

红豆杉生长特征的影响因素研究进展

陈 勇

(南京警察学院 生态环境法治研究中心, 江苏 南京 210023)

摘要: 红豆杉 *Taxus* spp. 是中国的珍贵造林树种, 为一线抗癌药物紫杉醇的工业化生产提供植物原材料。随着紫杉醇市场需求的日益增长, 红豆杉人工林的分布越来越广泛。目前, 对影响红豆杉生长特征的因素进行系统而全面的综合分析尚不多, 这限制了解析红豆杉高效栽培技术的能力。本研究从形态结构和生理生化参数对红豆杉的生长特征进行探讨, 并总结了对具体参数的测量方式。红豆杉生长特征的影响因素研究主要包括解析红豆杉的生长特征参数、遗传因素、栽培条件和环境因子。主要结论为: 红豆杉人工林生长特征的评价主要从形态结构和生理生化指标两方面参数开展; 遗传是决定红豆杉栽培林形状的主要因素, 宜选用冠幅宽大的红豆杉品种进行人工造林; 立地条件、水分、肥料、土壤、光照和温度等环境因子都对红豆杉的生长发育造成了显著影响。未来红豆杉生长特征影响因素研究将更加多样化和综合化, 包括基因组学、代谢组学、多特征相关性研究、保护遗传资源、抗逆性研究以及生态系统服务功能等多方面, 将进一步推动红豆杉的保护与利用。参 72

关键词: 红豆杉; 生长特征; 林分密度; 立地条件; 抗逆性; 综述

中图分类号: S791 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2023)06-1366-10

Research progress on influencing factors of growing characteristics of *Taxus* spp.

CHEN Yong

(Legal Research Center on Ecology & Environment, Nanjing Police University, Nanjing 210023, Jiangsu, China)

Abstract: As one of the precious afforestation trees in China and the source of raw materials for the industrial production of the first-line anticancer drug paclitaxel, *Taxus* spp. are now widely distributed. However, the ability to develop efficient cultivation technology of *Taxus* spp. is compromised for lack of systematic analysis of factors affecting the growth characteristics. This study has explored the growth characteristics, including morphological/structural parameters and physiological and biochemical parameters the measurement methods of each parameter. The influencing factors of the growth characteristics is mainly focused on the growth characteristic parameters, the genetic factors, the cultivation conditions and the environmental factors. The growth characteristics are evaluated by morphological structure and physiological and biochemical indicators. Genetics is the main factor that determines the shape of the cultivated trees, and *Taxus* species with large crown widths are suitable for artificial afforestation. Environmental factors, such as site conditions, moisture, fertilizers, soil, light, and temperature, have significant impacts on the growth of *Taxus* trees. The future research, involving genomics, metabolomics, multi-feature correlation studies, protection of genetic resources, stress resistance studies and ecosystem service functions, will further promote the protection and utilization of *Taxus*. [Ch, 72 ref.]

Key words: *Taxus* spp.; growth characteristics; stand density; site conditions; stress resistance; summary

收稿日期: 2023-06-08; 修回日期: 2023-10-21

基金项目: 国家林业和草原局野生植物保护管理项目 (2020070325)

作者简介: 陈勇 (ORCID: 0009-0007-2229-0423), 副教授, 从事野生动植物保护研究。E-mail: 85735163@qq.com

红豆杉 *Taxus spp.* 别名紫杉、观音杉、红豆树等, 是红豆杉科 *Taxaceae* 红豆杉属 *Taxus* 植物的总称^[1], 是新生代第四纪冰川时期的古老珍贵树种^[2], 1996年被联合国教科文组织列入全球珍稀濒危植物, 1999年被中国列为一类珍稀濒危野生植物。红豆杉是天然稀有抗癌植物, 其根、茎、叶等都可入药, 由红豆杉提取的紫杉醇具有抗肿瘤、抗氧化、排毒、消炎及镇痛作用^[3], 其新颖的化学结构、广泛的生物活性、独特的作用机制使其成为研究重点^[4]。同时, 红豆杉是中国南方主要的珍贵用材造林树种, 且造型优美, 具备多重观赏价值, 在园林绿化中有着广泛的应用前景^[5]。

红豆杉栽培地主要在中国亚热带地区及温带南部地区^[6]。目前, 红豆杉的栽培和造林面临着艰巨的挑战。原因包括: 其一, 红豆杉种子对萌发环境要求苛刻, 对水分、土壤和气候等有特殊要求, 使天然条件下红豆杉再生困难; 其二, 红豆杉生长缓慢, 需要几十年才能成熟; 其三, 乱砍滥伐导致了资源匮乏。所以, 人工栽培红豆杉已成为红豆杉可持续发展的关键^[7]。研究影响红豆杉生长特征的因素, 是探寻科学、合理的人工栽培种植方式的重要基础。

目前红豆杉的研究主要集中在化学成分提取^[8]、种群结构分布^[9]、生态功能分析^[10]、基因功能^[11]和人工繁育^[12-13]等方面, 但其形态结构、生理生化生长特征的研究还较少见, 特别是缺乏对影响红豆杉生长特征的因素及其互作效应综合分析。深入了解红豆杉生长特征的影响因素, 可以优化生长环境、调整林分结构和增加土壤肥力, 从而提高红豆杉的质量和产量^[14]; 可为生态系统的恢复和保护提供科学依据, 促进生物多样性的保护和生态系统的健康发展^[15]; 也有助于深入了解其生物学特性和药用活性成分的合成规律, 从而进一步拓展红豆杉的应用价值^[16]。本研究对红豆杉形态结构参数和生理生化参数等生长特征及其主要影响因素进行综述, 以期对红豆杉科学管理与精准培育提供理论依据和实践指导。

1 红豆杉的生长特征

1.1 形态结构参数

红豆杉的形态结构参数包括树高、地径、胸径、干径、冠幅、树梢长度、树梢直径、枝条数量、株数、树皮颜色、叶片长度、叶片宽度、叶色、叶倾角、叶空间分布等^[17]。树高、冠幅、树梢长度等参数采用塔尺、树木测高仪等测定。地径、胸径、干径、树梢直径采用卷尺、软尺、游标卡尺、树木测径仪等测定。叶片长度、叶片宽度等用尺测定, 树皮颜色、叶色用比色卡测定, 叶倾角、叶空间分布等用量角器测定^[18]。在当前造林实践中, 通过测定红豆杉表征形态结构诸等参数, 可以快速地评价红豆杉人工林生长状况。

