

网络出版时间:2022-07-27 16:35

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2023.02.008

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20220727.1237.005.html

云南松苗木生长对 GA_3 和壳寡糖浸种及缓释肥的响应

张合瑶,李莲芳,刘 嫻,李小军,顾 梦,周冬梅

(西南林业大学 林学院,云南 昆明 650224)

【摘 要】【目的】了解赤霉素(gibberellin, GA_3)和壳寡糖(chitosan oligosaccharide, COS)溶液浸种结合基质施缓释肥的组合对云南松苗木生长及其针叶光合色素含量的影响,为短期内培育无蹲苗期壮苗提供科学依据。【方法】从 15 年生的 1.5 轮实生种子园采集云南松种子,采用 $L_9(3^4)$ 正交试验,开展不同质量浓度 GA_3 (0.1, 0.2 和 0.3 g/L) 和 COS (1, 3 和 5 g/L) 溶液浸种结合基质施缓释肥 (0.5, 1.0 和 1.5 kg/m³) 的育苗试验,以不浸种和不施肥的处理作为对照。在苗龄 70, 110 和 140 d 时,测定苗木地径和苗高生长量,并于苗龄 140 d 时测定其针叶光合色素含量,筛选促进苗高生长的无蹲苗期壮苗培育的最优组合。【结果】苗龄 70, 110 和 140 d 时,各处理组合的苗木地径分别为 0.9~1.1, 1.1~1.5 和 1.9~2.3 mm, 苗高分别为 3.5~5.0, 7.3~9.6 和 8.7~12.0 cm, 对照地径分别为 1.0, 1.1 和 2.1 mm, 苗高分别为 3.7, 7.0 和 9.2 cm; 苗龄 140 d 时,各处理组合苗木针叶叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量分别为 0.43~0.67, 0.19~0.27, 0.62~0.94 和 0.08~0.13 mg/g, 对照上述色素含量分别为 0.52, 0.20, 0.72 和 0.10 mg/g; 各处理组合间以上指标均具有显著 ($P<0.05$) 或极显著 ($P<0.01$) 差异。除苗龄 140 d 时影响苗木地径生长的主导因子是 COS 外,其他苗龄阶段影响各指标的主导因子均为基质施缓释肥。【结论】外源激素和养分浸种结合基质施缓释肥可促进云南松苗木生长及其针叶光合色素的积累;无蹲苗期的云南松壮苗培育以促进苗高生长为主,0.2 g/L GA_3 和 1 g/L COS 浸种结合基质施 1.0 kg/m³ 缓释肥的组合,在 110 d 时即可培育出苗高达到出圃要求的无蹲苗期壮苗。

【关键词】云南松;苗木培育;光合色素;赤霉素;壳寡糖;缓释肥

【中图分类号】S791.257

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2023)02-0074-09

Responses of *Pinus yunnanensis* seedlings growth to GA_3 and chitosan oligosaccharide seed soaking and slow-released fertilizer application

ZHANG Heyao, LI Lianfang, LIU Xian, LI Xiaojun, GU Meng, ZHOU Dongmei

(Forestry College, Southwest Forestry University, Kunming, Yunnan 650224, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of soaking seeds with gibberellin (GA_3) and chitosan oligosaccharide (COS) solution combined with substrate application of slow-released fertilizer (SRF) on growth of *Pinus yunnanensis* seedlings and photosynthetic pigments contents of needles to provide basis and reference for cultivating robust seedlings without grass-stage in short time. 【Method】 *P. yunnanensis* seeds were collected from 1.5 cycle seedling-seed orchard of 15-year-old forests, and the $L_9(3^4)$ orthogonal design was employed to implement treatment combinations (TCs) with different mass concentrations of GA_3 (0.1, 0.2 and 0.3 g/L) and COS (1, 3 and 5 g/L) combined with SRF (0.5, 1.0 and 1.5 kg/m³) in substrates. The treatment without seed soaking and fertilization served as the control (CK).

【收稿日期】 2021-12-31

【基金项目】 国家“十三五”重点研发计划项目(2017YED0600500)

【作者简介】 张合瑶(1998—),女,云南陇川人,在读硕士,主要从事森林培育研究。E-mail:1597169008@qq.com

【通信作者】 李莲芳(1964—),女(哈尼族),云南墨江人,教授,博士,博士生导师,主要从事森林培育研究。E-mail:llianf@126.com

The growth of basal diameters (BDs) and seedling heights (SHs) were measured at the ages of 70, 110 and 140 days, and contents of photosynthetic pigments of needles were measured at the age of 140 days. Then, the optimal TC for SH growth was obtained. 【Result】 BDs of seedlings at ages of 70, 110 and 140 days in TCs were 0.9–1.1, 1.1–1.5 and 1.9–2.3 mm, while those of the CK were 1.0, 1.1 and 2.1 mm. SHs were 3.5–5.0, 7.3–9.6 and 8.7–12.0 cm for TCs and 3.7, 7.0 and 9.2 cm for the CK. Contents of chlorophyll a, B, total and carotenoid of seedling needles in TCs were 0.43–0.67, 0.19–0.27, 0.62–0.94 and 0.08–0.13 mg/g, while they were 0.52, 0.20, 0.72 and 0.10 mg/g in the CK with significant or extremely significant differences ($P < 0.05$ or $P < 0.01$). COS was the dominant factor of BDs for 140-day-old seedlings, while SRF was the dominant factor of other parameters. 【Conclusion】 Seed soaking in solutions of exogenous hormones and nutrients combined with substrate application of SRF could promote growth of *P. yunnanensis* seedlings and accumulation of photosynthetic pigments in needles. Cultivation of sound seedlings of *P. yunnanensis* without grass-stage should focus on SH growth, and the TC of 0.2 g/L GA₃ and 1 g/L COS combined with 1.0 kg/m³ SRF was optimal for obtaining qualified seedlings in 110 days.

