

4种复合型植物生长调节剂对望天树苗木 生长生理的影响^{*}

邓福春¹ 宋子琪^{2, 3} 包 晗¹ 李 婷¹ 杨 梅²

(1. 广西壮族自治区南宁良凤江国家森林公园, 广西 南宁 530004; 2. 广西大学林学院 / 广西高校亚热带人工林培育与利用
重点实验室, 广西 南宁 530004; 3. 广西壮族自治区林业科学研究院, 广西 南宁 530004)

摘要 为探讨不同植物生长调节剂对望天树 *Parashorea chinensis* 苗木生长及生理特性的影响, 以 1 a 生望天树实生苗为研究对象, 研究复合型植物生长调节剂(植富、喜硕、B-1、ABT1 号)对苗木生长及其内源激素、叶绿素、抗氧化酶活性的影响。结果表明 4 种植物生长调节剂在对于望天树苗木生长生理各项指标上具有一定影响。其中, ABT1 号生长调节剂对于望天树苗木苗高、地径、生物量积累、叶绿素增长具有显著促进作用, 且对苗木 MDA 含量表现出较高的抑制效果; B-1 生长调节剂显著促进苗木内源激素 GA₃、IAA、ZR、ABA 含量, 并提高 SOD 酶活性; 植富生长调节剂则可有效提高苗木叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素含量。在望天树育苗管理上, 可根据苗木生长需求, 使用 ABT1 号、B-1、植富生长调节剂来调控苗木生长质量, 从而提高苗木品质及其抗逆能力。

关键词 望天树; 植物生长调节剂; 苗木生长; 生理

中图分类号: S723.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2023) 03-0080-08

Effects of Four Complexed Plant Growth Regulators on the Growth and Physiology of the Seedlings of *Parashorea chinensis*

DENG Fuchun¹ SONG Ziqi^{2,3} BAO Han¹ LI Ting¹ YANG Mei²

(1. Guangxi Nanning Liangfengjiang National Forest Park, Nanning, Guangxi 530004, China; 2. College of Forestry, Guangxi University/Guangxi University Key Laboratory of Cultivation and Utilization of Subtropical Plantation, Nanning, Guangxi 530004, China; 3. Guangxi Academy of Forestry Sciences, Nanning, Guangxi 530004, China)

Abstract To explore the effects of different plant growth regulators on the growth and physiological characteristics of the seedlings of *Parashorea chinensis*. Taking the annual seedling of *P. chinensis* as the research object, to study the effects of compound plant growth regulators(ZF, XS, B-1, ABT1) on the growth of seedlings and the activities of endogenous hormones, chlorophyll and antioxidant enzymes. The results showed that there are four kinds of plant growth regulators that had certain effects on the growth physiological indexes of the seedlings of *P. chinensis*. Among them, the ABT1 growth regulator significantly promoted the growth of seedling height, ground diameter, biomass accumulation and chlorophyll, and showed a high inhibitory effect on the content of MDA in the seedlings. B-1 growth regulator significantly promoted the contents of endogenous hormones GA₃, IAA, ZR and ABA, and increased the activity of SOD. ZF growth regulator can effectively increase the content of chlorophyll a, chlorophyll b and total chlorophyll of seedlings. In the management of

^{*} 基金项目: 广西壮族自治区林业局(桂林科研[2022ZC]第77号)。

第一作者: 邓福春(1970—), 男, 高级工程师, 从事森林资源培育与林业经营管理, E-mail: SMYdengfuchun@163.com。

通信作者: 杨梅(1971—), 女, 教授, 主要从事林木种苗培育理论与技术研究, E-mail: fyangmei@126.com。

seedlings of *P. chinensis*, according to the growing needs of seedlings, growth regulators ABT1, B-1 and ZF can be used to regulate the growth quality of the seedlings according to the growing demand of the seedlings, so as to improve the quality and stress resistance of the seedlings.

Key words *Parashorea chinensis*; plant growth regulator; seedling growth; physiology

望天树 *Parashorea chinensis* 为龙脑香科柳安属高大乔木, 属于我国国家一级保护植物^[1]。因其树干笔直饱满、出材率高且材性优良, 多用于制作高档家具、胶合板、工业木料等, 具有较高的经济应用价值^[2]。望天树由于结实稀少、生长周期长、落果严重且种子易腐烂等自然原因^[3], 以及人类活动频繁、大面积的过度开发等人为原因, 扰乱望天树自然更新, 使得其天然群落受到严重破坏后逐渐减少^[4-5]。因此, 提高望天树苗木生长质量, 增强其苗木抗逆性, 对于提高望天树造林成活率及人工林质量具有重要意义。