1.2 生理生化参数

红豆杉的生理生化参数包括光合速率、叶绿素含量、紫杉醇含量等。叶片光合速率采用红外线二氧化碳分析仪、光合测量仪等测定。叶片叶绿素含量采用叶绿素测量仪测定^[19]。紫杉醇含量用高效液相色谱仪测定。通过测定红豆杉生理生化指标, 可以准确把握红豆杉生长状态, 为后续红豆杉生长特征影响因素的研究提供科学、稳定的分析参数。

2 影响红豆杉生长特征的因素

2.1 遗传因素

红豆杉的树冠、树枝、叶等生长特征差异与遗传有关。中国有5种红豆杉, 包括中国红豆杉 *T. chinensis*、东北红豆杉 *T. cuspidata*、云南红豆杉 *T. yunnanensis*、南方红豆杉 *T. wallichiana var. mairei*、西藏红豆杉 *T. wallichiana*^[20]。中国红豆杉高可达20 m, 具有狭长的塔形冠, 叶长而扁, 条形针叶状, 深绿色, 叶长大约1.5~3.0 cm, 叶尖略尖, 叶基宽而扁平, 边缘微卷曲或不卷曲^[21]。东北红豆杉树高度不超过2 m, 树形紧凑且矮小, 通常呈圆形或多枝丛生, 叶呈针叶状, 长而稍扁, 叶长1~2 cm, 叶排成不规则的二列, 斜上伸展, 约成45°“V”形开展, 形状为条形, 通常直, 稀微弯, 上下几等宽^[22]。云南红豆杉树高可达25 m, 树形挺拔, 枝叶茂盛伸展, 冠幅宽大, 叶片质地薄, 披针状条形或条状披针形, 叶长1~3 cm, 常呈弯镰状, 排列较疏^[23]。南方红豆杉树高10~20 m, 具有挺拔的树干和树冠, 树枝水平分枝, 叶片宽长, 呈条形或披针状条形, 多为弯镰状, 边缘不卷曲, 叶长2~4 cm, 表面光滑^[24]。西藏红豆杉叶片质地较厚, 形状为条形, 较密地排列成彼此重叠的不规则两列, 叶形直^[25-26]。不

同种红豆杉在形态特征方面有着巨大差异,这说明遗传因子在红豆杉生长发育过程中发挥了决定性的作用。近年来,多种红豆杉的全基因组序列被发表,大量差异遗传位点也得到了解析,这为解析控制红豆杉生长发育的遗传因子打下了坚实的基础^[27-29]。要根据种植地区、气候、造林用途选择合适的红豆杉种,如在原料林培育模式中,宜选用冠幅宽大的云南红豆杉。

2.2 栽培条件

2.2.1 育苗方式 红豆杉育苗方式有直播法、深盘播种法、盆栽法、穴盘育苗法等^[30]。直播法是将红豆杉种子直接播撒在育苗床或种植地上,简单易行,繁殖系数高,但因红豆杉种子有深度休眠特性,自然条件下易受环境因素的影响,且对红豆杉的生长特征影响较大^[31]。深盘播种法是将种子播种在深盘中,在苗期逐步移栽到较大的容器中,优点是红豆杉的苗木根系发育较好,生长速度较快,能耐较大风力,同时,抗旱能力也较强^[32]。盆栽法是将种子直接栽种到盆栽土中,有利于生长环境的控制,盆栽红豆杉苗木受限于盆的体积在早期生长比较缓慢,但经过适当的管理,可以在后期获得良好的生长特征表现^[33]。穴盘育苗法是将红豆杉种植在多孔的穴盘中,随后将整个穴盘一同移栽到目标地,能更好地保护红豆杉根系,减少移栽造成的伤害,对促进整体生长有积极的影响^[31]。由于各地自然条件不同,在选择育苗方式上需要因地制宜。在合适土壤条件下,适合使用直播法,可以有效降低成本,减轻工作量。在较为恶劣的自然环境下,可使用深盘播种法,以降低环境对红豆杉幼苗生长发育的影响。在土壤条件差、干旱等不利自然条件下,适合使用盆栽法和穴盘育苗法等更能保护根系的育苗方法。

2.2.2 林分类型 林分类型是红豆杉野生种群维持与更新的关键制约因素^[34],红豆杉一般生长于针阔混交林、阔叶混交林、阔叶纯林、多龄级林分、原生林等林分。红豆杉多散生于油松 *Pinus tabulaeformis*+栗树 *Castanea mollissima* 林、臭冷杉 *Abies nephrolepis*+紫椴 *Tilia amurensis* 林、杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林、柏木 *Cupressus funebris* 林、杂木林、马尾松 *Pinus massoniana* 林、兴安鱼鳞云杉 *Picea jezoensis*+臭冷杉林、红松 *Pinus koraiensis*+紫椴林、红松+云杉 *Picea asperata*+冷杉 *Abies fabri* 林、红松+槭树林、红松+风桦 *Betula costata* 林等针阔混交林中,这种林分类型提供了适宜的土壤环境和光照条件,气候适应性强,为红豆杉的成长提供了较好的生境^[35]。研究表明:不同林分类型下东北红豆杉更新数量差异显著,臭冷杉+紫椴林下东北红豆杉种群更新数量明显多于杂木林^[36],红松-紫椴林内的东北红豆杉种群生长最佳,分布个体也最多^[37]。红豆杉对生境的要求较为严苛,多生长于阴坡、半阴坡及沟谷,喜阴忌晒,一般为天然散生,以“混合、复层、异龄”为主要特征,在天然林中罕见纯林,也极少有团块分布^[38-39]。红豆杉群落的谱系多样性指数与物种丰富度指数存在正相关关系,物种多样性对群落的结构类型和组织水平有一定影响^[22,40-41]。上述研究表明,较高的生物多样性和完整的生态系统是保障野生红豆杉种群的关键,在造林过程中,选择合适的林分类型有助于红豆杉稳定生长发育。

