

海拔梯度对广东古兜山木本植物生物量及碳储量的影响*

陈碧海¹ 吴林芳² 何碧胜¹ 李俊仁¹ 林春晓¹ 郭韵³

(1. 广东江门古兜山林场, 广东 江门 529200; 2. 广州林芳生态科技有限公司, 广东 广州 510520;

3. 中国科学院华南植物园, 广东 广州 510650)

摘要 海拔梯度会影响水热条件的变化, 而水热条件与植物的生长密切相关, 研究海拔梯度对木本植物的生物量及碳储量的影响具有重要的意义。研究通过在广东古兜山沿海拔梯度设置 14 个样地, 分析海拔与木本植物生物量及碳储量的关系。结果显示: (1) 随着海拔的升高研究区的木本植物科、属、种有下降的趋势, 但相关性不显著。GDS-12 样地 (海拔 353 m) 物种数量最多, 分布有 67 种、38 科、59 属。不同样地的优势树种存在差异。(2) 不同样地的根、干、枝、叶生物量随着海拔呈现“单峰”变化模式, 在中等海拔 (546 m) 达到最大值, 且木本植物生物量与海拔之间有显著相关关系 ($P < 0.05$)。 (3) 蓄积量和碳储量随海拔的升高呈现“低-高-低”的变化趋势, 且碳储量与海拔之间有显著相关关系 ($P < 0.05$)。古兜山木本植物的生物量和碳储量均受到海拔梯度的影响, 且在中等海拔区域, 生物量及碳储量的值最大。在该区域的森林经理、培育过程当中, 应该注重中等海拔地区的森林管理。

关键词 海拔; 木本植物; 物种组成; 生物量; 碳储量

中图分类号: S718 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2020) 05-0097-07

Effects of Altitude Gradient on Biomass and Carbon Storage of Woody Plants in Gudoushan, Guangdong Province

CHEN Bihai¹ WU Linfang² HE Bisheng¹ LI Junren¹
LIN Chunxiao¹ GUO Yun³

(1. Gudoushan Forestry Centre, Jiangmen, Guangdong 529200, China; 2. Guangzhou Linfang Ecology Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510520, China; 3. South China Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510650, China)

Abstract Elevation gradient affects the change of heat and water conditions, and hydrothermal condition is closely related to the growth of plants. It is significance to study the effects of altitude gradient on biomass and carbon storage of woody plants. In this study, 14 sample plots were set along the elevation gradient in Gudou Mountain in Guangdong. The results showed that: (1) Families, genera and species of woody plants in the study area showed a decreasing trend with the increase of altitude, but the correlation was not significant. The GDS-12 (353 m) had the largest number of species, with 67 species, 38 families and 59 genera. Different dominant tree species of different plots. (2) The biomass of different roots, stems, shoots and leaves showed a “single peak” change pattern with altitude, reaching the maximum value at the medium altitude (546m), and there was a significant correlation between the biomass of woody plants and altitude ($P < 0.05$). (3) The accumulation and

* 基金项目: 古兜山省级自然保护区总体规划修编配套服务项目。

第一作者: 陈碧海 (1974—), 男, 助理工程师, 主要从事林业种苗生产及营造林、林业调查规划设计、森林资源调查和林业行政管理等工作, E-mail: 380751120@qq.com。

通信作者: 郭韵 (1994—), 男, 硕士研究生, 研究方向为保育生态学, E-mail: guoyun@scbg.ac.cn。

carbon reserves showed a “low-high-low” change trend with the elevation of altitude, and there was a significant correlation between carbon reserves and altitude ($P < 0.05$). The biomass and carbon reserves of woody plants in Gudou Mountain were affected by the altitude gradient, and the biomass and carbon reserves were the highest in the medium altitude area. In the process of forest management and cultivation in this region, attention should be paid to forest management in medium altitude areas.