植物生长调节剂主要通过促进其体内内源激素的合成, 使植物体内酶活性得以调控, 促进植物细胞分裂、分化, 促进植物根系分裂、生长和分化、植物发芽、开花、结果等, 从而达到提高植物生长质量及抗逆性目的, 对植物的生长发育具有重要作用^[6-7]。不同生长调节剂其有效成分及作用部位、时期、机理不同, 而对植物生长的作用效果不尽相同^[8-9]。研究发现, 外源赤霉素能促进油茶 *Camellia oleifera* 新生叶片的生长, 但对油茶叶片厚度的影响均不显著; 而多效唑则能显著增强叶片增厚^[10]; 萘乙酸可诱导植物嫩芽的伸长和生根^[11]; 在三唑类植物生长调节剂、3-吲哚乙酸和多效唑配比使用, 可使水杉 *Metasequoia glyptostroboides* 幼苗抗逆性达到最强^[12]; 部分植物生长调节剂可通过矮化幼苗达到壮苗效果^[13-14]; 一定浓度的水杨酸和吲哚丁酸有利于提高植物幼苗

生长抗逆能力^[15-16]。目前, 生产上多用复合型生长调节剂产品提高苗木培育质量, 需要针对不同植物的作用效果选择合适的生长促进剂种类。

由于人工培育濒危树种望天树的时间不长, 苗木培育技术尚不成熟, 而且望天树造林常采用 2 a 生以上的苗木。为了在造林前提高苗木质量, 本研究拟采用 4 种复合型植物生长调节剂 (植富、喜硕、B-1、ABT1 号) 处理 1 a 生望天树幼苗, 以期得到有效促进望天树苗木生长及提高抗逆性的生长调节剂类型, 为望天树壮苗培育及人工栽培提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验样地概况

试验样地位于广西壮族自治区南宁市良凤江国家森林公园育苗基地, 地理坐标为 22°43'12.42"N, 108°17'16.03"E。属亚热带季风气候, 日照强烈, 热量充足, 雨量充沛, 气候干湿季节分明, 年均气温 21~22 ℃, 年均降雨量 1 304.2 mm, 平均相对湿度维持在 80% 左右。

1.2 试验材料

选取长势一致、无病虫害的 1 a 生望天树实生苗作为研究对象, 平均苗高 14.6 cm, 平均地径 2.5 mm。以 15 cm × 10 cm 规格育苗袋作为栽培容器, 以黄心土、珍珠岩混合土作为育苗基质 (质量比为 3 : 1)。

试验选取 4 种生长调节剂, 主要信息如下表。

表 1 4 种植物生长调节剂主要信息

Tab.1 Main information of four plant growth regulators

植物生长调节剂 Plant growth regulator	主要有效成分 Major active ingredient	主导功能 Leading function
复合型生长调节剂植富 (ZF)	IAA 5%、IBA 3%	调节细胞分化, 促进苗木生根发芽、生长发育
复合型生长调节剂喜硕 (XS)	IAA 3.5%、IBA 1.5%	保证生长养分, 促进根部生长, 诱导增强病虫害抗逆性
生根壮苗剂 B-1 (B-1)	全氮 1.5%、铵态氮 1.5%、水溶性氧化钾 1.5%	增强植物活力, 促进生长发育
生根剂 ABT1 (ABT1 号)	IAA 30%、NAA 20%、IBA 10%	促进苗木生长, 增强植株抗逆性

1.3 试验设计

采用随机区组设计, 设置4个生长调节剂处理(表2), 以及清水对照处理。每个处理3个重复, 每个重复5株苗木。分别于2016年4月1日、6月15日每株定量60 ml 浇于根部。

试验开始于2016年4月1日, 于遮光15%的塑料荫棚内进行, 期间分别于8:00、13:00、18:00时采用自动喷灌设备喷灌, 每次时间为3 min, 定期人工除草。

表2 试验处理浓度设置

Table 2 Test concentration setting

处理号 Processing number	生长调节剂浓度设置 Growth accelerator concentration setting
CK	清水对照
ZF	稀释1000倍
XS	稀释1100倍
B-1	稀释500倍
ABT1号	稀释75倍

1.4 指标测定

试验期间分别于4月1日、5月15日、7月1日、8月15日、10月1日进行生长指标测定, 卷尺测定苗高、游标卡尺测定地径; 于2016年10月1日试验处理结束后, 采用平均木法抽取每个处理下的3株苗木测定生物量; 从每个处理5个重复中选取2株苗木平均株, 采集从顶梢向下的第三轮健康叶片, 测定生理指标。采用分

光光度法进行叶绿素含量的测定^[17]; 采用酶联免疫吸附试验法^[18]测定植株脱落酸(ABA)、赤霉素(GA₃)、生长素(IAA)、玉米素(ZR)等4种内源激素的含量; 丙二醛(MDA)含量采用硫代巴比妥酸法测定; 超氧化物歧化酶(SOD)活性采用氮蓝四唑光还原法测定; 过氧化物酶(POD)活性采用愈创木酚比色法测定^[19]; 过氧化氢酶(CAT)活性采用紫外分光法测定^[20]。

1.5 数据分析

使用Microsoft Excel、SPSS27软件对试验数据进行统计分析, 采用方差分析、Duncan新复极差法对不同生长调节剂处理下望天树幼苗的生长生理指标进行差异显著性检验。