Key words: *Pinus yunnanensis*; seedling cultivation; photosynthetic pigments; gibberellin; chitosan oligosaccharide; slow-released fertilizer

云南松(*Pinus yunnanensis*)是中国西南地区主要用材和森林构建树种,同时因其林下具有丰富的野生食用菌资源,经济和生态价值较高^[1-2]。苗木质量是影响造林成活和保存以及幼林生长的重要因素之一^[3]。因此,壮苗培育一直是森林培育研究的重点。

蹲苗是部分松属树种特有的现象,即 3~5 年生苗木或幼树地径生长较快且胚轴膨大、而苗高生长极其缓慢的现象,表现出“萝卜头”地径。在中亚热带和北亚热带,天然更新和采用百日龄苗木造林的云南松林有蹲苗现象^[1,4-7],这严重影响了幼林生长甚至导致造林失败,因此有必要培育无蹲苗期壮苗,以达到培育优质人工林的目的。

赤霉素(gibberellin, GA₃)是植物体内固有的生长调节剂之一,具有促进苗木茎叶生长的作用^[8-9]。杨永洁等^[10]和郑书绿等^[11]指出,GA₃溶液浸种可促进云南松苗木地径生长;凌莉芳等^[12]研究表明,GA₃溶液浸泡滇青冈(*Cyclobalanopsis glaucoides*)种子,可加速苗木生长并提高生物量积累;纪秀娥等^[13]指出,GA₃浸种可促进樟子松(*P. sylvestris* var. *mongolicus*)、鱼鳞云杉(*Picea jezoensis*)和红皮云杉(*P. koraiensis*)的苗高生长及生物量积累。壳寡糖(chitosan oligosaccharide, COS)是壳聚糖降解后形成的低聚寡糖,易溶于水而被植物吸收,具有促进植物生长和提高植物抗病力等作用^[14]。袁建平^[15-16]指出,用不同浓度 COS 浸泡玉米(*Zea mays*)和小麦(*Triticum aestivum*)种子后,不仅可促进其苗期生长,还可提高叶片叶绿素含量及根系

活力;郭卫华等^[17]指出, COS 浸种可促进烟草(*Nicotiana tabacum*)苗期生长,并增加功能叶片的叶绿素含量。

缓释肥(slow-released fertilizer, SRF)属养分缓慢释放于土壤中并持续供给被施肥对象的一类肥料^[18]。王金凤等^[19]指出,缓释肥对南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)容器苗生长及叶绿素的积累具有显著促进作用;马雪红等^[20]研究表明,缓释肥可促进木荷(*Schima superba*)容器苗的生长,但施肥量较大则会抑制根系的发育;杨永洁等^[10]和张青青等^[21]指出,缓释肥能极显著促进云南松和华山松(*P. armandii*)苗木生长。

目前, COS 主要应用于促进农作物种子发芽和苗木生长^[15-17],在林木的苗木培育中应用尚少,基于此,本研究开展不同质量浓度 GA₃ 和 COS 溶液浸种结合基质施缓释肥的育苗试验,了解各试验因素不同水平及其组合对云南松苗木生长和叶绿素积累的影响,以期为培育无蹲苗期壮苗、缩短云南松苗木出圃时间提供科学依据和技术支撑。

1 试验地概况

昆明是我国云南松的分布中心。试验地位于云南省昆明市西南林业大学林学院苗圃,地理坐标 102°10′~103°40′E, 24°23′~26°22′N, 海拔约 1 891 m, 属北亚热带气候, 年均气温约 15 ℃, 最低和最高气温分别出现在 1 月和 8 月, 月均温分别约为 3 和 25 ℃, 年均降雨量 840.3 mm, 相对湿度 74%, 明显分为干(11 月—次年 4 月)、湿(5—10 月)两季^[22]。

2 材料与方法

2.1 材 料

供试种子于 2020 年 11 月采集于昆明市宜良县国有花园林场 15 年生的 1.5 轮云南松实生种子园(从第 1 轮无性系种子园内选择优良家系种子,即用母本清楚而父本不清楚的种子营建的实生种子园),采种地和试验地属云南松同一种源区。球果于 35℃烘箱内烘干后自然开裂获取种子,室温保存。种子籽粒饱满,无病虫害,千粒质量 16.814 g。2021 年 3 月播种,采用直径 7 cm、高 8.5 cm 的无纺布容器育苗,育苗基质为森林土、苗圃土、腐殖质按体积比 3∶3∶1 混配而成。GA₃ 和 COS 采用分析纯粉剂溶解后配制成不同质量浓度的溶液。缓释肥为有效期 3 个月的奥绿 A5 缓释肥,其 N、P、K、Mg 的质

量比为 16∶9∶12∶2。

2.2 研究方法

试验设置 GA₃(A)、COS(B)和缓释肥(C)共 3 个因素,每因素设 3 个水平(表 1)。试验采用 L₉(3⁴)正交试验设计(表 2),因素 A、B 和 C 分别排列于第 1、2 和 3 列,第 4 列为 B 和 C 的交互作用(B×C)。

表 1 云南松育苗试验的因素及其水平

Table 1 Factors and levels of *P. yunnanensis* nursery experiment

水平 Level	因素 Factor		
	GA ₃ / (g·L ⁻¹)	COS/ (g·L ⁻¹)	缓释肥/(kg·m ⁻³)
	A	B	C
1	0.1	1	0.5
2	0.2	3	1.0
3	0.3	5	1.5

表 2 云南松育苗试验的 L₉(3⁴)正交试验设计

Table 2 L₉(3⁴) orthogonal trial design of *P. yunnanensis* nursery experiment

序号 No.	A	B	C	B×C	处理组合 Treatment combination
1	1	1	1	1	A ₁ B ₁ C ₁
2	1	2	2	2	A ₁ B ₂ C ₂
3	1	3	3	3	A ₁ B ₃ C ₃
4	2	1	2	3	A ₂ B ₁ C ₂
5	2	2	3	1	A ₂ B ₂ C ₃
6	2	3	1	2	A ₂ B ₃ C ₁
7	3	1	3	2	A ₃ B ₁ C ₃
8	3	2	1	3	A ₃ B ₂ C ₁
9	3	3	2	1	A ₃ B ₃ C ₂

注:A、B、C 代表因素,B×C 代表因素 B 和 C 的交互作用;其下 1、2、3 代表各因素的水平,与表 1 相同。

Note:A,B and C represent experimental factors,B×C represents the interaction of factors B and C,and subscripts of 1,2 and 3 represent factorial levels in Table 1.

