

黔东南皂角种群结构和数量动态特征

侯黔灵¹, 赵 安^{1*}, 梁有发²

(1. 黔东南州林业科学研究所, 贵州 凯里 556000; 2. 黔东南公益林中心, 贵州 凯里 556000)

摘要:为揭示黔东南皂角种群结构特征和数量动态变化,采用“空间代替时间”方法和匀滑修正技术,编制径级结构图、种群静态生命表,绘制死亡率曲线、存活曲线、消失率曲线和生存分析函数曲线及时间序列预测模型。研究发现种群径级结构显示总体为衰退型;种群存活曲线呈凹型,属Ⅲ型,在1—3龄级表现为幼树期死亡率较高,3龄级后个体的数量趋于稳定,存活率相对较高;生存率 $S_{(i)}$ 随着龄级增加而下降,累计死亡率 $F_{(i)}$ 随着龄级增加而增加,变化幅度均在1—3龄级表现明显;死亡密度 $f_{(i)}$ 和危险率 $\lambda_{(i)}$ 在1龄级最大,分别为34%和98.51%,随着龄级增加均呈下降趋势。数量变化动态指数 $V_{pi}=0.38>0$,表明无外界干扰时,种群属于增长型种群, $V'_{pi}=0.001>0$,说明皂角种群对外界干扰敏感,受外界随机干扰时种群增长趋势不明显;在未来2,4,6,8个龄级时间后,预测结果显示,如果不对皂角进行人工干预、减少外界干扰和增加幼树数量,皂角种群最终走向衰退。

关键词:皂角;空间代替时间;种群数量动态;静态生命表

中图分类号:Q948.15⁺7;Q948.2;S792.99 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-7380.2024.05.002

Population structure and quantitative dynamics of *Gleditsia sinensis* in Southeast Guizhou

Hou Qianling¹, Zhao An^{1*}, Liang Youfa²

(1. Qiandongnan Institute of Forestry, Kaili 556000, China;

2. Qiandongnan Prefecture Public Welfare Forest Management Center, Kaili 556000, China)

Abstract:In order to reveal the structural characteristics and quantitative dynamics of the population of *Gleditsia sinensis* in Southeast Guizhou, the “space replacing time” method and smoothing correction technique were used to compile a diameter class structure diagram and a static life table of the population. Mortality curves, survival curves, disappearance rate curves, survival analysis function curves, and time series prediction models were further plotted. The results showed that the population size class structure exhibited a declining pattern overall; The survival curve of the population showed a concave shape, belonging to Type III. In the age range of 1-3, the mortality rate was higher during the sapling stage, and after that, the number of individuals tended to stabilize, resulting in a relatively high survival rate; The survival rate $S_{(i)}$ decreased with age grade, while the cumulative mortality rate $F_{(i)}$ increases with age grade, with significant changes observed in age grades 1-3; Death density $f_{(i)}$ and risk rate $\lambda_{(i)}$ were the highest at age 1, accounting for 34% and 98.51%, respectively, showed a decreasing trend with increasing age. The dynamic index of quantity change $V_{pi}=0.38>0$ indicated that the population belongs to a growth type without external interference, and $V'_{pi}=0.001>0$ indicated that the *Gleditsia sinensis* population was sensitive to external interference, and unobvious in the population growth trend is not obvious when subjected to random external interference; For Age 2, 4, 6, and 8 groups in the future, the predicted results showed that if artificial intervention not carried out, external interference not reduced, and the number of young trees not increased, then the population would eventually decline and even perish.