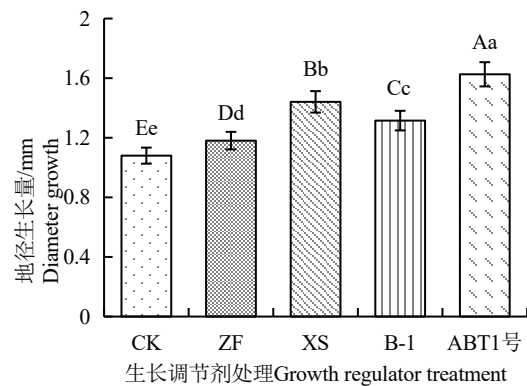
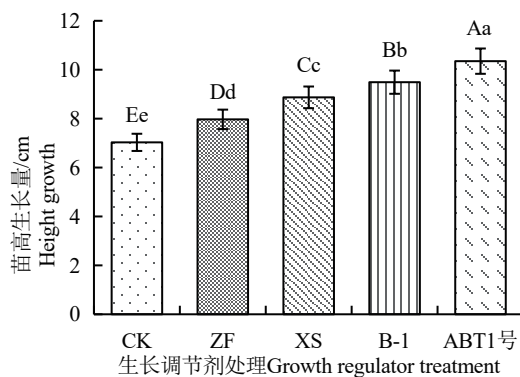
2 结果与分析

2.1 4种植物生长调节剂对望天树生长指标的影响

4种生长调节剂对望天树苗木生长的影响如图1所示。由图1可知, 不同生长调节剂对望天树苗木苗高、地径影响差异显著。望天树苗木苗高生长量变化为ABT1号>B-1>XS>ZF>CK, 地径生长量变化依次为ABT1号>XS>B-1>ZF>CK, ABT1号生长调节剂处理下的苗高、地径生长量最大, 分别达到10.35 cm、1.63 mm, 较CK对照提高了47%左右, 也极显著高于其他3种生长调节剂。

2.2 4种植物生长调节剂对望天树苗木生物量的影响

4种生长调节剂对望天树苗木生物量的影响

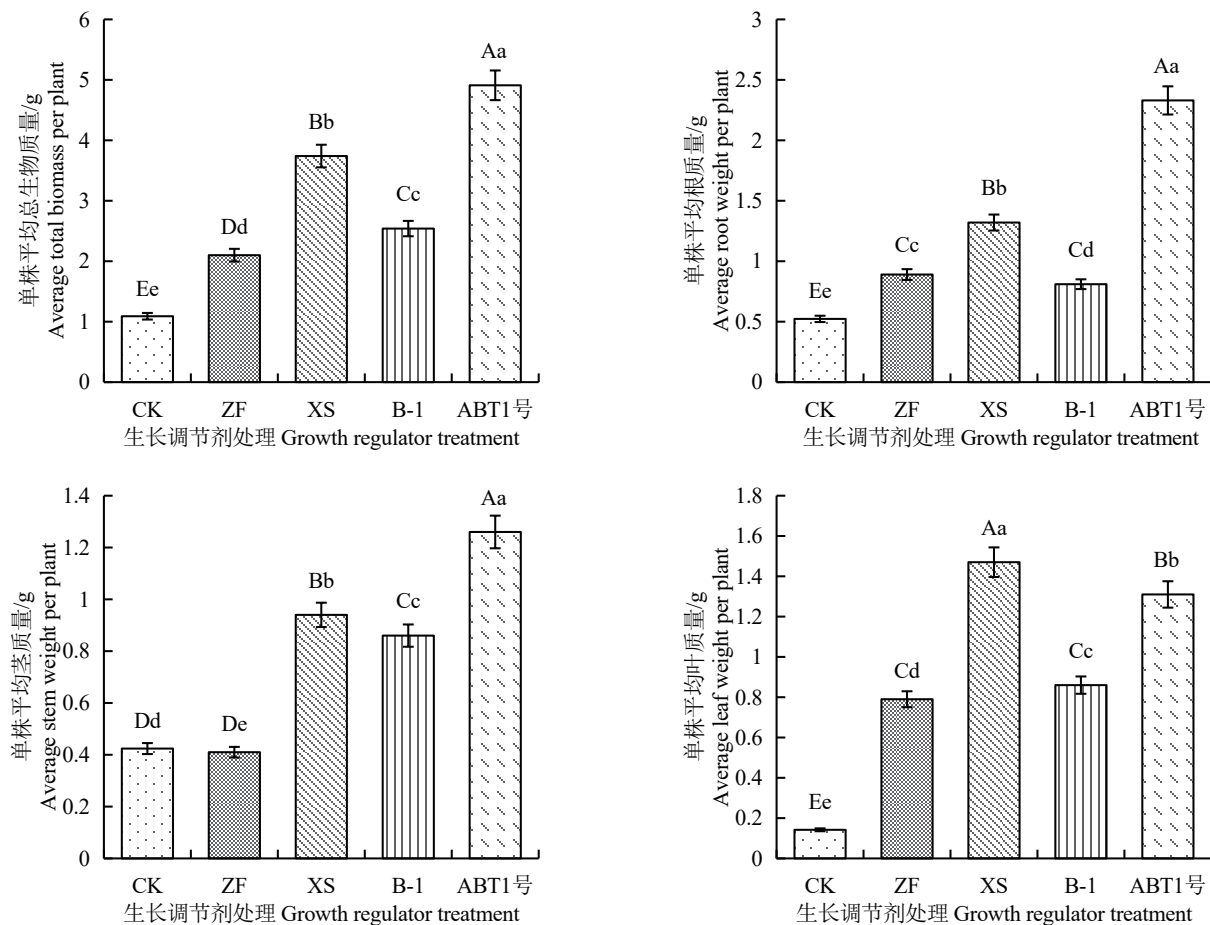


注: 图中不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平差异显著, 不同大写字母表示 $P<0.01$ 水平差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate the significant difference at the $P<0.05$ level, and different uppercase letters indicate the significant difference at the $P<0.01$ level.