2.2.3 林分密度 林分密度的适度增加对红豆杉更新具有一定的促进作用,林分由低密度增到中密度时,红豆杉更新幼苗数量显著增加,因为较高的林分密度会使林下光照强度减小,从而提供遮阴环境,有助于提升红豆杉幼苗的存活率与生长速度^[42]。但林分密度太高时,会限制阳光的透入,减少红豆杉叶片的光合作用和能量获取。郁闭度对杉木林下套种红豆杉的生长特征有显著影响,杉木间伐后林分保留郁闭度为 0.55~0.60 时,最有利于其林下套种的南方红豆杉生长发育^[43]。林分密度较高的森林具有较高的湿度和降雨截留能力,可以提供更加湿润的生境条件,这对红豆杉这种喜湿植物来说是有益的^[44]。然而,林分密度较高时,树木之间的竞争会增加,争夺有限的水分、养分和空间资源,导致红豆杉的生长受到限制,树形狭窄、枝条细弱,甚至死亡。另外,林分密度较高时,红豆杉病虫害的传播和发生风险可能会增加,因为密集的林分形成的环境有利于寄生虫和病原体的繁殖^[40]。因此,适当的林分密度可以减少竞争压力,有利于红豆杉的生长和发育^[43]。综上所述,适度提高林分密度对于红豆杉生长特征是有益的。但是,林分密度的确定因红豆杉种类、生态环境和管理目标而异,科学合理的林分管理措施可以提高红豆杉的生长质量和产量,保护该树种的可持续发展。

2.3 环境

2.3.1 立地条件 红豆杉多生长于海拔 300~1 600 m 的山坡、沟谷、河边的阴湿处,在海拔 2 000~3 000 m 的深山丛林中也可见。已有研究表明不同坡位、坡向、海拔对红豆杉生长均有显著影响^[45]。不同地形

坡位对红豆生长的影响存在差异, 红豆杉幼苗成活率在山谷和坡下部较高, 中坡次之, 坡上部、山顶最差, 中下坡红豆杉各项特征指数更高、长势更佳^[45-46]。原因是在海拔的影响下, 上坡位光照充足, 但土壤肥力和水分条件较差; 中坡位具备的光照、水分、土壤等各条件适中; 下坡位水分及土壤情况最优。海拔是影响红豆杉生长的重要因素, 有研究显示, 影响南方红豆杉分布的最重要环境因子就是海拔, 其重要性远高于年平均降水量、归一化差分植被指数、年平均最少降水量和年平均气温等^[47]。海拔和红豆杉长势成反比, 随着海拔的升高, 红豆杉的株高、干径、冠幅和光合速率呈逐渐降低的趋势。另外, 坡向也是影响红豆杉幼苗生长的重要立地条件, 坡向主要通过不同的光照强度、风力、水分等因素对红豆杉的生长产生影响, 在海拔相近的样地, 半阴阳坡红豆杉生长特征优于阴坡, 阴坡红豆杉生长特征显著优于阳坡, 原因在于半阴阳坡、阴坡更能满足红豆杉喜阴忌晒的生物学特性, 但过于荫蔽或过强光照反而会影响红豆杉生长发育^[46, 48]。综上所述, 在红豆杉造林立地条件选择中, 坡位、坡向、海拔等是首要考虑的参数。中下坡、低海拔、北坡向的立地条件最适合红豆杉造林。

2.3.2 水分 在水分不足的情况下, 红豆杉通过减少叶面积、控制蒸腾速率来减少水分的丧失, 累积更多溶质降低细胞渗透率来应对干旱胁迫^[49-50]。不同干旱程度对红豆杉的影响不同, 对于形态结构而言, 轻度干旱胁迫下, 红豆杉幼苗新梢长度和直径生长量均增大, 即适度干旱胁迫对促进红豆杉生长量提升有一定帮助, 可增强植株抗旱性能; 但是当干旱胁迫程度加剧到中度和重度时, 新梢生长量减少, 即通过降低形态结构发育来维持生长^[51]。对于生理生化参数而言, 在低强度和短时间的干旱胁迫作用下, 红豆杉产生应激反应, 使叶绿素含量显著升高^[52]。而当干旱胁迫延长到 3 周左右时, 叶绿素含量经历短暂的下降, 此时随着干旱时间持续增加, 土壤干旱程度加深, 红豆杉开始适应干旱胁迫^[53]。干旱胁迫持续至后期, 重度胁迫下的红豆杉叶绿素总含量迅速下降, 此时红豆杉生理调节能力可能已达极限, 造成不可逆失活^[54]。在相对干旱的区域, 红豆杉生长特征通常与降水量正相关^[55]。综合可见, 适度干旱有利于提升红豆杉生物量, 这对提高红豆杉经济价值具有正向作用。

2.3.3 施肥方式 红豆杉对肥料要求较高, 尤其对氮、磷、钾等营养元素需求较大, 正确的施肥方式能提高土壤养分含量, 使红豆杉更好地吸收养分, 促进生长发育, 达到提高苗木质量的目的。当氮肥施用量适当增加时, 红豆杉幼苗的冠幅、苗高、干径、新生枝条数量和叶绿素含量均增加^[56]。施肥方法及施肥种类也会显著影响红豆杉的地径和树高等形态结构生长特征, 混合施用硫酸钾复合肥和发酵牛粪可显著提高红豆杉幼林生长量^[25, 57]。在不同生长期施肥对红豆杉的促进效果不同。对南方红豆杉而言, 在生长后期施肥有利于氮、钙及微量元素的积累, 显著提高生物量和根冠比等参数^[58]。此外, 红豆杉幼苗种植密度也会影响氮肥施用的效果。施用相同氮肥条件下, 当种植密度由 1.0 万株·hm⁻² 增加至 2.0 万株·hm⁻² 时, 红豆杉幼苗的树高和冠幅均呈显著降低趋势^[59]。因为种植密度过大会降低光照, 从而减小红豆杉的干径; 种植密度过小, 充裕的光照会促进新生枝条的发育, 也会让红豆杉干径变小^[59-60]。近年来, 指数施肥方式被应用到红豆杉苗期养分精准调控与高效培育中, 指数施肥方式和传统的平均施肥方式相比, 更能促进红豆杉幼苗的株高、地径等生长, 能更大程度地满足红豆杉在不同生长时期对养分的需求, 且生长速率稳定^[61]。另外, 在相同施肥量下, 指数施肥方式下的红豆杉幼苗各部位的氮、磷、钾含量均大于传统的平均施肥方式, 这是由于红豆杉苗木生长后期存在“奢侈消耗”现象, 指数施肥方式增加了其苗木体内更多的养分承载^[62-63]。因此, 选取科学合理的施肥方式对提高肥料利用效率和促进红豆杉健康生长非常必要。

