

云南松苗木生长对追肥和 IBA 叶面喷施的响应

沈 松, 汤浩藩, 李莲芳*, 吴俊多, 杨文君, 杨永洁, 付志高, 杨历雨,
张青青, 叶桂荣, 马 敬, 李杨涛, 吴柏良

(西南林业大学, 云南 昆明 650224)

摘 要:采用 $L_9(3^4)$ 正交设计(增加 1 个对照), 进行根博士追肥和 IBA 叶面喷施对云南松苗木生长影响的试验。苗龄 45 d 时开始第 1 次追肥和叶面喷施激素。分别于苗龄 90、135、180 d 与 225 d 时测定其地径和苗高, 255 d 时测定主根长和一级侧根数。结果表明, 苗龄 225 d 时, 平均地径和苗高分别为 1.46~2.02 mm 和 4.5~5.2 cm, 测定时, 主根长和一级侧根数分别为 21.7~31.1 cm 和 8~12 条·株⁻¹。除 135 d 和 225 d 外, 其余各阶段地径与苗高均呈现极显著差异($P<0.01$)。影响地径和主根长的主导因子是追肥频率, 苗高和一级侧根数的则是根博士浓度; 侧根与苗高协同生长, 主根长与地径生长呈正相关。30 d 追施 1 次 300 倍的根博士溶液与叶面喷施 0.15 g·L⁻¹ IBA 溶液的组合促进苗木生长。试验根博士与 IBA 配合应用可防止云南松产生蹲苗现象。

关键词:云南松; 苗木生长; 根博士; 追肥频率; IBA

中图分类号: S723.13 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-7461(2020)03-0121-05

Response of *Pinus yunnanensis* Seedling Growth to Topdressing and IBA Foliar Spraying

SHEN Song, TANG Hao-fan, LI Lian-fang*, WU Jun-duo, YANG Wen-jun, YANG Yong-jie, FU Zhi-gao,
YANG Li-yu, ZHANG Qing-qing, YE Gui-rong, MA Jing, LI Yang-tao, WU Bai-liang

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

Abstract: The $L_9(3^4)$ orthogonal design (with 1 control) was applied to examine the effects of topdressing (a fertilizer “Dr.-Root”) and IBA foliar spraying on the growth of *Pinus yunnanensis* seedlings. The first topdressing and foliar hormone application began at the day when seedlings were 45 days old. Basal diameter (BD) and seedling height (SH) were measured when the seedlings were 90, 135, 180 and 225 days old, and taproot length (TRL) and numbers first-order lateral root (NFOLR) were measured when the seedlings were 255 days old. The results showed that the mean BD and SH were 1.46–2.02 mm and 4.5–5.2 cm, respectively for 225-day-old seedlings, and mean TRL and NFOLR were 21.7–31.1 cm and 8–12 roots/seedling for 255-day-old seedlings, respectively. Except for 135 and 225-day-old seedlings, there were significant differences in BD and SH between other seedling-age stages ($P<0.01$). The dominant factor affecting the BD and TRL was topdressing frequency, while SH and NFOLR were dominated by the concentration of topdressing fertilizer. The growth of first-order lateral root and SH displayed coordinated characteristics, while the growth of taproot and BD presented positive correlation. The seedling growth was promoted by topdressing 300 times of “Dr.-Root” solution and spraying 0.15 g·L⁻¹ IBA solution on the leaf surface once every 30 days. It was concluded that the application of “Dr.-Root” combined with IBA could prevent phenomenon emergence of grass stage when cultivating *P. yunnanensis* seedlings.

Key words: *Pinus yunnanensis*; seedling growth; “Dr.-Root”; topdressing frequency; IBA

收稿日期: 2019-07-17 修回日期: 2019-09-30

基金项目: 国家“十三五”重点研发计划(2017YFD0600504-3)。

作者简介: 沈 松。研究方向: 森林培育。E-mail: 21718993@qq.com

* 通信作者: 李莲芳, 博士, 教授, 博士生导师。研究方向: 森林培育和林木遗传育种。E-mail: llianf@126.com

云南松(*Pinus yunnanensis*),隶属松科(Pinaceae)松属(*Pinus*)常绿大乔木,是云贵高原主要森林构建针叶树种之一,林地占云南省森林面积的52%^[1-5];其以云南高原面为中心分布区,逐渐向外扩展,是中国西南地区的特有种;垂直分布于海拔1 000~3 100 m,适生于酸性土壤,喜光,耐瘠薄^[6-9]。云南松在分布区的经济、社会和环境可持续发展中具有其他树种不可替代的功能^[5,8,10]。

