

浙江省松阳县公益林乔木层生物量影响因素分析

叶森土¹, 许艳¹, 张川英², 吴初平³, 袁位高³, 江波³, 朱锦茹³, 王志高^{3*}

(1. 松阳县自然资源和规划局, 浙江松阳 323400; 2. 遂昌县生态林业发展中心, 浙江遂昌 323300; 3. 浙江省林业科学研究院, 浙江杭州 310023)

摘要 [目的]研究森林生物量的影响因素,探讨森林群落生产力的形成机制。[方法]以浙江省松阳县公益林为研究对象,采用结构方程模型方法,分析了物种丰富度、结构多样性及其与环境因子之间的耦合效应对乔木层生物量的影响。[结果]乔木层个体数、物种丰富度和结构多样性显著提高乔木层生物量,其中结构多样性的正向影响程度最大。结构多样性与环境因子无关,而地形和土壤因子及其相互作用显著影响乔木层个体数和物种丰富度。[结论]揭示了乔木层结构多样性、乔木层个体数和物种丰富度与环境耦合效应显著影响乔木层生物量,合理的林分结构调整和林地环境改善是提高森林群落生产力的有效途径。

关键词 结构方程模型;公益林;森林生物量;环境因子

中图分类号 S 718.5 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)09-0108-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2022.09.026



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Analysis of the Relationship between Arbor Layer Biomass and Impacting Factors in Non-commercial Forest of Songyang, Zhejiang Province

YE Sen-tu¹, XU Yan¹, ZHANG Chuan-ying² et al (1. Songyang Bureau of Natural Resources and Planning, Songyang, Zhejiang 323400; 2. Suichang Ecological Forestry Development Center, Suichang, Zhejiang 323300)

Abstract [Objective] To study the influencing factors of forest biomass and explore the formation mechanism of forest community productivity. [Method] Structural equation model method was used to analyze the impact of species diversity, structural diversity and their coupling effect with environmental factors on the biomass of arbor layers in no-commercial forest of Songyang County, Zhejiang Province. [Result] The results showed that number of trees, species richness and structural diversity significantly increased the biomass of the arbor layer, of which structural diversity has the greatest positive impact. Terrain and soil factors and their interaction significantly affect number of trees and species abundance, which indirectly affect the arbor layer biomass. But the relationship between structural diversity and environmental factors was not significant. [Conclusion] The study revealed that the structural diversity of the arbor layer, as well as the coupling effect of number of trees and species richness with the environment, significantly affect the biomass of the arbor layer. Reasonable adjustment of stand structure and improvement of forest environment are effective ways to improve the productivity of forest communities.

Key words Structural equation model; Non-commercial forest; Forest biomass; Environmental factors

森林生物量反映了森林生态系统的固碳能力。探究森林生物量的形成机制对评估区域森林碳平衡具有重要意义^[1],可为加强森林生态系统管理、主动应对全球气候变化提供理论依据。但是森林生物量的影响因素较为复杂,研究多种因素耦合效应对森林生物量的影响有助于加深对实现森林碳中和目标的认识和理解。森林生物量的形成受多种因素的影响^[2]。学者较为关注生物多样性与生产力的关系,但森林环境的复杂性、树木生长较慢的特性加深了二者的不确定关系^[3-5],同时森林结构的复杂性有助于对资源的有效利用,进而提高森林生态系统的地上生物量^[6]。生物多样性、结构多样性可能都会受到环境因素的影响,如海拔的升高可能会导致生物多样性的降低^[7],而土层较厚、水热条件较好的南坡生物多样性一般较高^[4]。因此,研究森林生物量的形成机制要综合考虑生物因素和非生物因素的影响,以及非生物因素的间接影响。

结构方程模型不仅能够判别各因子之间的关系强度(路径系数),还能探讨不同因子对同一过程的直接和间接影响,并在生态学研究中得到越来越多的重视^[8-11]。公益林作为林业生态建设的核心工程,在我国实现碳排放达峰和碳中和目标的过程中将会发挥越来越重要的作用。笔者采用结构

