

黄牛木种群生长模型及动态模拟^{*}

韦彩丽 谢正生 孔令华 何晓慧

(华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642)

摘要 为了解黄牛木 (*Cratogeomys cochinchinense*) 的生长规律和种群动态, 促进其在城市林业和景观生态方面的应用和推广, 研究通过对典型样地内黄牛木种群生长因子的测定, 运用 SPSS、ArcGIS 等软件进行数据整理和分析, 构建种群树高、冠幅、数量与胸径的相互关系函数模型, 绘制种群生长变化三维模拟图, 直观地呈现种群的生长规律和变化动态。结果表明: 茶山和白云山样地的黄牛木生长呈现“金字塔型”, 为增长型种群, 石花山样地黄牛木生长呈现“纺锤型”, 为稳定型种群; 茶山样地生境比较稳定, 白云山样地生境相对稳定, 石花山样地生长压力大于干扰黄牛木生长; 树高 (y_1)、冠幅 (y_2) 与胸径 (x) 的最佳拟合模型为幂函数, 数量 (y_3) 与胸径 (x) 的最佳拟合模型为指数函数; 现阶段, 各样地黄牛木还处于生长期, 未来, 黄牛木个体数量将随时间推移逐渐向中老径阶集中, 老龄个体增多, 幼龄个体减少, 因此要加强对黄牛木生长动态的监测和管理, 适时地采取合理的护林抚育措施, 从而促进黄牛木天然林的演替与更新。

关键词 黄牛木; 生长因子; 生长模型; 三维模拟; 种群动态

中图分类号: S757 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2020) 04-0008-10

Growth Model and Dynamic Simulation of *Cratogeomys cochinchinense* Population

WEI Caili XIE Zhengsheng KONG Linghua HE Xiaohui

(College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

Abstract To understand the growth law and population dynamics of *Cratogeomys cochinchinense*, then promote its application and promotion in urban forestry and landscape ecology. The study used SPSS, ArcGIS, and other software to organize and analyze data by measuring the growth factors of *C. cochinchinense*. It is used to construct the functional model of the relationship between population tree height, crown, quantity and chest diameter, and the map of three-dimensional simulation diagram of population growth and change were drawn to show the growth law and the dynamics change. Our research revealed that the population was the growth type for the number showed "pyramid" in Tea-mountain and Baiyun-mountain, while was the stable type for the number showed "spindle" in Shihua-mountain. The habitats were relatively stable in Tea-mountain and Baiyun-mountain, while the growth was disturbed from environmental pressure in Shihua-mountain. The function models of height-DBH and crown width-DBH were power, and the best-fitting model of quantity-DBH was exponential function. At this stage, the *C. cochinchinense* in various plots is still in the growing period. In the future, the number of scalp wood individuals will gradually concentrate in the middle and old diameter classes over time, then the number of elderly will increase and the number of young will decrease. Consequently, it is necessary to strengthen

^{*} 基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目 (2015BAD07B06-8)。

第一作者: 韦彩丽 (1992—), 女, 主要从事林业工程建设工作, E-mail: 2291992883@qq.com。

通信作者: 谢正生 (1965—), 男, 副教授, 主要从事森林生态学研究, E-mail: zsxie@scau.edu.cn。

the monitoring and management for the growth dynamics, then take reasonable forest protection and tending measures in time to promote the succession and regeneration *C. cochinchinense* population.

Key words *Cratoxylum cochinchinense*; growth factor; growth model; three-dimensional simulation; population dynamics

种群动态研究是种群生态学的核心^[1], 通常可通过研究种群年龄结构、数量特征或空间分布格局来阐述种群动态变化规律^[2]。近年来, 由于全球性生态环境的恶化和森林资源的减少, 世界各国都极其重视森林资源的再生与保护, 森林动态变化的研究得到了重视和发展, 林分生长的相关研究也得到了极大推动。在森林资源的调查研究中, 胸径、树高、冠幅是重要的调查因子^[3], 也是衡量林分生长极其重要的数量指标和质量指标^[4]。树高不仅能用于分析林分各生长参数之间的关系, 还可用于评价森林管理的抚育效果; 冠幅与郁闭度有直接的联系, 它是植物生长状态的直观体现。不少学者针对不同地区的目标树种进行了树高、冠幅与胸径的相关性研究^[5-8], 这对森林资源的掌握和森林经营管理具有十分重要的意义。

黄牛木 (*Cratoxylum cochinchinense*) 是金丝桃科 (Hypericaceae) 黄牛木属 (*Cratoxylum*) 的灌木或小乔木, 是我国南方少数地区的特有野生树种, 喜湿润、酸性土壤, 常见于丘陵、山地的疏林或灌丛中, 生长慢但萌芽力强; 黄牛木木材坚硬珍贵, 树干黄褐色, 花序聚伞状, 花朵粉嫩微香, 是优良的用材树种、蜜源植物及城市绿化树种^[9]。然而, 黄牛木野生资源少, 天然更新能力差, 我国仅广东、广西、云南有少数分布。目前, 尚未发现关于黄牛木引种育苗方面的报道, 种群生态学方面的研究也鲜见发表, 其研究主要集中于成分分析和药用价值方面^[10-12]。本研究通过对黄牛种群生长因子的调查研究, 分析其树高、冠幅、数量与胸径的相关性, 构建种群生长因子相互关系模型, 绘制黄牛木种群生长动态三维模拟图, 直观地反映种群生长动态规律及环境适应机制, 为黄牛木天然林的抚育管理和经营保护提供科学参考, 同时为该地区开展森林资源调查、林分生长研究以及林相结构调整等提供理论基础, 从而促进更多优良树种在城市林业和景观生态方面的应用和推广。

