

3种植物生长调节剂对楝叶吴萸叶绿素荧光和根系生长的影响*

刘小玲¹ 张亨² 陈文¹ 陈红跃¹

(1. 华南农业大学, 广东广州 510642; 2. 广州普邦园林股份有限公司, 广东广州 510600)

摘要 以楝叶吴萸 *Evodia glabrifolia* 为材料进行植物生长调节剂的根部灌溉处理, 探讨了 50、100、150 mg/L 共 3 个浓度梯度的萘乙酸 (NAA)、吲哚乙酸 (IAA) 和 ABT-3 号生根粉 (ABT-3) 对楝叶吴萸幼苗叶绿素荧光 (PSII 实际量子产量 Y (II)、相对电子传递效率 ETR、非光化学淬灭系数 NPQ)、根系活力、根系形态指标 (根系长度、根系表面积、根系体积、根系平均直径) 的影响。试验结果表明: 3 种植物生长调节剂在适宜浓度处理下均能够促进楝叶吴萸的实际光能转换效率和根系活力, 其中 50 mg/L 的 IAA 是最佳的处理, 能够显著增进楝叶吴萸的根系生长, 尤其是对根系还原强度有着较好的促进作用, 并能够增强楝叶吴萸对光能的利用能力和光保护能力, 促进植株的生长发育。

关键词 楝叶吴萸; 植物生长调节剂; 叶绿素荧光; 根系活力; 根系形态

中图分类号: S792 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2019) 04-0071-08

Effects of Three Plant Growth Regulators on Chlorophyll Fluorescence and Root Growth of *Evodia glabrifolia*

LIU Xiaoling¹ ZHANG Heng² CHEN Wen¹ CHEN Hongyue¹

(1. South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China; 2. Pubang Landscape Architecture Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510600, China)

Abstract With *Evodia glabrifolia* as the material to the root of plant growth regulator irrigation treatment, discussing the three concentration (50, 100, 150 mg/L) of 1-naphthylacetic acid (NAA), indole-3-acetic acid (IAA) and ABT-3 root powder (ABT-3) of the seedlings of *E. glabrifolia*'s chlorophyll fluorescence (PSII actual quantum yield Y (II)), the relative electron transfer efficiency ETR, non-photochemical quenching coefficient NPQ, root vigor, index of root morphology (root length, root surface area, the root volume, root average diameter), in order to provide reference for the reasonable cultivation of *E. glabrifolia*. Three kinds of plant growth regulator in the appropriate concentration treatment were able to promote the actual light energy conversion efficiency and root activity of *E. glabrifolia*, 50 mg/L of IAA was the best treatment who can significantly increase the root growth of *E. glabrifolia*, especially in root reduction intensity, and can promote the *E. glabrifolia* light utilization ability and light protection ability, thus promote the overall growth and development of plants.

Key words *Evodia glabrifolia*; plant growth regulator; chlorophyll fluorescence; root activity root morphology

* 基金项目: 中山市科技基金资助项目 (4400-H13527)。

第一作者: 刘小玲 (1995—), 女, 硕士研究生在读, 主要从事森林培育与园林植物研究, E-mail: 1057755762@qq.com。

通信作者: 陈红跃 (1964—), 男, 教授, 主要从事森林培育与园林植物研究, E-mail: chenhongyuetz@126.com。

楝叶吴萸 (*Evodia glabrifolia*) 属芸香科 (Rutaceae) 吴茱萸属 (*Evodia*), 主要产于我国台湾、福建、广东、海南、广西及云南省南部^[1-2], 是华南地区优良的速生乡土树种。其种子较轻且易借助风力传播, 常在较为稀疏的林分中生长, 形成混交林, 是理想的杂木林树种。鉴于以上特性, 楝叶吴萸被广泛应用于我国华南地区的造林营林实践中, 常用作林分改造^[3]和水源林的营造^[4]。但楝叶吴萸的渗透调节能力较弱, 抗旱适应性较差, 在利用楝叶吴萸造林时需要选择合适的立地条件, 或是采取人工措施增加其抗旱性和对立地环境的适应性。此外, 楝叶吴萸常被应用于城市园林绿化, 可与常绿基调树种进行搭配, 在保证林带绿量的前提下, 能够增添林带秋冬季色彩, 丰富林带季节性景观。但由于其移栽存活率低, 移栽苗生长不良等问题, 同样需要在栽培过程中进行人为干预以促进植株的生长发育, 达到壮苗的效果, 使其更好的发挥生态和经济效益。

植物生长调节剂由于能够积极地调控植物生长发育过程而被广泛应用于现代农业、园艺和果树栽培中^[5-6]。植物生长调节剂包括植物激素或其合成类似物、激素生物合成或易位抑制剂以及激素受体阻滞剂^[7], 能直接干预植物的激素状态, 从而调节植物的生长发育。例如, 加速或推迟种子的萌发^[8-10], 刺激或降低枝条伸长^[11], 调节花期和果期^[12-14], 减少或增加果实产量^[15-17], 增加果实的保存时长^[18]。目前, 有关植物生长调节剂对植物的生理调控已有较多研究, 但有关生长调节剂对楝叶吴萸根系生长和叶绿素荧光影响的研究罕见报道。