Key words altitude; woody plants; species composition; biomass; carbon storage

森林是陆地生态系统当中固碳量最高的成分,而木本植物是森林生态系统的重要组成部分^[1]。因此,木本植物的生物量和碳储量对于全球碳平衡起着不可替代的作用^[2]。木本植物的生长依赖于多个环境要素,温度、水分和光照等的变化都会对木本植物生长产生重要影响^[3]。生态梯度的变化往往导致气候因子的变化,进而影响植物的生长、发育以及生理代谢等。因此,森林生物量沿生态梯度的变化规律已成为近年来植被生态学研究的重要主题^[4]。

近年来,许多学者对不同生态梯度下,木本植物的种类、生物量等的变化进行了深入研究。例如:通过研究重庆市森林植被生物量和碳储量的特征,结果发现中高海拔和坡度较陡的地方,是生物量最为集中的区域^[5]。刘贵峰等^[6]研究发现,新疆天山云杉 *Picea asperata* 的蓄积量随海拔的增加呈现单峰变化。罗庆辉等^[7]发现新疆天山雪岭云杉的生物量随海拔也呈现单峰的变化结果。张世雄等^[8]研究发现吕梁山物种多样性随海拔梯度的变化呈现先增后减的单峰变化格局。在亚热带地区也存在类似的状况,林瑜彤等^[9]对广东莲花山木本植物群落研究发现,海拔对植物种类组成、种类多样性、生物量和径级结构有明显影响,物种多样性以及径级结构对生物量均有显著的影响。充分说明海拔的变化对于木本植物的种类、生物量和碳储量等具有显著的影响作用。然而,针对广东古兜山不同海拔的生物量及碳储量变化的研究还未开展。

古兜山物种丰富,植被生长旺盛,是南亚热带季风常绿阔叶林的典型代表之一,同时也是重要的珍稀动植物保护区域。本研究在古兜山自然保护沿海拔(100~900 m)设置样地,详细调查物种组成、生长特征等指标,探究不同海拔梯度下植物种类、生物量和碳储量的变化。通过研究生态梯度变化对木本植物生物量和碳储量的影响,研究结果可以为古兜山自然保护区实施更加有效

的森林培育和管理措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区域位于广东江门古兜山省级自然保护区,位于江门市境内的西南部,地理坐标为112°53'11"~113°03'25" E, 22°05'00"~22°21'5" N(图1)。该保护区主要保护对象是季风常绿阔叶林、珍稀濒危动植物及其自然环境。古兜山地处南亚热带温暖湿润的海洋气候,年均气温21.7~21.8℃,年降雨量为1790~2250 mm。保护区内地形复杂,海拔梯度较大,最高峰海拔982 m。研究区内主要以季风常绿阔叶林为主,物种丰富,生物多样性较高^[10]。保护区的植被具有较明显的垂直分布规律,由低至高为沟谷雨林,低山丘陵季风常绿阔叶林,中山山地季风常绿阔叶林,山顶山脊常绿阔叶灌草丛^[11]。

1.2 研究方法

2017年10月,在研究区域内沿海拔梯度设置了14个森林检测样地(表1),样地主要参照美国史密森热带研究院热带森林科学研究中心(CTFS, Center for Tropical Forest Science of The Smithsonian Tropical Research Institute)森林监测技术规范^[12],采用统一标准操作,用全站仪精确定位。样地的林分类型包括常绿阔叶林和针阔混交林两种类型。每个样地大小为40 m × 40 m,面积为0.16 hm²,将样地以10 m × 10 m为基本样方单元进行划分,并对样地内所有胸径≥1 cm的木本植物测量其胸径(DBH)、树高和冠幅,记录种类、株数、分枝情况和生长状态。