1 研究材料及方法

1.1 样地设置与外业调查

在林分踏查的基础上, 采用典型样地调查, 于2017年在华南珠三角地区布设3个黄牛木天然林样地, 其中, 在广州市的茶山公园和白云山风景名胜区分别选取3 900 m², 在台山市的石花山森林公园选取3 200 m², 样地总面积为11 000 m²。调查对样地内所有黄牛木个体的胸径、树高、冠幅、枝下高等特征进行测定, 并记录每株黄牛木在样地内的相对坐标, 同时记录各样地的经纬度、海拔、坡度、坡向等环境因子。

1.2 数据分析

1.2.1 种群生长因子统计 采用“空间差异代替时间变化的方法”, 即胸径大小代替年龄结构的方法^[13-14]来统计分析种群生长因子有关数据, 探讨其种群数量变化动态。本研究借鉴有关种群大小级划分方法^[15-16], 把胸径<1 cm的黄牛木幼树记为1级(含树高<1.3 m的黄牛木个体), 胸径 ≥ 1 cm、每隔2 cm为一个龄级, 将黄牛木划为11个径阶, 第1径阶: $D < 1$ cm, 第2径阶: $1 \leq D < 3$ cm, 第3径阶: $3 \leq D < 5$ cm, 第4径阶: $5 \leq D < 7$ cm, 第5径阶: $7 \leq D < 9$ cm, 第6径阶: $9 \leq D < 11$ cm, 第7径阶: $11 \leq D < 13$ cm, 第8径阶: $13 \leq D < 15$ cm, 第9径阶: $15 \leq D < 17$ cm, 第10径阶: $17 \leq D < 19$ cm, 第11径阶: $19 \leq D < 21$ cm。参照林木发育阶段的划分标准^[17], 将不同胸径大小的黄牛木个体划分为5个不同的龄组, 分别为: 幼树(第1径阶, $D < 1$ cm)、小树(第2~3径阶, $1 \leq D < 5$ cm)、中树(第4~6径阶, $5 \leq D < 11$ cm)、大树(第7~8径阶, $11 \leq D < 15$ cm)、老树(第9~11径阶, $15 \leq D < 21$ cm)。

1.2.2 种群生长因子关系模型构建 一般认为, 树种的胸径与年龄、树高、冠幅等生长因子之间存在一定的相关性, 且为正相关^[18]。年龄与胸径的相关性研究报道已有不少, 如此前推出的Richards

生长曲线 $y=A(1-e^{-kx})^B$ 已得到各界的认可并频繁使用, 谢正生等^[20]通过对广州白云山林分生长与功能的研究, 总结出降真香等6种阔叶树种的胸径与年龄方程, 其中, 降真香胸径(Y)—年龄(x)生长曲线模型为 $Y=21.3465(1-e^{-0.033133x})^{1.240376}$ ($R^2=0.9949$); 龙汉利等^[19]对红椿(*Toona ciliata*)胸径与年龄的相关性进行拟合, 得出方程: $D=2.0366 \ln 0.781(R^2=0.7595)$ 。前人的研究均表明年龄与胸径显著正相关, 不再赘述。本研究将对树高与胸径、冠幅与胸径、数量与胸径的相关性进行深入探究, 主要运用 SPSS 软件对调查数据进行回归分析, 在曲线估计下将胸径设置为自变量, 树高、冠幅、数量设置为因变量, 得到黄牛木生长因子之间相互关系的曲线模拟图以及模型参数估计值。通过比较模型参数估计值的相关性显著系数, 结合拟合曲线以及树种的生物学特性来选取最佳拟合模型, 即系数 R^2 越大, 表明两者相关性越显著, 拟合程度越高; 方差分析显著水平 P 值越小, 表明误差显著水平越低, 模型拟合越显著。

1.2.3 种群生长动态三维模拟 整理野外调研数据, 结合种群生长因子关系模型, 分别对各样地黄牛木个体的树高、冠幅以及数量进行测算, 利用 ArcGIS 的 Arcscene 三维图形处理功能, 分别绘制各样地现阶段、5 径阶、10 径阶、20 径阶后黄牛木种群的三维模拟图, 直观的呈现种群生长变化的动态规律。

2 结果与分析

2.1 种群生长因子统计分析

种群生长因子信息是研究种群生态学的重要基础数据, 整理外业调查数据, 统计黄牛木种群生长因子信息, 结果见表1。

从表1的数据可以看出, 茶山样地黄牛木植株为788株, 最高径阶个体的胸径为19.5 cm; 白云山样地黄牛木植株为956株, 最高径阶个体的胸径为16.6 cm; 石花山样地黄牛木植株为160株, 最高径阶个体的胸径为16.1 cm。其中, 茶山和白云山样地的黄牛木幼树和小树占种群总数的70%以上(茶山606株, 占比为76.9%; 白云山742株, 占比为77.6%), 明显高于中树和大树的植树数量(茶山175株, 占比为22.2%; 白云山210株, 占比为22.0%), 老树的植株数量均不及

