



成都平原2种常见桑寄生科植物及其典型寄主的叶功能性状研究

岳喜明, 罗建琼, 陶琼, 缪宁

引用本文:

岳喜明, 罗建琼, 陶琼, 等. 成都平原2种常见桑寄生科植物及其典型寄主的叶功能性状研究[J]. 热带亚热带植物学报, 2025, 33(5): 533–543.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4911>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

寄主植物的功能性状对桑寄生寄主专一性的影响初探

Preliminary Studies on Effects of Host Functional Traits on Host Specificity of Mistletoe Species

热带亚热带植物学报. 2019, 27(2): 187–195 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3936>

黔中喀斯特9种木质藤本叶功能性状研究

Studies on Leaf Functional Traits of Nine Woody Lianas in the Karst Area of Central Guizhou Province

热带亚热带植物学报. 2021, 29(5): 455–464 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4328>

井冈山鹿角杜鹃群落灌木层植物叶功能性状对海拔梯度的响应

Response of Leaf Functional Traits of Shrubs to Altitude in *Rhododendron latoucheae* Communities in Mt. Jinggangshan, Jiangxi, China

热带亚热带植物学报. 2019, 27(2): 129–138 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3930>

无叶莲科, 缅甸被子植物一新记录科

Petrosaviaceae, A New Familial Record of Angiosperm from Myanmar

热带亚热带植物学报. 2018, 26(6): 677–678 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3897>

海南不同生活型植物叶片和根系C、N、P化学计量特征

C, N, and P Concentrations and Their Stoichiometry of Leaves and Roots with Different Life Forms in Hainan Province

热带亚热带植物学报. 2020, 28(2): 131–135 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4115>

向下翻页, 浏览PDF全文

成都平原 2 种常见桑寄生科植物及其典型寄主的叶功能性状研究

岳喜明^{1,2}, 罗建琼^{1,3}, 陶琼^{1,4}, 缪宁^{1*}

(1. 四川大学生命科学学院, 教育部生物资源和生态环境重点实验室, 成都 610065; 2. 四川省泸州市生态环境保护综合行政执法支队, 四川 泸州 646018; 3. 新疆生产建设兵团第一师林业和草原服务中心, 新疆 阿拉尔 843300; 4. 四川省天然林保护中心, 成都 610065)

摘要: 为深入理解半寄生植物生长策略及其与寄主的相互关系, 该研究对成都平原 2 种常见桑寄生科植物毛叶钝果寄生(*Taxillus nigrans*)和红花寄生(*Scurrula parasitica*)及其典型寄主蜡梅(*Chimonanthus praecox*)、荷花木兰(*Magnolia grandiflora*)、木樨(*Osmanthus fragrans*)和女贞(*Ligustrum lucidum*)的叶功能性状进行了研究, 分析了寄生植物叶功能性状在不同生活型和生长型寄主上的差异, 对比了其寄主植物被感染枝条、未被感染枝条的叶功能性状差异。结果表明, 成熟半寄生植物叶片的类黄酮含量、氮含量、厚度、比叶面积和干物质含量在不同寄主间存在显著差异, 寄生在固氮树种刺槐(*Robinia pseudoacacia*)上的成熟桑寄生的叶氮含量显著低于非固氮寄主荷花木兰。除寄生在灌木上的桑寄生叶类黄酮含量显著高于乔木外, 寄主类型(常绿或落叶、阔叶或针叶、乔木或灌木)对其叶氮含量、叶绿素含量、比叶面积、干物质含量和叶厚均无显著差异。寄主上桑寄生叶经济谱特征表现各异, 荷花木兰上的桑寄生呈“快投资-回报”的叶经济谱特征, 紫叶李(*Prunus cerasifera* ‘Atropurpurea’)和贴梗海棠(*Chaenomeles speciosa*)上的桑寄生则呈“慢投资-回报”的叶经济谱特征, 而其他寄主上个体则不具有典型的叶经济谱特征。幼龄毛叶钝果寄生个体叶绿素含量和叶氮含量显著高于其成熟个体。寄主木樨、荷花木兰和蜡梅位于近端和远端的感染分枝叶片叶绿素含量、叶氮含量、叶厚度和比叶面积对桑寄生感染的响应, 不受与桑寄生相对位置的影响。这有助于深入理解半寄生植物在不同生长阶段和不同寄主上的叶投资策略、半寄生植物对寄主植物叶功能性状的影响。

关键词: 桑寄生; 寄主; 叶功能性状; 叶经济谱

doi: 10.11926/jtsb.4911

CSTR:32235.14.jtsb.4911

Leaf Functional Traits of Two Common Loranthaceae Species and Their Typical Host Species in the Chengdu Plain, China

YUE Ximing^{1,2}, LUO Jianqiong^{1,3}, TAO Qiong^{1,4}, MIAO Ning^{1*}

(1. Key Laboratory of Bio-resource and Eco-environment of Ministry of Education, College of Life Sciences, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Comprehensive Administrative Enforcement Detachment of Ecology and Environment Protection of Luzhou City, Luzhou 646018, Sichuan, China; 3. Forestry and Grassland Service Center of the First Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Alear 843300, Xinjiang, China; 4. Sichuan Natural Forest Protection Center, Chengdu 610081, China)

Abstract: To further understand the growth strategies of semi-parasitic species and their interactions with their host species, the leaf functional traits of two common Loranthaceae species in the Chengdu Plain, China, *Taxillus nigrans* and *Scurrula parasitica*, were examined with their four primary host species, *Chimonanthus praecox*, *Magnolia grandiflora*, *Osmanthus fragrans*, and *Ligustrum lucidum*, in the urban areas of Chengdu to identify variations in leaf functional traits among the mistletoe species across different categories and types of hosts.

收稿日期: 2024-02-29 接受日期: 2024-08-14

基金项目: 十四五国家重点研发计划课题(2022YFD2200504-02)资助

This work was supported by the National Key Research and Development Program of the 14th Five-Year Plan (Grant No. 2022YFD2200504-02).

作者简介: 岳喜明(1998 年生), 男, 硕士研究生, 主要从事植物生态学和植物保护研究。E-mail: 1847432594@qq.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: miaoning@scu.edu.cn

Furthermore, a comparative assessment of these traits was conducted under diverse parasitism scenarios, encompassing both parasitized and non-parasitized host branches. Among mature mistletoe plants, there were significant differences in flavonoid content, leaf nitrogen content, leaf thickness, specific leaf area, and leaf dry matter content among different host plants. The nitrogen content in the leaves of mature mistletoe individuals parasitizing on the nitrogen-fixing host species, *Robinia pseudoacacia*, was significantly lower than that parasitizing on the non-nitrogen-fixing host species, *M. grandiflora*. However, except for the flavonoid content in mistletoe leaves parasitizing on shrubs being significantly higher than those on trees, host type (evergreen or deciduous, broadleaved or coniferous, tree or shrub) did not significantly affect leaf functional traits of the mistletoe plants, including leaf nitrogen content, chlorophyll content, specific leaf area, dry matter content, and leaf thickness. Mistletoe leaves on different host plants exhibited diverse leaf economic spectrum characteristics. Those on *M. grandiflora* displayed a “quick investment-return” strategy, whereas those on *Prunus cerasifera* ‘Atropurpurea’ and *Chaenomeles speciosa* followed a “slow investment-return” strategy. Meanwhile, mistletoes on other host plants did not exhibit typical leaf economic spectrum traits. For the juvenile individuals, the leaf chlorophyll and leaf nitrogen contents of *T. nigrans* were significantly higher than those of mature individuals. The responses of leaf chlorophyll content, nitrogen content, thickness, and the specific leaf area of proximal and distal leaves infected on host plants *O. fragrans*, *M. grandiflora*, and *C. praecox* to the mistletoe infection were not influenced by the relative position of the mistletoes. Therefore, it would be essential to understand the survival strategies of semi-parasitic plants and their interactions with host species.