1.3 数据分析

运用公式“重要值(IV)=相对多度+相对频度+相对优势度”计算重要值,从而确定林分中的优势种。

根据不同的林分类型选取对应的生物量方程,

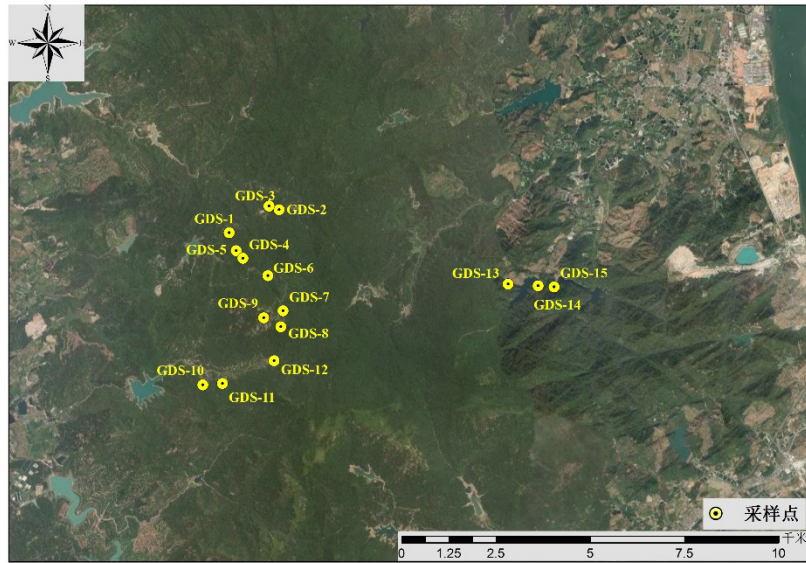


图 1 样点分布

Fig. 1 Sample point distribution

表 1 不同海拔样方基本信息

Table 1 Basic information of quadrat at different altitude

样地号 Quadrat	海拔 /m Altitude	平均密度 / (株 /ha) Mean density	平均胸径 /cm Mean DBH	平均树高 /m Mean height
GDS-1	400	4 188	4	3.3
GDS-2	297	3 219	4.8	4.8
GDS-3	391	4 325	3.6	3.7
GDS-4	533	3 856	4.7	4.4
GDS-5	444	4 200	10.7	9.7
GDS-6	546	2 681	8.4	6.8
GDS-7	671	3 638	4.2	3.5
GDS-9	849	2 663	2.8	2.2
GDS-10	405	3 356	3.3	2.8
GDS-11	328	3 219	4.5	4
GDS-12	353	3 419	4.9	4.2
GDS-13	153	3 263	3.5	3.5
GDS-14	164	4 156	2.4	2.5
GDS-15	87	5 069	2.9	3.2

生物量的计算根据以下方程：

生物量 = [根的生物量 ($W_{\text{根}}$) + 树干的生物量 ($W_{\text{干}}$) + 枝条的生物量 ($W_{\text{枝}}$) + 叶子的生物量 ($W_{\text{叶}}$)] / 样地面积

蓄积量的计算是根据胸径、树高，运用相应树木种类的二元立木材积表，把样地内的所有单株蓄积累加起来。二元材积公式：

$$V = aD^bH^c$$

其中， D 为胸径， H 为树高， a ， b ， c 为参数。

碳储量计算采用生物量法，即采用根据单位面积生物量乘以植物各个器官平均含碳率（CF）计算而成。中国森林生态系统中的树干、树皮、树枝、树叶、果实、树根生物量占乔木层生物量的平均值分别为 51.83%，国内外研究者大多采用平均含碳率取 0.5^[13]。

$$C_z = B \times CF$$

其中 C_z 为森林碳储量 (t/ha); B 为生物量 (t/ha); CF 为植物平均含碳系数, 且 $CF=0.5$ 。

数据结果的分析、制图均使用 OriginPro 2016 软件。

2 结果与分析

2.1 海拔梯度对木本植物种类组成的影响

本研究选取的样方, 海拔最低处为 87 m, 最高为 849 m, 覆盖了整个古兜山自然保护区的海拔范围。统计结果显示, 样地平均立木密度为

3 660.8 株 /ha, 平均胸径 4.6 cm, 平均树高 4.1 m。调查结果显示, 14 个样地中, 物种数最多的样地是 GDS-12, 分布有 67 种, 同时科、属也是最高的, 分别为 38 科、59 属。物种数最少的是 GDS-1, 分布有 28 属、31 种, 科最少的是 GDS-14, 共分布有 18 个科的植物。

研究发现, 不同样地中的木本植物科、属、种的数量不一致, 但相关分析结果显示 (图 2), 科数、属数和种数均随着海拔的升高有降低的趋势。但科、种数与海拔间的相关性较弱, 相关系数较低。属数与海拔的相关系数 $r = -0.376$, 但由

