

森林景观对区域生物多样性的影响

刘 恋^{1,2}, 陈文波^{1,2*}, 谢弟炳³

(1. 南昌市景观与环境重点实验室, 南昌 330045; 2. 江西农业大学景观与环境生态研究中心, 南昌 330045;
3. 江西应用技术职业学院, 赣州 341000)

摘 要: 森林资源减少是区域生物多样性下降的重要原因之一, 明确影响区域生物多样性变化的关键森林景观因子对深入了解森林景观对区域生物多样性的影响机制具有重要意义。以鄱阳湖生态经济区为研究对象, 从森林景观的数量、质量、分布等方面选取 11 个指标, 通过相关分析、弹性分析和线性回归分析研究森林景观指标与区域生物多样性的关系。结果表明, 所选用的表征森林景观的指标, 除平均树高外, 均与区域生物多样性显著相关(显著水平 0.05), 与森林密度(每公顷株数)的相关性最好; 区域生物多样性对平均胸径变动的敏感程度最强, 森林景观分布均衡度次之, 有林地面积最弱; 采用逐步回归法, 建立了多元回归方程, 表明在多因素综合影响下, 影响区域生物多样性的主要指标作用大小为: 活立木蓄积量>每公顷株数>平均胸径>森林景观分布均衡度>林地面积。研究结论为科学管理森林景观, 提高区域生物多样性提供了一定依据。

关键词: 森林景观; 区域生物多样性; 影响

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)03-0387-07

Effect of forest landscape on regional biodiversity

LIU Lian^{1,2}, CHEN Wenbo^{1,2}, XIE Dibing³

(1. Key Laboratory of Environment and Landscape, Nanchang 330045;

2. Research Center of Environment and Landscape Ecology, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045;

3. Jiangxi College of Applied Technology, Ganzhou 34100)

Abstract: Reduction of forest resources is one of the important reasons for the regional biodiversity. Therefore, identification of factors affecting regional biodiversity in the forest landscape is crucial. Taking Poyang Lake Eco-economic Zone as a case study area, 11 indices pertaining to the aspects of forest landscape quantity, quality and distribution were selected for evaluation. Correlation analysis, linear regression analysis and flexibility analysis were used to investigate the relationship between forest landscape indices and regional biodiversity. The results indicated that the indices chosen to represent forest landscapes were significantly correlated with the regional biodiversity ($P < 0.05$) except the average tree height. The forest density (the number per hectare) showed the highest correlation with regional biodiversity. Regional biodiversity was most sensitive to the average diameter at breast height, followed by forest landscape distribution equilibrium degree. The area of forestland had the lowest sensitivity to regional biodiversity. Multiple regression equation was established using the stepwise regression method and it showed that the sequence of indices affecting regional biodiversity follows by the growing stock volume, number per hectare, average diameter at breast height, forest landscape distribution equilibrium degree, and the area of forestland.

Key words: forest landscape; regional biodiversity; effect

生物多样性(biodiversity)是人类赖以生存和发展的物质基础, 是全人类的共同财富, 在维持全球生态平衡、可持续发展上具有重要意义^[1-2]。森林是陆地生态系统的主体, 是生物多样性的分布

收稿日期: 2016-01-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(41161031)资助。

作者简介: 刘 恋, 硕士研究生。E-mail: liulian199230@163.com

* 通信作者: 陈文波, 教授, 博士生导师。E-mail: cwb1974@126.com

中心^[3]。据统计,世界森林面积占土地面积的 22%,却集中了 70%以上的物种,尤其是热带森林面积虽然只占全球面积的 7%,但集中了 50%以上物种^[4]。森林一旦遭到破坏,不仅会造成有机质合成的减少,食物链短缺,还会使大量野生动植物失去其赖以生存的栖息地,对生物多样性构成严重威胁。

鄱阳湖生态经济区是我国重要的生态功能保护区之一,在调节气候、保护生物多样性等方面发挥着重要作用。区内复杂的地形地貌和特殊的地理位置,为该区野生动植物资源的形成创造了有利的条件,是江西省生物多样性重点保护区。然而,随着鄱阳湖生态经济区建设的大力推进和人口的不断增长,森林砍伐等人类活动不断加剧,森林生态环境受到严重破坏,区内生物多样性不断下降,严重威胁到人类的生存与发展^[5]。因此,研究鄱阳湖生态经济区生物多样性与森林景观的关系,识别影响生物多样性变化的主要森林因素对于生物多样性保护尤为重要。目前,针对该区生物多样性的研究主要

