

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.22110

汪琦, 徐珂, 陈庭巧, 解梦雨, 刘秀丽, 李进宇, 袁涛. 溲疏属 4 种植物花芽分化观察[J]. 植物科学学报, 2023, 41(1): 7-16

Wang Q, Xu K, Chen TQ, Xie MY, Liu XL, Li JY, Yuan T. Flower bud differentiation of four species of *Deutzia*[J]. *Plant Science Journal*, 2023, 41(1): 7-16

溲疏属 4 种植物花芽分化观察

汪琦¹, 徐珂¹, 陈庭巧¹, 解梦雨¹, 刘秀丽^{1*}, 李进宇^{2*}, 袁涛^{1*}

(1. 北京林业大学园林学院, 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 国家花卉工程技术研究中心, 城乡生态环境北京实验室, 园林环境教育部工程研究中心, 林木花卉遗传育种教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北京市园林绿化科学研究院, 北京 100102)

摘要: 本文观察测量了北京地区生长的大花溲疏 (*Deutzia grandiflora* Bunge)、小花溲疏 (*D. parviflora* Bunge)、溲疏 (*D. scabra* Thunb.) 和长江溲疏 (*D. schneideriana* Rehd.) 的花芽分化过程、花芽分化外部形态和花芽着生位置。4 种溲疏的花芽主要为顶芽和侧芽, 分化类型为夏秋分化型, 花芽分化过程分为 7 个时期: 未分化期、分化初期、花序原基分化期、萼片原基分化期、花瓣原基分化期、雄蕊原基分化期、雌蕊原基分化期。各轮花器官均为向心式发生, 发育方式有两类, 溲疏和长江溲疏为向心式发育, 大花溲疏和小花溲疏花瓣发育先于花萼。花芽统计结果揭示了溲疏属植物开花繁茂的原因是其芽数量大、花芽分化率高以及小花数量多, 芽的纵径结合季节可较准确地反映花芽分化所处阶段, 花器官发育方式支持溲疏和长江溲疏亲缘关系较近。

关键词: 溲疏属; 花芽分化; 花芽形态; 石蜡切片

中图分类号: Q944

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2023)01-0007-10

Flower bud differentiation of four species of *Deutzia*

Wang Qi¹, Xu Ke¹, Chen Ting-Qiao¹, Xie Meng-Yu¹, Liu Xiu-Li^{1*}, Li Jin-Yu^{2*}, Yuan Tao^{1*}

(1. Beijing Key Laboratory of Ornamental Plants Germplasm Innovation & Molecular Breeding, National Engineering Research Center for Floriculture, Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Engineering Research Center of Landscape Environment of Ministry of Education, Key Laboratory of Genetics and Breeding in Forest Trees and Ornamental Plants of Ministry of Education, School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Academy of Forestry and Landscape Architecture, Beijing 100102, China)

Abstract: We studied the differentiation process, internal and external morphological changes, and growth positions of flower buds of *Deutzia grandiflora* Bunge, *D. parviflora* Bunge, *D. scabra* Thunb., and *D. Schneideriana* Rehd. in Beijing by paraffin sectioning and photo measurement. We found that the flower buds of the four species were mainly crown buds and side buds, with summer and autumn differentiation types. Flower bud differentiation was divided into seven periods: undifferentiated, initial differentiation, inflorescence primordial differentiation, flower primordium differentiation, petal primordium differentiation, stamen primordium differentiation, and pistil primordium differentiation periods. The flower organs of each whorl were centripetal, with two types of developmental patterns. Notably, *D. scabra* and *D. Schneideriana* were centripetal, while the petals of *D. grandiflora* and *D. parviflora* developed earlier than their sepals. Results showed that *Deutzia* species flourish due to the presence of many buds, high differentiation rate of flower buds, and large number of florets. The longitudinal diameter of flower buds combined with the season accurately reflected the flower

收稿日期: 2022-06-03, 修回日期: 2022-07-23。

基金项目: 北京林业大学建设世界一流学科和特色发展引导专项 (2019XKJS0324)。

This work was supported by a grant from the Special Fund for Beijing Common Construction Project, World-Class Discipline Construction and Characteristic Development Guidance Funds for Beijing Forestry University (2019XKJS0324).

作者简介: 汪琦 (1997-), 女, 博士研究生, 研究方向为花卉种质资源与遗传育种 (E-mail: 2395529974@qq.com)。

* 通讯作者 (Authors for correspondence. E-mail: showlyliu@126.com; xlcylee@126.com; yuantao@bjfu.edu.cn)。

bud differentiation period. The pattern of flower organ development supported a close relationship between *D. scabra* and *D. Schneideriana*.

Key words: *Deutzia*; Flower bud differentiation; Flower bud morphology; Paraffin slices

溲疏属 (*Deutzia*) 为虎耳草科绣球花亚科落叶灌木, 稀半常绿。世界范围内溲疏属植物约 60 种, 我国是其主要分布区, 有 53 种 (其中 2 种为引种或已归化种) 1 亚种 19 变种, 占全属种数的 80%。溲疏属植物常生于沟谷、林缘及岩石缝中, 耐干旱瘠薄, 适应性强^[1], 许多种类还具有较强的耐阴性^[2-4]。其花朵繁密, 花色或素净或艳丽, 多在初夏开放, 观赏价值高, 是优良的花灌木^[1]。目前英国皇家园艺学会 (Royal Horticultural Society, RHS) 可查的溲疏属园艺品种近 100 个, 主要是在 19 世纪末至 20 世纪初的欧洲, 以紫花溲疏 (*D. purpurascens* (Franchet ex L. Henry) Rehd.) 和异色溲疏 (*D. discolor* Hemsl.) 等为亲本育成, 而大量原种未参与杂交^[5]。我国是溲疏属资源大国, 但国内资源大多处于野生状态, 育种工作几乎仍为空白, 因此我国溲疏属资源利用和新品种培育大有潜力。

花芽分化是植物从营养生长进入生殖生长的标志, 对有花植物的生长发育十分重要, 花芽分化的数量和质量直接影响来年开花与结果的数量和质量。而现阶段溲疏属植物研究内容主要在分类学^[6-9]、栽培繁殖^[10-13]和生理生态^[14-17]等方面, 分子生物学^[18-23]也有涉及, 但花芽分化相关研究尚未见报道, 目前仅有其近缘植物绣球属 (*Hydrangea*) 的马桑绣球 (*H. aspera* D. Don)^[24]和茶藨子属 (*Ribes*) 的东北茶藨子 (*R. mandshuricum* (Maxim.) Kom.)^[25]的花芽分化研究报道。