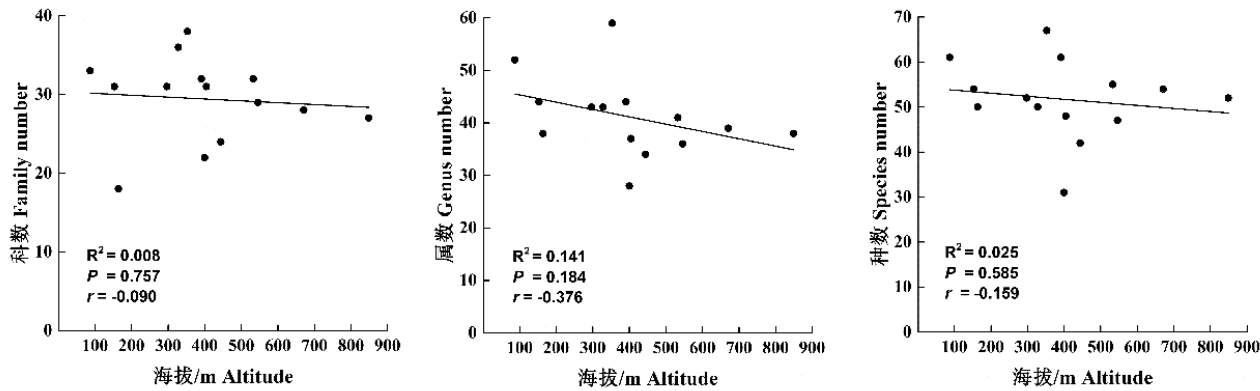


图 2 木本植物的科数、属数和种数与海拔的相关性

Fig. 2 Correlation of numbers of family, genus and species of woody plant with altitude

表 2 不同海拔样方优势树种及其重要值

Table 2 The dominant tree species and the important value of the quadrats at different elevations

样地号 Quadrat	种名 Species	重要值 /% Important value
GDS-1	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	60.60
GDS-2	红楠 <i>Machilus thunbergii</i>	10.10
GDS-3	大头茶 <i>Gordonia axillaris</i>	9.70
GDS-4	格药桉 <i>Eurya muricata</i>	18.90
GDS-5	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	17.10
GDS-6	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	34.60
GDS-7	尖叶毛桉 <i>Eurya acuminatissima</i>	18.70
GDS-9	罗浮栎 <i>Diospyros morrisiana</i>	27.25
GDS-10	大头茶 <i>Gordonia axillaris</i>	37.25
GDS-11	光叶红豆 <i>Ormosia glaberrima</i>	18.80
GDS-12	湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	23.70
GDS-13	细枝桉 <i>Eurya loquaiana</i>	11.50
GDS-14	鼠刺 <i>Itea chinensis</i>	19.80
GDS-15	豺皮樟 <i>Litsea coreana</i> var. <i>sinensis</i>	11.87

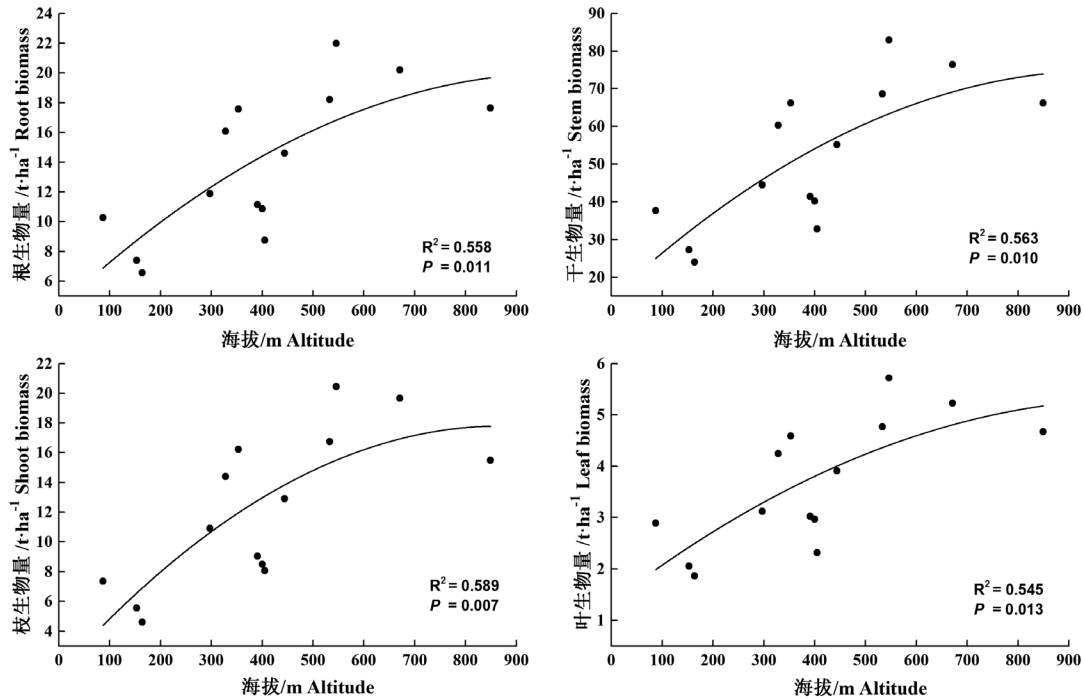


图3 木本植物的根、干、枝、叶生物量与海拔的相关性

Fig. 3 Correlation of root, stem, shoot and leaf biomass of woody plant with altitude

