

doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.021

## 云南松不同部位氮、磷、钾储量分配及异速生长研究

黄德帅<sup>1</sup>, 王雪纯<sup>1</sup>, 王瑜<sup>2,3</sup>, 蔡年辉<sup>2,3</sup>, 陈诗<sup>2,3</sup>, 邓桂香<sup>4</sup>

(1. 西南林业大学 林学院, 云南 昆明 650224; 2. 西南林业大学 西南山地森林资源保育与利用教育部重点实验室, 云南 昆明 650224; 3. 西南林业大学 云南省高校林木遗传改良与繁育重点实验室, 云南 昆明 650224; 4. 云南省林木种苗工作站, 云南 昆明 650215)

**摘要:**为更好进行云南松苗木培育,提升云南松苗木质量,通过对2年生云南松苗木生长性状及不同部位氮(N)、磷(P)、钾(K)储量进行统计以及相关性和异速生长分析,研究云南松氮、磷、钾储量。结果表明,云南松幼苗生长2年后,其地下部位氮、磷、钾分配大小依次为钾储量>氮储量>磷储量;氮、磷、钾在土壤中的分配比例为氮储量>磷储量>钾储量;地上部位氮、磷、钾储量占单株氮、磷、钾储量的比例为钾储量>磷储量>氮储量;磷和钾在地下部位的累积速率大于地上部位的累积速率。以期为云南松苗木培育提供理论参考,为实际生产提供一定理论依据。

**关键词:**云南松;氮储量;磷储量;钾储量;储量分配;异速生长

中图分类号:S791.257;S718.43;S758.52 文献标识码:A 文章编号:1671-3168(2024)01-0120-05

引文格式:黄德帅,王雪纯,王瑜,等.云南松不同部位氮、磷、钾储量分配及异速生长研究[J].林业调查规划,2024,49(1):120-124,181. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.021

HUANG Deshuai, WANG Xuechun, WANG Yu, et al. Distribution of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Reserves and Allometric Growth in Different Parts of *Pinus yunnanensis*[J]. Forest Inventory and Planning, 2024, 49(1): 120-124, 181. doi:10.3969/j.issn.1671-3168.2024.01.021

## Distribution of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Reserves and Allometric Growth in Different Parts of *Pinus yunnanensis*

HUANG Deshuai<sup>1</sup>, WANG Xuechun<sup>1</sup>, WANG Yu<sup>2,3</sup>, CAI Nianhui<sup>2,3</sup>,  
CHEN Shi<sup>2,3</sup>, DENG Guixiang<sup>4</sup>

(1. College of Forestry, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 2. Key Laboratory of Forest Resources Conservation and Utilization in the Southwest Mountains of China, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 3. Key Laboratory for Forest Genetic and Tree Improvement & Propagation in Universities of Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China; 4. Yunnan Forest Seedling Work Station, Kunming 650215, China)

**Abstract:** In order to better cultivate *Pinus yunnanensis* seedlings and improve the quality of *P. yunnanensis*, seedlings, the growth characters and reserves of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) in different parts of 2-year-old *P. yunnanensis* seedlings were studied by descriptive statistics, correlation analysis and allometric analysis. The results showed that the distribution of N, P and K in the under-

收稿日期:2022-08-03.

基金项目:云南省万人计划青年拔尖人才项目(09901-80201441).

第一作者:黄德帅(2001-),男,河南商城人.研究方向为森林培育. Email:h379403270@126.com

责任作者:邓桂香(1975-),女,广西全州人,高级工程师.从事林木种苗管理工作. Email:21239083@qq.com

ground parts of 2-year-old *P. yunnanensis* seedlings was  $K > N > P$ ; the proportion distribution of reserves in soil was  $N > P > K$ ; the proportion of aboveground parts to reserves per plant was  $K > P > N$ ; the accumulation rate of P and K in underground parts was faster than that in aboveground parts. The research results aim to provide theoretical reference for the cultivation of *P. yunnanensis* seedlings and provide a certain theoretical basis for actual production.

