

## 不同年龄长柄双花木枝叶氮磷钾生态化学计量特征

周世水<sup>1</sup>, 沈汉<sup>1</sup>, 郑成忠<sup>1</sup>, 余雪琴<sup>1</sup>, 姜年春<sup>1</sup>, 吴家森<sup>2</sup>

(1. 开化县林场, 浙江 开化 324300; 2. 浙江农林大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 311300)

**摘要:**为揭示不同年龄长柄双花木 *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* 叶片和枝干元素间的变化规律, 以钱江源国家森林公园中的长柄双花木居群为研究对象, 采样分析了 1、3、5、7 年生长柄双花木叶片和枝干中的 N、P、K 含量, 探讨不同年龄植株叶片和枝干的 N、P、K 生态化学计量特征。结果表明: 长柄双花木叶片的 N、P、K 含量和 K:P 均显著大于枝干的 ( $P < 0.05$ ); 随着年龄的增长, 长柄双花木叶片和枝干中的 N、P、K 含量均表现为下降的趋势; 不同年龄长柄双花木叶片和枝干的 N:P 介于 20.62~27.61, N:K 介于 4.07~5.17, K:P 介于 4.30~5.79; 随年龄的增长, 长柄双花木叶片和枝干的 N:P 和 N:K 均呈现出增大的趋势, K:P 先下降而后升高。综上分析, P 元素是影响长柄双花木生长的限制性营养元素, 在保护与种植过程中可适当增施 P 肥。

**关键词:**长柄双花木; 叶片; 枝干; 生态化学计量; 年龄

中图分类号: S718.4 文献标识码: A 文章编号: 1001-3776(2022)02-0027-05

### Ecological Stoichiometry of N, P and K in Leaves and Branches of Different Aged *Disanthus cercidifolius* var. *longipes*

ZHOU Shi-shui<sup>1</sup>, SHEN Han<sup>1</sup>, ZHENG Cheng-zhong<sup>1</sup>, YU Xue-qin<sup>1</sup>, JIANG Nian-chun<sup>1</sup>, WU Jia-sen<sup>2</sup>

(1. Kaihua Forest Farm of Zhejiang, Kaihua 324300, China; 2. School of Environmental and Resource Sciences, Zhejiang A & F University, Hangzhou 311300, China)

**Abstract:** In August 2021, leaves and branches were collected from 1-, 3-, 5-, 7-year *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* in Qianjiangyuan National Forest Park in Kaihua county, Zhejiang province. The content of N, P and K in leaves and branches collected was analyzed. The results showed that the content of N, P, K and K:P was leaves>branches. The N, P and K content in leaves and branches had negative relation with age. Of different aged *D. cidifolius* var. *longipes*, the values of N:P were 20.62-27.61, of N:K 4.07-5.17, and of K:P, 4.30-5.79. N:P and N:K in leaves and branches had positive relation with age, while K:P decreased first and then increased.

**Key words:** *Disanthus cercidifolius* var. *longipes*; leaves; branches; ecological stoichiometry; age

氮(N)、磷(P)、钾(K)是植物生长发育的三大必需元素, 这些元素的含量及其比例关系体现了植物不同器官的内稳性, 是判断植物生长限制性元素的重要指标<sup>[1]</sup>。植物营养元素含量及其化学计量比在不同年龄阶段的杉木 *Cunninghamia lanceolata*、杨梅 *Myrica rubra*、油茶 *Camellia oleifera* 等植物器官中具有一定的差异<sup>[2-4]</sup>。化学计量比也用于梵净山冷杉 *Abies fanjingshanensis*、珙桐 *Davidia involucrata*、天目铁木 *Ostrya rehderiana*、多脉铁木 *O. multinervis* 等珍稀濒危植物<sup>[5-6]</sup>的研究, 对于这些物种的保护具有一定的意义。