Key words: Mistletoe; Host; Functional trait; Leaf economic spectrum

叶功能性状作为生存进化过程中适应环境和提升生存能力的生理或形态属性^[1-2], 能够反映植物物种间、植物与生境间的联系^[1], 体现植物与其竞争者及其他生物的相互作用^[3]。桑寄生植物是一类典型的半寄生灌木, 需要进行光合作用完成其生活史, 叶片功能性状反映了其生长特点, 寄主在被寄生前后的叶功能性状变化有助于认识桑寄生与其寄主间的相互作用, 深入理解桑寄生的寄生策略和扩散机制。桑寄生植物通常以比寄主更高的叶蒸腾作用^[4]和更低的水势^[5]为动力汲取寄主资源, 而寄生也会导致寄主叶光合速率降低^[5], 并同干旱^[6]等环境因素共同阻碍寄主生长。氮资源是植物生长的重要元素, 桑寄生会通过主动和被动方式从寄主获取氮资源^[7], 并根据寄主的氮供应来调节水分利用效率^[8]。有研究表明, 寄生在固氮寄主上的桑寄生叶氮含量较高^[9]。以往的研究提出了氮寄生、拟态等假说来解释桑寄生和寄主间的叶氮资源差异, 氮寄生假说认为氮资源是桑寄生植物的限制性资源, 其高强度的蒸腾作用的主要目的是获取氮资源^[10]。而拟态假说则认为桑寄生保持较高的叶氮含量是为了模仿其寄主, 从而减少食草性动物的影响^[11]。尽管有许多研究结果支持这些假说^[12-15], 但不同学者对其仍有争议^[11,16], 仍需在实验中进一

步检验。

Wright 等^[17]在对大量非寄生植物的叶片各功能性状间的相关性进行分析提出叶经济谱, 叶经济谱系两端分别表征为“快投资-回报”型(资源获取型)和“慢投资-回报”型(资源保守型)植物^[17-19]。前者一般具有高比叶面积和叶绿素含量, 而后者通常具有厚的叶片和高的叶干物质含量。寄生植物由于其面临的寄生生存压力和寄主资源供应差异等, 可能在叶功能性状上表现出独特的特征。寄生植物可能在全球叶片经济谱中倾向于“快速投资-回报”型, 这可能与它们在寄生环境中的资源获取策略有关^[20]。Haynes^[21]利用 TRY 数据库中的植物叶功能性状数据, 对比了包括桑寄生植物在内的半寄生植物和非寄生植物叶功能性状特征, 发现半寄生植物大多具有高的叶氮和叶磷含量, 表现出“快投资-回报”型特征, 并未显著偏离叶经济谱。以往研究半寄生植物中所用样本量和叶性状指标数均较少, 并不足以充分反映半寄生植物的叶经济谱特征, 针对不同生长阶段的桑寄生植物叶经济谱特征的研究更是鲜有报道, 需深入探索。

半寄生植物会根据寄主资源可利用性而调整自身的生理特性^[22], 寄主也会调整不同感染状态枝条的资源利用以应对寄生所带来的负面影响^[23]。桑

寄生对寄主叶性状的影响会波及被感染枝的临近枝条^[24],同时这种影响在被感染枝和其临近的枝条间存在差异,Scalon 等^[25]报道受 *Phoradendron affine* 寄生侵染的金毛风铃木(*Handroanthus chrysotrichus*)枝条比其临近枝条的比叶面积更低。以往研究以对比桑寄生叶功能性状在不同寄主间^[26–27]、被感染个体与未被感染个体间^[28–29]、被感染寄主个体的感染枝与未感染枝间的比较为主^[24–25],而对于感染枝的不同分枝间叶功能性状的研究较少。桑寄生植物通常拥有比寄主更强的水分和矿物质等资源的汲取能力^[4–5,22],被感染枝不同部位的分枝是否因此而受到不同影响,目前尚不清楚。同时,现有研究大多基于单一的桑寄生植物-寄主植物对的研究,而未充分考虑不同桑寄生-寄主植物组合的特异性所带来的影响^[30]。寄主面对寄生植物的感染会采取一些化学防御措施,如类黄酮等来抵御寄生^[31–34],但目前与防御相关的叶功能性状研究较为缺乏。

为深入探究桑寄生植物与寄主的相互作用关系以及桑寄生植物的生存策略,本研究以成都平原 2 种常见半寄生植物毛叶钝果寄生和红花寄生及其 10 种寄主(包含针叶与阔叶、常绿与落叶、乔木与灌木类型)为研究对象,分析了桑寄生对寄主的适应以及寄主叶功能性状对其寄生特性的响应。拟回答 3 个科学问题:(1) 桑寄生植物在不同寄主上的叶功能性状是否具有一致性?(2) 成熟和幼龄个体的叶投资策略是否有区别?(3) 寄主对桑寄生植物感染的响应在叶功能性状上有何体现? 本研究可加深对桑寄生植物与寄主间相互作用的理解,为深入揭

示半寄生植物的生活史对策提供参考。

1 材料和方法

1.1 样本采集和处理

半寄生植物和寄主叶片的样本于 2022 年 10 月在成都平原的典型桑寄生区域四川大学望江校区内采集。该区域内广泛分布有毛叶钝果寄生(*Taxillus nigrans*)和红花寄生(*Scurrula parasitica*),两者均为多年生半寄生常绿灌木,通常利用鸟类取食果实完成种子传播。为探究寄主物种对桑寄生叶功能性状的影响,在研究区域内选取了 10 种类型的桑寄生常见寄主(常绿或落叶、针叶或阔叶、乔木或灌木植物,表 1),使用梯子、高枝剪等工具从寄主冠层中部外侧选取合适的桑寄生植物,每种寄主上至少采集 5 株健康的毛叶钝果寄生或红花寄生样本。为减少寄主生存状态对实验结果的影响,这些样本采集自至少 5 株长势良好、未受相邻树木明显遮蔽和寄生强度(单株寄主个体上的桑寄生植物数)相当的寄主个体。此外,为探究寄主不同部位枝条受寄生的影响情况,采集了荷花木兰(*Magnolia grandiflora*)、蜡梅(*Chimonanthus praecox*)、木樨(*Osmanthus fragrans*)和女贞(*Ligustrum lucidum*)等 4 种寄主不同部位的分枝样本,即近端感染枝、远端感染枝和未感染枝(图 1,表 2)。为探究不同生长阶段桑寄生叶功能性状差异,收集成熟个体(已开花或结果的个体)和幼龄个体(尚未开花或结果的个体)叶片进行功能性状的测定。被采集叶片的幼龄植株长度均