**Key words:** *Pinus yunnanensis*; nitrogen, phosphorus and potassium; reserves distribution; allometric growth

氮(N)、磷(P)、钾(K)作为森林生态系统中的重要组成元素,对生态系统中的物质循环、能量流动以及对树木植物的生长发育起着重要作用<sup>[1]</sup>。氮(N)元素是植物进行光合作用的营养元素,影响植物的生长发育<sup>[2]</sup>;磷(P)元素是生物细胞的构成成分,参与物质循环和能量代谢,是植物生长主要限制因子<sup>[3-4]</sup>;而钾元素可明显提高氮(N)元素在植物各器官的转移量和转移率<sup>[5]</sup>。同时,氮、磷、钾也是衡量土壤肥力和土地生产力的重要指标<sup>[6]</sup>,不同树种间氮、磷、钾的储量分配存在差异<sup>[7]</sup>,目前有关氮、磷、钾储量的分配在草本、灌木植物<sup>[8-9]</sup>和作物<sup>[10-11]</sup>间的研究较多,且多集中在土壤间氮、磷、钾储量分配研究<sup>[12-14]</sup>,在乔木及林木不同部位氮、磷、钾储量分配研究较少。为此,主要针对2年生云南松苗木地上、地下部位间的氮、磷、钾储量分配进行研究。

异速生长是生物体不同性状间生长速度不成比例的现象<sup>[15]</sup>,能揭示植物生长的内在规律<sup>[16]</sup>,氮、磷、钾是植物生长必需的营养元素,其在植物不同部位的分配决定着不同的功能,研究植物异速生长的关系可了解植物个体发育规律以及不同部位间的生长速度,进而更好地进行苗木培育<sup>[17]</sup>。

云南松(*Pinus yunnanensis*)是松科松属的喜光性乔木树种,生长迅速,在全国范围内大面积栽植,广泛分布于我国西南地区,是我国西南地区的乡土树种,也是主要造林树种,同时是主要经济树种<sup>[18]</sup>,但是云南松人工林生产力不高,一定程度可能是由于苗期苗木所需营养元素不足导致,因此研究云南松氮、磷、钾不同部位间储量分配有利于云南松苗木生长发育,及时为苗木补充营养,以期为云南松培育及后期造林奠定基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

试验地设在西南林业大学苗圃,位于东经 102°

45'41",北纬 25°04'00",海拔 1 950 m,属北亚热带半湿润高原季风气候,干湿季节分明,晴好天气多,四季温差小,年均温约 15℃,绝对最低温 -9℃,绝对最高温 32.5℃;年均降水量约 900 mm,年均相对湿度 68.2%;土壤为酸性低磷红壤。

### 1.2 实验材料

云南松种子来自弥渡云南松种子园,种子混合后,浸入清水中,用 0.5%高锰酸钾溶液浸泡 0.5 h 消毒后取出,用清水洗净,50℃温水浸泡种子 24 h 后再用清水浸泡 24 h,然后播种。苗期管理同常规的育苗管理。试验材料为 2 年生云南松,试验用土为育苗基质公司的腐殖土与苗圃内酸性红壤土按 2:1 混合均匀,每盆重量约 2.0 kg。试验前测定育苗基质氮、磷、钾浓度分别为 1.090、0.69、9.189 g/kg。

### 1.3 苗木测定

#### 1.3.1 形态指标测定

2020 年 12 月底,挖取云南松苗木,使用电子游标卡尺测其地径( $D$ ),精确到 0.01 mm,采用直尺测定其苗高( $H$ ),精确到 0.1 cm。

#### 1.3.2 氮、磷、钾储量测定

2020 年 12 月,随机选取 54 株长势均匀的苗木进行测定,重复 3 次。将样品(植物根、茎、叶、土壤)烘干后,研磨过筛后用于消煮。植物样采用  $H_2SO_4-H_2O_2$  法消煮,土壤样采用  $H_2SO_4-HClO_4$  法消煮,氮、磷、钾储量测定分别采用奈氏比色法、钼锑抗比色法和火焰光度法<sup>[19]</sup>,公式分别为:

$$\text{氮储量} = \text{氮含量} \times \text{生物量} \quad (1)$$

$$\text{磷储量} = \text{磷含量} \times \text{生物量} \quad (2)$$

$$\text{钾储量} = \text{钾含量} \times \text{生物量} \quad (3)$$

地上部位氮、磷、钾储量为植物茎、叶储量之和,地下部位为根的储量。

### 1.4 数据分析

异速生长关系可表示为  $y = ax^b$  的形式, $y$  为苗高, $x$  为与  $y$  对应苗木的地径; $a$  和  $b$  均为常数项。可将其线性转化为  $\log y = \log a + b \log x$ , $a$  为截距, $b$  为该直线的斜率,即异速生长指数,对所测定的数据