Key words:*Gleditsia sinensis*; Space replacing time; Population dynamics; Static life table

收稿日期:2024-06-04;修回日期:2024-08-21

基金项目:2021年度及2022年度黔东南州科技计划项目“黔东南州皂荚种质资源调查及收集保存”(黔东南科合基础[2021]06号)

作者简介:侯黔灵(1984-)男,河南新乡人,工程师,大学本科毕业。主要从事林业工作。

*通信作者:赵 安(1995-)男,贵州沿河人,助理工程师,硕士。主要从事林业工作。

种群作为物种在自然界中存在的基本单元,承担着物种生存、繁殖和进化的关键角色。种群结构与数量的动态变化是种群生态学研究的核心内容,它反映了种群内个体的年龄、数量、存活状况和繁殖能力等信息^[1],是植物种群个体生存能力与外界环境因素相互作用的结果。种群生态学研究有助于了解种群的过去干扰和未来趋势,为濒危植物的保护和管理提供科学依据^[2-5]。

皂角(*Gleditsia sinensis*)是豆科皂荚属的落叶乔木,是中国特有的乡土树种之一,树高 15—20 m,树冠可达 15 m。每年 5 月开花,10 月果实成熟^[6]。皂角树在中国有着广泛的分布,主要生长在海拔 650—2 500 m 的平原、山谷及丘陵地区,尤其喜欢温暖湿润的气候和肥沃适当的湿润土壤。其果实、刺和叶子都含有丰富的药用价值;皂角刺具有活血祛瘀、消肿溃脓的功能,而皂角本身则具有润肠通便、祛风散热、化痰散结的效果。此外,皂角还被广泛应用于日化工业中,如制作清洁剂等。皂角的种子也可以用来提取皂甙,其在医药、洗涤用品及保健品中有重要的应用^[7]。

本文以黔东南州皂角种群为研究对象,主要围绕种群结构、数量状态、生存分析理论、种群更新与维持机制等方面展开研究。通过对种群生命表的分析,结合野外调查数据,旨在揭示种群动态变化规律,并为皂角的有效管理和合理利用提供科学依据。

1 研究区概况

黔东南州位于贵州省东南部,地理位置为东经 107°17'20"—109°35'24",北纬 25°19'20"—27°31'40",年均气温在 14.6—18.5℃,年平均降水量 1 010.4—1 367.5 mm,年平均日照 1 048.5—1 306.5 h,年平均湿度 78%—83%,年无霜期 273—327 d。土壤主要以红壤、黄壤、黄红壤等为主。黔东南州森林资源丰富,是贵州省主要用材林基地,区域内植物群落主要分布以杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)为主的针叶林和以栎类(*Quercus* sp.)为主的阔叶林。目前,黔东南州皂角主要分布在自然寨周围或房前屋后,未发现成群分布。

2 研究方法

2.1 种群调查

通过查阅文献资料,结合全州 16 县(市)档案

资料,确定皂角分布位置,在全州范围内对皂角进行每木检尺,记录皂角的分布位置(经纬度)、伴生树种、土壤质地、胸径、树高、冠幅、枝下高和生长状况等基本信息。

2.2 种群龄级划分

采用“空间代替时间”的方法,以胸径划分龄级来估算,按照调查数据和皂角生长特点,共划分为 11 个龄级:1($DBH < 15$ cm)、2($15\text{ cm} \leq DBH < 30$ cm)、3($30\text{ cm} \leq DBH < 45$ cm)、4($45\text{ cm} \leq DBH < 60$ cm)、5($60\text{ cm} \leq DBH < 75$ cm)、6($75\text{ cm} \leq DBH < 90$ cm)、7($90\text{ cm} \leq DBH < 105$ cm)、8($105\text{ cm} \leq DBH < 120$ cm)、9($120\text{ cm} \leq DBH < 135$ cm)、10($135\text{ cm} \leq DBH < 150$ cm)、11($DBH \geq 150$ cm),以各龄级的皂角株数编制静态生命表,分析种群动态变化^[2-5]。由于静态生命表反映的是特定时间下多个世代重叠的年龄动态,因而编制过程中出现死亡率为负的情况不符合静态生命表编制的假设,本次调查数据 1 龄级(12 株) < 2 龄级(36 株) < 3 龄级(42 株) < 4 龄级(60 株) < 5 龄级(165 株),故参照谭菊荣等^[8]研究方法对 5 龄级及以后龄级内现有个体数 A_x 进行匀滑处理,得到修正匀滑后 5 龄级及以后龄级内的存活个体数 a_x ,拟合时以龄级为自变量,个体数量为因变量,最后得到拟合方程为