试验另设 1 个不采用 GA₃ 和 COS 浸种,亦不施缓释肥的对照(CK),共 10 个处理组合,每个处理组合 3 次重复,每重复 20 个无纺布容器袋,每袋播 5 粒种子,共播种 3 000 粒。

播种前 20 d 先清理苗床上的杂草杂物等,平整苗床,以便摆放容器;按试验设计的比例将基质与缓释肥混匀后,分装入容器并整齐排列于苗床上,以备播种。

播种前 1 d,先将 30 份(100 粒/份)云南松种子分别用纱布包好,每份用标签标记处理组合与重复后,浸泡于 5 g/L 的 KMnO₄ 溶液中消毒 0.5 h,然后用清水冲洗干净。按试验设计于相应质量浓度 GA₃ 溶液中浸种 2 h 后,再于 COS 溶液中浸种 5 h;浸种结束后,按处理组合将种子播入相应的容器中。播种结束后,用 5 g/L 的 KMnO₄ 溶液浇透基质,结合消毒完成第 1 次浇水,并在苗床上搭建塑料小拱

棚保温。苗木培育期间,苗床保持湿润卫生,温度过高时,将温棚两侧打开通风,以防止烧苗和猝倒。

各处理组合的种子成苗率为 73.3%~82.3%,待苗木子叶完全展开后,每容器袋保留 3 株长势最优的苗木。于苗龄 70、110 和 140 d 时,每处理组合分别从不同容器袋取 10 株苗木测定地径和苗高,3 次重复共测 30 株苗木;第 3 次取苗后,每容器袋保留 1 株苗木。第 3 次取苗时,除测定生长指标外,取 10 株苗木的针叶,采用乙醇浸提法^[23]测定叶绿素和类胡萝卜素含量。

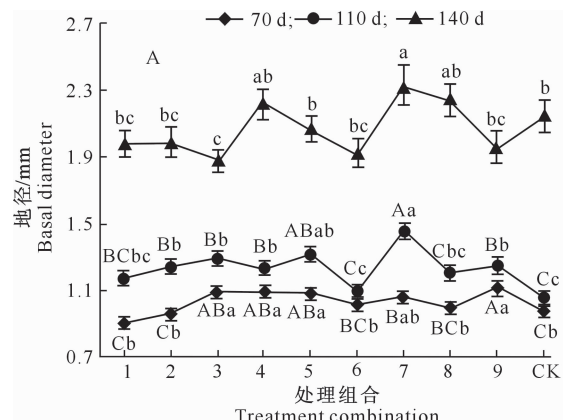
2.3 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据整理;采用 SPSS 25.0 软件分析各试验因素水平及其组合对苗木生长和叶绿素的影响,各处理组合和因素水平间的影响呈现显著或极显著差异时,再采用邓肯氏(Duncan's)法^[24]进行多重比较。

3 结果与分析

3.1 GA₃ 和 COS 溶液浸种及缓释肥对云南松苗木地径和苗高生长的影响

3.1.1 地 径 苗龄 70,110 和 140 d 时,各处理组合云南松苗木的地径分别为 0.9~1.1,1.1~1.5 和 1.9~2.3 mm,对照(CK)的地径分别为 1.0,1.1



相同苗龄标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下同
Different capital letters indicate significant difference at $P<0.01$ and different lowercase letters indicate significant difference at $P<0.05$. The same below

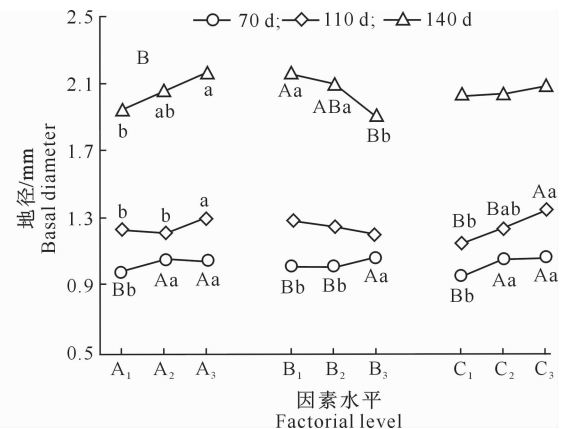
图 1 GA₃ 和 COS 溶液浸种及缓释肥处理组合对云南松苗木地径生长的影响

Fig.1 Effects of GA₃ and COS solution soaking seeds combined SRF on mean basal diameters (BDs) growth of *P. yunnanensis* seedlings

由图 1-B 可以看出,苗龄 70 d 时,地径生长随 GA₃ 溶液质量浓度的升高而增大,其中 0.2 和 0.3 g/L GA₃ 溶液浸种处理的云南松苗木地径极显著($P<0.01$)大于 0.1 g/L GA₃ 浸种处理;COS 和缓释肥对云南松苗木地径生长的影响趋势与 GA₃ 一致,其中,5 g/L COS 溶液浸种处理的地径极显著($P<0.01$)大于 1 和 3 g/L COS 处理,基质施 1.0 和 1.5 kg/m³ 缓释肥处理的地径极显著($P<0.01$)大于施 0.5 kg/m³ 缓释肥处理,表明此阶段高质量浓度 GA₃ 和 COS 溶液浸种结合基质施较多的缓释肥,可极显著促进云南松苗木地径的生长。

苗龄 110 d 时,0.3 g/L GA₃ 溶液浸种的云南松苗木地径显著($P<0.05$)大于 0.1 和 0.2 g/L GA₃ 浸种处理;但不同质量浓度 COS 溶液浸种对云南松苗木地径的影响与苗龄 70 d 时相反,即随着浸种溶液质量浓度增加,地径不断减小;基质施缓释肥对云南松苗木地径生长的影响趋势与苗龄 70 d 时一致,地径随其施用量的增加而增大;苗龄 70~110 d,GA₃ 和缓释肥对云南松苗木地径生长的影响相对稳定,COS 的促进效果则主要在苗龄 70 d 时呈现(图 1-B)。

和 2.1 mm。不同苗龄各处理组合间苗木地径具有显著($P_{140\text{d}}=0.013$)或极显著($P_{70\text{d}}=4.74\times10^{-10}$, $P_{110\text{d}}=8.85\times10^{-11}$)差异;苗龄 110 和 140 d 时,均以处理组合 7 的平均地径最大;苗龄 70~110 d 时苗木地径生长较慢,110~140 d 时地径生长迅速(图 1-A)。