进行统计,分别使用 Excel 2013 计算平均值、标准差、变异系数等<sup>[20]</sup>。

采用 Excel 2013 进行数据整理汇总,采用 SPSS 25.0 软件进行统计和相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 2 年生云南松苗木生长性状及不同部位氮、磷、钾储量统计

对云南松苗木的苗高、地径以及地上部位、地下部位、单株氮、磷、钾储量进行统计,结果见表 1。

表 1 云南松生长性状及不同各部位氮、磷、钾储量  
Tab. 1 Growth characters and N, P and K reserves of *Pinus yunnanensis*

部位	指标	平均值 /mg	标准差	最小值 /mg	最大值 /mg	变异系数 /%
地下部位	氮储量	16.480	5.623	2.970	32.482	34.12
	磷储量	12.733	5.231	2.804	30.850	41.09
	钾储量	86.468	30.510	21.698	164.905	35.28
地上部位	氮储量	41.191	17.448	20.889	106.582	42.36
	磷储量	38.577	12.790	20.693	81.821	33.16
	钾储量	283.328	85.303	168.269	547.550	30.11
单株	氮储量	57.670	19.982	27.792	124.074	34.65
	磷储量	51.310	16.282	29.681	100.633	31.73
	钾储量	369.796	103.509	205.015	641.203	27.99
	苗高/cm	12.030	3.390	5.800	19.300	28.14
	地径/mm	15.420	2.770	8.070	20.840	17.96

结果表明,地上部位氮、磷、钾储量均值均高于地下部位,地上部位氮储量均值为 41.191 mg,约为地下部位氮储量的 2.5 倍;地上部位磷储量均值为 38.577 mg,约为地下部位磷储量的 3 倍;地上部位钾储量均值为 283.328 mg,约为地下部位钾储量的 3.5 倍。地下部位氮储量约占单株氮储量的 28.6%,地上部位氮储量约占单株氮储量的 71.4%;地下部位磷储量约占单株磷储量的 24.8%,地上部位磷储量约占单株磷储量的 75.25%;地下部位钾储量约占单株钾储量的 23.4%,地上部位钾储量约占单株钾储量的 76.6%(图 1)。地下、地上部位及单株氮、磷、钾储量关系均为:钾储量>氮储量>磷储量,由此可见,在云南松不同部位钾储量最高,磷储量最低,且氮、磷、钾主要集中分布在地上部位。

从变异系数可以看出,2 年生云南松苗木生长

性状与各部位氮、磷、钾储量变异系数在 17.96%~42.36%间波动,平均变异系数为 30.16%;地下部位变异系数最大的为磷储量,达 41.09%;地上部位变异系数最大的为氮储量,达 42.36%;地下部位氮储量变异系数低于地上部分,说明地下部位氮储量相较于地上部位稳定,而地下部位磷储量、钾储量变异系数均高于地上部位,说明地下部位磷、钾储量不及地上部位稳定;单株变异系数最大的也为氮储量;综合分析可知生长性状中,地径的变异系数较小,生长较稳定。氮储量变异系数较大,稳定性小,可利用潜力较大。

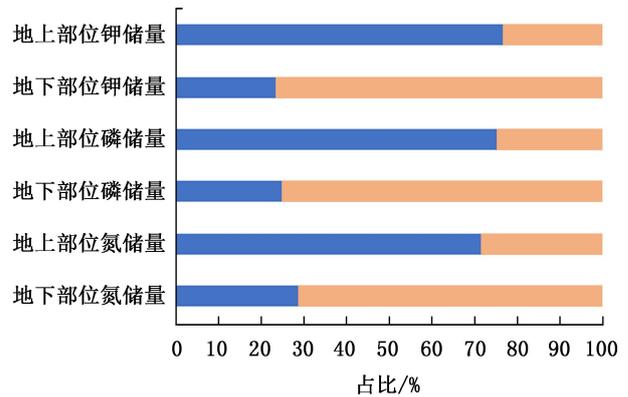


图 1 不同部位氮、磷、钾储量均值占单株储量均值比例  
Fig. 1 Proportion of N, P and K reserves in each part to the average reserves per plant