种群总数的1%(茶山7株, 白云山4株), 种群生长呈现“金字塔型”, 表明这两个样地的黄牛木种群处于生长旺盛期, 为增长型种群。而在石花山样地中, 黄牛木幼树与小树共计70株(占比为43.7%), 中树和大树共计89株(占比为55.6%), 老树仅有1株(占比为0.63%), 种群生长呈现“纺锤型”, 表明该样地的黄牛木种群生长趋于稳定, 为稳定型种群。

从表1的数据还可以看出, 茶山样地中各径阶数量随径阶的增加而减少, 胸径、树高、冠幅等林木生长因子均呈现正常生长状态, 说明该黄牛木群落未受到过多的环境或人为破坏, 生境比较稳定。白云山样地表现为种群数量随径阶增大先增加后减少, 在第2径阶($1 \leq D < 3$ cm)达到最大值352株, 其他林木生长因子均呈现正常生长状态, 说明该样地生境相对稳定。与另外两个样地不同, 石花山样地的调查面积稍小, 但种群数量却明显偏少, 不及其他两个样地的一半, 种群数量变化趋势与白云山有相似之处, 但峰值出现时间不同, 即种群数量随径阶增大先增加后减少, 在第4径阶达到峰值, 查阅调查记录发现, 石花山样地的植被丰富度明显高于茶山样地和白云山样地, 不难想象该样地中黄牛木种群的生长压力大于其他两个样地。此外, 石花山样地第8径阶($13 \leq D < 15$ cm)的苗木高度(2.3 m)和冠幅(0.1 m)存在异常, 两者的值均比相邻径阶的小, 这与植物的正常生长规律相悖。查阅调查记录发现, 该样地中的所有植株, 第8径阶生长异常的仅有此一株, 且四周均为其他高大的乔木, 阻碍了该株黄牛木的增高和冠幅伸展, 说明该样地的黄牛木种群在生长发育过程中受到了一定的干扰。

2.2 种群生长因子关系模型构建

胸径、树高、冠幅是林分调查中最重要生长因子, 一般来说, 林木个体胸径越大, 树高和冠幅的值越大, 即林分的树高、冠幅与胸径之间存在正相关关系。为进一步探讨黄牛木个体生长因子之间的关系特征, 掌握树高、冠幅随胸径变化的动态规律, 将3个样地的种群数量作平滑处理后加权平均, 其余生长因子合并后加权平均, 结果见表2。

从表2可以看出, 黄牛木种群的个体数量随径阶增大先增加后减少, 在第2径阶达到峰值,

表 1 黄牛木种群生长因子统计结果

Tab.1 The statistical results with growth factor of *Cratoxylum cochinchinense* population

研究样地 Sample plots	径阶 Diameter-step	数量 / 株 Number	平均胸径 /cm Average DBH	平均树高 /m Average height	平均枝下高 /m Average branch height	平均冠幅 /m Average crown widthes	平均冠幅面 积 /m ² Average crown area
茶山 Tea- mountain	1	227	0.16	0.81	0.37	0.64	0.320
	2	224	2.00	2.19	1.02	1.54	0.770
	3	155	3.74	3.29	1.53	2.25	3.958
	4	85	5.85	4.91	2.03	3.15	7.810
	5	47	7.82	5.86	2.18	3.54	9.840
	6	26	9.64	6.59	2.31	4.23	14.051
	7	11	11.75	7.42	1.97	4.36	14.916
	8	6	13.42	9.40	4.70	5.99	28.182
	9	2	15.85	8.05	1.43	6.38	31.903
	10	4	17.65	11.70	4.10	6.58	33.936
	11	1	19.50	13.00	2.50	7.90	48.992
白云山 Baiyun- mountain	1	186	0.19	0.96	0.46	0.79	0.486
	2	352	1.92	2.30	1.15	1.24	1.207
	3	204	3.80	3.64	1.77	1.94	2.965
	4	130	5.87	4.96	2.13	2.61	5.351
	5	48	7.80	6.05	2.54	3.28	8.430
	6	17	9.72	6.27	2.11	3.84	11.565
	7	14	11.45	6.41	2.44	3.99	11.272
	8	1	14.20	7.00	1.50	4.55	12.435
	9	4	16.05	7.53	1.85	4.69	17.249
石花山 Shihua- mountain	1	9	0.42	1.23	1.31	0.38	0.116
	2	31	2.16	2.60	1.14	1.11	0.967
	3	30	4.05	4.07	1.48	2.10	3.465
	4	35	5.80	5.04	2.28	2.66	5.548
	5	28	8.07	5.98	1.98	3.49	9.538
	6	16	9.78	7.21	2.24	4.23	14.033
	7	9	11.92	7.84	2.61	5.25	21.637
	8	1	14.65	2.30	0.10	1.45	1.670
	9	1	16.10	7.90	3.00	5.50	23.746

表 2 黄牛木种群个体生长因子处理结果
Tab.2 The processing results with growth factor of *Cratogeomys cochinchinense* population

径阶 Diameter-step	数量 / 株 Number	平均胸径 /cm Average DBH	平均树高 /m Average height	平均枝下高 /m Average branch height	平均冠幅 /m Average crown widthes	平均冠幅面积 / m ² Average crown area
1	422	0.26	1.00	0.71	0.60	0.286
2	607	2.03	2.36	1.10	1.29	1.316
3	389	3.86	3.66	1.59	2.10	3.451
4	250	5.84	4.97	2.15	2.81	6.189
5	123	7.90	5.96	2.23	3.43	9.259
6	59	9.71	6.69	2.22	4.10	13.190
7	34	11.71	7.23	2.34	4.53	15.658
8	8	14.09	7.53	2.10	5.27	21.809
9	7	16.00	7.83	2.09	5.52	23.926
实际均值 Average	211	4.02	3.57	1.54	2.09	4.579

注：该表数据处理不含茶山样地第 10、11 径阶数据。

Note: the 10th diameter-step and 11th diameter-step of Tea-mountain were not included in the table.