造林成活的关键是保持和恢复植物以水分为主的代谢平衡, 而植物主要是靠根系来吸收水分^[19], 移栽过程中植物根系形态的建成及根系活力等特征与植株在造林实践中的存活及生长情况有着密不可分的联系。光是重要的生态因子, 很大程度上植物适应光环境变化的能力决定了其分布模式和物种丰度^[20]。叶绿素荧光作为近年来人们研究植物光合作用最有力的手段之一, 可以更直接地反映植物在不同环境条件下的生理状况^[21], 是植物适应光环境能力的重要指标。基于此, 本研究对楝叶吴萸外施 3 个浓度梯度 (50、100、150 mg/L) 的 3 种植物生长调节剂 (萘乙酸 (NAA)、吲哚乙酸 (IAA) 和 ABT-3 号生

粉 (ABT-3)), 通过测定叶绿素荧光参数 (PSII 实际量子产量 $Y(II)$ 、相对电子传递效率 ETR、非光化学淬灭系数 NPQ)、根系活力、根系形态指标 (根系长度、根系表面积、根系体积、根系平均直径) 等参数, 并对植物生长调节剂对楝叶吴萸的影响作出综合评价, 找出最佳的植物生长调节剂种类及其浓度, 以期能够解决造林过程中楝叶吴萸抗旱适应性差, 幼苗移栽存活率低等问题, 为其合理栽培提供可靠参考。

1 材料与方法

1.1 试验地点概况

苗圃设立在广东省广州市华南农业大学农业生态中心 (23°09'N, 113°22'E)。该地位于南亚热带季风气候区, 年均降雨量 1 600 mm, 降雨主要集中在 4-10 月。年均气温 21.9 °C, 7 月均温最高 28.7 °C, 绝对最高气温 38.7 °C, 1 月均温最低为 13.5 °C, 绝对最低气温 -2.6 °C。11 月下旬至第二年 2 月偶有霜冻出现。

1.2 试验材料

选取苗高为 (125 ± 5) cm 的 3 a 生袋装苗作为供试植株, 苗木来源于广东省中山市树木园, 于 2014 年 8 月移植到农业生态中心的苗圃中。保持均一的生长条件和一致的管理方式。ABT-3 号由北京艾比蒂生物科技有限公司提供, IAA 和 NAA (纯度 99.5%) 由广州市林国化肥有限公司提供。高效培养基质土从广州市园林科学研究所园林基质厂购入, 黄心土来自华南农业大学校树木园内花岗岩发育而来的 20-60 cm 深的赤红壤。

1.3 试验方法

1.3.1 苗木准备 试验前对袋装苗木进行换袋定植, 选用深 35 cm, 内径 30 cm 的无纺布容器袋作为定植容器, 选用比例为 10:1 的黄心土和高效培养基质土作为栽培基质。换袋以后浇定植水, 第二天再浇透一次。缓苗期间用遮阴网遮阴, 早晚各浇一次水, 缓苗 15 天后开始试验。

1.3.2 试验设计 缓苗结束后, 设置 50、100、150 mg/L 3 个浓度的 ABT-3、NAA、IAA 处理对苗木根部进行灌溉, 并同时用清水灌溉作为对照组 (CK), 共 10 个处理, 每个处理重复 10 株苗木, 灌溉量为 1 L 每株。1 周后再灌溉一次。之后定时定量浇水, 定期除草, 每周松土一次, 保持周围环境整洁, 通风良好, 避免病虫害的发生。

1.3.3 溶液的配制 ABT 溶液: 精确称量 1.00 g 的 ABT-3 粉末于烧杯中, 用酒精定容至 100 mL, 作为母液备用。分别加 20、10、6.77 kg 水稀释成 50、100、150 mg/L 的灌溉液。IAA 的配置方法与 ABT 相同。NAA 的配置不需要用酒精溶解, 直接用水稀释至使用浓度即可。

1.4 指标的测定

1.4.1 叶绿素荧光的测定 每株苗木挑选出当年生成熟叶片 3 片作为待测材料。在测定前一天 (24 h) 将叶片擦干净, 于晴朗的上午 9:00-11:00 时测定每株苗木叶片的叶绿素荧光指标。所选的待测叶片用夹子夹在位置相同的部位, 进行半小时的暗处理。然后使用 OS1P 型便携式叶绿素荧光仪 (OPTI-SCIENCES 公司) 进行叶片叶绿素荧光指标 (PSII 实际量子产量 $Y(II)$ 、相对电子传递效率 ETR、非光化学淬灭系数 NPQ) 的测定。