$$y = 233.62x^{-1.838} (R^2 = 0.8471)。$$

2.3 静态生命表编制

以皂角不同龄级的个体数量分布特征,编制种群静态生命表。表中参数如下: x 为龄级数, a_x 为 x 龄级内现存的个体数; a_0 是 a_x 初始值; l_x 为在 x 龄级标准化的存活个体数(一般转化为 1 000), $l_x = (a_x/a_0) \times 1\,000$; d_x 为从 x 到 $x+1$ 的龄级间隔期内标准化死亡数, $d_x = l_x - l_{x+1}$; q_x 为 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内的死亡率, $q_x = (d_x/l_x) \times 100\%$; L_x 为从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内仍存活个体数, $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$; T_x 为 x 龄级至超过 x 龄级存活个体总数, $T_x = \sum L_x$; e_x 为进入 x 龄级的个体生命期望或平均期望寿命, $e_x = T_x/l_x$; K_x 为各径级组致死力(损失度),即种群消失率, $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$; S_x 为种群存活率, $S_x = l_{x+1}/l_x$ 。生命表中的各项均互相关联,由野外调查获得实测值 a_x 或 d_x 求得^[2,8-10]。

2.4 生存分析方法

以皂角种群静态生命表为基础,采用种群生存率函数 $S_{(i)}$ 、累计死亡率函数 $F_{(i)}$ 、死亡密度函数 $f_{(i)}$ 和危险率函数 $\lambda_{(i)}$ 4 个函数进行种群生存分

析。表达式如下:

$$S_{(i)} = S_1 S_2 S_3 \cdots S_i$$

$$F_{(i)} = 1 - S_i$$

$$f_{(ii)} = [S_{(i-1)} - S_{(i)}] / h_i = S_{(i-1)} \times q_i / h_i$$

$$\lambda_{(ii)} = 2(1 - S_i) / [h_i(1 + S_i)]$$

式中, S_i 代表种群存活率; q_i 代表死亡率; h_i 代表龄级宽度^[11]。

2.5 种群数量动态量化方法

本次研究皂角种群内两相邻龄级间个体数量变化动态指数(V_n)、整个种群结构的数量变化动态(忽略外部干扰)(V_{pi})和考虑未来可能收到外部干扰时,影响到种群年龄结构动态指数(V'_{pi})来客观地分析种群数量动态变化趋势。表达式如下:

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \times 100\%$$

$$V_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n)}{\sum_{n=1}^{k-1} S_n}$$

$$V'_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n)}{k \times \min(S_1, S_2, \cdots, S_k) \times \sum_{n=1}^{k-1} S_n}$$

式中, V_n 表示种群从 n 到 $n+1$ 龄级间个体数量的变化动态指数; V_{pi} 表示忽略外部干扰时整个种群的数量变化动态指数; S_n 与 S_{n+1} 分别为第 n 、第 $n+1$ 龄级的个体数量; k 表示种群龄级数量。当 V_n 、 V_{pi} 或 V'_{pi} 取正、负、零值时, 分别表示种群内两相邻龄级间个体数量(或整个种群年龄结构)的增长、衰退、稳定的结构动态关系。若考虑种群未来受到外部干扰影响时, 种群年龄结构动态指数(V'_{pi})还取决于龄级数量(k)及各龄级个体数(S_n), 种群年龄结构动态指数也可作为衡量种群结构动态对随机干扰的敏感性指标^[12]。

