

文章编号:1673-887X(2026)06-0132-03

不同腐殖酸质量对云南松生长的影响

杨怀茹

(盐源县林业和草原局,四川 盐源 615700)

摘要 以盐源县5 a生云南松人工林为研究对象,设置5个腐殖酸肥料梯度处理,通过测定林木生长指标、生物量积累及养分含量,系统分析腐殖酸对云南松生长发育的调控效应。结果显示,适量腐殖酸显著促进云南松生长。其中:25 kg/667 m²处理效果最佳,胸径增长量达1.82 cm,较对照提升49.2%;树高增长量0.86 m,较对照提升53.6%;材积增长率42.35%,较对照提升50.5%;该处理下根、茎、叶生物量及氮、磷、钾养分含量与储量均显著增加,总生物量较对照增长51.6%。

关键词 腐殖酸;云南松;生长;生物量

中图分类号 S792.39

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1673-887X.2026.06.044

The Influence of Different Humic Acid Qualities on the Growth of *Pinus yunnanensis*

Yang Huairu

(Yanyuan Forestry and Grassland Bureau, Yanyuan 615700, Sichuan, China)

Abstract: This study focused on a 5-year-old artificial *Pinus yunnanensis* forest in Yanyuan County. Five gradients of humic acid fertilizers were set up. By measuring the growth indicators of the trees, biomass accumulation, and nutrient content, the regulatory effect of humic acid on the growth and development of *Pinus yunnanensis* was systematically analyzed. The results showed that an appropriate amount of humic acid significantly promoted the growth of *Pinus yunnanensis*. Among them, the 25 kg/667 m² treatment had the best effect, with a growth rate of 1.82 cm in diameter, an increase of 49.2% compared to the control group; a growth rate of 0.86 m in tree height, an increase of 53.6%; a growth rate of 42.35% in volume, an increase of 50.5%; and the biomass and nutrient content and reserves of roots, stems, and leaves, as well as nitrogen, phosphorus, and potassium nutrients, all significantly increased under this treatment, with the total biomass increasing by 51.6% compared to the control group.

Key words: humic acid; *Pinus yunnanensis*; growth; biomass

云南松(*Pinus yunnanensis* Franch.)在维持区域生态安全、提供木材资源等方面具有不可替代的作用^[1]。四川省盐源县地处横断山区东南缘,属亚热带季风气候区,土壤以酸性红壤、黄壤为主,普遍存在氮磷缺乏、有机质含量低、结构板结等问题,严重制约着云南松人工林生产力与生态功能的发挥。近年来,随着林业集约化经营需求的提升,如何通过合理施肥改善林地条件、促进林木生长成为林业生产的核心课题之一。传统化肥虽能短期补充矿质养分,但长期施用易导致土壤酸化、结构恶化及养分失衡^[2]。腐殖酸具有改良土壤结构、增强保水保肥能力、促进养分活化与吸收、刺激植物生理代谢等多重功效,在农业与林业中的应用日益受到重视^[3-4]。研究表明,腐殖酸可通过整合作用释放被固定的磷、钾等元素,提高肥料利用率;其胶体特性有助于形成团粒结构,改善土壤通透性与持水性。

此外,腐殖酸还能增强植物酶活性,促进光合作用与根系发育^[5-6]。目前,关于腐殖酸在云南松培育中的应用研究仍较为匮乏,尤其针对盐源县立地条件下的适宜施用量与作用机制尚不明确。为此,本研究以盐源县典型云南松人工林为研究对象,通过设置不同腐殖酸施肥梯度,系统分析其对林木生长、生物量积累及养分分配的影响,旨在明确腐殖酸促进云南松生长的生理生态机制,筛选适宜当地条件的施肥方案,为云南松高效培育与林地可持续经营提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于四川省盐源县(东经100°42'~102°03',北纬27°06'~28°16'),海拔2 350 m,年均气温12.1℃,年降水量855 mm,年均无霜期201 d。土壤pH值5.2,