收稿日期: 2021-10-19; 修回日期: 2022-02-09

基金项目: 浙江省林业局省级林业专项(浙林规(2021)9号)

作者简介: 周世水, 工程师, 从事森林经营与管理研究; E-mail:2506261065@qq.com。通信作者: 吴家森, 博士, 正高级工程师, 从事森林土壤与环境学研究; E-mail:jswu@zafu.edu.cn。

长柄双花木 *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* 为国家二级保护植物, 仅零星分布于湖南、江西、浙江的部分地区, 其中以浙江开化的种群数量最多<sup>[7]</sup>。长柄双花木叶片近圆形, 基部心形, 秋叶红色, 是优良的乡土观赏植物, 在园林应用中具有较大的推广潜力。相关研究人员已对长柄双花木的种子特性、繁育技术、种群结构、植物区系组成等<sup>[8-16]</sup>进行了较多的研究, 但有关该植物的矿质营养及 N、P、K 化学计量比的研究则还未见报道。本研究以 1、3、5、7 年生长柄双花木为对象, 采样分析了叶片、枝干的 N、P、K 含量及其生态化学计量比, 揭示了不同年龄长柄双花木叶片、枝干元素间的变化规律, 可为长柄双花木的迁地保护提供养分管理基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

长柄双花木研究区位于浙江省开化县齐溪镇钱江源国家森林公园, 分布中心地理位置为 29°24′05″N, 118°13′15″E。属亚热带季风气候, 年平均气温为 16.3℃, 极端最高气温为 41.3℃, 极端最低气温为 -11.2℃, 稳定通过 10℃的天数为 237.4 d,  $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温为 5 125.4℃。无霜期为 250 d, 年平均降水量为 1 909 mm, 年平均相对湿度为 81%, 年日照时数为 1 785.1 h。土壤为发育于花岗岩的红壤, 土壤 pH 为 5.6, 土壤碱解氮、有效磷和速效钾含量分别为 124.5 mg·kg<sup>-1</sup>、3.7 mg·kg<sup>-1</sup>、147.6 mg·kg<sup>-1</sup>。

该区以常绿阔叶林为主, 郁闭度为 0.8 ~ 0.9。乔木层树种有甜槠 *Castanopsis eyrei*、青冈 *Cyclobalanopsis glauca*、木荷 *Schima superba*、红楠 *Machilus thunbergii*、马尾松 *Pinus massoniana* 等; 灌木层植物有长柄双花木、鹿角杜鹃 *Rhododendron latoucheae*、阔叶箬竹 *Indocalamus latifolius*、毛花连蕊茶 *Camellia fraterna*、窄基红褐柃 *Eurya rubiginosa* var. *attenuata* 等; 草本层植物有里白 *Diplopterygium glaucum*、蕨 *Pteridium aquilinum* var. *latiusculum*、三脉紫菀 *Aster ageratoides*、淡竹叶 *Lophatherum gracile* 等。长柄双花木主要分布于海拔 450 ~ 700 m 的山脊线两侧, 坡度在 30° ~ 45°。

### 1.2 实验设计与采样

2021 年 8 月, 根据胸径与年龄间的关系确定长柄双花木不同植株的年龄<sup>[13]</sup>, 选取 1、3、5、7 年生的标准株各 4 株, 采集每株东、西、南、北 4 个方向中等大小枝条, 截取枝条顶端 30 ~ 40 cm 长各 3 ~ 5 枝, 全部收获叶片和枝干, 按年龄混合枝干和叶片, 并均匀选取叶片和枝干样品各 500 ~ 1 000 g, 准确称量后带回实验室<sup>[16]</sup>。

### 1.3 样品处理与测定

1.3.1 样品处理 采回的叶片和枝干样品在实验室中分别用去离子水清洗后于 105℃杀青 30 min, 而后于 80℃烘干至恒质量, 用高速粉碎机将样品粉碎过 0.149 mm 孔径筛后备用。