图1 4种植物生长调节剂处理下1 a生苗木苗高、地径生长量

Fig.1 Height growth and ground diameter of 1 a seedlings treated with four plant growth regulators



注: 图中不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平上差异显著, 不同大写字母表示 $P<0.01$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate the significant difference at the $P<0.05$ level, and different uppercase letters indicate the significant difference at the $P<0.01$ level.

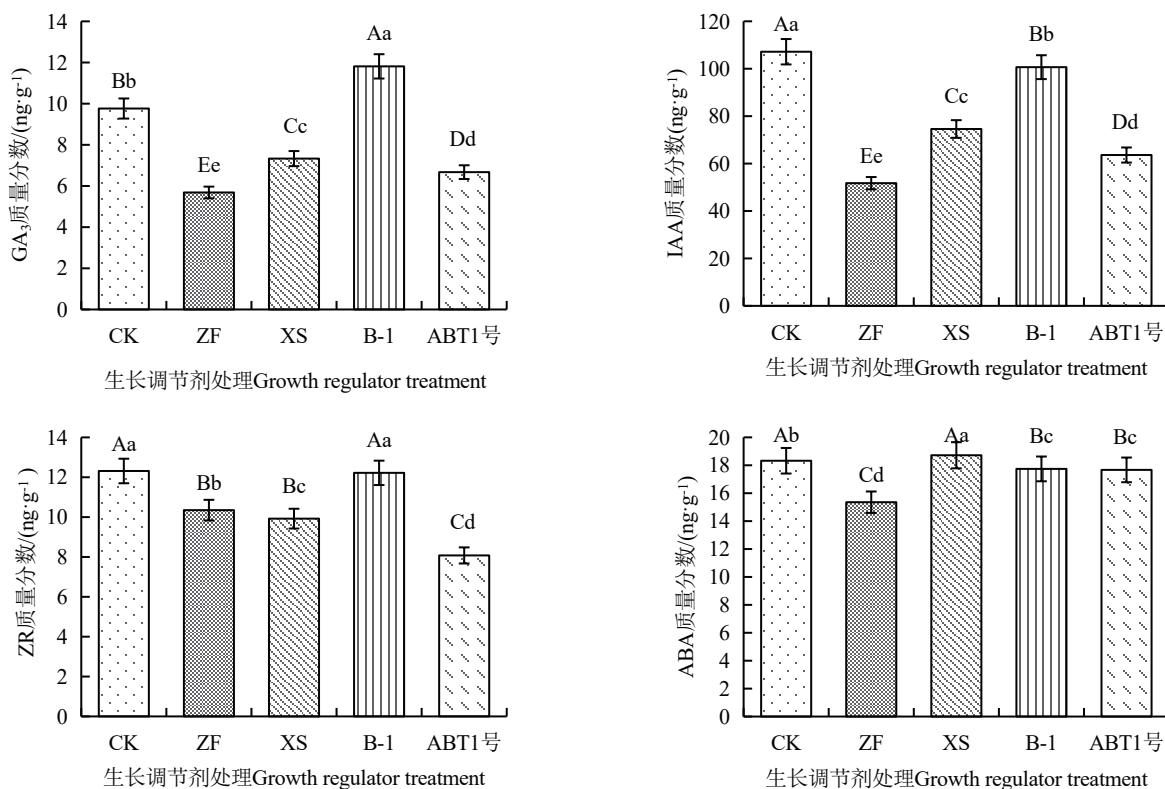
图 2 4 种植物生长调节剂处理下 1 a 生苗木平均生物量
Fig.2 Average biomass of 1 a seedlings treated with four plant growth regulators

如图 2 所示。图 2 表明, 4 种复合生长调节剂对苗木总生物量的影响具有显著差异, 且均显著高于对照处理。望天树苗木单株平均总生物量大小顺序依次为 ABT1 号、XS、B-1、ZF、CK, 其中 ABT1 号生长调节剂处理下望天树苗木生物量达 4.91 g, 高出 CK 350%, 且显著高于其余 3 种生长调节剂。生长调节剂处理下望天树苗木根部质量顺序与总生物量相似, 其中 ABT1 号处理下单株平均根质量显著高于 XS、ZF、B-1 及 CK 处理。ABT1 号处理下望天树苗木单株平均茎质量同样高于其余 3 种处理及 CK, 是 CK 处理的 300%。4 种生长调节剂处理下苗木促进叶质量积累效果最佳的是 XS 调节剂, 其次是 ABT1 号, 两种调节剂处理效果约是 CK 的 936%~1 050%。表明 ABT1 号、