根据种群生长初期的数量分布特征，认为这属于正常现象。种群的平均树高、平均枝下高、平均冠幅、平均冠幅面积等均随径阶的增加而增大，符合林木生长的一般规律。

将表 2 的数据导入 SPSS 对林木生长因子进行回归分析，通过比较拟合模型的各项参数值，结合林木的生物学特性选取最佳拟合模型。黄牛木的树高与胸径、冠幅与胸径的拟合曲线相关模型参数估计值（表 3~4）。

从表 3 可知，树高和胸径显著正相关，各个方程拟合情况良好，其中，二次函数的拟合效果最佳，其 R^2 值 0.998 明显高于其他函数， P 值小于 0.000，回归模型系数为 0.999， F 值为 1 551.468；幂函数次之。但从生物学特性方面考虑，二次函数模型适用于林分的蓄积量、生物量等，不适用于林木个体拟合，相比之下，幂函数拟合模型更符合林木生长规律，其函数公式为 $y_1=1.903x^{0.525}$ ($R^2=0.988$, $P<0.000$)，回归模型系数为 0.994， F 值为 598.685。通过调查数据验证模拟函数的精确度，将黄牛木种群的实际平均胸径 4.02 cm 代入回归方程，计算得到模拟树高为 3.95 m，与实际调查数据 3.57 m 稍有差距，尚属

正常误差范围。

从表 4 可知，冠幅和胸径显著正相关，各个方程拟合情况良好。同样地，考虑满足林木生物学特性和实际生长规律，最终认为幂函数为冠幅与胸径的最佳拟合模型，函数公式为 $y_2=1.1x^{0.558}$ ($R^2=0.975$, $P<0.000$)，回归模型系数为 0.987， F 值为 270.836。根据现场调查数据，黄牛木的实际平均胸径为 4.02 cm，由回归方程计算出黄牛木的模拟冠幅为 2.39 m，近似于实际调查数据 2.09 m。

2.3 种群数量变化动态分析

数量变化动态是种群数量特征研究的重要内容，将 3 个样地的种群数量作平滑处理后加权平均，具体数值详见表 2。参照上文树高-胸径、冠幅-胸径函数模型的构建方式，将黄牛木种群数量与胸径进行拟合分析，通过比较数量与胸径关系拟合曲线相关模型参数估计值（表 5），得到数量-胸径的最佳拟合模型为指数函数，函数公式为： $y_3=2 088.9e^{-0.641x}$ ($R^2=0.965$, $P<0.000$)，回归模型系数为 0.982， F 值为 227.030。

为进一步探究黄牛木种群数量的变化规律，参照时间序列预测法在相关研究中的运用^[21]，利用一次平均推移法预测第Ⅱ径级、第Ⅲ径级、第

表 3 黄牛木种群树高 – 胸径模型汇总和参数估计值

Tab.3 The functional model equation and parameter estimation with Height – DBH of *Cratoxylum cochinchinense* population

方程 Equations	参数估计值 Parameter estimate							
	R^2	F	df_1	df_2	P	常数 Constant	b_1	b_2
线性 Linear	0.927	88.470	1	7	0.000	1.822	0.432	
对数 Logarithm	0.895	59.355	1	7	0.000	2.358	1.771	
倒数 Reciprocal	0.531	7.930	1	7	0.026	6.079	-1.426	
二次 Quadratic	0.999	5 093.055	2	6	0.000	0.750	0.871	-0.027
复合 Composite	0.770	23.443	1	7	0.002	1.859	1.117	
幂 power	0.988	598.685	1	7	0.000	1.903	0.525	
S	0.769	23.295	1	7	0.002	1.782	-0.484	
增长 Growth	0.770	23.443	1	7	0.002	0.620	0.111	
指数 Index	0.770	23.443	1	7	0.002	1.859	0.111	
Logistic	0.770	23.443	1	7	0.002	0.538	0.895	

表 4 黄牛木种群冠幅 – 胸径模型汇总和参数估计值

Tab.4 The functional model equation and parameter estimation with Crown width – DBH of *Cratoxylum cochinchinense* population

方程 Equations	参数估计值 Parameter estimate							
	R^2	F	df_1	df_2	P	常数 Constant	b_1	b_2
线性 Linear	0.987	525.879	1	7	0.000	0.779	0.317	
对数 Logarithm	0.822	32.345	1	7	0.001	1.323	1.209	
倒数 Reciprocal	0.434	5.362	1	7	0.054	3.831	-0.918	
二次 Quadratic	0.999	2 834.513	2	6	0.000	0.468	0.445	-0.008
复合 Composite	0.851	40.034	1	7	0.000	1.015	1.133	
幂 power	0.975	270.836	1	7	0.000	1.100	0.558	
S	0.696	16.037	1	7	0.005	1.293	-0.493	
增长 Growth	0.851	40.034	1	7	0.000	0.015	0.125	
指数 Index	0.851	40.034	1	7	0.000	1.015	0.125	
Logistic	0.851	40.034	1	7	0.000	0.985	0.883	

