植物资源与环境学报，2026，**35**(5)：111-115
Journal of Plant Resources and Environment

土壤养分对云南鸡足山珍稀香花植物管花木犀种群空间分布的影响

李　倩，李金凤，王钥元，段一凡①
（南京林业大学 木犀属植物栽培品种国际登录中心，江苏 南京 210037）

摘要：以分布于云南省宾川县鸡足山的珍稀香花植物管花木犀(*Osmanthus delavayi* Franch.)种群为对象，通过群落调查和土壤分析，解析土壤养分对其种群空间分布的影响。结果显示：管花木犀群落共记录维管植物 78 种，隶属于 36 科 58 属。管花木犀在乔木层和灌木层的重要值分别为 21.41%和 38.64%，占据优势地位。土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮和速效钾含量均呈现中等空间变异强度，其中全磷含量变异系数最高(35.98%)。克里格插值显示：土壤各养分含量在研究区西北部较高，并向东南方向递减。多元逐步回归分析表明：土壤速效钾含量对管花木犀个体数有极其显著负效应($p<0.001$)，对平均地径有极显著负效应($p<0.01$)；土壤有机质含量对个体数有极显著正效应。综上，在土壤养分方面，“低钾、高有机质”的土壤微生境是管花木犀种群适宜生存与更新的关键条件。

关键词：管花木犀；土壤养分；空间分布；保护

中图分类号：Q948.15；S685；S718.51^{+}6　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1674-7895(2026)05-0111-05
DOI：10.3969/j.issn.1674-7895.2026.05.12

Effects of soil nutrients on the population spatial distribution of the rare fragrant plant *Osmanthus delavayi* in Jizu Mountain of Yunnan Province

LI Qian, LI Jinfeng, WANG Yaoyuan, DUAN Yifan① (International Cultivar Registration Center for *Osmanthus*, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2026, **35**(5): 111-115

Abstract: Taking the population of the rare fragrant plant *Osmanthus delavayi* Franch. distributed in Jizu Mountain, Binchuan County, Yunnan Province as the research object, the effects of soil nutrients on its population spatial distribution were analyzed through community investigation and soil analysis. The results show that a total of 78 vascular plant species are recorded in the *O. delavayi* community, belonging to 58 genera of 36 families. The importance values of *O. delavayi* in the arbor layer and shrub layer are 21.41% and 38.64% respectively, indicating its dominant position. The contents of soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, total potassium, available nitrogen, and available potassium all exhibit moderate spatial variation, among which total phosphorus content has the highest coefficient of variation (35.98%). The Kriging interpolation shows that soil nutrient contents are relatively high in the northwest of the study area and gradually decrease towards the southeast. The stepwise multiple regression analysis indicates that soil available potassium content has a very highly significant negative effect ($p<0.001$) on the individual number of *O. delavayi* and a highly significant negative effect ($p<0.01$) on the mean ground diameter; soil organic matter content has a highly significant positive effect on the individual number. In conclusion, in terms of soil nutrients, the soil microhabitat characterized by “low potassium and high organic matter” is a key condition for the suitable survival and regeneration of the *O. delavayi* population.

Key words: *Osmanthus delavayi* Franch.; soil nutrient; spatial distribution; conservation

在众多环境因子中，土壤作为植物赖以生存的基质，其养分状况直接影响植物的生理活动和个体生长[1-2]。土壤养分的空间异质性分布能够改变植物种群的定居、生长以及种间竞争关系，进而塑造特定植物种群的多度、分布格局及其所在群落的物种组成[3-5]。土壤中有机质以及氮、磷、钾等营养元素是表征土壤肥力的核心指标，这些养分作为关键的生态因子，共同构成了植物生命活动所必需的“资源库”[6]。特定植物种群的空间分布格局是其长期适应环境筛选与胁迫的结果，而土壤养分的空间异质性作为一种普遍存在的环境筛，驱动不同生态适应策略的物种在其适宜生境中定居与繁衍，导致种群呈现出与土壤功能区相关的非随机性格局[7]。因此，阐明土壤养分异质性如何影响珍稀植物种群的空间分布，对于揭示其生态适应性、制定针对性保护策略具有重要意义。