1.4.2 根系活力的测定 根系活力采用 TTC (2,3,5-氯化三苯基四氮唑) 法进行测定。TTC 的还原量可以表示根系的脱氢酶活性, 从而成为表示根系活力的指标。每个苗木每处理进行 3 次重复测定。具体试验方法如下。

TTC 标准曲线的制作: 取 0.1 mL 浓度为 1% 的 TTC 溶液于 10 mL 容量瓶中, 加入微量 $Na_2S_2O_4$ 粉末, 充分摇匀, 待产生红色的三苯甲胺后, 用乙酸乙酯定容至刻度线后充分摇匀, 作为母液。然后取母液 0、0.05、0.1、0.2、0.3、0.5、1.0、1.5 mL 置 10 mL 容量瓶中, 用乙酸乙酯定容至刻度线, 得到含三苯甲胺 0、5、10、20、30、50、100、150 μg 的标准比色溶液, 在 485 nm 波长下利用分光光度计测定其吸光度。以三苯甲胺浓度为 X 轴, 吸光值为 Y 轴, 绘制 TTC 标准曲线。

样品中四氮唑的提取及测定: 将根系样品准确称取 0.50 g, 共 3 个重复。将所选根系样品浸泡在 10 mL 的 TTC 缓冲液 (TTC 溶液: 磷酸缓冲液 = 1:1) 中, 在 37℃ 恒温条件下暗处理 3 h, 此后加入 1 mL 浓度为 1 mg/L 的 H_2SO_4 溶液, 以停止反应, 同时设置空白对照组。然后将待测根系取出, 冲洗干净并用滤纸吸干水分, 置于研钵中, 加入少量石英砂以及 3-5 mL 乙酸乙酯, 充分研磨, 过滤, 以提取甲胺。最后用乙酸乙酯定容至 10 mL 的容量瓶中, 在波长 485 nm 下比色。根据标准曲线计算出 TTC 浓度, 根据公式计算 TTC 还原强度, 用于表示苗木根系活力, 其单位为 $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。计算

公式如下:

根系活力 = TTC 还原量 = 根系样品 TTC 浓度 \times 提取溶液总体积 \times 稀释倍数 C

1.4.3 根系形态的测定 准备测定前需要获取干净植株根系。先将植株的根部 (带土) 浸泡在水中半小时, 待根部土球变得松软之后, 用流水慢慢冲洗, 冲洗过程中尽量保持根系的完整, 洗净泥沙后用滤纸擦干, 然后将根系整个剪断, 装在封口袋中, 用液氮保存, 送往实验室等待下一步的处理和测定。每种苗木每处理进行 3 次重复测定。完成清洗工作后, 用根系扫描法测定根系形态指标。首先用 EPSON PERFECTION 4490 PHOTO 扫描仪对根系进行扫描, 获取根系图像, 然后用万深 LA-S 植物根系分析系统对获取的苗木根系图像进行分析, 得出根系长度、根系表面积、根系体积、根系平均直径等根系形态指标。