表 1 桑寄生植物样本量

Table 1 Sample size of mistletoe species

桑寄生 Mistletoe	生长阶段 Growth stage	叶片样本量 Sample number of leaf	寄主 Host	常绿/落叶类型 Evergreen/ deciduous type	叶型 Leaf type	生活型 Life form
毛叶钝果寄生 <i>Taxillus nigrans</i>	成熟	55	阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	常绿	阔叶	乔木
	成熟	30	荷花木兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	常绿	阔叶	乔木
	成熟	25	刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	落叶	阔叶	乔木
	成熟	55	柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i>	常绿	针叶	乔木
	成熟	45	水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	落叶	针叶	乔木
	成熟	40	蜡梅 <i>Chimonanthus praecox</i>	落叶	阔叶	灌木
	成熟	40	紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> ‘Atropurpurea’	落叶	阔叶	乔木
毛叶钝果寄生 <i>T. nigrans</i>	成熟	40	贴梗海棠 <i>Chaenomeles speciosa</i>	落叶	阔叶	灌木
	幼龄	25	紫叶李 <i>P. cerasifera</i> ‘Atropurpurea’	落叶	阔叶	乔木
	幼龄	35	贴梗海棠 <i>Chaenomeles speciosa</i>	落叶	阔叶	灌木
红花寄生 <i>Scurrula parasitica</i>	成熟	25	木樨 <i>Osmanthus fragrans</i>	常绿	阔叶	乔木
	成熟	25	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	常绿	阔叶	乔木

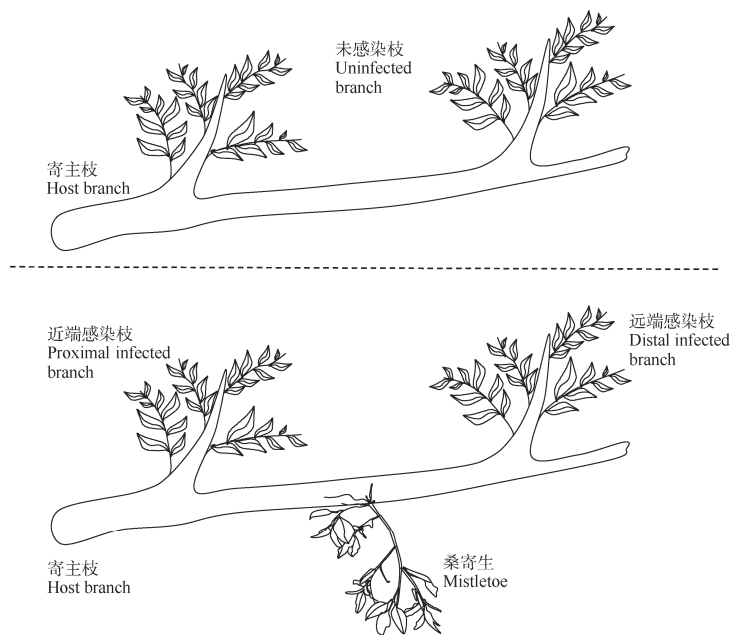


图 1 不同寄生情况的寄主枝条
Fig. 1 Host branches in different parasitic conditions

表 2 桑寄生植物及其寄主种类采样样本量

Table 2 Sample sizes of mistletoe species and their host species

桑寄生 Mistletoe	寄主 Host	叶片样本量 Sample size of leaf		
		未感染枝 Uninfected branch	近端感染枝 Proximal infected branch	远端感染枝 Distal infected branch
红花寄生 <i>Scurrula parasitica</i>	木樨 <i>Osmanthus fragrans</i>	25	25	40
	女贞 <i>Ligustrum lucidum</i>	25	25	25
毛叶钝果寄生 <i>Taxillus nigrans</i>	蜡梅 <i>Chimonanthus praecox</i>	30	20	45
	荷花木兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	25	20	45

在 30 cm 以上，以保证每个样本上能够采集到 5 片健康的叶片。

从每个桑寄生样本上选取 5 片健康叶片，共收集叶片 440 片。其中，成熟和幼龄桑寄生个体叶片数分别为 380 和 60 片，寄主植物叶片共计 350 片。

叶绿素相对含量和叶片氮含量：使用手持式植物营养测定仪(TYS-3N，中科维禾科技发展有限公司，北京)现场测定叶片样本叶绿素相对含量(SPAD)和叶片氮含量(mg/g)，测量时避开叶脉，选取 3 个点取平均值作为该叶片的叶绿素和叶氮含量值。

叶片厚度：使用精度为 0.01 mm 的游标卡尺测量叶厚，平行于主叶脉选取 3 个位置取平均值作为该叶片叶厚度值。

叶面积：在实验室内使用中晶 MICROTEK 扫描仪(MRS-600A3LED)扫描叶片照片，然后利用软件 ImageJ 测定叶面积。

叶片饱和鲜重和叶干质量：将叶片浸泡于去离子水中置于 5℃冰箱中 12 h 后取出，用吸水纸吸去叶片表面的水分，擦去叶片

上的杂质，称叶片饱和新鲜重量。然后在 65℃下烘干 48 h 以上至恒重并称重叶干质量。

比叶面积(SLA)= LA/LDW ，叶干物质含量(LDMC)= $LDW/LSFW\times 100\%$ ，式中，LA 为叶面积，LDW 为叶干重，LSFW 为叶片饱和鲜重。

使用便携式紫外-可见光荧光仪(Multiplex research, FORCE-A)测定叶片的类黄酮指数及其相对含量。

1.2 统计分析

为分析不同生活型或生长型(常绿或落叶、阔叶或针叶、乔木或灌木)寄主对桑寄生植物叶功能性状的影响，使用线性混合模型进行分析，设定寄主类别为固定效应，寄主物种为随机效应。为分析不同寄主种类对桑寄生植物叶功能性状的影响，对数据进行 Shapiro-Wilk 正态性检验和 Levene 方差齐性检验。如果数据符合正态分布，使用单因素方差分析，在方差齐性时使用 LSD 法进行多重比较，如果方差不齐时则采用 Dunnett-T3 检验；如果数

据不符合正态分布则使用 Mann-Whitney U 检验比较不同组间的差异,该方法也被用于比较桑寄生和其寄主间的叶性状差异。单变量方差分析用于比较桑寄生不同生长阶段间的叶功能性状差异。采用 R 语言(版本 R 4.3.1)中的 lme4 包^[35]完成线性混合回归分析,如发现显著差异,则进一步采用 emmeans

包^[36]进行图基事后多重比较(Tukey’s HSD test),单变量方差分析使用 IBM SPSS Statistics 26 软件完成单变量方差分析(显著性水平设定为 0.05),绘图工作使用 Origin 2024 完成。根据桑寄生的叶功能性状特点,定性判断桑寄生植物叶经济谱特征,判断依据见图 2。