1.3.2 元素测定 N 含量采用碳氮元素分析仪测定; P 含量用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 消煮, 采用钼蓝比色-分光光度法测定; K 含量采用火焰分光光度法测定<sup>[17]</sup>。本研究测定各年龄植株叶片和枝干中的 N、P、K 含量, 并根据测定结果计算长柄双花木叶片和枝干的 N、P、K 平均含量。

### 1.4 数据处理

数据均采用 Excel 2016 及 SPSS 22.0 软件整理, 采用单因素方差分析的最小显著差异 (LSD) 法进行差异显著性检验及相关性分析。图表绘制采用 Excel 2016 软件处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同年龄长柄双花木叶片和枝干 N、P、K 含量分析

2.1.1 长柄双花木叶片和枝干 N、P、K 平均含量比较 如表 1 所示, 长柄双花木叶片的 N、P、K 含量均显著高于枝干的 ( $P < 0.05$ ); 叶片的 K : P 显著高于枝干的 ( $P < 0.05$ ), 而 N : P 和 N : K 在叶片和枝干间的差异并不显著 ( $P > 0.05$ )。

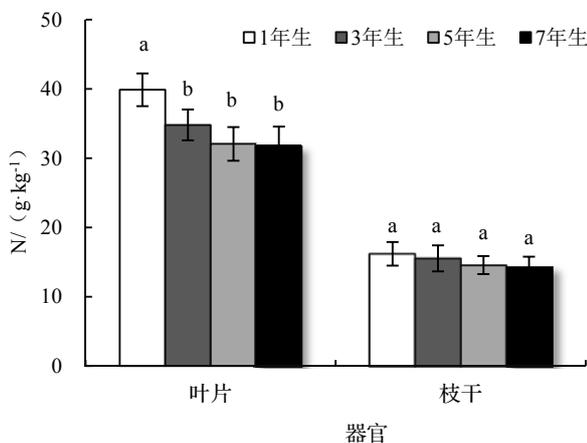
表 1 长柄双花木叶片和枝干的 N、P、K 化学计量平均值  
Table 3 Average content and stoichiometric ratio of N, P, K in leaves and branches

器官	N/(g·kg <sup>-1</sup> )	P/(g·kg <sup>-1</sup> )	K/(g·kg <sup>-1</sup> )	N : P	N : K	K : P
叶片	34.64±2.70a	1.38±0.16a	7.40±1.19a	25.30±1.29a	4.77±0.37a	5.34±0.28a
枝干	15.17±0.70b	0.68±0.08b	3.15±0.21b	22.48±1.71a	4.82±0.10a	4.66±0.26b

注: 同一列中不同字母表示叶片和枝干间在 0.05 水平上有显著性差异。

2.1.2 长柄双花木叶片和枝干 N 含量比较 如图 1 所示,长柄双花木叶片和枝干的 N 含量分别介于 31.81 ~ 39.88 g·kg<sup>-1</sup> 和 14.37 ~ 16.19 g·kg<sup>-1</sup>; 随着年龄的增加, 叶片和枝干中的 N 含量表现为逐渐降低的趋势, 其中, 1 年生植株叶片中的 N 含量显著高于其它年龄植株叶片的 ( $P < 0.05$ ), 枝干中的 N 含量在不同年龄植株间没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

2.1.3 长柄双花木叶片和枝干 P 含量比较 如图 2 所示,长柄双花木叶片和枝干中的 P 含量分别介于 1.15 ~ 1.69 g·kg<sup>-1</sup> 和 0.56 ~ 0.78 g·kg<sup>-1</sup>; 叶片和枝干中的 P 含量均随着年龄的增加而下降, 其中 1 年生植株叶片的 P 含量显著高于其他年龄植株叶片的 ( $P < 0.05$ ), 1 年生和 3 年生植株枝干的 P 含量显著高于 7 年生植株枝干的 ( $P < 0.05$ )。