IV 径级、第 V 径级、第 VI 径级、第 VII 径级后的种群数量，结果如图 1。从图 1 可以看出，黄牛木种群各径阶数量峰值在预测序列中依次向后推移，个体数量随时间推移逐渐向中老径阶集中，老龄个体增多，幼龄个体减少，幼龄株数更新不足，最终老龄株数也将呈现减少的衰退势态。

2.4 种群生长动态三维模拟

种群生长三维图的构建，几乎是对其空间分布和生长动态情况的真实再现。将调查及模拟数据导入 ArcScene，分别生成各样地黄牛木种群不同生长阶段的三维模拟图，结果见图 2-5。

从图 2 可以看出，现阶段黄牛木大树较少，

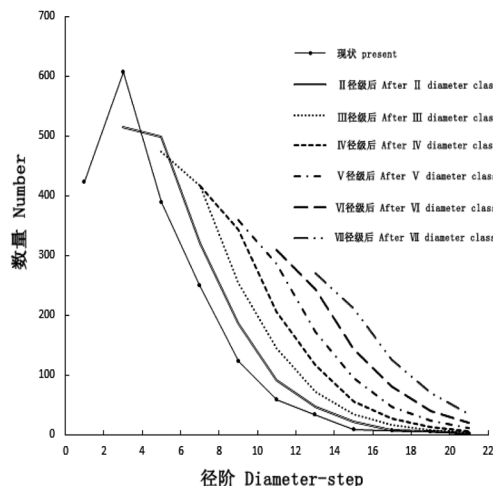


图 1 黄牛木种群各径阶数量变化预测
Fig.1 The quantity prediction of different diameter-step of *Cratoxylum cochinchinense* population

表 5 黄牛木种群数量 – 胸径模型汇总和参数估计值
Tab.5 The functional model equation and parameter estimation with Number – DBH of *Cratoxylum cochinchinense* population

方程 Equations	参数估计值 Parameter estimate							
	R^2	F	df_1	df_2	P	常数 Constant	b_1	b_2
线性 Linear	0.786	33.116	1	9	0.000	461.396	-28.700	
对数 Logarithm	0.746	26.485	1	9	0.001	491.834	-164.279	
倒数 Reciprocal	0.341	4.665	1	9	0.059	105.048	216.041	
二次 Quadratic	0.899	35.795	2	8	0.000	589.638	-69.502	2.011
复合 Composite	0.962	227.030	1	9	0.000	1 169.868	0.722	
幂 power	0.650	16.689	1	9	0.003	938.556	-1.571	
S	0.246	2.944	1	9	0.120	3.204	1.881	
增长 Growth	0.962	227.030	1	9	0.000	7.065	-0.325	
指数 Index	0.965	227.030	1	9	0.000	2 088.9	-0.641	
Logistic	0.962	227.030	1	9	0.000	.001	1.384	

幼树和小树数量占比较大，种群覆盖率较低，冠层呈现少量重叠覆盖现象。

从图 3 可以看出，经过 5 径阶的生长，黄牛木种群冠层相互重叠覆盖程度愈发明显，冠层覆盖率提高，种群内部斗争将逐渐加剧，种群生长速度也将逐步下降，此时应考虑对种群进行适当疏伐。

从图 4 可以看出，种群经过上一轮的种内斗争，形成强者更强、弱者更弱的局面，种群的扩

散及生长总体呈现上升趋势，但不明显。此时应适当伐除样地内老、弱、病、残植株以及部分幼苗，使得正常生长的黄牛木个体拥有充足的养分，确保种群持续增长。

从图 5 可看出，20 径阶后，各样地黄牛木的生长已有显著不同，几乎全部植株已长成大树，小树明显减少，种群冠层覆盖程度明显上升，绝大部分树木进入生理衰老期。此时应该加强抚育管理，加大间伐力度，从而促进黄牛木种群的演

