

## 基于景观格局指数的钱江源国家公园生态系统完整性评价分析

余建平<sup>1</sup>, 伊晓霞<sup>2,3</sup>, 余顺海<sup>1</sup>, 徐谊明<sup>1</sup>, 米湘成<sup>2</sup>, 任海保<sup>2</sup>

(1. 钱江源国家公园生态资源保护中心, 浙江 开化 324300; 2. 中国科学院 植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;  
3. 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 利用浙江省开化县 2014 年二类资源调查数据, 采用景观格局分析方法, 从景观尺度分析了钱江源国家公园体制试点区(以下简称钱江源国家公园)植被的构成和破碎化程度, 研究了钱江源国家公园的完整性和原真性。结果表明, 钱江源国家公园的景观类型以常绿阔叶林、天然针叶林和杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林为主; 在核心保护区和生态保育区内分布着大面积呈原始状态的低海拔中亚热带常绿阔叶林, 具有重要保护价值。对各功能区景观破碎化分析表明, 破碎化程度由大到小表现为: 游憩展示区>传统利用区>生态保育区>核心保护区, 与钱江源国家公园各功能区的保护与利用要求相符, 但整体景观连通性较低。对各功能区内重要森林类型天然针叶林、常绿阔叶林和针阔混交林的破碎化分析表明, 三种植被类型的破碎化程度与各功能区破碎化程度一致, 表现为核心保护区三种植被类型破碎化程度最低, 受人为干扰轻, 游憩展示区三种植被类型破碎化程度高, 受人为干扰严重。以上分析表明, 钱江源国家公园生态系统总体保持较好的完整性和原真性。

**关键词:** 钱江源国家公园; 生态完整性; 原真性; 景观格局; 景观破碎化

**中图分类号:** S718.55<sup>+</sup>7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776(2020)04-0030-07

## Analysis on Ecological Integrity of Qianjiangyuan National Park based on Landscape Pattern Index

YU Jian-ping<sup>1</sup>, YI Xiao-xia<sup>2,3</sup>, YU Shun-hai<sup>1</sup>, XU Yi-ming<sup>1</sup>, MI Xiang-cheng<sup>2</sup>, REN Hai-bao<sup>2</sup>

(1. Ecological Resources Conservation Center, Qianjiangyuan National Park of Zhejiang, Kaihua 324300, China;  
2. State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093;  
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

**Abstract:** Based on forest management survey in Kaihua county, Zhejiang province in 2014, analysis was made on vegetation composition and fragmentation of Qianjiangyuan National Park in Kaihua by quantifying the landscape pattern. The results showed that the main landscape types in the Park were evergreen broad-leaved forest, coniferous forest and *Cunninghamia lanceolata* forest. Analysis on landscape fragmentation of each functional zone demonstrated that the order of fragmentation was recreation zone> traditional utilization zone> ecological restoration zone> core conservation zone, indicating the reality for different functional zone requirement, but the connectivity was low for the Park. Analysis on the fragmentation of coniferous forest, evergreen broad-leaved forest and mixed forest of coniferous and broad-leaved in each functional zones revealed that it had the similar fragmentation of functional zones. Main landscape types in core conservation zone had the lowest fragmentation, while that in recreation zone the highest. Analysis resulted that ecology in Qianjiangyuan National Park maintained a good integrity and authenticity.

**Key words:** Qianjiangyuan National Park; ecological integrity; ecosystem authenticity; landscape pattern; landscape fragmentation

收稿日期: 2020-01-27; 修回日期: 2020-05-15

基金项目: 中国科学院战略先导 B 项目资助(XDB310300)

作者简介: 余建平, 高级工程师, 从事生物多样性保护与监测; E-mail: 1125142830@qq.com。通信作者: 米湘成, 副研究员, 从事森林生态学与进化生态学研究; E-mail: mixiangcheng@ibcas.ac.cn。

