	1. 19(M ₂)	10	1. 52+4. 13=5. 65	2. 72 (sm)	0. 78(M ₁)
	4	2. 58+5. 61=8. 19	2. 17 (sm)	1. 14(M ₂)	11	1. 60+3. 98=5. 58	2. 49 (sm)	0. 78(M ₁)
	5	2. 51+5. 58=8. 09	2. 22 (sm)	1. 12(M ₂)	12	2. 28+3. 21=5. 49	1. 41 (m)	0. 76(M ₁)
	6	2. 62+4. 32=6. 94	1. 65 (m)	0. 96(M ₁)	13	1. 72+3. 41=5. 13	1. 98 (sm)	0. 71(S)
	7	1. 98+4. 67=6. 65	2. 36 (sm)	0. 92(M ₁)	14	1. 42+3. 43=4. 85	2. 42 (sm)	0. 67(S)

65%,核型不对称系数64.74。臂比大于2:1的比例小于已报道的38%,其余均大于已报道的染色体相对长度变异范围3.90~9.77,染色体长度比2.50:1和核型不对称系数63.81。着丝点由中部着丝点(m)、亚中部着丝点(sm)和亚端部着丝点(st)3种类型组成,而已报道的长毛风毛菊只有中部着丝点(m)和亚中部着丝点(sm)2种类型组成。染色体组成方面,虽然都是由长染色体(L)、中长染色体(M₂)、中短染色体(M₁)和短染色体(S)组成。但长染色体(L)、中长染色体(M₂)的构成比例不一致。

重齿风毛菊的染色体相对长度变异范围、染色体长度比、臂比大于2:1所占比例和已报道的均较接近。着丝点都是由中部着丝点(m)、亚中部着丝点(sm)和亚端部着丝点(st)3种类型染色体组成,但构成比例不一致,已报道的长毛风毛菊染色体组成是由中长染色体(M₂)、中短染色体(M₁)和短染色体(S)3种类型组成,本实验由长染色体(L)、中长染色体(M₂)、中短染色体(M₁)和短染色体(S)4种类型组成。核型不对称系数(65.12)也大于已报道的研究结果(64.72)。

禾叶风毛菊的染色体数目与已报道的采自甘肃迭部的一致,但核型不一致^[17]。本实验中禾叶风毛菊的核型为3B型,而已报道的为2B型。说明该种的分化相对活跃。禾叶风毛菊染色体的相对长度变异范围及染色体长度比和已报道的较接近。臂比大于2:1的占64%,大于已报道的50%。着丝点都是由中部着丝点(m)、亚中部着丝点(sm)和亚端部着丝点(st)3种类型组成,染色体也是由长染色体(L)、中长染色体(M₂)、中短染色体(M₁)和短染色体(S)4种类型组成,但构成的比例不一致。核型不对称系数(67.71)也大于已报道的研究结果(67.36)。

本实验结果和已报道过的相同风毛菊属植物每个种中染色体组成类型都存在明显差异,这可能和每个种的海拔分布范围大、生境多样、气候多样有关系。表明横断山地区风毛菊属植物的染色体核型在种间具有丰富的多样性。上述推测是在现有的细胞学资料基础上得出的,鉴于细胞采样不全,仅为作者依据现有研究资料的推断。

3.2 系统进化与分类学处理

高等植物核型进化的基本趋势是由对称向不对称方向发展,系统演化上处于比较古老或原始的植物,往往具有较对称的核型,而不对称的核型则通常出现在较进化或特化的植物中,在被子植物中,有核型由对称向不对称进化的基本趋势^[28]。在细胞分

类上认为核型是由A—B—C进化的,且核型对称性大的较为原始,对称性小的较为进化^[39]。

在传统分类上尖苞雪莲和球花雪莲属雪莲亚属(Subgen. *Amilaena*),柱茎风毛菊和重齿风毛菊属风毛菊亚属(Subgen. *Saussurea*)无茎组(Sect. *Acaules*),禾叶风毛菊属全叶组(Sect. *Pyconcephala*),长毛风毛菊属风毛菊组(Sect. *Saussurea*)。

本研究结果中球花雪莲、尖苞雪莲、柱茎风毛菊和长毛风毛菊核型均为2B型,表明它们具有较近的亲缘关系,而重齿风毛菊和禾叶风毛菊核型为3B型,不仅表明它们具有较近的亲缘关系,而且表明在本实验6种风毛菊属植物中是较为进化的类群。

