



植物生长调节剂对青钱柳幼苗矮化及相关酶活性的影响

郭相亿, 李伟森, 张朝鹏, 赵睿智, 徐道炜, 何中声, 刘金福

引用本文:

郭相亿, 李伟森, 张朝鹏, 等. 植物生长调节剂对青钱柳幼苗矮化及相关酶活性的影响[J]. 热带亚热带植物学报, 2026, 34(1): 101–108.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4944>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

龙珠果茎段离体培养和组培苗耐盐性分析

Stem Culture *in vitro* of *Passiflora foetida* and Salt Tolerance of Seedlings

热带亚热带植物学报. 2021, 29(4): 360–366 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4323>

5-氨基乙酰丙酸对喜树幼苗盐害缓解的生理机制研究

Study on Physiological Mechanism of Alleviating Effect of 5-Aminolevulinic Acid on *Camptotheca acuminata* Seedlings under Salt Stress

热带亚热带植物学报. 2019, 27(2): 164–170 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3916>

油莎豆快速繁殖体系的研究

Studies on Rapid Propagation System of Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) *in vitro*

热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 446–451 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4024>

混合中性盐胁迫对金盏菊幼苗生长及光合生理的影响

Effects of Mixed Neutral Salt Stress on Growth and Photosynthetic Physiology of *Calendula officinalis* Seedlings

热带亚热带植物学报. 2018, 26(4): 391–398 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3863>

催吐萝芙木离体培养和植株再生体系的建立

In vitro Culture and Establishment of Rapid Regeneration System of *Rauvolfia vomitoria*

热带亚热带植物学报. 2019, 27(1): 60–64 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3935>

向下翻页，浏览PDF全文

植物生长调节剂对青钱柳幼苗矮化及相关酶活性的影响

郭相亿¹, 李伟森¹, 张朝鹏¹, 赵睿智², 徐道炜², 何中声², 刘金福²

(1. 永春县牛姆林省级自然保护区, 福建 泉州 362617; 2. 福建农林大学林学院, 生态与资源统计福建省高校重点实验室, 福州 350002)

摘要: 为探究施用植物生长调节剂对珍稀经济树种青钱柳(*Cylocarya paliurus*)生长和生理代谢的影响, 选用矮壮素(C1: 500 mg/L、C2: 1 000 mg/L、C3: 1 500 mg/L、C4: 2 000 mg/L)、三碘苯甲酸(T1: 50 mg/L、T2: 100 mg/L、T3: 150 mg/L、T4: 200 mg/L)和芸苔素内酯(B1: 0.05 mg/L、B2: 0.1 mg/L、B3: 0.15 mg/L、B4: 0.2 mg/L)对 1 a 生青钱柳幼苗喷施叶面肥。结果表明, T1 处理对幼苗苗高增长量的抑制作用和对地径增长量的促进效果最显著, B4 处理对促进分枝数的增加最明显。3 种植物生长调节剂均能促进幼苗的生物量积累, C2 处理的幼苗总生物量积累最多。幼苗叶片过氧化物酶(POD)活性以 T2 处理最大, 3 种植物生长调节剂处理均能显著提高幼苗叶片吲哚乙酸氧化酶(OD)活性, 以 C4 处理最大。幼苗苗高与地径呈显著负相关, 苗高与 POD、OD 活性呈显著负相关, 地径与 2 种酶活性呈显著正相关, POD 与 OD 活性呈显著正相关。3 种植物生长调节剂均能有效抑制青钱柳幼苗的苗高增长, 其中三碘苯甲酸表现出最强的矮化效果, 而芸苔素内酯则在促进分枝方面表现最佳。中等浓度的生长调节剂处理显著促进幼苗生物量积累; POD 和 OD 活性的升高可促进根部生物量累积并抑制苗高增长。因此, 根据栽培目的选择合适浓度的生长调节剂, 可以有效改善青钱柳叶用林的结构和功能。

关键词: 青钱柳; 矮化; 生长调节剂; 生物量; 酶活性

doi: 10.11926/jtsb.4944

CSTR:32235.14.jtsb.4944

Effect of Plant Growth Regulators on Dwarfing and Related Enzyme Activities of *Cylocarya paliurus* Seedlings

GUO Xiangyi¹, LI Weisen¹, ZHANG Chaopeng¹, ZHAO Ruizhi², XU Daowei², HE Zhongsheng², LIU Jinfu²

(1. Niumulin Provincial Nature Reserve of Yongchun County, Quanzhou 362617, Fujian, China; 2. Fujian Agriculture and Forestry University, Key Laboratory of Ecology and Resource Statistics, Fujian University, Fuzhou 350002, China)

Abstract: To explore the effects of plant growth regulators on growth and physiological metabolism of the rare economic tree species *Cylocarya paliurus*, foliar fertilizers of chlormequat chloride (C1: 500 mg/L, C2: 1000 mg/L, C3: 1500 mg/L, C4: 2000 mg/L), tridibenzyl (T1: 50 mg/L, T2: 100 mg/L, T3: 150 mg/L, T4: 200 mg/L), and brassinolide (B1: 0.05 mg/L, B2: 0.1 mg/L, B3: 0.15 mg/L, B4: 0.2 mg/L) were sprayed on one-year-old *C. paliurus* seedlings. The results showed that T1 treatment had the most significant inhibitory effect on the increase in seedling height and the most significant promoting effect on the increase in ground diameter. B4 treatment was the most effective in promoting the increase in the number of branches. All three plant growth regulators could promote the accumulation of seedling biomass, with the total biomass accumulation of seedlings being the highest under C2 treatment. The peroxidase (POD) activity in the leaves of seedlings was the highest under T2 treatment.