方程模型分析方法,以浙江省松阳县生态公益林为对象,研究乔木层生物量的影响因素,以期为加强生态公益林管理及碳汇能力提升提供理论依据。

1 研究方法

1.1 研究区概况 松阳县地处浙南山地,地势西北高,东南低,素有“八山一水一分田”之称。境内多年平均降水量 1 700 mm,森林覆盖率 80.18%,植被类型多样。2020 年公益林面积 6.43 万 hm^2 ,占全县林地面积的 56.3%。公益林林种以防护林为主,树种以杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、马尾松(*Pinus massoniana*)、木荷(*Schima superba*)、青冈(*Quercus glauca*)等为主,毛竹(*Phyllostachys heterocyclus*)的重要值也相对较高^[12-13]。

1.2 样地调查方法 在浙江省丽水市松阳县公益林中随机设置 128 个 20 m×20 m 的固定监测样地,对样地内乔木树种(胸径≥5.0 cm)采用每木调查,记录树种名称,测量胸径、树高,并记录海拔、坡度、坡位、坡向、土壤类型、腐殖质厚度和凋落物厚度等样地环境因子。

1.3 数据分析方法 乔木层生物量的计算方法参照袁位高等^[14]建立的浙江省公益林生物量估算模型。笔者将影响乔木层生物量(biomass, BIOM)的因素划分为生物因素和非生物因素。非生物因素包括海拔(elevation, ELE)、坡度(slope, SL)、坡位(slope position, SLPO)、坡向(aspect, ASP)、土壤类型(soil type, SOTY)、土壤质地(soil texture, SOTE)、腐殖质厚

基金项目 浙江省省院合作林业科技资助项目(2019SY08)。

作者简介 叶森土(1971—),男,浙江松阳人,工程师,从事森林培育研究。*通信作者,副教授,博士,从事森林培育与生态研究。

收稿日期 2021-11-29

度(Humus thickness, HUTH)和凋落物厚度(Litter thickness, LITH)等;生物因素包括物种丰富度(species richness, SPRI)、乔木层个体数(No. of trees, NOTR)、结构多样性(structural diversity, STDI)3个指标。结构多样性指数以不同空间尺度下样方中树木个体所占的胸径级数(DBH-layers)表示。该研究以5 cm一个等级进行划分,即[5,10), [10,15)……。

首先对乔木层生物量进行对数转换,然后将所有自变量进行标准化,采用结构方程模型探索多变量的相互作用对地上生物量的影响。由于纳入结构方程模型的变量越多,所需样本数量也越大,受样方数量限制,在进行结构方程模型分析之前,首先使用Pearson相关性检验选择出与地上生物量、物种丰富度、结构多样性和多度相关性最高的土壤变量或地形变量,再将其纳入最初的结构方程模型中。结构方程模型参数采用R语言lavaan程序包进行估计。所有统计分析均使用R Version 3.3.0软件进行。

2 结果与分析

2.1 生物多样性和结构多样性与生物量的关系

松阳县公益林乔木层共调查到141个树种,生物量树种分配较为集中,杉木占调查样地总生物量的41.78%,其次为马尾松,占20.7%,甜槠(*Castanopsis eyrei*)占5.69%。前13个树种的生物量占总生物量的90%以上,后78个树种的生物量占比不到1%(图1)。

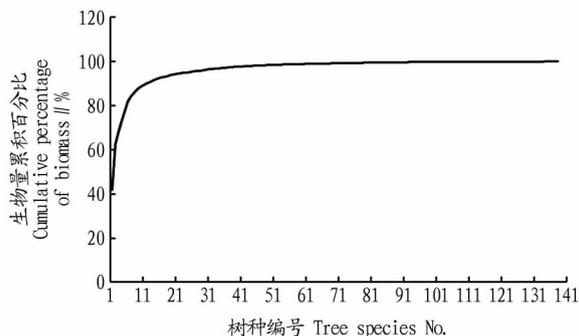


图1 乔木层生物量累积分布曲线

Fig. 1 Cumulative distribution curve of biomass in tree layer

Pearson相关性分析发现(图2),乔木层物种丰富度、个体数和结构多样性对乔木层生物具有极显著正效应($P < 0.01$)。根据正相关程度(斜率)大小判断,结构多样性对乔木层生物量的影响最大,乔木层个体数次之,物种丰富度最小。

对乔木层物种丰富度、乔木层个体数和结构多样性与环境因素的相关分析发现,乔木层结构多样性与环境因素无相关性,而物种丰富度受到坡度和海拔的影响($P < 0.01$, $P < 0.001$),而个体数与海拔和腐殖质厚度显著相关($P < 0.001$, $P < 0.05$),海拔和腐殖质厚度也与其他环境因素之间存在线性关系(表1),表明乔木层物种丰富度和乔木层个体数对生物量的影响可能与环境因素的耦合效应有关。