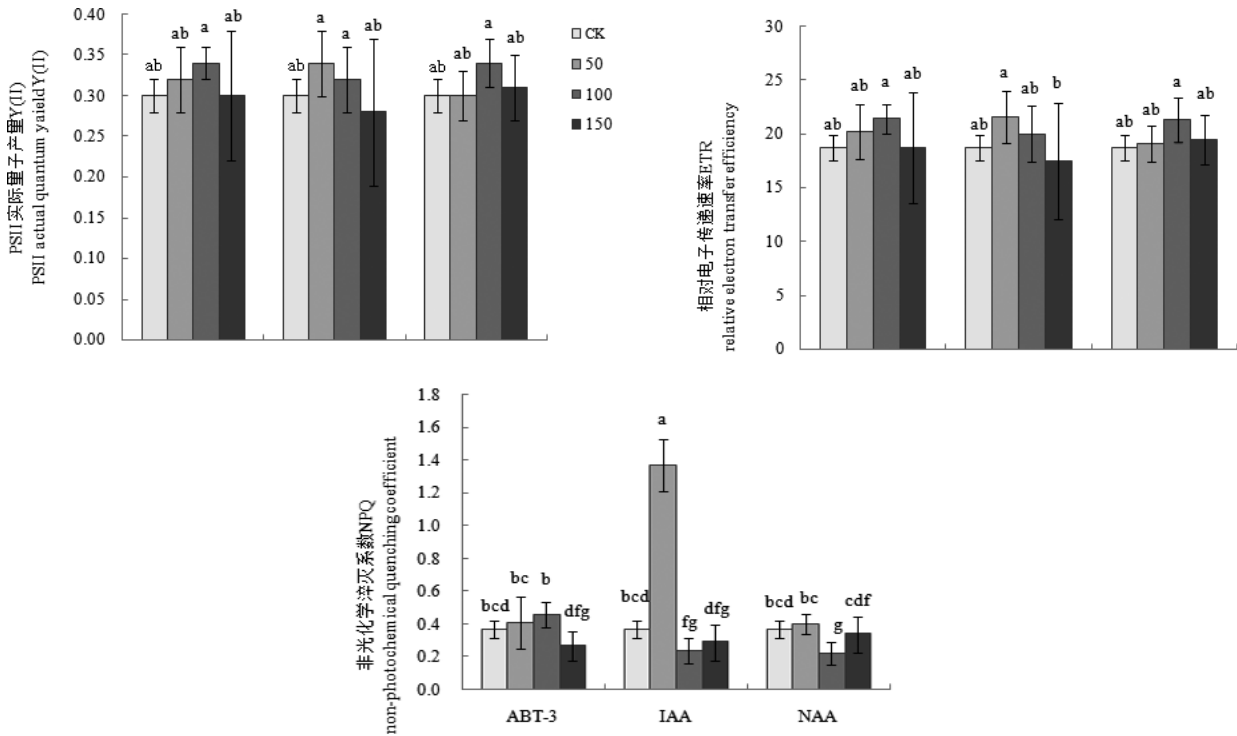
1.5 数据分析

用 Excel 2007 进行数据整理和绘图, 采用 SPSS 19.0 软件进行统计分析。采用单因素方差分析比较不同处理组对各指标是否有显著性影响, 并分析组间的差异性是否显著。利用主成分分析法对不同处理组间进行综合评价。

2 结果与分析

2.1 植物生长调节剂对椴叶吴萸叶绿素荧光的影响

经 3 种植物生长调节剂处理 1 个月后, 椴叶吴萸的各叶绿素荧光指标均有变化 (图 1), 其中 PSII 实际量子产量 $Y(II)$ 和相对电子传递速率 (ETR) 的变化基本保持一致。各浓度植物生长调节剂处理下的 $Y(II)$ 和 ETR 随着浓度的升高呈现先上升后下降的趋势, 除了 50 mg/L 的 IAA 外, 各处理相比于 CK 均有不同程度的上升。其中, ABT-3 和 NAA 在浓度 100 mg/L 时的促进作用最佳, IAA 在浓度为 50 mg/L 时的促进作用最佳。100 mg/L 的 ABT-3 和 NAA 处理下 $Y(II)$ 的值均为 0.34, ETR 的值分别为 21.42、21.33。单因素方差分析结果表明 ABT-3 和 NAA 处理下 $Y(II)$ 和 ETR 的值两两之间均未发现显著差异。仅在浓度为 150 和 50 mg/L 的 IAA 处理下的 ETR 的值之间发现显著差异, 且 150 mg/L 浓度处理下 ETR 的值低于 CK。ABT-3 处理下椴叶吴萸的非光化学淬灭系数 (NPQ) 随着植物生长调节剂浓度的升高呈现出先上升后下降的趋势。而 IAA 和 NAA



注：图中不同小写字母表示处理之间差异性显著 ($P < 0.05$) Note: different letters mean significant difference ($P < 0.05$)

图1 楝叶吴萸叶绿素荧光指标

Fig. 1 Chlorophyll fluorescence of *Evodia glabrifolia*

处理下 NPQ 的值均表现为先上升后下降再上升的波动趋势。ABT-3 在浓度为 100 mg/L 时的 NPQ 值为该生长调节剂的最高值，而 IAA 和 NAA 在浓度 100 时则为该生长调节剂的最低值，分别为 0.24、0.22，均显著低于对照组 (0.37)。IAA 浓度为 50 mg/L 时 NPQ 的值最高，与其他所有处理间都存在极显著差异，其次是 100 mg/L 和 50 mg/L 的 ABT-3，NPQ 的值依次为 1.37、0.46、0.41，分别为 CK 的 3.7、1.24、1.11 倍。相比于低浓度的处理，高浓度的 3 种植物生长调节剂均不同程度降低了 NPQ 的值。

2.2 植物生长调节剂对楝叶吴萸根系活力的影响

根系活力的强弱可以用根系还原强度来表示 (图 2)。经 3 种植物生长调节剂处理 1 个月后，各处理组楝叶吴萸的根系活力均高于 CK 组，且 3 个浓度的 ABT-3 和 NAA 处理下的根系活力均与 CK 有显著差异，而 3 个浓度的 IAA 对根系活力的促进作用均未达显著水平。随着植物生长调节剂浓度的升高，3 种植物生长调节剂处理下楝叶吴萸的根系还原强度均呈现为先上升后下降的趋势，且均在浓度为 100 mg/L 时，对根系活力产生的促进效果最佳。当 NAA 浓度为 100 mg/L 时，是所有处理

中根系还原强度最大的处理，为 $4.99 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ，是 CK ($0.95 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) 的 5.25 倍。其次是 100 mg/L 的 ABT-3 和 50 mg/L 的 NAA，根系活力分别为 3.89 、 $1.78 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ 。100 mg/L 的 NAA、100 mg/L 的 ABT-3 和 50 mg/L 的 NAA 两两之间存在显著差异，且三者均极显著优于 CK。