2.3.4 土壤 土壤质量与红豆杉的生长密切相关^[64]。其一, 红豆杉偏好中性到酸性土壤, 最适 pH 为 4.5~7.5, 如果土壤的 pH 过高, 可以通过添加酸性肥料或者改良土壤的方式来降低土壤的 pH^[65]。其二, 红豆杉为适应具有适度排水性的土壤, 不适应过湿或过干的土壤, 过湿的土壤可能导致根系缺氧和腐烂, 影响植物的正常生理功能, 过干的土壤会限制根系的水分吸收能力。其三, 质地疏松的土壤有利于根系的生长, 便于水分和养分的渗透与吸收。重壤、黏土、砂土等都不适合红豆杉的生长。草炭土、珍珠岩、骨粉和少量土壤混合, 有利于红豆杉生长, 对于质地太重的土壤, 可以通过添加有机物质或者砂土改良土壤, 提高土壤的透气性和排水性^[22]。其四, 土壤有机质可以提供养分和保持土壤湿润度, 有助于红豆杉的生长。综上所述, 在红豆杉的种植和管理过程中, 选择微酸性、具有适度排水性、轻质、含

有丰富有机质的土壤,可以促进红豆杉的生长。

2.3.5 光照和温度 光照、温度等气候条件是影响红豆杉生长的重要因素。研究发现3年生以下的红豆杉幼苗对光照极为敏感,更适宜荫蔽的环境,因此需对其适当遮光。南方红豆杉1年生实生苗的最适遮光率为65%~75%,2年生幼苗的最适遮光率为45%左右,最适遮光率下苗木保存率最高;苗高和地径大小受光照影响也较为明显,均随遮光率增加呈现增加趋势,超过最适遮光率后随遮光率增加而降低^[46,66]。红豆杉的生长与温度的相关性较为复杂。在降水量充足、气候较为湿润的南方大部分区域,分布在高海拔区域的红豆杉径向生长与年平均气温显著正相关,与各月气温也有较高的正相关性,但低海拔区域红豆杉对气温的变化却不敏感^[55]。在高海拔区域,环境温度相对降低,成为影响红豆杉径向生长的限制因子,较高的气温可使红豆杉免受低温胁迫,安全度过休眠期,并能提升在生长季的细胞生理活动和光合效率,加速生长;在低海拔区域,温度条件本身较好,红豆杉径向生长与温度的响应关系弱于高海拔区域。温度超过红豆杉的最适温度范围上限,会导致红豆杉加快生理活动,消耗大量营养物质,影响其生长^[55,67]。因此,在红豆杉造林实践中,选择光照和温度适合的区域有利于红豆杉幼林的生长发育。

3 红豆杉生长特征影响因素研究的新技术及应用趋势

红豆杉生长特征影响因素研究的新技术主要包括基因组学技术、代谢组学技术、多特征相关性研究技术。随着基因组测序技术的迅速发展,3种不同红豆杉的全基因组序列已发表^[27-29],这表明红豆杉生长特征研究更加注重对红豆杉基因组的利用^[68]。基因组学研究可以揭示红豆杉的基因组结构、功能基因和调控机制,有助于理解红豆杉生长特征形成的基本原理^[69-70]。代谢组学是研究生物体代谢产物组成和变化的科学,可以实现对红豆杉次生代谢产物的高通量分析和识别,发现潜在的生物活性物质和药用价值,有助于发掘红豆杉的药用和化工潜力^[71]。红豆杉形态结构特征各参数之间、生理生化特征各参数之间、形态结构特征和生理生化特征之间存在着相关性,比如树高和胸径、叶绿素含量和氮含量、叶片颜色和叶绿素含量,因此,运用统计方法对各因素进行相关性分析能全面解析红豆杉生长机制。

红豆杉资源的保护和合理利用是未来研究的重点。对不同地理种群的遗传多样性、基因流动和种群结构等方面开展研究,可为红豆杉的保育和种质资源的合理利用提供科学依据^[72]。红豆杉具有较强的环境适应性,可聚焦于红豆杉的耐旱、耐寒、耐病虫害等抗逆性机制,揭示其适应逆境的生理和分子调控机制,为抗逆基因的克隆、功能研究和应用提供新思路^[68]。

综上所述,作为珍贵树种抚育以及生态育林的核心主体,系统分析红豆杉生长特征影响因素将有助于发展红豆杉新型高效栽培技术。未来红豆杉生长特征影响因素研究的发展将更加多样化和综合化,包括基因组学、代谢组学、多特征相关性、资源保护、抗逆性以及生态系统服务功能等。这些研究将推动红豆杉的保护与利用,为更好地了解和利用这一珍贵资源提供科学支持。

4 参考文献

- [1] 孙铭隆,李威,刘彤,等. 3种红豆杉光合特性及叶绿素荧光差异比较[J]. 经济林研究, 2011, 29(1): 27-33.
SUN Minglong, LI Wei, LIU Tong, et al. Differences of photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence in 3 varieties of *Taxus* spp. [J]. *Non-wood Forest Research*, 2011, 29(1): 27-33.
- [2] 周志强,胡丹,刘彤. 天然东北红豆杉种群生殖力与开花结实特性[J]. 林业科学, 2009, 45(5): 80-86.
ZHOU Zhiqiang, HU Dan, LIU Tong. Fecundity and characteristics of flowering and fruiting of natural *Taxus cuspidata* population [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2009, 45(5): 80-86.
- [3] ZHU Linyan, CHEN Liqun. Progress in research on paclitaxel and tumor immunotherapy [J/OL]. *Cellular & Molecular Biology Letters*, 2019, 24: 40[2023-06-02]. doi: 10.1186/s11658-019-0164-y.
- [4] YU Dingli, LOU Zhiping, MA Fengyun, et al. The interactions of paclitaxel with tumour microenvironment [J/OL]. *International Immunopharmacology*, 2022, 105: 108555[2023-06-02]. doi: 10.1016/j.intimp.2022.108555.
- [5] 欧建德,吴志庄. 幼龄南方红豆杉人工林树冠形态特征与生长形质通径分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2019, 43(4): 185-191.