集中在对鄱阳湖地区动植物多样性的调查、评价及格局分析^[6-9]等方面,在区域尺度上研究森林景观对区域生物多样性的影响却不多见。本研究在前人对鄱阳湖生态经济区生物多样性调查的基础上,以生物多样性指数来表征区域生物多样性状况,通过相关分析、弹性分析和线性回归分析等方法研究区域生物多样性和森林景观的相关关系,探讨森林景观对区域生物多样性的影响机制,旨在为通过优化森林景观保护生物物种,提高区域生物多样性提供一定的依据。

1 研究区概况

研究区鄱阳湖生态经济区地处长江中下游南岸,地理坐标为东经 114°29'~117°42',北纬 27°30'~30°06',包括南昌、鹰潭、景德镇 3 市,以及九江、抚州、新余、吉安、上饶、宜春市的部分县(市、区),共 38 个县(市、区),全区总面积 5.12 万 km²,占江西省国土面积的 30.76%。

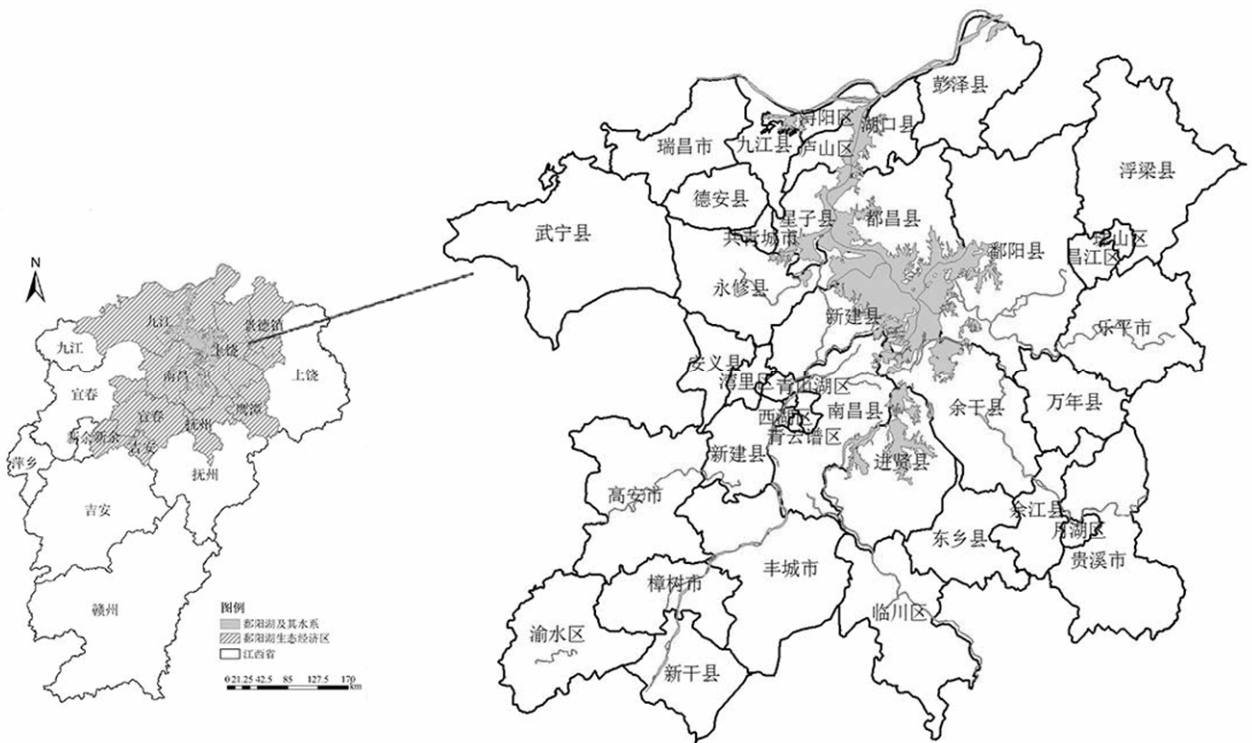


图 1 鄱阳湖生态经济区区位
Figure 1 Poyang Lake Eco-economic Zone

鄱阳湖生态经济区地貌类型复杂多样,由平原、丘陵岗地、岛屿、水道、内湖、洲滩、汉港组成。全区属亚热带湿润性季风型气候,平均气温在 18℃左右,年均日照时数为 1473.3~2077.5 h。区域年均降水量约为 1350~1900 mm,土壤类型主要有黄壤、山地黄棕壤、红壤、潮土、山地草甸土、石灰土、