溲疏属植物花多美丽, 有圆锥花序、伞房花序和聚伞花序^[1]。本研究选择的实验材料大花溲疏

(*Deutzia grandiflora* Bunge) 为聚伞花序, 小花溲疏 (*D. parviflora* Bunge) 为伞房花序, 溲疏 (*D. scabra* Thunb.) 和长江溲疏 (*D. schneideriana* Rehd.) 为圆锥花序, 涉及 3 种花序类型, 分析它们的花芽分化规律和特点, 对了解溲疏属植物的花发育具有重要意义。本文统计了上述 4 种植物的花芽着生位置, 对其花芽分化类型、花芽分化时期及花器官发育方式进行了研究, 同时, 结合花芽分化过程中的外部形态, 分析其花芽分化阶段与花芽形态的对应关系, 从外观上把握花芽分化阶段, 研究结果旨在为溲疏属植物花量与花期调控和杂交育种等提供参考。

1 材料与方法

供试材料均取自北京地区生长多年的健壮植株, 大花溲疏和小花溲疏为北京地区乡土植物^[26], 溲疏和长江溲疏为引入种类。4 种溲疏的凭证标本保存在北京林业大学标本馆 (BJFC), 材料来源和开花特性见表 1。

1.1 花芽数量统计

2021 年 3 月, 选择生长健壮的植株 3 株, 每株随机选取中上部一年生枝条 10 枝, 标记顶芽、枝条中部和基部侧芽, 于花期统计以上 3 类芽中开花数量 (即花芽) 及其所占比例。

1.2 花芽分化过程观察

2019 年 6 月 - 2021 年 4 月, 每隔 7 ~ 14 d, 选取当年生枝条上芽体饱满、大小近似的芽 6 ~ 8 个, 用游标卡尺测定花芽纵径 (芽顶部至基部的距离) 和横径 (芽最宽处的宽度); 剥除外层芽

表 1 溲疏属 4 种植物来源和开花特性
Table 1 Source and flowering characteristics of four *Deutzia* species

种名 Species	采集地点 Site	采集人 Collector	凭证标本 Voucher (BJFC)	花期 Anthesis	花序 Inflorescence
大花溲疏 <i>Deutzia grandiflora</i> Bunge	北京林业大学	汪琦	BJFU062801	4 月上旬	聚伞花序
小花溲疏 <i>Deutzia parviflora</i> Bunge	北京林业大学	汪琦	BJFU062802	5 月上旬	伞房花序
溲疏 <i>Deutzia scabra</i> Thunb.	国家植物园	汪琦	ZWYBY061101	5 月下旬	圆锥花序
长江溲疏 <i>Deutzia schneideriana</i> Rehd.	北京市海淀区百旺茉莉园	袁涛、刘秀丽	BWMLY060901	5 月下旬	圆锥花序

鳞，抽真空后用 FAA 固定液（70% 乙醇 90 mL、冰醋酸 5 mL、甲醛 5 mL 和甘油 5 mL 混合配制）固定 48 h，4℃ 保存。常规石蜡制片法^[27]，经 70% 乙醇冲洗，酒精梯度脱水，二甲苯透明，石蜡浸蜡、包埋，用轮转式切片机对花芽进行纵切（厚度 8 ~ 10 μm ），二甲苯脱蜡后经番红-固绿对染，中性树胶封片，利用 LEI-TECH CX40TRF 显微镜观察并拍照。

1.3 数据分析

实验数据采用 Excel 2010 和 SPSS 22 软件进行统计分析。分别采用单因素（One-way ANOVA）和 LSD 法进行方差分析和多重比较，数据为平均

值 \pm 标准差。

2 结果与分析

2.1 花芽位置及占比

根据新芽在一年生枝条上的着生位置，可分为顶芽、侧芽和枝条最下部的基部芽。由表 2 可知，4 种溲疏侧芽数量最多，基部芽数量最少；大花溲疏枝条短，单枝芽数量少，其余 3 种溲疏枝条长，单枝芽数量较多。从花芽比例上看，4 种溲疏顶芽和侧芽的花芽比例较高，基部芽较低；大花溲疏和小花溲疏的整体花芽比例较高，长江溲疏次之，溲疏最低。

表 2 溲疏属 4 种植物一年生枝条不同位置花芽数量及占比

Table 2 Number and proportion of flower buds at different locations on annual branches of four *Deutzia* species

种名 Species	顶芽 Crown bud			侧芽 Side bud			基部芽 Basal bud		
	数量 Total number	花芽数量 Number of flower buds	花芽比例 Flower bud ratio / %	数量 Total number	花芽数量 Number of flower buds	花芽比例 Flower bud ratio / %	数量 Total number	花芽数量 Number of flower buds	花芽比例 Flower bud ratio / %
大花溲疏	1.93 \pm 0.25	1.87 \pm 0.34	96.55	4.17 \pm 3.45	3.80 \pm 3.15	91.20	0.03 \pm 0.18	0	0
小花溲疏	1.93 \pm 1.03	1.90 \pm 1.04	98.28	17.10 \pm 9.36	14.57 \pm 7.65	85.19	0.53 \pm 0.67	0.36 \pm 0.60	68.75
溲疏	0.73 \pm 0.81	0.63 \pm 0.84	86.36	15.87 \pm 8.48	7.20 \pm 4.34	45.38	0.43 \pm 0.56	0	0
长江溲疏	2.20 \pm 0.08	2.10 \pm 1.08	95.45	25.26 \pm 4.42	14.10 \pm 9.60	55.82	0.70 \pm 0.78	0.17 \pm 0.45	24.29

2.2 花芽外部形态变化

4 种溲疏花芽分化时期不同，花芽外部形态也不同。植株处于末花期时，腋芽已肉眼可见但尚未分化，芽体较小，呈扁三角锥形（图 1：A1 ~ A4）；当开始分化时，腋芽由营养生长转为生殖生长，芽体依然呈扁三角锥状，但较未分化期饱满，褐色的芽鳞出现，芽体顶部变宽、增厚且较圆滑（图 1：B1 ~ B4）。花序原基分化期，芽体基部变宽、增厚，芽鳞颜色加深（图 1：C1 ~ C4），小花溲疏和溲疏花芽长度增长较快（图 1：D2、D3）。萼片原基分化期，芽整体伸长、中上部逐渐膨大，较花序原基分化期明显，芽的长宽厚持续增加，整个芽呈较饱满的圆锥形（图 1：D1、E2、E3、D4），长江溲疏的主芽外还出现了两个副芽（图 1：D4）。花瓣原基分化期，芽长度增加，基部变化小，宽厚增加不明显，芽呈长圆状（图 1：F2、F3、E4）；大花溲疏变化不明显（图 1：E1）。雄蕊分化期，大花溲疏和小花溲疏芽变化不明显（图 1：F1、G2），溲疏芽体更