- OU Jiande, WU Zhizhuang. Path analysis between canopy morphological characteristics and growth form quality of *Taxus chinensis* var. *mairei* plantation at young age [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2019, **43**(4): 185 – 191.
- [6] 陈锋, 谢文远, 张芬耀, 等. 浙江省国家重点保护野生植物的多样性及濒危现状[J]. *浙江农林大学学报*, 2022, **39**(5): 923 – 930.
- CHEN Feng, XIE Wenyuan, ZHANG Fenyao, *et al.* Diversity and endangered status of Chinese key protected wild plants in Zhejiang Province [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2022, **39**(5): 923 – 930.
- [7] WANG Zheng, GAO Shuai, HUANG Xinglong, *et al.* Functional importance of bird-dispersed habitat for the early recruitment of *Taxus chinensis* in a fragmented forest [J/OL]. *Acta Oecologica*, 2022, **114**: 103819 [2023-06-02]. doi: 10.1016/j.actao.2022.103819.
- [8] LEE C G, LEE J, LEE D G, *et al.* Immunostimulating activity of polyhydric alcohol isolated from *Taxus cuspidata* [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, **85**: 505 – 513.
- [9] 陈杰, 龙婷, 杨蓝, 等. 东北红豆杉生境适宜性评价[J]. *北京林业大学学报*, 2019, **41**(4): 51 – 59.
- CHEN Jie, LONG Ting, YANG Lan, *et al.* Habitat suitability assessment of *Taxus cuspidata* [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2019, **41**(4): 51 – 59.
- [10] 陈璐. 长三角地区红豆杉的造林栽培与生态功能分析[J]. *分子植物育种*, 2023, **21**(8): 2778 – 2784.
- CHEN Lu. Afforestation, cultivation and ecological function analysis of *Taxus chinensis* in the Yangtze River Delta [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2023, **21**(8): 2778 – 2784.
- [11] 张恺恺, 杨立莹, 丰美静, 等. 曼地亚红豆杉NAC基因家族鉴定及表达分析[J]. *林业科学研究*, 2022, **35**(2): 97 – 103.
- ZHANG Kaikai, YANG Liying, FENG Meijing, *et al.* Identification and expression analysis of NAC gene family in *Taxus × media* Rehder [J]. *Forest Research*, 2022, **35**(2): 97 – 103.
- [12] 李威, 杨德光, 牟尧, 等. 去遮荫后东北红豆杉幼苗和幼树光合特性对比[J]. *林业科学*, 2018, **54**(2): 179 – 185.
- LI Wei, YANG Deguang, MOU Yao, *et al.* Photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of seedlings and saplings of *Taxus cuspidata* after removing shade [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2018, **54**(2): 179 – 185.
- [13] ZHAO Yan, WANG Zi, WEI Hongxu, *et al.* Effect of prolonged photoperiod on morphology, biomass accumulation and nutrient utilization in post transplant *Taxus cuspidata* seedlings [J]. *Pakistan Journal of Botany*, 2017, **49**(4): 1285 – 1290.
- [14] LONG Ting, WU Xinlei, WANG Yin, *et al.* The population status and threats of *Taxus cuspidata*, a plant species with extremely small populations in China [J/OL]. *Global Ecology and Conservation*, 2021, **26**(4): 01495 [2023-06-02]. doi: 10.1016/j.gecco.2021.e01495.
- [15] 李颖硕, 孙名浩, 赵富伟. 浙西南山区自然圣境植物物种多样性及其维持机制[J]. *生态与农村环境学报*, 2021, **37**(9): 1115 – 1121.
- LI Yingshuo, SUN Minghao, ZHAO Fuwei. Study on the plant species diversity and management of the sacred nature sites in the mountain area of southwestern Zhejiang, China [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, **37**(9): 1115 – 1121.
- [16] JIANG Ping, ZHAO Yajie, XIONG Jia, *et al.* Extraction, purification, and biological activities of flavonoids from branches and leaves of *Taxus cuspidata* S. et Z. [J]. *Bioresources*, 2021, **16**(2): 2655 – 2682.
- [17] 陈黎, 刘成功, 钱莹莹, 等. 南方红豆杉人工林针叶C、N、P化学计量特征[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2021, **45**(5): 53 – 61.
- CHEN Li, LIU Chenggong, QIAN Yingying, *et al.* Stoichiometric characteristics of C, N, P of *Taxus chinensis* var. *mairei* plantation needles [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2021, **45**(5): 53 – 61.
- [18] SUN Leitao, DING Shuning, LUO Qi, *et al.* *Taxus wallichiana* var. *chinensis* (Pilg.) florin aqueous extract suppresses the proliferation and metastasis in lung carcinoma via JAK/STAT3 signaling pathway [J/OL]. *Frontiers in Pharmacology*, 2021, **12**: 736442 [2023-06-02]. doi: 10.3389/fphar.2021.736442.
- [19] 范学星, 张慧春, 邹义萍, 等. 基于多光谱成像与机器学习的植物叶绿素含量反演研究[J]. *林业科学*, 2023, **59**(7): 78 – 88.
- FAN Xuexing, ZHANG Huichun, ZOU Yiping, *et al.* Inversion of plant chlorophyll content based on multispectral imaging and machine learning [J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2023, **59**(7): 78 – 88.

