

# 桂西北杉木成熟林营养元素积累及其分布格局

莫少壮<sup>1</sup>, 杨正文<sup>1</sup>, 刘凡胜<sup>1</sup>, 何 斌<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>南丹县山口林场, 广西 南丹

<sup>2</sup>广西大学林学院, 广西 南宁

收稿日期: 2022年3月10日; 录用日期: 2022年4月7日; 发布日期: 2022年4月14日

## 摘 要

为了探究桂西北杉木人工林成熟林的营养元素积累及其分布格局, 为该区域杉木人工林的经营管理提供依据。以广西南丹县30年生杉木林为研究对象, 对其5种营养元素(N、P、K、Ca和Mg)含量、积累及其分配格局进行了研究。结果表明: 1) 杉木中不同器官营养元素含量因器官不同而存在差异, 以树叶最高, 其次是树枝、干皮和树根, 干材最低; 林木中不同器官营养元素含量为N > K 或 Ca > Mg > P。2) 杉木成熟林营养元素总储量为955.06 kg·hm<sup>-2</sup>, 其中乔木层占91.15%, 灌草层和凋落物层分别占0.98%和7.89%。3) 杉木成熟林乔木层营养元素年净积累量为29.01 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, 每积累1 t干物质需要5种营养元素5.10 kg。

## 关键词

杉木成熟林, 营养元素, 积累, 分布, 桂西北

# Nutrient Accumulation and Distribution of Mature *Cunninghamia lanceolata* Plantation Ecosystem in Northwestern Guangxi

Shaozhuang Mo<sup>1</sup>, Zhengwen Yang<sup>1</sup>, Fansheng Liu<sup>1</sup>, Bin He<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Shankou Forest Farm of Nandan County, Nandan Guangxi

<sup>2</sup>Forestry College, Guangxi University, Nanning Guangxi

Received: Mar. 10<sup>th</sup>, 2022; accepted: Apr. 7<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 14<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

In order to understand the nutrient accumulation and distribution of the mature *Cunninghamia*

\*通讯作者。

文章引用: 莫少壮, 杨正文, 刘凡胜, 何斌. 桂西北杉木成熟林营养元素积累及其分布格局[J]. 林业世界, 2022, 11(2): 90-95. DOI: 10.12677/wjf.2022.112011

*lanceolata* plantation in northwestern Guangxi, and to provide scientific basis for the management of the *C. lanceolata* plantation, the field nutrition content, accumulation amount, annual net accumulation and distribution characteristics of five nutrient elements (N, P, K, Ca and Mg) on the mature *C. lanceolata* plantation were studied. The results show that the contents of the five nutrient elements in different organs of *C. lanceolata*. The results show that: 1) The nutrient contents in various organs of *C. lanceolata* was in the order of leaves > branch, bark or root > stem. The content of N was the highest among the five elements, followed by Ca and K and Mg, while P was the lowest in various organs of *C. lanceolata*. 2) The total storage of five nutrient elements in the mature *C. lanceolata* plantation was 955.06 kg·hm<sup>-2</sup>, of which arbor layer, overstorey (shrub and herb layer) and litter layer accounted for 91.15%, 0.98%, 7.89% and 4.58% respectively. 3) The annual net accumulation of nutrients of the *C. lanceolata* plantation was 29.01 kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>, and for every ton of dry matter production needed 5.10 kg of the five elements.

## Keywords

*Cunninghamia lanceolata* Mature Plantation, Nutrient Elements, Accumulation, Distribution, Northwestern Guangxi

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

林木营养元素积累规律和分配格局是森林生态系统的基本特征, 其研究对指导森林经营与管理、提高森林生物生产力具有重要的意义[1]。N、P、K、Ca 和 Mg 是林木生长所必需的大量矿质元素, 研究其积累及分布特征, 对进一步揭示其生物循环特点及其与各种因素的相互关系, 指导林业生产管理和提高森林生产力都具有重要意义, 并已成为世界各国生态学家、土壤学家和林学家所关注的研究热点[2]。近些年来, 国内外许多学者先后对各种森林尤其是人工林生态系统 N、P、K、Ca 和 Mg 积累及其分布格局开展了大量研究工作, 取得大量的研究成果, 研究树种涉及杉木[3]、杨树[4]、马尾松[5]、落叶松[6]、桉树[7]、相思树[8]等主要用材林树种, 这些研究为相关人工林林地养分管理提供了科学依据。