于 $P > 0.1$, 其相关性不显著。

各样方物种的重要值可反映不同物种在群落中的地位, 根据重要值的结果可以发现, 不同海拔的样地的优势树种种类差异较大, 其中 GDS-1 样地中的鼠刺 *Itea chinensis* 重要值最高为 60.60%。GDS-3 样地中则是大头茶 *Gordonia axillaris* 重要值最小为 9.70%, 该物种属于样地优势种。林分结构随着海拔的升高而改变, 低海拔地区 (<300 m) 的主要树种包括红楠 *Machilus thunbergii*、细枝柃 *Eurya loquaiana*、豺皮樟 *Litsea coreana* var. *sinensis* 等。中海拔地区 (300-600 m) 优势树种有鼠刺、大头茶、马尾松 *Pinus massoniana*、湿地松 *Pinus elliottii*。而在高海拔地区 (>600 m) 优势树种包括尖叶毛柃 *Eurya acuminatissima*、罗浮柿 *Diospyros morrisiana*。

2.2 海拔梯度对木本植物生物量的影响

海拔梯度与木本植物生物量关系的结果见图 2。通过对不同海拔的样地植物根、干、枝、叶生物量的研究, 结果显示, 古兜山木本植物生物量随着海拔的升高呈现上升的趋势, 在海拔 546 m 各项生物量均达到最大值, 分别为: 根 $21.990 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, 干 $82.929 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, 枝 $20.434 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, 叶 $5.719 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 。但其增长速率不断减弱, 海拔超过 600 m 之后, 生物量基本不再增长, 且在海拔

849 m 的样地中生物量明显减弱。拟合的结果表明植物生物量与海拔之间显著相关 ($P < 0.05$)。

2.3 海拔梯度对木本植物碳储量的影响

蓄积量与海拔的相关分析结果显示, 随海拔的升高, 蓄积量呈现“低—高—低”的抛物线模式。其中, GDS-6 (海拔 546 m) 的蓄积量达到最高为 $120.613 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ 。海拔超过 600 m 后, 蓄积量开始下降, 拟合结果显著 ($P < 0.1$)。说明蓄积量在中海拔地区达到最大值, 海拔过高过低蓄积量都会改变。

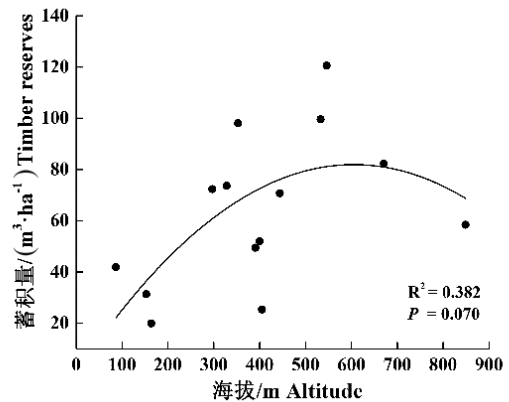


图4 木本植物的蓄积量与海拔的相关性

Fig. 4 Correlation of timber reserves of woody plant with altitude

海拔对于木本植物碳储量也呈现出抛物线的模式,随着海拔的升高碳储量增大,在海拔为 546 m 达到最大值 $72.42 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$,随后碳储量的值开始降低。通过二项式拟合可以发现,结果显著 ($P < 0.05$)。说明海拔与木本植物碳储量之间具有显著的相关关系。