- [20] DONG Chong, SHI Gongle, HERRERA F, *et al.* Leaves of *Taxus* with cuticle micromorphology from the early cretaceous of eastern inner Mongolia, Northeast China [J/OL]. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 2022, **298**: 104588 [2023-06-02]. doi: 10.1016/j.revpalbo.2021.104588.
- [21] 孙晓伟, 王兴昌, 孙慧珍, 等. 雌雄异株树种山杨、水曲柳和东北红豆杉光合特性对比[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, **47**(1): 129 – 135.
SUN Xiaowei, WANG Xingchang, SUN Huizhen, *et al.* Photosynthetic characteristics of dioecious *Populus davidiana*, *Fraxinus mandshurica* and *Taxus cuspidata* [J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition)*, 2023, **47**(1): 129 – 135.
- [22] 陈瑶, 李云红, 田松岩, 等. 东北红豆杉林植物群落谱系结构特征[J]. 森林与环境学报, 2022, **42**(5): 498 – 505.
CHEN Yao, LI Yunhong, TIAN Songyan, *et al.* Phylogenetic structure and species diversity of a *Taxus cuspidata* community [J]. *Journal of Forest and Environment*, 2022, **42**(5): 498 – 505.
- [23] 欧建德, 欧家琳, 吴昊宇, 等. 云南红豆杉单木生物量模型选择与树冠调控[J]. 西北林学院学报, 2022, **37**(5): 194 – 201.
OU Jiande, OU Jialin, WU Haoyu, *et al.* Selection of single tree biomass model and canopy structure regulation of *Taxus yunnanensis* [J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2022, **37**(5): 194 – 201.
- [24] 欧建德, 吴志庄. 经营措施及地形因子与南方红豆杉杈干关系[J]. 东北林业大学学报, 2016, **44**(9): 24 – 28.
OU Jiande, WU Zhizhuang. Relationships between management measures and terrain factors of *Taxus wallichiana* var. *mairei* artificial pure forest and its forking [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2016, **44**(9): 24 – 28.
- [25] 杨红, 白有志, 邢震, 等. 施肥对喜马拉雅红豆杉生理指标及化学计量特征的影响[J]. 西南农业学报, 2022, **35**(8): 1810 – 1817.
YANG Hong, BAI Youzhi, XING Zhen, *et al.* Effects of fertilization on physiology indexes and stoichiometric characteristics of *Taxus himalayana* [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2022, **35**(8): 1810 – 1817.
- [26] 管建春, 郑进烜, 王勇, 等. 基于生态位模型的喜马拉雅红豆杉在云南省的分布预测与评价[J]. 林业调查规划, 2022, **47**(3): 40 – 46, 84.
ZAN Jianchun, ZHENG Jinxuan, WANG Yong, *et al.* Distribution prediction and evaluation of *Taxus wallichiana* in Yunnan based on ecological niche modeling [J]. *Forest Inventory and Planning*, 2022, **47**(3): 40 – 46, 84.
- [27] XIONG Xingyao, GOU Junbo, LIAO Qinggang, *et al.* The *Taxus* genome provides insights into paclitaxel biosynthesis [J]. *Nature Plants*, 2021, **7**(8): 1026 – 1036.
- [28] CHENG Jian, WANG Xiao, LIU Xiaonan, *et al.* Chromosome-level genome of Himalayan yew provides insights into the origin and evolution of the paclitaxel biosynthetic pathway [J]. *Molecular Plant*, 2021, **14**(7): 1199 – 1209.
- [29] 王丹丹, 孙丹, 李晓红, 等. 基于线粒体 *Cytb* 和 *COI* 基因的东北红豆杉群体遗传结构研究[J/OL]. 分子植物育种, 2023 [2023-10-21]. <http://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231020.1149.004>.
WANG Dandan, SUN Dan, LI Xiaohong, *et al.* Population genetic structure of *Taxus cuspidata* based on itochondrial *Cytb* and *COI* gene [J/OL]. *Molecular Plant Breeding*, 2023 [2023-10-21]. <http://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20231020.1149.004>.
- [30] HU Die, HE Xinru, MA Yongzheng, *et al.* Effects of ABT on the morphogenesis and inclusions of *Taxus chinensis* (Pilger) Rehd f. *Baokangsis* cutting rooting [J/OL]. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2021, **49**(2): 12200 [2023-06-02]. doi: 10.15835/nbha49212200.
- [31] 王涛. 东北红豆杉育苗技术研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2019.
WANG Tao. *Study on Taxus chinensis* var. *Seedling Raising Techonlogy* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2019.
- [32] 肖遥, 楚秀丽, 王秀花, 等. 缓释肥加载对3种珍贵树种大规模容器苗生长和N、P库构建的影响[J]. 林业科学研究, 2015, **28**(6): 781 – 787.
XIAO Yao, CHU Xiuli, WANG Xiuhua, *et al.* Effect of slow-release fertilizer loading on growth and N, P accumulation of container-growing seedlings for three precious tree species [J]. *Forest Research*, 2015, **28**(6): 781 – 787.
- [33] 欧建德, 吴志庄. 南方红豆杉盆栽轻型基质配方优化[J]. 东北林业大学学报, 2015, **43**(9): 52 – 55, 89.
OU Jiande, WU Zhizhuang. Optimized medium ingredient with a light medium for *Taxus chinensis* var. *mairei* potted plants [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2015, **43**(9): 52 – 55, 89.
- [34] 刘涛, 左秋玉, 杨梅. 套种华盖木、亮叶木莲、红豆杉对杉木生长和土壤理化性质的初期影响[J]. 北华大学学报(自然