本实验中,6种风毛菊属植物核型不对称性表明植物的进化方向是:柱茎风毛菊→尖苞雪莲→球花雪莲→长毛风毛菊→重齿风毛菊→禾叶风毛菊的进化路线。而传统分类则认为是按:尖苞雪莲→球花雪莲→重齿风毛菊→柱茎风毛菊→禾叶风毛菊→长毛风毛菊的进化路线^[40]。结果与形态分类结果并不完全一致。横断山区具有复杂独特的自然地理和气候条件,以至该区域植物生长环境差别较大,外部形态易受环境影响。该区恶劣的生存环境可能是风毛菊属植物细胞学水平与形态学水平的分类结果不一致的主要原因,当然这其中也不排除核型分析过程中人为的误差。风毛菊属的分类是一个很复杂的问题^[16],这6种风毛菊属植物在系统演化中的确切位置有待于更进一步的深入研究才能确定。本实验仅能为横断山地区风毛菊属植物的分类提供一部分细胞学证据。

尖苞雪莲在分类学上存在较多问题,最早作为钝苞雪莲的变种,即 *S. nigrescens* var. *acutisquama*^[41],最近《Flora of China》将其作为红柄雪莲(*S. erubescens*)的异名处理。本实验结合尖苞雪莲的形态特征和细胞学资料简要分析该种的分类学问题。从形态特征看,尖苞雪莲茎叶密被白色长柔毛,总苞顶端渐尖而不同于钝苞雪莲茎叶均被稀疏长柔毛或后变无毛,总苞顶端钝或稍钝;尖苞雪莲叶两面被白色长柔毛而不同于红柄雪莲叶两面被腺毛。因此,尖苞雪莲作钝苞雪莲变种或红柄雪莲的异名处理是不恰当的。新近发现广布于青藏高原北部草原的尖苞风毛菊(*S. acutisquama*)^[42],上部茎生叶线状披针形,明显不同于尖苞雪莲最上部茎生叶苞叶状的特征。尖苞雪莲从形态上和多鞘雪莲(*S. polycolea*)更接近,作为多鞘雪莲的变种,二者只在花序数目上有差异,多鞘雪莲头状花序单生茎顶,尖苞雪莲花序由2~3

个头状花序组成。而且,尖苞雪莲染色体 32 条,2B 说明将其作为多鞘雪莲的变种更为合理。型,与多鞘雪莲的染色体数目和核型一致^[19],充分

致谢:实验过程中得到云南省农科院张婷女士的指导,西南林业大学大型设备共享平台提供 E800 显微镜。

参考文献:

- [1] YANG CH Y(杨纯愉),WANG H Q(王徽勤). Review and prospects for cytotaxonomic studies of the Chinese[J]. *Chinese Bulletin of Botany*(植物学通报),1985,**3**(5):1—6(in Chinese).
- [2] WU G L(吴甘霖). The application of karyotype analysis on cytotaxonomy[J]. *Journal of Biology*(生物学杂志),2006,**23**(1):39—42(in Chinese).
- [3] 洪德元. 植物细胞分类学[M]. 北京:科学出版社,1990:1—11.
- [4] 罗 鹏. 植物细胞遗传学[M]. 北京:高等教育出版社,1991:149—150.
- [5] SHI Z,CHEN Y L,CHEN Y S,*et al.* Flora of China Vol. 20-21[M]. Beijing: Science Press; St. Louis: Missouri Botanical Garden Press, 2011:56.
- [6] LI X W(李锡文),LI J(李 捷). A preliminary floristic study on the seed plants from the region of Hengduan Mountain[J]. *Acta Botanica Yunnanica*(云南植物研究),1993,**15**(3):217—231(in Chinese).
- [7] YUE X K(岳学坤),CAI J H(蔡金红),LI ZH M(李志敏),*et al.* Karyomorphology of the three species of *Saussurea* (Asteraceae) from Hengduan Mountains and the Adjacent Areas[J]. *Acta Botanica Yunnanica*(云南植物研究),2008,**30**(4):433—436(in Chinese).
- [8] WANG Y F(王一峰),SHI H Y(施海燕),GAO H Y(高宏岩),*et al.* Pollen characteristics of twenty-eight species of *Saussurea* in alpine meadow of the eastern fringe of the Qinghai-tibetan Plateau[J]. *Guihaia*(广西植物),2008,**28**(1):4—14(in Chinese).
- [9] QIAO Y G(乔永刚),SONG Y(宋 芸). Clustering analysis of karyotype resemblance-near coefficient for 15 species of *Saussurea* DC[J]. *Chinese Journal of Grassland*(中国草地学报),2011,**3**(2):38—43(in Chinese).
- [10] ZHANG Y Z(张永增),YANG L E(杨丽娥),YUE X K(岳学坤),*et al.* The study on cytology of *Saussurea leontodontoides*[J]. *Journal of Yunnan Normal University*(Nat. Sci. Edi.)(云南师范大学学报·自然科学版),2011,**31**(2):69—71(in Chinese).
- [11] LU Q Y(陆覃昱),CHEN X K(陈光富),LI ZH M(李志敏). Cytology research on *Saussurea tatsienensis* Franch[J]. *Journal of Yunnan Normal University*(Nat. Sci. Edi.)(云南师范大学学报·自然科学版),2010,**30**(6):58—61(in Chinese).
- [12] ZHOU M D(周明冬),YAN P(阎 平),LUO Q H(罗青红),*et al.* Analysis on chromosome karyotype of *Saussurea glacialis*[J]. *Journal of Shihezi University*(Nat. Sci. Edi.)(石河子大学学报·自然科学版),2005,**23**(1):78—80(in Chinese).
- [13] HUANG R F(黄荣福),SHENB S D(沈颂东),LU X F(卢学峰). Studies of the chromosome numbers and polyploidy for some plant in the North-East Qianghai-Xizang Plateau[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报),1996,**16**(3):310—318(in Chinese).
- [14] WANG Y F(王一峰),GONG H D(巩红冬),GAO S F(高素芳),*et al.* The karyotypes of *S. pachyneura* and *S. dzeurensis* in Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Northwest Normal University*(Nat. Sci. Edi.)(西北师范大学学报·自然科学版),2006,**42**(4):71—73(in Chinese).
- [15] WANG Y F(王一峰),GONG H D(巩红冬),GAO S F(高素芳),*et al.* A study on karyotypes of 5 species of *Saussurea* in the Eastern of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Sichuan University*(Nat. Sci. Edi.)(四川大学学报·自然科学版),2006,**43**(5):1 132—1 136(in Chinese).
- [16] WANG Y F(王一峰),GAO S F(高素芳),GONG H D(巩红冬),*et al.* On karyotypes of four species of *Saussurea* DC. in the East of Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Journal of Northwest A & F University*(Nat. Sci. Edi.)(西北农林科技大学学报·自然科学版),2007,**35**(1):199—203(in Chinese).
- [17] WANG Y F(王一峰),WANG ZH L(王转莉),GONG H D(巩红冬),*et al.* Study on karyotypes of 4 species of *Saussurea* DC. in the East of Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Journal of Northwest A & F University*(Nat. Sci. Edi.)(西北农林科技大学学报·自然科学版),2008,**36**(5):165—177(in Chinese).
- [18] GAO T P(高天鹏),WANG ZH L(王转莉),GUO H Q(郭怀清),*et al.* Karyomorphology of 3 *Saussurea* species from the Eastern of Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica*,2009,**18**(2):169—174(in Chinese).
- [19] WANG Y F(王一峰),GONG H D(巩红冬),GAO S F(高素芳),*et al.* Karyotypic studies on 5 species of Subgen. *Amphilaena* and Subgen. *Saussurea* in *Saussurea* from the Qinghai-tibetan Plateau[J]. *Journal of Sichuan University*(Nat. Sci. Edi.)(四川大学学报·自然