收稿日期: 2024-07-19 接受日期: 2024-10-30

基金项目: 福建省科技计划星火项目(2023S0039)资助

This work was supported by the Project for Science and Technology Plan Spark in Fujian (Grant No. 2023S0039).

作者简介: 郭相亿(1970 年生), 男, 高级工程师, 主要从事自然保护区管理。E-mail: nmlgxy@163.com

All three plant growth regulator treatments could significantly increase the indoleacetic acid oxidase (IOD) activity in the leaves of seedlings, with the highest activity under C4 treatment. Seedling height was significantly negatively correlated with ground diameter, and seedling height was significantly negatively correlated with POD and IOD activities, while ground diameter was significantly positively correlated with the activities of the two enzymes, and POD activity was significantly positively correlated with IOD activity. All three plant growth regulators could effectively inhibit the increase in seedling height, among which tridibenzyl showed the strongest dwarfing effect, while brassinolide performed best in promoting branching. Moderate concentrations of growth regulators significantly promoted the accumulation of seedling biomass; the increase in POD and IOD enzyme activities could promote the accumulation of root biomass and inhibit the increase in seedling height. Therefore, choosing the appropriate concentration of growth regulators based on the cultivation purpose can effectively improve the structure and function of *C. paliurus* leaf-use forests.

Key words: *Cylocarya paliurus*; Dwarfing, growth regulator; Biomass; Enzyme activity

青钱柳(*Cylocarya paliurus*)又名摇钱树、山沟树、青钱李等,系胡桃科(Juglandaceae)青钱柳属植物^[1],主要分布于我国亚热带地区的江西、浙江、江苏等省份^[2],作为一种兼具生态与经济效益的重要树种^[3],其叶片富含多种生物活性成分,尤其在保健饮品、药品开发等领域展现出巨大的市场潜力^[4-6]。然而,在青钱柳大规模种植与管理过程中,由于缺乏有效的人工调控措施,普遍存在树体过高和侧枝萌发率低等问题,不仅增加采叶作业难度,降低劳动效率,同时也加大安全生产的风险,制约青钱柳产业的进一步发展。目前国内外关于青钱柳培育技术的研究主要集中在种子休眠解除^[7]、优良家系筛选^[8]、肥料配施^[9]等方面,而针对其树体过高的特性,尤其是通过植物生长调节剂调控其生长形态以控制高生长方面的研究尚未见报道。

植物生长调节剂是通过人工合成与植物激素具有类似生理和生物学效应的物质^[10],能够调控植物内部某些生命物质的合成^[11-12],进而影响植物在不同阶段的生长,改变植物形态,提高重要物质的含量,增强适应外部环境的能力和抗性等。矮壮素通过抑制赤霉素的生物合成来减缓茎秆伸长,达到矮化植株的效果^[13];三碘苯甲酸改变生长素的极性运输,削弱顶端优势,从而降低植株高度^[14];芸苔素内酯具有类似多种植物内源激素的综合作用,能够优化植物体内的激素平衡,调节促进植物的生长发育^[15]。为深入探究这些调节剂对青钱柳幼苗的影响及其生理机制,本试验测定了过氧化物酶(POD)和吲哚乙酸氧化酶(IOD)活性。POD是一种重要的抗氧化酶,参与植物对逆境胁迫的防御反应,其活性能在一定程度上反映植物生长调节剂对青钱柳幼苗生

长的影响机理;IOD则是参与生长素吲哚乙酸(IAA)分解代谢的关键酶,直接影响植物的生长发育。

通过研究矮壮素、三碘苯甲酸、芸苔素内酯 3 种矮化剂对 1 a 生青钱柳幼苗形态生长和生理代谢产物含量的影响,尤其是降低苗高和增加枝干粗度方面的效果,旨在揭示植物生长调节剂对青钱柳幼苗的调控效果及生理机制,为青钱柳矮化林推广提供理论依据和技术参考。

1 材料和方法

1.1 研究地概况

试验地位于福建农林大学(119°13' E、26°05' N)实验大棚内,属亚热带季风气候,地势平坦,无霜期达 326 d,年均日照数为 1 700~1 980 h,年均降水量为 900~2 100 mm,年相对湿度约 77%。试验期间最低气温 17℃,最高气温 38℃,平均气温 24℃^[16]。

1.2 研究方法

1 a 生青钱柳(*Cylocarya paliurus*)幼苗来源于江西省九江市青钱柳种植基地。育苗盆规格为 24 cm×20 cm×27 cm,培养基质主要原料为珍珠岩、黄土和泥炭土(1:1:2)混合物,基质 pH 值为 4.56,电导率为 0.77 mS/cm,全氮含量为 0.921 g/kg,全磷含量为 0.463 g/kg。

幼苗于 2022 年 4 月中旬种植,经历 3 个月缓苗期后,于 7 月中旬开始矮化试验,选用矮壮素、三碘苯甲酸、芸苔素内酯溶液对植株喷施叶面肥,其中矮壮素浓度设置为 C1: 500 mg/L、C2: 1000 mg/L、C3: 1500 mg/L、C4: 2000 mg/L;三碘苯甲酸浓度设置为 T1: 50 mg/L、T2: 100 mg/L、T3: 150 mg/L、T4:

200 mg/L; 芸苔素内酯浓度设置为 B1: 0.05 mg/L、B2: 0.1 mg/L、B3: 0.15 mg/L、B4: 0.2 mg/L, 并以清水处理作为对照(CK), 共设置 13 个处理。每个处理 3 次重复, 每个重复 10 株青钱柳幼苗。

自 7 月中旬起, 每隔 10 d 对所有处理组同步实施 1 次矮化剂喷施, 整个过程共进行 3 次, 持续 1 个月。喷施时确保叶面均匀覆盖水珠且水滴落。统一采取标准栽培管理措施, 确保所有青钱柳幼苗生长条件一致。试验于 2022 年 12 月中旬结束。