苗木施肥虽然在施肥种类、施肥量和施肥方式等方面已有较多的研究,但不同树种于不同环境中,苗木生长对以上施肥因素的响应不尽相同^[12-17]。外源激素是与植物体内分泌激素具有相似生理和生物学效应的植物生长调节剂,适宜含量可促进其生长发育^[18-19]。孙昂等^[20]开展云南松苗木生长对水肥和吲哚丁酸(Indoly-butyric acid, IBA)的响应试验,指出0.2 g·L⁻¹ IBA溶液叶面喷施对云南松苗木生长具有极显著的促进作用;卢志峰等^[21]的研究表明,不同浓度萘乙酸(1-Naphthaleneacetic acid, NAA)、IBA和赤霉素(Gibberellin, GA₃)对细叶云南松(*P. yunnanensis* var. *tenuifolia*)配合使用,有利于提高苗木综合质量。

根博士是一种全面的液体营养肥,以氨基酸为主要成分,1 L原液中含氨基酸、氮磷钾、钙、海藻酸和有机质分别为100、20、40、10 g和20 g,且还含有其他养分,具有浓缩、肥效持久的特点,适宜的浓度对云南松苗木生长具有促进作用^[16]。本试验在塑料温棚内,通过追施根博士(灌根)及IBA(叶面喷施),了解施肥和激素喷施对云南松苗木生长的影响,为云南松壮苗培育提供根博士和IBA配施的科学依据和参考。

1 研究区概况

试验于云南省昆明市西南林业大学的苗圃内完成。地理位置102°76′24″E, 25°06′41″N,海拔1 891 m,属北亚热带气候;昆明年均气温14.5℃,最高月和最低月均温约25℃(7—8月)和3℃(1月),年均降水量约840.3 mm,分为干、湿两季,5—10月为雨季,降水量占全年的85%左右^[22]。苗木培育基质的云南松林下森林土,其pH为4.3,有机质含量44 g·kg⁻¹,总N、P和K元素含量分别为2.0、0.4 g·kg⁻¹和21.9 g·kg⁻¹,水解N、P和K元素含量分别为91.0、1.3 mg·kg⁻¹和123.0 mg·kg⁻¹,为酸性低磷土壤;西南林业大学林学院的塑料温棚内温度一般较外部环境的高5℃~10℃^[14]。

2 材料与方法

云南松种子采于云南省大理州弥渡县无性系种

子园。容器为组合式可重复利用苗木培育容器(专利:ZL201620894731.X)^[29]。根博士为青岛康东宝肥业有限公司生产的产品。IBA采用分析纯的粉剂溶解后配制不同浓度的溶液。基质为云南松林下森林土与珍珠岩按照3:1体积配制。

试验的因素包括根博士浓度(A)及其灌根频率(B)、叶面喷施IBA浓度(C)共3因素,每因素包括3个水平(表1)。

表 1 试验的因素水平			
Table 1 Factors and levels of the experiment			
水平	因素		
	A-根博士 浓度/倍	B-追肥频率 /(d·次 ⁻¹)	C-IBA /(g·L ⁻¹)
1	900	45	0.15
2	600	30	0.20
3	300	15	0.25

采用L₉(3⁴)正交设计进行试验,增加1个不施肥和不喷施激素的对照,共10个处理组合,每处理组合15个容器,3次重复,每个容器播种5粒,生长稳定后保留苗木2株。

试验前清除苗圃杂草,松土后排入容器,基质分装后浇透水并播种,之后覆盖适量的松针,用0.5%的KMnO₄溶液喷施消毒代替第1次浇水。苗木培育期间,保持苗床干净、潮湿;发现苗木有病害现象时,尽快清除病害苗,再用多菌灵溶液进行消毒。

苗龄45 d时,第1次追肥和喷施IBA,之后,根据试验设定的频率对不同处理组合定期追肥和喷施IBA溶液,共进行13次。根博士溶液以浇灌在苗木根部的方式追施,施肥后3~4 d不浇水以保持肥效。

