

## 铁线莲组(铁线莲属)植物染色体核型分析

陈铭健, 王淑安, 王 鹏, 刘永东, 李素梅, 李林芳<sup>①</sup>, 李 亚<sup>①</sup>

[江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014]

**摘要:** 采用常规压片法对铁线莲属(*Clematis* Linn.)铁线莲组(Sect. *Viticella* DC.)10种植物根尖进行制片,并进行染色体核型分析,同时基于核型似近系数对供试植物进行UPGMA聚类分析。结果表明:这些植物均为二倍体( $2n=2x=16$ ),并且,多数染色体为中部(m)着丝点染色体,部分染色体为近端部(st)着丝点染色体,少数染色体为近中部(sm)或端部(t)着丝点染色体;核型公式有 $10m+6st$ 、 $10m+2sm+4st$ 和 $10m+4st+2t$ 3种;吴兴铁线莲(*C. huchouensis* Tamura)的染色体相对长度范围(8.34~17.87)、最长染色体与最短染色体相对长度的比值(2.14)、平均臂比(3.15)均最大;吴兴铁线莲和意大利铁线莲(*C. viticella* Linn.)的核型为“2B”,其余种类的核型为“2A”;短柱铁线莲(*C. cadmia* Buch.-Ham. ex Wall.)的核型不对称系数最大(65.78%)、着丝点指数(31.88%)最小,而天台铁线莲[*C. patens* ssp. *tientaiensis* (M. Y. Fang) W. T. Wang]的核型不对称系数最小(61.28%)、着丝点指数(35.27%)最大。供试植物第1至第5对染色体均为中部着丝点染色体,第6至第8对染色体则为近中部、近端部或端部着丝点染色体。核型不对称性散布图显示:重瓣铁线莲(*C. florida* var. *plena* D. Don)、天台铁线莲、铁线莲(*C. florida* Thunb.)和转子莲(*C. patens* C. Morr. et Decne.)均位于左下角,说明这些植物的核型不对称性较低。在核型似近系数为0.948处,供试的10种植物分成2组。研究结果显示:供试铁线莲组10种植物中,重瓣铁线莲等4种植物处于相对原始的地位。

**关键词:** 铁线莲属; 铁线莲组; 染色体核型; 核型不对称系数; 核型似近系数

中图分类号: Q942.4; Q343.2<sup>+</sup>2; S682.39 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2024)02-0099-07

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2024.02.11

**Chromosome karyotype analysis of Sect. *Viticella* DC. species (*Clematis* Linn.)** CHEN Mingjian, WANG Shu'an, WANG Peng, LIU Yongdong, LI Sumei, LI Linfang<sup>①</sup>, LI Ya<sup>①</sup> [Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences (Nanjing Botanical Garden Mem. Sun Yat-Sen), Nanjing 210014, China], *J. Plant Resour. & Environ.*, 2024, 33(2): 99-105

**Abstract:** Chromosome slides of root tips of ten species of Sect. *Viticella* DC. in *Clematis* Linn. were prepared by using the conventional pressing method, and chromosome karyotype analysis was conducted, meanwhile, UPGMA cluster analysis was conducted for test plants based on karyotype resemblance-near coefficient. The results show that these plants are all diploid ( $2n=2x=16$ ), moreover, most chromosomes are median (m) centromere chromosomes, some chromosomes are subterminal (st) centromere chromosomes, and a few chromosomes are submedian (sm) or terminal (t) centromere chromosomes; there are three types of karyotype formulas namely  $10m+6st$ ,  $10m+2sm+4st$ , and  $10m+4st+2t$ ; the chromosome relative length range (8.34-17.87), ratio of relative length of the longest chromosome to the shortest chromosome (2.14), and average arm ratio (3.15) of *C. huchouensis* Tamura are all the largest; the karyotypes of *C. huchouensis* and *C. viticella* Linn. are “2B”, while those of the other species are “2A”; the karyotype asymmetry coefficient (65.78%) of *C. cadmia* Buch.-Ham. ex Wall. is the largest and its centromeric index (31.88%) is the smallest, while the karyotype asymmetry

收稿日期: 2023-11-09

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目[CX(20)3027]; 江苏省植物资源研究与利用重点实验室开放基金项目(JSPKLB202203)

作者简介: 陈铭健(1996—),男,广东佛山人,硕士研究生,主要从事铁线莲种质资源创新和利用研究。

<sup>①</sup>通信作者 E-mail: lilinfangqq@163.com; yalicnbg@icloud.com

引用格式: 陈铭健, 王淑安, 王 鹏, 等. 铁线莲组(铁线莲属)植物染色体核型分析[J]. 植物资源与环境学报, 2024, 33(2): 99-105.

coefficient (61.28%) of *C. patens* ssp. *tientaiensis* (M. Y. Fang) W. T. Wang. is the smallest and its centromeric index (35.27%) is the largest. The first to fifth pairs of chromosomes of test plants are all median centromere chromosomes, while the sixth to eighth pairs of chromosomes are submedian, subterminal, or terminal centromere chromosomes. The karyotype asymmetry scatter diagram shows that *C. florida* var. *plena* D. Don, *C. patens* ssp. *tientaiensis*, *C. florida* Thunb., and *C. patens* C. Morr. et Decne. are all located in the lower left corner, indicating that these plants have low karyotype asymmetry. At the karyotype resemblance-near coefficient of 0.948, the ten test species are divided into two groups. It is suggested that among the ten test species of Sect. *Viticella*, four species such as *C. florida* var. *plena* occupy a relative primitive position.