苗龄 140 d 时,云南松苗木地径随 GA₃ 溶液质量浓度的升高而增大,COS 和缓释肥对苗木地径的影响与苗龄 110 d 时一致,且 COS 的影响趋势更为明显,缓释肥各施肥水平间对苗木地径的影响无显著差异($P>0.05$)(图 1-B)。

综合分析 3 个苗龄段的结果可知,GA₃ 对云南松苗木地径生长的影响总体随其质量浓度增加而增大;COS 对苗木地径生长的影响则是随着苗龄的增加在变化,苗龄 70 d 时地径随其质量浓度增加而增大,苗龄 110 和 140 d 时地径的变化则与苗龄 70 d 时相反;缓释肥对云南松苗木地径的影响较为稳定,但随时间的延长,其施用量对地径的影响逐渐减小,这与缓释肥的肥效为 3 个月有关,即 3 个月后肥效逐渐消失,不同施用量对地径生长的影响亦降低。

由表 3 可知,苗龄 70 和 110 d 时影响云南松苗木地径生长的主导因子是缓释肥,苗龄 140 d 时则为 COS 浸种。苗龄 70 d 时,云南松苗木地径最大的理论优水平组合为 A₂B₃C₃,与实际的处理组合 A₃B₃C₂(处理组合 9)地径最大不一致;苗龄 110 和 140 d 时,地径最大的理论优水平组合均为 A₃B₁C₃,与实际地径最大的处理组合 7 一致,表明随着苗木

生长,其地径趋于稳定,同时也说明试验结果可靠。

表 3 不同苗龄云南松苗木地径生长的极差分析

苗龄/d Seedling age	极差值 Range				主次因子 Dominant factor	优水平组合 Optimal level combination	
	A	B	C	B×C		理论 Theory	实际 Actual
70	0.08	0.06	0.11	0.05	C>A>B>B×C	A ₂ B ₃ C ₃	A ₃ B ₃ C ₂
110	0.09	0.08	0.20	0.02	C>A>B>B×C	A ₃ B ₁ C ₃	A ₃ B ₁ C ₃
140	0.23	0.26	0.04	0.11	B>A>B×C>C	A ₃ B ₁ C ₃	A ₃ B ₁ C ₃

3.1.2 苗高 由图 2-A 可以看出,苗龄 70,110 和 140 d 时,各处理组合云南松苗木的苗高分别为 3.5~5.1,7.3~9.6 和 8.7~12.0 cm,对照(CK)的苗高分别为 3.7,7.0 和 9.2 cm。不同苗龄各处理组合间苗木苗高均呈现极显著差异($P_{70\text{ d}}=2.13\times 10^{-11}$, $P_{110\text{ d}}=6.99\times 10^{-10}$, $P_{140\text{ d}}=1.18\times 10^{-6}$)。与地径不同,处理组合 4 的苗高始终较高。苗木苗高于 70~110 d 为速生期,之后除处理组合 2 和 4

仍然速生外,其余处理组合苗高生长减缓,表明 0.2 g/L GA₃ 和 1 g/L COS 溶液浸种及 1.0 kg/m³ 缓释肥组合可极显著促进苗高生长。苗龄 110~140 d 期间,各处理组合对云南松苗高生长具有稳定的影响;苗龄 110 d 苗高速生长的结果,亦表明各组合可促进云南松苗高的早期生长,解除蹲苗现象,因为该苗龄阶段的苗木,其苗高在生产实践中已达到出圃造林的要求,即已实现无蹲苗期壮苗快培目标。

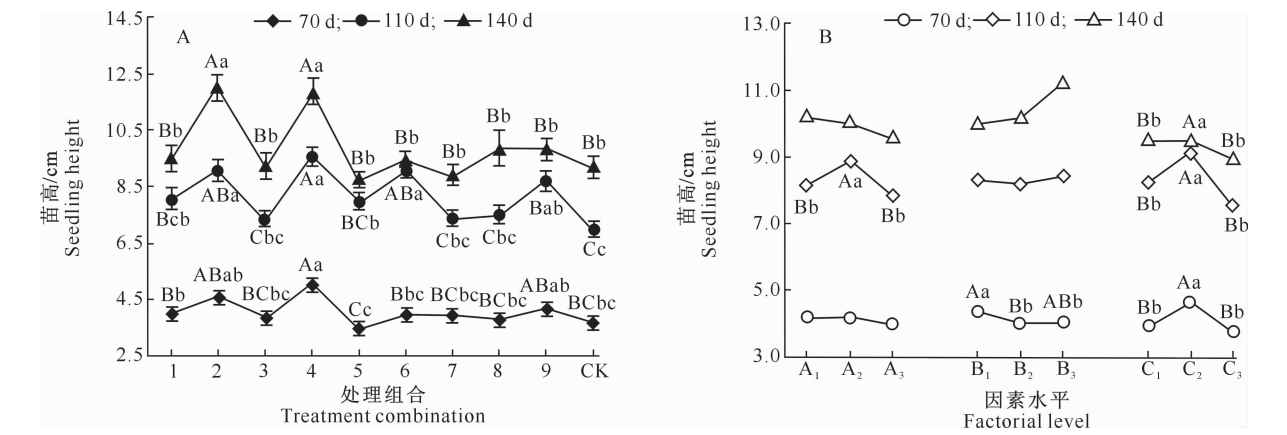


图 2 GA₃ 和 COS 溶液浸种及缓释肥处理组合对云南松苗木苗高生长的影响
Fig. 2 Effects of GA₃ and COS solution soaking seeds combined SRF on seedling heights (SHs) growth of *P. yunnanensis*

由图 2-B 和表 4 可以看出,基质施缓释肥始终是影响云南松苗高生长的主导因子,其不同施用量极显著影响不同苗龄阶段苗高生长,均以施 1.0 kg/m³ 缓释肥处理的苗高极显著高于其余 2 种缓释肥施肥处理($P<0.01$),即基质施缓释肥虽然促进云南松苗高生长,但必须在相同基质条件下以获得的最佳施用量前提下施肥,施用量过大亦不利于苗高生长。苗龄 110 d 时,0.2 g/L GA₃ 溶液浸种处理的苗高极显著高于 0.1 和 0.3 g/L GA₃ 溶液浸种