1.3 指标测量

苗木形态学指标测定 2022 年 7 月中旬, 记录青钱柳幼苗的初始苗高和初始地径, 精度分别为 0.1 和 0.01 mm, 每株幼苗初始分枝数为 1。12 月中旬记录最终苗高和最终地径, 同时记录每株幼苗的最终分枝数。苗高增长量=最终苗高-初始苗高; 地径增长量=最终地径-初始地径^[17]。

苗木生理指标测定 采集每株幼苗的成熟功能叶, 用混合采样法将每个重复中幼苗的叶片混合为一个样品, 共采集 39 份样品。将样品带回实验室清洗、保存。POD 活性采用愈创木酚法测定^[18]; IOD 活性采用植物吡啶乙酸氧化酶 ELISA 检测试剂盒(CB10128-Pt, 科艾博生物, 上海)测定, 每个样品测量 3 次取平均值。

在每个重复中挑选 3 株长势基本一致, 无病虫害的青钱柳幼苗进行收获, 清除附着的杂物和泥土, 将根、茎和叶分装于塑封袋, 置于保鲜盒(4 ℃)快速带回实验室, 使用去离子水将各器官清洗干净, 再使用滤纸吸干表面水分。置于 105 ℃烘箱中杀青 30 min, 65 ℃烘至恒重, 使用电子天平(精度 0.000 1 g)称量并记录根、茎和叶生物量及总生物量。

1.4 数据处理

数据采用 R 4.3.2 进行单因素方差分析, 若差异显著则采用 LSD 法进行多重比较, 采用 Origin 2022 软件进行 Pearson 相关性分析和作图。

2 结果和分析

2.1 生长调节剂对幼苗形态生长的影响

不同生长调节剂对青钱柳幼苗高生长具有显著影响, CK 处理的幼苗苗高增长量均大于其他处理(图 1)。随矮壮素浓度增加矮化效果逐渐减弱, 幼苗苗高增长量以 C1 处理最低, 仅为 CK 处理的 51.7%; 三碘苯甲酸处理中, 幼苗苗高增长量随浓

度增加呈先上升后下降趋势, 以 T1 处理最低, 仅为 CK 处理的 33.8%; 芸苔素内酯处理中, B3 处理的幼苗苗高增长量最低, 仅为 CK 的 48.1%。三碘苯甲酸的矮化效果比矮壮素和芸苔素内酯更明显。

矮壮素、三碘苯甲酸、芸苔素内酯分别以 C1、T1、B2 处理的幼苗地径最大, 均显著高于 CK, 分别为 CK 的 2.03、2.42、1.84 倍。

3 种矮化剂处理的分枝数均高于 CK 处理。矮壮素处理的幼苗分枝数以 C1 处理最大, 且显著高于 CK, 为 CK 的 2.33 倍。三碘苯甲酸和芸苔素内酯处理的分枝数均显著高于 CK, 以 T4 和 B4 处理最大, 分别为 CK 的 3.33 和 3.58 倍。

总体上, 3 种植物生长调节剂均对青钱柳幼苗的苗高增长起到了抑制作用, 同时促进幼苗的分枝和地径增长, 其中, 三碘苯甲酸在抑制苗高和促进地径增长方面表现出更显著的效果, 而芸苔素内酯则在促进分枝增加方面效果最为明显。

2.2 生长调节剂对幼苗生物量的影响

矮壮素、三碘苯甲酸和芸苔素内酯处理的幼苗根生物量、茎生物量、叶生物量和总生物量均高于 CK 处理(图 2)。矮壮素处理和芸苔素内酯处理中幼苗根生物量分别在 C2 和 B2 处理达最大值; 三碘苯甲酸处理中幼苗根生物量和总生物量均在 T3 处理达到最大; 在所有处理中, C2 处理的幼苗根生物量和总生物量高于其他处理。矮壮素处理中 C1 处理的幼苗茎生物量高于其他处理; 三碘苯甲酸处理的幼苗茎生物量无显著差异, T3 处理的幼苗茎生物量最大; 芸苔素内酯处理的幼苗茎生物量无显著差异, 其中 B2 处理的幼苗茎生物量最大; 在所有处理中, C1 处理的幼苗茎生物量最大, 显著高于 CK 处理。矮壮素、三碘苯甲酸和芸苔素内酯处理的幼苗叶生物量随着浓度的增加均呈先增后减的趋势, 分别在 C2、T2 和 B2 处理达最大值, 在 C4、T4、B4 处理的达最小值; 在所有处理中, B2 处理的幼苗叶生物量最大。

总体上, 3 种植物生长调节剂均促进了青钱柳幼苗的生物量积累, 中间浓度的生长调节剂更有利于幼苗各部位生物量和总生物量的提高。

2.3 生长调节剂对幼苗矮化相关酶活性的影响

由图 3 可知, 矮壮素处理的幼苗叶片 POD 活性中除 C1 处理外, 其他显著高于 CK 处理, 在 C4 达到最大, 为 CK 处理的 2.18 倍; 三碘苯甲酸处理中 T1 和 T2 处理显著高于 CK 处理, 在 T2 达到最