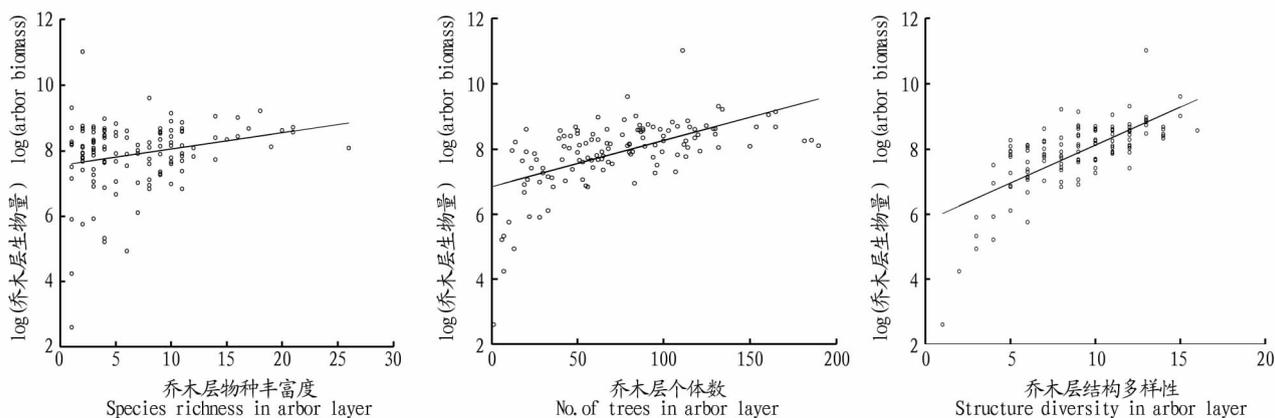


图2 乔木层物种丰富度、个体数和结构多样性与生物量的关系

Fig. 2 Relationships between species richness, abundance and structural diversity and biomass in arbor layer

2.2 结构方程模型分析结果

进一步采用结构方程模型分析了乔木层生物量的影响因素,表明模型适配较好($\chi^2 = 61.33$, $P > 0.05$)。结构方程模型分析结果表明,乔木层生物量受到结构多样性、物种丰富度和乔木层个体数直接的正向影响,其中结构多样性的影响程度最大,路径系数为0.306,即结构多样性每变化1个单位,生物量增加0.306(对数)。结构多样性与环境因素无关,与相关性分析结果一致。结构方程模型揭示了环境因素与个体数和物种丰富度产生耦合效应,进而影响乔木层生物量。凋落物厚度与腐殖质厚度的耦合效应正向影响乔木层个体数,进而间接影响生物量,而土壤质地、土壤类型、海拔和坡度的耦合效应则对物种丰富度产生负向影响,表明海拔越高,坡度越陡的样地物种丰富

度越低,乔木层生物量越小(图3)。

3 讨论

该研究采用结构方程模型方法分析了浙江省松阳县公益林乔木层生物量的影响因素。结果发现,物种丰富度和结构多样性显著提高乔木层生物量,这与其他区域相关研究结果一致^[15],但也有研究表明物种丰富度对生物量产生负向影响^[6]。同时,该研究也发现环境因素主要通过影响林分密度和物种丰富度,进而间接影响乔木层生物量。

对我国长白山、鼎湖山、西双版纳和哀牢山森林生态系统乔木层生物量与物种丰富度的研究发现,乔木层生物量与物种丰富度之间具有较好的相关性^[16]。物种丰富度对生物量产生负向影响可能与大树的不对称竞争和大树林窗引起

生物量减少和林分物种丰富度升高有关^[6]。该研究区域公益林次生性明显,林窗较少,林分径级结构呈正态分布,大树比例较低,因此与其他森林类型中发现的物种丰富度与生物量负相关的结果不同。该研究发现,样地多度(即林分密度)