处理($P<0.01$)。苗龄 70 d 时,1 g/L COS 溶液浸种处理的苗高极显著高于 3 g/L COS 浸种处理($P<0.01$)。云南松苗高随 GA₃ 和 COS 溶液浸种质量浓度及基质缓释肥施用量的变化规律与苗木地径(图 2-B)不一致,表明云南松无蹲苗期壮苗地径和苗高生长对外源激素和养分具有不同的需求,但苗木培育主要以苗高生长为主,因此云南松无蹲苗期壮苗培育主要以养分调控为主。

表 4 不同苗龄云南松苗木苗高生长的极差分析

苗龄/d Seedling age	极差值 Range				主次因子 Dominant factor	优水平组合 Optimal level combination	
	A	B	C	B×C		理论 Theory	实际 Actual
70	0.19	0.38	0.87	0.35	C>B>B×C>A	A ₂ B ₁ C ₂	A ₂ B ₁ C ₂
110	1.02	0.21	1.58	0.40	C>A>B×C>B	A ₂ B ₁ C ₂	A ₂ B ₁ C ₂
140	0.71	0.68	2.31	0.97	C>B×C>A>B	A ₁ B ₃ C ₂	A ₁ B ₂ C ₂

由表 4 可知,云南松苗木苗高的理论优水平组 合与地径不同,苗龄 70 和 110 d 时,苗木苗高最高

的理论优水平组合为 A₂B₁C₂,与实际苗高最高的处理组合 4 相一致;苗龄 140 d 时,苗高最高的理论优水平组合则为 A₁B₃C₂,与实际最高的 A₁B₂C₂(处理组合 2)不一致。不同质量浓度 COS 溶液浸种与基质施缓释肥的交互作用显著影响云南松苗高生长($P=0.044$),是导致 140 d 时苗高最高的理论与实际优水平组合不一致的原因。然而,苗木 110 d 时,已达成出圃要求,故 140 d 时两因素的交互作用不影响无蹲苗期壮苗培育。

3.2 GA₃ 和 COS 溶液浸种及缓释肥对云南松苗木针叶光合色素含量的影响

由表 5 可以看出,各处理组合云南松苗木针叶

叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量分别为 0.43~0.67,0.19~0.27,0.62~0.94 和 0.08~0.13 mg/g,CK 处理以上光合色素含量依次为 0.52,0.20,0.72 和 0.10 mg/g。各处理组合间 4 种光合色素含量均呈现显著差异($P_{\text{叶绿素a}}=0.025$, $P_{\text{叶绿素b}}=0.014$, $P_{\text{类胡萝卜素}}=0.047$, $P_{\text{总叶绿素}}=0.021$)。与苗高和地径不同,云南松苗木针叶叶绿素 a、叶绿素 b、总叶绿素和类胡萝卜素含量均以处理组合 1 和 6 较高,即针叶光合色素含量与苗木地径和苗高的相关性较小,也许是因为云南松速生期的生长主要受基质水分影响,而受针叶光合产物影响较小。

表 5 GA₃ 和 COS 溶液浸种及缓释肥对云南松 140 d 苗木针叶光合色素含量的影响

Table 5 Effects of GA₃ and COS solution soaking seeds combined SRF on needle photosynthetic pigment contents growth of 140 d *P. yunnanensis* seedlings for the TCs

处理 Treatment	叶绿素 a Chlorophyll a		叶绿素 b Chlorophyll b		总叶绿素 Chlorophyll		类胡萝卜素 Carotenoid	
	平均/(mg·g ⁻¹) Mean	CV/%	平均/(mg·g ⁻¹) Mean	CV/%	平均/(mg·g ⁻¹) Mean	CV/%	平均/(mg·g ⁻¹) Mean	CV/%
1	0.66±0.067 a	30.6	0.27±0.025 a	27.5	0.93±0.091 a	29.4	0.13±0.014 a	32.7
2	0.54±0.064 ab	35.2	0.21±0.023 ab	33.6	0.75±0.087 ab	34.7	0.10±0.009 ab	27.3
3	0.46±0.057 b	36.9	0.19±0.020 b	32.0	0.65±0.077 b	35.4	0.10±0.010 ab	30.4
4	0.60±0.040 ab	20.2	0.24±0.015 ab	19.6	0.83±0.055 ab	19.9	0.11±0.007 ab	18.9
5	0.43±0.060 b	41.5	0.19±0.028 b	44.1	0.62±0.087 b	42.1	0.08±0.008 b	27.1
6	0.67±0.050 a	22.4	0.27±0.016 a	17.5	0.94±0.065 a	20.6	0.12±0.009 a	21.8
7	0.50±0.051 ab	30.6	0.21±0.018 ab	25.8	0.71±0.069 ab	28.9	0.10±0.008 ab	25.2
8	0.53±0.049 ab	27.6	0.21±0.012 ab	17.0	0.74±0.061 ab	24.5	0.10±0.008 ab	23.8
9	0.60±0.048 ab	24.0	0.23±0.014 ab	18.5	0.84±0.062 ab	22.3	0.11±0.008 ab	21.2
平均 Mean	0.56±0.050	29.89	0.22±0.020	26.17	0.78±0.070	28.66	0.11±0.010	25.37
CK	0.52±0.033 ab	18.3	0.20±0.012 ab	16.5	0.72±0.044 ab	17.5	0.10±0.005 ab	14.0

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$);CV 为变异系数。
Note: Different small letters mean significant differences at $P<0.05$ level. CV is coefficient of variation.