加饱满，芽鳞开始剥落（图 1：G3），而长江溲疏主芽旁的副芽脱落，仅剩主芽（图 1：F4）。雌蕊分化期，大花溲疏的芽直到花芽分化完成其体积变化仍不明显（图 1：G1、H1），小花溲疏和长江溲疏芽体饱满，芽鳞开始有松动的迹象（图 1：H2、H4），而溲疏的芽在这一时期已经绽开（图 1：H3）。

比较花芽纵径和横径的变化，发现纵径在花芽分化各时期变化明显（表 3、表 4），而横径在花序原基分化期和雌蕊分化期才有较明显变化（表 4）。由表 3 可知，分化初期，4 种植物花芽纵径存在显著差异，溲疏花芽纵径在 1.57 mm 时启动花芽分化，大花溲疏、小花溲疏和长江溲疏分别在 2.41、4.93 和 4.44 mm 时启动花芽分化。溲疏花芽纵径在花序原基分化期变化最大，相对分化初期增长 3 倍左右。值得注意的是，花芽纵径和横径并非一直增长，大花溲疏花瓣原基分化期和雄蕊原基分化期的花芽纵径和横径相差不大，而小花溲疏和长江溲疏在雄蕊原基分化期的花芽

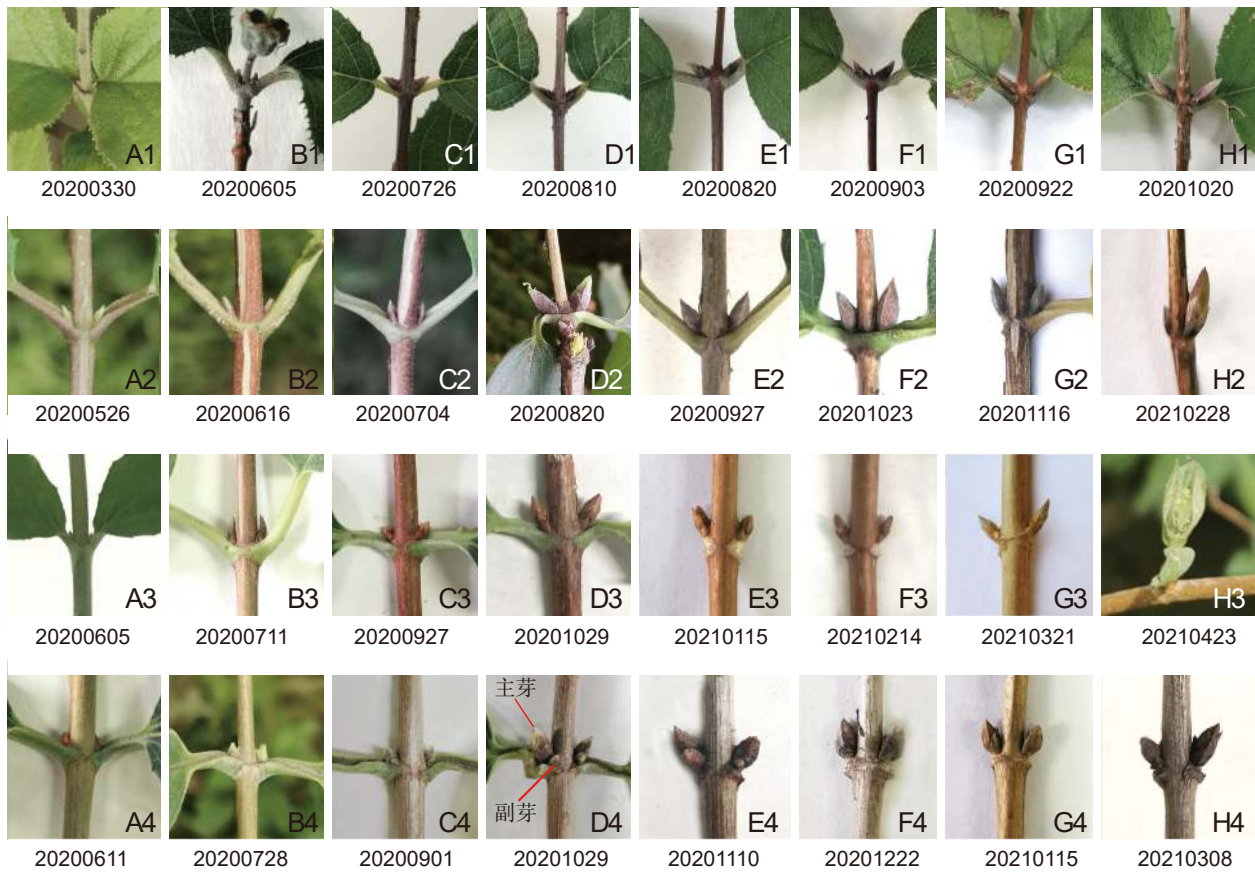


图 1 溲疏属 4 种植物花芽外部形态变化

Fig. 1 External morphological changes of flower buds of four *Deutzia* species

A1 ~ H1: 大花溲疏; A2 ~ H2: 小花溲疏; A3 ~ H3: 溲疏; A4 ~ H4: 长江溲疏。图下的数字为拍摄时间, 按年月日排列。
A1–H1: *D. grandiflora*; A2–H2: *D. parviflora*; A3–H3: *D. scabra*; A4–H4: *D. schneideriana*. Numbers below pictures are shooting time, arranged by year, month, and day.

表 3 溲疏属 4 种植物花芽纵径变化

Table 3 Changes in vertical diameter of flower buds of four *Deutzia* species

种名 Species	花芽纵径 Vertical diameter of flower buds / mm						
	未分化期 Undifferentiated period	分化初期 Initial differentiation period	花序原基分化期 Inflorescence primordium differentiation period	萼片原基分化期 Sepal primordium differentiation period	花瓣原基分化期 Petal primordium differentiation period	雄蕊原基分化期 Stamen primordium differentiation period	雌蕊原基分化期 Pistil primordium differentiation period
大花溲疏	1.63 ± 0.15b	2.41 ± 0.16c	3.23 ± 0.60c	3.79 ± 0.76c	4.95 ± 0.41c	4.86 ± 0.32c	5.16 ± 0.45b
小花溲疏	4.36 ± 0.74a	4.96 ± 0.11a	5.84 ± 0.76a	6.44 ± 0.46a	7.14 ± 0.90a	6.55 ± 0.82b	8.65 ± 2.58a
溲疏	1.40 ± 0.11b	1.57 ± 0.17d	4.25 ± 0.41b	5.48 ± 0.33b	6.15 ± 0.13b	7.67 ± 0.24a	9.03 ± 0.58a
长江溲疏	4.00 ± 0.41a	4.44 ± 0.82b	4.49 ± 1.46b	5.37 ± 0.79b	7.55 ± 1.15a	6.55 ± 0.59b	7.66 ± 0.56a

注: 同列不同小写字母代表差异显著 ($P < 0.05$)。下同。
Note: Different lowercase letters within same column indicate significant difference ($P < 0.05$). Same below.