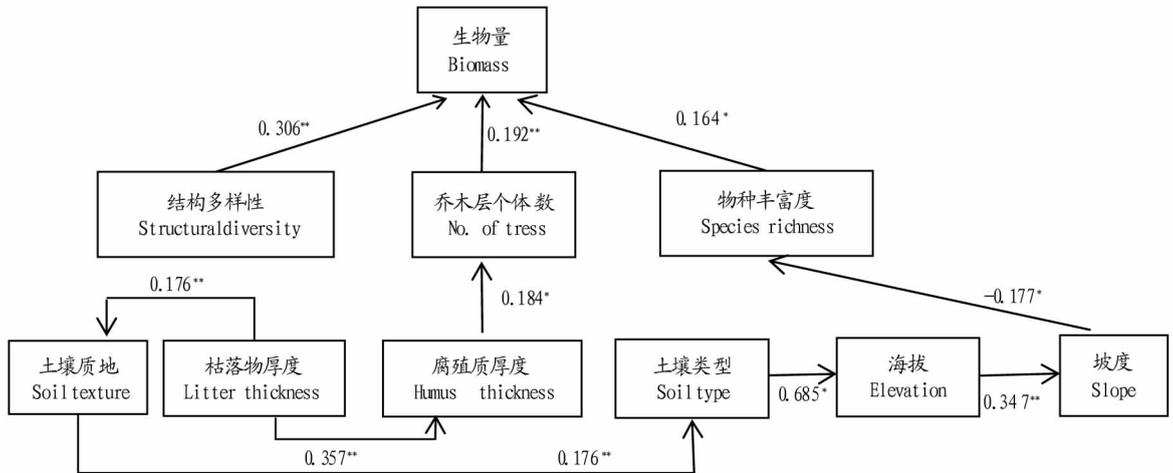
对乔木层生物量产生正向效应。对立地条件相对一致的杉木林研究表明,林分总生物量随密度的增大而增大^[17]。但是过高的林分密度生产力不一定高,合理的林分密度有利于促进林下植被的发育^[18],提高结构多样性,进而提高生产力。

表 1 乔木层生物量与物种丰富度、结构多样性和环境因子 Pearson 相关性分析

Table 1 Results of Pearson correlation analysis among biomass and species diversity, structural diversity and environmental factors

指标 Index	生物量 BIOM	物种丰富度 SPRI	个体数 NOTR	结构多样性 STDI	坡位 SLPO	坡度 SL	坡向 ASP	海拔 ELE	土壤类型 SOTY	土壤质地 SOTE	土壤厚度 THIC	腐殖质厚度 HUTH	凋落物厚度 LITH
生物量 BIOM	1												
物种丰富度 SPRI	0.02	1											
个体数 NOTR	0.29***	0.26**	1										
结构多样性 STDI	0.37***	0.10	0.07	1									
坡位 SLPO	-0.05	0.07	-0.06	-0.01	1								
坡度 SL	0.05	0.21**	0.15	-0.01	0.03	1							
坡向 ASP	0.11	-0.15	-0.10	-0.06	0	0.10	1						
海拔 ELE	0	0.37***	0.29***	-0.02	0.32***	0.11	-0.09	1					
土壤类型 SOTY	-0.05	0.16	0.04	-0.01	0.28**	-0.04	-0.09*	0.68***	1				
土壤质地 SOTE	0.07	-0.12	0.05	0.14	-0.01	-0.07	-0.09	0.17	0.28***	1			
土壤厚度 THIC	0.11	-0.17	0.12	-0.02	0.04	-0.11	0	-0.01	-0.03	-0.08	1		
腐殖质厚度 HUTH	0.44***	0.03	0.19*	0.02	0.10	0	0	0.16	0	-0.33***	0.05	1	
凋落物厚度 LITH	0.40***	-0.15	0.08	0.08	0.17*	-0.05	0.01	0.04	0.08	0.08	0.08	0.36***	1

注: *表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$, ***表示 $P < 0.001$
 Note: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$



注: *表示 $P < 0.05$, **表示 $P < 0.01$
 Note: * means $P < 0.05$, ** means $P < 0.01$

图 3 结构方程模型对乔木层生物影响因素分析结果

Fig. 3 Results of structural equation model analyzing influential factors of biomass in arboreal layer

环境因子主要影响光照、水分及营养元素等植物生长必需要素的空间分布,间接决定了群落的地上生物量积累。刘海平等^[4]对东灵山暖温带森林研究表明,东西坡向风力和蒸腾作用的差异对地上生物量影响显著。土层厚度、质地、腐殖质等因素受地形局部差异的影响,相互之间的协同作用对森林与环境间的作用过程产生重要影响^[19]。该研究揭示了环境因素之间具有复杂的相互关系,进而影响林分的密度和物种丰富度。吴初平等^[20]对浙江定海次生林的研究也发现无论考虑或不考虑环境因子,物种丰富度与生产力关系差异显著,在野外和室内控制试验条件下,物种丰富度与生产力