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)具有适应性强、生长迅速、木材单产高和材质优良等优点[9], 是我国南方重要的优良速生商品用材林树种之一。目前, 国内有关杉木人工林营养元素积累方面的研究已有较多报道[7] [8] [9] [10], 但主要集中在高密度经营的中小径材方面, 涉及大径材培育或杉木成熟林的研究较少。桂西北是我国杉木人工林的重要产区, 同时也是全国最大的杉木大径级用材林基地之一。为此, 本研究以南丹县山口林场杉木成熟林为研究对象, 通过对 30 年生杉木人工林营养元素含量、积累量及其分布格局, 以揭示其对营养元素的吸收和积累能力, 为杉木大径材的经营管理尤其是林地养分管理提供科学依据。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 研究区自然概况

研究区位于广西西北部的南丹县山口林场, 属我国杉木中心产区。南丹县(107°1'E~107°55'E、24°42'N~25°37'N)地处云贵高原边缘, 属中亚热带气候类型, 地貌以中低山为主, 海拔高度多数在 500~1000 m, 具有高原山区的气候特点和变化规律。年平均气温 16.9℃, 年平均降水量 1498 mm, 降雨多集中在 4~10 月; 年平均蒸发量 1135 mm, 年均相对湿度 83% [10]。试验地设在该林场拉堡分场, 海拔 750~850

m, 东南坡, 坡度 28°~33°, 土壤母质(母岩)为砂页岩, 风化程度较深, 平均土层厚度 80 cm 以上, 土壤肥力水平较高。

研究林分为杉木成熟林, 于 1989 年 3 月采用杉木实生苗(融水种源)定植, 造林密度为 2500 株·hm<sup>-2</sup> (行株距 2 m × 2 m), 造林后前 2 年的春季各进行 1 次铲草抚育, 并分别于造林后的第 9、14 和 19 年分别进行间伐。2019 年 5 月调查时杉木成熟林林分密度为 690 株/hm<sup>2</sup>, 郁闭度 0.75%, 平均树高 22.6 cm, 平均胸径 26.5 m。林下植物发育较差, 主要有八角枫(*Alangium chinense*)、粉叶爬山虎(*Parthenocissus thomsonii*)、广东蛇葡萄(*Ampelopsis cantoniensis*)、贵州毛柃(*Eurya kweichowensis*)、垂穗石松(*Lycopodium cernuum*)和南方紫萁(*Osmunda cinnamomes*)等, 覆盖度 30%, 凋落物层平均厚度约 2.5 cm,

## 2.2. 研究方法

### 2.2.1. 标准地的设置与林分生物量的测定

在经过对南丹山口林场的 30 年生杉木成熟林进行全面踏查并分析其生长状况的基础上, 于 2019 年 5 月在杉木成熟林中选择生长良好的林分, 按上坡、中坡和下坡各设置 1 块 20 m × 30 m (600 m<sup>2</sup>)标准样地。调查测定样地内林木的胸径、树高、冠幅和枝下高, 根据调查结果计算林分平均胸径和平均树高。然后, 在每块样地内选择 1 株平均木并伐倒[11], 采用“Monsic 分层切割法”测定树叶、树枝、干皮、干材即地上部分鲜质量, 采用“全根挖掘法”测定根系即地下部分鲜质量。同时在各样地内按对角线分别设置小样方 3 个, 面积均为 2 m × 2 m, 对样方内灌木、草本的种类、个体数、高度和覆盖度等进行调查, 然后采用“样方收获法”测定灌木层、草本层和凋落物层鲜质量[10]。按“混合取样法”分别采集乔木层各器官、灌木层、草本层和凋落物层样品 500~1000 g, 带回实验室后放入烘箱内于 80℃烘至恒, 测定各样品的含水率和干质量, 计算各组分生物量[2]。