随着经济社会的发展和生态保护意识的提高, 我国的自然保护得到快速发展, 截至 2016 年底, 已建成包括自然保护区、风景名胜区等十类自然保护地, 各类自然保护地已达 1.15 万处, 占国土面积的 18% 以上<sup>[1]</sup>。但是, 现有的自然保护地仍然存在碎片化、多头管理、保护区域交叉重叠等问题, 影响了生态系统服务功能的发挥, 而建立以国家公园为主体的自然保护地体系为解决中国自然保护地发展中存在的问题提供了有效途径<sup>[2-3]</sup>。我国对国家公园的定义是: “国家公园是指由国家批准设立并主导管理, 边界清晰, 以保护具有国家代表性的大面积自然生态系统为主要目的, 实现自然资源科学保护和合理利用的特定陆地或海洋区域”, 国家公园的首要功能是保持自然生态系统的完整性和原真性<sup>[4-6]</sup>。从生态系统组成要素的角度来看, 完整性是指生态系统具备区域自然生境所应包含的全部本土生物多样性和生态学过程并保持结构和功能未遭受损害, 原真性则要求生态系统和生态过程处于高质量的自然状态, 避免受人类活动的干扰<sup>[7]</sup>。保持国家公园生态系统完整性和原真性, 对保护区域生物多样性、稳定生态系统功能均具有重要作用<sup>[8]</sup>, 因此评估国家公园的完整性显得非常紧迫和重要。

目前, 生态系统完整性评价方法多选取与生态系统结构、功能和过程密切相关的生态指标, 如生物多样性、生境破碎化、生态系统服务等指标, 用统计学的方法将其转化成生态系统完整性指数, 揭示生态系统完整性状况<sup>[9]</sup>。如: 李鑫等选取景观优势度、植被生物量以及景观多样性等指数建立生态系统完整性评价体系, 从结构和稳定性两个方面评价了丰满水电站周边区域的生态完整性<sup>[10]</sup>; 熊建新等从景观生态学角度出发, 用斑块分维数、景观多样性指数、连接指数等景观格局指数对东洞庭湖湿地景观空间结构进行了完整性分析<sup>[11]</sup>。景观生态学为在景观水平上分析国家公园的完整性和原真性提供了有效方法, 通过数量化分析景观组分的空间分布特征, 揭示空间格局和生态过程之间的联系<sup>[12-13]</sup>, 作为景观生态学的重要研究内容, 景观破碎化通过改变生态系统组分、结构影响生态过程和生态系统服务功能<sup>[14-15]</sup>。因此, 景观破碎化程度从一定的侧面反映了生态系统完整性的破坏程度。

基于我国十大国家公园体制试点区尚未进行生态系统完整性评价, 本文以钱江源国家公园体制试点区(以下简称钱江源国家公园)为样本, 应用景观生态学原理, 以浙江省开化县 2014 年二类资源调查的数据为基础, 选取斑块密度、平均斑块面积等景观格局指数, 从破碎度、形状和聚集程度等角度对各景观组分的特征进行分析, 探讨钱江源国家公园各功能区景观构成和破碎化程度以及各功能区内重要森林类型的破碎化状况, 分析钱江源国家公园生态系统的完整性和原真性, 为国家公园的生物多样性保护提供管理对策, 同时也为其他国家公园的完整性分析提供案例。我们试图解决以下几个问题: (1) 各景观类型在钱江源国家公园及其不同功能区中的分布; (2) 钱江源国家公园各功能区景观破碎化程度如何; (3) 钱江源国家公园各功能区内重要森林类型的破碎化程度如何。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 研究区概况