### 2.2 2 年生云南松苗木各部位氮、磷、钾储量相关性分析

对 2 年生云南松苗木各部位氮、磷、钾储量进行相关性分析,各部位氮、磷、钾储量相关系数分析结果见表 2。

结果表明,除地下部位钾储量与地上部位氮储量间无相关关系外,其他指标两两间均存在相关关系。其中,地下部位氮储量与地上部位氮储量呈显著性正相关( $P<0.05$ ),其他指标间均呈极显著正相关关系( $P<0.01$ );说明各部位氮、磷、钾储量之间的研究具有意义,且相互影响。相关程度表明,地上部位钾储量与单株钾储量相关性最高,为 0.966。地下部位磷储量与地上部位氮储量相关性最低,为 0.277。单株氮、磷、钾储量均与地上部位氮、磷、钾储量间呈极显著正相关关系( $P<0.01$ ),可见,地上部位氮、磷、钾储量是单株氮、磷、钾储量的重要组成部分。据此,在生产过程中可合理地控制地上部位氮、磷、钾储量以保证云南松苗木更好生长。

表 2 云南松不同部位氮、磷、钾储量相关性分析

Tab. 2 Correlation analysis of N, P and K reserves in different parts of *Pinus yunnanensis*

指标	地下部位 氮储量	地上部位 氮储量	单株氮 储量	地下部位 磷储量	地上部位 磷储量	单株磷 储量	地下部位 钾储量	地上部位 钾储量	单株钾 储量
地下部位氮储量	1.000								
地上部位氮储量	0.322 *	1.000							
单株氮储量	0.563 **	0.964 **	1.000						
地下部位磷储量	0.552 **	0.277 *	0.397 **	1.000					
地上部位磷储量	0.408 **	0.681 **	0.710 **	0.554 **	1.000				
单株磷储量	0.498 **	0.624 **	0.685 **	0.757 **	0.964 **	1.000			
地下部位钾储量	0.751 **	0.201	0.387 **	0.866 **	0.542 **	0.704 **	1.000		
地上部位钾储量	0.413 **	0.772 **	0.791 **	0.511 **	0.956 **	0.915 **	0.482 **	1.000	
单株钾储量	0.562 **	0.696 **	0.766 **	0.676 **	0.947 **	0.961 **	0.692 **	0.966 **	1.000

注: \*\* 表示在 0.01 级别(双尾),相关性显著; \* 表示在 0.05 级别(双尾),相关性显著。

### 2.3 云南松不同部位氮、磷、钾储量异速生长分析

云南松地上与地下部位氮、磷、钾储量异速生长关系如表 3 所示。

表 3 地上与地下氮、磷、钾储量异速生长关系

Tab. 3 Allometric growth relationship of N, P and K reserves between aboveground and underground parts

性状	$R^2$	$P$	斜率	95% 置信区间	$F$	$P_{-1.0}$	类型
地下与 地上部位 氮储量	0.116	0.012	1.076	[0.830, 1.393]	0.312	0.579	I
地下与 地上部位 磷储量	0.269	0.000	1.293	[1.022, 1.637]	4.809	0.033	A
地下与 地上部位 钾储量	0.253	0.000	1.391	[1.096, 1.766]	7.873	0.007	A

注:  $P_{-1.0}$  表示斜率与理论值 1.0 的差异显著性; A 表示异速生长关系; I 表示等速生长关系。

由表 3 可以看出,地上与地下部位间磷储量和钾储量均呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),且地下与地上部位的斜率与理论值 1.0 有显著差异的异速生长关系,其中磷储量、氮储量的地上与地下部位的斜率均为大于理论值 1.0 的异速生长,说明云南松苗木中地下部位磷、钾储量积累速度大于地上部位的积累速度,同时地下部位与地上部位氮储量的斜率为与理论值 1.0 差异不显著的等速生长关系。