注: 误差线上不同字母表示同一器官不同年龄长柄双花木的元素含量存在显著性差异 ( $P < 0.05$ ), 下同。

图 1 不同年龄长柄双花木植株叶片和枝干的 N 含量比较

Figure 1 Content of N in leaves and branches of different age

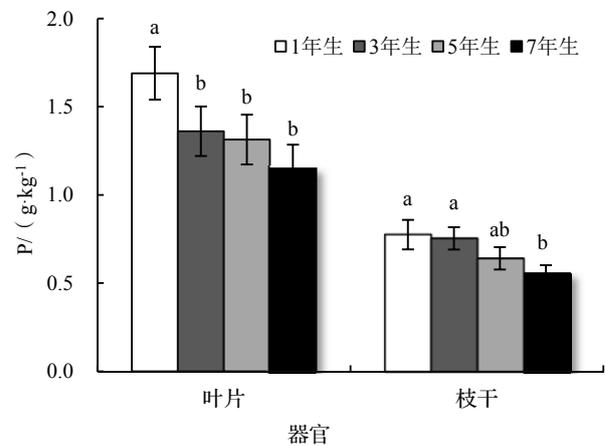


图 2 不同年龄长柄双花木植株叶片和枝干的 P 含量比较

Figure 2 Content of P in leaves and branches of different age

2.1.4 长柄双花木叶片和枝干 K 含量比较 长柄双花木叶片和枝干中的 K 含量分别介于 1.15 ~ 1.69 g·kg<sup>-1</sup> 和 0.56 ~ 0.78 g·kg<sup>-1</sup> (图 3); 随着年龄的增长, K 含量在叶片和枝干中均连续降低, 其中 1 年生植株叶片中的 K 含量显著高于其它年龄植株叶片的 ( $P < 0.05$ ), 枝干中的 K 含量在不同年龄间没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

## 2.2 不同年龄长柄双花木叶片和枝干的 N、P、K 比值分析

2.2.1 长柄双花木叶片和枝干的 N : P 比较 长柄双花木叶片和枝干的 N : P 分别介于 23.60 ~ 27.61 和 20.62 ~ 25.70 (图 4), 总体上, 随着年龄的增长均呈现增大的趋势。其中, 叶片的 N : P 在不同年龄间没有显著性差异 ( $P > 0.05$ ), 枝干的 N : P 则表现为 7 年生植株的显著高于 1 年生和 3 年生植株的 ( $P < 0.05$ )。

2.2.2 长柄双花木叶片和枝干的 N : K 比较 随着年龄的增长, 长柄双花木叶片和枝干的 N : K 均逐渐增高, 其变化范围分别为 4.07 ~ 5.17 和 4.65 ~ 5.03 (图 5)。1 年生长柄双花木叶片的 N : K 显著低于 5 年生、7 年生植株叶片的 ( $P < 0.05$ ), 枝干的 N : K 在不同年龄间没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

2.2.3 长柄双花木叶片和枝干的 K : P 比较 随着长柄双花木年龄的增长, 叶片、枝干的 K : P 均先下降而后升高, 其变化范围分别为 4.78 ~ 5.79 和 4.30 ~ 5.11 (图 6), 但叶片和枝干的 K : P 在不同年龄间均没有显著性差异 ( $P > 0.05$ )。