紫色土以及水稻土。

江西省 2009 年森林资源二类调查资料显示,全区林业用地面积 2.15 万 km²,其中武宁县最高,为 0.256 万 km²,其次为浮梁县 0.212 万 km²,城市市区的林业用地面积极低。受优越水热条件的影响,区内物种资源、植被类型丰富多样,拥有鸟类 310

种, 兽类 13 种, 鱼类 139 种, 浮游动植物数百种, 贝类 40 种, 昆虫类 227 种, 高等植物 476 种。

2 数据来源与研究方法

2.1 生物多样性数据及来源

作者所用的生物多样性数据包括: 野生维管束植物种数、野生高等动物种数、生态系统类型、特有物种数、外来入侵物种数以及受威胁物种数, 来源于《江西生物多样性调查与评估》^[10]、公开发表的期刊及现场实地调查。

2.2 森林景观指标的选取

森林是生物多样性的重要发源地。从本质上讲,

森林产生与维持生物多样性生态功能的强弱主要取决于森林数量的多少、质量的高低和分布的均匀程度 3 个方面。森林数量是维持生物多样性的根本, 是影响生物多样性变化的基本要素, 决定了森林质量、分布等因素影响的效果。而森林质量、分布又是森林资源可持续发展的保障, 直接影响到森林各种效益的发挥。综合考虑以上因素, 以科学性、代表性、可行性为选择影响因子的原则, 最终确定了 11 个指标 (表 1) 来研究森林景观对区域生物多样性的影响。各指标值来源于江西省森林分布图和江西省森林资源二类调查小班数据库。

表 1 森林景观指标及其计算说明

Table 1 Indices and their calculation of forest landscape

指标类型 Type of indices	指标 Indices	计算说明 Calculation
森林数量 Quantity of forest	林地面积/hm ²	通过江西省森林分布图统计得出
	森林覆盖率/% 有林地面积/hm ²	有林地面积/土地总面积 通过江西省森林分布图统计得出
森林质量 Quality of forest	郁闭度	通过江西省森林资源二类调查小班
	平均林龄/年	数据库以面积加权法计算得出
	平均胸径/cm	
	平均树高/m	
森林分布	活立木蓄积量/万 m ³ 每公顷株数/株·hm ⁻²	
	森林景观破碎度	森林景观的斑块数/森林景观的总面积
Distribution of forest	森林景观分布均衡度 ^[11]	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\text{总体覆盖率} - \text{第}i\text{个统计小区的覆盖率}) }{n \text{个统计小区} * \text{总体覆盖率}}$

表 2 相关评价指标参考最大值

Table 2 Maximum values of evaluating indices for regional biodiversity

评价指标 Evaluating indices	野生维管束植物丰富度 Richness of wild vascular plant	野生动物丰富度 Richness of wild animal	生态系统类型多样性 Diversity of ecosystem types	物种特有性 Endemic species	受威胁物种丰富度 Richness of threatened species	外来物种入侵度 Intrusion of exotic species
A_{\max}	3662	635	124	0.3070	0.1572	0.1441

2.3 区域生物多样性评价

区域生物多样性是一个多因素、多指标的复杂系统, 它包括物种、基因、环境等各个方面。依据国家环境保护部发布的《区域生物多样性评价标准》^[12], 以县为单元, 应用综合指数法对区域生物多样性进行评价, 以生物多样性指数 (BI) 的大小来定量描述区域生物多样性的状况。其中外来物种入侵度为成本型指标, 指标的属性值越小越好, 需对其作适当转换。

BI=归一化后的野生维管束植物丰富度×0.2+归一化后的野生动物丰富度×0.2+归一化后的生态系统类型多样性×0.2+归一化后的物种特有性×0.2+归一化后的受威胁物种丰富度×0.1+(100-归一化后的外来物种入侵度)×0.1