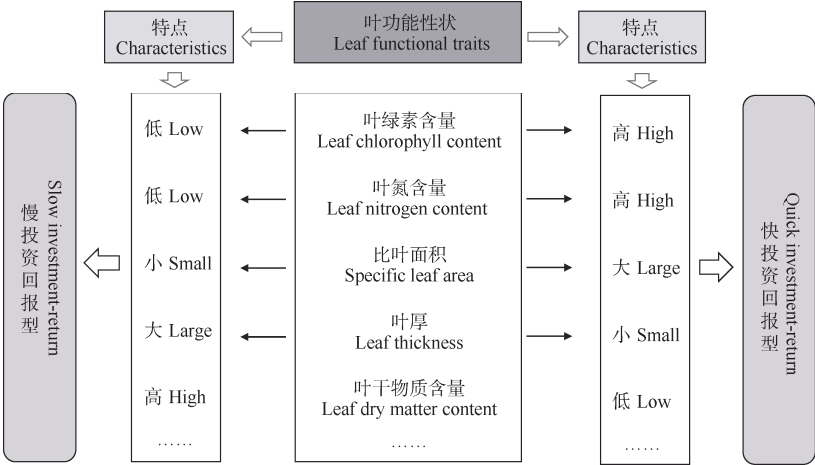


图 2 植物叶经济谱特征示意图(仿陈莹婷^[37])

Fig. 2 Schematic diagram of leaf economic spectrum characteristics of plants (Imitate CHEN Yingting^[37])

2 结果和分析

2.1 不同寄主间桑寄生植物叶功能性状的差异

寄生在不同寄主上的毛叶钝果寄生叶功能性状表现出显著差异($P<0.05$, 表 3)。寄生在贴梗海棠和柳杉上的个体具有最高的叶类黄酮含量,寄生在荷花木兰上的个体的叶绿素和叶氮含量较高,但叶片厚度较低。而以水杉为寄主的个体具有最大的比叶面积和

最低的叶干物质含量。寄生在固氮寄主刺槐上的桑寄生植物叶氮含量显著低于荷花木兰上的($P<0.05$)。

线性混合模型分析结果表明,毛叶钝果寄生叶绿素含量、叶厚、比叶面积和叶干物质含量在常绿与落叶寄主间、阔叶与针叶寄主、乔木与灌木寄主之间均没有表现出显著差异($P>0.05$, 表 4),但寄生在灌木上的毛叶钝果寄生的叶类黄酮含量显著高于寄生在乔木的($F=5.98$, $P=0.0047$)。

表 3 寄主间毛叶钝果寄生各叶功能性状的差异

Table 3 Differences in leaf functional traits of *Taxillus nigrans* among host species

寄主 Host	类黄酮含量 Flavonoid content /%	叶绿素含量 Chlorophyll content (SPAD)	氮含量 Nitrogen content (mg/g)	叶厚 Leaf thickness (mm)	比叶面积 Specific leaf area (m ² /kg)	叶干物质含量 Leaf dry matter content /%
贴梗海棠 <i>Chaenomeles speciosa</i>	1.56±0.17a	40.80±6.08d	15.55±1.94c	0.38±0.05ab	9.23±2.11c	0.29±0.05b
柳杉 <i>Cryptomeria japonica</i> var. <i>sinensis</i>	1.51±0.15a	44.77±4.32c	16.80±1.39b	0.37±0.03b	8.53±1.23cd	0.32±0.04ab
荷花木兰 <i>Magnolia grandiflora</i>	1.27±0.44bc	49.70±3.76a	18.39±1.18a	0.33±0.04c	9.42±1.94bc	0.32±0.04b
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	1.23±0.22c	44.72±1.82c	16.79±0.59b	0.37±0.05b	10.61±1.95a	0.28±0.03c
刺槐 <i>Robinia pseudoacacia</i>	1.27±0.33bc	45.66±3.92bc	17.11±1.25b	0.40±0.04a	8.94±1.45c	0.30±0.08b
蜡梅 <i>Chimonanthus praecox</i>	1.50±0.18ab	46.35±4.89bc	15.98±2.53c	0.38±0.04ab	7.74±1.67d	0.34±0.08a
阴香 <i>Cinnamomum burmanni</i>	1.24±0.42c	46.80±4.18b	16.77±2.20b	0.38±0.06ab	8.86±2.40c	0.30±0.11b
紫叶李 <i>Prunus cerasifera</i> ‘Atropurpurea’	1.37±0.38b	41.54±2.95d	14.76±2.02d	0.39±0.04a	9.45±2.70b	0.31±0.06b

同列数据后不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同

Data followed by different letters within the column indicate significant differences at 0.05 level. The same below.

表 4 毛叶钝果寄生叶功能性状在不同类别寄主间的差异

Table 4 Differences in leaf functional traits of *Taxillus nigrans* among different types of host species

检验 Test	寄主类型 Host types	类黄酮 Flavonoid content /%	叶绿素 Chlorophyll content (SPAD)	氮含量 Nitrogen content (mg/g)	叶厚 Leaf thickness (mm)	比叶面积 Specific leaf area (m ² /kg)	叶干物质含量 Leaf dry matter content /%
I	常绿树种	1.35±0.36a	46.62±4.52a	17.13±1.83a	0.36±0.05a	8.85±1.93a	0.31±0.08a
	落叶树种	1.39±0.29a	43.69±4.70a	15.97±1.98a	0.38±0.05a	9.25±2.26a	0.30±0.06a
II	阔叶树种	1.37±0.36a	45.02±5.35a	16.32±2.27a	0.38±0.05a	8.91±2.21a	0.31±0.08a
	针叶树种	1.38±0.23a	44.75±3.42a	16.80±1.10a	0.37±0.04a	9.47±1.90a	0.31±0.04a
III	乔木树种	1.32±0.34b	45.37±4.26a	16.69±1.86a	0.37±0.05a	9.27±2.13a	0.31±0.07a
	灌木树种	1.53±0.18a	43.57±6.15a	15.77±2.25a	0.38±0.04a	8.48±2.03a	0.31±0.07a

2.2 桑寄生植物各叶功能性状间的相关性

桑寄生植物各叶性状间的相关性分析见表 5。与防御相关的叶功能性状类黄酮含量与叶绿素含量、比叶面积呈显著负相关($P<0.05$),与叶厚呈显著正相关($P<0.05$)。叶绿素与叶厚和比叶面积呈显著负相关($P<0.05$),与叶氮含量和叶干物质含量呈显著正相关($P<0.01$)。

2.3 不同生长阶段毛叶钝果寄生叶功能性状的差异

在紫叶李上和贴梗海棠上的毛叶钝果寄生植物,幼龄个体的叶绿素含量和叶氮含量均显著高于成熟个体(图 3, $P<0.05$),但寄生在紫叶李上成熟个体的叶干物质含量显著高于幼龄个体。

2.4 寄主植物不同部位叶功能性状的比较

通过对比同一寄主不同寄生状态的枝条(近端感染枝、远端感染枝和未感染枝)上的叶片性状,可见桑寄生对不同寄主的叶片功能性状影响程度存在差异。对于蜡梅,除叶干物质含量外(图 4, $P<0.01$),其余叶功能性状指标在有无寄生的情况下均不存在显著差异($P>0.05$)。对寄主木樨的影响也局限于叶厚和比叶面积,寄生使其叶片厚度增加并降低了比叶面积($P<0.05$)。对于荷花木兰和女贞,除比叶面积外其他指数均受寄主显著影响($P<0.01$),但桑寄生对 2 种寄主的影响不同,寄生后荷花木兰

叶绿素和叶氮含量显著升高($P<0.05$),而女贞这 2 项指标则显著降低($P<0.05$)。

对于同一感染枝的不同分枝,位于桑寄生两侧的寄主分枝叶功能性状变化情况基本保持一致。蜡梅和木樨各功能性状指标在近端感染枝和远端感染枝间均不存在显著差异($P<0.05$),荷花木兰近端感染枝和远端感染枝叶功能性状仅在叶干物质含量间存在差异($P>0.05$)。女贞远端感染枝叶类黄酮含量和叶干物质含量显著高于近端感染枝,但叶厚度显著低于近端感染枝。

