

云南滇池‘中山杉 118’人工林及土壤的碳、氮积累特征

施 钦¹, 殷云龙¹, 华建峰^{1,①}, 丁次平², 张凌云², 杨红明³

[1. 江苏省中国科学院植物研究所(南京中山植物园) 江苏省落羽杉属树木种质创新与繁育工程研究中心, 江苏 南京 210014;
2. 湖北省林业科学研究院荆州分院, 湖北 荆州 434020; 3. 昆明市林业科学研究所, 云南 昆明 650223]

Carbon and nitrogen accumulation characteristics of *Taxodium* ‘Zhongshanshan 118’ plantation and soil in Dianchi of Yunnan Province SHI Qin¹, YIN Yunlong¹, HUA Jianfeng^{1,①}, DING Ciping², ZHANG Lingyun², YANG Hongming³ (1. Jiangsu Province Engineering Research Center of *Taxodium* Rich. Germplasm Innovation and Propagation, Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jingzhou Branch, Hubei Academy of Forestry, Jingzhou 434020, China; 3. Kunming Institute of Forestry, Kunming 650223, China), *J. Plant Resour. & Environ.*, 2021, 30(1): 75-77

Abstract: The carbon and nitrogen storage and distribution pattern of 10 a plantation of *Taxodium* ‘Zhongshanshan 118’ and soil (soil layer of 0-45 cm) were investigated in Dianchi of Yunnan Province. The results show that the contents of carbon and nitrogen in leaf, branch, and stem of *T.* ‘Zhongshanshan 118’ plantation are 439-520 and 3.34-5.22 g · kg⁻¹, those in litter are 510 and 1.16 g · kg⁻¹, and those in soil layer of 0-15, 15-30, and 30-45 cm are 4.76-8.78 and 0.28-0.61 g · kg⁻¹, respectively. The carbon and nitrogen storage in stem of *T.* ‘Zhongshanshan 118’ plantation are relatively high, accounting for 60.9% and 57.1% of that of arbor layer (including leaf, branch, and stem), respectively. The carbon and nitrogen storage in soil layer of 0-45 cm are 41.24 and 1.73 t · hm⁻², respectively, which exhibits an obvious surface enrichment. It is suggested that *T.* ‘Zhongshanshan 118’ has a strong carbon sequestration capacity, and has a great application potential in the forest ecosystem of Dianchi region.

关键词: 滇池; ‘中山杉 118’; 人工林; 碳、氮储量; 分配格局

Key words: Dianchi; *Taxodium* ‘Zhongshanshan 118’; plantation; carbon and nitrogen storage; distribution pattern

中图分类号: Q945.79; S791.06 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2021)01-0075-03

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2021.01.11

碳和氮是陆地森林生态系统的重要组成部分,其循环过程及相互作用对生态系统的生产力以及稳定性起着重要作用。近年来,国内外研究人员对不同区域乃至全球森林土壤的碳、氮储量和循环进行了大量研究,其中,有关碳、氮储量估算方面的研究较多^[1-3]。人工林正逐步成为森林总量的关键组成部分,并在森林可持续经营管理过程中发挥着重要作用。研究人工林碳库和氮库的储量及调控机制是了解和预测全球气候变化的重要工作。

为了恢复与重建长江流域生态功能,目前已在造林技术选择、目的树种筛选和经营管理措施等^[4]方面做了大量工作。落羽杉属(*Taxodium* Rich.)杂交树种‘中山杉’(*T.* ‘Zhongshanshan’)具有生长快、耐水湿、耐盐碱、适宜性强等特点,已成为平原地区林业部门主推树种^[5-7]。随着‘中山杉’的造林面积日益扩大,其培育和推广效益研究已成为森林

资源经营管理及可持续发展的重要后续工作。‘中山杉’生态服务功能尤其是土壤碳、氮库及其积累特征,对于‘中山杉’人工林生态效益评价至关重要。

本研究对云南省昆明市滇池捞渔河湿地公园‘中山杉 118’(*T.* ‘Zhongshanshan 118’)人工林及土壤的碳、氮储量和分配格局进行研究,以期探明‘中山杉 118’人工林生态系统生产力、固碳潜力与养分元素间的关系提供参考依据。

1 研究区概况和研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于云南省昆明市滇池捞渔河湿地公园(东经 102°47′04″、北纬 24°49′40″),属于亚热带高原季风气候,年均气温 15℃,年均日照时数 2 200 h 左右,无霜期 240 d 以上。

收稿日期: 2020-05-09

基金项目: 中国科学院战略生物资源服务网络计划(kfj-brsn-2018-6-003)

作者简介: 施 钦(1991—),男,江苏无锡人,硕士,助理研究员,主要从事植物生态适应性方面的研究。

①通信作者 E-mail: jfhua2009@gmail.com

引用格式: 施 钦, 殷云龙, 华建峰, 等. 云南滇池‘中山杉 118’人工林及土壤的碳、氮积累特征[J]. 植物资源与环境学报, 2021, 30(1): 75-77.