归一化后的评价指标=归一化前的评价指标×归一化系数

归一化系数=100/该评价指标归一化处理前的最大值

表 3 鄱阳湖生态经济区生物多样性评价结果
Table 3 Evaluating results of regional biodiversity

市 City	县(市、区) County	BI	评价结果 Evaluating results	市 City	县(市、区) County	BI	评价结果 Evaluating results
南昌市 Nanchang	东湖区	27.36	一般 Ordinary	新余市 鹰潭市	彭泽县	42.23	中 Middle
	西湖区	26.85	一般 Ordinary		永修县	57.96	中 Middle
	青云谱区	29.59	一般 Ordinary		湖口县	45.47	中 Middle
	湾里区	25.35	一般 Ordinary		德安县	40.87	中 Middle
	青山湖区	31.84	中 Middle		都昌县	54.63	中 Middle
	新建县	50.86	中 Middle		共青城市	31.51	中 Middle
	南昌县	41.69	中 Middle		渝水区	29.61	一般 Ordinary
	进贤县	43.70	中 Middle		月湖区	21.11	一般 Ordinary
景德镇市 Jingdezhen	安义县	33.01	中 Middle	贵溪市	47.25	中 Middle	
	珠山区	21.91	一般 Ordinary	余江县	41.57	中 Middle	
	昌江区	26.91	一般 Ordinary	吉安市	新干县	39.77	中 Middle
	乐平市	42.73	中 Middle	宜春市	丰城市	37.74	中 Middle
九江市 Jiujiang	浮梁县	45.28	中 Middle	樟树市	35.60	中 Middle	
	浔阳区	35.30	中 Middle	高安市	39.84	中 Middle	
	庐山区	51.52	中 Middle	抚州市	临川区	43.00	中 Middle
	瑞昌市	41.29	中 Middle	东乡县	40.58	中 Middle	
	九江县	54.03	中 Middle	上饶市	鄱阳县	54.60	中 Middle
	星子县	64.39	高 High	余干县	53.85	中 Middle	
	武宁县	45.94	中 Middle	万年县	40.16	中 Middle	

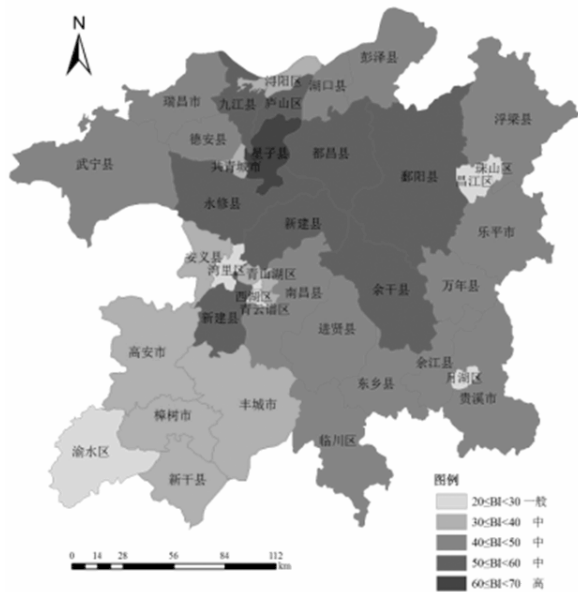


图 2 鄱阳湖生态经济区生物多样性状况评估图
Figure 2 Biodiversity state of different counties in Poyang Lake Eco-economic Zone

2.4 相关分析与弹性分析

利用相关关系的理论与方法，对研究区各县(市、区)的生物多样性指数与各县(市、区)的森林景观指标进行相关分析，采用 t 检验对相关系数进行显著性检验，从而得出区域生物多样性与森林景观各指标的关系特征。同时，借用经济学中的

“弹性”概念来分析区域生物多样性对森林景观各指标变化的敏感程度，从而进一步揭示森林景观各指标对区域生物多样性影响程度的大小。弹性的计算公式如下^[13]：

$$E = \frac{\Delta y / y}{\Delta x / x} = \frac{\Delta y}{\Delta x} \cdot \frac{x}{y}$$

式中：E 为弹性，x 为自变量，y 为因变量，Δx 和 Δy 为自变量和因变量的变化量。本文将区域生物多样性指数看成是因变量，森林景观各指标看成是自变量，将上面公式转化为双对数回归模型 $\ln y_i = E \ln x_i + A$ 来计算弹性 E。