3 讨论和结论

3.1 寄主种类对桑寄生叶功能性状的影响

毛叶钝果寄生的叶功能性状因寄主种类而各异,这表明桑寄生植物会根据寄主资源可利用性而调整叶功能性状以提高对寄生生活的适应性,这与前人^[9,16]的研究结果一致。苏国发等^[16]认为,寄主种类会显著影响桑寄生植物叶片硬度、比叶面积等叶功能性状。由于桑寄生植物特殊的寄生生存方式,寄主个体代表了其生境,寄主的养分状况是桑寄生养分的主要决定因素^[15]。寄主的资源水平会影响桑寄生的异养程度^[38],即桑寄生植物依赖寄主提

表 5 桑寄生植物叶功能性状相关性

Table 5 Correlation between leaf functional traits of mistletoe species

	类黄酮 Flavonoid content	叶绿素含量 Chlorophyll content	氮含量 Nitrogen content	叶厚 Thickness	比叶面积 Specific leaf area	叶干物质含量 Leaf dry matter content
类黄酮 Flavonoid content	1					
叶绿素 Chlorophyll content	-0.11 [*]	1				
氮含量 Nitrogen content	0.00	0.87 ^{**}	1			
叶厚 Leaf thickness	0.13 [*]	-0.15 ^{**}	-0.27 ^{**}	1		
比叶面积 Specific leaf area	-0.31 ^{**}	-0.11 [*]	0.02	-0.35 ^{**}	1	
叶干物质含量 Leaf dry matter content	0.03	0.21 ^{**}	0.14 ^{**}	0.06	-0.51 ^{**}	1

*: $P<0.05$; **: $P<0.01$

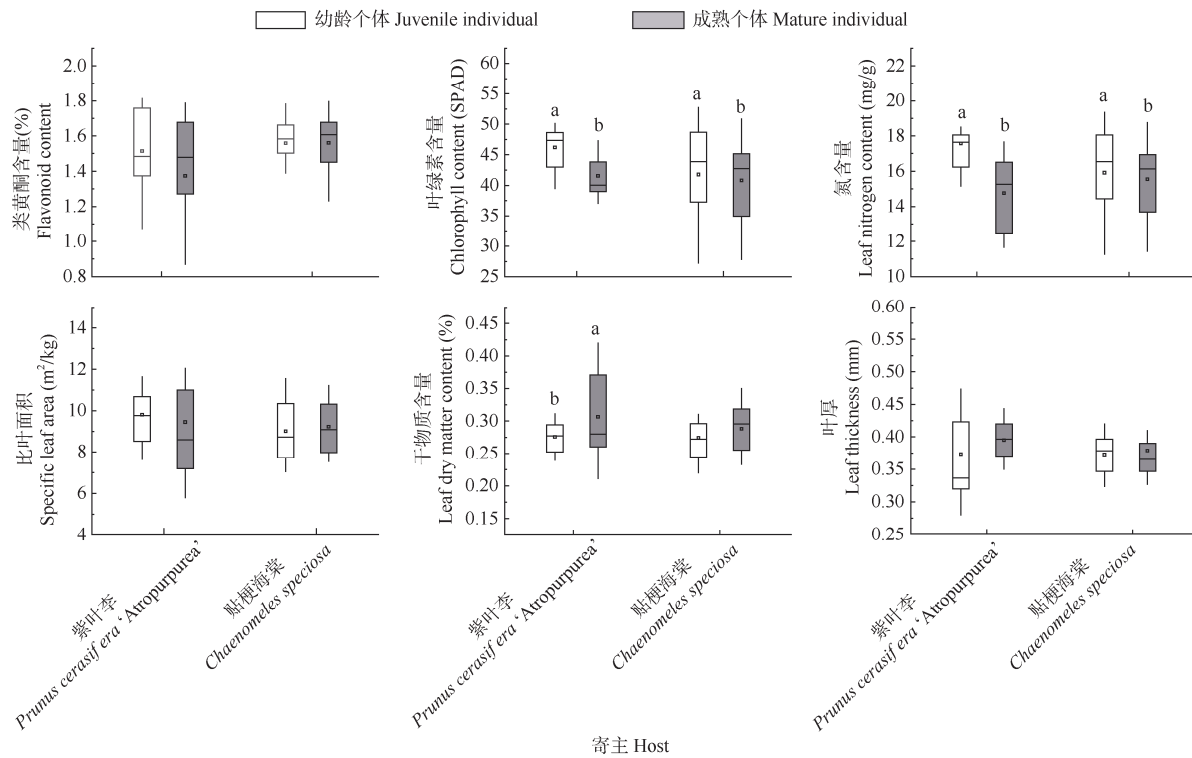


图 3 不同生长阶段桑寄生叶功能性状的差异

Fig. 3 Leaf functional traits in different growth stages of mistletoe

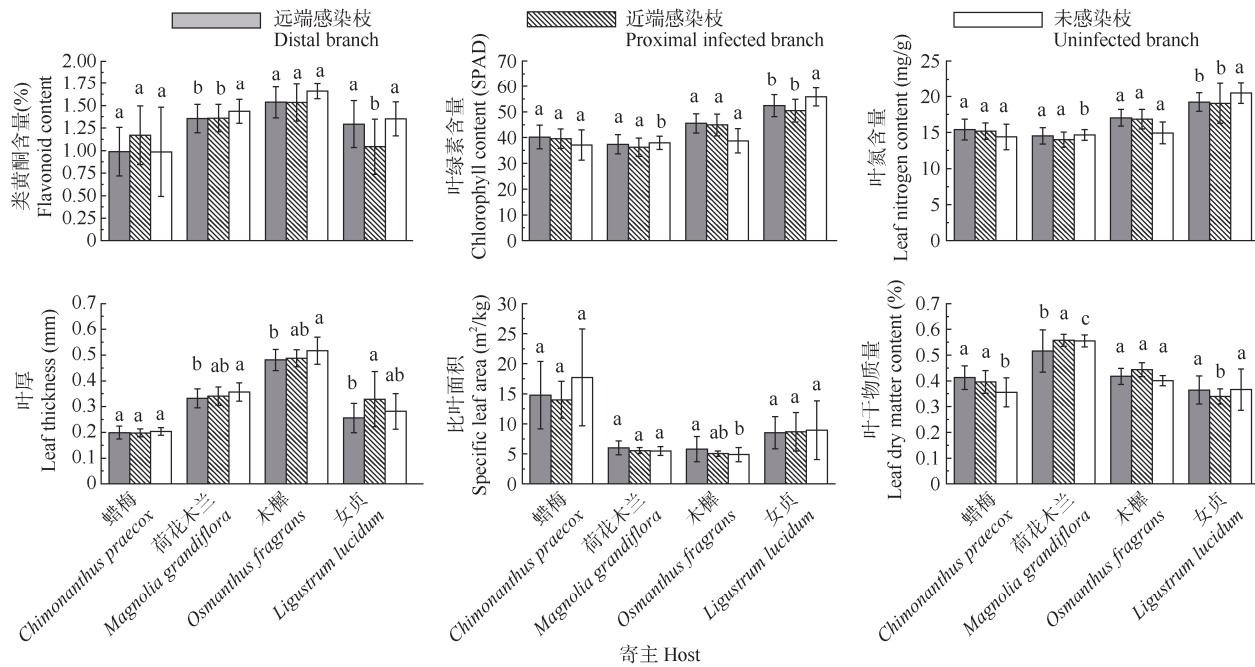


图 4 寄主寄生枝条叶功能性状差异。相同寄主柱上不同字母表示差异显著(P<0.05)。

Fig. 4 Variations of functional traits between branches of hosts. Different letters upon column of the same host indicate significant differences at 0.05 level.