具有很多不确定性,二者关系之间的关系需要修正环境因子的影响。该研究中结构多样性与环境因子无关,结构多样性提高群落生产力的原因可能与林木利用资源的效率有关^[6]。Comita等^[21]研究发现,植物不同的生长阶段,对资源的需求也不同,如个体大小差异性较大的森林群落可更加有效地利用垂直方向光资源和不同的资源类型,增加林分生物量。康昕等^[22]研究也证明个体大小差异性的增大有利于增加群落的物种丰富度,并对郁闭度较小群落的地上生物量水平有一定的促进作用。因此,从森林管理的角度,通过合理的间伐措施,提

(下转第 113 页)

3 结论

通过以上试验,结合玉簪属品种观赏性、耐阴性,进一步筛选玉簪属品种 12 种,确定 4 个叶色类型及每个类型适合推广应用的品种。

3.1 黄色叶类型 确定为雨林日出、金标、月光。雨林日出与金标的冠幅、叶长及叶宽在所有品种中较大,雨林日出开白色花与黄色叶片交相辉映,金标开紫色花,花量特别大,月光叶片嫩黄色,开紫色花,这 3 种玉簪均具有良好的观赏性,虽然黄色叶类型耐阴性是最弱的,但仍可以在适宜的光照条件下生长,且黄色叶类型的玉簪品种稀少,从叶色上看具有较高的观赏价值,可作为推广应用品种。

3.2 花色叶类型 确定为法兰西、甜心、金塔娜。从数据上看,法兰西和甜心与其他花叶品种比较具有较强的耐阴性,且法兰西叶片银白边绿芯、叶片厚实稍具革质,属于夏季花,易分株,繁殖系数高,夏季不易发生焦边等病害;甜心叶片金黄边绿芯,易分株,繁殖系数较高,花期在夏季,且花期较长,叶片长为宽的 2 倍以上;金塔娜与其他花叶品种相比虽然耐阴性稍差,但其花量较大,花期长,花葶 20~25 支,每个花葶上 25~30 朵花,黄白边黄绿芯,因此花叶类型选择这 3 个品种。

3.3 绿色叶类型 确定为朱莉摩尔、圆叶、白玉簪。朱莉摩尔叶宽、叶长、冠幅、株高在玉簪属品种中较大,且叶片较厚,耐阴性也较强;圆叶的叶片稍革质,耐阴性较强,夏季无叶片焦边和枯萎现象,叶片心形,整个植株叶片一轮压一轮排列,

形似莲花座,极具观赏性;白玉簪虽然耐阴性稍差,但其花朵具有香气,花朵非常大,长筒喇叭状,叶片叶长及叶宽比大多数品种大,植株冠幅 72~75 cm,从形态特征及观赏性上看,绿色叶类型选择这 3 个品种。

3.4 蓝色叶类型 选择了蓝色夏威夷、姑奶奶、阿比卡酒葫芦。蓝色叶类型品种株高、冠幅、叶长、叶宽等相差不多,都是蓝色叶白色花,只能从耐阴性上比较,蓝色叶类型耐阴性最强,且这 3 个品种的耐阴性均高于优雅。