纵径和横径均小于花瓣原基分化期。

2.3 花芽分化时期

4 种溲疏花芽分化均始于夏季 (表 5)。大花溲疏分化时间从 6 - 9 月, 历时 4 个月, 分化时间较短; 小花溲疏、溲疏和长江溲疏分化时间从 6

月至次年 3、4 月, 经历夏秋冬 3 季, 分化时间长。依据各部分的 分化情况, 花芽分化可划为 7 个时期: 未分化期、分化始期、花序原基分化期、萼片原基分化期、花瓣原基分化期、雄蕊原基分化期、雌蕊原基分化期。

表 4 溲疏属 4 种植物花芽横径变化
Table 4 Changes in horizontal diameter of flower buds of four *Deutzia* species

种名 Species	花芽横径 Horizontal diameter of flower buds / mm						
	未分化期 Undifferentiated period	分化初期 Initial differentiation period	花序原基分化期 Inflorescence primordium differentiation period	萼片原基分化期 Sepal primordium differentiation period	花瓣原基分化期 Petal primordium differentiation period	雄蕊原基分化期 Stamen primordium differentiation period	雌蕊原基分化期 Pistil primordium differentiation period
大花溲疏	0.88 ± 0.15c	1.06 ± 0.10c	1.20 ± 0.21d	1.27 ± 0.32c	1.56 ± 0.18c	1.50 ± 0.13c	1.63 ± 0.22c
小花溲疏	2.55 ± 0.27a	2.53 ± 0.40b	2.72 ± 0.23b	2.77 ± 0.27b	2.72 ± 0.22b	2.64 ± 0.24b	3.34 ± 0.58b
溲疏	1.28 ± 0.17b	1.26 ± 0.13c	1.85 ± 0.32c	2.74 ± 0.23b	2.79 ± 0.17b	3.27 ± 0.32a	4.70 ± 0.83a
长江溲疏	2.62 ± 0.18a	2.95 ± 0.41a	3.16 ± 0.73a	3.55 ± 0.33a	3.53 ± 0.36a	3.17 ± 0.28a	4.68 ± 0.55a

表 5 溲疏属 4 种植物花芽分化时期
Table 5 Flower bud differentiation period of four *Deutzia* species

种名 Species	花芽分化时期 Flower bud differentiation period						
	未分化期 Undifferentiated period	分化初期 Initial differentiation period	花序原基分化期 Inflorescence primordium differentiation period	萼片原基分化期 Sepal primordium differentiation period	花瓣原基分化期 Petal primordium differentiation period	雄蕊原基分化期 Stamen primordium differentiation period	雌蕊原基分化期 Pistil primordium differentiation period
大花溲疏	4 月上-5 月下旬	6 月	7 月	8 月上旬	8 月中旬	8 月下旬-9 月上旬	9 月中下旬
小花溲疏	5 月中-6 月上旬	6 月中下旬	7 月-9 月下旬	10 月上旬	10 月中下旬	11 月-12 月	1-3 月
溲疏	5 月下-6 月下旬	7 月上-8 月上旬	8 月中-次年 1 月上旬	1 月中-2 月上旬	2 月中-3 月中旬	3 月下旬	4 月
长江溲疏	5 月下-6 月中旬	6 月下-7 月上旬	7 月中-9 月上旬	9 月中-10 月中旬	10 月下-11 月中旬	11 月下-12 月下旬	1-4 月

2.4 花芽形态分化过程

4 种溲疏未分化期、分化初期、花瓣、雄蕊和雌蕊的分化过程相似，但花序和萼片分化有较大不同。

未分化期：花期过后，芽已形成，但未分化，此时芽体较小、生长点狭小而顶端较尖，芽体上方空间不多，纵切面呈锥形。由于生长点细胞活跃，分裂快，体积小而排列紧密，染色时生长点处颜色比其他部位略深（图 2：A1 ~ A4）。

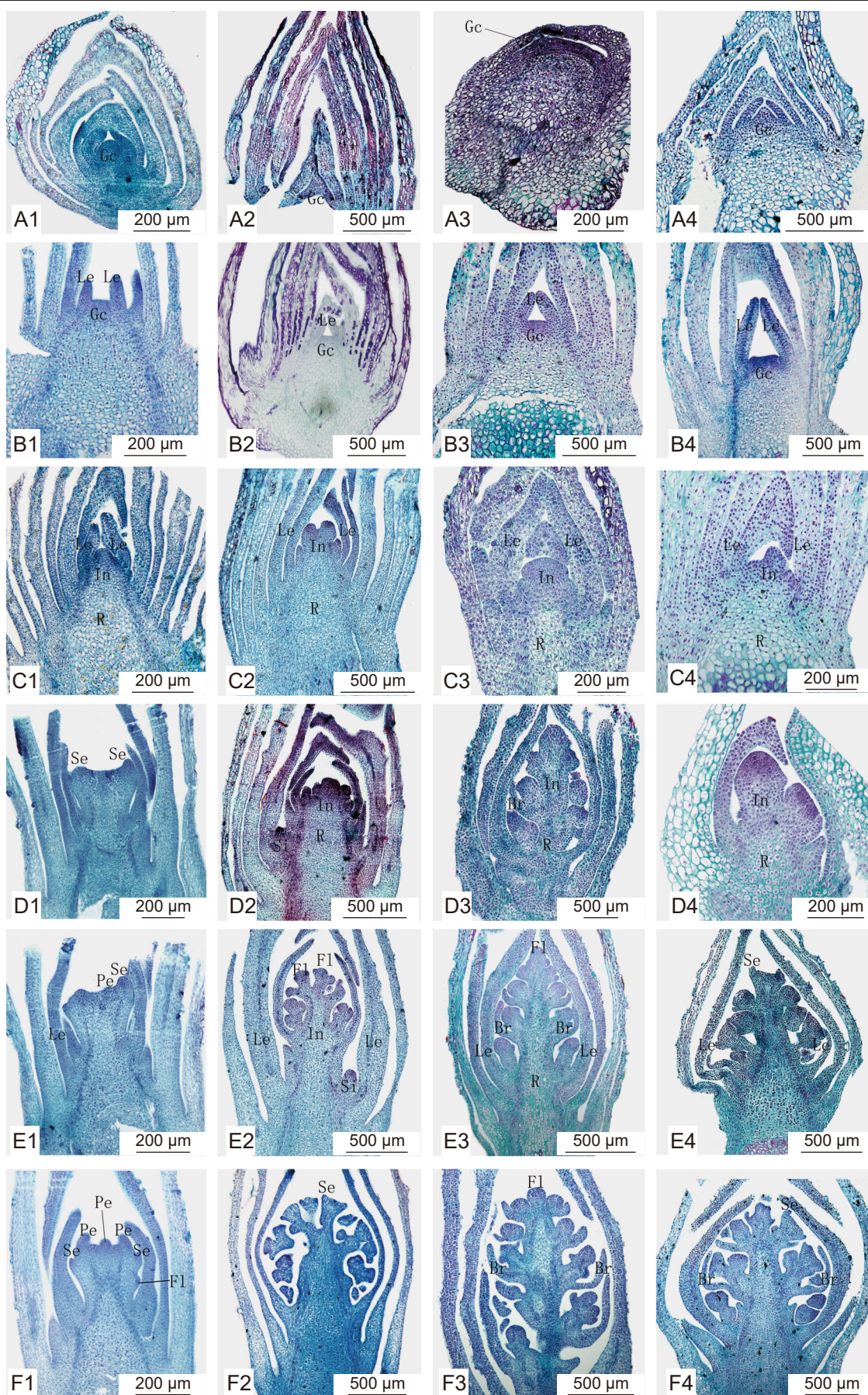
分化初期：6 月下旬芽体膨大，生长锥扁平，芽体上方的空间增大，生长锥旁侧有小的叶原基（图 2：B1 ~ B4）。