**Key words:** *Clematis* Linn.; Sect. *Viticella* DC.; chromosome karyotype; karyotype asymmetry coefficient; karyotype resemblance-near coefficient

铁线莲(*Clematis* spp.)是一类重要的藤本花卉,享有“藤本皇后”的美誉,因花大色艳、花型丰富而深受花友们的喜爱,在园林中应用广泛。据国际铁线莲协会(<https://clematisontheweb.org/clematis-list-search/>)统计,全世界约有4 090个铁线莲栽培品种,这些品种在花朵形态、颜色和类型上丰富多样,其中观赏价值高、品种较多的类群有早花大花型(early large-flowered group)、晚花大花型(late large-flowered group)和意大利型(viticella group)<sup>[1]</sup>,这些类群的原始亲本包括铁线莲组(Sect. *Viticella* DC.)的铁线莲(*C. florida* Thunb.)、转子莲(*C. patens* C. Morr. et Decne.)、毛叶铁线莲(*C. lanuginosa* Lindl.)和意大利铁线莲(*C. viticella* Linn.)<sup>[2]</sup>。研究者可根据传统的形态学特征确定铁线莲属(*Clematis* Linn.)种类,但他们对铁线莲属种类组成和种间关系等的见解不同,并对该属分类进行了修订<sup>[3-4]</sup>。在最新修订的铁线莲属分类系统中,王文采等<sup>[5]</sup>基于花构造对现存铁线莲属15组种类的亲缘关系进行分析,并基于研究结果提出新的分类系统,将355种划分为4亚属15组。然而,基于形态构建的分类系统并不能很好地解释铁线莲属植物的起源和演化问题,且该属分子系统学与形态分类学的研究结果存在一定差异<sup>[6-7]</sup>。因此,需要对铁线莲属植物进行多方面研究,以期探明该属植物的起源和演化问题。

染色体核型分析是细胞分类学的一种主要研究手段,不仅可以确定物种间或群体间的亲缘关系,还能推测物种在进化过程中的演化历程<sup>[8]</sup>。如今,染色体核型分析已广泛应用于乌头属(*Aconitum* Linn.)<sup>[9]</sup>、蒲公英属(*Taraxacum* F. H. Wigg.)<sup>[10]</sup>、囊瓣芹属(*Pternopetalum* Franch.)<sup>[11]</sup>和淫羊藿属(*Epimedium* Linn.)<sup>[12]</sup>植物的亲缘关系分析,并为植

物资源利用、分类、系统演化及杂交亲本选配等提供了参考依据。

目前已有许多学者对铁线莲属植物染色体进行了相关研究。盛璐<sup>[13]42,[14]25-28</sup>采用常规染色体制片方法研究了铁线莲属23个种类的染色体核型,发现该属植物染色体数目较为稳定( $2n=16$ 或 $2n=32$ ),且主要由中部(m)和近端部(st)或端部(t)着丝点染色体组成,核型类型有“2A”和“2B”2种;任佳伦等<sup>[15]</sup>对13个铁线莲园艺品种进行了染色体核型分析,发现供试铁线莲品种均为二倍体,且同样主要由中部和近端部或端部着丝点染色体组成,核型类型均为“2A”;Kumar等<sup>[16]</sup>采用常规压片法研究了印度地区铁线莲属野生种类*C. flammula* Linn.(二倍体)和*C. orientalis* Linn.(四倍体)的染色体数目和核型,发现这2个种类主要由中部、近中部(sm)和近端部着丝点染色体组成;王娜等<sup>[17]</sup>对铁线莲属7个野生种的染色体核型分析结果表明:这些种类的染色体数目较为稳定( $2n=16$ 或 $2n=32$ ),主要由中部、近中部、近端部和端部着丝点染色体组成,核型类型均为“2A”;李明阳等<sup>[18]</sup>发现,供试铁线莲属21个野生种均为二倍体,染色体数为 $2n=16$ ,核型类型有“2A”和“2B”2种,并发现这些种类基于核型特征的分类结果与传统分类结果基本一致。尽管关于铁线莲属植物核型分析已有上述诸多研究报道,但这些研究并未在属下水平上进行分析,因此,研究结果的可靠性和代表性有限。

本研究以Wang<sup>[2]</sup>对铁线莲属铁线莲组植物的分类修订结果为基础,对铁线莲组10种植物进行染色体核型分析,在此基础上,基于核型似近系数对供试铁线莲组10种植物进行UPGMA聚类分析,以期铁线莲属植物的分类、演化、育种研究提供基础资料。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试铁线莲组 10 种植物(表 1)的苗木通过野外采集和购买的方式获得,均种植于南京中山植物园铁

线莲苗圃中,所有植株均生长良好且能够正常开花。每种植物随机选取 5 株样株,在 2021 年 5 月至 7 月收集成熟种子,无菌水浸种 1 d 后,在室温条件下进行种子萌发,在 2022 年 2 月至 3 月每种植物收集 30 个长 1.0~1.5 cm 的新生胚根或侧根,用于染色体核型分析。

表 1 铁线莲组 10 种植物的基本信息

Table 1 Basic information of ten species of Sect. *Viticella* DC.