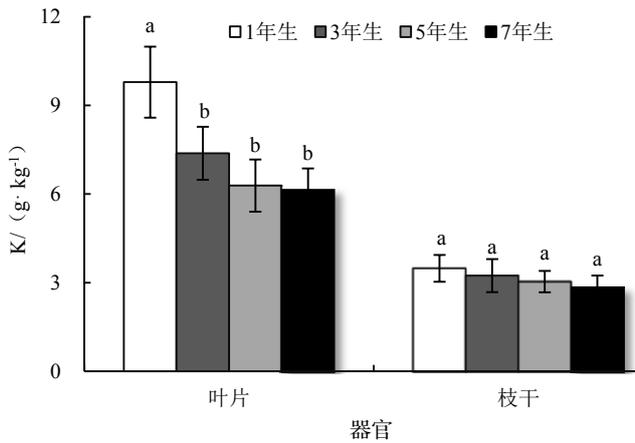


图3 不同年龄长柄双花木植株叶片和枝干的K含量比较

Figure 3 Content of K in leaves and branches of different age

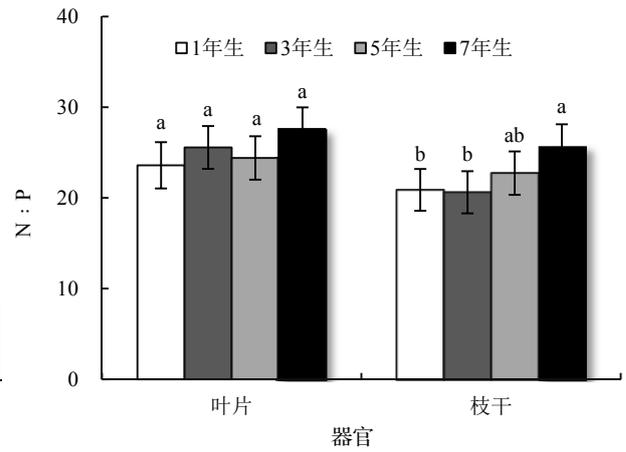


图4 不同年龄长柄双花木植株叶片和枝干的N:P比较

Figure 4 Stoichiometric ratio of N:P in leaves and branches of different age

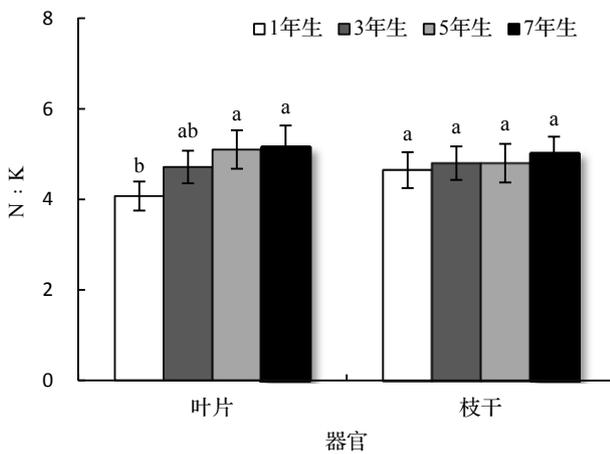


图5 不同年龄长柄双花木植株叶片和枝干的N:K比较

Figure 5 Stoichiometric ratio of N:K in leaves and branches of different age

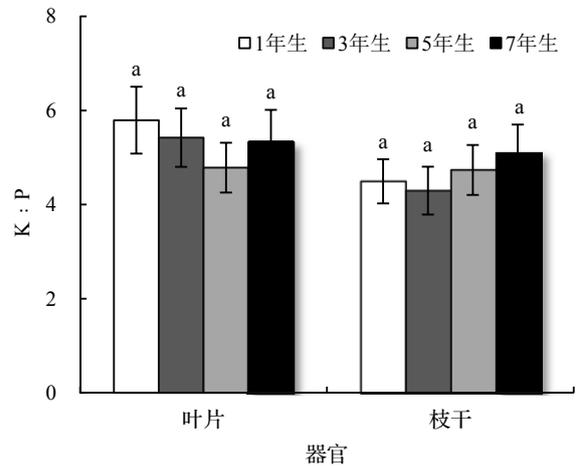


图6 不同年龄长柄双花木植株叶片和枝干的K:P比较

Figure 6 Stoichiometric ratio K:P in leaves and branches of different age

### 3 讨论与结论

#### 3.1 长柄双花木 N、P、K 含量的总体特征

叶片和枝干中的 N、P、K 含量可以表征不同植物对特定养分的需求规律,是不同植物对环境适应性的体现,同一植物在不同年龄阶段对营养元素的需求也存在一定的差异。本研究表明不同年龄长柄双花木叶片 N、P、K 含量平均值分别为  $36.64$ 、 $1.38$ 、 $7.40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 其中 N 含量高于全国陆生植物叶片 N 含量 ( $19.09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和常绿木本植物叶片 N 含量 ( $14.71 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )<sup>[17]</sup>, 这主要是因为落叶树种叶片 N 含量高于寿命长的常绿树种叶片的<sup>[18]</sup>; 叶片 P 平均含量为  $1.38 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 低于全国陆生植物叶片 P ( $1.56 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和全球陆地植物叶片 P ( $1.80 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 的水平, 