管花木犀(*Osmanthus delavayi* Franch.)又名山桂花，隶属于木犀科(Oleaceae)木犀属(*Osmanthus* Lour.)，为常绿灌木，是中国特有香花植物[8]。管花木犀分布范围较为狭窄，零星

收稿日期：2025-11-11
基金项目：江苏省高校优势学科建设工程项目(PAPD)
作者简介：李　倩(1999—)，女，江苏赣榆人，硕士研究生，主要从事木犀资源开发利用方面的研究。
①通信作者 E-mail：yifanduan@njfu.edu.cn
引用格式：李　倩，李金凤，王钥元，等. 土壤养分对云南鸡足山珍稀香花植物管花木犀种群空间分布的影响[J]. 植物资源与环境学报，2026，35(5)：111-115.

分布于云南、四川、贵州等地,生长于海拔2 100~3 400 m的山地、沟谷溪边、灌丛或杂木林内,其位于云南省宾川县鸡足山的种群是目前有报道的最大种群,但数量仍不足5 000株,在区域尺度上具有一定的珍稀性[9]。管花木犀罕见的雄全异株特性,使其成为研究植物高海拔适应性与繁殖生态学的理想模式材料[10]。目前有关木犀属的研究较多,但主要集中于木犀[*O. fragrans* (Thunb.) Lour.]和短丝木犀(*O. serrulatus* Rehder)等[11-14]。虽然已有研究关注管花木犀的环境特征和繁育系统等[10,15-16],但对于该种类其他方面的研究仍然有限。

鉴于此,本研究分析了云南鸡足山管花木犀种群所在生境土壤主要养分的空间分布特征及其变异规律,揭示了土壤养分空间异质性与管花木犀种群数量分布和生长状况之间的关联,以期为管花木犀野生种群的保护以及资源的合理开发和利用提供科学参考。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

鸡足山位于云南省大理白族自治州宾川县县城西北部,地理坐标为北纬25°56′~26°00′、东经100°20′~100°25′,总面积28.22 km^2,海拔1 780~3 240 m。该地区属亚热带季风气候,年平均气温14.8 ℃,年降水量约1 050 mm,降水主要集中在春季和夏季。鸡足山保存有滇中高原现存面积最广的亚热带半湿润常绿阔叶林[17]。该地区土壤类型多样,以红壤和黄壤为主,多样化的土壤为管花木犀生长提供了良好生境。

1.2 研究方法

于2025年3月,在鸡足山管花木犀集中分布区域共设置了9个面积20 m×20 m的样方,样方海拔2 995~3 218 m。参照群落生态学调查规范,按乔木层、灌木层和草本层分别进行群落调查。其中,乔木层植物采用每木记帐法逐株调查,记录种名、个体数、胸径、高度和冠幅等指标;灌木层植物记录种名、个体数、地径、高度和盖度等指标;草本层植物记录种名、高度、盖度和频度等指标[18-19]。同时,对样方内132株管花木犀进行逐株定位,记录其经纬度和海拔。使用胸径尺(精度0.1 cm)测量胸径;使用激光测距仪(精度0.1 m)测量高度,使用卷尺(精度0.1 m)测量冠幅(东西和南北2个方向最大距离,结果取其平均值),使用卷尺(精度0.1 cm)测量地径;采用目测法估算盖度。

采用交叉五点混合法,在每个样方内采集0~20 cm土层的土壤样品。土壤样品经自然风干、去除杂物、研磨、过筛等标准前处理[20]20-22,待测。土壤中有机质含量采用重铬酸钾外加热氧化法[20]30-34测定,全氮含量采用凯氏定氮法[20]42-49测定,全磷含量采用氢氧化钠碱熔-钼锑抗比色法[20]76-78测定,全钾含量采用氢氧化钠碱熔-火焰光度法[20]101-103测定,速效氮含量采用碱解扩散法[20]56-58测定,速效钾含量采用乙酸铵提取-火焰光度法[20]106-108测定。所有指标重复测定3次,结果取平均值。