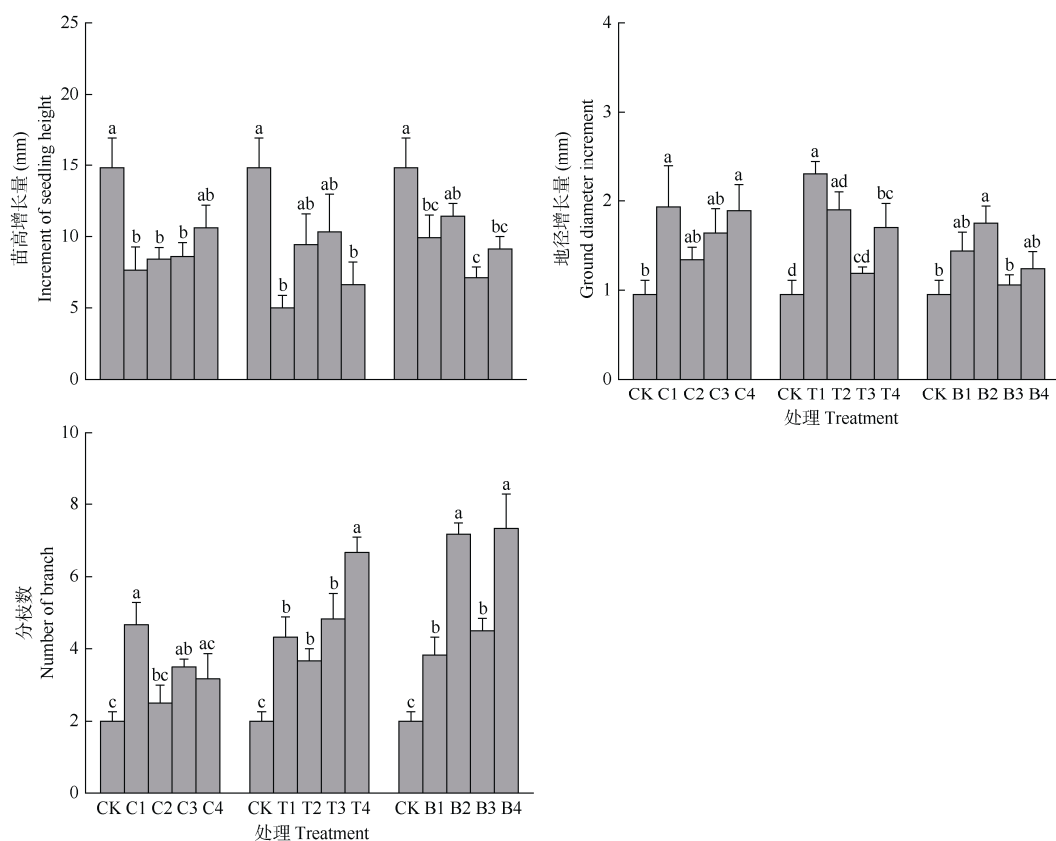


图 1 植物生长调节剂对青钱柳幼苗形态指标的影响。柱上不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下同

Fig. 1 Effect of plant growth regulators on morphological indexes of *Cylocarya paliurus* seedlings. Different letters upon column indicate significant differences at 0.05 level. The same below