该地区于2010年营建‘中山杉118’人工林,面积约473 hm²,造林时‘中山杉118’苗木株龄均为2 a,株距和行距均为2 m,造林地立地条件一致,栽植后只进行常规水分管理。

1.2 研究方法

1.2.1 人工林各组分样品采集及生物量计算 2018年10月,选择研究区内面积约2 hm²的10 a‘中山杉118’人工林为研究对象,该人工林郁闭度为0.76,林中‘中山杉118’平均树高12.7 m,平均胸径22.3 cm。在林内设置4个面积50 m×50 m的固定样地用于‘中山杉118’生长参数调查。对样地内‘中山杉118’进行每木检尺,使用胸径尺(精度0.1 cm)测量胸径,使用CGQ-1型直读式测高器(哈尔滨光学仪器厂,精度0.1 m)测量树高,每株测量1次;统计各样地内的株数。以平均胸径±1 cm为标准选取标准木,每个样地选取5株。采集健康无病害的叶片、枝条和树干,每株各部位样品分别装入透明自封袋中,标记后带回实验室。所有样品分别用蒸馏水冲洗干净后装入信封,于温度85℃条件下烘干至恒质量后称量,然后采用标准木法分别计算其生物量。

在样地内沿对角线方向设置5个面积5 m×5 m小样方。由于林下只有极少量草本植物,因此只采集凋落物。收集小样方内全部凋落物并带回实验室,于温度85℃条件下烘干至恒质量后称量,然后计算凋落物生物量。

上述样品的干样分别粉碎后过60目筛,备用。

1.2.2 土壤样品采集 在每个取样点以“S”型随机选取4个典型土样采集点,沿土壤剖面按0~15、15~30和30~45 cm土层进行取样,每层取约500 g土样,各采集点按土层混合均匀后放入无菌自封袋。随后用100 cm³环刀在每层取1个土样,单独装袋用于土壤容重测定。土样带回后风干,去除根系和石砾,依次过20和100目筛,备用。

1.2.3 碳、氮含量测定及其储量计算 所有样品碳含量以总有机碳含量计算,采用重铬酸钾硫酸氧化法^{[8]166-167}进行测定;氮含量以总氮含量计算,采用凯氏法^{[8]123-125}进行测定,2个指标均重复测定4次。‘中山杉118’人工林、叶片、枝条、树干和凋落物的碳、氮储量分别根据其有机碳、总氮含量与生物量之积进行计算;土壤碳、氮储量的计算公式参考文献[9]。分别根据‘中山杉118’人工林叶片、枝条和树干的生物量(M)与胸径(DBH)和树高(H)拟合异速生长方程 $M = a (DBH^2 \cdot H)^{b[10]}$ 。

1.3 数据处理分析

采用EXCEL 2007软件对实验数据进行统计分析。

2 结果和分析

2.1 ‘中山杉118’人工林生物量及分配

云南滇池‘中山杉118’单株的叶片、枝条和树干干质量及总干质量分别为6.4、31.2、72.8和110.4 kg,‘中山杉118’人工林叶片(M_L)、枝条(M_B)和树干(M_S)的生物量,分别为16.78和182 t·hm⁻²,与胸径(DBH)和树高(H)的异速生长方程分别为 $M_L = 0.191 (DBH^2 \cdot H)^{0.431}$ 、 $M_B = 0.529 (DBH^2 \cdot H)^{0.486}$ 和 $M_S = 0.264 (DBH^2 \cdot H)^{0.515}$ 。

2.2 ‘中山杉118’人工林各组分碳、氮含量和储量

云南滇池‘中山杉118’人工林各组分碳、氮含量和储量见表1。结果显示:‘中山杉118’人工林各组分碳含量由高到低依次为叶片、凋落物、枝条、树干,氮含量由高到低依次为叶片、枝条、树干、凋落物,其中,叶片碳、氮含量最高,分别为520和5.22 g·kg⁻¹。‘中山杉118’人工林各组分碳、氮储量由高到低依次为树干、枝条、叶片、凋落物,其中,树干中碳、氮储量明显高于叶片和枝条,分别为51.1和0.601 t·hm⁻²,分别占乔木层(包括叶片、枝条和树干)碳、氮储量的60.9%和57.1%。