XS 生长调节剂对于望天树苗木生长发育、生物量积累具有较好的促进效果。

2.3 4 种植物生长调节剂对望天树苗木叶片内源激素含量的影响

4 种植物生长调节剂对望天树苗木叶片各种内源激素含量的影响不尽相同。如图 3 所示, 望天树苗木叶片 GA_3 含量顺序依次为 B-1、CK、XS、ABT1 号、ZF, 仅 B-1 处理下望天树苗木 GA_3 含量显著高于 CK ($P<0.05$), 提高了 20.99%, 表明 B-1 有利于望天树苗木体内 GA_3 的合成。各生长调节剂处理下叶片 IAA 含量均极显著低于 CK, 叶片其含量大小排序为 CK、B-1、XS、ABT1 号、ZF。B-1 处理下的叶片 ZR 含量与 CK 无显著差异, 显著高于其余 3 种处理 18.08%~51.31%



注：图中不同小写字母表示 $P < 0.05$ 水平上差异显著，不同大写字母表示 $P < 0.01$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate the significant difference at the $P < 0.05$ level, and different uppercase letters indicate the significant difference at the $P < 0.01$ level.

图 3 4 种植物生长调节剂处理下 1 a 生苗木内源激素含量

Fig.3 Endogenous hormone content of 1 a seedlings treated with four plant growth regulators

($P < 0.05$)。各处理间叶片 ABA 含量整体差异较小，其中 XS 处理下叶片 ABA 含量最高，与 CK 无显著差异，高于 B-1、ABT1 号处理的 5.51% 左右，而 ZF 处理的 ABA 含量最低。综合来看，B-1 生长调节剂对望天树苗木叶片内源激素含量的促进效果最好，而 ZF 的效果最差。

2.4 4 种植物生长调节剂对望天树苗木叶绿素含量的影响

4 种植物生长调节剂对望天树苗木叶绿素含量的影响如图 4-5 所示，发现其叶绿素含量均高于 CK。4 种植物生长调节剂处理下望天树苗木叶绿素 a 含量最高的是 ZF 生长调节剂，极显著高于其他 3 种生长调节剂及 CK ($P < 0.01$)，较 CK 提高了 32.64%；XS 生长调节剂处理下望天树苗木叶绿素 a 含量则与 CK 处理下无显著差异。叶绿素 b 含量的数值大小依次表现为 ZF、ABT1 号、B-1、XS、CK，且 ZF 生长调节剂处理下叶绿素 b 含量显著高于其他 3 种生长调节剂及 CK 处理

5.76%~85.64% ($P < 0.05$)。总叶绿素含量的变化趋势与叶绿素 a、叶绿素 b 基本一致，从大到小依次排列为：ZF、ABT1 号、B-1、XS、CK；ZF 生长调节剂处理下望天树苗木总叶绿素含量同样极显著大于其他处理及 CK，是 CK 的 147.39%。综合结果发现，4 种植物生长调节剂处理下望天树苗木

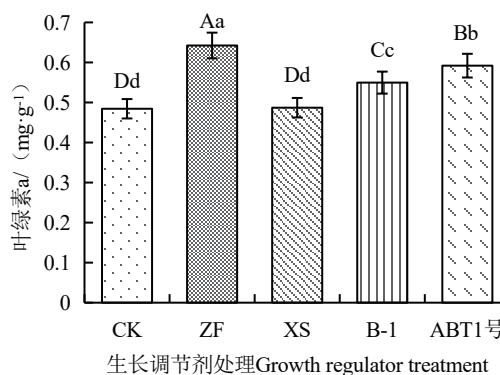
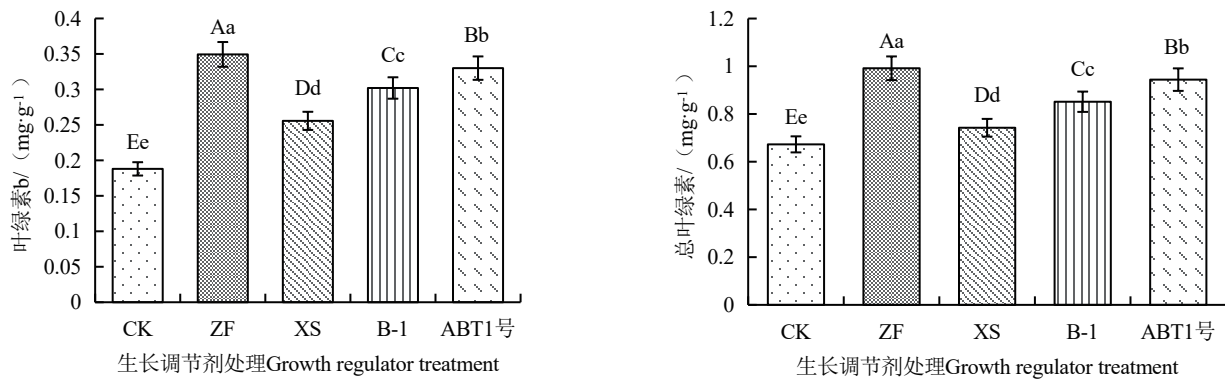


图 4 4 种植物生长调节剂处理下 1 a 生苗木叶绿素含量
Fig.4 Chlorophyll content of 1 a seedlings under four growth-promoting treatments



注: 图中不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平上差异显著, 不同大写字母表示 $P<0.01$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate the significant difference at the $P<0.05$ level, and different uppercase letters indicate the significant difference at the $P<0.01$ level.