云南松 140 d 苗木针叶光合色素含量对 GA₃、COS 溶液浸种及缓释肥的响应见图 3。

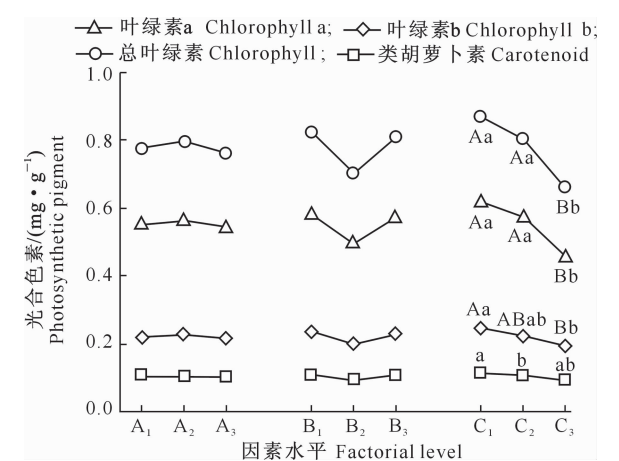


图 3 云南松 140 d 苗木针叶光合色素含量对 GA₃、COS 溶液浸种及缓释肥的响应

Fig. 3 Response of needle photosynthetic pigment content to GA₃ and COS concentration in 140 d *P. yunnanensis* seedlings

由图 3 可以看出,与苗高生长类似,基质施缓释肥是影响云南松苗木针叶光合色素含量的主导因子,但其随施肥量的变化趋势与苗高(图 2-B)的不同,与地径(图 1-B)则相反。缓释肥不同施用量处理云南松针叶光合色素含量具有显著($P_{\text{类胡萝卜素}}=0.010$)或极显著差异($P_{\text{叶绿素a}}=0.002$ 、 $P_{\text{叶绿素b}}=0.004$, $P_{\text{总叶绿素}}=0.002$)。云南松苗木针叶各光合色素含量随缓释肥施用量增加而降低,这也许与缓释肥的营养主要分配至苗木的地径和苗高生长有关,此结果也可解释光合色素含量与地径和苗高生长规律不一致的原因。不同质量浓度 GA₃ 和 COS 溶液浸种对光合色素含量影响无显著差异($P>0.05$)。

由表 6 可以看出,叶绿素 a、叶绿素 b 和总叶绿素含量最高的理论优水平组合均为 A₂B₁C₁,其实际含量最高的均为 A₂B₃C₁(处理组合 6),但 B₁ 与 B₃ 相差极小(图 3);类胡萝卜素含量最高的理论优水

平组合为 A₁B₁C₁, 其与实际最优处理组合 1 相一致, 揭示试验的 3 个因素可提高云南松针叶光合色素含量, 也许有利于造林后幼树的生长。

表 6 苗龄 140 d 云南松苗木针叶光合色素含量的极差分析
Table 6 Range analysis of needle photosynthetic pigment contents for 140 day *P. yunnanensis* seedlings

指标 Parameter	极差值 Range				主次因子 Dominant factor	优水平组合 Optimal level combination	
	A	B	C	B×C		理论 Theory	实际 Actual
叶绿素 a Chlorophyll a	0.021	0.084	0.157	0.043	C>B>B×C>A	A ₂ B ₁ C ₁	A ₂ B ₃ C ₁
叶绿素 b Chlorophyll b	0.013	0.037	0.055	0.019	C>B>B×C>A	A ₂ B ₁ C ₁	A ₂ B ₃ C ₁
总叶绿素 Chlorophyll	0.034	0.121	0.212	0.060	C>B>B×C>A	A ₂ B ₁ C ₁	A ₂ B ₃ C ₁
类胡萝卜素 Carotenoid	0.004	0.016	0.023	0.007	C>B>B×C>A	A ₁ B ₁ C ₁	A ₁ B ₁ C ₁

4 讨论与结论

4.1 讨 论

杨永洁等^[10]研究指出, 0.05, 0.10 和 0.15 g/L GA₃ 溶液浸种处理的云南松 160 d 苗木地径显著大于 0.2 g/L GA₃ 溶液浸种处理 ($P<0.05$), 0.15 g/L GA₃ 溶液浸种处理的云南松 160 d 苗木苗高显著高于 0.2 g/L GA₃ 溶液浸种处理 ($P<0.05$); 郑书绿等^[11]采用不同质量浓度 GA₃ (0.05, 0.10 和 0.15 g/L) 溶液浸泡云南松种子, 结果表明, 0.10 和 0.15 g/L GA₃ 溶液处理的云南松苗木地径和子叶长极显著大于 0.05 g/L GA₃ 溶液处理 ($P<0.01$); 凌莉莉等^[12]指出, 用不同质量浓度 (1.0, 1.5, 2.0 和 2.5 g/L) GA₃ 溶液浸泡滇青冈种子, 可促进滇青冈苗木地径和苗高生长, 其中, 以 1.5 g/L GA₃ 溶液浸种处理的效果最佳。本研究中, 苗龄 110 d 时, 促进苗木地径生长效果最优的是 0.3 g/L GA₃ 溶液处理, 促进苗高生长最优的则是 0.2 g/L GA₃ 溶液处理, 与前述研究类似, 即 GA₃ 浸种可促进苗木生长, 但因树种不同, 其最佳浸种质量浓度不同。另外, 结合杨永洁等^[10]和郑书绿等^[11]的研究结果, 云南松种子 GA₃ 浸种的最佳质量浓度是否受种子贮藏时间影响, 有待进一步试验研究。

袁建平等^[15-16]采用 10.0, 1.0 和 0.1 μg/mL COS 溶液分别浸泡玉米和小麦种子, 结果表明, COS 浸种可促进玉米和小麦苗期生长以及叶绿素的积累, 其中, 以 0.1 μg/mL COS 溶液浸种的促进作用最明显。郭卫华等^[17]指出, 叶面喷施 0.01 mg/L COS 可促进烟草苗期生长和叶绿素积累, 高质量浓度 (100 mg/L) 的 COS 处理则抑制其生长。本研究中, 苗龄 110~140 d 时, 云南松苗木地径随 COS 溶液浸种质量浓度的升高而减小, 苗高则随其质量浓度升高而升高, 云南松 140 d 苗木针叶光合

色素含量随 COS 溶液浸种质量浓度的升高呈先下降后上升的趋势。与上述研究结果类似, 说明 COS 溶液浸种虽然可以促进云南松苗木生长和光合色素的积累, 但其有一定的质量浓度适宜范围。