2.5 线性回归分析

由于森林景观各指标综合作用于区域生物多样性，因此在对单个指标分析的基础上，根据多元线性回归模型： $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k + \epsilon$ ，进行多变量回归分析，在众多指标中寻找影响区域生物多样性的关键指标。

3 结果与分析

3.1 区域生物多样性评价

评价结果显示(表 3 和图 2)，鄱阳湖生态经济区各县(市、区)的生物多样性指数为 21.11~64.39。按照生物多样性状况的分级标准^[12]，分为“高”、“中”和“一般”3 个等级。其中，生物多样性等

级为“高”的只有星子县, 占鄱阳湖生态经济区面积的 1.46%; 生物多样性等级为“中”的有新建县、九江县、永修县等 29 个县(市、区), 占鄱阳湖生态经济区面积的 93.25%; 生物多样性等级为“一般”的有东湖区、西湖区、青云谱区等 8 个县(市、区), 占鄱阳湖生态经济区面积的 5.29%。总的来说, 鄱阳湖生态经济区物种较丰富, 特有属、种多, 生态系统类型较多, 局部地区生物多样性高度丰富, 生物多样性大体呈现出由湖体向外围下降的趋势。

3.2 森林景观对区域生物多样性的影响

3.2.1 森林数量对区域生物多样性的影响 相关分析表明, 区域生物多样性与林地面积、森林覆盖率、有林地面积均呈现正相关关系, 且区域生物多样性

与林地面积的相关性好于与有林地面积、森林覆盖率的相关性(表 4)。

通过计算生物多样性指数对林地面积、森林覆盖率、有林地面积的弹性, 得出当林地面积每增加 1%, 将引起生物多样性指数增加 0.166%; 森林覆盖率每增加 1%, 将引起生物多样性指数增加 0.165%; 有林地面积每增加 1%, 将引起生物多样性指数增加 0.090%(表 5)。

3.2.2 森林质量对区域生物多样性的影响 研究结果表明, 区域生物多样性与郁闭度、平均胸径、活立木蓄积量、每公顷株数有显著的正相关关系, 与平均林龄相关性较弱, 与平均树高则不相关, 且区域生物多样性与每公顷株数的相关性最好(表 4)。

表 4 生物多样性指数与森林景观指标的相关性 (Pearson 相关分析)

Table 4 Coefficients of Pearson correlation between biodiversity index and indices of forest landscape

指标类型 Type of indices	指标 Indices	相关系数 Correlation coefficients	P
森林数量 Quantity of forest	林地面积/hm ² Forestland area	0.676**	0.000
	森林覆盖率/% Forest coverage rate	0.390*	0.016
	有林地面积/hm ² Forest land area	0.543**	0.000
森林质量 Quality of forest	郁闭度 Canopy density	0.608**	0.000
	平均林龄/年 Average stand age	0.395*	0.014
	平均胸径/cm Average DBH	0.742**	0.000
	平均树高/m Average tree height	0.311	0.057
	活立木蓄积量/万 m ³ Growing stock of living wood	0.828**	0.000
森林分布 Distribution of forest	每公顷株数/株·hm ² Number of trees per hm ²	0.892**	0.000
	森林景观破碎度 Forest landscape fragmentation index	-0.697**	0.000
	森林景观分布均衡度 Evenness of landscape distribution	0.813**	0.000

注: ** 在 0.01 水平上双尾检验相关性显著; * 在 0.05 水平上双尾检验相关性显著。

Note: “**” refers to significance at the 0.01 level; “*” refers to significance at the 0.05 level.

表 5 生物多样性指数与森林景观指标的双对数回归

Table 5 Regression of double logarithm between biodiversity index and indices of forest landscape

指标类型 Type of indices	指标 Indices	常量 a Constant	回归系数 b Regression coefficients	F 统计量 Statistics	P
森林数量 Quantity of forest	林地面积/hm ²	1.894	0.166	39.671	0.000
	森林覆盖率/%	3.134	0.165	14.316	0.001
	有林地面积/hm ²	3.192	0.090	34.310	0.000
森林质量 Quality of forest	郁闭度	4.251	0.774	17.572	0.000
	平均林龄/年	1.946	0.664	7.812	0.008
	平均胸径/cm	1.197	1.114	46.610	0.000
	活立木蓄积量/万 m ³	1.126	0.395	83.990	0.000
	每公顷株数/株·hm ²	0.852	0.397	108.258	0.000
森林分布 Distribution of forest	森林景观破碎度	2.731	-0.456	27.975	0.000
	森林景观分布均衡度	4.547	1.070	89.209	0.000