苗龄90、135、180 d和225 d时,每个处理组合选择60株具有代表性的苗木测定其地径和苗高。苗龄255 d时,每个处理组合随机抽样15株,测定其主根长和一级侧根数。采用Excel2003和SPSS18.0软件整理和分析数据。

3 结果与分析

3.1 地径

3.1.1 处理组合对地径生长的影响 苗龄90、135、180 d和225 d时,处理组合的平均地径分别为0.95~1.11、1.03~1.29、1.20~1.60 mm和1.46~2.02 mm,不同处理组合间呈现极显著差异($P \approx 0.000 < 0.01$)。4个苗龄阶段,90 d时,处理组合3(每15 d追肥1次900倍根博士,叶面喷施0.25 g·L⁻¹的IBA溶液, A₁B₃C₃)、6(每15 d追肥1次600倍根博士,叶面喷施0.15 g·L⁻¹的IBA溶液,

A₂B₃C₁)和9(每15 d追肥1次300倍根博士,叶面喷施0.20 g·L⁻¹的IBA溶液,A₃B₃C₂)的地径极显著>处理组合2(每30 d追肥1次900倍根博士,叶面喷施0.20 g·L⁻¹的IBA溶液,A₁B₂C₂)和对照;135 d时,处理组合3和9的地径极显著>处理组合2;180 d时,处理组合5(每30 d追肥1次600倍根博士,叶面喷施0.25 g·L⁻¹的IBA溶液,A₂B₂C₃)和9的地径极显著>处理组合7(每45 d

追肥1次300倍根博士,叶面喷施0.25 g·L⁻¹的IBA溶液,A₃B₁C₃);225 d时,处理组合5、6和9的地径极显著>4(每45 d追肥一次600倍根博士,叶面喷施0.20 g·L⁻¹的IBA溶液,A₂B₁C₂);处理组合9始终为最大组别,在4个苗龄阶段9个处理组合的平均地径>对照(表2),表明高频率高浓度追施根博士液体肥可促进云南松苗木地径的生长。

表 2 不同苗龄的处理组合平均地径和苗高

Table 2 Mean basal diameters (BDs) and seedling heights (SHs) of different treatment combinations (TCs) for different age stages								
处理组合	苗龄/d							
	地径/mm				苗高/cm			
	90	135	180	225	90	135	180	225
对照	0.95±0.26 ^{Bb}	1.03±0.16 ^{Cc}	1.20±0.24 ^{Cc}	1.46±0.38 ^{Cc}	3.6±0.55 ^{ABab}	4.3±0.86	4.4±0.70 ^{Bb}	4.5±1.14
1	1.06±0.28 ^{ABab}	1.15±0.16 ^{ABab}	1.32±0.24 ^{BCbc}	1.59±0.37 ^{BCbc}	3.0±0.64 ^{Cc}	4.8±1.30	4.9±0.83 ^{ABab}	4.9±0.96
2	1.04±0.31 ^{Bb}	1.14±0.23 ^{Bb}	1.37±0.28 ^{BCb}	1.70±0.47 ^{ABab}	3.4±0.59 ^{Bb}	4.7±1.06	4.7±0.81 ^{Bb}	4.7±1.10
3	1.11±0.17 ^{Aa}	1.29±0.34 ^{Aa}	1.49±0.28 ^{ABab}	1.72±0.49 ^{ABab}	3.1±0.60 ^{Cc}	4.8±1.26	5.0±0.84 ^{Aa}	5.1±1.21
4	1.09±0.18 ^{ABab}	1.14±0.25 ^{Bb}	1.36±0.23 ^{BCbc}	1.67±0.36 ^{Bb}	3.2±0.66 ^{BCbc}	4.8±1.41	4.9±0.99 ^{ABab}	5.1±1.26
5	1.06±0.20 ^{ABab}	1.12±0.31 ^{BCbc}	1.56±0.82 ^{Aa}	2.02±1.59 ^{Aa}	3.6±0.80 ^{ABab}	4.7±1.26	4.9±1.00 ^{ABab}	5.1±1.29
6	1.11±0.22 ^{Aa}	1.19±0.30 ^{ABab}	1.50±0.29 ^{ABab}	1.89±0.42 ^{Aa}	3.3±0.66 ^{Bb}	4.8±1.04	4.9±0.95 ^{ABab}	5.0±1.59
7	1.09±0.28 ^{ABab}	1.20±0.16 ^{ABab}	1.38±0.28 ^{Bb}	1.57±0.36 ^{BCbc}	3.4±0.56 ^{Bb}	4.6±1.08	5.0±1.14 ^{Aa}	5.0±1.62
8	1.07±0.14 ^{ABab}	1.17±0.31 ^{ABab}	1.41±0.25 ^{ABb}	1.73±0.32 ^{ABab}	4.0±0.60 ^{Aa}	4.9±0.94	4.9±1.08 ^{ABab}	5.0±1.75
9	1.10±0.18 ^{Aa}	1.28±0.32 ^{Aa}	1.60±0.25 ^{Aa}	1.92±0.44 ^{Aa}	3.7±0.91 ^{ABab}	5.1±1.08	5.2±1.26 ^{Aa}	5.2±1.37
总平均	1.07±0.23	1.17±0.27	1.42±0.37	1.73±0.65	3.4±0.71	4.8±1.15	4.9±0.99	5.0±1.36