2.3 ‘中山杉118’人工林土壤碳、氮含量和储量及分配格局

云南滇池‘中山杉118’人工林土壤碳、氮含量和储量见表2。结果显示:‘中山杉118’人工林土壤碳、氮含量随着土层深度增加而降低,30~45 cm土层土壤碳、氮含量分别仅为0~15 cm土层土壤的54.2%和45.9%。0~45 cm土层土壤碳、

表1 云南滇池‘中山杉118’人工林各组分碳、氮含量和储量 ($\bar{X} \pm SE$)

Table 1 Content and storage of carbon and nitrogen of each component of *Taxodium* ‘Zhongshanshan 118’ plantation in Dianchi of Yunnan Province ($\bar{X} \pm SE$)

组分 Component	含量/(g·kg ⁻¹)		储量/(t·hm ⁻²)	
	碳 Carbon	氮 Nitrogen	碳 Carbon	氮 Nitrogen
叶片 Leaf	520±13	5.22±0.53	5.3±1.5	0.082±0.012
枝条 Branch	487±25	4.82±0.32	24.2±4.4	0.372±0.021
树干 Stem	439±32	3.34±0.71	51.1±7.7	0.601±0.093
凋落物 Litter	510±34	1.16±0.14	3.3±0.4	0.013±0.001

表2 云南滇池‘中山杉118’人工林土壤碳、氮含量和储量 ($\bar{X} \pm SE$)

Table 2 Content and storage of soil carbon and nitrogen of *Taxodium* ‘Zhongshanshan 118’ plantation in Dianchi of Yunnan Province ($\bar{X} \pm SE$)

土层深度/cm Soil depth	含量/(g·kg ⁻¹)		碳氮比 Ratio of carbon to nitrogen	储量/(t·hm ⁻²)	
	碳 Carbon	氮 Nitrogen		碳 Carbon	氮 Nitrogen
0-15	8.78±0.31	0.61±0.05	21.6	18.42±1.22	0.85±0.09
15-30	6.12±0.12	0.35±0.02	26.1	12.83±0.53	0.49±0.03
30-45	4.76±0.09	0.28±0.01	25.6	9.99±0.49	0.39±0.02
合计 Total				41.24±0.96	1.73±0.12

氮储量分别为 41.24 和 1.73 t · hm⁻²,其中,0~15 cm 土层土壤占比最高,分别为 44.7%和 49.1%。0~15、15~30 和 30~45 cm 土层土壤碳氮比分别为 21.6、26.1 和 25.6,表明‘中山杉 118’人工林 0~45 cm 土层土壤的养分供应良好。

3 讨论和结论

通常根据人工林乔木层和土壤碳、氮储量评价人工林生态系统吸收和固碳功能。云南滇池 10 a‘中山杉 118’人工林叶片、枝条和树干中碳含量为 439~520 g · kg⁻¹,与国际上计算森林碳储量时通用的碳含量(450~500 g · kg⁻¹)接近^[11]。‘中山杉 118’人工林叶片、枝条和树干中氮含量为 3.34~5.22 g · kg⁻¹,高于落叶松 [*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.] 的 3.20 g · kg⁻¹^[12]。‘中山杉 118’人工林凋落物碳、氮含量分别为 510 和 1.16 g · kg⁻¹,低于叶片碳、氮含量,这可能是由于试验林中‘中山杉 118’的栽植密度和郁闭度较高,林下植被种类和数量较少,没有足够的地表植被补充被分解的营养元素。

中国温性针叶林、暖性针叶林和森林植被平均碳储量分别为 43.2、47.9 和 57.1 t · hm⁻²^[13]。云南主要森林植被估算的碳储量为 67.0 t · hm⁻²^[14]。本研究中,‘中山杉 118’人工林乔木层(包括叶片、枝条和树干)碳储量为 80.6 t · hm⁻²,表明滇池地区‘中山杉 118’人工林固碳能力高于云南省平均水平。‘中山杉 118’人工林乔木层的氮储量为 1.055 t · hm⁻²,且树干是氮库的主体,这与刺槐 (*Robinia pseudoacacia* Linn.)^[15]类似。盆栽实验结果表明:‘中山杉’对土壤的适应性较强,但比较偏向于氮元素充足的土壤,因为土壤中氮含量较高促进其光合作用^[16],而且‘中山杉’对富营养化水体中的氮也有较强的吸收能力^[17]。