种类 Species	类型 Type	来源 Source	研究部位 Research part
大花威灵仙 <i>Clematis courtoisii</i>	野生 Wild	中国浙江杭州 Hangzhou, Zhejiang, China	胚根 Radicle
铁线莲 <i>C. florida</i>	野生 Wild	日本爱知县春日井市 Kasugai, Aichi, Japan	胚根 Radicle
重瓣铁线莲 <i>C. florida</i> var. <i>plena</i>	栽培 Cultivated	中国虹越花卉股份有限公司 Hongyue Flower Co., Ltd., China	侧根 Lateral root
湘桂铁线莲 <i>C. xiangguiensis</i>	野生 Wild	中国广西桂林 Guilin, Guangxi, China	侧根 Lateral root
短柱铁线莲 <i>C. cadmia</i>	野生 Wild	中国江苏南京 Nanjing, Jiangsu, China	胚根 Radicle
转子莲 <i>C. patens</i>	野生 Wild	中国山东青岛 Qingdao, Shandong, China	胚根 Radicle
天台铁线莲 <i>C. patens</i> ssp. <i>tientaiensis</i>	野生 Wild	中国浙江台州 Taizhou, Zhejiang, China	胚根 Radicle
毛叶铁线莲 <i>C. lanuginosa</i>	野生 Wild	中国浙江宁波 Ningbo, Zhejiang, China	胚根 Radicle
吴兴铁线莲 <i>C. huchouensis</i>	野生 Wild	中国浙江湖州 Huzhou, Zhejiang, China	胚根 Radicle
意大利铁线莲 <i>C. viticella</i>	栽培 Cultivated	中国虹越花卉股份有限公司 Hongyue Flower Co., Ltd., China	侧根 Lateral root

### 1.2 染色体制片方法

取根尖,用无菌水清洗 2 遍后浸泡于质量体积分数 0.1% 秋水仙素溶液中,于室温、黑暗条件下静置 5 h;用无菌水清洗 2 遍,置于 V(无水乙醇):V(冰乙酸)=3:1 的混合溶液中,4 ℃ 条件下浸泡 20 h;用无菌水清洗 2 遍,置于浓度 1 mol·L<sup>-1</sup> HCl 溶液中,60 ℃ 水浴条件下保温 10 min;用无菌水清洗 2 遍,取根尖端长约 2 mm 的乳白色部位,置于载玻片上,用滤纸吸干水分,使用改良的卡宝品红溶液(上海懋康生物科技有限公司)染色 10 min,盖上盖玻片,轻敲并压片;使用 Nikon M322E 显微镜(日本 Nikon 公司)进行镜检观察,确定具有分生组织且细胞染色体分散良好的区域,将物镜转成 100 倍油镜进行观察,对视野内处于有丝分裂中期的细胞进行观察和拍照。

### 1.3 核型参数计算

根据 Levan 等<sup>[19]</sup>的公式计算核型分析各项参数,按照 Stebbins<sup>[20]87-89</sup>和李懋学等<sup>[21]</sup>的方法进行核型分类。用 Adobe Photoshop CS6 软件进行基本图像处理 and 同源染色体配对;用 ImagicJ 软件测量染色体长臂和短臂的相对长度,用 EXCEL 2021MSO 软件将测量数据按照染色体相对长度从大到小的顺序重新排列,并计算最长染色体与最短染色体相对长度的比值、平均臂比、核型不对称系数和着丝点指数。每种

植物统计 30 个细胞分裂相,85% 以上分裂相的染色体数一致,该数值即为植物的染色体数。

采用 Carlos<sup>[22]</sup>的方法,使用 GraphPad Prism 8 软件以平均臂比为横坐标、核型不对称系数为纵坐标绘制染色体核型不对称性散布图。植物位置越偏向右上方,说明植物的核型不对称性越强,进化程度越高;植物位置越靠近左下角,说明其核型不对称性越弱,进化程度越低。

按照谭远德等<sup>[23]</sup>的方法计算核型似近系数,使用 R 语言中的 dist 函数计算核型似近系数矩阵,使用 R 语言中的 hclust 函数进行 UPGMA 聚类分析,并使用 R 语言中的 plot 函数将聚类结果可视化。

## 2 结果和分析

### 2.1 核型分析

观测结果(表 2)表明:铁线莲组 10 种植物均为二倍体(2n=2x=16),染色体基数均为 8。10 种植物的多数染色体为中部着丝点染色体,部分染色体为近端部着丝点染色体,少数染色体为近中部或端部着丝点染色体。其中,大花威灵仙(*C. courtoisii* Hand.-Mazz.)由中部和近端部着丝点染色体组成,铁线莲和重瓣铁线莲(*C. florida* var. *plena* D. Don)由中