注:大小写字母分别表示差异极显著($P<0.01$)和差异显著($P<0.05$)。下同。

3.1.2 地径对因素水平的响应 影响地径生长的主导因子是追肥频率(B),除苗龄90 d的外,其他阶段B因素各水平间均呈极显著的差异($P\approx0.000<0.01$),B₃(15 d·次⁻¹)的平均地径极显著大于B₁(45 d·次⁻¹)和B₂(30 d·次⁻¹)的;苗龄225 d时,因素A(根博士浓度)的各水平间呈现显著的差异($P=0.024<0.05$),A₂(600倍液)的平均地径显著地大于A₁(900倍液)和A₃(300倍液),即随着苗龄增加,地径生长对根博士溶液浓度敏感性增加。4个苗龄阶段的理论优水平组合,除135 d的为每15 d追肥300倍根博士1次与叶面喷施0.25 g·L⁻¹的IBA溶液组合(A₃B₃C₃)外,其余3个阶段都为每15 d追600倍根博士1次和叶面喷施0.25 g·L⁻¹的IBA溶液的组 合(A₂B₃C₃;表3),地径生长对试验因素水平组合的响应相对稳定。理论优水平组合与实际试验的地径最大水平组合不一致,也许与因素水平间的交互作用或正交设计为部分试验有关。

3.2 苗高

3.2.1 处理组合对苗高生长的影响 4个苗龄阶段,处理组合的平均苗高分别为3.0~4.0、4.3~5.1、4.4~5.2、4.5~5.2 cm,苗龄90 d时,处理组合8的苗高极显著高于处理组合2、6和7($P\approx0.000<0.01$);苗龄180 d时,处理组合3、7和9的

苗高极显著地>处理组合2($P\approx0.000<0.01$);4个苗龄阶段,除苗龄90 d时平均苗高最高是处理组合8(4.0 cm)外,其余3个阶段均为处理组合9(5.1、5.2、5.2 cm),且所有处理组合>对照(表1),表明,一方面,因素水平组合对苗高生长影响相对地径的稳定;另一方面,处理组合9的措施有益于地径和苗高协同生长(表2)。此外,正交的9个处理组合相较于对照,均促进苗木生长,即根博士追肥和IBA叶面喷施配合使用,有益于云南松苗木生长,可作为生产实践壮苗培育的措施,并进一步研究其于不同条件下此2因素及其与其他因素壮苗培育的最优组合。

3.2.1 苗高对因素水平的响应 影响苗高生长的主导因子随着苗龄的变化而变化,因素A(根博士浓度)在90、180 d和225 d时都是影响苗高生长的主导因子,135 d时C因素(IBA浓度)和A和B因素的交互作用共同为主导因子(表3),随着苗龄增加,苗高对IBA与根博士浓度和其频率的交互作用敏感性增加。苗龄90 d时,因素A和B的各水平间平均苗高均呈现出极显著差异($P\approx0.000<0.01$),A₃的平均苗高极显著地高于A₂和A₁,B₂的极显著地高于B₁和B₃(表3),此阶段苗高与根博士浓度正相关,且每30 d追施1次有益于苗高生长。90和

135 d 2 个苗龄阶段的理论优水平组合与实际最高的一致,180 和 225 d 时仅因素 C 的优水平与实际的水平不一致(表 3),同时,与处理组合对苗高的影响略有差异,因素水平对苗高的影响呈现动态变化,结合理论优水平组合与实际最高存在差异的结果,也许是因素水平间的交互作用导致。