### 3 讨论与结论

植物在生长发育过程中,不同部位对资源的获

取及利用存在竞争关系,只有将资源合理地分配给各个部位,才能适应生存,植物个体发育过程中,不同部位协调发展是植物的一种生活史对策<sup>[21]</sup>。对云南松苗木各部位氮、磷、钾储量进行统计分析,结果表明云南松苗木地上部位氮、磷、钾储量均值均高于地下部位,地下部位中钾储量>氮储量>磷储量,说明地下部位钾储量积累最多,而对于单株生长来说,地下部位氮、磷、钾储量占单株储量比例大小为氮储量>磷储量>钾储量,说明相较于钾元素,地下部位氮元素对单株生长影响较大。这可能与氮元素对植物生长发育具有促进作用有关,也可能是由于土壤氮元素对云南松地下部位造成的影响<sup>[22]</sup>,地上部位中钾储量>氮储量>磷储量;地上部位氮、磷、钾储量占单株储量比例大小为钾储量>磷储量>氮储量;可见地上部位钾物质积累最多且占单株储量比例较高,这可能与交换性钾的互作作用有关<sup>[23]</sup>。综合分析可知云南松苗木生长主要靠钾积累,其次是氮积累,以磷积累功能最弱。地上部位为氮、磷、钾物质的储存库。研究表明,植物氮、磷、钾储量与生物量关系密切<sup>[24]</sup>,云南松前期苗木生长所需物质主要分配给地上部位,以更好地获取光能,进行营养物质的积累,为后期生长发育奠定物质基础<sup>[25]</sup>,这与本研究结果相似。

相关性分析研究表明,除地上氮储量与地下钾储量间无相关关系外,其余地上、地下部位间均存在相关关系,且绝大多数呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),说明云南松不同部位氮、磷、钾储量存在密切联系,各指标间存在相互促进作用,这也就印证了植物在生长发育过程中各部位协调发展的结论<sup>[21]</sup>。地上钾储量与单株钾储量相关性最高,为 0.966,说明地

上钾储量对单株钾储量影响较大,是单株钾储量的重要组成部分,其次地上氮储量与单株氮储量间,地上磷储量与单株磷储量间均呈极显著正相关,相关系数达 0.964,综合分析可知,地上部位氮、磷、钾储量与单株氮、磷、钾储量间均呈极显著相关,可见在云南松苗木生长前期,地上部位氮、磷、钾储量对单株氮、磷、钾积累贡献最大。再一次证明前期云南松生长发育重心在地上部位,根据地上与地下部位云南松氮、磷、钾储量相关性这一辅助指标可选择优质良木。

苗木的不同部位具有不同功能,地上部位主要通过固定  $\text{CO}_2$  进行光合作用,并进行养分积累和运输作用;地下部位主要维持和支撑地上株体,不同部位的物质分配常受植株种类、大小、年龄、温度及光照等影响,并以异速生长形式表现出来<sup>[26]</sup>。在 2 年生云南松不同部位氮、磷、钾储量异速生长关系中,地下与地上部位磷、钾储量均呈极显著正相关,且均表现出异速生长关系,分析其斜率可知,地下部位磷、钾储量增长速度均快于地上部位。但结合地下部位与地上部位氮、磷、钾储量占比可知,地下部位的氮、磷、钾储量远少于地上部位氮、磷、钾储量,可见地下部位氮、磷、钾储量积累到一定程度时将维持一定平衡,不再继续增长,这也进一步印证了苗木不同部位协调发展的机制,且地下与地上部位间钾储量呈极显著差异( $P < 0.01$ ),说明钾元素在云南松苗木不同部位间相对不稳定。这与王轶浩等<sup>[7]</sup>研究结果不一致。而地下与地上部位间氮储量呈差异不显著的等速生长关系,说明氮元素在云南松苗木生长所需组成元素中具有相对稳定性。在植物个体生长发育中,植物会在消耗物质与获取资源方面作出权衡,以适应环境进行生长<sup>[27]</sup>。本研究表明植物地上部位氮、磷、钾储量对单株氮、磷、钾储量分配具有重要影响作用,这与武瑞鑫等<sup>[28]</sup>研究相似。目前,对于氮、磷、钾储量的异速生长关系研究较少,因此,植物氮、磷、钾储量异速生长关系仍有待进一步研究。