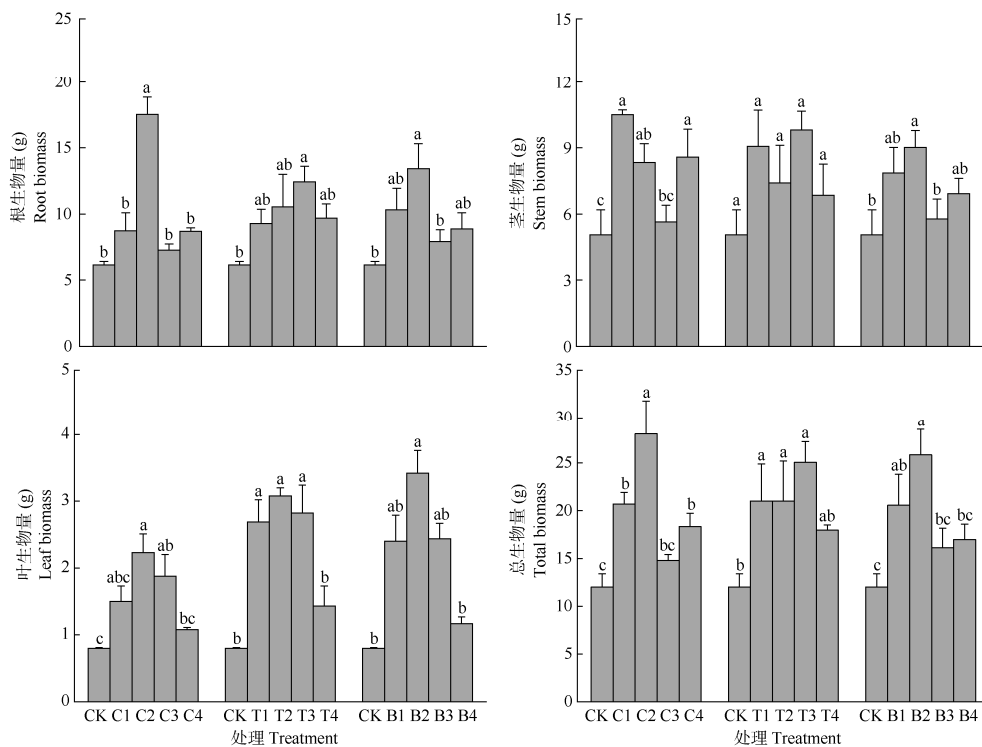


图 2 植物生长调节剂浓度对幼苗生物量的影响

Fig. 2 Effect of plant growth regulators on biomass of seedlings

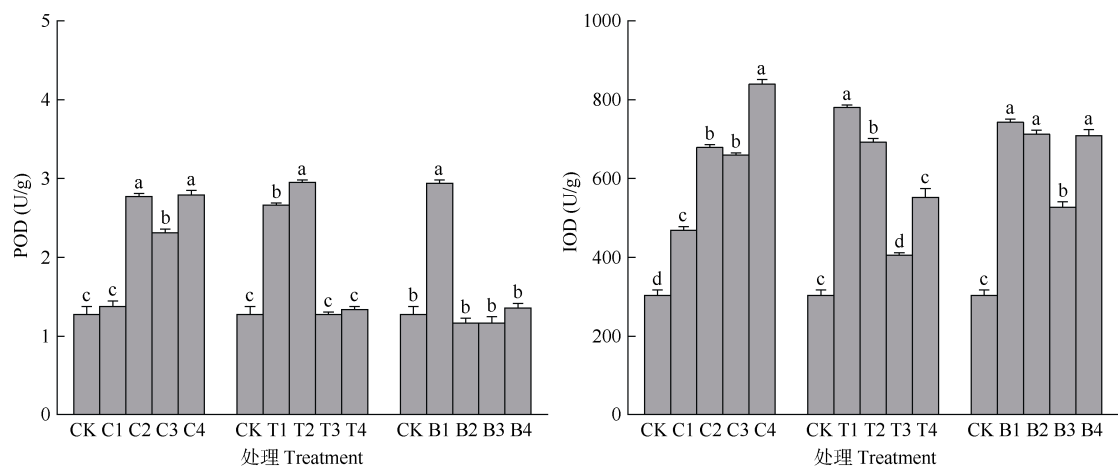


图3 植物生长调节剂对幼苗 POD 和 IOD 活性的影响

Fig. 3 Effect of plant growth regulators on POD and IOD activities in seedlings

大, 为 CK 处理的 2.31 倍; 芸苔素内酯处理中仅 B1 处理显著高于 CK 处理, 为 CK 处理的 2.30 倍。

3 种矮化剂处理的幼苗叶片 IOD 活性均显著高于 CK 处理, 分别在 C4、T1、B1 处理达到最大, 分别为 CK 处理的 2.76、2.57、2.44 倍。随着矮壮素浓度上升, IOD 活性呈现上升趋势, 三碘苯甲酸处理和芸苔素内酯处理的 IOD 活性随浓度增加呈先增后减再增趋势。3 种植物生长调节剂均在不同程度上影响青钱柳幼苗 2 种矮化相关酶的活性, 进而影

响了幼苗生长。

2.4 相关性分析

Pearson 相关性分析表明, 青钱柳幼苗的生理生态指标间存在明显相关性(图 4)。苗高和地径具有显著负相关关系, 苗高与 POD、IOD 活性呈显著负相关, 地径与 POD、IOD 活性呈显著正相关。根生物量和 POD 活性呈显著正相关, 根、茎、叶生物量与总生物量呈显著正相关, POD 和 IOD 活性间具有显著正相关关系。

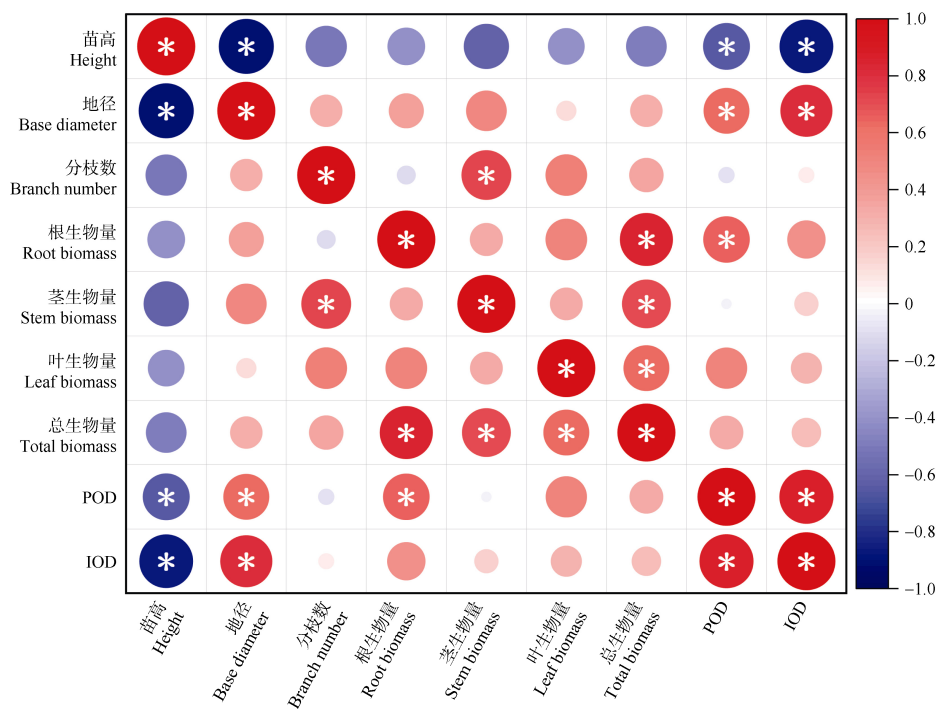


图 4 青钱柳幼苗指标间的相关性。*: $P < 0.05$ 。

Fig. 4 Correlation among indexes in *Cylocarya paliurus* seedlings. *: $P < 0.05$.