花序原基分化期：此阶段持续时间较长，芽体形态变化较大。开始时生长点伸长、膨大并隆起，逐渐分化出一个花序轴（图 2：C1 ~ C4）；小花溲疏和长江溲疏花序原基整体增大、伸长，生长锥周围凹陷、顶端形成多个突起（上部突起较大，下部突起较小，如图 2：D2、D4 所示）；随着总花序轴的进一步分化，由上到下形成多个小花原基（图 2：E2 ~ E4），有时下部还会形成侧花序原基（图 2：D2、E2、G2、G4）。大花溲

疏顶端仅分化出一个花序轴且不分枝（图 2：C1），随后顶花分化萼片和花瓣原基（图 2：D1、E1）。溲疏和长江溲疏除分化花序分枝外，还分化苞片原基（图 2：D3、F4）。

萼片原基分化期：小花原基的生长锥逐渐加宽，顶端的两层细胞排列平整、紧密有序，两端向上出现突起，即形成萼片原基（图 2：D1、F2、G2、G3、E4、F4）。溲疏和长江溲疏在花瓣原基出现时，萼片已内弯，并位于花顶分生组织上方（图 2：H3、G4）。

花瓣原基分化期：花瓣原基与萼片原基出现时间接近，在萼片原基的内侧出现新的突起，即花瓣原基。两侧的花瓣原基以不同的速度向内伸长，形成花瓣（图 2：E1、H2、H3、G4）。大花溲疏进入花瓣原基分化期时，一部分花序轴下部形成 1 ~ 2 个新突起，即小花原基（图 2：F1），新的小花比顶部小花分化慢（图 2：H1、J1），最终形成具 2 或 3 个小花的花序；而另一部分花序轴不分化小花原基（图 2：E1、G1、I1），最终只能形成单花。