王金凤等^[19]研究表明, 施 1.5, 2.5 和 3.5 kg/m³ 缓释肥处理的南方红豆杉容器苗, 长势显著优于施用复合肥和对照, 其中施 1.5 kg/m³ 缓释肥的苗木长势最优; 马雪红等^[20]开展了基质配比、缓释肥施用量 (2.5, 3.0 和 3.5 kg/m³) 和容器规格对 1 年生木荷轻基质容器苗生长和质量影响的研究, 结果表明当缓释肥施用量在 2.5 kg/m³ 以上时, 对苗木地上部分生长量的影响很小, 但对地下部分根系发育具有显著抑制作用 ($P<0.05$); 杨永洁等^[10]研究表明, 苗龄 160 d 时, 每容器施 1.0 g 奥绿 A5 缓释肥 (氮、磷和钾质量分数分别为 10%, 26% 和 10%, 肥效 8~9 个月) 处理的云南松苗木地径极显著大于不施肥处理 ($P<0.01$), 施缓释肥 5 号 (氮、磷、钾质量分数分别为 14%, 13% 和 13%, 肥效 5~6 个月) 和奥绿 A5 处理的苗高极显著高于不施肥和施缓释肥 1 号 (氮、磷、钾质量分数均为 14%, 肥效 3~4 个月) 处理 ($P<0.01$); 张青青等^[21]指出, 不同缓释肥施用量 (每容器 0, 1.0 和 1.5 g) 可促进华山松苗木生长, 以每容器施 1.5 g 缓释肥处理的促进效果最佳。本研究中, 苗龄 70~140 d 的 3 个阶段, 基质施 1.0 kg/m³ 缓释肥的处理可极显著促进云南松苗木地径和苗高生长 ($P<0.01$), 促进云南松 140 d 苗木针叶光合色素积累的则是施 0.5 kg/m³ 缓释肥的处理。综合上述研究结果可知, 缓释肥可促进苗木生长, 但有益于苗木生长的施肥量略有差异, 这也许是种子贮藏时间或树种不同造成的。此外, 本研究中云南松苗木地径、苗高以及针叶光合色素的积累对基质施缓释肥的响应不同, 也许是苗木地径、苗高及针叶光合色素对养分的需求存在差异导致

的,有待进一步试验研究。

沈松等^[25]进行根博士施肥和叶面喷施 IBA 对云南松苗木生长影响的试验,发现苗龄 225 d 时苗木的平均地径和苗高分别为 1.46~2.02 mm 及 4.5~5.2 cm;杨永洁等^[10]开展激素、基质及缓释肥对云南松苗木生长影响的试验,结果苗龄 160 d 时,苗木的平均地径和苗高分别为 0.99~1.36 mm 和 3.9~5.7 cm。本研究中,苗龄 110 d 时苗木的平均地径和苗高分别为 1.1~1.5 mm 和 7.3~9.6 cm,苗高明显高于上述 2 个研究结果,揭示云南松苗木培育采用 GA₃ 和 COS 溶液浸种结合基质施缓释肥,可明显促进苗木的苗高生长。在中亚热带和温带具有蹲苗现象的云南松苗木,打破蹲苗的关键是促进苗高生长,本研究中 110 d 时的云南松苗木苗高高于沈松等^[25]和杨永洁等^[10] 225 和 160 d 的苗高,说明通过外源激素 GA₃ 和 COS 溶液浸种结合基质施缓释肥可解除云南松蹲苗现象,实现短期内培育壮苗造林。但云南松壮苗培育是否还有更优因素及组合来进一步缩短培育时间、提高苗木生长量,尚有待继续试验研究。

4.2 结 论

通过 L₉(3⁴) 正交试验可知,外源激素 GA₃ 和 COS 溶液浸种结合基质施缓释肥的不同处理组合,显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)影响苗龄 70、110 和 140 d 云南松苗木的地径和苗高生长,此 3 阶段苗高生长分别为 3.5~5.1,7.3~9.6 和 8.7~12.0 cm,对照的苗高分别为 3.7,7.0 和 9.2 cm,蹲苗现象明显解除,苗龄 110 d 时苗高已达到出圃造林的要求。基质施缓释肥是影响苗木苗高生长和针叶光合色素积累的主导因子,基质施 1.0 kg/m³ 缓释肥可极显著促进不同苗龄阶段的苗高生长($P<0.01$),促进苗木针叶光合色素积累的则是施 0.5 kg/m³ 缓释肥处理。无蹲苗期的云南松壮苗培育以促进苗高生长为主,0.2 g/L GA₃ 和 1 g/L COS 溶液浸种结合基质施 1.0 kg/m³ 缓释肥组合的苗高生长最高,可作为无蹲苗期壮苗快培的培育措施。GA₃ 和 COS 溶液浸种结合基质施缓释肥,一方面可培育云南松无蹲苗期壮苗,缩短苗木培育时间,极大地节省苗木培育成本;另一方面,可实现当年生无蹲苗期壮苗造林,解决生产实践中壮苗快速培育的问题。

[参考文献]

[1] 金振洲,彭 鉴. 云南松 [M]. 昆明:云南科技出版社,2004.

- Jin Z Z, Peng J. *Pinus yunnanensis* [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing House, 2004.
- [2] 于富强,刘培贵. 云南松林野生食用菌物种多样性及保护对策 [J]. 生物多样性, 2005(1): 58-69.
- Yu F Q, Liu P G. Species diversity of wild edible mushrooms from *Pinus yunnanensis* forests and conservation strategies [J]. Biodiversity Science, 2005(1): 58-69.
- [3] 王庆成,王政权,李国江,等. 苗木规格质量与造林成活率、保存率及幼林生长的关系 [J]. 东北林业大学学报, 1991(19): 16-24.
- Wang Q C, Wang Z Q, Li G J, et al. Study on the relationships among seedling quality and survival rate, stocking percentage and young stand growth [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1991(19): 16-24.
- [4] 彭 超,李莲芳,王慷林,等. 宜良禄丰村林场云南松天然更新分析 [J]. 中南林业科技大学学报, 2012, 32(11): 42-46.
- Peng C, Li L F, Wang K L, et al. Analysis on natural regeneration of *Pinus yunnanensis* in Lufengcun Forest Farm of Yiliang County [J]. Journal of Central South University of Forestry and Technology, 2012, 32(11): 42-46.
- [5] 李莲芳,韩明跃,段 辉,等. 苗龄差异对云南松人工幼林林木造林当年生长影响的研究 [J]. 西部林业科学, 2009, 38(1): 8-14.
- Li L F, Han M Y, Duan H, et al. Effect of seedling age on tree growth in Yunnan pine juvenile stand [J]. Journal of West China Forestry Science, 2009, 38(1): 8-14.
- [6] 王文俊,张 薇,李莲芳,等. 云南松天然更新幼苗和幼树期的生长动态分析 [J]. 福建林业科技, 2017, 44(3): 75-81.
- Wang W J, Zhang W, Li L F, et al. Analysis growth dynamic of *Pinus yunnanensis* seedlings and treelets by natural regeneration [J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2017, 44(3): 75-81.
- [7] Kossuth S V. Notes: shortening the grass stage of longleaf pine with plant growth regulators [J]. Forest Science, 1981, 32(1): 400-404.
- [8] 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.
- Fu H L, He T J, Wu Q Y. Research and application on plant growth regulators [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2008, 6(4): 7-12.
- [9] 房 凯. 植物激素生理作用与检测技术的研究现状及进展 [J]. 安徽农学通报, 2010, 16(8): 35-36, 72.
- Fang K. Research progress on plant hormones and its detection technology [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2010, 16(8): 35-36, 72.
- [10] 杨永洁,张青青,李莲芳,等. 激素和基质及缓释肥对云南松苗木生长的影响 [J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(8): 6-10.
- Yang Y J, Zhang Q Q, Li L F, et al. Effects of hormones and substrates involved slow-release fertilizer on seedling growth of *Pinus yunnanensis* [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2020, 48(8): 6-10.
- [11] 郑书绿,鲍雪纤,李莲芳,等. 激素浸种对云南松种子发芽期地