2.3 植物生长调节剂对楝叶吴萸根系形态的影响

经 3 种植物生长调节剂处理 1 个月后，楝叶吴萸的根系形态指标均有变化 (图 3)，且其根系长度、根系表面积、根系体积、根系平均直径的变化规律基本一致。随着植物生长调节剂浓度的升高，ABT-3 处理下的的根系形态指标随着浓度的升高呈现先上升后下降的趋势，IAA 处理下的的根系形态指标随着浓度的升高呈现先上升后下降再上升的趋势，NAA 则与 ABT-3 的变化趋势正好相反。50 mg/L 的 NAA 处理下的根系表面积和平均直径显著低于 CK，根系长度和根系体积略低于 CK，100 mg/L 的 IAA 处理根系表面积和根系体积略低于 CK。相比于低浓度的处理，高浓度的 IAA 和 NAA 对根系形态建成的促进效果更优，尤其是高浓度的 NAA，显著优于中低浓度的处理。其中，IAA 和 NAA 在浓度 150 mg/L 时的促进作

用最佳, ABT-3 在浓度为 100 mg/L 时的促进作用最佳。且根系长度、根系表面积、根系平均直径均以 100 mg/L 的 ABT-3 最具促进效益, 分别为 1 225.09 cm、94.23 cm²、0.84 mm; 根系体积则以 150 mg/L 的 NAA 最具促进效益, 为 1.03 cm³, 与其他处理间均存在显著差异。

2.4 植物生长调节剂处理下对棘叶吴萸各指标的相关性分析

对不同植物生长调节剂处理下棘叶吴萸的各指标进行相关性分析的结果表明(表 1): Y (II) 和 ETR 存在极显著的正相关关系 ($P < 0.01$), NPQ 和根系长度、根系表面积、根系体积、根系平均直径之间存在显著的负相关关系 ($P < 0.05$)。根系长度、根系表面积、根系体积、根系平均直径两两之间均存在极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 但未发现与根系还原强度之间的显著相关关系 ($P > 0.05$)。

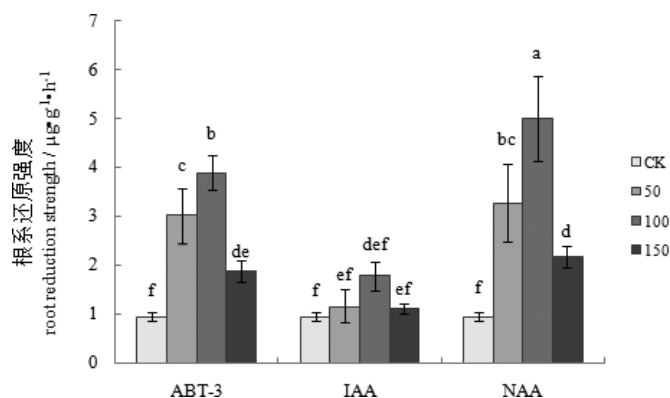
2.5 不同植物生长调节剂处理对棘叶吴萸生理影响的综合评价

提取特征值大于 1 的特征向量作为主成分进行综合评价, 并通过因子载荷矩阵 A 以及特征值 λ 计算主成分载荷矩阵 U。然后将各指标对应的系数与标准化后的数据相乘后求和, 得到 3 个主成分 Y1、Y2 和 Y3, 最后对权重进行归一化处理并计算综合得分 ($Y=0.447Y1+0.359Y2+0.193Y3$) 并进行排序。结果见表 2: 综合排序结果表明 50 mg/L 的 IAA 具有最好的表现, 其次为 100、50 的 ABT-3 以及 100 mg/L 的 NAA, 其余处理低于总体的均值, 其中表现最差的为 150 mg/L 的 ABT-3 以及 50 mg/L 的 NAA, 均不如 CK。总体来说, IAA 的表现要优于 ABT-3 和 NAA, 低浓度