2.6 种群数量动态的时间序列预测模型

采用时间序列分析中的一次移动平均法对皂角种群年龄结构动态进行模拟和预测, 表达式如下:

$$M_n^{(1)} = \frac{1}{t} \sum_{k=n-t+1}^n X_k$$

式中, (1) 代表 1 次移动平均, t 表示需要预测的未来时间年限(本研究为龄级时间), n 为龄级, X_k 表示当前 k 龄级个体数, M_n 表示未来 t 个龄级时间

后 n 龄级的个体数。以皂角种群的实际调查数据中各龄级对应的个体数为基准年数据, 对皂角各龄级在未来 2, 3, 6 和 8 个龄级时间的个体数量进行预测^[13]。

3 结果与分析

3.1 种群年龄结构

本次共调查到皂角 495 株, 其中最大胸径为 200 cm, 最小胸径为 7 cm, 种群中各个年龄级的植株均有存在。1—5 龄级个体数量占有所有个体数的 63.64%, 6—11 龄级个体数量占有所有个体数的 36.36%; 5 龄级个体数量最多, 有 165 株, 占有所有个体数的 33.33% (如图 1)。种群结构总体表现为衰退型种群。

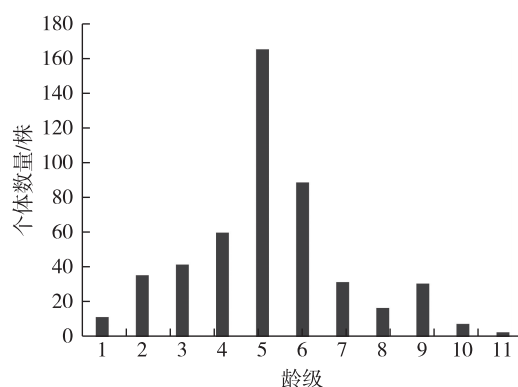


图1 皂角种群年龄结构

3.2 种群静态生命表

由表 1 可以看出, 皂角在不同龄级范围内个体数量存在明显差异, 总体表现为随着龄级的增长呈先上升后下降趋势, 表明皂角受外界干扰的因素较大。皂角种群死亡率 q_x 和消失率 K_x 在 1 龄级时出现了最大值, 均表现出随着龄级的增长 q_x 和 K_x 呈下降趋势 (如图 2)。而存活率 S_x 则随龄级的增长呈上

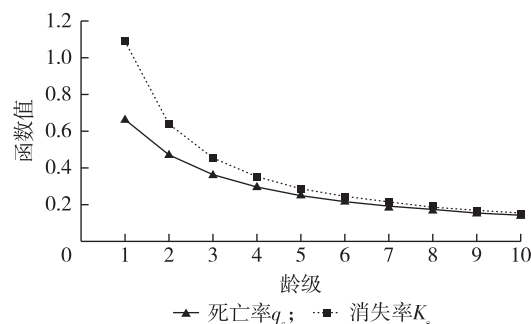


图2 皂角种群死亡率(q_x)和消失率曲线(K_x)