表 3 地径和苗高的极差分析
Table 3 Range analysis of BD and SH

苗龄 /d	因素水平的地径/mm				R	主次因子	优水平	优水平 组合	因素水平的苗高/cm			极差 R	主次因子	优水平	优水平 组合
	因素	X ₁	X ₂	X ₃					X ₁	X ₂	X ₃				
90	A	1.07	1.09	1.09	0.02	B>A=A×B>C	A ₂	A ₂ B ₃ C ₃	3.2 ^{Bb}	3.4 ^{ABab}	3.7 ^{Aa}	0.5	A>B>A×B>C	A ₃	A ₃ B ₂ C ₁
	B	1.08	1.06	1.11	0.05				3.2 ^{Bb}	3.6 ^{Aa}	3.4 ^{ABab}	0.4			
	C	1.08	1.08	1.09	0.01				3.4	3.4	3.4	0.0			
	A×B	1.07	1.08	1.09	0.02				3.5	3.4	3.4	0.1			
135	A	1.20	1.15	1.22	0.07	B>A>C>A×B	A ₃	A ₃ B ₃ C ₃	4.8	4.8	4.9	0.1	C=A×B>B=A	A ₃	A ₃ B ₃ C ₂
	B	1.16 ^{Bb}	1.14 ^{Bb}	1.26 ^{Aa}	0.12				4.8	4.8	4.9	0.1			
	C	1.17	1.19	1.20	0.03				4.9	4.9	4.7	0.2			
	A×B	1.19	1.18	1.20	0.02				4.9	4.7	4.8	0.2			
180	A	1.39	1.47	1.46	0.08	B>A>A×B>C	A ₂	A ₂ B ₃ C ₃	4.8	4.9	5.0	0.2	A=B>A×B=C	A ₃	A ₃ B ₃ C ₃
	B	1.35 ^{Bb}	1.45 ^{ABab}	1.53 ^{Aa}	0.18				4.9	4.8	5.0	0.2			
	C	1.41	1.44	1.47	0.06				4.9	4.9	5.0	0.1			
	A×B	1.49	1.41	1.42	0.07				5.0	4.9	4.9	0.1			
225	A	1.67 ^b	1.86 ^a	1.74 ^{ab}	0.19	B>A>A×B>C	A ₂	A ₂ B ₃ C ₃	4.9	5.1	5.1	0.2	A=B=C>A×B	A ₃	A ₃ B ₃ C ₃
	B	1.61 ^{Bb}	1.82 ^{Aa}	1.85 ^{Aa}	0.24				5.0	4.9	5.1	0.2			
	C	1.74	1.76	1.77	0.03				5.0	5.0	5.1	0.1			
	A×B	1.85	1.72	1.70	0.15				5.1	4.9	5.1	0.2			

3.3 主根长与一级侧根数

苗龄 255 d 时,苗木的平均主根长 21.7~31.1 cm,主根最长的是处理组合 5,与 225 d 地径最大组别相一致;同期,苗木的一级侧根数为 8~12 条·株⁻¹,处理组合 8 的最多(此处理组合苗高也属较高类别),主根最长处理组合 5 的侧根则最少(图 1),即有益于主根生长的处理组合抑制侧根发育和苗高生长,且其地径最大,故可能呈现蹲苗现象。处理组合间,主根长和一级侧根数均未呈现显著的差异($P_{\text{主根长}}=0.327>0.05$ 和 $P_{\text{一级侧根数}}=0.275>0.05$)。

和 A,仅 A 因素的 3 个水平间一级侧根数呈现显著的差异($P=0.038<0.05$),A₃ 的一级侧根数显著地多于 A₁ 和 A₂;2 个指标的理论优水平组合与实际试验主根最长和侧根最多的一致(表 4),一方面表明根博士浓度越高越有益于侧根发育,即高浓度根博士溶液追肥可促进侧根发育和苗高协同生长,另一方面理论优水平组合与实际试验最优的相一致,说明试验的可靠性,生产实践中可采用高浓度(300 倍溶液)的追肥促进根系发育和苗高生长,防止出现蹲苗现象。