部、近中部和近端部着丝点染色体组成,其余植物由中部、近端部和端部着丝点染色体组成。10种植物中,吴兴铁线莲(*C. huchouensis* Tamura)的染色体相对长度范围及最长染色体与最短染色体相对长度的比值均最大,而湘桂铁线莲(*C. xiangguiensis* W. T. Wang)的染色体相对长度范围及最长染色体与最短染色体相对长度的比值均最小(重瓣铁线莲的最长染色体与最短染色体相对长度的比值也最小);转子莲的臂比范围最大,铁线莲的臂比范围最小;吴兴铁线莲的平均臂比最大,接下来依次为短柱铁线莲(*C.*

*cadmia* Buch.-Ham. ex Wall.)和意大利铁线莲,其余植物的平均臂比均小于3。供试植物中,吴兴铁线莲和意大利铁线莲的核型为“2B”,其余植物的核型均为“2A”;短柱铁线莲的核型不对称系数最大、着丝点指数最小,而天台铁线莲[*C. patens* ssp. *tientaiensis* (M. Y. Fang) W. T. Wang]恰好相反,其核型不对称系数最小、着丝点指数最大。

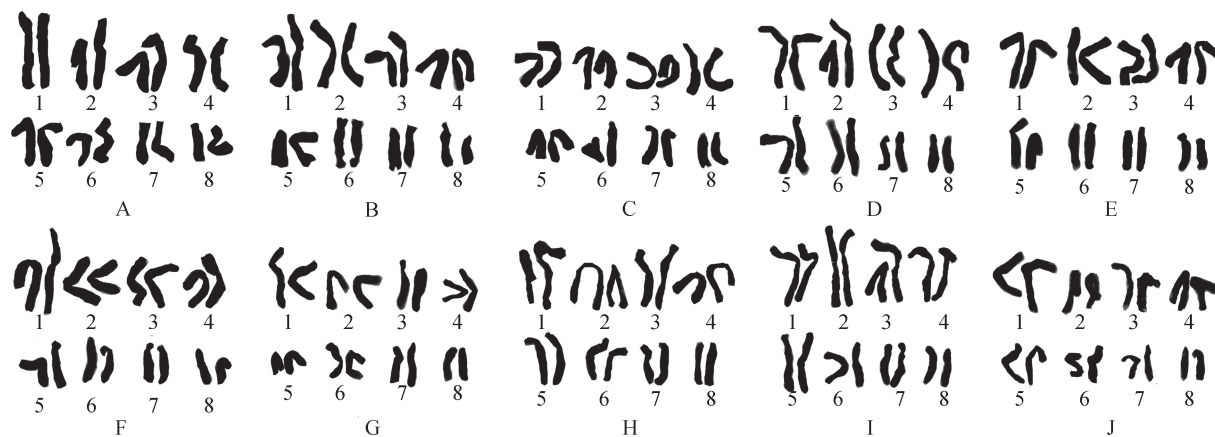
从供试10种植物的染色体形态(图1)和染色体核型模式图(图2)看,第1至第5对染色体均为中部着丝点染色体,第6至第8对染色体则为近中部、近

表2 铁线莲组10种植物的核型特征<sup>1)</sup>  
Table 2 Karyotype characteristics of ten species of Sect. *Viticella* DC.<sup>1)</sup>

种类 Species	倍性 Ploidy	核型公式 <sup>2)</sup> Karyotype formula <sup>2)</sup>	LR	R	臂比范围 Arm ratio range	平均臂比 Average arm ratio	K	C/%	CI/%
大花威灵仙 <i>Clematis courtoisii</i>	2n=2x=16	10m+6st	8.58-16.40	1.91	1.37-5.93	2.88	2A	64.90	32.40
铁线莲 <i>C. florida</i>	2n=2x=16	10m+2sm+4st	9.00-16.78	1.86	1.19-4.06	2.65	2A	63.30	34.32
重瓣铁线莲 <i>C. florida</i> var. <i>plena</i>	2n=2x=16	10m+2sm+4st	9.30-16.77	1.80	1.23-4.88	2.33	2A	63.18	34.87
湘桂铁线莲 <i>C. xiangguiensis</i>	2n=2x=16	10m+4st+2t	9.12-16.44	1.80	1.32-7.25	2.97	2A	64.79	33.06
短柱铁线莲 <i>C. cadmia</i>	2n=2x=16	10m+4st+2t	8.79-17.56	2.00	1.27-7.42	3.13	2A	65.78	31.88
转子莲 <i>C. patens</i>	2n=2x=16	10m+4st+2t	8.29-16.10	1.94	1.11-8.50	2.81	2A	62.67	34.42
天台铁线莲 <i>C. patens</i> ssp. <i>tientaiensis</i>	2n=2x=16	10m+4st+2t	8.28-16.51	1.99	1.12-7.54	2.88	2A	61.28	35.27
毛叶铁线莲 <i>C. lanuginosa</i>	2n=2x=16	10m+4st+2t	8.16-16.01	1.96	1.20-7.14	2.99	2A	63.65	33.37
吴兴铁线莲 <i>C. huchouensis</i>	2n=2x=16	10m+4st+2t	8.34-17.87	2.14	1.22-8.50	3.15	2B	63.79	32.96
意大利铁线莲 <i>C. viticella</i>	2n=2x=16	10m+4st+2t	8.33-17.20	2.06	1.28-7.26	3.00	2B	63.03	33.85