的表现要优于高浓度。

3 结论与讨论

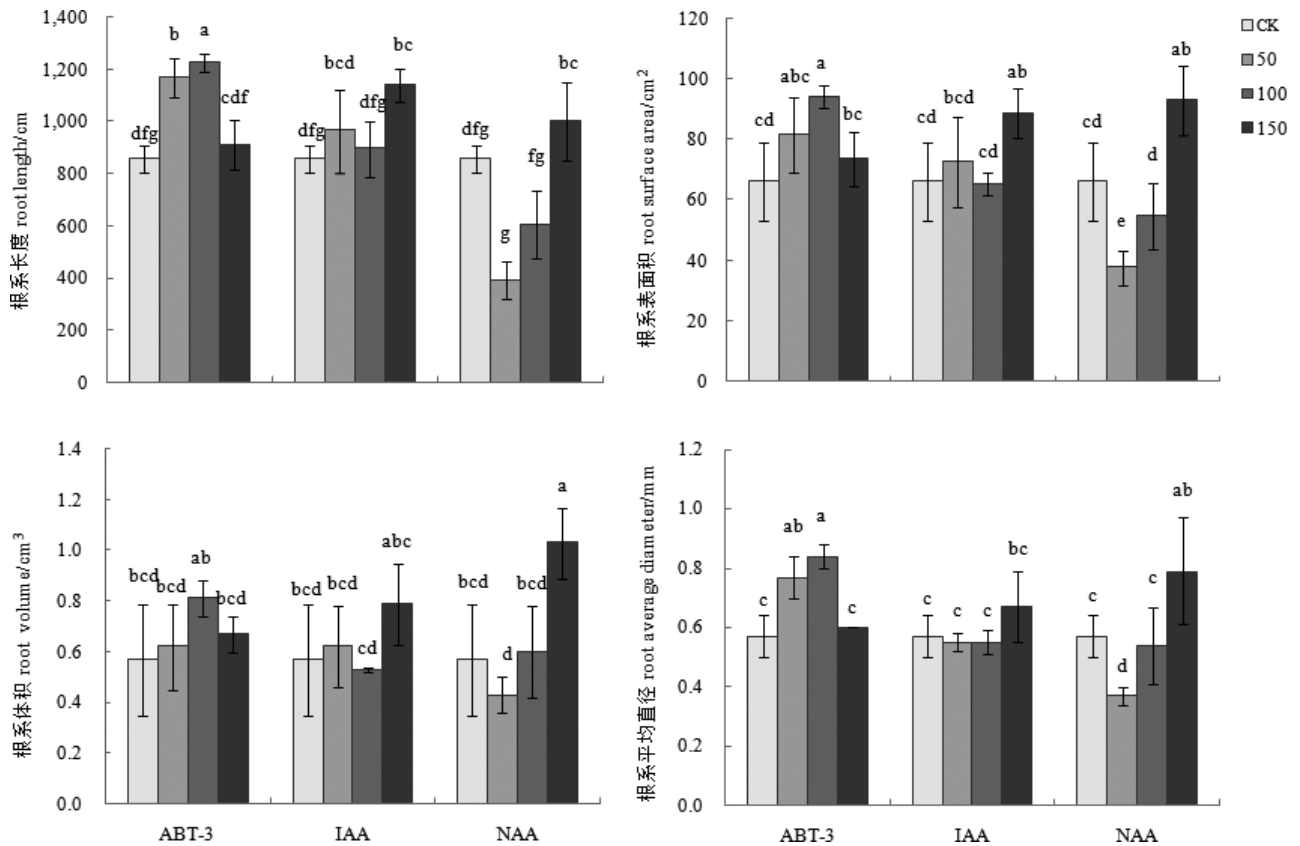
我们的研究结果表明 50 mg/L 的 IAA 显著促进了棘叶吴萸的光能利用效率以及光保护能力。马兰等^[22]研究了不同浓度吲哚乙酸 (0-100 mg/L) 作用下周从生物对其的响应, 结果表明低浓度的 IAA 可以在一定程度上促进周从生物的叶绿素荧光值, 而高浓度的 IAA 在一定程度上抑制了周从生物的叶绿素荧光值, 限制了其光能利用效率以及光保护能力, 这个研究结果和我们的结论基本保持一致。而前人研究结果表明大叶井口边草 (*Pteris nervosa*) 叶片最大光化学效率 (F_v/F_m)、实际光化学效率 (PSII) 和非光化学淬灭系数 (NPQ) 随 IAA 浓度增加与对照相比无显著差异, 而剑叶凤尾蕨 (*P. ensiformis*) 在 40 mg/L 的 IAA 处理时显著降低^[17, 23-24]。植物生长调节剂的最佳施用浓度针对不同植物或是植物的不同阶段产生了交大的差异, 因此针对不同生长发育阶段的不同植物, 选用合适浓度和种类的植物生长调节剂尤为重要^[25-26]。100 mg/L 的 IAA 对棘叶吴萸光保护能力产生了显著的抑制作用, 更是证明了选用合适浓度植物生长调节剂的重要性。3 种植物生长调节剂处理下的 NPQ 表现为高浓度产生抑制作用, 低浓度的植物生长调节剂能够显著促进棘叶吴萸机体耗散过剩光能为热的能力, 也就是光保护能力, 魏亚娟等^[21]对不同浓度植物生长调节剂作用下榆叶梅 (*Amygdalus triloba*) 叶绿素荧光参数的响应作出的研究表明低浓度 (100 mg/L) 的植物生长调节剂能够显著提高榆叶梅的叶片叶绿素含量以及叶绿素荧光参数, 但显著降低了非光



注: 图中不同小写字母表示处理之间差异性显著 ($P < 0.05$) Note: different letters mean significant difference ($P < 0.05$)

图 2 棘叶吴萸根系还原强度

Fig.2 Root reduction strength of *Evodia glabrifolia*



注：图中不同小写字母表示处理之间差异性显著 ($P < 0.05$) Note: different letters mean significant difference ($P < 0.05$)
图3 楝叶吴萸根系形态指标