- 科学版), 2020, **21**(4): 532 – 536.
- LIU Tao, ZUO Qiuyu, YANG Mei. Initial effects of interplanting *Taxus baccata* Linn., *Manglietiastrum sinicum*, *Manglietia lucida* on growth of Chinese fir and soil physicochemical properties [J]. *Journal of Beihua University (Natural Science)*, 2020, **21**(4): 532 – 536.
- [35] YANG Xue, LI Yuzheng, LI Chunying, *et al.* Enhancement of interplanting of *Ficus carica* L. with *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc. on growth of two plants [J]. *Agriculture*, 2021, **11**(12): 1 – 14.
- [36] 朱威霖, 徐超, 龙婷, 等. 基于回归保护的东北红豆杉野生种群维持的制约因素[J]. *应用生态学报*, 2023, **34**(8): 2133 – 2141.
- ZHU Weilin, XU Chao, LONG Ting, *et al.* Constraints on the maintenance of wild *Taxus cuspidata* populations based on regression conservation [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, **34**(8): 2133 – 2141.
- [37] 龙婷, 陈杰, 杨蓝, 等. 极小种群东北红豆杉所在群落特征及其环境解释[J]. *植物科学学报*, 2020, **38**(1): 77 – 87.
- LONG Ting, CHEN Jie, YANG Lan, *et al.* Characteristics and environmental interpretation of communities of *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc., a plant species with extremely small populations [J]. *Plant Science Journal*, 2020, **38**(1): 77 – 87.
- [38] 董明珠, 王立涛, 吕慕洁, 等. 濒危植物野生东北红豆杉群落特征及保护策略[J]. *植物研究*, 2020, **40**(3): 416 – 423.
- DONG Mingzhu, WANG Litao, LÜ Mujie, *et al.* Communities and protection strategy of endangered species wild *Taxus cuspidata* [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2020, **40**(3): 416 – 423.
- [39] 杨玉林, 宋学东, 董京祥, 等. 红豆杉属植物资源及其世界分布概况[J]. *森林工程*, 2009, **25**(3): 5 – 10.
- YANG Yulin, SONG Xuedong, DONG Jingxiang, *et al.* Resources and distribution of *Taxus* in the world [J]. *Forest Engineering*, 2009, **25**(3): 5 – 10.
- [40] 廉敏. 山西南方红豆杉群落谱系结构及其数量分类与排序研究[D]. 太原: 山西师范大学, 2021.
- LIAN Min. *The Phylogenetic Structure and Quantitative Analysis and Ordination of Taxus chinensis var. mairei Community, in Shanxi Province* [D]. Taiyuan: Shanxi Normal University, 2021.
- [41] 刘丹, 郭忠玲, 崔晓阳, 等. 5种东北红豆杉植物群丛及其物种多样性的比较[J]. *生物多样性*, 2020, **28**(3): 340 – 349.
- LIU Dan, GUO Zhongling, CUI Xiaoyang, *et al.* Comparison of five associations of *Taxus cuspidata* and their species diversity [J]. *Biodiversity Science*, 2020, **28**(3): 340 – 349.
- [42] 牛莹莹, 张子栋, 刘艳华, 等. 黑龙江穆稜东北红豆杉自然保护区兽类多样性及东北虎猎物资源[J]. *野生动物学报*, 2021, **42**(2): 355 – 362.
- NIU Yingying, ZHANG Zidong, LIU Yanhua, *et al.* Mammal diversity and prey resource of Amur tiger in Heilongjiang Muling Japanese Yew National Nature Reserve [J]. *Chinese Journal of Wildlife*, 2021, **42**(2): 355 – 362.
- [43] 俞初庸. 杉木林下套种对南方红豆杉、闽楠早期生长性状的影响[J]. *南方农业*, 2022, **16**(14): 23 – 25.
- YU Chuyong. Effects of intercropping under Chinese fir forests on early growth traits of *Taxus chinensis* and *Phoebe bournei* [J]. *South China Agriculture*, 2022, **16**(14): 23 – 25.
- [44] 樊小红, 王立涛, 安娟艳, 等. 长白山东北红豆杉生境内针阔混交林直径结构分布研究[J]. *植物研究*, 2021, **41**(1): 89 – 97.
- FAN Xiaohong, WANG Litao, AN Juanyan, *et al.* Diameter structural distribution of coniferous broad-leaved mixed forest in *Taxus cuspidata* habitat in Changbai Mountain [J]. *Bulletin of Botanical Research*, 2021, **41**(1): 89 – 97.
- [45] 罗宁, 欧建德, 吴志庄. 福建南方红豆杉林生境质量评价研究[J]. *西南林业大学学报*, 2016, **36**(6): 52 – 57.
- LUO Ning, OU Jiande, WU Zhizhuang. Evaluation of habitat quality for *Taxus wallichiana* var. *mairei* in Fujian Province [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 2016, **36**(6): 52 – 57.
- [46] 王刚, 刘茜, 李亚平, 等. 海拔、坡向及光照对云曼红豆杉生长和主要紫杉烷类化合物的影响[J]. *应用与环境生物学报*, 2023, **29**(3): 711 – 719.
- WANG Gang, LIU Qian, LI Yaping, *et al.* Effects of altitude, slope direction, and light on growth and main taxane compounds of *Taxus madia* × *T. yunnanensis* ‘Yunman’ [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2023, **29**(3): 711 – 719.
- [47] 陈涵, 张超, 余树全. 基于Stacking模型集成算法的莲都区南方红豆杉潜在分布区[J]. *浙江农林大学学报*, 2019, **36**(3): 494 – 500.
- CHEN Han, ZHANG Chao, YU Shuquan. Potential distribution area of *Taxus chinensis* var. *mairei* in Liandu District based

- on a stacking algorithm [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2019, **36**(3): 494 – 500.
- [48] 刘建福, 王明元, 杨晨, 等. 不同立地条件下南方红豆杉幼苗的生长和生理特性[J]. 生态学杂志, 2012, **31**(12): 3011 – 3017.
- LIU Jianfu, WANG Mingyuan, YANG Chen, *et al.* Growth and physiological characteristics of *Taxus wallichiana* var. *mairei* seedlings under different site conditions [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2012, **31**(12): 3011 – 3017.
- [49] 李文杨, 李向阳, 刘秀青, 等. 干旱锻炼对南方红豆杉生长及生理指标的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2023, **37**(3): 129 – 136.
- LI Wenyang, LI Xiangyang, LIU Xiuqing, *et al.* Effects of drought priming on growth and physiological indexes of *Taxus wallichiana* var. *mairei* [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2023, **37**(3): 129 – 136.
- [50] 李文杨, 陈亚飞, 何辉, 等. 高温锻炼对干旱胁迫下南方红豆杉生长和生理生化指标的影响[J]. *山东农业科学*, 2023, **55**(9): 57 – 63.
- LI Wenyang, CHEN Yafei, HE Hui, *et al.* Effects of high temperature exercise on growth and physiological and biochemical characters of *Taxus wallichiana* var. *mairei* under drought stress [J]. *Shandong Agricultural Sciences*, 2023, **55**(9): 57 – 63.
- [51] 罗芊芊, 周志春, 邓宗付, 等. 南方红豆杉天然居群叶片的表型性状和氮磷化学计量特征的变异规律[J]. 植物资源与环境学报, 2021, **30**(1): 27 – 35.
- LUO Qianqian, ZHOU Zhichun, DENG Zongfu, *et al.* Variation law of phenotypic traits and nitrogen and phosphorus stoichiometric characteristics of leaf of natural populations of *Taxus wallichiana* var. *mairei* [J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2021, **30**(1): 27 – 35.
- [52] 王丹丹, 李晓红, 张彦文, 等. 干旱胁迫对东北红豆杉野生种与栽培种生理与次生代谢的影响[J]. 西北农业学报, 2022, **31**(8): 958 – 968.
- WANG Dandan, LI Xiaohong, ZHANG Yanwen, *et al.* Effects of physiology and secondary metabolism between wild and cultivated species of *Taxus cuspidata* under environmental stress [J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*, 2022, **31**(8): 958 – 968.
- [53] 张玉玉, 王进鑫, 马戌, 等. 干旱后复水对侧柏幼苗叶绿素含量的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2021, **41**(5): 10 – 17.
- ZHANG Yuyu, WANG Jinxin, MA Xu, *et al.* Effects of rewatering on chlorophyll content of *Platycladus orientalis* seedlings after drought [J]. *Journal of Southwest Forestry University (Natural Sciences)*, 2021, **41**(5): 10 – 17.
- [54] 温家康, 邢长杰, 王亚萍, 等. 不同干旱胁迫及亚精胺复水对南方红豆杉生理特性的影响[J]. 节水灌溉, 2023(1): 109 – 115.
- WEN Jiakang, XING Changjie, WANG Yaping, *et al.* Effects of different drought stresses and spermidine rehydration on physiological characteristics of *Taxus chinensis* var. *mairei* [J]. *Water Saving Irrigation*, 2023(1): 109 – 115.
- [55] 段俊鹏, 王峰, 张卫军, 等. 极小种群野生植物密叶红豆杉(*Taxus fuana*)径向生长对气候的响应[J]. 生态学报, 2022, **42**(24): 10276 – 10287.
- DUAN Junpeng, WANG Feng, ZHANG Weijun, *et al.* Responses of radial growth to climate factors in a wild plant with extremely small populations, *Taxus fuana* [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, **42**(24): 10276 – 10287.
- [56] 徐博超. 施肥对东北红豆杉幼苗生理生态特征的影响[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2013.
- XU Bochao. *Effects of Fertilization on the Ecological and Physiological Characteristics in Japanses Yew* [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2013.
- [57] 简荣林. 不同施肥技术对南方红豆杉幼林生长量的影响[J]. *林业资源管理*, 2007(6): 61 – 63.
- JIAN Ronglin. Effects of different fertilizer application techniques on the growth of young *Taxus chinensis* stands [J]. *Forest Resources Management*, 2007(6): 61 – 63.
- [58] 郭祥泉. 南方红豆杉苗木不同生长期和施肥措施的养分动态分析[J]. *福建林业科技*, 2001(4): 18 – 20, 24.
- GUO Xiangquan. The nutrient dynamic analyses of *Taxus chinensis* var. *mairei* seedlings in different growth periods and with fertilization measure [J]. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, 2001(4): 18 – 20, 24.
- [59] 窦永杰. 种植密度和氮肥施用量对红豆杉幼苗生长的影响[J]. *现代园艺*, 2023, **46**(8): 12 – 13, 18.
- DOU Yongjie. Effects of planting density and nitrogen fertilizer application on the growth of *Taxus chinensis* seedlings [J]. *Contemporary Horticulture*, 2023, **46**(8): 12 – 13, 18.