### 2.2.2. 植物营养元素含量测定

选取不同结构层次植物各组样品于 80℃下烘干后粉碎过 0.5 mm 尼龙筛后装入自封袋内。参照文献[12] [13]分别测定 N、P、K、Ca 和 Mg 含量。

### 2.2.3. 数据统计与处理

利用 Excel2013 软件进行相关数据处理, 采用 SPSS 22.0 软件对杉木成熟林乔木层不同器官各营养元素含量、积累量和年净积累量差异性等进行单因素方差分析(ANOVA)。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 营养元素含量

从表 1 可知, 杉木中营养元素含量因器官或元素不同而存在差异, 不同器官中各营养元素含量均表现为树叶最高, 为 1.19~10.82 g·kg<sup>-1</sup>; 其次是 K 或 Ca, 分别为 0.64~7.13 g·kg<sup>-1</sup>或 0.25~4.75 g·kg<sup>-1</sup>; P 或 Mg 最低, 分别为 0.08~1.04 g·kg<sup>-1</sup>或 0.10~1.33 g·kg<sup>-1</sup>。不同器官中营养元素含量以树叶最高, 其次是干皮、树枝和树根, 干材最低, 同一元素在不同器官间的差异多数达到显著水平( $P < 0.05$ )。

### 3.2. 营养元素储量及其分配

从表 2 可知, 杉木成熟林营养元素总储量为 955.06 kg/hm<sup>2</sup>, 其中乔木层营养元素储量(870.36 kg·hm<sup>-2</sup>)占 91.15%, 灌草层(9.34 kg·hm<sup>-2</sup>)和凋落物层(75.36 kg·hm<sup>-2</sup>)分别占 0.98%和 7.89%; 乔木层各器官营养元素储量大小排列为干材(284.57 kg·hm<sup>-2</sup>) > 树叶(196.55 kg·hm<sup>-2</sup>) > 树根(158.98 kg·hm<sup>-2</sup>) > 干皮(156.04 kg·hm<sup>-2</sup>) > 树枝(74.22 kg·hm<sup>-2</sup>)。

如果将乔木层按其垂直分布分为树冠(树叶 + 树枝)、树干(干材 + 干皮)和树根 3 个部分, 则树冠养分储量( $270.77 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )占 31.10%, 树干( $440.61 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )占 50.62%、树根( $158.98 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )占 18.27%。在乔木层不同营养元素储量中, N 储量( $364.13 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )最大, 占 41.84%; 其次是 K( $261.80 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )、Ca ( $202.64 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )和( $42.28 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ), 分别占 39.10%、20.30%和 4.86%, Mg( $33.95 \text{ kg}/\text{hm}^2$ )最小, 仅占 3.90%。

**Table 1.** Nutrients contents in different organs of mature *C. lanceolata* plantation ( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

**表 1.** 杉木不同器官营养元素含量( $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ )

器官	N	P	K	Ca	Mg
树叶	$10.82 \pm 0.52\text{a}$	$1.04 \pm 0.05\text{a}$	$7.13 \pm 0.31\text{a}$	$4.75 \pm 0.25\text{a}$	$1.33 \pm 0.08\text{a}$
树枝	$1.97 \pm 0.12\text{c}$	$0.27 \pm 0.02\text{d}$	$1.65 \pm 0.09\text{d}$	$1.76 \pm 0.07\text{c}$	$0.14 \pm 0.01\text{c}$
干皮	$3.32 \pm 0.13\text{b}$	$0.61 \pm 0.03\text{b}$	$2.06 \pm 0.07\text{c}$	$3.76 \pm 0.15\text{b}$	$0.35 \pm 0.02\text{b}$
干材	$1.19 \pm 0.07\text{d}$	$0.08 \pm 0.00\text{e}$	$0.64 \pm 0.04\text{e}$	$0.25 \pm 0.02\text{e}$	$0.10 \pm 0.00\text{d}$
树根	$2.13 \pm 0.10\text{c}$	$0.45 \pm 0.02\text{c}$	$2.57 \pm 0.12\text{b}$	$1.10 \pm 0.05\text{d}$	$0.15 \pm 0.01\text{c}$