供养分的程度。因而寄生在不同种类寄主上时，桑寄生植物展现出叶功能性状的种内变异性。桑寄生各叶功能性状指标在不同寄主间的差异，反映了桑寄生植物对不同寄主的适应策略。Haynes^[21]通过对比分析半寄生植物与非寄生植物，认为半寄生植物的叶经济谱特征大多表现为资源获取型“快投资-回

报”的叶经济谱特征,即高的叶磷和叶氮含量等。本研究发现不同寄主上桑寄生植物叶经济谱特征存在明显差异,寄生在荷花木兰的毛叶钝果寄生叶功能性状表现为“快投资-回报”(高叶绿素、比叶面积和叶氮含量、低叶厚和叶干物质含量)的叶经济谱特征。但寄生在紫叶李和贴梗海棠上的桑寄生却表现出“慢投资-回报”的叶经济谱特征,即相对更低的叶绿素含量、叶氮含量、比叶面积和更高的叶片厚度和干物质含量。这说明即便是同种桑寄生植物,其叶经济谱特征也可能因寄主而异,但影响桑寄生叶经济谱特征的具体因素还有待深入探索。

本研究中,寄生在固氮寄主刺槐上的毛叶钝果寄生并未拥有比非固氮寄主(如荷花玉兰)上的个体更高的叶氮含量。这与 Wang 等^[9]的研究结果不同,他们报道寄生在固氮寄主刺槐上的桑寄生叶氮含量显著高于其他寄主,原因可能有 2 个方面:一是不同桑寄生植物对寄主资源的利用能力存在差异,不同的桑寄生-寄主特定组合会对桑寄生叶氮含量产生影响,即便寄生在同种寄主上,桑寄生叶氮含量也会因其种类不同而存在差异;二是 Wang 等^[9]的研究在分析比较时混合了所有非固氮寄主种类上的数据而求取平均值,从而可能掩盖了部分较大的叶氮含量值。程思祺等^[36]研究了非寄生植物幼苗叶经济谱性状与防御性状的关系,认为叶经济谱相关性状与叶防御相关性状之间存在权衡关系。与之类似,本研究中桑寄生植物类黄酮含量与资源获取型相关性状特征(高叶绿素含量、高比叶面积)呈显著负相关,而与资源保守型(高的叶片厚度)呈显著正相关。以上说明桑寄生植物在营寄生生活时,会同非寄生植物一样,在叶经济谱相关性状和防御相关性状存在权衡^[36],而不会因与寄主间的相互作用而长期保持较高的防御投资。

3.2 寄主类型和桑寄生植物生长阶段对桑寄生叶功能性状的影响

寄主的生长类型、叶片类型等也会对桑寄生植物叶功能性状的种内变异产生一定影响^[15]。不同寄主类型(如常绿或落叶)代表着其对水分平衡调整的不同策略^[39],而依赖于寄主获取水分的桑寄生植物叶功能性状也可能因此有所调整。然而,本研究中涉及桑寄生植物叶功能性状指标在常绿和落叶寄主间均不存在显著差异,并不受寄主类型的影响,这与之之前的同类研究结果不同。Scalon 等^[40]认为相比于常绿寄主, *Passovia ovata* 寄生在落叶寄

主时拥有更低的气孔密度,所受干旱胁迫较低。Cocoletzi 等^[22]研究表明,寄生在落叶植物上的桑寄生 *Psittacanthus schiedeana* 的叶绿素含量和叶氮含量显著高于寄生在常绿植物上。但他们的研究均只在单一类型的常绿或落叶寄主植物间比较,而未考虑同一类型中寄主种类可能存在的影响,这或许是本研究结果与之不同的主要原因。本研究结果说明生长型特征可能并不会显著影响桑寄生植物叶功能性状,至少在与寄主种类等因素的影响相比时,这种类型的影响显得很微小。与在常绿和落叶寄主间的差异相同,桑寄生植物主要叶功能性状(比叶面积、叶绿素、氮含量、叶片厚度、干物质含量)在不同生活型(乔木或灌木)、不同叶型(针叶或阔叶)寄主间也无明显差异,但寄生在灌木的桑寄生的类黄酮含量显著高于寄生在乔木的。

在毛叶钝果寄生的幼龄阶段,与资源吸收密切相关的叶绿素和叶氮含量均显著高于其成熟阶段,而反映资源保守的叶干物质含量则显著低于成熟阶段。这与王英鲲等^[41]对蛛网萼(*Platycrater arguta*)生长发育的研究结果一致,蛛网萼幼苗和幼树的叶片水分含量高于成树,即幼苗和幼树的叶干物质含量小于成树;同时,与资源获取相关的叶磷含量随植物成熟逐渐降低,显示其生长策略逐渐由“快投资-回报”向“慢投资-回报”转变。本研究表明随着毛叶钝果寄生的生长,其叶绿素和叶氮含量趋于减少,推测其幼龄阶段个体可能具有更高的自养能力,对寄主的营养依赖更低。然而,本研究中毛叶钝果寄生的比叶面积、叶厚度及在寄主贴梗海棠上的个体叶干物质含量在成熟与幼龄阶段并无显著差异,这表明其生长发育对不同叶功能性状的影响存在差异,需要深入的研究来进一步明晰。

3.3 寄主植物不同感染分枝对桑寄生植物感染的响应

桑寄生植物会对其寄主产生不利影响^[42],这种影响程度因不同的桑寄生-寄主组合而异^[16,30]。本研究中,木樨和蜡梅被红花寄生或毛叶钝果寄生后未产生显著变化,而女贞和荷花木兰则受寄生植物的影响较大。桑寄生植物的寄生显著降低了荷花木兰的叶绿素含量、叶氮含量,而显著升高了女贞的这 2 项指标。类似的研究中,与未寄生的寄主相比,桑寄生 *Visum rotundifolium* 降低了其寄主 *Boscia albitrunca* 的叶光合能力^[5],白果槲寄生(*Viscum album*)降低了其寄主奇里乞亚冷杉(*Abies cilicica*)的叶绿

素含量^[43]。这都反映了不同寄主应对桑寄生植物寄生的响应存在差异, 受桑寄生的危害程度不同。

多年生桑寄生植物对寄主的影响是长期的^[31], 寄主会感知桑寄生的感染, 并调整不同感染状态枝条的资源分配^[23,42]。Silva等^[24]研究表明, 寄主会降低被感染枝条邻近的健康枝的比叶面积, 以此维持整体的水分分配和资源供应平衡。而聚焦于单个感染枝, Nabity等^[44]对同一感染枝上的桑寄生去除实验表明, 寄生在同一被感染枝上的桑寄生会因对水等资源分配而产生种内竞争。本研究中, 对于桑寄生植物感染的蜡梅、荷花木兰、木樨枝条而言, 位于感染位置两侧的寄主分枝(近端感染枝和远端感染枝)各项叶功能性状指标具有相同变化趋势。说明这3种寄主的感染分枝和桑寄生的相对位置并不影响各分枝叶片对桑寄生感染的响应, 因此在探究桑寄生植物对寄主的影响时, 扩大寄主的枝条采样范围可能有利于得到更为清晰的研究结果。