1.3 数据分析

参照群落生态学的标准方法,计算样方内各物种的重要值[19]。其中,乔木层物种重要值为相对密度、相对频度和相对显著度的平均值,灌木层和草本层物种重要值为相对盖度、相对高度和相对频度的平均值。参考文献[21],利用EXCEL 2021软件计算Margalef指数(R)、Shannon-Wiener指数(H')、Simpson指数(D)和Pielou指数(J),分析群落的生物多样性格局。利用ArcGIS 10.8软件中的克里格插值法探究土壤养分含量的空间分布格局[22]。参考文献[23-24],对土壤养分含量的变异程度和分布类型进行判定:变异系数小于10%为弱变异,变异系数在[10%,100%]之间为中等变异,变异系数大于100%为强变异;土壤养分含量的均值与中值接近且偏度接近0时判定为近似正态分布,土壤养分含量的均值大于中值且偏度为正时判定为右偏分布,其中偏度在(0.0,0.5)之间为轻度右偏分布。峰度用于描述分布曲线的峰态特征,峰度越大,分布越尖峭。以管花木犀个体数和平均地径为因变量,利用IBM SPSS Statistics 26.0软件中的多元逐步回归分析探究土壤养分对管花木犀种群分布与个体生长的影响,建模前对自变量进行相关性检验[25]。

2 结果和分析

2.1 管花木犀群落结构特征

调查结果显示:云南鸡足山管花木犀群落9个样方中共记录维管植物78种,隶属于36科58属。由表1可见:管花木犀群落不同层次的Margalef指数、Shannon-Wiener指数、Simpson指数均表现为草本层最高、灌木层次之、乔木层最低;不同层次的Pielou指数在0.7左右,表明各层次物种分布的均衡程度较为一致。

由于云南鸡足山管花木犀群落中管花木犀主要出现在乔木层和灌木层,故仅列出乔木层和灌木层中重要值排名前8的种类。由表2可见:云南鸡足山管花木犀群落9个样方中管花木犀占明显优势。在乔木层中,管花木犀的重要值最高,为21.41%,在群落中占绝对优势,主要伴生树种为壳斗科(Fagaceae)植物,如滇青冈(*Quercus schottkyana* Rehder et E. H.

表1 云南鸡足山管花木犀群落不同层次物种多样性指数的比较[1)]
Table 1 Comparison of species diversity indices in different layers of *Osmanthus delavayi* Franch. community in Jizu Mountain of Yunnan Province[1)]

层次 Layer	R	H'	D	J
乔木层 Arbor layer	2.896	2.588	0.928	0.699
灌木层 Shrub layer	5.383	3.286	0.964	0.699
草本层 Herb layer	7.214	3.659	0.975	0.702

[1)] R: Margalef指数 Margalef index; H': Shannon-Wiener指数 Shannon-Wiener index; D: Simpson指数 Simpson index; J: Pielou指数 Pielou index.

Wilson)、川滇高山栎(*Quercus aquifolioides* Rehder et E. H. Wilson)和滇西青冈〔*Quercus lobbii* (Hook. f. et Thomson ex Wenz.) A. Camus〕等。在灌木层中,管花木犀的重要值高达38.64%,优势地位更为显著,主要伴生种包括云南荚蒾(*Viburnum yunnanense* Rehder)、木香花(*Rosa banksiae* Aiton)和小蜡(*Ligustrum sinense* Lour.)等。

表 2　云南鸡足山管花木犀群落乔木层和灌木层重要值排名前 8 的种类
Table 2　The species with top eight importance values in arbor layer and shrub layer of *Osmanthus delavayi* Franch. community in Jizu Mountain of Yunnan Province