收稿日期 2026-02-06

作者简介 杨怀茹(1999-),女,藏族,四川盐源人,助理工程师,研究方向为林业。

含有机质量 12.4 g/kg、全氮 0.68 g/kg、速效磷 4.2 mg/kg、速效钾 85 mg/kg。林分为 2018 年营造的云南松纯林,现密度为 140 株/667 m²。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计,设置 5 个腐殖酸施肥处理,试验设计见表 1。各处理重复 3 次,共 15 个小区,每小区面积 667 m²,小区间设置 5 m 隔离带。所用的腐殖酸肥料为市售腐殖酸颗粒肥(含腐殖酸≥45%,N+P₂O₅+K₂O≥15%)。于 2023 年 3 月采用环状沟施法施肥,施肥沟位于树冠投影外缘,深 20 cm、宽 15 cm,施肥后覆土。

表 1 试验设计表
Tab.1 Experimental design

处理	腐殖酸用量/[kg·(667 m ²) ⁻¹]
CK	0
T ₁	15
T ₂	20
T ₃	25
T ₄	30

1.3 测定项目与方法

于施肥前(2023 年 3 月)及施肥后 1 年(2024 年 3 月)进行每木检尺,每小区选取 15 株标准木,测定胸径(DBH,精度 0.1 cm)、树高(H,精度 0.1 m),计算材积(V)采用云南松一元材积式:

$$V=0.000\ 087\ 151\ 05\times DBH^{1.954\ 479\ 3}\times H^{0.755\ 839\ 5}$$
 (1)

式中:V为材积;DBH为胸径;H为树高。

增长率计算公式为:

$$\text{增长率}(\%)=[(\text{施肥后值}-\text{施肥前值})/\text{施肥前值}]\times 100$$
 (2)

于 2024 年 10 月每处理选取 3 株平均标准木,全株收获,分离根、茎、叶,测定鲜质量后,于 105 ℃杀青 30 min,80 ℃烘至恒质量,称干质量。将各器官样品粉碎过筛,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,全氮采用奈氏比色法测定,全磷采用钼锑抗比色法测定,全钾采用火焰光度法测定;养分储量计算公式^[7-8]为:

$$\text{器官养分储量}=\text{器官养分质量分数}\times \text{器官生物量}$$
 (3)

1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2019 整理,SPSS 25.0 进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 腐殖酸对云南松生长指标的影响

不同腐殖酸处理下云南松的胸径增长量、树高增长量及材积增长率等指标结果见表 2。由表 2 可知,相较于未施加腐殖酸的对照组(CK),各腐殖酸处理组均对云南松的生长产生了显著影响(P<0.05)。随着腐殖

酸用量的增加,胸径增长量呈现出先上升后略有下降的趋势。T₃效果最佳,胸径增长量达 1.82 cm,较对照组增长 49.2%;T₂次之,增长量较对照组提升 35.2%;T₄较 T₃有所下降,较对照组增长 29.5%;T₁增长量较对照组提升 13.1%。树高增长量也呈现出类似的趋势,T₃树高增长量达 0.86 m,较对照组增长 53.6%;T₂较对照组增长 39.3%;T₄较对照组增长 28.6%;T₁较对照组增长 14.3%。T₃材积增长率表现最优,达 42.35%,较对照组增长 50.5%;T₂较对照组增长 37.6%;T₄较对照组增长 31.0%;T₁较对照组增长 15.3%。由此可得,适量增加腐殖酸用量可有效促进云南松的胸径、树高生长及材积增长,在本试验中 25 kg/667 m²的腐殖酸用量对云南松生长的促进作用最为显著。

表 2 不同腐殖酸处理下云南松各项生长指标汇总表
Tab.2 Summary of various growth indicators
of Pinus yunnanensis under different humic acid treatments

处理	胸径增长量/cm	树高增长量/m	材积增长率/%
CK	1.22 ± 0.15c	0.56 ± 0.06c	28.14 ± 3.12d
T ₁	1.38 ± 0.16bc	0.64 ± 0.07bc	32.45 ± 3.58cd
T ₂	1.65 ± 0.18ab	0.78 ± 0.08ab	38.72 ± 4.25b
T ₃	1.82 ± 0.21a	0.86 ± 0.09a	42.35 ± 4.68a
T ₄	1.58 ± 0.19b	0.72 ± 0.08b	36.84 ± 4.02bc