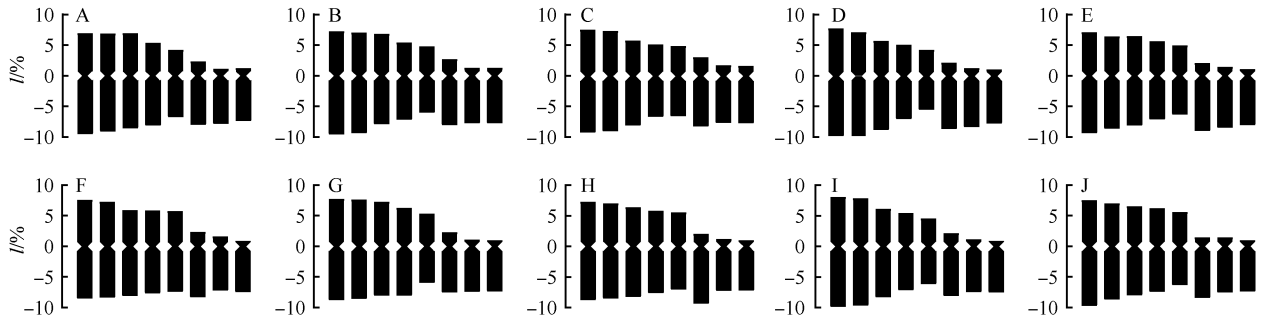
<sup>1)</sup> LR: 染色体相对长度范围 Chromosome relative length range; R: 最长染色体与最短染色体相对长度的比值 Ratio of relative length of the longest chromosome to the shortest chromosome; K: 核型 Karyotype; C: 核型不对称系数 Karyotype asymmetry coefficient; CI: 着丝点指数 Centromeric index.

<sup>2)</sup> m: 中部着丝点染色体 Median centromere chromosome; st: 近端部着丝点染色体 Subterminal centromere chromosome; sm: 近中部着丝点染色体 Submedian centromere chromosome; t: 端部着丝点染色体 Terminal centromere chromosome.



A: 大花威灵仙 *Clematis courtoisii* Hand.-Mazz.; B: 铁线莲 *C. florida* Thunb.; C: 重瓣铁线莲 *C. florida* var. *plena* D. Don; D: 湘桂铁线莲 *C. xiangguiensis* W. T. Wang; E: 短柱铁线莲 *C. cadmia* Buch.-Ham. ex Wall.; F: 转子莲 *C. patens* C. Morr. et Decne.; G: 毛叶铁线莲 *C. lanuginosa* Lindl.; H: 天台铁线莲 *C. patens* ssp. *tientaiensis* (M. Y. Fang) W. T. Wang; I: 吴兴铁线莲 *C. huchouensis* Tamura; J: 意大利铁线莲 *C. viticella* Linn.

图1 铁线莲组10种植物染色体形态  
Fig. 1 Chromosome morphologies of ten species of Sect. *Viticella* DC.



l: 染色体相对长度 Chromosome relative length.

A: 大花威灵仙 *Clematis courtoisii* Hand.-Mazz.; B: 铁线莲 *C. florida* Thunb.; C: 重瓣铁线莲 *C. florida* var. *plena* D. Don; D: 湘桂铁线莲 *C. xiangguiensis* W. T. Wang; E: 短柱铁线莲 *C. cadmia* Buch.-Ham. ex Wall.; F: 转子莲 *C. patens* C. Morr. et Decne.; G: 毛叶铁线莲 *C. lanuginosa* Lindl.; H: 天台铁线莲 *C. patens* ssp. *tientaiensis* (M. Y. Fang) W. T. Wang; I: 吴兴铁线莲 *C. huchouensis* Tamura; J: 意大利铁线莲 *C. viticella* Linn.

图 2 铁线莲组 10 种植物染色体核型模式图  
Fig. 2 Chromosome karyotype pattern diagram of ten species of Sect. *Viticella* DC.