乔木层种类 Species in arbor layer	重要值/% Importance value	灌木层种类 Species in shrub layer	重要值/% Importance value
管花木犀 *Osmanthus delavayi*	21.41	管花木犀 *Osmanthus delavayi*	38.64
滇青冈 *Quercus schottkyana*	4.66	云南荚蒾 *Viburnum yunnanense*	3.25
川滇高山栎 *Quercus aquifolioides*	4.35	木香花 *Rosa banksiae*	3.13
滇西青冈 *Quercus lobbii*	3.81	小蜡 *Ligustrum sinense*	3.02
柯 *Lithocarpus glaber*	3.15	豪猪刺 *Berberis julianae*	2.37
柳叶栎 *Quercus phellos*	2.86	西南红山茶 *Camellia pitardii*	2.11
高山杜鹃 *Rhododendron lapponicum*	2.54	华西小檗 *Berberis silva-taroucana*	1.85
高山松 *Pinus densata*	2.33	美丽马醉木 *Pieris formosa*	1.79

2.2　土壤养分特征及其空间格局

由表 3 可见:研究区内 6 项关键土壤养分指标呈现明显的空间异质性特征,有机质含量为 215.473 3~365.846 7 g·kg^{-1},全氮含量为 7.160 2~14.954 9 g·kg^{-1},全磷含量为 0.744 8~1.941 0 g·kg^{-1},全钾含量为 3.901 5~9.778 2 g·kg^{-1},速效氮含量为 0.556 4~1.118 0 g·kg^{-1}、速效钾含量为0.169 8~0.311 5 g·kg^{-1}。6 项土壤养分指标的变异系数在 17.93%~35.98%之间,属于中等空间变异强度。有机质和全氮含量的平均值与中值接近,偏度接近 0,峰度为正值且数值较小,表明数据近似正态分布。全磷、全钾和速效钾含量的平均值大于中值,偏度为正,表明数据右偏分布。速效氮含量的平均值和中值接近,偏度为正,峰度较高,表明数据轻度右偏分布且分布尖峭。

利用克里格插值法对云南鸡足山管花木犀群落土壤养分含量进行空间预测,结果(图 1)表明:研究区西北部土壤各养分含量普遍高于其他区域,同时各养分含量从西北部向东南部呈递减趋势。

2.3　土壤养分对管花木犀分布与生长的影响

结果(表 4)显示:对于管花木犀个体数,模型筛选出土壤速效钾含量和有机质含量 2 个关键因子,回归模型整体极其显著($F=36.004$,$p<0.001$),该模型可解释管花木犀个体数在样地间变异的 89.7%(调整 R^2 为 0.897)。其中,土壤速效钾含量的标准化系数(β)为-0.912,对个体数表现为极其显著负效应($p<0.001$);而土壤有机质含量的 β 值为 0.520,对个体数表现为极显著正效应($p<0.01$)。对于平均地径,仅土壤速效钾含量进入最终模型,该模型达到极显著水平($F=13.496$,$p<0.01$),该模型可解释管花木犀平均地径在样地间变异的 60.0%(调整 R^2 为 0.600)。土壤速效钾含量的 β 值为-0.799,对平均地径表现为极显著负效应。这表明土壤速效钾含量较高的样地,管花木犀个体数更少、平均地径更小;而土壤有机

表 3　云南鸡足山管花木犀群落土壤养分含量
Table 3　Soil nutrient contents in *Osmanthus delavayi* Franch. community in Jizu Mountain of Yunnan Province

统计量 Statistic	土壤中各养分含量/(g·kg^{-1}) Each nutrient content in soil					
	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	速效氮 Available nitrogen	速效钾 Available potassium
最大值 Maximum	365.846 7	14.954 9	1.941 0	9.778 2	1.118 0	0.311 5
最小值 Minimum	215.473 3	7.160 2	0.744 8	3.901 5	0.556 4	0.169 8
平均值 Mean	292.901 6	10.886 8	1.225 8	5.575 6	0.765 9	0.214 0
中值 Median	303.036 5	11.810 3	0.994 7	4.988 0	0.764 9	0.182 4
标准差 Standard deviation	52.518 0	2.561 1	0.441 0	1.701 1	0.162 6	0.056 3
变异系数/% Coefficient of variation	17.93	23.52	35.98	30.51	21.23	26.31
偏度 Skewness	-0.27	-0.13	0.53	1.36	0.45	0.82
峰度 Kurtosis	1.66	1.79	1.73	4.03	2.43	1.87
分布类型[1)] Distribution type[1)]	D1	D1	D2	D2	D2	D2

[1)] D1: 近似正态分布 Approximately normal distribution; D2: 右偏分布 Right-skewed distribution.