3 讨论和结论

苗高作为生长势指标中衡量植株矮化最重要的标准之一,通过对苗高的测定分析,能最直观地体现树体的矮化程度^[19]。本研究表明喷施植物生长调节剂可以明显控制青钱柳幼苗的苗高长势,3种矮化剂溶液均在一定程度上调控幼苗苗高和地径增长,达到了较好的矮化效果,其中三碘苯甲酸处理的矮化作用最强,能明显观察到幼苗的矮化与茎干增粗,这与张钰晗^[20]关于梅花的研究结果相一致,同时,3种植物生长调节剂均在一定程度上削弱植株顶端优势,刺激侧芽萌发,随着调节剂浓度的变化,局部刺激作用不同,从而导致幼苗分枝数的差别,这与杨共强^[21]关于紫花苜蓿的研究结果相一致。喷施芸苔素内酯溶液对幼苗分枝的作用最为明显,这可能是由于适宜浓度的芸苔素内酯更适于调控青钱柳幼苗细胞分裂和激素平衡,增强其能量生产,加速了侧枝萌发及营养生长^[15]。因此,对于追求树形紧凑、分枝丰富的青钱柳种植而言,适当浓度的芸苔素内酯是更优的选择。

生物量是研究养分积累、分配的基础指标,体现幼苗生长发育规律和环境适应能力,是评估植物生长调节剂对植物生长影响的重要参数^[22]。本研究3种植物生长调节剂均在一定程度上影响并促进了幼苗生物量的累积,和现有研究相一致^[23-25]。植物生长调节剂影响了植物体内激素平衡,进而调控生长发育和防御响应,在一定程度上引起相关酶活性的变化,本试验通过分析不同处理青钱柳叶片中保护酶活性与相对应苗高增长量的相关性,判断树体矮化程度与这些酶之间的关系,从而明确青钱柳矮化的酶学机制。POD活性大小直接影响内源激素IAA的代谢与分布,而IAA含量的多少控制着植物的生长发育,高水平的POD加强了对IAA的氧化分解,减轻了对生长的刺激,使植物表现矮化^[26]。IOD通过催化生长素的氧化分解,动态调控生长素浓度,从而显著影响植物整体的生长发育模式^[27]。本研究表明高浓度矮壮素溶液显著提高了青钱柳幼苗的POD和IOD活性,这可能是由于当幼苗受到较高浓度的矮壮素溶液胁迫后,植株自身将会合成更多的IOD和POD来抵御这种氧化损伤,进而导致IOD和POD活性增强^[28]。三碘苯甲酸对POD和IOD活性的影响趋势与芸苔素内酯相似,但他们对植物的作用机理不同,二者通过不同途径激发

青钱柳幼苗的防御机制,进而导致对应酶活性的变化^[29-30]。POD活性的提高会促进青钱柳幼苗根生物量的积累,与扈红军^[31]在欧榛(*Corylus avellana*)生根方面的研究结果相一致,证明POD是不定根发生和发展所必需的辅助因子,参与植物生长素代谢以及细胞壁中的木质化过程,促进不定根的形成和根系生物量的增加^[1]。此外,本试验在喷施植物生长调节剂后,青钱柳幼苗苗高与地径增长呈现显著负相关,反映了青钱柳在生长资源分配上的权衡策略,与其他树种相似,也验证了“生长-分配”模型的普适性^[32]。POD和IOD活性与青钱柳苗高增长量呈现显著负相关,与徐继忠等^[26]关于西府海棠(*Malus micromalus*)经济林矮化方面的研究相一致,后续可考虑结合配比施肥和修枝矮化技术进行探索研究。

综上,3种植物生长调节剂(矮壮素、三碘苯甲酸、芸苔素内酯)均能有效抑制青钱柳幼苗的苗高增长,其中三碘苯甲酸表现出最强的矮化效果,而芸苔素内酯在增加分枝数方面效果最佳。中等浓度的生长调节剂处理显著促进了根系、茎干和叶片的生物量积累;POD和IOD活性对青钱柳苗高和地径有重要影响,其活性升高可促进根部生物量累积并抑制地上部分伸长。根据栽培目的选择合适的生长调节剂及其浓度,可以有效改善青钱柳叶用林的结构和功能。研究结果为青钱柳叶用林矮化栽培提供技术参考。

参考文献

- [1] WAN S Y, TIAN Y, YANG W X, et al. Effects of different hormone formulas on nutrient substance, enzyme activity and rooting in hardwood cutting of *Cyclocarya paliurus* [J]. Non-Wood For Res, 2023, 41(1): 217–224. [万诗颖, 田媛, 杨万霞, 等. 激素配方对青钱柳硬枝插穗营养物质、酶活性及生根的影响 [J]. 经济林研究, 2023, 41(1): 217–224. doi: 10.14067/j.cnki.1003-8981.2023.01.022.]
- [2] FANG S Z, FU X X. Progress and prospects on silviculture and utilization of *Cyclocarya paliurus* resources [J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci), 2007, 31(1): 95–100. [方升佐, 洪香香. 青钱柳资源培育与开发利用的研究进展 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2007, 31(1): 95–100. doi: 10.3969/j.issn.1000-2006.2007.01.023.]
- [3] FANG S Z, YANG W X. Resources exploitation and silviculture of *Cyclocarya paliurus* [J]. J For Eng, 2003, 17(1): 49–51. [方升佐, 杨万霞. 青钱柳的开发利用与资源培育 [J]. 林业科技开发, 2003, 17(1): 49–51. doi: 10.3969/j.issn.1000-8101.2003.01.019.]
- [4] QIN S, QIN L L, WU L L, et al. Effect and mechanism of aqueous