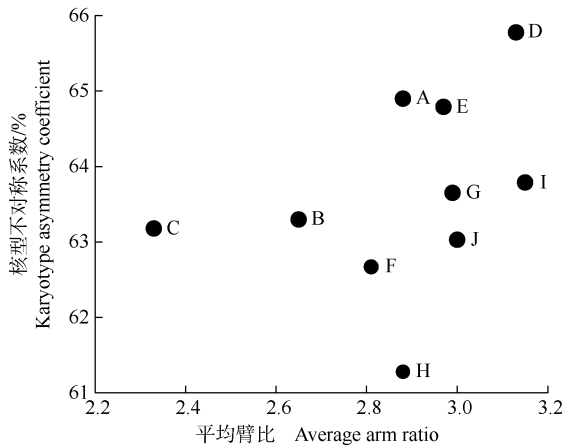
端部或端部着丝点染色体,说明铁线莲组供试 10 种植物的染色体核型较为相似。

### 2.2 核型进化趋势分析

从铁线莲组 10 种植物的核型不对称性散布图(图 3)看:相对而言,重瓣铁线莲、天台铁线莲、铁线莲和转子莲位于左下角,其余 6 种植物位于右上角。

### 2.3 基于核型似近系数的聚类分析

基于核型似近系数对铁线莲组 10 种植物进行聚类分析,结果(图 4)表明:在核型似近系数为 0.948



A: 大花威灵仙 *Clematis courtoisii* Hand.-Mazz.; B: 铁线莲 *C. florida* Thunb.; C: 重瓣铁线莲 *C. florida* var. *plena* D. Don; D: 湘桂铁线莲 *C. xiangguiensis* W. T. Wang; E: 短柱铁线莲 *C. cadmia* Buch.-Ham. ex Wall.; F: 转子莲 *C. patens* C. Morr. et Decne.; G: 毛叶铁线莲 *C. lanuginosa* Lindl.; H: 天台铁线莲 *C. patens* ssp. *tientaiensis* (M. Y. Fang) W. T. Wang; I: 吴兴铁线莲 *C. huchouensis* Tamura; J: 意大利铁线莲 *C. viticella* Linn.

图 3 铁线莲组 10 种植物核型不对称性散布图  
Fig. 3 Scatter diagram of karyotype asymmetry of 10 species of Sect. *Viticella* DC.

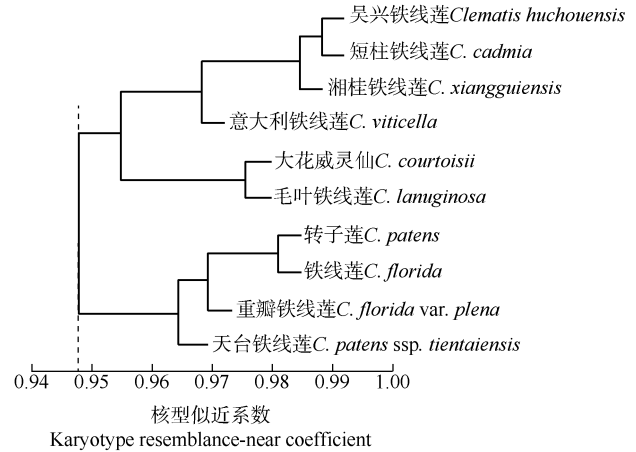


图 4 基于核型似近系数的铁线莲组 10 种植物聚类图  
Fig. 4 Cluster diagram of ten species of Sect. *Viticella* DC. based on karyotype resemblance-near coefficient

处,吴兴铁线莲、短柱铁线莲、湘桂铁线莲、意大利铁线莲、大花威灵仙和毛叶铁线莲为一组,铁线莲、重瓣铁线莲、转子莲和天台铁线莲为另一组。

## 3 讨 论

染色体核型分析是一种探索不同物种或品种亲缘关系和演化趋势的重要研究方法<sup>[24]</sup>。研究者可通过比较染色体的形态、数量和结构差异,了解植物属下或种下等级间的相似性和差异性。核型相似程度能够反映物种间的核型同源性及其亲缘关系<sup>[25]</sup>。当 2 个物种染色体组成相似时,往往意味着他们在进化过程中具有共同祖先,并且遗传信息较为一致。若

2个物种核型差异明显,则表明他们在进化过程中可能经历了不同路径,并发生了基因组重排或突变。

本研究对铁线莲组10种植物的染色体核型进行了详细研究,并首次报道了大花威灵仙、铁线莲、湘桂铁线莲和天台铁线莲的核型。研究结果显示:供试铁线莲组植物核型公式有3种,其中,大花威灵仙的核型公式为 $10m+6st$ ,铁线莲和重瓣铁线莲的核型公式为 $10m+2sm+4st$ ,其余7种植物的核型公式均为 $10m+4st+2t$ 。比较发现,本研究得到的核型结果与已有报道存在差异。例如:转子莲的核型与盛璐<sup>[14]19-21</sup>和王娜等<sup>[17]</sup>的研究结果一致,但与龚维忠等<sup>[26]</sup>的研究结果存在差异,这可能与样本来源不同有关;吴兴铁线莲的核型与盛璐<sup>[13]22-23</sup>的研究结果一致,但不同于张懿鲤<sup>[27]</sup>的研究结果,可能是使用的预处理剂不同或样本来源不同所致。值得注意的是,不同地理环境造成的自然选择压力各异,因此,不同地区的同种植物可能会在细胞分裂或染色体重组过程中出现染色体结构变异,这对植物进化具有重要作用<sup>[28]</sup>。