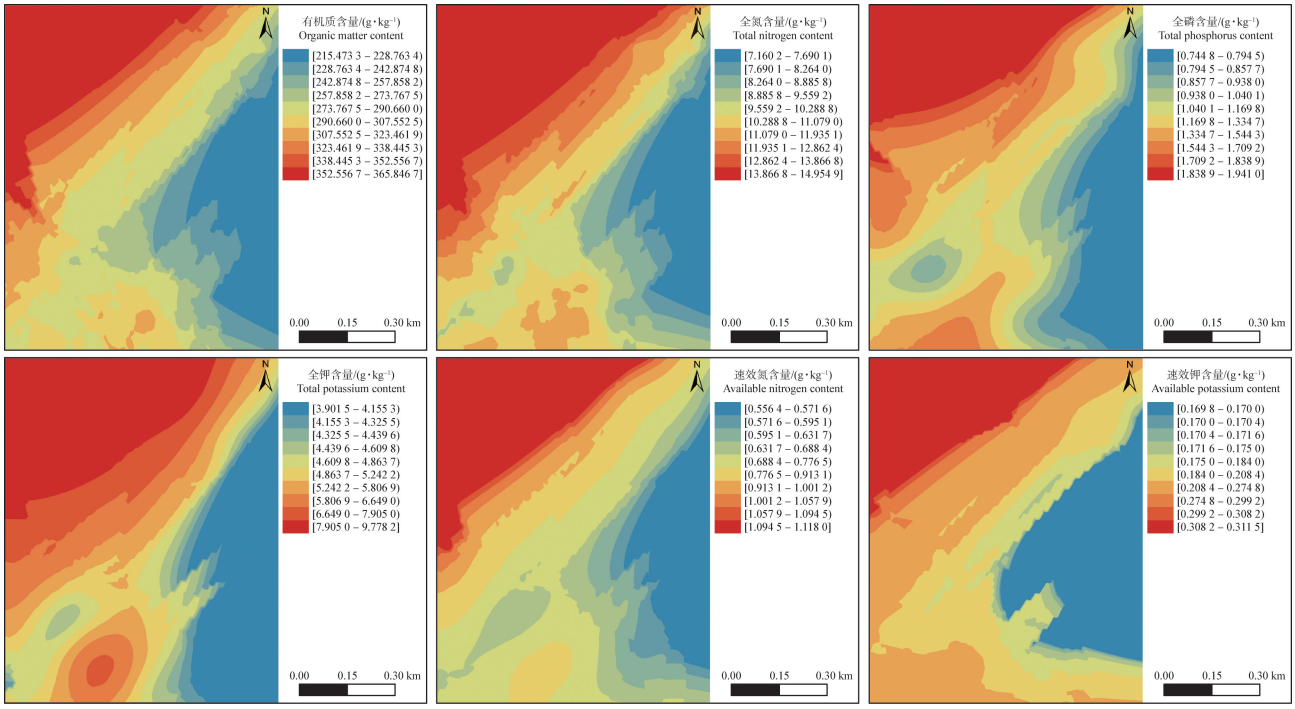

图1 云南鸡足山管花木犀群落土壤养分含量的克里格插值预测图

Fig. 1 Kriging interpolation prediction maps of soil nutrient contents in *Osmanthus delavayi* Franch. community in Jizu Mountain of Yunnan Province

表4 云南鸡足山土壤养分含量对管花木犀个体数和平均地径影响的多元逐步回归分析结果[1)]

Table 4 Results of stepwise multiple regression analysis of soil nutrient contents on individual number and mean ground diameter of *Osmanthus delavayi* Franch. community in Jizu Mountain of Yunnan Province[1)]