升趋势,表明皂角种群在幼树时期种群容易受外界
的干扰,在外界干扰下存活率较低。 e_x 反映的是 x
龄级开始时皂角个体的生命期望, e_x 随着龄级的增

加呈先上升后下降趋势,5 龄级 e_x 值最大,为 3.34,
表明皂角在此龄林阶段的抗外界干扰能力最强,种
群此时最为稳定。

表 1 皂角静态生命表

龄级	径级/cm	A_x	a_x	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x (死亡率)/%	L_x	T_x	e_x	K_x (消失率)/%	S_x
1	$DBH<15$	12	196	1 000.00	6.91	664.12	0.66	667.94	1 430.85	1.43	1.09	0.34
2	$15\leq DBH<30$	36	66	335.88	5.82	158.45	0.47	256.65	762.91	2.27	0.64	0.53
3	$30\leq DBH<45$	42	35	177.42	5.18	64.61	0.36	145.12	506.26	2.85	0.45	0.64
4	$45\leq DBH<60$	60	22	112.81	4.73	33.41	0.30	96.11	361.14	3.20	0.35	0.70
5	$60\leq DBH<75$	165	16	79.40	4.37	19.81	0.25	69.50	265.04	3.34	0.29	0.75
6	$75\leq DBH<90$	89	12	59.59	4.09	12.84	0.22	53.17	195.54	3.28	0.24	0.78
7	$90\leq DBH<105$	32	9	46.75	3.84	8.86	0.19	42.32	142.37	3.05	0.21	0.81
8	$105\leq DBH<120$	17	7	37.89	3.63	6.41	0.17	34.69	100.05	2.64	0.19	0.83
9	$120\leq DBH<135$	31	6	31.48	3.45	4.81	0.15	29.07	65.36	2.08	0.17	0.85
10	$135\leq DBH<150$	8	5	26.67	3.28	3.72	0.14	24.81	36.29	1.36	0.15	0.86
11	$DBH\geq 150$	3	5	22.95	3.13	—	—	11.48	11.48	0.50	—	—

3.3 种群存活曲线、死亡曲线以及消失率曲线

存活曲线是以种群存活个体数来描述特定年
龄死亡率,按 Deevey^[14] 的划分可分为 3 种基本类
型,Ⅰ型是凸线型,属于该型的种群绝大多数都是
能活到其平均生理寿命,早期死亡率较低,但当活
到平均生理年龄时,在短期内全部死亡;Ⅱ型是直
线型,该型种群各龄级个体死亡率基本相同;Ⅲ型
是凹线型,该型幼龄时期死亡率高,成年后死亡率
较低。如图 3 所示,皂角种群的存活曲线呈凹型,属
Ⅲ型,在 1—3 龄级表现为幼树期死亡率较高,3 龄
级后个体的数量趋于稳定,存活率相对较高。

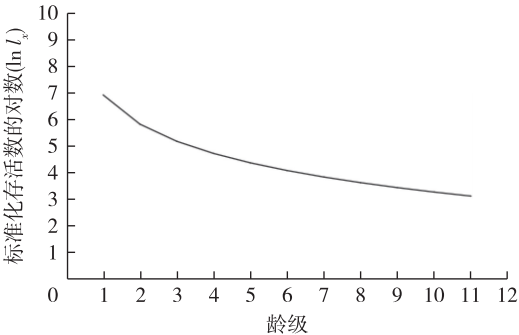


图 3 皂角种群标准化存活数的对数

3.4 种群生存分析

如图 4 所示,生存率函数值 $S_{(i)}$ 随着龄级增加
而下降,累计死亡率函数值 $F_{(i)}$ 则随着龄级增加而
增加,变化幅度均在 1—3 龄级表现明显,3 龄级后

变化幅度逐渐减弱并趋于稳定。就累计死亡率而
言,种群到 3 龄级时就已达到 89%,而生存率函数除
了 1 龄级为 34%外,其他各龄级均在 20%以下。死
亡密度 $f_{(ii)}$ 在 1 龄级最大,为 2.27%,随着龄级增加
呈下降趋势,到 3 龄级后变化趋于稳定。危险率
 $\lambda_{(ii)}$ 随着龄级增加呈上升趋势,11 龄级达
到 13.33%。

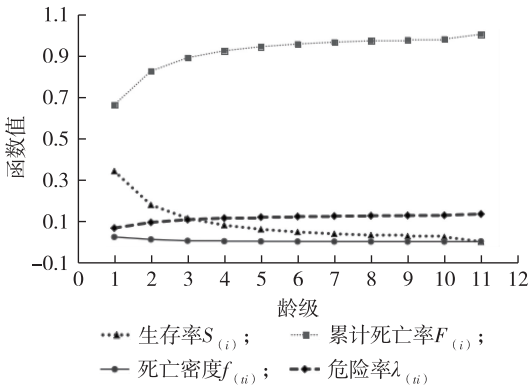


图 4 皂角种群生存率函数($S_{(i)}$)、累计死亡率函数($F_{(i)}$)、
死亡密度函数($f_{(ii)}$)和危险率函数($\lambda_{(ii)}$)曲线