本研究结果对云南松如何提高不同部位氮、磷、钾储量,以及如何更好地培育云南松苗木提供理论基础,也为云南松不同部位氮、磷、钾储量异速生长关系研究奠定基础。

## 参考文献:

- [1] 张建锋,张旭东,周金星,等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究,2005(6):32-34,111.
- [2] 苗艳明,吕金枝,毕润成. 不同功能性植物叶氮含量与光合特性的关系研究[J]. 植物研究,2012,32(4):425-529.
- [3] VANCE C P, UHDE-STONE C, ALLAN D L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource [J]. *New Phytologist*, 2003(157):423-447.
- [4] SEPASKHAH A R, BARZEGAR M. Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment [J]. *Agricultural Water Management*, 2010(98):38-44.
- [5] 刘晓燕,何萍,金继运. 钾在植物抗病性中的作用及机理的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报,2006(3):445-450.
- [6] SISTLA S A. Stoichiometric flexibility as a regulator of carbon and nutrient cycling in terrestrial ecosystems under change [J]. *New Phytologist*, 2012,196(1):68.
- [7] 王轶浩,崔云凤,薛兰兰. 重庆武陵山区柏木幼、中龄林的碳、氮、磷、钾储量及其分配特征[J]. 四川林业科技, 2018,39(4):1-7,30.
- [8] 邵学新,李文华,吴明,等. 杭州湾潮滩湿地 3 种优势植物碳氮磷储量特征研究[J]. 环境科学,2013,34(9):3451-3457.
- [9] 曾艳,伊晓云,李延升,等. 氮肥对夏秋季茶树吸收根生物量和养分储量的影响[J]. 生态学报,2016,36(2):411-419.
- [10] 王凯博,陈怡平,郑太波,等. 施肥、起垄和品种对黄土高原新造耕地马铃薯氮磷钾吸收与分配的影响[J]. 干旱地区农业研究,2022,40(2):144-152.
- [11] 冯蕾,童成立,石辉,等. 不同氮磷钾施肥方式对水稻碳、氮累积与分配的影响[J]. 应用生态学报,2011,22(10):2615-2621.
- [12] 柳叶,任悦,高广磊,等. 沙地樟子松人工林土壤碳氮磷储量分布特征[J]. 中国水土保持科学(中英文), 2021,19(6):27-34.
- [13] 冯俊芳. 采煤沉陷对土壤氮磷钾库扰动影响研究[D]. 晋中:山西农业大学,2019.
- [14] 王娜. 东北三省春玉米种植区土壤碳氮磷钾的变化及其平衡特征[D]. 咸阳:西北农林科技大学,2016.
- [15] 程栋梁. 异速生长关系在生物学中的应用[J]. 沈阳大学学报,2009,21(6):12-15.
- [16] 黄菊莹,余海龙. 四种荒漠草原植物的生长对不同氮添加水平的响应[J]. 植物生态学报,2016,40(2):165-176.
- [17] 江洪,林鸿荣. 云南松异速生长现象的初步研究[J]. 林业科学,1984(1):80-83.

(下转第 181 页)

1)在山区、林区等作业时,GPS 卫星信号被阻挡的几率较大,信号较差,卫星空间结构差,易造成失锁,重新初始化困难,影响正常作业<sup>[10]</sup>。

2)RTK 作业模式要求高程的转换必须精确,但稻城县处于高原地区,高程起伏较大,使得 GPS 大地高程转换至海拔高程的工作相对较为困难,极大地降低取得的高程精度<sup>[11]</sup>。

3)RS 遥感数据受时空限制,普遍分辨率较低。同时,遥感数据更新周期过长,部分新采伐地块不能在影像中及时反映出来,为森林资源火灾风险评估带来不准确性。因此,要想直接将遥感影像用于布设标准地或区划大样地困难。