注:同列不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。下表同。

2.2 腐殖酸对云南松生物量积累与分配的影响

不同腐殖酸处理下云南松的根生物量、茎生物量、叶生物量和总生物量等指标结果见表 3。

表 3 不同腐殖酸处理下云南松各部位生物量积累情况表
Tab.3 The accumulation of biomass in different parts
of Pinus yunnanensis under various humic acid treatments

单位:kg/株				
处理	根生物量	茎生物量	叶生物量	总生物量
CK	8.12 ± 0.91c	10.23 ± 1.15c	7.14 ± 0.78c	25.49 ± 2.82d
T ₁	9.85 ± 1.08bc	12.46 ± 1.38bc	8.25 ± 0.91bc	30.56 ± 3.38cd
T ₂	11.94 ± 1.32ab	15.38 ± 1.69ab	9.40 ± 1.04ab	35.72 ± 3.94b
T ₃	12.84 ± 1.42a	15.92 ± 1.75a	9.88 ± 1.09a	38.64 ± 4.25a
T ₄	11.05 ± 1.22b	14.23 ± 1.57b	8.57 ± 0.95bc	33.85 ± 3.72bc

由表 3 可知,相较于未施加腐殖酸的对照组(CK),各腐殖酸处理组均对云南松的生物量积累产生了显著影响(P<0.05)。一是根生物量随着腐殖酸用量增加呈先上升后下降的趋势。其中:T₃根生物量达到最高,为 12.84 kg/株,较对照组增长 58.1%;T₂次之,较对照组增长 47.0%;T₄较对照组增长 36.1%;T₁较对照组增长 21.3%。二是茎生物量同样表现出类似的趋势。其中:T₃茎生物量为 15.92 kg/株,较对照组增长 55.6%;T₂较对照组增长 50.3%;T₄较对照组增长 39.1%;T₁较对照组增

长21.8%。 T_3 叶生物量为9.88 kg/株,较对照组增长38.4%; T_2 较对照组增长31.6%; T_4 较对照组增长20.0%; T_1 较对照组增长15.6%。 T_3 总生物量达到38.64 kg/株,较对照组增长51.6%; T_2 较对照组增长40.1%; T_4 较对照组增长32.8%; T_1 较对照组增长19.9%。总体来看,适量增加腐殖酸用量能有效促进云南松根、茎、叶的生物量

积累,提升总生物量,其中25 kg/667 m²的腐殖酸用量对云南松生物量积累的促进作用最为显著。

2.3 腐殖酸对云南松养分含量及分配的影响

不同腐殖酸处理下云南松的叶片氮含量、叶片磷含量、叶片钾含量、单株氮储量、单株磷储量及单株钾储量等指标结果见表4。

表4 不同腐殖酸处理下云南松叶片养分含量及单株养分储量表
Tab.4 Nutrient contents and single-plant nutrient reserves of *Pinus yunnanensis* leaves under different humic acid treatments

处理	叶片养分含量			单株养分含量		
	w(氮)/(g·kg ⁻¹)	w(磷)/(g·kg ⁻¹)	w(钾)/(g·kg ⁻¹)	w(氮储量)/(mg·kg ⁻¹)	w(磷储量)/(mg·kg ⁻¹)	w(钾储量)/(mg·kg ⁻¹)
CK	11.62 ± 1.28c	1.32 ± 0.15c	7.36 ± 0.81c	296.24 ± 32.58d	33.64 ± 3.70d	187.52 ± 20.63d
T_1	12.85 ± 1.41bc	1.48 ± 0.16bc	8.05 ± 0.89bc	392.75 ± 43.20c	45.23 ± 4.98c	245.86 ± 27.05c
T_2	14.20 ± 1.56ab	1.68 ± 0.18ab	8.82 ± 0.97ab	452.38 ± 49.76b	53.47 ± 5.88b	314.95 ± 34.64b
T_3	15.32 ± 1.68a	1.85 ± 0.20a	9.46 ± 1.04a	512.35 ± 56.35a	58.92 ± 6.48a	354.67 ± 39.01a
T_4	13.78 ± 1.52b	1.60 ± 0.18b	8.50 ± 0.94b	438.62 ± 48.25b	50.86 ± 5.59b	285.34 ± 31.39b