**Table 2.** Nutrients accumulation and distribution of mature *C. lanceolata* plantation ( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

**表 2.** 杉木成熟林营养元素储量及其分配( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )

组分	N	P	K	Ca	Mg	小计
树叶	$84.83 \pm 3.87$	$8.15 \pm 0.52$	$55.90 \pm 2.30$	$37.24 \pm 1.18$	$10.43 \pm 0.52$	$196.55 \pm 1.68$
树枝	$25.26 \pm 1.58$	$3.46 \pm 0.16$	$21.15 \pm 1.12$	$22.56 \pm 0.95$	$1.79 \pm 0.10$	$74.22 \pm 0.78$
干皮	$51.29 \pm 2.60$	$9.42 \pm 0.41$	$31.83 \pm 1.38$	$58.09 \pm 2.33$	$5.41 \pm 0.24$	$156.04 \pm 1.39$
干材	$149.84 \pm 10.50$	$10.07 \pm 0.56$	$80.59 \pm 3.42$	$31.48 \pm 1.14$	$12.59 \pm 0.82$	$284.573.29$
树根	$52.91 \pm 3.12$	$11.18 \pm 0.79$	$63.84 \pm 2.35$	$27.32 \pm 0.97$	$3.73 \pm 0.22$	$158.98 \pm 1.48$
小计	$364.13 \pm 12.08$	$42.28 \pm 2.10$	$261.80 \pm 8.72$	$202.64 \pm 10.43$	$33.95 \pm 1.78$	$870.36 \pm 25.03$
灌草层	$4.20 \pm 1.10$	$0.27 \pm 0.02$	$3.85 \pm 0.20$	$0.78 \pm 0.05$	$0.24 \pm 0.01$	$9.34 \pm 0.62$
凋落物层	$41.56 \pm 217$	$3.24 \pm 0.21$	$4.64 \pm 0.17$	$25.17 \pm 0.87$	$0.75 \pm 0.03$	$75.36 \pm 3.50$
合计	$409.89 \pm 15.10$	$45.79 \pm 2.07$	$288.06 \pm 8.16$	$176.38 \pm 5.38$	$34.94 \pm 1.05$	$955.06 \pm 20.17$

### 3.3. 乔木层营养元素年净积累量

从表 3 可见, 桂西北杉木成熟林营养元素年净积累量为  $29.01 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ , 不同器官营养元素年净积累量以干材( $9.49 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )最高, 其次是树叶( $6.55 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )、树根( $5.30 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )和干皮( $5.20 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ), 树枝( $2.47 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )。不同营养元素在乔木层中年净积累量以 N ( $12.14 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )最大, 占乔木层年净积累量的 41.84%; 其次是 K ( $8.44 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )、Ca ( $5.89 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )和 P ( $1.41 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ), 依次占 29.10%、20.30%和 4.85%; Mg ( $1.13 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )最小, 仅占 3.90%。

### 3.4. 林木营养元素利用效率

营养元素利用效率是林木对养分环境的适应及其利用状况的反映, 且利用 Chapin 指数作为指标来衡量森林营养元素利用效率的高低。从表 4 可知, 杉木成熟林每积累 1 t 干物质仅需要 5 种养分元素(N、P、K、Ca 和 Mg) 5.11 kg, 略高于福建三明市 33 年生杉木人工林[14], 与相近区域广西宁明县 34 年生米老

排人工林基本一致[15],但明显低于相近区域广西武宣县38年生马尾松人工林[16]、福建三明市33年生福建柏人工林[14]和甘肃正宁县28~32年生油松人工林[14],表明研究区杉木成熟林对营养元素利用效率较高。杉木成熟林不同营养元素的利用效率又高到低排序为P、Mg、Ca、K、N,与上述其他树种人工林相一致。

**Table 3.** Nutrient annual net accumulation of mature *C. lanceolata* plantation ( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )

**表 3.** 杉木成熟林营养元素年净积累量( $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )

器官	N	P	K	Ca	Mg	小计
树叶	$2.83 \pm 0.13$	$0.27 \pm 0.02$	$1.86 \pm 0.08$	$1.24 \pm 0.04$	$0.35 \pm 0.02$	$6.55 \pm 0.06$
树枝	$0.84 \pm 0.05$	$0.12 \pm 0.01$	$0.71 \pm 0.04$	$0.75 \pm 0.03$	$0.06 \pm 0.00$	$2.47 \pm 0.03$
干皮	$1.71 \pm 0.09$	$0.31 \pm 0.01$	$1.06 \pm 0.05$	$1.94 \pm 0.08$	$0.18 \pm 0.01$	$5.20 \pm 0.05$
干材	$4.99 \pm 0.35$	$0.34 \pm 0.02$	$2.69 \pm 0.11$	$1.05 \pm 0.04$	$0.42 \pm 0.03$	$9.49 \pm 0.11$
树根	$1.76 \pm 0.10$	$0.37 \pm 0.03$	$2.13 \pm 0.08$	$0.91 \pm 0.03$	$0.12 \pm 0.01$	$5.30 \pm 0.05$
合计	$12.14 \pm 0.14$	$1.41 \pm 0.02$	$8.44 \pm 0.07$	$5.89 \pm 0.04$	$1.13 \pm 0.02$	$29.01 \pm 0.06$

**Table 4.** Comparison of nutrient utilization efficiency among different plantation

**表 4.** 不同人工林的营养元素利用效率比较

树种	林龄/a	生物量/ $\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$	营养元素积累量/ $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$	大量元素/ $\text{kg}\cdot\text{t}^{-1}$					数据来源	
				N	P	K	Ca	Mg		合计
杉木	30	186.87	965.06	2.19	0.25	1.40	1.08	0.19	5.11	本文
杉木	33	235.14	1060.13	1.29	0.21	1.64	0.96	0.40	4.51	[14]
米老排	34	293.38	1797.01	1.98	0.20	1.65	1.05	0.22	5.10	[15]
马尾松	38	197.40	1950.30	3.28	0.31	4.22	1.17	0.89	9.88	[16]
福建柏	33	228.76	1282.64	1.62	0.25	2.08	1.12	0.44	5.61	[14]
油松	28~32	82.80	807.76	3.44	0.43	2.60	2.79	0.49	9.76	[17]

#### 4. 讨论与结论

桂西北杉木成熟林营养元素总储量为  $955.06 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,其中乔木层营养元素储量( $870.36 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )占91.15%,灌草层( $9.34 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )和凋落物层( $75.36 \text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )仅分别占0.98%和7.89%,其中凋落物层营养元素储量均低于相同区域的28年生秃杉人工林[18]和广西宁明县34年生米老排人工林[15],因此不利于林地地力的恢复和维持。而从林木各器官营养元素贮存量所占林分和乔木层营养元素贮存量所占比例看,干材仅分别占25.73%和32.70%,且林木其余器官则分别占74.27%和67.30%。因此,如果此时采伐秃杉林时,且仅取走干材,其余器官均作为采伐剩余物留在林地中自行分解,则损失的林木养分较少,将有利于维持林地土壤养分水平和林地持久生产力。

杉木成熟林营养元素年净积累量为  $29.01 \text{ kg}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$ ,其中以N年净积累量( $12.14 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )最大,其次为K( $8.44 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )、Ca( $5.89 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )、P( $1.41 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ),Mg( $1.13 \text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ )最小。乔木层每生产1t有机物质需要5种营养元素5.11kg,明显低于相近区域广西武宣县38年生马尾松人工林(9.88kg)[16]、甘肃正宁县28~32年生油松人工林(9.76kg)[17]和福建三明市33年生福建柏人工林(5.61kg)[14],表明研究



区杉木成熟林具有较高的营养元素利用效率。而每生产 1 t 有机物质需要营养元素量为  $P < Mg < Ca < K < N$ ，说明 P、Mg 的利用效率最高，其次是 Ca 和 K，N 最低，与相近林龄的米老排、马尾松的研究结果基本一致。因此，在桂西北地区合理经营和发展杉木大径材商品林，有利于充分利用土地资源，发挥林地生产潜力，提高木材产量和经济、生态效益，促进林业可持续健康发展。