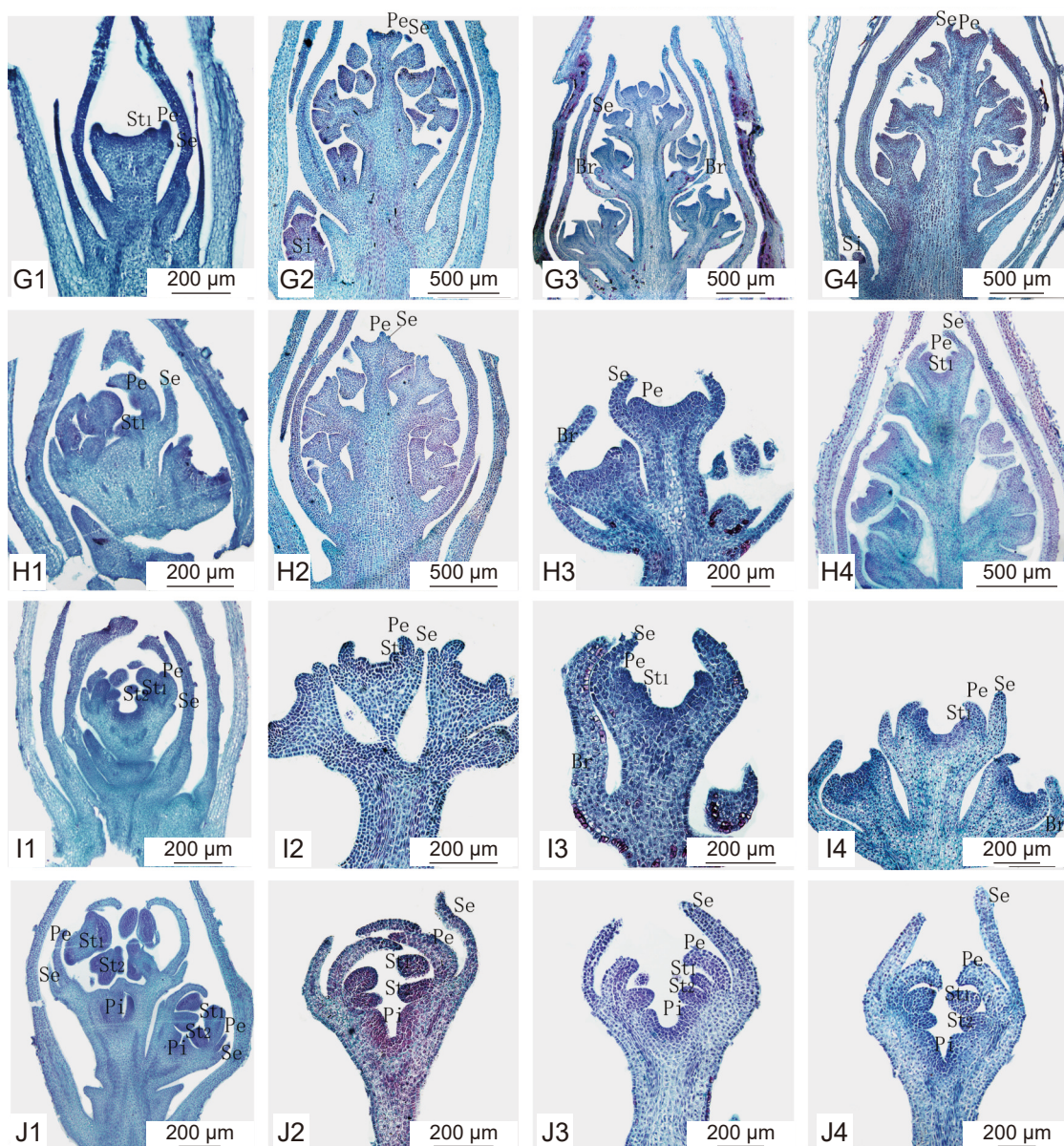


图 2 4 种溲疏花芽分化过程

Fig. 2 Differentiation of flower buds of four *Deutzia* species

A1~J1: 大花溲疏; A2~J2: 小花溲疏; A3~J3: 溲疏; A4~J4: 长江溲疏。A1~A4: 未分化期; B1~B4: 分化初期; C1~C4、D2~D4、E2、E3、F3: 花序原基分化期; D1、E4、F2、F4、G3: 萼片原基分化期; E1、F1、G2、G4、H2、H3: 花瓣原基分化期; G1、H1、H4、I1~I4: 雄蕊原基分化期; J1~J4: 雌蕊原基分化期。Le: 叶片原基; Gc: 生长锥; R: 花序轴; In: 花序原基; Si: 侧花序原基; Br: 苞片原基; Fl: 小花原基; Se: 萼片原基; Pe: 花瓣原基; St1: 第 1 轮雄蕊原基; St2: 第 2 轮雄蕊原基; Pi: 雌蕊原基。

A1~J1: *D. grandiflora*; A2~J2: *D. parviflora*; A3~J3: *D. scabra*; A4~J4: *D. schneideriana*. A1~A4: Undifferentiated period; B1~B4: Initial differentiation period; C1~C4, D2~D4, E2, E3, F3: Inflorescence primordium differentiation period; D1, E4, F2, F4, G3: Sepal primordium differentiation period; E1, F1, G2, G4, H2, H3: Petal primordium differentiation period; G1, H1, H4, I1~I4: Stamen primordium differentiation period; J1~J4: Pistil primordium differentiation period. Le: Leaf primordia; Gc: Growth cone; R: Rachis; In: Inflorescence primordium; Si: Side inflorescence primordium; Br: Bract primordium; Fl: Flower primordium; Se: Sepal primordium; Pe: Petal primordium; St1: First round stamen primordium; St2: Second round stamen primordium; Pi: Pistil primordium.

雄蕊原基分化期: 随着萼片和花瓣伸长, 小花原基逐渐加宽, 中部平坦, 而花瓣原基内侧基部发生新的突起, 即雄蕊原基 (图 2: G1、I2、I3、H4); 大花溲疏和小花溲疏到雄蕊原基出现时,

花萼一直发育缓慢 (图 2: G1、I2)。雄蕊 2 轮, 第 1 轮雄蕊发生后, 第 2 轮雄蕊也随即开始分化 (图 2: I1)。

雌蕊原基分化期: 小花原基生长锥原本平坦

的底部发生突起,即雌蕊原基;随着雌蕊的进一步发育,小花原基中部向内凹陷并不断伸长,最终形成下位子房(图 2: J1 ~ J4)。

3 讨论

花是重要的生殖器官,也是大部分园林植物的主要观赏部位,花量大是溲疏属的主要特征之一。影响花量的主要因素有芽的数量、花芽分化率(芽分化成花芽的比例)以及花/花序结构(小花数量),而芽的数量又由枝条数量和单枝芽数决定。本研究发现,溲疏属植物增加花量有两种策略:(1)单枝芽数少、小花数量少的种类,其枝条较多,花芽分化率较高,如大花溲疏;(2)枝条数量少的种类,其单枝芽数多,花芽分化率高,且花序上小花数量多,如小花溲疏、溲疏和长江溲疏。同时,本文还发现不同位置的芽成花能力不同,如顶芽和侧芽花芽分化率较高,而基部的芽花芽分化率较低,与葡萄(*Vitis vinifera* L.)^[28, 29]中的研究结果一致。大花溲疏花序多花或单花取决于花瓣原基分化期是否分化小花原基,同‘单花’梨(*Pyrus ussuriensis* Maxim.)^[30]一样,单花性状发生在花芽形态分化过程中,而非开花前多花花蕾发育的停止或退化。

4 种溲疏的花芽分化类型均为夏秋分化型,但也有差异。大花溲疏在夏秋季节启动并完成分化,冬季进入休眠;而小花溲疏、溲疏和长江溲疏在夏秋启动分化,但冬季不休眠,连续分化直到来年春季开花前。这种差异推测与花序结构和花期有关。大花溲疏为仅具 1 ~ 3 朵花的聚伞花序,结构简单,花期早,分化开始时间早且持续时间短;而其余 3 种溲疏花序结构复杂,花期晚,分化开始时间晚且持续时间长。这与梅树(*Prunus mume* Siebold & Zucc.)^[31]、枣树(*Ziziphus jujuba* Mill.)^[32]、大蒜(*Allium sativum* L.)^[33]早花品种花芽分化持续时间短、晚花品种持续时间长的研究结果一致。

花芽纵径结合季节能够较准确地反映花芽分化阶段,可为花量、花期调控等研究的适时取材提供科学依据。4 种溲疏花芽分化过程中,花芽纵径较横径变化明显,但纵径并非线性增长,小花溲疏和长江溲疏雄蕊原基分化期(11、12 月)的花芽纵径小于花瓣原基分化期(10 月),可能是

进入休眠期后,低温和较低的空气湿度导致芽体失水进而体积缩小;因此需要结合花芽纵径和季节综合判断花芽分化阶段。许多研究表明,花芽外部形态能够反映内部结构变化,因此,根据花芽外部形态特征可推测花芽分化状况^[34, 35]。一般来说,花序轴/花梗长的植物花芽纵径变化较大,可根据纵径判断花芽发育阶段,如栝楼(*Trichosanthes kirilowii* Maxim.)^[36]、‘大辣椒’蝴蝶兰(*Phalaenopsis aphrodite* ‘Big Chili’)^[37]。而花序轴/花梗短的植物花芽横径变化明显,如金花茶(*Camellia petelotii* (Merrill) Sealy)^[38]、铁线莲属(*Clematis*)^[39]植物等。也有植物花芽纵径横径均有明显变化,如香港四照花(*Dendrobenthamia hongkongensis* (Hemsl.) Hutch.)^[40]。