Fig. 3 Index of root morphology of *Evodia glabrifolia*

表1 不同植物生长调节剂处理下楝叶吴萸各指标相关性分析

Table 1 Correlation analysis of *Evodia glabrifolia* with different plant growth regulators

指标 Index	Y (II)	ETR	NPQ	根系活力 Root vigor	长度 Length	表面积 Surface area	体积 Volume
ETR	0.997**						
NPQ	-0.088	-0.081					
根系活力 Root vigor	0.154	0.146	0.136				
长度 Length	-0.352	-0.335	-0.447*	-0.258			
表面积 Surface area	-0.257	-0.258	-0.414*	-0.216	0.917**		
体积 Volume	-0.030	-0.054	-0.285	-0.087	0.567**	0.846**	
平均直径 Mean diameter	-0.263	-0.250	-0.448*	0.023	0.799**	0.817**	0.616**

注：**表示极显著相关 ($P < 0.01$)；*表示显著相关 ($P < 0.05$)。

Note: The P value is the correlation test result, where * indicates $P < 0.05$, and ** indicates $P < 0.01$.

表 2 不同植物生长调节剂处理对楝叶吴萸生理影响的综合评价

Table 2 Comprehensive evaluation of physiological effects of different plant growth regulators on *Evodia glabrifolia*

生长调节剂 Growth regulator	处理浓度 / (mg · L ⁻¹) Treatment concentration	Y1	Y2	Y3	Y	排序 Rank
CK	0	-0.41	-0.90	0.57	-0.40	8
	50	0.59	0.26	-0.26	0.31	3
ABT-3	100	1.35	1.07	-0.67	0.86	2
	150	-0.55	-0.43	-0.39	-0.48	9
	50	0.07	1.27	2.42	0.96	1
IAA	100	-0.45	-0.03	0.09	-0.19	5
	150	0.60	-1.78	0.23	-0.33	7
	50	-1.85	-0.21	-0.19	-0.94	10
NAA	100	-0.69	1.30	-1.37	-0.10	4
	150	1.33	-0.55	-0.43	0.32	6

化学淬灭系数 (NPQ), 可能是施用的植物生长调节剂种类不同导致的。

植物是一个有机整体, 光合能力的高低会影响其自身的形态建成^[17, 27], 而自身的生长发育的差异又会影响到植物对光能的利用能力^[8, 18, 28]。NPQ和根系长度、根系表面积、根系体积、根系平均直径之间具有显著的负相关关系说明: 楝叶吴萸耗散过剩光能为热的能力可能会影响根系的形态发育, 其中的相互作用机制需要进一步进行探讨。对于根系指标而言, 3种植物生长调节剂的3个浓度均能够促进根系活力的升高, NAA和ABT-3对根系活力的促进效果优于IAA, 且均在100 mg/L时表现最佳。我们并未发现楝叶吴萸根系形态生长对植物生长调节剂的响应与根系还原强度之间的显著关联, 尽管在根系长度、根系表面积、根系体积、根系平均直径两两之间均存在极显著正相关关系。楝叶吴萸根系在植物生长调节剂作用下的生长是长度、面积、体积一同增长的结果。而IAA和ABT-3对根系长度, 根系表面积, 根系平均直径的促进效果要优于NAA, IAA和NAA在高浓度(150 mg/L)时对根系形态的建成有较好的促进作用, 而低浓度(50 mg/L)的NAA对楝叶吴萸根系形态有着负面作用。李欣欣等人^[29]对不同浓度的吲哚乙酸(IAA)、吲哚丁酸(IBA)及萘乙酸(NAA)处理下大豆(*Glycine max*)根系生长的响应作出了研究, 结果表明NAA和高浓度IAA抑制了主/侧根的伸长生长, 使根系发育

不良, 生物量下降。同样, 方建波等人^[30]的研究结果表明高浓度的NAA对根系生长产生了抑制作用, 总体来说对根系生长的促进效果不明显。

综合排序表明, 50 mg/L的IAA是最佳的处理, 能够显著增加楝叶吴萸的根系生长, 尤其是对根系还原强度有着较好的促进作用, 并能够促进楝叶吴萸对光能的利用能力和光保护能力, 促进植株的生长发育, 表明低浓度的植物生长调节剂能够更好的促进楝叶吴萸对光能的利用以及根系的生长发育。当IAA浓度过高时会抑制其对光能的利用能力和光保护能力, 所以选择合适的植物生长调节剂施用浓度极为重要。

参考文献

- [1] 张朝斌. 楝叶吴萸在彩色森林景观营造工程中的应用探讨[J]. 现代园艺, 2017(8): 138-139.
- [2] PENG W, XIONG M, LONG W, et al. Studies on the characteristics of naturally-regenerated communities of two types of plantation in Jianfengling, Hainan[J]. Forest Research, 2015, 28(5): 739-743.
- [3] 黄章平, 汪迎利, 邱智雄, 等. 马尾松林分间伐套种质量提升研究[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(4): 110-114.
- [4] 庄雪影, 洪文君, 黄川腾, 等. 11种乡土阔叶树在广州南沙的早期生长表现[J]. 林业科技开发, 2012, 26(5): 17-21.
- [5] 王文文, 曹雪琴, 杨中, 等. 植物生长调节剂在果树中的应用现状及残留分析方法研究进展[J]. 现代农业科技,