4 结论与讨论

4.1 结论

采用 L₉(3⁴) 正交设计开展根博士追肥浓度和频率、IBA 叶面喷施的不同水平及其组合对云南松苗木生长影响的试验。苗龄 90、135、180 d 与 225 d 时平均地径和苗高分别为 0.95~1.11、1.03~1.29、1.20~1.60、1.46~2.02 mm 和 3.0~4.0、4.3~5.1、4.4~5.2、4.5~5.2 cm,除 135 d 和 225 d 外,其余各阶段地径与苗高均呈现极显著的差异($P<0.01$);影响苗木地径生长的主导因子是追肥频率;苗龄 135 d 时,IBA 溶液浓度以及根博士溶液浓度与追肥频率的交互作用是共同构成影响苗高的主导因子,其余 3 个阶段,影响苗高生长的主导因子是根博士浓度。255 d 时,苗木的主根长与一级侧

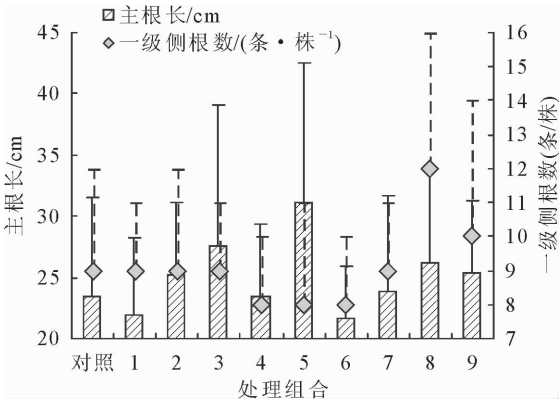


图 1 处理组合平均主根长和一级侧根数

Fig. 1 Mean taproot lengths (TRLs) and numbers of the first-order lateral roots (NFORs) for the TCs

影响主根长和一级侧根数的主导因子分别是 B

根数分别为 21.7~31.1 cm 与 8~12 条·株⁻¹,侧根与苗高协同生长,主根长与地径生长正相关。有益于促进苗木生长的优水平组合为 30 d 追施 1 次

300 倍的根博士溶液与叶面喷施 0.15 g·L⁻¹ 的 IBA 溶液的组合。适宜的根博士追肥和 IBA 结合应用,可防止云南松苗木产生蹲苗现象。

表 4 一级侧根和主根长因素水平间的极差分析

Table 4 Range analysis of the TRL and NFOLR

指标	因素	因素水平			极差 (R)	主次因子	优水平	优水平组合
		X ₁	X ₂	X ₃				
主根长/cm	A	24.9	25.4	25.1	0.5	B>C>A×B>A	A ₂ 、B ₂ 、C ₃	A ₂ B ₂ C ₃
	B	23	27.5	24.9	4.5			
	C	23.3	24.6	27.5	4.2			
一级侧根数 /(条·株 ⁻¹)	A×B	26.1	23.6	25.7	2.5	A>C>B=A×B	A ₃ 、B ₂ 、C ₁	A ₃ B ₂ C ₁
	A	8.9 ^{ab}	8.1 ^b	10.2 ^a	2.1			
	B	8.7	9.4	9	0.7			
	C	9.8	9	8.4	1.4			
	A×B	8.9	8.7	9.5	0.7			

4.2 讨论

适宜的施肥量和追肥频率是壮苗培育的主要因素之一^[12-13,17],苗木的地径和苗高是衡量其质量最直接的形态指标。彭玉华等^[12,17] 分别对黎蒴栲(*Castanopsis fissa*)和红锥(*C. hystrix*)苗木进行施肥浓度和频率的试验,结果高浓度与高频率施肥促进苗木生长;欧亚等^[15]开展无纺布容器规格和基质及根博士追肥对云南松苗木生长影响试验发现,高浓度(200 倍)的根博士溶液灌根可促进云南松苗高生长;张秀芳等^[11]进行不同温度、基质、N、P 和 K 配比营养液及其频率对一串红(*Salvia splendens*)生长影响试验,发现高频率的施肥有益于生长发育;本试验中高浓度与高频率的根博士追肥促进苗高生长和侧根发育,与前面的研究结果类似,也许苗木对养分需求具有共性。