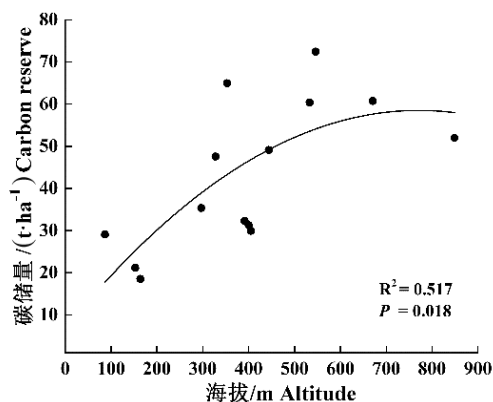


图 5 木本植物的碳储量与海拔的相关性

Fig. 5 Correlation of carbon reserve of woody plant with altitude

3 讨论与结论

3.1 海拔梯度造成的水热条件变化会影响植物生长。结果表明,古兜山木本植物的科、属、种数量随着海拔的升高有下降的趋势,但下降趋势并不显著。该结果与相近区域的研究结果不完全一致,广东惠州莲花山木本植物的科数、属数和种数随海拔升高而显著降低^[9]。这可能是由于纬度差异所导致的,纬度更低的古兜山整体温度较高,因此,海拔变化所引起的温度变化对于木本植物的生长影响不足。植物的分布范围与其生态幅密切相关,低海拔地区通常水热条件较好,适应各类木本植物的生长^[14-15]。而当海拔升高时,温度降低,降水量改变,会超出部分植物种类的生态幅,从而影响其分布^[16]。因此,在高海拔的区域一般多以灌木植被类型为主,古兜山的植被类型也遵循这一分布原则。

海拔梯度的变化会影响不同位置的优势树种的种类。低海拔地区的优势树种是阔叶类的乔木,例如:红楠是亚热带常绿阔叶林当中的典型建群与伴生树种,在水热资源优越的条件下,更容易形成优势林分^[17]。而在中等海拔地区,针叶树种更加有优势。高海拔地区,体型较小的灌木种类

处于优势地位,在其他的研究当中,也发现了同样的结果^[18-19]。

作为衡量生态系统生产力的重要指标,生物量可以反映出木本植物在不同海拔区域的生产力^[20]。生物量的大小会受到气候、地形等自然因素的影响,植被类型也是一个重要的影响因素^[21]。古兜山木本植物生物量随着海拔升高而呈现先增后减的模式,海拔 550 m 左右时,生物量达到最大值,高于或者低于该海拔,生物量均出现下降。这可能是因为该海拔范围内的温度、降水、坡度等因子均处于该区域木本植物生长的最适区域。适宜的温度、土壤水分条件有利于植物开展光合作用,从而有效提高净初级生产力^[22-23],因此生物量达到最大。随着海拔的升高,生态因子发生改变,光合速率下降^[24],生长量降低,且高大的乔木被灌木所替代,生物量也随之降低。这一结果与张雷等^[25]对祁连山北坡青海云杉生物量随海拔变化的研究一致。

木本植物的蓄积量与碳储量与海拔梯度的关系均呈现“单峰”模式。由于森林碳储量与植被类型之间具有密切的关系^[26],因此,海拔梯度与碳储量之间具有显著的相关关系。植物经叶片气孔吸收二氧化碳,通过光合作用将其固定为有机化合物,从而实现碳汇的过程。因此,木本植物的碳储量是衡量森林生态系统碳汇潜力的重要因素^[27-28]。碳储量随海拔升高所呈现的“低—高—低”模式,可能是因为随着海拔升高,生长条件趋于最优,生长速率加快,碳储量不断增加,并在中等海拔区域达到最大值。而随着海拔的进一步升高,水热条件、地形因素改变导致植被类型发生改变,生长速率也进一步降低,因此碳储量降低。因此,应该对中海拔区域森林实施更加有效的抚育、经营、保护等措施。

3.2 综上所述,古兜山木本植物的科、属、种随海拔发生改变,但相关关系不显著,海拔 353 m 时为最大值,共 38 科、59 属、67 种。重要值结果显示,不同海拔区域,林分的优势树种不同。该区域的木本植物根、干、枝、叶的生物量均随海拔升高呈现“单峰”模式,在中等海拔(546 m)达到最大值,且木本植物生物量与海拔之间有显著相关。蓄积量和碳储量随海拔的升高呈现“低—高—低”的变化趋势,且碳储量与海拔之间有显著相关关系。