因变量 Dependent variable	模型统计量 Model statistic		变量 Variable	非标准化系数 Unstandardized coefficient	标准化系数 Standardized coefficient	t 值 t-value	p 值 p-value
	调整 R^2 Adjusted R^2	F 值 F-value					
个体数 Individual number	0.897	36.004 ***	常量 Constant	22.251	—	4.615	<0.001
			w_{AK}	−0.109	−0.912	−7.907	<0.001
			w_{OM}	0.067	0.520	4.512	<0.01
平均地径 Mean ground diameter	0.600	13.496 **	常量 Constant	22.102	—	8.109	<0.001
			w_{AK}	−0.053	−0.799	−3.673	<0.01

1) ***：p<0.001；**：p<0.01. w_{AK}：土壤速效钾含量 Soil available potassium content；w_{OM}：土壤有机质含量 Soil organic matter content. —：无 Without.

质含量较高的样地，管花木犀个体数更多。

3 讨论和结论

云南鸡足山管花木犀群落中管花木犀在乔木层和灌木层均占据优势地位，与李韦鸿等[15]的研究结论相吻合。与鸡足山以元江栲（*Castanopsis orthacantha* Franch.）、高山栲（*Castanopsis delavayi* Franch.）等为优势种的典型半湿润常绿阔叶林[26]相比，本研究所调查的群落以管花木犀为优势种，属于不同类型的群落结构单元。因此，在物种组成及垂直结构方面表现出一定差异。研究区土壤6项养分指标均呈现中等空间变异强度，其中全磷含量的变异系数最高，这种异质性可能由地形、成土母质变异及植被反馈共同作用形成[27]。克里格插值进一步表明：各土壤养分含量在研究区西北部相对较高，并向东南方向递减。在这种异质性背景下，回归模型筛选出的土壤速效钾含量和有机质含量共同构成了关键的环境筛，其中，土壤速效钾含量作为强烈的负向筛选因子，抑制管花木犀的定居与生长；而土壤有机质含量作为正向筛选因子，则通过改善土壤环境促进其生长[28]。二者共同定义了适宜管花木犀生存的“低钾、高有机质”微生境化学特征，塑造了管花木犀种群在景观尺度上的斑块化分布格局。

综上所述，云南鸡足山管花木犀群落中，土壤速效钾含量对管花木犀个体数和平均地径表现为极其显著（p<0.001）或极显著（p<0.01）负效应，而土壤有机质含量对个体数表现为

极显著正效应，为该珍稀植物种群的维持及保护提供了数据依据与科学参考。从保护实践出发，应优先保护“低钾、高有机质”核心生境，人工更新时须避开高钾地段，并可尝试通过添加凋落物等方式改良土壤。未来需进一步探究钾胁迫抑制管花木犀生长的生理机制，并整合地形、微气候等因子构建生境适宜性模型，以支撑管花木犀的精准保护与种群恢复。

参考文献：

[1] Chapin F S, Ⅲ. The mineral nutrition of wild plants[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 1980, 11: 233-260.

[2] Revilla T A, Veen G F, Eppinga M B, et al. Plant-soil feedbacks and the coexistence of competing plants[J]. Theoretical Ecology, 2013, 6(2): 99-113.

[3] Chen Qinging, Blowes S A, Harpole W S, et al. Local nutrient addition drives plant diversity losses but not biotic homogenization in global grasslands[J]. Nature Communications, 2025, 16: 4903.

[4] Zhou Wenxin, Li Changjia, Zhao Wenku, et al. Spatial distributions of soil nutrients affected by land use, topography and their interactions, in the Loess Plateau of China[J]. International Soil and Water Conservation Research, 2024, 12(1): 227-239.

[5] Han Xin, Huang Jihong, Zang Runguo. Soil nutrients and climate seasonality drive differentiation of ecological strategies of species in forests across four climatic zones[J]. Plant and Soil, 2022, 473(1): 517-531.

[6] 庞　夙，李廷轩，王永东，等. 土壤速效氮、磷、钾含量空间变异特征及其影响因子[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15(1)：114-120.