4)RTK 仪器较为笨重,稻城属高海拔、高山峡谷区域,携带不便。

基于 3S 技术的森林火灾风险普查调查方法极大地提高了调查效率,传统的林业调查多为地形图调查,与遥感卫星影像相比,调查的误差较大,且效率低下<sup>[8]</sup>。结合 RS 和 GPS 技术核实并采集火灾风险普查相关数据信息,同时输入属性信息,使外业调查更准确高效,同时也减少内业录入工作量。使用 GIS 的属性分析和空间分析功能进行内业工作处理,极大地提高内业处理效率,也能提高成果的可视化效果<sup>[9]</sup>。

## 参考文献:

- [1] 周佳雯,高吉喜,高志球,等. 森林生态系统水源涵养服务功能解析[J]. 生态学报,2018,38(5):1679-1686.
- [2] 焦文月. 森林经营管理对碳汇的作用和影响[J]. 广东蚕业,2022,56(1):34-36.
- [3] 楚艳萍,蒋瑶,王旭. 森林火灾危害及其预防措施[J]. 北京农业,2015(36):117-118.
- [4] 李建松. 地理信息系统原理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2006:1-24.
- [5] 郭宛予,孙素芬,冯仲科,等. 基于 3S 技术的园林绿化调查方法与分析——以北京市通州区为例[J]. 江苏农业科学,2019,47(10):162-166.
- [6] 李增元,陈尔学. 中国林业遥感发展历程[J]. 遥感学报,2021,25(1):292-301.
- [7] 黄国森,阮芳. 基于镶嵌数据集的多源影像标准分幅裁剪[J]. 测绘和空间地理信息,2021,44(3):124-126.
- [8] 李春干,代华兵. 中国森林资源调查:历时、现状与趋势[J]. 世界林业研究,2021(6):72-80.
- [9] 桑开军. GIS 技术林业应用实践研究[J]. 绿色科技,2019(19):121-122,125.
- [10] 余小龙,胡学奎. GPS RTK 技术的优缺点及发展前景[J]. 测绘通报,2007(10):39-44.
- [11] 乔永利. GPS-RTK 在矿山测量中的应用研究[J]. 应用技术,2007(10):101-102,108.

责任编辑:陈旭

(上接第 124 页)

- [18] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第 7 卷[M]. 北京:科学出版社,1978:255-259.
- [19] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [20] 王丹,李江飞,李亚麒,等. 不同苗龄云南松异速生长及其表型可塑性[J]. 中南林业科技大学学报,2022,42(1):36-44.
- [21] 朱强根,金爱武,王意锟,等. 不同营林模式下毛竹枝叶的生物量分配:异速生长分析[J]. 植物生态学报,2013,37(9):811-819.
- [22] 李聪,吕晶花,陆梅,等. 文山自然保护区典型植被土壤碳氮储量变化特征[J]. 生态学杂志,2021,40(11):3531-3542.
- [23] SANYAL D,BRAR B S,DHERI G S. Organic and inorganic integrated fertilization improves non-exchangeable potassium release and potassium availability in soil[J]. Communications in Soil Science & Plant Analysis,2019(50):2013-2022.
- [24] QUAN W M,HAN J D,SHEN A L,et al. Uptake and distribution of N,P and heavy metals in three dominant salt marsh macrophytes from Yangtze River estuary, China[J]. Marine Environmental Research,2007,64(1):21-37.
- [25] 蔡年辉,王大玮,黄文学,等. 云南松苗木生长与生物量的相关性及其通径分析[J]. 植物研究,2019,39(6):853-862.
- [26] 毛圆圆,郝俊,龙水义,等. 煤矸石山不同种植年限香根草生物量分配及异速生长分析[J]. 广西植物,2020,40(6):802-811.
- [27] 杨琼,李征珍,傅强,等. 胡杨(*Populus euphratica*)叶异速生长随发育的变化[J]. 中国沙漠,2016,36(3):659-665.
- [28] 武瑞鑫,邵新庆,胡新振,等. 披针叶黄华茎叶性状对不同草地管理措施的响应及其生长关系研究[J]. 草地学报,2015,23(3):476-482.

责任编辑:陈旭