3.5 种群动态指数

如表 2 所示,各龄级种群动态指数均大于 0,说
明皂角种群在各种环境因素的影响下形成了相应
的生存策略,能较好地适应当地的环境,在一定时
期内保持相对稳定。忽略外部干扰时整个种群的

数量变化动态指数 $V_{pi}=0.38>0$,表明该种群属于增长型种群。当考虑外部干扰影响时, $V'_{pi}=0.001>0$,且接近于 0,说明皂角种群对外界干扰敏感,受外界随机干扰时种群增长趋势不明显。

表 2 皂角种群动态指数

指标	V_n											V_{pi}	V'_{pi}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
指数值	130.34	10.46	2.25	0.74	0.31	0.15	0.08	0.05	0.03	0.02	0.10	0.38	0.01

3.6 种群时间序列预测

如表 3 所示,在未来 2,4,6 和 8 个龄级时间后,2,3,4,5 龄级个体数都在未来 2,4 龄级时间后减少;6—10 龄级个体数分别在未来 2,4,6 和 8 龄级时间后不同龄级出现;11 龄级个体数在未来 2,4,6 和 8 龄级时间后依次增加。因此,可以预测到,在未来时间里,如果不对皂角进行人工干预、减少外界干扰和增加幼树数量,皂角种群最终走向衰退并灭亡。

表 3 皂角种群时间序列分析预测

龄级	原始数据	$M_2^{(1)}$	$M_4^{(1)}$	$M_6^{(1)}$	$M_8^{(1)}$
1	12				
2	36	24			
3	42	39			
4	60	51	38		
5	165	113	76		
6	89	127	89	67	
7	32	61	87	71	
8	17	25	76	68	57
9	31	24	42	66	59
10	8	20	22	57	56
11	3	6	15	30	51

4 讨论

植物种群的形成往往受生物因素(竞争、病虫害、化感作用和人为干扰等)与非生物因素(如土壤理化性质、地形地貌、气候和光照等)的综合影响,植物种群表现结构是种群发育过程中每个个体实现其增长机会的一种表达也是对立地条件优劣及植物对环境适应性的反映。分析种群结构能够有助于了解种群生存状况和策略,进而阐明种群发展的生态过程^[3,9,15]。本研究中,通过使用不同种群量化方法来研究黔东南州皂角种群的数量动态,其结果基本一致。表现为不同龄级范围内个体数量存在明显差异,总体表现为随着龄级的增长呈先上升后下降趋势,种群死亡率 q_x 和消失率 K_x 在 1 龄级时

出现了最大值,5 龄级 e_x 值最大,Deevey 存活曲线属Ⅲ型,在 1—3 龄级表现为幼树期死亡率较高,3 龄级后个体的数量趋于稳定,存活率相对较高。生存率 $S_{(i)}$ 在 1—3 龄级随着龄级增加而下降,累计死亡率 $F_{(i)}$ 在 1—3 龄级随着龄级增加而增加,死亡密度 $f_{(ii)}$ 和危险率 $\lambda_{(ii)}$ 分别在 1 龄级和 3 龄级达到最大, $V'_{pi}=0.001>0$,且接近于 0,种群总体表现为衰退型。这与在实际调查中发现皂角幼树和老树的占比较小的结果一致,可能是由于皂角主要分布在自然寨周围或房前屋后,由于人们生产生活的需要,种子在成熟时被人为的收集,导致自然更新的减弱,另外,在牲畜活动和病虫害的单一或共同干扰作用下,导致幼树时期皂角存活率降低;在老树期,皂角的抗干扰能力降低,多种病虫害侵入,加之人为砍伐,导致老树数量降低,皂角在幼树和老树时期数量减少^[9,16-17];但在中间时期(5 龄级),由于树体强盛,抗干扰能力较强,结实率较高,受到人为保护,其存活率高,稳定性强^[3,9]。预测结果显示,皂角种群在未来 2,4,6 和 8 个龄级时间后,如果不对皂角进行人工干预、减少外界干扰和增加幼树数量,皂角种群最终走向衰退。这与谭菊荣等^[8]研究结果相似。老龄个体同一龄级随经历时间增加个体存活数渐增,但由于幼树个体储量不够丰富且更新不良呈消减动态趋势,随时间推移,最终也会导致种群数量的衰减及种群结构的不完整^[9]。