孙昂等^[20]对云南松苗木叶面喷施 0.2 g·L⁻¹ IBA 溶液促进苗高生长结果相似;卢志锋等^[21]指出不同浓度 IBA 处理细叶云南松苗木均有利于苗高和根系生长,李金亭等^[23]的研究表明,不同浓度 IBA 叶面喷施和灌根显著的促进怀牛膝(*Achyranthes bidentata*)苗高、根长和根干重的增加;IBA 溶液浸种等措施对种子发芽及苗木生长的影响,因处理方式、对象和浓度差异而效应具有差异,但其促进种子发芽和苗木生长效果是一致的^[14,24-27];汪梦婷等^[28]在研究云南松苗木生物量构成因素中发现,苗高生长与侧根生长具有极显著正相关,本研究结果与其相一致,也许二者协调生长。本试验叶面喷施 IBA 溶液促进苗高、主根长和一级侧根数生长发育与已有研究相一致^[20],进一步佐证 IBA 可应用于苗木壮苗培育的生产实践。尤其有蹲苗现象的云南松苗木,建议针对不同条件(区域、气候、生境和基质等)开展相应的根博士、IBA 结合其他因素等的试验研究,获得最优水平组合,为生产中无蹲苗的壮苗培

育提供技术支撑。

参考文献:

[1] 张万儒. 中国主要造林树种土壤条件[M]. 北京:中国科学技术出版社,1997:212.

[2] 傅立国,洪涛. 中国高等植物:第 3 卷[M]. 青岛:青岛出版社,2000:13-64.

[3] 中国科学院昆明植物研究所. 云南植物志:第四卷 松科[M]. 北京:科学出版社,1986:54-55.

[4] 云南省林业科学研究院. 云南主要树种造林技术[M]. 昆明:云南人民出版社,1985:3-12.

[5] 李贵祥,施海静,孟广涛,等. 云南松原始林群落结构特征及物种多样性分析[J]. 浙江林学院学报,2007,24(4):396 -400.

[6] 陈飞,王健敏,孙宝刚,等. 云南松的地理分布与气候关系[J]. 林业科学研究,2012,25(2):163-168.

[7] 云南森林编写委员会. 云南森林[M]. 昆明:云南科技出版社,1983:125-131.

[8] 郑万均. 中国树木志[M]. 北京:中国林业出版社,1983:289-291.

[9] 中国森林编辑委员会. 中国森林:第 2 卷 针叶林[M]. 北京:中国林业出版社,1999:971-985.

[10] 周跃. 云南松林侵蚀控制潜能[M]. 昆明:云南科技出版社,1999:3-98.

[11] 张秀芳,陈洪伟,刘克锋. 不同温度、基质营养液配比与施肥频率对一串红生长发育的影响[J]. 江苏农业科学,2016(8):262-266.

[12] 彭玉华,郝海坤,曹艳云,等. 不同营养水平对黎蒴栲容器苗生长的影响[J]. 林业科技开发,2011,25(3):79-83.

[13] 孙昂,李莲芳,段安安,等. 复合肥和解淀粉芽孢杆菌 B9601-Y2 对云南松苗木生长的影响[J]. 福建林学院学报,2014,34(1):15-20.

[14] 张薇,王文俊,李莲芳,等. 施肥及喷施 B-Y2 和 IBA 对云南松苗木芽萌发和穗条产量的影响[J]. 西南林业大学学报,2015,35(6):67-71.

[15] 欧亚,汪亚愈,李莲芳,等. 无纺布容器规格与基质对云南松苗木生长的影响[J]. 北方园艺,2016(22):87-91.

95(6):633-639.

[16] HODGE G R,DVORAK W S. Differential responses of central american and Mexican pine species and *Pinus radiata* to infection by the pitch canker fungus[J]. New Forests,2000, 19(3),241-258.

[17] GORDON T R,KIRKPATRICK S C,AEGERTER B J,*et al.* Evidence for the occurrence of induced resistance to pitch canker, caused by *Gibberella circinata* (anamorph *Fusarium circinatum*), in populations of *Pinus radiata* [J]. Forest Pathology,2011,41(3),227-232.

[18] BROCKERHFF E G,DICK M,GANLEY R,*et al.* J. Role of insect vectors in epidemiology and invasion risk of *Fusarium circinatum*, and risk assessment of biological control of invasive *Pinus contorta* [J]. Biological Invasions, 2016, 18 (4), 1177-1190.

[19] LEE J K,LEE S H,SUNG-II Y,*et al.* First report of pitch canker disease on *Pinus rigida* in Korea[J]. The Plant Pathology Journal,2000,16(1),52-54.