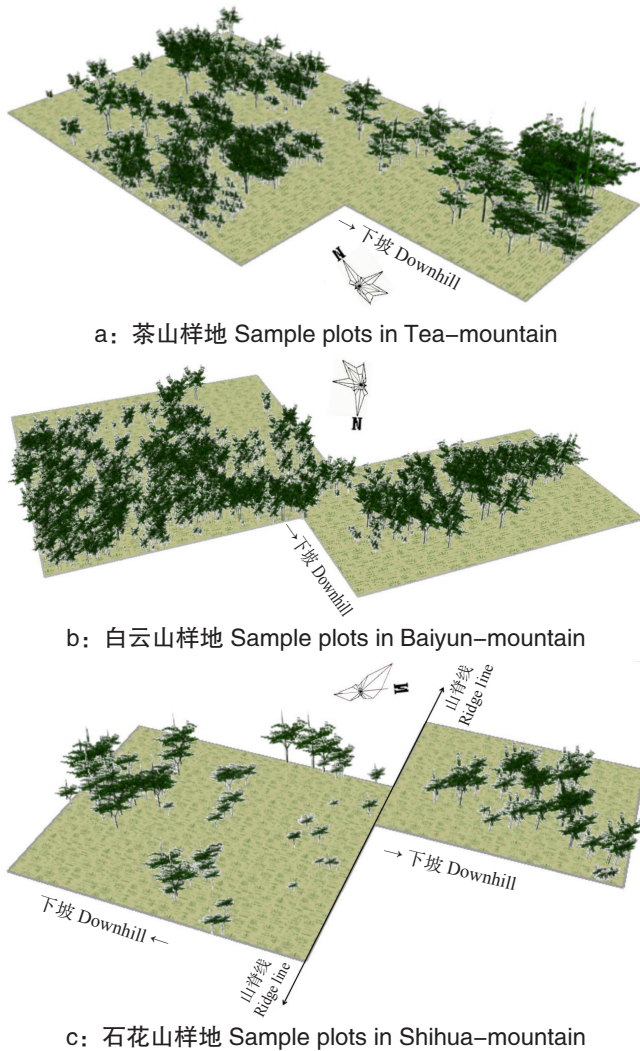


图 2 黄牛木种群生长现状

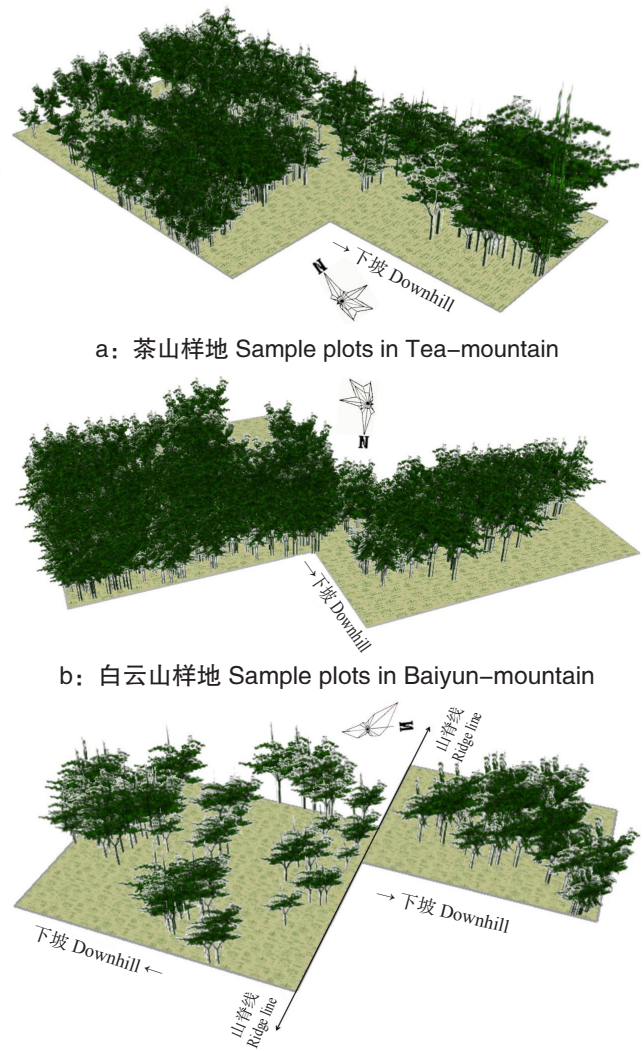
Fig.2 The map with growth status of *Cratoxylum cochinchinense* population

图 3 黄牛木种群 5 径阶后生长模拟

Fig.3 The map with growth simulation after 5 diameter-step of *Cratoxylum cochinchinense* population

替与更新。

3 结论与讨论

调研数据显示,除石花山的个别生长阶段外,黄牛木种群的胸径、树高、冠幅等生长因子基本处于正常生长状态。在种群生长过程中,白云山和石花山种群数量先增加后减少(分别在第2径阶和第4径阶达到峰值),原因可能是幼树在萌发或生长过程中受到干扰,如种子成熟时被动物过分取食、雨水过多或过少导致种子发芽率降低、幼树生长期受到人为破坏等均会造成幼树数量的减少;石花山丰富的群落植被尤其是茂密的林下

灌木和密实的芒萁草本层也可能是黄牛木幼苗萌发生长的主要限制因素,具体原因还有待进一步查证。

树高、冠幅、胸径是衡量林分生长重要的指标^[22],对于生长因子之间相互关系的函数模型,学术界已有不少研究^[23-25]。胸径测定简单方便、精度高,而树高、冠幅的测定却费时耗工,误差无法控制,这给林业生产与实践带来较大困难。本研究构建黄牛木树高-胸径、冠幅-胸径函数模型有较好的生物学意义,一方面为野外调查时树高、冠幅的测定提供了新的思路,另一方面为该地区黄牛木天然林的生长预测以及抚育管理提