本文将溲疏花芽分化过程划分为 7 个时期,各轮花器官为向心式发生,与绣球属的马桑绣球^[24]花器官分化方式一致,与茶藨子属的东北茶藨子^[25]在雌蕊原基之后分化具有很大差异。从花器官发生方式来看,溲疏属与绣球属亲缘关系较近,与茶藨子属亲缘关系较远。4 种溲疏未分化期、分化初期、花瓣、雄蕊和雌蕊分化过程相似,但花序和萼片的分化方式不同。总体上看,4 种溲疏都是先分化花序(轴),再分化小花。溲疏和长江溲疏的苞片原基随花序轴一起分化,萼片原基在花顶分生组织发生的位置比其他种要高,在花瓣原基出现时,萼片已内弯并位于花顶分生组织上方;大花溲疏和小花溲疏无苞片原基,萼片原基发生位置较低,花瓣原基于圆凸花顶的周缘产生,花瓣发育速度快于花萼,这与溲疏属种子形态学观察结果一致^[6],支持溲疏和长江溲疏亲缘关系较近,这两种萼片发育方式也存在于同科的绣球属中^[24]。但由于虎耳草科花发育研究资料有限,依据花发育进行科内关系的界定和分类还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 35 卷: 第 1 分册[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 70-141.
- [2] 戴凌峰, 张志翔, 沈应柏. 4 种灌木树种的耐荫性研究[J]. 西部林业科学, 2007, 36(4): 41-48.
Dai LF, Zhang ZX, Shen YB. A study on shade tolerance of four shrub species[J]. *Journal of West China Forestry Science*, 2007, 36(4): 41-48.
- [3] 白伟岚, 任建武, 苏雪痕. 八种植物耐阴性比较研究[J]. 北

- 京林业大学学报, 1999, 21(3): 46-52.
- Bai WL, Ren JW, Su XH. Comparative study on shade-tolerance of eight garden plants[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 1999, 21(3): 46-52.
- [4] 张德顺, 李秀芬. 24个园林树种耐荫性分析[J]. 山东林业科技, 1997(3): 28-31.
- [5] Royal Horticultural Society. RHS advice & tips on garden & indoor plants | Plant finder & selector/ RHS Gardening [DB/OL]. [2022-05-09]. <https://www.rhs.org.uk/plants/search-results?query=Deutzia>.
- [6] 杜洁, 廖宇静, 何平, 田丽华. 中国溲疏属种子形态及其分类学意义[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1999, 24(1): 59-68.
- Du J, Liao YJ, He P, Tian LH. Seed morphology and its taxonomic significance of *Deutzia*. In China[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 1999, 24(1): 59-68.
- [7] 田丽华, 何平, 杜洁. 中国溲疏属叶表附属物的显微形态及其分类意义[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 1999, 24(3): 303-317.
- Tian LH, He P, Du J. The micromorphology of foliar indument of the genus *Deutzia* in China and its taxonomic implication[J]. *Journal of Southwest China Normal University (Natural Science)*, 1999, 24(3): 303-317.
- [8] 何平. 四川溲疏属花粉形态初步研究[J]. 西南师范大学学报, 1990, 15(1): 69-75.
- He P. A preliminary research on pollen morphology of *Deutzia* Thunb. In Sichuan[J]. *Journal of Southwest Teachers University*, 1990, 15(1): 69-75.
- [9] 何平, 胡琳贞. 四川溲疏属的分类研究(II)—一种的简介及新分类群[J]. 西南师范大学学报, 1989, 14(4): 117-127.
- He P, Hu LZ. A taxonomic study on the genus *Deutzia* of Sichuan(II)[J]. *Journal of Southwest China Normal University*, 1989, 14(4): 117-127.
- [10] 牛慧冉, 刘庆华, 王奎玲, 刘庆超. 崂山溲疏种子形态及其萌发特性研究[J]. 种子, 2013, 32(6): 90-92.
- Niu HR, Liu QH, Wang KL, Liu QC. The study on seeds morphological and germination characteristics of *Deutzia glabrata*[J]. *Seed*, 2013, 32(6): 90-92.
- [11] 杨新兵. 野生溲疏引种繁育研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2004: 34-37.
- [12] 史宝胜, 刘冬云, 杨新兵, 张彦广. 野生大花溲疏的组织培养和快速繁殖[J]. 植物生理学通讯, 2006, 42(1): 68.
- Shi BS, Liu DY, Yang XB, Zhang YG. Tissue culture and rapid propagation of the wild *Deutzia grandiflora* Bge[J]. *Plant Physiology Communications*, 2006, 42(1): 68.
- [13] 袁雪, 王俊涵, 贺媛, 袁涛, 蒋亚蓉, 等. 小花溲疏高效繁殖技术[C]// 张启翔. 中国观赏园艺研究进展2018. 北京: 中国林业出版社, 2018: 5.
- [14] 王叶, 滕尧, 张子雄, 陈彩霞, 龙秀琴. 矮溲疏幼苗生理特性对淹水胁迫的响应[J]. 农业与技术, 2021, 41(15): 38-40.
- [15] 尹振海, 丁杰, 杨新兵. 华北土石山区13种灌木树种蒸腾耗水特性比较[J]. 节水灌溉, 2019(2): 1-6.
- Yin ZH, Ding J, Yang XB. Comparison of the transpiration and water consumption characteristics of 13 shrub plants in mountain area of northern China[J]. *Water Saving Irrigation*, 2019(2): 1-6.
- [16] 孙震洲, 李义强, 宋桂龙, 曹玉海, 胡兴波, 等. 坡质对溲疏和胡枝子根系形态及拉拔力的影响[J]. 草业科学, 2020, 37(5): 882-888.
- Sun ZZ, Li YQ, Song GL, Cao YH, Hu XB, et al. Effects of slope nature on the root morphology and pull-out force of *Deutzia scabra* and *Lespedeza bicolor*[J]. *Pratacultural Science*, 2020, 37(5): 882-888.
- [17] Park JS, An JB, Yun HG, Yi MH, Park WG, et al. Ecological characteristics of natural habits of *Deutzia paniculata*, a rare and endemic woody species in Korea[J]. *J For Environ Sci*, 2021, 37(3): 206-216.
- [18] Kim C, Deng T, Wen J, Nie ZL, Sun H. Systematics, biogeography, and character evolution of *Deutzia* (Hydrangeaceae) inferred from nuclear and chloroplast DNA sequences[J]. *Mol Phylogenet Evol*, 2015, 87: 91-104.
- [19] 吕俊杰, 任莹, 徐秀荣, 梁婷婷, 臧德奎. 钩齿溲疏的SRAP遗传多样性分析[J]. 山东农业科学, 2014, 46(11): 18-21.
- Lü JJ, Ren Y, Xu XR, Liang TT, Zang DK. Genetic diversity analysis of *Deutzia baroniana* based on SRAP marker[J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2014, 46(11): 18-21.
- [20] 吕俊杰, 马燕, 任莹, 臧德奎. 山东崂山溲疏的SRAP遗传多样性分析[J]. 林业科技开发, 2015, 29(2): 13-16.
- Lü JJ, Ma Y, Ren Y, Zang DK. Genetic diversity analysis of *Deutzia glabrata* in Shandong Province based on SRAP markers[J]. *Journal of Forestry Engineering*, 2015, 29(2): 13-16.
- [21] Zhou H, Fan Q, Liu WZ, Gong W. The complete chloroplast genome of *Deutzia pilosa* Rehd. (Hydrangeaceae)[J]. *Mitochondrial DNA B*, 2020, 5(2): 1419-1420.
- [22] Yang Q, Xin C. Characterization of the complete chloroplast genome sequence of *Deutzia glabrata* (Saxifragaceae)[J]. *Mitochondrial DNA B*, 2020, 5(1): 764-765.
- [23] Hembree WG, Ranney TG, Lynch NP, Jackson BE. Identification, genome sizes, and ploidy of *Deutzia*[J]. *J Am Soc Hortic Sci*, 2020, 145(2): 88-94.
- [24] 葛丽萍, 路安民, 潘开玉. 马桑绣球(绣球科)的花器官发生和发育[J]. 植物分类学报, 2003, 41(3): 235-244.
- Ge LP, Lu AM, Pan KY. Floral organogenesis in *Hydrangea*