有研究表明:在植物的不同属间、种间和种内,染色体的分化程度通常不同,核型类型相近的植物往往具有高度类似的核型特征<sup>[29]</sup>。供试铁线莲组10种植物的核型结构具有一些共同特征:1)第1至第5对染色体均为中部着丝点染色体,而第6至第8对染色体则为近中部、近端部或端部着丝点染色体;2)这些植物的核型不对称系数较为接近(61.28%~65.78%),平均臂比介于2.33~3.15之间,说明这些铁线莲组植物在细胞水平上的变异范围较小,染色体在这些物种形成过程中仅仅发生了微小的或隐形的变化,并没有发生结构变化<sup>[30]</sup>。一般来说,在被子植物的系统演化中,处于比较古老或原始状态的植物往往具有较为对称的核型,而不对称的核型通常出现在较为进化或特化的植物中<sup>[20]15-17,[31]</sup>。吴兴铁线莲和意大利铁线莲的核型为“2B”,属于不对称性较高的核型,由此推断这2种植物在铁线莲组植物的系统演化中属于较进化的种类;其余8种植物的核型均为“2A”,属于不对称性较低的核型,因此,这些植物在铁线莲组植物的系统演化中属于较原始的种类。从铁线莲组10种植物核型不对称性散布图来看,重瓣铁线莲、天台铁线莲、铁线莲和转子莲均位于左下角,说明这些植物的核型不对称性较低,处于相对原始的地位。

基于核型似近系数的聚类分析结果表明:吴兴铁线莲、短柱铁线莲、湘桂铁线莲、意大利铁线莲、大花

威灵仙和毛叶铁线莲为一组,这6个种类的核型不对称系数相对较高,着丝点指数相对较低;铁线莲、重瓣铁线莲、转子莲和天台铁线莲为另一组,这4个种类的核型不对称系数相对较低,着丝点指数相对较高。比较发现,此聚类结果与Wang<sup>[2]</sup>依据形态性状进行的传统分类结果并不完全一致。说明使用核型似近系数进行聚类分析能够为了解植物种间的进化关系提供细胞水平的佐证材料。

从核型不对称性散布图和基于核型似近系数的聚类图看,大花威灵仙、毛叶铁线莲、吴兴铁线莲、湘桂铁线莲、意大利铁线莲和短柱铁线莲的核型不对称性较强,进化程度较高;铁线莲、重瓣铁线莲、转子莲和天台铁线莲的核型不对称性较弱,进化程度较低。

值得注意的是,本研究只对铁线莲组10种植物进行了染色体核型研究,样本量较小,研究结果能否真实反映铁线莲组植物亲缘关系的实际情况有待验证。未来应扩大样本量,对更多不同的组和系的铁线莲属植物进行染色体核型研究,以期更全面地了解铁线莲属植物的遗传多样性和亲缘关系。另外,本研究仅采用细胞学方法进行研究,后续研究可结合分子标记等方法,对铁线莲属植物进行更深入的研究。

#### 参考文献:

- [1] SOCIETY T R H. The International Clematis Register and Checklist 2002: Fifth Supplement[M]. Norwich: Page Bros, 2015: 2-3.
- [2] WANG W T. A revision of *Clematis* sect. *Viticella* (Ranunculaceae) [J]. 广西植物, 2007, 27(1): 1-28.
- [3] MOENCH C. Methodus Plantas Horti Botanici et Agri Marburgensis a Staminum Situ Describendi[M]. Margburgi Cattorum: Officina Nova Libraria Academiae, 1794: 23.
- [4] DE CANDOLLE A P. Regni Vegetabilis Systema Naturale: Vol. 1 [M]. Paris: [s. n.], 1818: 131-167.
- [5] 王文采, 李良千. 铁线莲属一新分类系统[J]. 植物分类学报, 2005, 43(5): 431-488.
- [6] LEHTONEN S, CHRISTENHUSZ M J M, FALCK D. Sensitive phylogenetics of *Clematis* and its position in Ranunculaceae [J]. Botanical Journal of the Linnean Society, 2016, 182: 825-867.
- [7] 余伟军, 姚红, 孙瑞琦, 等. 铁线莲属植物 ISSR-PCR 反应体系优化及遗传多样性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2019, 28(2): 42-48.
- [8] 母锡金, 王伏雄. 芍药胚和胚乳早期发育的研究[J]. 植物学报, 1985, 27(1): 7-12.
- [9] 杨亲二, 汪小全, 洪德元. 国产7种乌头属植物的核型研究[J]. 植物资源与环境, 1993, 2(2): 33-38.
- [10] 乔永刚, 王勇飞, 曹亚萍, 等. 13种蒲公英属植物核型似近系数聚类分析[J]. 草地学报, 2020, 28(1): 285-290.