5 结论与展望

黔东南州皂角种群主要分布在自然寨周围或房前屋后,在人为活动、病虫害、牲畜等共同作用干扰下,种群整体表现为衰退型。皂角种群对外界干扰敏感,对环境适应性较差,受外界随机干扰时种群增长趋势不明显,如果不对皂角进行人工干预、减少外界干扰和增加幼树数量,皂角种群最终走向衰退并灭亡。因此,在未来的一段时间里,建议相关生态环境部门加大对皂角种群保护力度,提高大

(下转第 19 页)

- Ecological Applications, 2014, 24(4): 680-698.
- [10] HU T Y, SUN X L, SU Y J, et al. Development and performance evaluation of a very low-cost uav-lidar system for forestry applications[J]. Remote Sensing, 2020, 13(1): 77.
- [11] 杨学林.手持激光雷达扫描仪飞马在地形测绘中的运用[J].科技创新与应用, 2024, 14(10): 26-29.
- [12] SHAO J, ZHANG W M, MELLADO N, et al. SLAM-aided forest plot mapping combining terrestrial and mobile laser scanning[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2020, 163: 214-230.
- [13] 赵琦, 李震, 陈丽华, 等.基于背包式激光雷达的林木胸径和树高提取[J].林业调查规划, 2022, 47(4): 18-22.
- [14] 张振东, 田义超, 邓静雯, 等.基于激光雷达的钦州湾典型红树林生物量反演[J].生态科学, 2024, 43(1): 203-210.
- [15] KERSHAW J A, DUCEY M J, BEERS T W, et al. Forest mensuration[M]. Chichester: Wiley/Blackwell, 2017.
- [16] RUSU R B, COUSINS S. 3D is here; Point Cloud Library (PCL)[J]. IEEE, 2011: 1-4.
- [17] AXELSSON P. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 23(B4): 110-117.
- [18] IBRAHIM A M, NASSER R H A. Comparison between inverse distance weighted (IDW) and Kriging[J]. International of Science and Research, 2017, 6(11): 249-254.
- [19] ZHEN Z, QUACKENBUSH L J, STEHMAN S V, et al. Agent-based region growing for individual tree crown delineation from airborne laser scanning (ALS) data[J]. International Journal of Remote Sensing, 2015, 36(7): 1965-1993.
- [20] 刘珂, 周富强, 张广军. 半径约束最小二乘圆拟合方法及其误差分析[J]. 光电子·激光, 2006(5): 604-607.
- [21] 刘建峰, 倪健. 我国主要树种类型通用生物量相对生长方程的建模比较[J]. 第四纪研究, 2021, 41(4): 1169-1180.
- [22] 刘沁茹, 孙睿. 森林生物量遥感降尺度研究[J]. 生态学报, 2019, 39(11): 3967-3977.
- [23] SHI L, LIU S R. Methods of estimating forest biomass: A review[J]. Biomass Volume Estimation and Valorization for Energy, 2017, 10: 65733.
- [24] TIAN J Y, WANG L, LI X J, et al. Canopy height layering biomass estimation model (CHL-BEM) with full-waveform LiDAR[J]. Remote Sensing, 2019, 11(12): 1446.
- [25] SUN X, WANG X C, WANG C K, et al. Filling the "vertical gap" between canopy tree species and understory shrub species: biomass allometric equations for subcanopy tree species[J]. Journal of Forestry Research, 2022, 34(4): 903-913.
- [26] TIAN L, WU X C, TAO Y, et al. Review of remote sensing-based methods for forest aboveground biomass estimation: Progress, challenges, and prospects[J]. Forests, 2023, 14(6): 1086.
- [27] DEMIE G, NEGASH M, ASRAT Z, et al. Species specific and multi-species allometric models for estimating aboveground biomass of native perennial plant species grown in the agricultural landscape of Central Ethiopia[J]. Agroforestry Systems, 2024, 98(1): 179-196.
- [28] 杨军, 王帆, 宋仲禹. 基于背包激光雷达构建天然林蒙古栎胸径-树高模型[J]. 森林工程, 2023, 39(5): 57-64.
- [29] 黄旭, 贾玮玮, 王强, 等. 背包式激光雷达的落叶松单木因子提取[J]. 森林工程, 2019, 35(4): 14-21.