图 5 4 种植物生长调节剂处理下 1 a 生苗木叶绿素含量

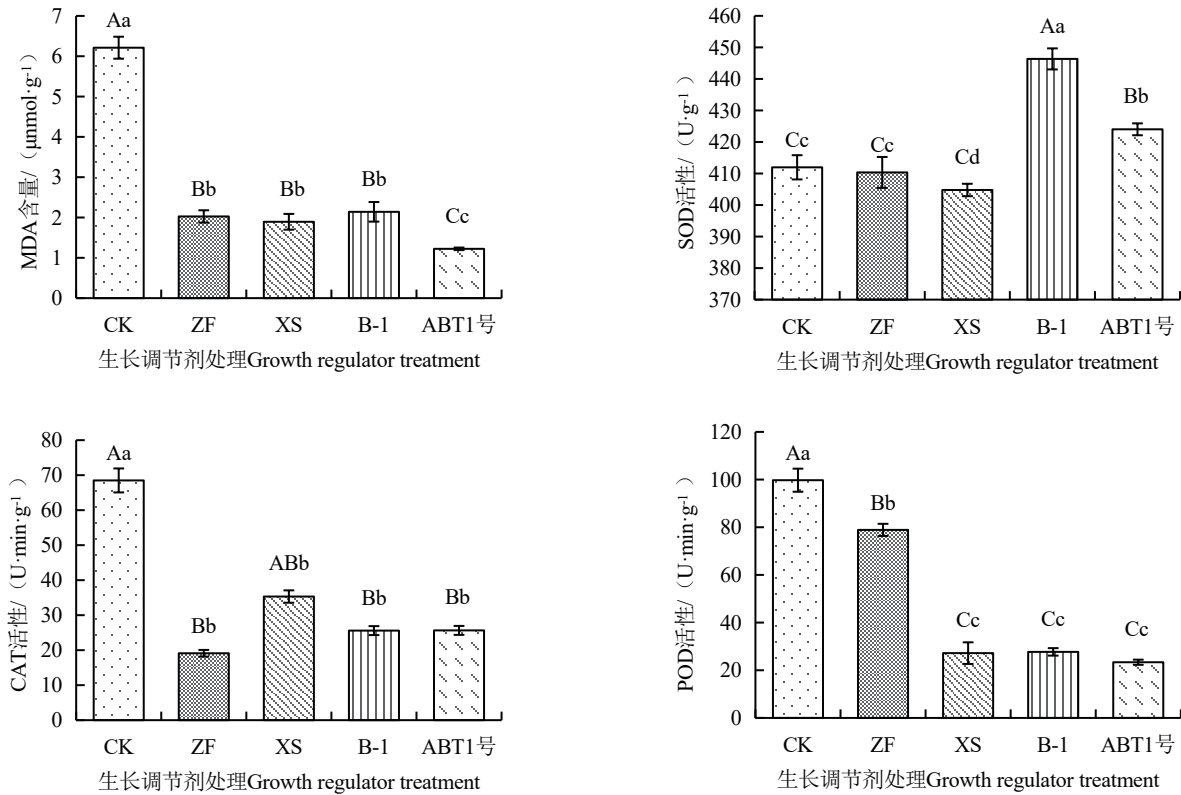
Fig.5 Chlorophyll content of 1 a seedlings under four growth-promoting treatments

叶绿素含量均有一定提高, 其中 ZF 生长调节剂处理下效果最为明显。

2.5 4 种植物生长调节剂对望天树苗木抗氧化酶

系统的影响

4 种植物生长调节剂对望天树苗木抗氧化酶活性的影响如图 6 所示, 不同抗氧化酶酶活性对



注: 图中不同小写字母表示 $P<0.05$ 水平上差异显著, 不同大写字母表示 $P<0.01$ 水平上差异显著。

Note: Different lowercase letters indicate the significant difference at the $P<0.05$ level, and different uppercase letters indicate the significant difference at the $P<0.01$ level.

图 6 4 种植物生长调节剂处理下 1 a 生苗木抗氧化酶活性

Fig.6 Activity of antioxidant enzymes in 1 a seedlings treated with four plant growth regulators

于不同处理的反应差异较大。4种植物生长调节剂下望天树苗木MDA酶含量均极显著低于CK ($P<0.01$)；其中ABT1号处理极显著低于其余3种生长调节剂处理组，是CK的19.66%，ZF、XS及B-1间则无显著差异。SOD酶活性的变化趋势则为：B-1>ABT1号>CK>ZF>XS；B-1生长调节剂处理下望天树苗木SOD酶活性极显著高于其他处理和CK，而ZF、XS生长调节剂处理下SOD酶活性则与CK无显著差异。CAT酶活性显著低于CK处理；其中除XS生长调节剂处理下苗木CAT酶活性相对较高，其余各处理组的望天树苗木CAT酶活性无显著差异。POD酶活性从高到低依次为：CK、ZF、B-1、XS、ABT1号；CK处理极显著的高于4种处理组，XS、B-1、ABT1号生长调节剂处理则无显著差异。综合发现，除B-1生长调节剂处理下望天树苗木SOD酶活性显著高于CK以及有效降低MDA酶含量外，生长调节剂处理在针对苗木CAT、POD抗氧化酶活性增加上，并未表现出较好效果。