综上, 毛叶钝果寄生和红花寄生的叶氮含量、比叶面积、叶类黄酮含量等叶功能性状受寄主种类和生长发育阶段的显著影响。固氮寄主刺槐上的桑寄生个体叶氮含量显著低于非固氮寄主荷花木兰上的, 寄生在灌木上的桑寄生类黄酮含量显著高于乔木。但除寄生在灌木上的桑寄生叶类黄酮含量显著高于乔木外, 寄主类型(常绿或落叶、阔叶或针叶、乔木或灌木)对其叶氮含量、叶绿素含量、比叶面积和干物质含量等叶功能性状无显著差异。桑寄生植物叶经济谱特征在不同寄主上表现不同, 寄生在荷花木兰上的桑寄生植物表现出“快投资-回报”的叶经济谱特征, 而紫叶李和贴梗海棠上的桑寄生却表现出“慢投资-回报”的叶经济谱特征。部分寄主同一感染枝的分枝与桑寄生相对位置的差异并不影响其分枝对桑寄生感染的响应, 如蜡梅、荷花木兰和木樨, 但寄主女贞却受这种相对位置差异影响显著。因此, 在寄主感染枝与未感染枝的对比研究中, 感染枝样本的采集应尽量涵盖不同位置的分枝, 以确保研究结果的准确性。

致谢 感谢四川大学范紫露硕士在采样过程中提供的帮助。

参考文献

[1] MENG T T, NI J, WANG G H. Plant functional traits, environments and ecosystem functioning [J]. Chin J Plant Ecol, 2007, 31(1): 150–165.

[孟婷婷, 倪健, 王国宏. 植物功能性状与环境 and 生态系统功能 [J]. 植物生态学报, 2007, 31(1): 150–165. doi: 10.17521/cjpe.2007.0019.]

[2] VIOLLE C, NAVAS M L, VILE D, et al. Let the concept of trait be functional! [J]. Oikos, 2007, 116(5): 882–892. doi: 10.1111/j.0030-1299.2007.15559.x.

[3] LIN T T, KLINKHAMER P G L, VRIELING K. Parallel evolution in an invasive plant: Effect of herbivores on competitive ability and regrowth of *Jacobaea vulgaris* [J]. Ecol Lett, 2015, 18(7): 668–676. doi: 10.1111/ele.12445.

[4] PRESS M C, GRAVES J D, STEWART G R. Transpiration and carbon acquisition in root hemiparasitic angiosperms [J]. J Exp Bot, 1988, 39(8): 1009–1014. doi: 10.1093/jxb/39.8.1009.

[5] AMUTENYA A, KWEMBEYA E, SHIKANGALAH R, et al. Photosynthesis, chlorophyll content and water potential of a mistletoe-host pair in a semi-arid Savanna [J]. S Afr J Bot, 2023, 163: 311–315. doi: 10.1016/j.sajb.2023.10.053.

[6] TAMUDO E, CAMARERO J J, SANGÜESA-BARREDA G, et al. Dwarf mistletoe and drought contribute to growth decline, dieback and mortality of *Junipers* [J]. Forests, 2021, 12(9): 1199. doi: 10.3390/f12091199.

[7] BOWIE M, WARD D. Water and nutrient status of the mistletoe *Plicossepalus acaciae* parasitic on isolated Negev Desert populations of *Acacia raddiana* differing in level of mortality [J]. J Arid Environ, 2004, 56(3): 487–508. doi: 10.1016/S0140-1963(03)00067-3.

[8] SCHULZE E D, LANGE O L, ZIEGLER H, et al. Carbon and nitrogen isotope ratios of mistletoes growing on nitrogen and non-nitrogen fixing hosts and on CAM plants in the Namib Desert confirm partial heterotrophy [J]. Oecologia, 1991, 88(4): 457–462. doi: 10.1007/BF00317706.

[9] WANG A, BOSE A K, LEHMANN M M, et al. Water status and macronutrient concentrations, but not carbon status, of *Viscum album* ssp. *album* are determined by its hosts: A study across nine mistletoe-host pairs in central Switzerland [J]. Front Plant Sci, 2023, 14: 1142760. doi: 10.3389/fpls.2023.1142760.

[10] SCHULZE E D, TURNER N C, GLATZEL G. Carbon, water and nutrient relations of two mistletoes and their hosts: A hypothesis [J]. Plant Cell Environ, 1984, 7(5): 293–299. doi: 10.1111/1365-3040.ep11589756.

[11] SCALON M C, WRIGHT I J. A global analysis of water and nitrogen relationships between mistletoes and their hosts: Broad-scale tests of old and enduring hypotheses [J]. Funct Ecol, 2015, 29(9): 1114–1124. doi: 10.1111/1365-2435.12418.