通过计算生物多样性指数对郁闭度、平均林龄、平均胸径、活立木蓄积量、每公顷株数的弹性,

得出当郁闭度每增加 1%, 将引起生物多样性指数增加 0.774%; 平均林龄每增加 1%, 将引起生物多

样性指数增加 0.664%；平均胸径每增加 1%，将引起生物多样性指数增加 1.114%；活立木蓄积量每增加 1%，将引起生物多样性指数增加 0.395%；每公顷株数每增加 1%，将引起生物多样性指数增加 0.397%（表 5）。

3.2.3 森林分布对区域生物多样性的影响 研究显示，区域生物多样性与森林景观破碎度存在显著的负相关关系，与森林景观分布均衡度存在显

著的正相关关系，且区域生物多样性与森林景观分布均衡度的相关性好于与森林景观破碎度的相关性（表 4）。

通过计算生物多样性指数对森林景观破碎度、森林景观分布均衡度的弹性，得出当森林景观破碎度每增加 1%，将引起生物多样性指数减少 0.456%；森林景观分布均衡度每增加 1%，将引起生物多样性指数增加 1.070%（表 5）。

表 6 多元线性回归分析结果（逐步回归）
Table 6 Results of multiple regression analysis (stepwise regression)

回归模型 Regression model	回归系数 Regression coefficients	标准回归系数 Standard	t 统计量 Statistics	P	调整的 F 统计量 R ² Statistics	P	多重共线性检测 Multi-collinearity	
							容忍度 Tolerance	VIF
常量 Constant	6.400		1.443	0.159	0.899	66.637	0.000	
每公顷株数/株·hm ⁻² No.	0.003	0.253	2.624	0.013				0.294 3.403
平均胸径/cm Average DBH	1.335	0.233	2.698	0.011				0.368 2.716
森林景观分布均衡度 ELD	19.568	0.178	2.046	0.049				0.362 2.763
活立木蓄积量/万 m ³ GSLW	0.006	0.307	2.892	0.007				0.243 4.116
林地面积/hm ² Area	5.010E-05	0.175	2.038	0.050				0.369 2.707

3.2.4 森林对区域生物多样性的综合作用 选择线性全回归方式进行多变量回归分析。估计结果显示调整决定系数 $R^2=0.899$ ，方程回归效果检验 $F=30.917$ ($P<0.05$)，说明模型对数据的拟合程度较高，方程有显著性意义；但从各指标回归系数的检验 P 值来看，除了活立木蓄积量和平均胸径，其它指标对区域生物多样性的影响均不显著 ($P>0.05$)。通过比较各指标的方差膨胀因子 (VIF)^[14]，有林地面积的 $VIF>10$ ，说明它与其余解释变量之间存在严重的多重共线性。Yohanani^[15]指出共线性的存在会导致某些自变量的回归系数过不了假设检验；或者回归系数的符号与理论分析和实践经验不相符等现象，如平均树高、平均林龄。因此，要得到最优模型，必须先处理各指标之间的多重共线性，消除其对方程产生的影响。本文采用逐步回归^[16]来修正多重共线性模型，得到如表 6 所示的结果。

由表 6 可知，回归方程的拟合程度较好（调整 $R^2=0.899$ ），回归方程具有显著性意义 ($P<0.05$)，各指标回归系数的显著性均较强。影响区域生物多样性的主要指标有每公顷株数、平均胸径、林地面积、森林景观分布均衡度和活立木蓄积量，通过比较标准化偏回归系数，得出各指标的影响权重，即：活立木蓄积量>每公顷株数>平均胸径>森林景观分布均衡度>林地面积。

4 讨论与结论

保护生物资源的持续利用是研究区域生物多样性的主要目的，本研究综合运用相关分析、弹性分析和回归分析等研究方法，探讨了鄱阳湖生态经济区森林景观各指标对区域生物多样性的影响。