- 径和子叶生长的影响 [J]. 种子, 2015(8): 23-28.
- Zheng S L, Bao X Q, Li L F, et al. Effects of hormone solutions pre-soaking seeds on diameter and cotyledon growing of *Pinus yunnanensis* for germinative period [J]. Seed, 2015(8): 23-28.
- [12] 凌莉芳, 李莲芳, 徐婷婷, 等. 激素浸种对滇青冈苗木生长和生物量积累的影响 [J]. 南方农业学报, 2019, 50(1): 118-124.
- Ling L F, Li L F, Xu T T, et al. Effects of hormone solutions soaking seeds on the seedling growth and biomass accumulation of *Cyclobalanopsis glaucooides* [J]. Journal of Southern Agriculture, 2019, 50(1): 118-124.
- [13] 纪秀娥, 蔡景竹, 史留功, 等. 赤霉素对 3 种针叶树幼苗生长及生理特性的影响 [J]. 河北林果研究, 2007(1): 1-3.
- Ji X E, Cai J Z, Shi L G, et al. Effect of gibberelic acid on growth and some physiological characteristics of some conifer seedlings [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2007(1): 1-3.
- [14] 胡希远, 尤海磊, 宋喜芳, 等. 作物品种稳定性分析不同模型的比较 [J]. 麦类作物学报, 2009, 29(1): 110-117.
- Hu X Y, You H L, Song X F, et al. Comparison of different models for crop stability analysis [J]. Journal of Triticeae Crops, 2009, 29(1): 110-117.
- [15] 袁建平, 郭军艾, 战丹丹. 壳寡糖对玉米种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 88-89.
- Yuan J P, Guo J A, Zhan D D. Effect of chito-oligosaccharide on maize (*Zea mays*) seed germination and seedlings growth [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(1): 88-89.
- [16] 袁建平, 郭军艾, 王少飞. 壳寡糖对小麦种子萌发及幼苗生长的影响 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(2): 709-710.
- Yuan J P, Guo J A, Wang S F. Effect of chito-oligosaccharide on wheat (*Triticum aestivum*) seed germination and seedlings growth [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(2): 709-710.
- [17] 郭卫华, 赵小明, 杜昱光. 壳寡糖对烟草幼苗生长和光合作用及与其相关生理指标的影响 [J]. 植物生理学通讯, 2008, 44(6): 1155-1157.
- Guo W H, Zhao X M, Du Y G. Effects of oligochitosan on the growth and photosynthesis and physiological index related to photosynthesis of tobacco seedlings [J]. Plant Physiology Communications, 2008, 44(6): 1155-1157.
- [18] 韩晓日. 新型缓/控释肥料研究现状与展望 [J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(1): 3-8.
- Han X R. Current situation and prospects of new type slow and controlled releasing fertilizers [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2006, 37(1): 3-8.
- [19] 王金凤, 陈卓梅, 刘济祥, 等. 不同基质及缓释肥对南方红豆杉容器大苗生长的影响 [J]. 浙江林业科技, 2016, 36(2): 74-78.
- Wang J F, Chen Z M, Liu J X, et al. Effect of different substrates and slow-release fertilizer loading on growth of *Taxus chinensis* var. *mairei* container saplings [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2016, 36(2): 74-78.
- [20] 马雪红, 胡根长, 冯建国, 等. 基质配比、缓释肥量和容器规格对木荷容器苗质量的影响 [J]. 林业科学研究, 2010, 23(4): 505-509.
- Ma X H, Hu G C, Feng J G, et al. Comparison on the substrate and container size of container nursery of *Schima superba* [J]. Forest Research, 2010, 23(4): 505-509.
- [21] 张青青, 杨永洁, 王慷林, 等. 基质及施肥对华山松容器苗生长的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(6): 1113-1119.
- Zhang Q Q, Yang Y J, Wang K L, et al. Effects of substrate and fertilization on the growth of *Pinus armandii* container seedlings [J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis (Natural Sciences Edition), 2019, 41(6): 1113-1119.
- [22] 刘 敏, 高成广. 昆明市秋冬季园林植物景观调查与分析 [J]. 安徽农业科学, 2011, 39(1): 339-342.
- Liu M, Gao C G. Investigation and analysis on autumn and winter plant landscape of Kunming [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(1): 339-342.
- [23] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 134-137.
- Li H S. Principles and techniques of plant physiological and biochemical experiments [M]. Beijing: Higher Education Press, 2000: 134-137.
- [24] 韩汉鹏. 试验统计引论 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 93-98.
- Han H P. Introduction to experimental statistics [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006: 93-98.
- [25] 沈 松, 汤浩藩, 李莲芳, 等. 云南松苗木生长对追肥和 IBA 叶面喷施的响应 [J]. 西北林学院学报, 2020, 35(3): 121-125, 152.
- Shen S, Tang H F, Li L F, et al. Response of *Pinus yunnanensis* seedling growth to topdressing and IBA foliar spraying [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(3): 121-125, 152.