- 2017(12) : 129-131.
- [6] 魏赫, 王莹, 金红宇, 等. 植物生长调节剂研究进展及其在中药种植中使用和检测[J]. 中国药学杂志, 2016, 51(2) : 81-85.
- [7] RADEMACHER W. Plant growth regulators: Backgrounds and uses in plant production[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2015, 34(4) : 845-872.
- [8] KRISHNA A, KUMAR V, SREEDHRA K, et al. Influence of insect attractants, micronutrients and growth regulators on growth and seed yield in lucerne (*Medicago sativa*) [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2013, 83(7) : 796-800.
- [9] 冷梅. 不同植物生长调节剂处理对刺槐种子萌发的影响[J]. 防护林科技, 2019(2) : 41-43.
- [10] 屈成, 杨漫, 刘芬, 等. 不同植物生长调节剂对水稻种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 种子, 2018, 37(11) : 46-50.
- [11] 尹新彦, 张鑫, 储博彦, 等. 植物生长调节剂对大花萱草分蘖能力的影响[J]. 天津农业科学, 2019, 25(1) : 39-42.
- [12] 王栋梁, 程平, 张志刚, 等. 春季喷施植物生长调节剂对杏树花期物候及坐果的影响[J]. 西北农业学报, 2019, 28(3) : 10.
- [13] 蒋娟娟, 黄丽君, 赵静, 等. 几种植物生长调节剂对蛋黄果花期控梢效果的研究[J]. 中国热带农业, 2019(1) : 43-45.
- [14] Jeong J H. Effects of pinching and growth regulators on growth and flowering of *Sedum rotundifolium*[J]. Journal of the Korean Society for Horticultural Science, 2000, 41(1) : 105-108.
- [15] 高华君, 孙山. 植物生长调节剂促进甜樱桃坐果研究进展[J]. 山东农业科学, 2019, 51(1) : 147-153.
- [16] Solov'Ev S V, Geras'Kin A I. The Effect of plant growth regulators on the productivity of sugar beet[J]. Agrokhiimiya, 2012(4) : 43-50.
- [17] 李先恩, 张晓阳. 植物生长调节剂对丹参药材产量和品质的影响[J]. 中国中药杂志, 2014, 39(11) : 1992-1994.
- [18] 傅华龙, HE TJ, 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.
- [19] 刘昆成. 三种植物生长调节剂对格木幼苗生长及生理特性的影响[D]. 南宁: 广西大学, 2013.
- [20] 李乐兴, 李庭海, 王艳枝, 等. 4种华南乡土植物幼苗光合特性比较[J]. 福建林业科技, 2016, 43(2) : 62-65.
- [21] 魏亚娟, 刘宗奇, 汪季, 等. 植物生长调节剂对榆叶梅生长及叶绿素荧光参数的调控效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2019, 47(3) : 94-102.
- [22] 马兰. 吲哚乙酸(IAA)作用下周丛生物响应及其对水体中氮磷的去除效果[D]. 南京: 南京林业大学, 2018.
- [23] 姜颖, 赵越, 孙全军, 等. 植物生长调节剂在植物生长发育中的应用[J]. 黑龙江科学, 2018, 9(24) : 4-7.
- [24] JIANG K, ASAMI T. Chemical regulators of plant hormones and their applications in basic research and agriculture[J]. Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 2018, 82(8) : 1265-1300.
- [25] ABBAS S M, EL-SAEID H M. Effects of some growth regulators on oil yield, growth and hormonal content of lemon grass (*Cymbopogon citrates*) [J]. Botanica Serbica, 2012, 36(2) : 97-101.
- [26] KOLMYKOVA T S, LUKATKIN A S. Efficiency of plant growth regulators under abiotic stresses[J]. Agrokhiimiya, 2012(1) : 83-94.
- [27] 杨休成, 杨克军. 植物生长调节剂对玉米生长和生理活动影响的研究进展[J]. 天津农业科学, 2017, 23(12) : 88-90.
- [28] 胡跃, 余跃辉, 刘卫国, 等. 弱光对不同耐荫大豆苗期根系以及光合特性的影响[J]. 四川农业大学学报, 2018, 36(2) : 145-151.
- [29] 李欣欣, 赵静, 廖红. 吲哚乙酸、吲哚丁酸和萘乙酸对大豆幼根生长的影响[J]. 植物生理学报, 2013, 49(6) : 573-578.
- [30] 方建波, 窦宁, 张亨, 等. 3种植物生长调节剂对火力楠根系形态建成的影响[J]. 林业与环境科学, 2017, 33(5) : 56-61.