参考文献

- [1] 钱逸凡, 伊力塔, 张超, 等. 浙江省中部地区公益林生物量与碳储量[J]. 林业科学, 2013, 49(5): 17-23.
- [2] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733-740.
- [3] 杨凤萍, 胡兆永, 张硕新. 不同海拔油松和华山松林乔木层生物量与蓄积量的动态变化[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(5): 68-76.
- [4] 罗恒春, 魏安超, 黄田, 等. 云南松生物量和碳储量动态变化分析[J]. 林业资源管理, 2016(6): 37-43.
- [5] 刘倩楠, 欧阳志云, 李爱农, 等. 重庆市森林植被生物量和碳储量的空间分布特征研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(06): 221-226; 381.
- [6] 刘贵峰, 臧润国, 张新平, 等. 不同经度天山云杉林因子随海拔梯度的变化[J]. 林业科学, 2009, 45(8): 9-13.
- [7] 罗庆辉, 徐泽源, 许仲林. 天山雪岭云杉林生物量估测及空间格局分析[J]. 生态学报, 2020, 40(15): 1-10.
- [8] 张世雄, 秦瑞敏, 杨晓艳, 等. 山西吕梁山草本群落物种多样性的海拔梯度格局及与环境因子的关系[J]. 广西植物: 1-10 [2020-06-25] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1134.Q.20191122.0950.002.html>.
- [9] 林谕彤, 李海滨, 黄潇洒, 等. 广东惠州莲花山木本植物的多样性和生物量沿海拔的变化及相关性分析[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27(4): 42-52.
- [10] 连辉明, 殷祚云, 曾令海, 等. 广东古兜山次生林引入更新树种选择研究[J]. 广东林业科技, 2014, 30(6): 1-8.
- [11] 叶向斌. 广东古兜山自然保护区植物区系的探讨[J]. 仲凯农业技术学院学报, 1989, 2(1): 1-8.
- [12] CONDIT R. Tropical Forest Census Plots: Methods and Results from Barro Colorado Island, Panama and a Comparison with Other Plots [M]. Berlin: Springer, 1998.
- [13] 尹晓芬, 王灏, 王晓鸣. 贵州森林碳汇现状及增汇潜力分析[J]. 地球与环境, 2012, 40(2): 266-270.
- [14] 祖元刚, 王文杰, 杨逢建, 等. 植物生活史型的多样性及动态分析[J]. 生态学报, 2002, 22(11): 1811-1818.
- [15] 高一飞, 张静, 唐旭利, 等. 亚热带马尾松林恢复过程中物种丰富度及生物量变化[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 22-29.
- [16] 杨学成, 黄润霞, 周庆, 等. 粤东农林交错区苔藓植物与生境的关联及指示种[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(4): 177-186.
- [17] 张志敏, 杨国栋, 谢梦梦, 等. 江苏龙池山自然保护区红楠(*Machilus thunbergii*) 生存群落结构及其环境解释[J]. 生态学杂志, 2019, 38(6): 1637-1645.
- [18] 梁田, 韩芳, 李传荣, 等. 泰山景区森林植被类型及其垂直分布特征分析[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2019, 33(4): 58-64; 68.
- [19] 许涵, 李意德, 林明献, 等. 海南尖峰岭热带山地雨林60 ha动态监测样地群落结构特征[J]. 生物多样性, 2015, 23(2): 192-201.
- [20] 郝文芳, 陈存根, 梁宗锁, 等. 植被生物量的研究进展[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(2): 175-182.
- [21] 刘清泉, 杨文斌, 珊丹. 草甸草原土壤含水量对地上生物量的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2005, 19(7): 179-181.
- [22] 罗天祥, 石培礼, 罗辑, 等. 青藏高原植被样带地上部分生物量的分布格局[J]. 植物生态学报, 2002, 26(6): 668-676.
- [23] 施福军, 黄则月, 李婷, 等. 望天树天然林土壤微生物生物量碳氮垂直分布及相关性分析[J]. 林业与环境科学, 2018, 34(6): 72-76.
- [24] 樊莹, 乔雪涛, 赵秀海. 长白山自然保护区蒙古栎幼树生理生长特性随海拔梯度的变化[J]. 北京林业大学学报, 2019, 41(11): 1-10.
- [25] 张雷, 于澎涛, 王彦辉, 等. 祁连山北坡青海云杉中龄林生物量随海拔的变化[J]. 林业科学, 2015, 51 (8): 1-7.
- [26] 兰秀, 杜虎, 宋同清, 等. 广西主要森林植被碳储量及其影响因素[J]. 生态学报, 2019, 39(6): 2043-2053.
- [27] 程鹏飞, 王金亮, 王雪梅, 等. 森林生态系统碳储量估算方法研究进展[J]. 林业调查规划, 2009, 34 (6): 39-44.
- [28] 王湘龙, 魏龙, 张方秋, 等. 广东省林业碳汇解析及提升潜力分析[J]. 林业与环境科学, 2019, 35(3): 7-12.