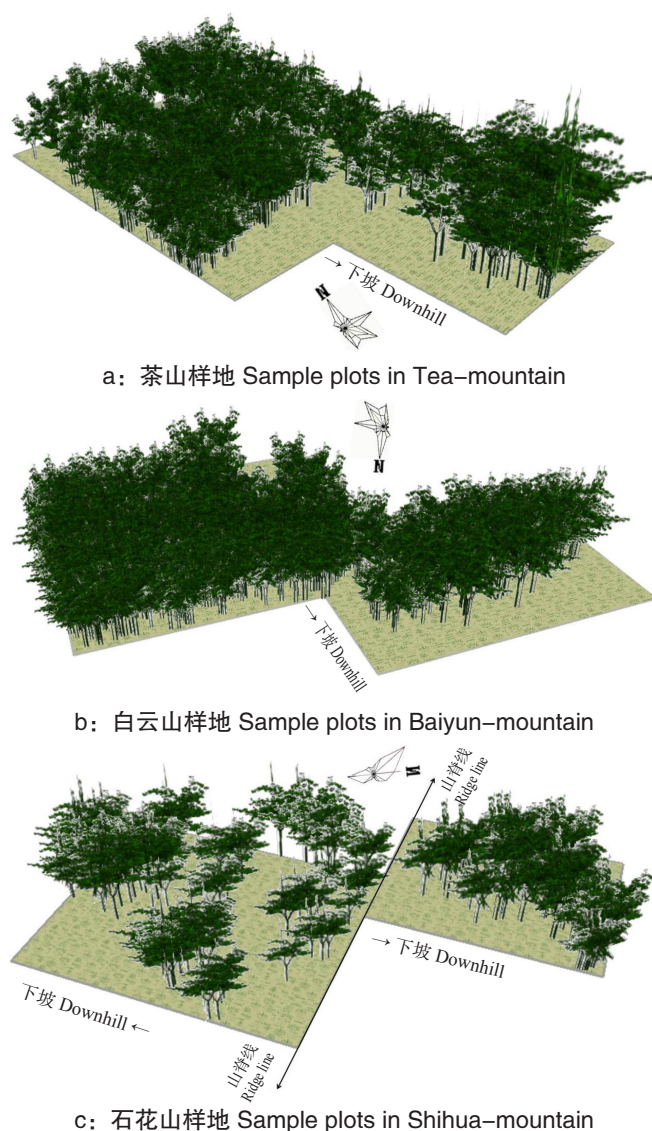


图4 黄牛木种群 10 径阶后生长模拟

Fig.4 The map with growth simulation after 10 diameter-step of *Cratoxylum cochinchinense* population

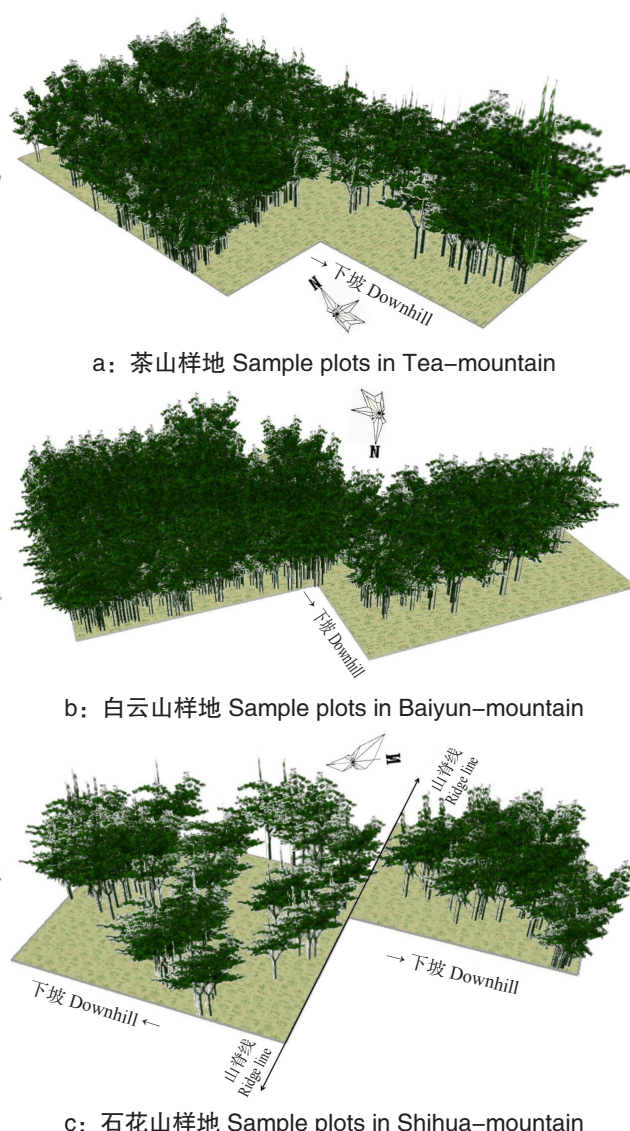


图5 黄牛木种群 20 径阶后生长模拟

Fig.5 The map with growth simulation after 20 diameter-step of *Cratoxylum cochinchinense* population

供理论依据。但值得注意的是,模型的构建是通过有限的空间和数据分析而得,具有一定的理想性和局限性,在实际工作中,还要结合林木的生长环境进行综合分析,从而确定种群的最佳间伐时间和抚育措施。

种群数量与胸径的函数模型反映了种群生长变化规律,可为预测种群动态及适时疏伐提供理论依据,此前也有类似研究^[26-27]。种群的演替更新是种群生物学特性与环境因素共同作用的结果^[28-29]。本研究运用一次平均推移法预测黄牛木种群的更新动态,结果为黄牛木种群数量随时间

推移逐渐向中老径阶集中,老龄个体增多,幼龄个体减少,与前人的研究结论一致^[30-31]。可以推断,由于缺乏可更新的幼龄个体,如不采取适当的护林抚育措施,当地黄牛木种群将趋于衰退,种群稳定性长期维持较为困难。

树种的生长处于不断变化中,种群生长三维模拟图反映的是理想状态下黄牛木的生长规律,但也在很大程度上反映了林分的生长现状和动态规律,有利于实现黄牛木天然林的最大景观价值和森林生产效益。从人工经营管理的角度而言,掌握黄牛木的生长规律和变化动态,有利于引导