相关分析结果表明，除平均树高外，林地面积、森林覆盖率、有林地面积、郁闭度、平均林龄、平均胸径、活立木蓄积量、每公顷株数、森林景观破碎度和森林景观分布均衡度对区域生物多样性具有显著影响，这一结果与多数研究类似，即区域生物多样性与森林景观破碎度成反比，而与其他指标成正比。平均树高对区域生物多样性的影响不显著这可能与本研究区内森林资源仍维持着较大的面积有关。物种的生理结构使之能够在一定区域范围内活动，在较小的空间尺度上，平均树高的降低并不会对物种的栖息地造成明显的影响。森林景观破碎度与区域生物多样性呈负相关，这是因为森林不仅是物种觅食和栖息的场所，也是活动通道，破碎度不仅会阻碍种群间的基因交流，引起近交衰败，也会改变森林生态系统的特性，加剧外来物种的入侵。这意味着保护鄱阳湖生态经济区生物多样性，应在尽量增加区域内森林资源面积、提高其质量的同时降低其破碎化程度。弹性分析结果显示，区域生物

多样性对平均胸径变动的敏感程度最强。回归分析结果表明, 在各指标综合作用下, 活立木蓄积量对区域生物多样性的影响权重最大。这是因为平均胸径的大小意味着林分结构是否合理, 而合理的林分结构对活立木蓄积量的产生即森林生产力的发挥着重要作用, 森林生产力一旦下降, 势必会造成林业生产的恶性循环, 影响森林维持生物多样性功能的发挥, 因此这两个指标对区域生物多样性的影响相对来说更强。这意味着加强森林景观质量的管理是保护鄱阳湖生态经济区生物多样性的关键手段。

由于森林景观的复杂性, 在研究森林景观对区域生物多样性影响时, 除要考虑森林景观的数量、质量、分布方面外, 还要注重森林景观的结构, 特别是森林景观网络结构对区域生物多样性的影响。因此, 进一步研究森林景观网络结构对区域生物多样性影响作用机制, 是本研究深入的一个方向。

参考文献:

- [1] 马克平, 钱迎倩. 生物多样性保护及其研究进展[J]. 应用与环境生物学报, 1998, 4(1): 95-99.
- [2] 田贵全, 宋沿东, 刘强, 等. 山东省生物多样性试点评价[J]. 中国环境监测, 2013, 29(3): 84-90.
- [3] 鲁显楷, 莫江明, 董少峰. 氮沉降对森林生物多样性的影响[J]. 生态学报, 2008, 28(11): 5532-5548.
- [4] WILSON E O. The current state of biological diversity [M]/WILSON E O. Biodiversity. Washington D C: National Academy of Science Press, 1988: 3-18.
- [5] 黄金国, 郭志永. 鄱阳湖湿地生物多样性及其保护对策[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 305-306; 309.
- [6] 许军, 王召滢, 唐山, 等. 鄱阳湖湿地植物多样性资源调查与分析[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(3): 93-97.
- [7] 欧阳珊, 詹诚, 陈堂华, 等. 鄱阳湖大型底栖动物物种多样性及资源现状评价[J]. 南昌大学学报(工科版), 2009, 31(1): 9-13.
- [8] 王忠锁, 陈明华, 吕偲, 等. 鄱阳湖银鱼多样性及其时空格局[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1337-1344.
- [9] 钱法文, 李言阔, 陆军, 等. 鄱阳湖都昌候鸟自然保护区丰水期和枯水期鸟类多样性[J]. 动物学杂志, 2013, 48(4): 537-547.
- [10] 张海星. 江西生物多样性调查与评估[M]. 南昌: 江西科学技术出版社, 2010.
- [11] 张建国. 林业经营综合效益评价研究(续完)[J]. 林业资源管理, 1994(4): 70-73.
- [12] 中华人民共和国国家环境保护标准 HJ623-2011 区域生物多样性评价标准[J]. 油气田环境保护, 2012, 22(2): 73-74.
- [13] 哈尔·R·范里安. 微观经济学现代观点[M]. 上海: 上海三联出版社, 2006: 220-222.
- [14] 李从欣, 张再生, 李国柱. 解决多重共线性的新思路: 路径分析[J]. 统计与决策, 2013(1): 28-30.
- [15] YOHANAN W. Collinearity diagnosis for a relative risk regression analysis: an application to assessment of diet-cancer relationship in epidemiological studies [J]. Statistics in Medicine, 1992, 11(10): 1273-1287.
- [16] 杨梅, 肖静, 蔡辉. 多元分析中的多重共线性及其处理方法[J]. 中国卫生统计, 2012, 29(4): 620-624.