[7] Song Shujun, Yang Rong, Cui Xiaoru, et al. County-scale spatial distribution of soil nutrients and driving factors in semiarid Loess Plateau farmland, China[J]. Agronomy, 2023, 13(10): 2589.

[8] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志：第六十一卷[M]. 北京：科学出版社，1992：109-111.

[9] 向其柏，刘玉莲. 中国桂花品种图志[M]. 杭州：浙江科学技术出版社，2008：357-358.

[10] Duan Yifan, Li Wenhong, Zheng Sunyuan, et al. Functional androdioecy in the ornamental shrub *Osmanthus delavayi* (Oleaceae)[J]. PLoS ONE, 2019, 14(9): e0221898.

[11] Qian Yuchen, Shan Linmiao, Zhao Rong, et al. Recent advances in flower color and fragrance of *Osmanthus fragrans*[J]. Forests, 2023, 14(7): 1403.

[12] 李胜连，朱　跃，张　敏，等. 基于全基因组重测序的木犀花期和花色 SNP 分子标记开发[J]. 植物资源与环境学报，2025，34(3)：66-78.

[13] 陈　林，杨国栋，钱慧蓉，等. 四川东拉山短丝木犀群落特征和物种多样性分析[J]. 植物资源与环境学报，2017，26(4)：74-83.

[14] 杨国栋，钱慧蓉，陈　林，等. 中国特有植物短丝木犀(*Osmanthus serrulatus* Rehd.)群落结构及其环境解释[J]. 生态学报，2018，38(9)：3059-3068.

[15] 李韦鸿，杨国栋，李涌福，等. 云南鸡足山山桂花和野桂花群落的格局与环境解释[J]. 植物资源与环境学报，2018，27(4)：53-62.

[16] 李涌福，张　成，朱　弘，等. 野桂花和管花木犀的适宜分布区及主要气候变量分析[J]. 植物资源与环境学报，2019，28(1)：71-78.

[17] 张楚然，李生发，李逢昌，等. 云南鸡足山亚热带半湿润常绿阔叶林 20 ha 动态监测样地木本植物生境关联与群落数量分类[J]. 生物多样性，2024，32(1)：23393.

[18] 杨国栋，钱慧蓉，陈　林，等. 东拉山短丝木犀植物群落土壤养分对其群落空间分布的影响[J]. 西北植物学报，2018，38(2)：343-352.

[19] 方精云，王襄平，沈泽昊，等. 植物群落清查的主要内容、方法和技术规范[J]. 生物多样性，2009，17(6)：533-548.

[20] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2000.

[21] Morris E K, Caruso T, Buscot F, et al. Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories[J]. Ecology and Evolution, 2014, 4(18): 3514-3524.

[22] Kerry R, Oliver M A. Comparing sampling needs for variograms of soil properties computed by the method of moments and residual maximum likelihood[J]. Geoderma, 2007, 140(4): 383-396.

[23] 庞煜龚，张孟豪，姜　敏，等. 广东省肇庆市高要区耕地土壤理化性质和微生物特征的空间异质性及综合质量评价[J]. 华南农业大学学报，2025，46(2)：151-163.

[24] Razali N M, Wah Y B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests[J]. Journal of Statistical Modeling and Analytics, 2011, 2(1): 21-33.

[25] Dormann C F, Elith J, Bacher S, et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance[J]. Ecography, 2013, 36(1): 27-46.

[26] 刘文聪，田　希，杨　涛，等. 云南鸡足山半湿润常绿阔叶林优势树种的种群结构与更新特征[J]. 生物多样性，2023，31(11)：23251.

[27] Long Linli, Liu Ying, Chen Xiaoyang, et al. Analysis of spatial variability and influencing factors of soil nutrients in western China: a case study of the Daliuta mining area[J]. Sustainability, 2022, 14(5): 2793.

[28] Kraft N J B, Adler P B, Godoy O, et al. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor[J]. Functional Ecology, 2015, 29(5): 592-599.

（责任编辑：张明霞）