## 基金项目

广西重点研发计划项目(桂科 AB17292008); 广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA17204087-11); 国家自然科学基金资助项目(31760201, 31560206)。

## 参考文献

- [1] Sharma, J.C. and Sharma, Y. (2004) Nutrient Cycling in Forest Ecosystems—A Review. *Agricultural Reviews*, **25**, 157-172.
- [2] Johnson, D.W. and Turner, J. (2019) Nutrient Cycling in Forests: A Historical Look and Newer Developments. *Forest Ecology and Management*, **444**, 344-373. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.052>
- [3] Zhou, L., Shalom, A.-D.D., Wu, P., He, Z., Liu, C. and Ma, X. (2016) Biomass Production, Nutrient Cycling and Distribution in Age-Sequence Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata*) Plantations in Subtropical China. *Journal of Forestry Research*, **27**, 357-368. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0167-0>
- [4] 杨世桦, 杨承栋, 董玉红, 李贻铨, 徐清彦, 彭自主, 等. 1-69 杨人工林养分循环的研究[J]. 林业科学研究, 2013, 26(1): 1-7.
- [5] 杨会侠, 汪思龙, 范冰, 张伟东, 韦翠娥. 马尾松人工林发育过程中的养分动态[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 1907-1914.
- [6] 纪文婧, 程小琴, 韩海荣, 康峰峰, 杨杰, 朱江, 等. 不同林龄华北落叶松人工林生物量及营养元素分布特征[J]. 应用与环境生物学报, 2016, 22(2): 277-284.
- [7] 朱宇林, 何斌, 杨钙仁, 罗柳娟, 刘红英, 刘莉, 等. 尾巨桉人工林营养元素积累及其生物循环特征[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(6): 8-11+66.
- [8] 何斌, 韦善华, 张伟, 唐天, 罗柳娟, 刘红英, 等. 黑木相思人工林营养元素生物循环特征[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(2): 9-12, 29.
- [9] 惠柳笛, 刘凡胜, 莫少壮, 南雅薇, 何斌, 张日施. 桂西北杉木人工林的生物量积累及生产力变化[J]. 亚热带农业研究, 2021, 17(2): 78-83.
- [10] 张日施, 黄振格, 何斌, 谢敏洋, 周刚, 韦明宝. 桂西北不同年龄阶段秃杉人工林的生物量积累及生产力变化[J]. 北京林业大学学报, 2021, 43(11): 20-27.
- [11] 庞赞松, 何斌, 付军, 李海星, 黄振格. 桂西南 13 年生大叶栎人工林生长规律分析[J]. 林业世界, 2020, 9(3): 126-130. <https://doi.org/10.12677/WJF.2020.93018>
- [12] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 1983: 272-273.
- [13] 黄振格, 何斌, 谢敏洋, 张日施, 惠柳笛. 连栽桉树人工林土壤氮素季节动态特征[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(9): 88-94.
- [14] 何宗明, 张任好, 邹双全, 岳永杰, 于占源, 刘艳丽. 福建柏和杉木人工林营养元素积累与分配[J]. 热带亚热带植物学报, 2003, 11(3): 205-210.
- [15] 陈振华, 李远航, 杨卫星, 廖倩苑, 何斌, 卢开成, 等. 米老排人工林营养元素积累及其分配格局[J]. 林业科技开发, 2015, 29(2): 133-136.
- [16] 项文化, 田大伦. 不同年龄阶段马尾松人工林养分循环的研究[J]. 植物生态学报, 2002, 26(1): 89-95.
- [17] 张希彪, 上官周平. 黄土丘陵区油松人工林与天然林养分分布和生物循环比较[J]. 生态学报, 2006, 26(2): 373-382.
- [18] 何斌, 黄恒川, 黄承标, 黄海仲, 吴庆标. 秃杉人工林营养元素含量、积累与分配特征的研究[J]. 自然资源学报, 2008, 23(5): 903-910.