由表4可知,相较于未施加腐殖酸的对照组(CK),各腐殖酸处理组均对云南松叶片养分状况及单株养分储量产生了显著影响($P<0.05$)。在叶片养分含量方面,随着腐殖酸用量的增加,叶片氮、磷、钾含量均呈现出先上升后下降的趋势。其中: T_3 效果最佳,叶片氮含量达15.32 g/kg,较对照组增长31.8%;叶片含磷量为1.85 g/kg,较对照组增长40.2%;叶片含钾量9.46 g/kg,较对照组增长28.5%。 T_2 次之,其叶片氮、磷、钾含量较对照组分别增长22.2%、27.3%、19.8%。 T_4 叶片氮、磷、钾含量较对照组分别增长18.6%、21.2%、15.5%。 T_1 叶片氮、磷、钾含量较对照组分别增长10.6%、12.1%、9.4%。在单株养分储量方面,同样以 T_3 表现最优,单株氮储量为512.35 mg/株,较对照组增长72.9%;单株磷储量为58.92 mg/株,较对照组增长75.1%;单株钾储量为354.67 mg/株,较对照组增长89.1%。 T_2 单株氮、磷、钾储量较对照组分别增长52.7%、59.0%、68.0%。 T_4 单株氮、磷、钾储量较对照组分别增长48.1%、51.2%、52.2%。 T_1 单株氮、磷、钾储量较对照组分别增长32.6%、34.5%、31.1%。结果表明,适量增加腐殖酸用量可有效提升云南松叶片的氮、磷、钾含量,增加单株养分储量,其中25 kg/667 m²的腐殖酸用量对云南松叶片养分含量及单株养分储量的提升作用最为显著。

3 结语

本研究通过在四川省盐源县设置5个腐殖酸肥料梯度的田间试验,系统分析了腐殖酸肥料对云南松人工林生长的影响。结果表明,适量施用腐殖酸可显著

促进云南松的生长发育,其中25 kg/667 m²处理效果最优,胸径增长量较对照组提高49.2%,树高增长量提升53.6%,材积增长率增加50.5%。同时,该处理下根、茎、叶生物量分别较对照组增长58.1%、55.6%和38.4%,总生物量提升51.6%;叶片氮、磷、钾含量分别增加31.8%、40.2%和28.5%,单株氮、磷、钾储量显著提高72.9%、75.1%和89.1%。腐殖酸通过改善土壤结构、增强养分活化与吸收能力,有效提升了云南松的生长性能与养分利用效率。本研究为盐源县云南松人工林的高效培育及林地可持续经营提供了科学施肥依据。

参考文献

[1] 代林瑞. 松树专用肥不同施用量对油松中龄林生长的影响[J]. 乡村科技, 2023, 14(20): 134-136.

[2] 李钱. 氮肥对2种松树苗木生长的影响[J]. 防护林科技, 2016(2): 57-58.

[3] 袁琴. 水肥一体化育苗技术在松树育苗中的应用与管控研究[J]. 种子世界, 2025(12): 222-224.

[4] 梁江钦, 龚细娟, 张国君, 等. 不同复混肥对湿地松中龄林的施肥效应研究[J]. 湖南林业科技, 2019, 46(2): 18-22.

[5] 马何艳. 不同氮肥施入量对松树苗木生长的影响[J]. 乡村科技, 2024, 15(1): 88-90.

[6] 杨红涛. 水肥一体化育苗技术在松树育苗中的应用效果探讨[J]. 种子世界, 2025(1): 213-215.

[7] 彭思华, 余杰, 李莲芳, 等. 施肥对云南松生长及其器官和土壤养分的影响[J]. 林业调查规划, 2023, 48(6): 144-150.

[8] 周驰宇, 张玉薇, 蔡年辉, 等. 外源IAA与ZT喷施对截干后云南松苗木生长的影响[J]. 西南林业大学学报(自然科学), 2024, 44(5): 18-24.