(上接第13页)

众对皂角保护意识, 制定相应措施, 通过植树造林等方式, 增加幼树数量, 进一步稳固黔东南州皂角种群结构。

参考文献:

- [1] 钟章成. 我国植物种群生态研究的成就与展望[J]. 生态学报, 1992(1): 6-10.
- [2] 谢宗强, 陈伟烈, 路鹏, 等. 濒危植物银杉的种群统计与年龄结构[J]. 生态学报, 1999(4): 523-528.
- [3] 拓锋, 刘贤德, 黄冬柳, 等. 祁连山大野口流域青海云杉种群数量动态[J]. 生态学报, 2021, 41(17): 6871-6882.
- [4] 杨彪, 张全建, 龚旭, 等. 雅砻江冬麻豆(*Salweenia bouffordiana*)种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2020, 40(4): 1184-1194.
- [5] 解婷婷, 苏培玺, 周紫鹃, 等. 荒漠绿洲过渡带沙拐枣种群结构及动态特征[J]. 生态学报, 2014, 34(15): 4272-4279.
- [6] 中国科学院. 中国植物志: 第39卷 被子植物门双子叶植物纲豆科皂荚属[M]. 北京: 科学出版社, 1988: 80-86.
- [7] 韩丽君. 果用皂荚优良无性系选育研究[J]. 中国农学通报, 2023, 39(20): 22-30.
- [8] 谭菊荣, 袁位高, 李婷婷, 等. 极小种群野生植物细果秤锤树种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2022, 42(9): 3678-3687.
- [9] 吴其超, 臧凤岐, 李呈呈, 等. 濒危树种五莲杨种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 5016-5025.
- [10] 冯士雍. 生存分析[J]. 数学的实践与认识, 1982(3): 72-80.
- [11] 赵鹏, 徐先英, 张裕年, 等. 民勤绿洲荒漠过渡带人工梭梭种群年龄结构及动态[J]. 生态学报, 2023, 43(14): 6069-6079.
- [12] 陈晓德. 植物种群与种群结构动态亮化分析方法研究[J]. 生态学报, 1998, 18(2): 214-217.
- [13] 肖宜安, 何平, 李晓红, 等. 濒危植物长柄双花木自然种群数量动态[J]. 植物生态学报, 2004, 28(2): 252-257.
- [14] DEEVEY E S JR. Life tables for natural populations of animals[J]. The Quarterly Review of Biology, 1947, 22(4): 283-314.
- [15] 杨立荣, 张治礼, 云勇, 等. 濒危植物海南龙血树的种群结构与动态[J]. 生态学报, 2018, 38(8): 2802-2815.
- [16] 井赛, 张静, 侯晓巍, 等. 三江源东部祁连圆柏天然更新特征研究[J]. 西北林学院学报, 2021, 36(3): 52-58.
- [17] 朱国飞. 乌弄龙水电站景观绿化及植被恢复规划设计研究[J]. 林业调查规划, 2018, 43(6): 105-111.