而高于全国常绿木本植物叶片 P 含量 ( $0.96 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ); 叶片 K 平均含量为  $7.40 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 低于全国叶片 K ( $15.09 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 的平均水平, 也低于全国阔叶树叶 K ( $8.95 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 和灌丛叶片 K ( $8.38 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) 的平均水平<sup>[19]</sup>。

随着年龄的增长, 长柄双花木的 N、P、K 含量在叶片、枝干中均表现为下降的趋势, 这主要是由于随着年龄的增长, 长柄双花木生长速度降低, 在蛋白质合成过程中需要的 N、P、K 等营养元素的需求量也随之下降<sup>[20]</sup>。这与杨梅叶片 P、K 含量和枝干 P 含量也随着年龄的增大而下降的结果一致<sup>[3]</sup>; 而与幼龄期油茶叶片和枝干 N、P、K 含量随着林龄的增大而增加的结果相反<sup>[4]</sup>。

### 3.2 长柄双花木 N、P、K 化学计量比随树龄的变化

N:P、N:K、K:P 是判断植物 N、P、K 元素限制的指标。当  $N:P < 14$  时, N 元素是植物生长的限制性元素; 当  $N:P > 16$  时, P 元素是植物生长的限制性营养<sup>[20-21]</sup>。本研究发现, 不同年龄长柄双花木叶片和枝干的 N:P 介于 20.62 ~ 27.61, 说明了长柄双花生长主要受到 P 元素的限制; 叶片和枝干的 N:P 随着年龄的增长而表现出增大的趋势, 说明该植物生长受 P 元素的限制也随之加剧。当  $N:K > 2.1$ ,  $K:P < 3.4$  时, K 元素是植物生长的限制性因子<sup>[21-22]</sup>。长柄双花木叶片、枝条的 N:K 介于 4.07 ~ 5.17,  $K:P$  介于 4.30 ~ 5.79, 说明 K 元素并没有影响到长柄双花木的生长。长柄双花木生长区域内土壤有效 P 含量低于  $5.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 土壤中有效 P 含量过低是影响长柄双花木生长的主要因素。现有研究表明, 影响长柄双花木生长的限制性元素是 P, 在长柄双花木生长的区域, 适当施用 P 肥, 可促进该植物的生长, 进而或可提高长柄双花木的结实率。今后在该植物迁地保护的种植过程中应增加土壤 P 的供应。