- extract from *Cyclocarya paliurus* on glucose and lipid metabolism in the liver of diabetic mice [J]. *Mod Trad Chin Med Mat World Sci Technol*, 2020, 22(10): 3443–3449. [秦帅, 秦灵灵, 吴丽丽, 等. 青钱柳对糖尿病小鼠肝脏糖脂代谢影响及机制研究 [J]. *世界科学技术-中医药现代化*, 2020, 22(10): 3443–3449. doi: 10.11842/wst.2020.0507003.]
- [5] JIANG C H, YAO N, WANG Q Q, et al. *Cyclocarya paliurus* extract modulates adipokine expression and improves insulin sensitivity by inhibition of inflammation in mice [J]. *J Ethnopharmacol*, 2014, 153(2): 344–351. doi: 10.1016/j.jep.2014.02.003.
- [6] KURIHARA H, ASAMI S, SHIBATA H, et al. Hypolipemic effect of *Cyclocarya paliurus* (Batal) Iljinskaja in lipid-loaded mice [J]. *Biol Pharm Bull*, 2003, 26(3): 383–385. doi: 10.1248/bpb.26.383.
- [7] QIU M X, ZHANG Q Q, JIAO Y, et al. Research progress on breeding and utilization of *Cyclocarya paliurus* [J]. *Hubei For Sci Technol*, 2024, 53(1): 59–65. [邱明萱, 张琦琦, 焦阳, 等. 中国青钱柳繁殖与利用研究进展 [J]. *湖北林业科技*, 2024, 53(1): 59–65. doi: 10.3969/j.issn.1004-3020.2024.01.012.]
- [8] WANG J, LI P, LI N, et al. Variations in growth, leaf anatomical structure and photosynthetic pigment content of *Cyclocarya paliurus* clones [J]. *J W China For Sci*, 2023, 52(2): 132–137. [王纪, 李飘, 李娜, 等. 青钱柳无性系生长、叶解剖结构和光合色素含量的差异 [J]. *西部林业科学*, 2023, 52(2): 132–137. doi: 10.16473/j.cnki.xblykx.1972.2023.02.018.]
- [9] LI W. Effects of formula fertilization on growth and physiological characteristics of *Cyclocarya paliurus* [D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology, 2020. [李文. 配比施肥对青钱柳生长及生理特性的影响 [D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2020.]
- [10] YANG X R, LIU Y X, LIU S F, et al. Study and application on plant growth regulators [J]. *Tianjin Agric Sci*, 2007, 13(1): 23–35. [杨秀荣, 刘亦学, 刘水芳, 等. 植物生长调节剂及其研究与应用 [J]. *天津农业科学*, 2007, 13(1): 23–35. doi: 10.3969/j.issn.1006-6500.2007.01.008.]
- [11] FU H L, HE T J, WU Q Y. Research and application on plant growth regulators [J]. *Chin J Bioproc Eng*, 2008, 6(4): 7–12. [傅华龙, 何天久, 吴巧玉. 植物生长调节剂的研究与应用 [J]. *生物加工过程*, 2008, 6(4): 7–12. doi: 10.3969/j.issn.1672-3678.2008.04.002.]
- [12] LIU S L, LI J, MA Y H, et al. Effects of strigolactones on seed germination and seedling physiological changes of *Lycium ruthenicum* under drought stress [J]. *Acta Agrest Sin*, 2023, 31(1): 130–139. [刘淑兰, 李进, 马永慧, 等. 独脚金内酯对干旱胁迫下黑果枸杞种子萌发和幼苗生理变化的影响 [J]. *草地学报*, 2023, 31(1): 130–139. doi: 10.11733/j.issn.1007-0435.2023.01.015.]
- [13] MA Y N, CAO Y L, SU L L, et al. Effects of spraying chlormequat chloride on tomato plant and fruit quality [J]. *Shandong Agric Sci*, 2023, 55(12): 71–78. [马亚男, 曹依林, 苏璐璐, 等. 喷施矮壮素对番茄植株及果实品质的影响 [J]. *山东农业科学*, 2023, 55(12): 71–78. doi: 10.14083/j.issn.1001-4942.2023.12.010.]
- [14] ZHANG L P, YAN P, SHEN C, et al. Effects of exogenous TIBA on dwarfing, shoot branching and yield of tea plant (*Camellia sinensis* L.) [J]. *Sci Hort*, 2017, 225: 676–680. doi: 10.1016/j.scienta.2017.07.060.
- [15] SUN C M, CAI Y, MIAO Z W. Research progress of new type green plant growth regulator: Brassinolide [J]. *Chin J Chem Ed*, 2022, 43(6): 1–8. [孙陈铭, 蔡岩, 苗志伟. 新型绿色植物生长调节剂——芸苔素内酯的研究进展 [J]. *化学教育*, 2022, 43(6): 1–8. doi: 10.13884/j.1003-3807/hxjy.2020080003.]
- [16] CHEN Z Y, CHEN C, YUAN F, et al. Effects of salt and phosphorus fertilization on photosynthesis and nutrient characteristics of *Acacia confusa* [J]. *Guihaia*, 2023, 43(4): 596–605. [陈增焰, 陈灿, 袁峰, 等. 施盐和磷对台湾相思幼苗光合作用及养分特征的影响 [J]. *广西植物*, 2023, 43(4): 596–605. doi: 10.11931/guihaia.gxzw202202044.]
- [17] WU Q F, LI Y, WANG Q, et al. Irrigation effect by nutrient solution with different N, P, K mixture ratio to processing tomato plug seedling growth [J]. *N Hort*, 2012(11): 19–23. [吴奇峰, 李艳, 王强, 等. 氮、磷、钾不同配比营养液对加工番茄穴盘苗生长的影响 [J]. *北方园艺*, 2012(11): 19–23.]
- [18] ECKSTEIN R L, DONATH T W. Interactions between litter and water availability affect seedling emergence in four familial pairs of floodplain species [J]. *J Ecol*, 2005, 93(4): 807–816. doi: 10.1111/j.1365-2745.2005.01015.x.
- [19] LUO X T, ZHAO D, HU S J, et al. The dwarfing effect of paclobutrazol and chlormequat on *Bombax ceiba* seedlings [J]. *J Yunnan Univ (Nat Sci)*, 2021, 43(1): 174–181. [罗晓滔, 赵冬, 胡世俊, 等. 多效唑、矮壮素对木棉苗木矮化效果的研究 [J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 2021, 43(1): 174–181. doi: 10.7540/j.ynu.20190627.]
- [20] ZHANG Y H, WEI L X, MA K F, et al. Effects of different growth inhibitors on physiological characteristics of *Prunus mume* [J]. *J NE For Univ*, 2023, 51(7): 61–67. [张钰铭, 韦淋馨, 马开峰, 等. 不同生长抑制剂对盆栽梅花生理特性的影响 [J]. *东北林业大学学报*, 2023, 51(7): 61–67. doi: 10.13759/j.cnki.dlxb.2023.07.005.]
- [21] YANG G Q, LI D M, XU H L, et al. Comparison of application effects of various plant growth regulators on alfalfa [J]. *China Plant Prot*, 2023, 43(4): 65–68. [杨共强, 李东梅, 徐洪乐, 等. 多种植物生长调节剂在紫花苜蓿上的应用效果比较 [J]. *中国植保导刊*, 2023, 43(4): 65–68. doi: 10.3969/j.issn.1672-6820.2023.04.012.]
- [22] ZHANG W H, LI H, LI J X, et al. Individual and modular biomass dynamics of *Kingdonia uniflora* population in Qinling Mountain [J].