[20] GRÄFENHAN T,SCHROERS H J,NIRENBERG H I. An overview of the taxonomy,phylogeny,and typification of nec-triaceous fungi in *Cosmospora*, *Acremonium*, *Fusarium*, *Stilbella*, and *Volutella* [J]. Studies in Mycology, 2011, 68: 79-113.

[21] VETTRAINO A,POTTING R,RAPOSO R. EU legislation on forest plant health;an overview with a focus on *Fusarium circinatum* [J]. Forests,2018,9(9),568.

[22] MARTÍN-GARCÍA J,ZAS R,SOLLA A,*et al.* Environmen-tally friendly methods for controlling pine pitch canker[J]. Plant Pathology,2019,68(5):843-860.

[23] RUTHERFORD B A. Identification, life cycle, and presence of Nectria species associated with beech bark disease in the Great Smoky Mountains National Park and the effectiveness of *Nematogonum ferrugineum* as a biocontrol[D]. Tennessee: University of Tennessee Knoxville,1996.

(上接第 125 页)

[16] 王燕,晏紫依,苏艳,等. 不同施肥方法对欧洲云杉生长生理和根系形态的影响[J]. 西北林学院学报,2015,30(6):15-21.
WANG Y,YAN Z Y,SU Y,*et al.* Effects of different fertilizing methods on growth,physiological characteristics and root morphological traits of *Picea abies* [J]. Journal of Northwest Forestry University,2015,30(6):15-21. (in Chinese)

[17] 彭玉华,郝海坤,何琴飞,等. 营养水平对红锥容器苗生长的影响[J]. 西南林业大学学报,2011,31(3):27-30.

[18] 张琳,黄志远,苏少文,等. 外源激素对荷花生长及相关基因表达的影响[J]. 西北林学院学报,2019,34(2):35-41.
ZHANG L,HUANG Z Y,SU S W,*et al.* Effects of exogenous hormones on the growth of lotus(*Nelumbo nucifera*) and expression of related genes [J]. Journal of Noethwest Forestry University,2019,34(2):35-41. (in Chinese)

[19] 顾大路,朱云林,杨文飞,等. 浅谈植物生长调节剂市场现状与对策[J]. 江西农业学报,2010,22(2):169-171.

[20] 孙昂,李莲芳,段安安,等. 云南松苗木生长对水肥和 IBA 的响应试验[J]. 西部林业科学,2013,42(5):86-92.

[21] 卢志峰,马松亚,唐鑫,等. 不同浓度 NAA,IBA 和 GA3 对细叶云南松幼苗生长的影响[J]. 广东农业科学,2016,43(9):56-61.

[22] 王文俊,张薇,李莲芳,等. 云南松种子发芽及幼苗保存对土壤水分和有机肥的响应[J]. 南方农业学报,2016,47(1):87-91.

[23] 李金亭,张元昊,郭晓双,等. 吡啶丁酸对怀牛膝幼苗生长及谷胱甘肽抗氧化酶系统的影响[J]. 河南师范大学学报:自然科学版,2014,42(3):105-108.

[24] 李允菲,张跃敏,刘代亿,等. 云南松苗期生长对激素浸种的影响[J]. 云南大学学报:自然科学版,2011,33(3):350-359.

[25] 朱振国,谭效磊,张渐隆,等. IBA 对烟草幼苗根系的影响[J]. 浙江农业科学,2019,60(4):554-556.

[26] 周凤珏,许鸿源,施力军,等. 吡啶丁酸对木薯生长及一些生理特性的影响[J]. 中国农学通报,2004(4):153-155.
ZHOU F Y,XU H Y,SHI L J,*et al.* Effects of IBA on the growth and physiological characteristics of cassava [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2004(4):153-155. (in Chinese)

[27] 张于卉,吴文,沈元宝,等. 外源吡啶丁酸促进对榉树硬枝扦插[J]. 农业与技术,2018,38(21):81-83,106.

[28] 汪梦婷,郭双仙,蔡年辉,等. 云南松苗木生物量构成因素的分析[J]. 西北林学院学报,2019,34(3):98-103.
WANG M T,GUO S X,CAI N H,*et al.* On constituent factors affecting seedling biomass of *Pinus yunnanensi* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34 (3): 98-103. (in Chinese)

[29] 李莲芳,和润喜,王慷林. 可重复利用组合式苗木培育容器: ZL201620894371. X[P]. 2017-01-11.