3 结论与讨论

苗高、地径增长量、苗木生物量积累能直观反映苗木生长情况，施放适宜浓度的单一或组合外源植物生长调节剂可促进苗木生长发育。如植物生长调节剂可显著提高红海榄 *Rhizophora stylosa* 幼苗株高生长量^[21]，水杨酸(SA)、吲哚丁酸(IBA)均可显著促进山椒子 *Uvaria grandiflora* 幼苗苗高、地径生长^[15] 外源吲哚乙酸(IAA)可有效促进桃树 *Amygdalus persica*、栝楼 *Trichosanthes kirilowii* 的枝干及根系生长^[22-23]。本研究采用的复合型植物生长调节剂均促进了望天树苗木生长，其中ABT1号生长调节剂效果最为明显，这可能与IAA、IBA含量较高有关。

植物内源激素是植物生长过程中重要的调控成分，GA₃可调控植物细胞增长，促进植物维管束分化及茎叶的伸长^[24]；IAA在植物内的生理作用是促进植物叶片扩大，维持植物顶端优势等^[25]；ZR具有促进植物细胞分裂，加快体内营养物质流动，延缓植物衰老的作用^[26]；ABA在植物受到环境胁迫时，可诱导植物抗性酶的合成从而提高植物抗性。有研究表明，氮元素可以促进油松 *Pinus tabulaeformis*、苹果 *Malus pumila* 幼苗幼树的内源激素显著增加 ($P<0.05$)^[27-28]。B-1生长调

节剂处理组下望天树的GA₃、IAA、ZR、ABA含量显著提高，从而促进望天树叶片的伸长及扩大，这可能与B-1生长调节剂中含有较高氮元素有关，

植物光合作用是通过叶绿素来捕捉光能进行能量的转化，植物叶片中叶绿素含量的高低可反映植物叶片光合作用与植物生长发育^[29]。一定浓度下的IAA可有效提高枇杷 *Eriobotrya japonica*、栝楼、山椒子幼苗体内叶绿素含量，促进植物光合作用，高质量浓度则表现出抑制效果^[15,23,30]。植富生长调节剂含有效的5%IAA、3%IBA，能明显促进望天树叶片叶绿素a、叶绿素b的合成，利于望天树苗木的光合作用，而IAA、IBA在喜硕生长调节剂中浓度较低，ABT1号中浓度较高，不利于叶绿素的合成与积累。

植物的抗氧化系统可提高植物对不良环境的抗逆能力，MDA是植物膜脂过氧化的产物，细胞内MDA含量高低是衡量植物受胁迫程度的重要指标^[31-32]，抗氧化酶系统则是清除体内活性氧的重要手段^[32-33]。生长调节剂种类、浓度对不同植物的作用有所不同，如适宜浓度的NAA可有效提高胡枝子 *Lespedeza bicolor* 幼苗抗氧化酶活性，缓解胁迫条件下其的伤害^[34]；IBA可以提高椰子 *Cocos nucifera* 幼苗的SOD、CAT和APX3种酶活性，降低胁迫植株中MDA含量，但对POD的活性影响较小。本研究中，ABT1号生长调节剂极显著减少了望天树苗木MDA含量，可能是ABT1号生长调节剂中较高含量的IAA、IBA、NAA，促进了望天树苗木生理生化活动，有助于提高望天树苗木的抗逆能力。

4种复合型植物生长调节剂对望天树苗木生长的影响程度不同。ABT1号生长调节剂对于望天树苗木苗高地径的增长、生物量积累具有显著促进作用；B-1生长调节剂在针对苗木内源激素GA₃、IAA、ZR、ABA含量提高上，表现出显著促进效果；植富(ZF)生长调节剂则可有效提高苗木叶绿素a、叶绿素b及总叶绿素含量；针对望天树苗木抗氧化酶系统，ABT1号生长调节剂对苗木MDA含量表现出较高的抑制效果，B-1生长调节剂则显著提高SOD活性。因此在望天树苗木栽培管理上，可根据苗木生长需求，使用ABT1号、B-1、植富生长调节剂来调控苗木生长质量，从而提高苗木品质及其抗逆能力，ABT1号的总体效果最好。

本试验研究中, 主要对4种复合型植物生长调节剂进行了单因素试验研究, 后续可进一步扩大生长调节剂种类、比例及组合试验, 并与施肥等措施相结合, 评价对苗木生长的影响效果, 优化望天树育苗技术, 提高壮苗产出率。