- Chin J Appl Ecol, 2003, 14(4): 530–534. [张文辉, 李红, 李景侠, 等. 秦岭独叶草种群个体和构件生物量动态研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 530–534. doi: 10.13287/i.10019332.2003.0119.]
- [23] XIE L J, HAN L, LI Y H, et al. Shortening effect of cycocel on potted *Scutellaria baicalensis* [J]. J NE For Univ, 2004, 32(4): 92–93. [谢利娟, 韩蕾, 李永红, 等. 矮壮素对盆栽黄芩的矮化效果 [J]. 东北林业大学学报, 2004, 32(4): 92–93. doi: 10.3969/j.issn.1000-5382.2004.04.036.]
- [24] POORTER H, NIKLAS K J, REICH P B, et al. Biomass allocation to leaves, stems and roots: Meta-analyses of interspecific variation and environmental control [J]. New Phytol, 2012, 193(1): 30–50. doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.03952.x
- [25] ZHOU X, XU Y L, XU Q. Effects of different concentrations of chlor-mequat on spindling of seedlings under high temperature environment and growth after transplanting of cucumber [J]. Vegetables, 2024(4): 30–35. [周昕, 徐浴力, 徐强. 不同浓度矮壮素处理对高温环境黄瓜幼苗徒长及定植后生长的影响 [J]. 蔬菜, 2024(4): 30–35. doi: 10.13856/j.issn.1000-6890.2024.04.006.]
- [26] XU J Z, SHI B S, MA B K, et al. Studies on the POD and IOD activities of the dwarfing stocks and red Fuji apple grafted on corresponding interstocks [J]. Sci Agric Sin, 2002, 35(4): 415–420. [徐继忠, 史宝胜, 马宝焜, 等. 苹果不同矮砧与其对应中间砧植株 POD、IOD 酶活性的研究 [J]. 中国农业科学, 2002, 35(4): 415–420. doi: 10.3321/j.issn:0578-1752.2002.04.013.]
- [27] DONG T, WANG H P, SUN W T, et al. Effects of different dwarfing interstocks on tree growth characteristics, leaf physiology and fruit quality of ‘Nagano Fuji No. 2’ apple [J]. J Fruit Sci, 2020, 37(12): 1846–1855. [董铁, 王红平, 孙文泰, 等. 不同矮化中间砧对‘长富 2 号’苹果生长特性、叶片生理及果实品质的影响 [J]. 果树学报, 2020, 37(12): 1846–1855. doi: 10.13925/j.cnki.gsx.20200195.]
- [28] ZHANG Z H, LIU X C, WANG H X, et al. Studies on the relationship between the POD and IOD activity and the growth vigor of walnut [J]. Acta Hort Sin, 2006, 33(2): 229–232. [张志华, 刘新彩, 王红霞, 等. 核桃 IOD 和 POD 酶活性与生长势的关系 [J]. 园艺学报, 2006, 33(2): 229–232. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2006.02.002.]
- [29] SHAO L M, MENG X X. Application Manual of Plant Growth Regulators [M]. Beijing: Golden Shield Press, 1999. [邵莉楣, 孟小雄. 植物生长调节剂应用手册 [M]. 北京: 金盾出版社, 1999.]
- [30] WEN J F, YANG X Z, GUO S S, et al. Effects of amino oligosaccharides and brassinolide on growth of tea plants [J]. Shaanxi J Agric Sci, 2021, 67(8): 62–64. [文家富, 杨雪竹, 郭帅帅, 等. 氨基寡糖素和芸苔素内酯对茶树生长的影响 [J]. 陕西农业科学, 2021, 67(8): 62–64. doi: 10.3969/j.issn.0488-5368.2021.08.015.]
- [31] HU H J, CAO B H, YIN W L, et al. Effects of different treatments on hardwood-cutting rooting and related oxidase activity changes during rooting of *Corylus avellana* [J]. Sci Silv Sin, 2007, 43(12): 70–75. [扈红军, 曹帮华, 尹伟伦, 等. 不同处理对欧榛硬枝扦插生根的影响及生根过程中相关氧化酶活性的变化 [J]. 林业科学, 2007, 43(12): 70–75. doi: 10.3321/j.issn:1001-7488.2007.12.012.]
- [32] FALSTER D S, WESTOBY M. Plant height and evolutionary games [J]. Trends Ecol Evol, 2003, 18(7): 337–343. doi: 10.1016/S0169-5347(03)00061-2.