‘中山杉 118’人工林 0~45 cm 土层土壤碳、氮含量和储量均随着土层深度增加而降低,0~15 cm 土层土壤碳、氮储量分别占 0~45 cm 土层土壤碳、氮储量的 44.7%和 49.1%。冷杉 [*Abies fabri* (Mast.) Craib] 和紫果云杉 (*Picea purpurea* Mast.) 林地 0~20 cm 土层土壤中碳储量占 0~60 cm 土层土壤总碳储量的 46.0%以上^[18]。这主要是由于植物根系大多分布在土壤表层,枯落物和腐殖质层的分解导致碳储量增加。中国土壤平均碳氮比为 10~12^[19],‘中山杉 118’人工林土壤碳氮比为 21.6~26.1,表明‘中山杉 118’在滇池地区具有较好的养分供应。

综上所述,‘中山杉 118’是固碳能力较强的优良造林树种。由于人工林生态系统受土壤类型、凋落物数量和质量以及抚育方式等影响,‘中山杉 118’人工林碳、氮储量的变化规律,如林龄、造林密度和管理方式等有待进一步研究。

参考文献:

[1] LI D, NIU S, LUO Y. Global patterns of the dynamics of soil carbon and nitrogen stocks following afforestation: a meta-analysis[J]. *New*

Phytologist, 2012, 195(1): 172-181.

- [2] REAY D S, DENTENER F, SMITH P, et al. Global nitrogen deposition and carbon sinks[J]. *Nature Geoscience*, 2008, 1(7): 430-437.
- [3] 项文化,黄志宏,闫文德,等.森林生态系统碳氮循环功能耦合研究综述[J].*生态学报*, 2006, 26(7): 2365-2372.
- [4] 覃庆锋,陈晨,曾宪芷,等.长江流域防护林体系工程建设30年回顾与展望[J].*中国水土保持科学*, 2018, 16(5): 145-152.
- [5] 郭金博,施钦,熊豫武,等.盐碱混合胁迫对‘中山杉 406’生长及光合特性的影响[J].*南京林业大学学报(自然科学版)*, 2019, 43(1): 61-68.
- [6] 王紫阳,杨颖,华建峰,等.碱处理对‘中山杉 406’幼苗叶片光合特性和生理的影响[J].*植物资源与环境学报*, 2020, 29(4): 72-74.
- [7] 王会方,何梅,於朝广,等.优良速生树种中山杉的国内外研究现状[J].*南方林业科学*, 2015, 43(3): 17-21, 29.
- [8] 刘光崧.土壤理化分析与剖面描述[M].北京:中国标准出版社,1996.
- [9] 刘冰燕,陈云明,曹扬,等.秦岭南坡东段油松人工林生态系统碳、氮储量及其分配格局[J].*应用生态学报*, 2015, 26(3): 643-652.
- [10] 曾伟生.3种异速生长方程对生物量建模的对比分析[J].*中南林业调查规划*, 2014, 33(1): 1-3, 19.
- [11] 李海奎,雷渊才,曾伟生.基于森林清查资料的中国森林植被碳储量[J].*林业科学*, 2011, 47(7): 7-12.
- [12] 杨丽丽,王彦辉,文仕知,等.六盘山四种森林生态系统的碳氮储量、组成及分布特征[J].*生态学报*, 2015, 35(15): 5215-5227.
- [13] 周玉荣,于振良,赵士洞.我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J].*植物生态学报*, 2000, 24(5): 518-522.
- [14] 周瑞伍,彭明春,张一平.云南主要森林植被碳储量及固碳潜力模拟研究[J].*云南大学学报(自然科学版)*, 2017, 39(6): 1089-1103.
- [15] 艾泽民,陈云明,曹扬.黄土丘陵区不同林龄刺槐人工林碳、氮储量及分配格局[J].*应用生态学报*, 2014, 25(2): 333-341.
- [16] SHI Q, YIN Y, WANG Z, et al. Influence of soil properties on the performance of the *Taxodium* hybrid ‘Zhongshanshan 407’ in a short-term pot experiment[J]. *Soil Science and Plant Nutrition*, 2017, 63(2): 145-152.
- [17] 华建峰,莫海波,於朝广,等.中山杉 406 对富营养化水体营养物质去除效能的研究[J].*安全与环境学报*, 2012, 12(4): 99-104.
- [18] 鲜骏仁,张远彬,王开运,等.川西亚高山5种森林生态系统的碳格局[J].*植物生态学报*, 2009, 33(2): 283-290.
- [19] 王绍强,于贵瑞.生态系统碳氮磷元素的生态化学计量学特征[J].*生态学报*, 2008, 28(8): 3937-3947.

(责任编辑:张明霞)