[12] HAYNES A F. Presence of N-fixing neighbors increases leaf N and

- $\delta^{13}\text{C}$ in *Castilleja applegatei*, a root hemiparasite [J]. *Plant Ecol*, 2022, 223(2): 213–228. doi: 10.1007/s11258-021-01200-x.
- [13] CHEN L Z, HUANG L, LI X F, et al. Water and nutrient relationships between a mistletoe and its mangrove host under saline conditions [J]. *Funct Plant Biol*, 2013, 40(5): 475–483. doi: 10.1071/FP12218.
- [14] KOŁODZIEJEK J, PATYKOWSKI J, KOŁODZIEJEK R. Distribution, frequency and host patterns of European mistletoe (*Viscum album* subsp. *album*) in the major city of Lodz, Poland [J]. *Biologia*, 2013, 68(1): 55–64. doi: 10.2478/s11756-012-0128-4.
- [15] ZHANG Y B, SCALON M C, LIU J X, et al. You are what you eat: Nutrient and water relations between mistletoes and hosts [J]. *New Phytol*, 2023, 238(2): 567–583. doi: 10.1111/nph.18747.
- [16] SU G F, ZHANG L. Effects of host plants on leaf functional traits of mistletoes [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2023, 31(3): 341–347. [苏国发, 张玲. 寄主植物对桑寄生植物叶片功能性状的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2023, 31(3): 341–347. doi: 10.11926/jtsb.4627.]
- [17] WRIGHT I J, REICH P B, WESTOBY M, et al. The worldwide leaf economics spectrum [J]. *Nature*, 2004, 428(6985): 821–827. doi: 10.1038/nature02403.
- [18] WRIGHT J P, SUTTON-GRIER A. Does the leaf economic spectrum hold within local species pools across varying environmental conditions? [J]. *Funct Ecol*, 2012, 26(6): 1390–1398. doi: 10.1111/1365-2435.12001.
- [19] HU Y K, PAN X, LIU G F, et al. Novel evidence for within-species leaf economics spectrum at multiple spatial scales [J]. *Front Plant Sci*, 2015, 6: 901. doi: 10.3389/fpls.2015.00901.
- [20] ZHU J Y, XU Q, YAO J M, et al. The changes of leaf reflectance spectrum and leaf functional traits of *Osmanthus fragrans* are related to the parasitism of *Cuscuta japonica* [J]. *Appl Sci*, 2021, 11(4): 1937. doi: 10.3390/app11041937.
- [21] HAYNES A F. What do we know about parasitic plants and the leaf economic spectrum? [J]. *J Plant Ecol*, 2022, 15(4): 691–699. doi: 10.1093/jpe/rtab113.
- [22] COCOLETZI E, ANGELES G, BRIONES O, et al. The ecophysiology of a neotropical mistletoe depends on the leaf phenology of its tree hosts [J]. *Am J Bot*, 2020, 107(9): 1225–1237. doi: 10.1002/ajb2.1529.
- [23] SCALON M C, ROSSATTO D R, FRANCO A C. How does mistletoe infection affect seasonal physiological responses of hosts with different leaf phenology? [J]. *Flora*, 2021, 281: 151871. doi: 10.1016/j.flora.2021.151871.
- [24] SILVA M C, GUIMARÃES A F, TEODORO G S, et al. The enemy within: the effects of mistletoe parasitism on infected and uninfected host branches [J]. *Plant Ecol*, 2021, 222(5): 639–645. doi: 10.1007/s11258-021-01132-6.
- [25] SCALON M C, DOS REIS S A, ROSSATTO D R. Shifting from acquisitive to conservative: the effects of *Phoradendron affine* (Santalaceae) infection in leaf morpho-physiological traits of a Neotropical tree species [J]. *Aust J Bot*, 2017, 65(1): 31–37. doi: 10.1071/BT16177.
- [26] HAAN N L, BAKKER J D, BOWERS M D. Hemiparasites can transmit indirect effects from their host plants to herbivores [J]. *Ecology*, 2018, 99(2): 399–410. doi: 10.1002/ecy.2087.
- [27] KIM C W, AN C H, LEE H S, et al. Proximate and mineral components of *Viscum album* var. *coloratum* grown on eight different host tree species [J]. *J For Res*, 2019, 30(4): 1245–1253. doi: 10.1007/s11676-018-0730-6.
- [28] MARIAS D E, MEINZER F C, WOODRUFF D R, et al. Impacts of dwarf mistletoe on the physiology of host *Tsuga heterophylla* trees as recorded in tree-ring C and O stable isotopes [J]. *Tree Physiol*, 2014, 34(6): 595–607. doi: 10.1093/treephys/tpu046.
- [29] MEINZER F C, WOODRUFF D R, SHAW D C. Integrated responses of hydraulic architecture, water and carbon relations of western hemlock to dwarf mistletoe infection [J]. *Plant Cell Environ*, 2004, 27(7): 937–946. doi: 10.1111/j.1365-3040.2004.01199.x.
- [30] MATTHIES D. Closely related parasitic plants have similar host requirements and related effects on hosts [J]. *Ecol Evol*, 2021, 11(17): 12011–12024. doi: 10.1002/ece3.7967.
- [31] MUCHE M, MUASYA A M, TSEGAY B A. Biology and resource acquisition of mistletoes, and the defense responses of host plants [J]. *Ecol Process*, 2022, 11(1): 24. doi: 10.1186/s13717-021-00355-9.
- [32] ANSELMO-MOREIRA F, TEIXEIRA-COSTA L, CECCANTINI G, et al. Mistletoe effects on the host tree *Tapirira guianensis*: Insights from primary and secondary metabolites [J]. *Chemoecology*, 2019, 29(1): 11–24. doi: 10.1007/s00049-018-0272-6.
- [33] HU B, SAKAKIBARA H, TAKEBAYASHI Y, et al. Mistletoe infestation mediates alteration of the phytohormone profile and anti-oxidative metabolism in bark and wood of its host *Pinus sylvestris* [J]. *Tree Physiol*, 2017, 37(5): 676–691. doi: 10.1093/treephys/tpx006.
- [34] SOMSSICH M, CESARINO I. Parasite-resistant ketchup! Lignin-based resistance to parasitic plants in tomato [J]. *Plant Physiol*, 2022, 189(1): 4–6. doi: 10.1093/plphys/kiac067.
- [35] BATES D, MÄCHLER M, BOLKER B, et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. [J]. *J Stat Softw*, 2015, 67(1): 1–48. doi: 10.18637/jss.v067.i01.
- [36] SEARLE S R, SPEED F M, MILLIKEN G A. Population marginal means in the linear model: An alternative to least squares means [J]. *Am Stat*, 1980, 34(4): 216–221. doi: 10.1080/00031305.1980.10483031.

- [37] CHENG Y T, XU Z Z. Review on research of leaf economics spectrum [J]. *Chin J Plant Ecol*, 2014, 38(10): 1135–1153. [陈莹婷, 许振柱. 植物叶经济谱的研究进展 [J]. *植物生态学报*, 2014, 38(10): 1135–1153. doi: 10.3724/SP.J.1258.2014.00108.]
- [38] MOSTAGHIMI F, SEYEDI N, BANJ SHAFIEI A, et al. How do leaf carbon and nitrogen contents of oak hosts affect the heterotrophic level of *Loranthus europaeus*? Insights from stable isotope ecophysiology assays [J]. *Ecol Indic*, 2021, 125: 107583. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107583.
- [39] FRANCO A C, BUSTAMANTE M, CALDAS L S, et al. Leaf functional traits of Neotropical savanna trees in relation to seasonal water deficit [J]. *Trees*, 2005, 19(3): 326–335. doi: 10.1007/s00468-004-0394-z.
- [40] SCALON M C, ROSSATTO D R, DOMINGOS F M C B, et al. Leaf morphophysiology of a neotropical mistletoe is shaped by seasonal patterns of host leaf phenology [J]. *Oecologia*, 2016, 180(4): 1103–1112. doi: 10.1007/s00442-015-3519-8.
- [41] WANG Y K, LÜ K, WU Y, et al. Changes in the functional traits of *Platycrater arguta* Sieb. et Zucc. leaves with plant growth and development [J]. *Plant Sci J*, 2021, 39(5): 526–534. [王英颀, 吕坤, 吴宇, 等. 蛛网萼叶功能性状随植物生长发育进程的变化 [J]. *植物科学学报*, 2021, 39(5): 526–534. doi: 10.11913/PSJ.2095-0837.2021.50526.]
- [42] LOGAN B A, REBLIN J S, ZONANA D M, et al. Impact of eastern dwarf mistletoe (*Arceuthobium pusillum*) on host white spruce (*Picea glauca*) development, growth and performance across multiple scales [J]. *Physiol Plant*, 2013, 147(4): 502–513. doi: 10.1111/j.1399-3054.2012.01681.x.
- [43] OZTURK M, COSKUNER K A, SERDAR B, et al. Impact of white mistletoe (*Viscum album* ssp. *abietis*) infection severity on morphology, anatomy and photosynthetic pigment content of the needles of Cilician fir (*Abies cilicica*) [J]. *Flora*, 2022, 294: 152135. doi: 10.1016/j.flora.2022.152135.
- [44] NABITY P D, BARRON-GAFFORD G A, WHITEMAN N K. Intra-specific competition for host resources in a parasite [J]. *Curr Biol*, 2021, 31(6): 1344–1350.E3. doi: 10.1016/j.cub.2021.01.034.