管理者适时开展合理的疏伐工作, 实现种苗培育和营林保护的效益最大化, 不仅为评价林木生境与森林生长优劣程度提供参考, 同时为各级林业工作部门制定相关政策方针提供理论基础, 促进我国林业产业的可持续发展^[32]。

参考文献

- [1] CHAPMAN J L. Ecology: Principles and Applications, 2nd Ed[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2001: 23-48.
- [2] 李妍. 贺兰山东坡青海云杉种群动态及更新特征研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2013.
- [3] LEI X, PENG C, WANG H, et al. Individual height-diameter models for young black spruce and jack pine plantations in New Brunswick[J]. Canada For Chron, 2009, 85(1): 43-56.
- [4] 曾冀, 雷渊才, 唐继新, 等. 马尾松人工林强度采伐后套种阔叶树种的生长动态[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(3): 64-69.
- [5] 樊艳文, 王襄平, 曾令兵, 等. 北京栓皮栎林胸径—树高相关生长关系的分析[J]. 北京林业大学学报, 2011(6): 146-150.
- [6] 张敏, 顾凤歧, 董希斌. 帽儿山林区主要树种树高与胸径之间的关系分析[J]. 森林工程, 2014, 30(6): 1-4.
- [7] 张连金, 孙长忠, 辛学兵, 等. 北京九龙山不同林分树高与胸径相关生长关系分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2014, 34(12): 66-70.
- [8] 高灵, 王瑞辉, 王睿, 等. 幼年赤桉胸径与冠幅、树高、材积的相关性分析[J]. 桉树科技, 2014(4): 17-22.
- [9] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [10] 靳三林, 王乃利, 张雪, 等. 黄牛木中的异戊烯基吡喃类化合物[J]. 中草药, 2009(3): 341-344.
- [11] 王建荣, 茂媛, 赖富丽, 等. 黄牛木叶脂溶性成分研究[J]. 热带农业科学, 2009, 29(12): 31-33.
- [12] 王祝年, 李晓霞, 王建荣, 等. 黄牛木果实挥发油的化学成分研究[J]. 热带作物学报, 2010(6): 1047-1049.
- [13] 钟军民, 汤明霞, 周毅, 等. 广东长潭省级自然保护区次生针阔混交林群落优势种群结构特征研究[J]. 广东林业科技, 2010, 26(4): 56-61.
- [14] 冯立新, 陈荣, 朱昌叁, 等. 桂西北红椿种群年龄结构与空间分布格局研究[J]. 西北林学院学报, 2015(1): 46-50; 95.
- [15] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 7-139.
- [16] 林路香, 何明华, 徐学英, 等. 广东孔江国家湿地公园 1hm²针阔叶混交林样地群落组成与结构研究[J]. 林业与环境科学, 2020, 36(1): 9-20.
- [17] 苏志尧, 陈北光, 古炎坤. 广东八宝山森林群落优势种群的生态位研究[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(1): 47-52.
- [18] 闭海秀. 广西国有大桂山林场杉木人工林生长过程研究[D]. 南宁: 广西大学, 2015.
- [19] 龙汉利, 冯毅, 向青, 等. 四川盆周山地红椿生长特性研究[J]. 四川林业科技, 2011(3): 37-41; 68.
- [20] 古炎坤. 生态资源可持续发展理论与实践: 广州市白云山国家重点风景名胜区[M]. 北京: 中国林业出版社, 2005: 3-12.
- [21] 吴昱坤, 南程慧, 汤庚国, 等. 珍稀濒危植物浙江楠种群结构分析[J]. 安徽农业大学学报, 2015(6): 980-984.
- [22] 顾凤歧, 王艳. 基于红松胸径与树高相关模型的研究[J]. 森林工程, 2013, 29(4): 39-41.
- [23] 程玉娜, 余济云, 孟伟, 等. 木荷胸径-树高生长相关模型研究[J]. 福建林业科技, 2014(2): 109-114.
- [24] 罗建平. 台湾峦大杉胸径与树高生长相关模型[J]. 林业科技, 2013(1): 13-14; 19.
- [25] 卢妮妮, 王新杰, 张鹏, 等. 不同林龄杉木胸径树高与冠幅的通径分析[J]. 东北林业大学学报, 2015(4): 12-16.
- [26] 赵如. 气候变化背景下长苞冷杉(*Abies georgei*) 种群数量动态研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2014.
- [27] 陈国鹏. 沙柳丛生枝异速生长关系与数量动态研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2016.
- [28] 卫晶, 赵惠玲, 毕润成. 白桦天然次生林种群生态特征的研究[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2012(4): 56-61.
- [29] 陈银萍, 于飞, 杨宗娟, 等. 东祁连山青海云杉种群大小结构及其动态研究[J]. 广西植物, 2013, 33(2): 236-241, 163.
- [30] 吉也, 曹孟岩, 白楚锋, 等. 峨眉山杪栎种群结构与动态特征[J]. 西北植物学报, 2019, 39(3): 543-551.
- [31] 黄冬柳, 梁士楚, 姜勇. 桂林岩溶石山青冈种群数量动态[J]. 生态学杂志, 2019, 38(3): 663-671.
- [32] 王佳燕. 海南东寨港几种红树植物主要生长特征因子间的关系研究[D]. 海口: 华南热带农业大学, 2007.