- aspera* (Hydrangeaceae) [J]. *Acta Phytotaxonomica Sinica*, 2003, 41 (3): 235-244.
- [25] 张一凡. 茶藨子属两种植物的胚胎学比较研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016: 25-27.
- [26] 贺士元, 邢其华, 尹祖棠. 北京植物志[M]. 北京: 北京出版社, 1992: 336-338.
- [27] 李正理. 植物制片技术[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 1987: 10-15.
- [28] 晁无疾, 王铮. 葡萄品种高节位花芽分化观察研究[J]. *中国果树*, 2002(2): 23-25.
Chao WJ, Wang Z. Observation on fruit bud differentiation in high node-order of grape cultivars[J]. *China Fruits*, 2002 (2): 23-25.
- [29] 黄璐. 巨峰葡萄不同芽节位夏季花芽分化规律及相关影响因素的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2015: 37-42.
- [30] 武春昊, 王强, 卢明艳, 闫兴凯, 刘明鹤, 张茂君. ‘单花’梨花芽特性及其形态分化过程研究[J]. *园艺学报*, 2019, 46(7): 1373-1378.
Wu CH, Wang Q, Lu MY, Yan XK, Liu MH, Zhang MJ. Study on characteristics and floral bud development of flower bud in ‘Danhua’ pear[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46 (7): 1373-1378.
- [31] 陈政, 董天宇, 葛孟清, 王晨. 不同梅树品种的花芽发育过程及花芽中成花基因和看家基因的表达特性[J]. *植物资源与环境学报*, 2019, 28(2): 32-41.
Chen Z, Dong TY, Ge MQ, Wang C. Development progress of flower bud of different cultivars of *Prunus mume* and expression characteristics of flowering and house-keeping genes in flower bud[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2019, 28 (2): 32-41.
- [32] 孟宪巍, 韩露, 屈英月, 马志航, 王璐瑶, 等. 枣不同品种花发育时间节律比较[J]. *经济林研究*, 2021, 39(3): 92-98.
Meng XW, Han L, Qu YY, Ma ZH, Wang LY, et al. Comparative observation of flower development time rhythm among cultivars of Chinese jujube[J]. *Nonwood Forest Research*, 2021, 39 (3): 92-98.
- [33] 吴泽秀, 蒋芳玲, 刘敏, 邢晓东, 付存念, 吴震. 大蒜花芽分化进程及其解剖结构和形态特征变化[J]. *植物资源与环境学报*, 2019, 28(1): 25-33.
Wu ZX, Jiang FL, Liu M, Xing XD, Fu CN, Wu Z. The flower bud differentiation process of *Allium sativum* and its anatomical structure and morphological characteristics changes[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2019, 28 (1): 25-33.
- [34] 许自龙, 汪阳东, 陈益存, 高暝, 徐刚标, 何关顺. 山鸡椒雄花花芽发育形态解剖特征观察[J]. *植物科学学报*, 2017, 35(2): 152-163.
- Xu ZL, Wang YD, Chen YC, Gao M, Xu GB, He GS. Observation of the morphological and anatomical characteristics of male flower bud development in *Litsea cubeba* (Lour.) Pers[J]. *Plant Science Journal*, 2017, 35 (2): 152-163.
- [35] 于栋, 赵钰, 韩立群, 郭彩华, 亢超, 等. 雌、雄先型核桃品种花芽分化过程比较研究[J]. *果树学报*, 2022, 39(6): 1054-1062.
Yu D, Zhao Y, Han LQ, Guo CH, Kang C, et al. Comparative study on flower bud differentiation of female and male early blooming type walnut varieties[J]. *Journal of Fruit Science*, 2022, 39 (6): 1054-1062.
- [36] 辛杰, 王振, 张波, 王蕾, 张永清. 栝楼不同性别花芽分化形态解剖特征观察[J]. *植物科学学报*, 2018, 36(5): 648-657.
Xin J, Wang Z, Zhang B, Wang L, Zhang YQ. Observation of the morphological and anatomical characteristics of different sex flower buds in *Trichosanthes kirilowii* Maxim[J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36 (5): 648-657.
- [37] 许申平, 张燕, 袁秀云, 崔波. 依据显微结构及光合特性探讨蝴蝶兰花芽分化的时期[J]. *园艺学报*, 2020, 47(7): 1359-1368.
Xu SP, Zhang Y, Yuan XY, Cui B. Explore the key period of floral determination based on the microstructure and photosynthetic characteristics in *Phalaenopsis* [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2020, 47 (7): 1359-1368.
- [38] 喇燕菲, 肖丽梅, 黄涵, 张进忠, 孙明艳, 王翊. 3种金花茶花芽分化进程及形态学特征比较[J]. *西南农业学报*, 2021, 34(5): 977-983.
La YF, Xiao LM, Huang H, Zhang JZ, Sun MY, Wang Y. Process of flowering bud differentiation and comparison of morphological characteristics of three species in yellow *Camellia* [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Science*, 2021, 34 (5): 977-983.
- [39] 杨艺, 王娜, 王奎玲, 刘庆华, 刘庆超. 铁线莲属4种植物的花芽分化研究[J]. *园艺学报*, 2019, 46(1): 87-95.
Yang Y, Wang N, Wang KL, Liu QH, Liu QC. Studies on the flower bud differentiation of four species of *Clematis* [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2019, 46 (1): 87-95.
- [40] 陈梦倩, 范李节, 王小德. 香港四照花花芽分化的形态学观察[J]. *植物科学学报*, 2018, 36(4): 501-507.
Chen MQ, Fan LJ, Wang XD. Morphological observation of flower bud differentiation of *Dendrobenthamia hongkongensis* (Hemsl.) Hutch[J]. *Plant Science Journal*, 2018, 36 (4): 501-507.

(责任编辑: 李惠英)