参考文献

- [1] 国家环境保护局等.中国珍稀濒危保护植物名录-第1册[M].北京:科学出版社,1987.
- [2] 赵序茅,陈建伟.望天树[J].森林与人类,2015(7):112-113.
- [3] 闫兴富,曹敏.热带雨林濒危树种望天树的致危原因及保护策略[J].福建林业科技,2008,35(1):187-191.
- [4] 许海龙,郭贤明,宋军平,等.望天树自然更新与保护初探[J].林业调查规划,2006,31(4):13-15.
- [5] 田湘,李万年,包晗,等.不同生根剂对望天树苗木生长及根系形态的促进效果研究[J].江西农业学报,2022,34(3):163-171.
- [6] 樊萍.植物生长调节剂的应用现状及前景[J].科技创新与应用,2016(35):292.
- [7] 张义,刘云利,刘子森,等.植物生长调节剂的研究及应用进展[J].水生生物学报,2021,45(3):700-708.
- [8] 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):4-7,11.
- [9] 赵丽梅,彭宝,孙寰,等.化控剂在杂交大豆制种中的应用[J].大豆科学,2011,30(5):777-780,785.
- [10] 陈显,孙颖,李建安.赤霉素和多效唑对油茶幼株生长的影响[J].经济林研究,2013,31(2):86-90.
- [11] 冯璐.植物生长物质对新品种马铃薯试管苗生长及微型薯诱导的影响[D].晋中:山西农业大学,2017.
- [12] 许烈奇.植物生长调节剂对水杉幼苗生长的影响[J].现代园艺,2023,46(2):31-32.
- [13] 何兴佳,曾双,袁丽伟,等.不同浓度外源激素浸种对西葫芦种子萌发及幼苗生长的影响[J].北方园艺,2018(21):6-12.
- [14] 程艳,吴春燕,王娜,等.矮壮素基质浇灌法对番茄幼苗生长及理化指标的影响[J].东北农业科学,2018,43(6):40-43.
- [15] 宋子琪,邓荣艳,杨梅,等.水杨酸和吡啶丁酸对冬季山椒子幼苗生长及抗逆生理的影响[J].经济林研究,2021,39(2):148-154.
- [16] 文庆利,陈亚菲,张亚男,等.水杨酸对茉莉生长及其部分生理指标的影响[J].安徽农业科学,2016,44(15):42-43,47.
- [17] 胡秉芬,黄华梨,季元祖,等.分光光度法测定叶绿素含量的提取液的适宜浓度[J].草业科学,2018,35(8):1965-1974.
- [18] 张志良等.植物生理学实验指导[M].北京:高等教育出版社,2009.
- [19] 李浩铭.不同光照强度和基质对伯乐树幼苗生长及相关生理指标的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2021.
- [20] 郭盈添,范琨,白果,等.金露梅幼苗对高温胁迫的生理生化响应[J].西北植物学报,2014,34(9):1815-1820.
- [21] 贾湘璐,刘秀,欧阳子龙,等.生长调节剂对红海榄幼苗生长及营养物质的影响[J].广西林业科学,2022,51(5):663-669.
- [22] 樊永信.IAA/GA₃介导UV-B调控设施桃树生长和光合能力的生理机理[D].泰安:山东农业大学,2022.
- [23] 张婷婷,朱叶心怡,吴玉环,等.镉胁迫下外源IAA对栝楼生理变化和耐镉性的影响[J].水土保持学报,2019,33(4):335-341.
- [24] 魏晓琼,贾文飞,马靖恒,等.植物生长调节剂对植株生长发育的影响概述[J].北方园艺,2022(4):118-125.
- [25] 黄锦荣,邓春亮,朱昔娇,等.植物生长调节剂对五指毛桃扦插生长的影响[J].林业与环境科学,2021,37(2):70-75.
- [26] 王艳芳,崔震海,阮燕晔,等.不同类型春玉米灌浆期间籽粒中内源激素IAA、GA、ZR、ABA含量的变化[J].植物生理学通讯,2006(2):225-228.
- [27] 陈克利.氮添加对油松和辽东栎幼苗次生代谢过程的影响[D].咸阳:西北农林科技大学,2019.
- [28] 葛顺峰,周乐,李红娜,等.土壤C/N对苹果植株生长及氮素利用的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(7):795-800.
- [29] 刘红杰,葛君,倪永静,等.不同植物生长调节剂对小麦生长发育及产量的影响[J].内蒙古农业科技,2015,43(4):29-33.
- [30] 江旭升,杨勇胜,李庆宏,等.IAA对铅胁迫下枇杷砧木幼苗生理特性的影响[J].现代园艺,2022,45(13):10-12.
- [31] 关雪莲,张宇,马清水,等.4种常绿阔叶植物越冬期间叶片组织POD、SOD活性和MDA含量的变化[J].安徽农业科学,2007(15):4422-4423.
- [32] 刘柿良,马明东,潘远智,等.不同光强对两种桉木幼苗光合特性和抗氧化系统的影响[J].植物生态学报,2012,36(10):1062-1074.
- [33] 王琰,陈建文,狄晓艳.水分胁迫下不同油松种源SOD、POD、MDA及可溶性蛋白比较研究[J].生态环境学报,2011,20(10):1449-1453.
- [34] 焦中夏.植物生长调节剂对胡枝子苗期抗旱性的影响[D].北京:北京林业大学,2016.