#### 参考文献:

- [1] 贺金生, 韩兴国. 生态化学计量学: 探索从个体到生态系统的统一化理论[J]. 植物生态学报, 2010, 34 (1): 2-6.
- [2] 陈婵, 王光军, 赵月, 等. 会同杉木器官间 C、N、P 化学计量比的季节动态与异速生长关系[J]. 生态学报, 2016, 36 (23): 7614-7623.
- [3] 吴家森, 蒋仲龙, 吕爱华, 等. 不同年龄杨梅各器官氮、磷、钾化学计量特征[J]. 江西农业大学学报, 2019, 41 (3): 447-453.
- [4] 王增, 蒋仲龙, 刘海英, 等. 油茶不同器官氮、磷、钾化学计量特征随年龄的变化[J]. 浙江农林大学学报, 2019, 36 (2): 264-270.
- [5] 崔明阳, 张珍明, 刘峰, 等. 梵净山冷杉和珙桐的碳氮磷分布特征[J]. 贵州农业科学, 2016, 44 (2): 48-51.
- [6] 叶子豪, 吴伟峰, 彭健健, 等. 天目铁木和多脉铁木不同器官氮磷钾生态化学计量特征[J]. 浙江农林大学学报, 2021, 38 (2): 426-432.
- [7] 李根有, 陈征海, 邱瑶德, 等. 浙江省长柄双花木数量分布与林学特性[J]. 浙江林学院学报, 2002, 19 (1): 20-23.
- [8] 史晓华, 徐本美, 黎念林, 等. 长柄双花木种子休眠与萌发的初步研究[J]. 种子, 2002, 21 (6): 5-7.
- [9] 黄绍辉, 方炎明, 谭雪红, 等. 不同浓度 NAA 对长柄双花木扦插繁殖的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2007 (4): 74-75.
- [10] 谢国文, 谭巨清, 曾宇鹏, 等. 国家重点保护物种长柄双花木南岭群落植物区系与资源[J]. 广东教育学院学报, 2010, 30 (5): 79-87.
- [11] 肖宜安, 李晓红, 曾建军, 等. 人工授粉对濒危植物长柄双花木结果率和结籽率的影响[J]. 井冈山大学学报(自然科学版), 2012 (3): 96-101.
- [12] 缪绅裕, 曾庆昌, 陈志明, 等. 南岭大东山林长柄双花木群落物种组成与种群结构特征分析[J]. 植物资源与环境学报, 2014, 23 (1): 51-57.
- [13] 王国兵, 徐定兰, 吴钦树, 等. 江西官山国家级自然保护区长柄双花木生长规律及种群年龄结构[J]. 南方林业科学, 2017, 45 (4): 8-12.
- [14] 耿梦娅, 陈芳清, 吕坤, 等. 长柄双花木叶性状异速生长关系随发育阶段和海拔梯度的变化[J]. 广西植物, 2019, 39 (10): 1387-1397.
- [15] 孟艺宏, 徐刚标, 卢孟柱, 等. 长柄双花木种群遗传结构及种群历史[J]. 林业科学, 2020, 56 (7): 55-62.
- [16] 朱国宁, 袁丛军, 刘梅影, 等. 不同基质和激素对长柄双花木扦插生根的影响[J]. 黑龙江农业科学, 2021 (2): 79-82, 83.
- [17] 任书杰, 于贵瑞, 陶波, 等. 中国东部南北样带 654 种植物叶片氮和磷的化学计量学特征研究[J]. 环境科学, 2007, 28 (12): 2665-2673.
- [18] HE J S, FANG J Y, WANG ZH, et al. Stoichiometry and large-scale patterns of leaf carbon and nitrogen in the grassland biomes of China[J]. Ecology, 2006, 149: 115-122.
- [19] 秦海, 李俊祥, 高三平, 等. 中国 660 种陆生植物叶片 8 种元素含量特征[J]. 生态学报, 2010, 30 (5): 1247-1257.
- [20] 姜沛沛, 曹扬, 陈云明, 等. 不同林龄油松 (*Pinus tabulaeformis*) 人工林植物、凋落物与土壤 C、N、P 化学计量特征[J]. 生态学报, 2016, 36 (19): 6188-6197.
- [21] 皮发剑, 袁丛军, 喻理飞, 等. 黔中天然次生林主要优势树种叶片生态化学计量特征[J]. 生态环境学报, 2016, 25 (5): 801-807.
- [22] VENTERINK H G M O, WASSEN M J, VERKROOST A W M, et al. Species richness-productivity patterns differ between N-, P-, K-limited wetlands[J]. Ecology, 2003, 84 (8): 2191-2199.