- [11] 李慧敏, 周 伟, 宋春风. 伞形科囊瓣芹属 2 种类的核型分析[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(1): 69-71.
- [12] 陈永毕, 李 双, 吴 静, 等. 基于淫羊藿属(*Epimedium* L.) 核型似近系数的聚类分析及其系统演化意义[J]. 广西植物, 2021, 41(1): 55-67.
- [13] 盛 璐. 铁线莲属 16 种植物的核型分析[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [14] 盛 璐. 铁线莲属植物的核型分析及分子系统学研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2015.
- [15] 任佳伦, 季梦成, 赵 爽, 等. 13 个铁线莲品种的核型比较分析[J]. 浙江农林大学学报, 2016, 33(6): 1033-1039.
- [16] KUMAR P, SINGHAL V K, ANDRADA A R, et al. Chromosome count and karyotype of two species of *Clematis* (Ranunculaceae) [J]. Botany Letters, 2017, 164(2): 177-181.
- [17] 王 娜, 王奎玲, 刘庆华, 等. 七种野生铁线莲属植物核型分析[J]. 草业学报, 2017, 26(11): 123-130.
- [18] 李明阳, 刘彦泽, 王 鑫, 等. 铁线莲属 21 个类群的染色体核型分析[J]. 广西植物, 2022, 42(1): 78-89.
- [19] LEVAN A, FREDGA K, SANDBERG A A. Nomenclature for centromeric position on chromosomes [J]. Hereditas, 1964: 201-220.
- [20] STEBBINS G L. Chromosomal Evolution in Higher Plants [M]. London: Edward Arnold, 1971.
- [21] 李懋学, 陈瑞阳. 关于植物核型分析的标准化问题[J]. 武汉植物学研究, 1985, 3(4): 297-302.
- [22] CARLOS R Z. A new method for estimating karyotype asymmetry [J]. Taxon, 1986, 35(3): 526-530.
- [23] 谭远德, 吴昌谋. 核型似近系数的聚类分析方法[J]. 遗传学报, 1993, 20(4): 305-311.
- [24] CUI L, CHEN T, ZHAO X, et al. Karyotype analysis, genomic and fluorescence *in situ* hybridization (GISH and FISH) reveal the ploidy and parental origin of chromosomes in *Paeonia* Itoh hybrids [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(19): 11406.
- [25] 宋 芸, 乔永刚, 吴玉香. 6 种柴胡属植物核型似近系数聚类分析[J]. 中国中药杂志, 2012, 37(8): 1157-1160.
- [26] 龚维忠, 龙雅宜, 李懋学. 北京地区铁线莲属植物的核型研究[J]. 武汉植物学研究, 1985, 3(4): 371-379.
- [27] 张镜铨. 7 种铁线莲的染色体研究[J]. 武汉植物学研究, 1991, 9(2): 107-111.
- [28] DE OLIVEIRA L D, DA SILVA W O, DA COSTA M J R, et al. Genetic diversity analysis in the Brazilian Amazon reveals a new evolutionary lineage and new karyotype for the genus *Mesomys* (Rodentia, Echimyidae, Eumysopinae) [J]. PLoS ONE, 2023, 18(10): e0291797.
- [29] КИКНАДЗЕ И И, МИХАЙЛОВА П, ИСТОМИНА А Г, и др. Хромосомный полиморфизм и дивергенция популяций *Chironomus nuditaris* Str. (Diptera, Chironomidae) [J]. Цитология, 2006, 48(7): 595-609.
- [30] PANDA E, DEHERY S K, PRADHAN C, et al. Study of karyotype asymmetry and chromosome number in seven cooking bananas (*Musa acuminata* L.) [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences, 2023, 93(2): 387-395.
- [31] WU F, TANKSLEY S D. Chromosomal evolution in the plant family Solanaceae [J]. BMC Genomics, 2010, 11: 182.

(责任编辑: 佟金凤)

(上接第 98 页 Continued from page 98)

- [35] 吕 伟, 韩俊梅, 文 飞, 等. 不同来源芝麻种质资源的表型多样性分析[J]. 植物遗传资源学报, 2020, 21(1): 234-242, 251.
- [36] 姚佳睿, 吕金钊, 陈 康, 等. 不同油菜品种萌发期耐热指标筛选及耐热性评价[J]. 西北农业学报, 2024, 33(3): 511-520.
- [37] 刘照德, 詹秋泉, 田国梁. 因子分析综合评价研究综述[J]. 统计与决策, 2019, 35(19): 68-73.
- [38] 王莉飞, 徐佳洁, 黄晓霞, 等. 57 份现代月季种质资源表型性状及综合评价[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2022, 42(1): 83-90.
- [39] 史星雲, 徐珊珊, 李艳冬, 等. 基于主成分和聚类分析对切花百合品质的综合评价[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2023, 54(4): 510-516.
- [40] NING X, SU J, ZHANG X, et al. Evaluation of volatile compounds in tea chrysanthemum cultivars and elite hybrids [J]. Scientia Horticulturae, 2023, 320: 112218.
- [41] 刘光杨, 周 炜, 陈 磊, 等. 11 个睡莲品种的耐阴性综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2020, 29(1): 44-51.
- [42] 施旭丽, 朱安超, 陈发棣, 等. 17 个菊花品种幼苗的耐镉性评价[J]. 植物资源与环境学报, 2015, 24(3): 50-59.
- [43] 刘立成, 余 刚, 张 莹, 等. 扦插时间对蜡实插穗生根率和相关指标的影响及生根效应综合评价[J]. 植物资源与环境学报, 2016, 25(2): 48-54.
- [44] 韩 岱, 时晓磊, 丁孙磊, 等. 60 份大豆种质资源苗期耐盐性鉴定评价[J]. 大豆科学, 2023, 42(4): 494-505.
- [45] 李阿蕾, 戴志刚, 陈基权, 等. 239 份长果种黄麻种质资源萌发期耐镉性评价及耐镉资源筛选[J]. 作物学报, 2023, 49(10): 2677-2686.

(责任编辑: 佟金凤)