- [60] 欧建德, 吴志庄. 南方红豆杉修枝后生长与干形动态表现[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(1): 104 – 111.
OU Jiande, WU Zhizhuang. Growth and stem form quality with pruning in *Taxus wallichiana* var. *mairei* [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2017, **34**(1): 104 – 111.
- [61] 孙志鹏, 蒲擎宇, 尚鹏程, 等. 云南红豆杉活性成分10-DAB累积分布规律[J]. 应用与环境生物学报, 2019, **25**(5): 1161 – 1167.
SUN Zhipeng, PU Qingyu, SHANG Pengcheng, et al. Cumulative distribution regularities of the active component 10-DAB *Taxus yunnanensis* [J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2019, **25**(5): 1161 – 1167.
- [62] 孙志鹏, 王刚, 武华卫, 等. 指数施肥对云曼红豆杉幼苗活性成分10-DAB及养分累积的影响[J]. 西北植物学报, 2022, **42**(9): 1561 – 1569.
SUN Zhipeng, WANG Gang, WU Huawei, et al. Effects of exponential fertilization on active component 10-DAB and nutrient accumulation of *Taxus madia* × *Taxus yunnanensis* ‘Yunman’ seedlings [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2022, **42**(9): 1561 – 1569.
- [63] 李军, 王秀花, 楚秀丽, 等. 轻基质配比对3种珍贵树种2年生容器苗生长及氮和磷吸收的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2017, **34**(6): 1044 – 1050.
LI Jun, WANG Xiuhua, CHU Xiuli, et al. Substrate proportion for growth and N/P absorption in two-year-old container seedlings of three precious tree species [J]. *Journal of Zhejiang A&F University*, 2017, **34**(6): 1044 – 1050.
- [64] 贾丹, 王琪瑶, 肖宇飞, 等. 天然东北红豆杉林土壤细菌多样性研究[J]. 森林工程, 2022, **38**(3): 26 – 31, 39.
JIA Dan, WANG Qiyao, XIAO Yufei, et al. Study on soil bacterial diversity of natural *Taxus cuspidata* forest [J]. *Forest Engineering*, 2022, **38**(3): 26 – 31, 39.
- [65] 张玉豪, 姚素梅, 孟丽, 等. 滴灌土壤基质势调控对红豆杉生理特性及次生代谢物含量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2021, **39**(5): 129 – 137.
ZHANG Yuhao, YAO Sumei, MENG Li, et al. Effect of regulating soil matric potential under drip irrigation on physiological characteristics and secondary metabolite contents of *Taxus chinensis* [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2021, **39**(5): 129 – 137.
- [66] 曹洋. 育苗措施对南方红豆杉实生苗和扦插苗生长性状的影响[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2019.
CAO Yang. *Effect of Different Seedling-Raising Measures on Growth Characteristics of Seedlings and Cutting Seedlings of Taxus chinensis* var. *mairei* [D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2019.
- [67] 宋垚彬, 徐力, 段俊鹏, 等. 西藏极小种群野生植物密叶红豆杉种群的性比及雌雄空间格局[J]. 生物多样性, 2020, **28**(3): 269 – 276.
SONG Yaobin, XU Li, DUAN Junpeng, et al. Sex ratio and spatial pattern of *Taxus fuana*, a wild plant with extremely small populations in Tibet [J]. *Biodiversity Science*, 2020, **28**(3): 269 – 276.
- [68] LUO Qianqian, LI Fengqing, YU Longhua, et al. Genetic diversity of natural populations of *Taxus wallichiana* var. *mairei* [J]. *Conservation Genetics*, 2021, **23**(8): 1 – 12.
- [69] ZHANG Youjun, SCOSSA F, FERNIE A R. The genomes of *Taxus* species unveil novel candidates in the biosynthesis of toxoids [J]. *Molecular Plant*, 2021, **14**(11): 1773 – 1775.
- [70] KUI Ling, MAJEED A, DONG Yang. Reference-grade *Taxus* genome unleashes its pharmacological potential [J]. *Trends in Plant Science*, 2022, **27**(1): 10 – 12.
- [71] 丰美静, 张恺恺, 陈段芬, 等. 多组学技术在红豆杉研究中的应用[J]. 分子植物育种, 2022, **20**(3): 840 – 846.
FENG Meijing, ZHANG Kaikai, CHEN Duanfen, et al. Application of multi-omics technique in *Taxus* spp. research [J]. *Molecular Plant Breeding*, 2022, **20**(3): 840 – 846.
- [72] ZHANG Jiachun, WU Xianliang, ZHANG Zhenming, et al. Eco-stoichiometric characteristics of soil plantsystem of *Taxus wallichiana* under multi factor driving [J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2021, **30**(6): 5357 – 5366.