- 科学版), 2008, **45**(5): 1 221—1 227(in Chinese).
- [20] LI H(李 淮), WANG ZH L(王转莉), GONG H D(巩红冬), *et al.* A study on karyotypes of two *Saussurea* species from the Eastern Qinghai-Tibetan plateau[J]. *Journal of Northwest Normal University*(Nat. Sci. Edi.)(西北师范大学学报·自然科学版), 2008, **44**(2): 95—98(in Chinese).
- [21] TAI L H(邵丽华). A study on karyotypes of *Saussurea runicinata*[J]. *Journal of Inner Mongolia Normal University*(Nat. Sci. Edi.)(内蒙古师范大学学报·自然科学汉文版), 1997, **25**(2): 52—54(in Chinese).
- [22] HUANG Y P(黄运平), YIN Z T(尹祖棠). A study on karyotypes of 4 species of *Saussurea* from north China[J]. *Guihaia*(广西植物), 1994, **14**(4): 557—360(in Chinese).
- [23] WANG Y F(王一峰), SHA J(沙 洁), WANG ZH L(王转莉), *et al.* A report on karyotypes of two *Saussurea* species from the eastern Qinghai-Tibetan plateau[J]. *Journal of Northwest Normal University*(Nat. Sci. Edi.)(西北师范大学学报·自然科学版), 2010, **46**(1): 75—78(in Chinese).
- [24] NIE Z L(聂泽龙), SUN H(孙 航), GU ZH J(顾志建). A survey of chromosome numbers from angiosperms of the Hengduan Mountains, S. W. China[J]. *Acta Botanica Yunnanica*(云南植物研究), 2004, **26**(1): 35—57(in Chinese).
- [25] LI M X(李懋学), CHEN R Y(陈瑞阳). A suggestion on the standardization of karyotype analysis in plants[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*(武汉植物研究), 1985, **3**(4): 297—302(in Chinese).
- [26] KUO S R(郭幸荣). Karyotype analysis of some Formosan gymnosperms[J]. *Taiwania*, 1972, **17**(1): 66—80.
- [27] 李懋学. 植物染色体技术研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1991: 142—181.
- [28] STEBBINS G L. Chromosomal evolution in higher plants[M]. London: Edward Amos Ltd, 1971: 72—123.
- [29] ARANO H. The karotypes and the speciations in subfamily Carduoideae of Japan[J]. *Japanese Journal of Botany*, 1965, **19**(3): 31—67.
- [30] LÜ L X(吕柳新). A study on evolutionary relationship of the basic chromosome number between $X=10$ and $X=11$ in the polyanthous daffodils (*Narcissus tazetta* L.)[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*(武汉植物学研究), 1990, **8**(2): 107—113(in Chinese).
- [31] HUO D Y(侯典云), WANG L(王 荔), YANG Y W(杨艳琼), *et al.* A cytological study of different populations in *Pinellia ternata*[J]. *Journal of Yunnan Agricultural University*(云南农业大学学报), 2005, **20**(2): 160—162(in Chinese).
- [32] ZHANG T(张 挺), GU ZH J(顾志建). A new basic chromosome number of $x=7$ for the genus *Streptopus* (Liliaceae)[J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*(植物分类学报), 2005, **43**(6): 533—538(in Chinese).
- [33] LIANG Q L(梁乾隆), WANG CH B(王长宝), MA X G(马祥光), *et al.* Chromosomal study on Chinese *Bupleurum* L(Apiaceae)[J]. *Plant Science Journal*(植物科学学报), 2013, **31**(1): 11—22(in Chinese).
- [34] WANG X L(汪小兰), LI M X(李懋学). Observation of chromosomes on 10 Compositae species[J]. *Journal of Wuhan Botanical Research*(武汉植物学研究), 1987, **5**(2): 111—115(in Chinese).
- [35] XIE ZH Y(谢珍玉), ZHENG CH M(郑成木). Cytological studies on 13 species of Compositae from Hainan, China[J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*(植物分类学报), 2003, **41**(6): 545—552(in Chinese).
- [36] SHIMIZU M, KOYAMA H. Chromosome numbers in some Japanese species of *Saussurea* (Compositae) with special reference to basic number[J]. *CIS Chromosome Inform. Serv.*, 1996, 60/61: 24—27.
- [37] LEE Y N. Chromosome numbers of flowering plants in Korea[J]. *J. Korean Res. Inst. Ewha Women's Univ.*, 1967, 11: 455—478.
- [38] LAVRENKO A N, SERDITOV N P, ULLE Z G. Chromosome numbers in some species of vascular plants from the Pechoro-Ilychsky Reservation (Komi ASSR)[J]. *Bot. Zhurn*(Moscow & Leningrad), 1991, 76: 473—476.
- [39] 李懋学, 张赞平. 作物染色体及其研究技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 1—39.
- [40] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [41] 吴征镒. 西藏植物志(第4卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 871—872.
- [42] ECKHARD VON RAAB-STRAUBE. The genus *Saussurea* (Compositae, Cardueae) in China: taxonomic and nomenclatural notes[J]. *Willdenowia*, 2011, 41: 83—95.