参考文献

- [1] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志:第 15 卷[M]. 北京: 科学出版社,1990:134-135.
- [2] 李钱鱼,夏宜平. 玉簪属植物种质资源及其园林应用现状[J]. 中国园林,2004(2):77-79.
- [3] 刘东焕,赵世伟,郭翎,等. 玉簪优良品种的资源评价及园林应用[C]//中国植物学会植物园分会编辑委员会. 中国植物园:第十八期. 北京: 中国林业出版社,2015:95-103.
- [4] 莫健彬,陈必胜,黄梅,等. 高温对玉簪品种部分生理指标的影响研究[J]. 种子,2007,26(5):48-51.
- [5] 徐庆祥. 玉簪属植物生理生态学研究进展[J]. 安徽农业科学,2017,45(15):6-8,13.
- [6] 陈叶. 玉簪属植物耐阴性研究概况及展望[J]. 江苏农业科学,2021,49(15):47-52.
- [7] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学,1986(3):26-28.
- [8] 段光明. 叶绿素含量测定中 Amon 公式的推导[J]. 植物生理学通讯,1992,28(3):221-222.
- [9] 王雁,苏雪痕,彭镇华. 植物耐阴性研究进展[J]. 林业科学研究,2002,15(3):349-355.
- [10] 王雁. 14 种地被植物光能利用特性及耐阴性比较[J]. 浙江林学院学报,2005,22(1):6-11.
- [11] 周建平,王树力. 基于结构方程模型的分层上下层间结构与树木多样性耦合关系研究[J]. 北京林业大学学报,2015,37(9):9-16.
- [12] 占拥法,洪根勇,吕律英. 松阳县森林资源特点分析及可持续发展对策[J]. 中国林业经济,2016(2):83-84.
- [13] 叶森土,金超,吴初平,等. 浙江松阳县生态公益林群落分类排序及优势种间关联分析[J]. 浙江农林大学学报,2020,37(4):693-701.
- [14] 袁位高,江波,葛永金,等. 浙江省重点公益林生物量模型研究[J]. 浙江林业科技,2009,29(2):1-5.
- [15] ALI A, YAN E R, CHEN H Y H, et al. Stand structural diversity rather than species diversity enhances aboveground carbon storage in secondary subtropical forests in Eastern China[J]. Biogeosciences, 2016, 13(16):4627-4635.
- [16] 黄贤松,吴承祯,洪伟,等. 2 种杉木人工林密度与立木生物量的研究[J]. 福建林学院学报,2011,31(2):102-105.
- [17] 盛炜彤. 杉木林的密度管理与长期生产力研究[J]. 林业科学,2001,37(5):2-9.
- [18] 王斌,杨校生. 4 种典型地带性植被生物量与物种多样性比较[J]. 福建林学院学报,2009,29(4):345-350.
- [19] 尹伟伦. 全球森林与环境关系研究进展[J]. 森林与环境学报,2015,35(1):1-7.
- [20] 吴初平,韩文娟,江波,等. 浙江定海次生林内物种丰富度与生物量和生产力关系的环境依赖性[J]. 生物多样性,2018,26(6):545-553.
- [21] COMITA L S, CONDIT R, HUBBELL S P. Developmental changes in habitat associations of tropical trees[J]. Journal of ecology, 2007, 95(3):482-492.
- [22] 康昕,王笑梅,侯嫦英,等. 林木个体大小差异对群落地上生物量及物种多样性的影响[J]. 生态学杂志,2016,35(9):2286-2292.

(上接第 110 页)

高林分的透光率,形成异龄林,有助于提高群落生产力。

参考文献

- [1] 赵敏,周广胜. 基于森林资源清查资料的生物量估算模式及其发展趋势[J]. 应用生态学报,2004,15(8):1468-1472.
- [2] 薛立,杨鹏. 森林生物量研究综述[J]. 福建林学院学报,2004,24(3):283-288.
- [3] LEHMAN C L, TILMAN D. Biodiversity stability, and productivity in competitive communities [J]. The American naturalist, 2000, 156(5): 534-552.
- [4] 刘海丰,薛达元,桑卫国. 地形因子对暖温带森林群落物种丰富度-地上生物量关系的影响[J]. 生态环境学报,2012,21(8):1403-1407.
- [5] PEDRO M S, RAMMER W, SEIDL R. Disentangling the effects of compositional and structural diversity on forest productivity[J]. Journal of vegetation science, 2017, 28(3):649-658.
- [6] 谭珊珊,王忍忍,龚筱羚,等. 群落物种及结构多样性对森林地上生物量的影响及其尺度效应:以巴拿马 BCI 样地为例[J]. 生物多样性,2017,25(10):1054-1064.
- [7] 刘兴良,史作民,杨冬生,等. 山地植物群落生物多样性与生物生产力海拔梯度变化研究进展[J]. 世界林业研究,2005,18(4):27-34.
- [8] 王酉石,储诚进. 结构方程模型及其在生态学中的应用[J]. 植物生态学报,2011,35(3):337-344.
- [9] 王磊,崔明,刘玉国,等. 岩溶区林分生长与影响因子的关系[J]. 浙江农林大学学报,2020,37(6):1036-1044.
- [10] 王树力,周建平. 基于结构方程模型的分层生长与影响因子耦合关系分析[J]. 北京林业大学学报,2014,36(5):7-12.