钱江源国家公园位于浙江省开化县(118°03'58.90"~118°21'30.25"E, 29°10'32.10"~29°26'44.27"N), 地处浙、赣、皖三省交界处, 由古田山国家级自然保护区、钱江源国家级森林公园以及连接这两处之间的生态区域组成, 面积为 252 km<sup>2</sup>, 海拔在 170~1 260 m 之间, 属于中亚热带季风气候, 年均气温 15.3℃, 年降水量 1 963.7 mm, 四季变化明显<sup>[16]</sup>, 地带性土壤为红壤、黄红壤、红黄壤与部分沼泽土。植物区系成分以华东植物区系为主, 植被分布垂直带上涵盖了常绿阔叶林、温性针阔叶混交林、温性针叶林以及山地和沟谷常绿落叶阔叶混交林等具有代表性的亚热带区域森林植被类型<sup>[16]</sup>, 共有高等植物 233 科 939 属 2048 种, 古老、孑遗、珍稀濒危植物种类多, 省级及省级以上珍稀濒危保护野生植物有 63 种, 其中, 国家级珍稀濒危野生植物有 50 种, 是特色珍稀野生植物野含笑 *Michelia skinneriana*, 香果树 *Emmenopterys henryi*, 尾叶紫薇 *Lagerstroemia caudata* 等种群的集中保留地。动物资源丰富, 有国家级重点保护野生动物 46 种, 省级重点保护野生动物有 38 种, 是中国特有的世界珍稀濒危物种、国家一级保护动物白颈长尾雉 *Syrnaticus ellioti*, 黑麂 *Muntiacus crinifrons* 的主要栖息地<sup>[17]</sup>。在行政区划上包括苏庄、长虹、何田、齐溪四个乡(镇), 共有 21 个行政村、74 个自然村、9 744 人。

## 1.2 数据来源及预处理

1.2.1 数据来源 根据保护生态系统完整性、保障社区发展、适度游憩利用的原则,虞虎等将钱江源国家公园分为核心保护区、生态保育区、游憩展示区和传统利用区四个功能区<sup>[18]</sup>(图1)。以浙江省二类资源调查绘制的开化县小班图为基础数据,利用 ArcGIS10.2 空间分析平台,剪裁出钱江源国家公园整体以及四个功能区的范围。根据区域土地和植被类型的分布情况,对钱江源国家公园的植被进行分类,得到9种土地覆盖类型,其中,1种类型为农用地、居住地、交通用地等组成的非林地,其余8种均为植被类型,分别为常绿阔叶林、针阔混交林、天然针叶林(主要指马尾松 *Pinus massoniana* 林和黄山松 *P. taiwanensis* 林)、杉木 *Cunninghamia lanceolata* 林、竹林、茶 *Camellia sinensis* 园、油茶 *Camellia oleifera* 林、其他经济林或灌丛(图2)。

钱江源国家公园海拔在170~1260 m之间,其中,170~800 m为低海拔区域。自然度表示现实森林类型与地带性顶极森林类型的差异程度,或次生森林类型位于演替中的阶段,钱江源国家公园内的植被可划分为I, II, III三个自然度,自然度I代表原始或受人为影响很小的地带性顶级群落的植被;自然度II代表有明显人为干扰的天然植被或处于演替中期或后期的次生群落;自然度III代表人为干扰很大,演替逆行处于极为残次的次生植被以及全部人工林<sup>[19]</sup>。为进一步了解国家公园内典型地带性植被常绿阔叶林的分布,结合自然度和海拔两个因素,以海拔800 m为界限,提取出各功能区内海拔800 m上、下以及三个自然度的常绿阔叶林。最后将得到的土地利用类型矢量数据转换为栅格数据格式,借助 Fragstats 4.2 软件完成相关景观格局指数的计算。

1.2.2 景观指数的选取 景观格局指数能够高度浓缩景观格局的信息,反映景观结构组成以及空间配置方面的特征<sup>[20]</sup>,景观空间结构的完整性可以从斑块特征指标、空间格局指标和景观空间构型指标中体现<sup>[11]</sup>。本文拟从破碎度、斑块形状和连通性等角度探讨钱江源国家公园景观生态特征,进而分析国家公园的完整性和原真性,选取的景观格局指数包括以下三类:

(1) 表征斑块面积大小和破碎化的平均斑块面积(MPS)、最大斑块指数(LPI)、斑块密度(PD)。PD是指景观单位面积中的斑块数,MPS指景观中斑块平均面积的大小,这两个指标用于定量分析景观的破碎化程度,PD与景观破碎化程度成正比,MPS与景观的破碎化程度呈反比;LPI指景观中面积最大的斑块占景观总面积的百分比,有助于确定景观的优势类型<sup>[21-22]</sup>。

$$PD = \frac{N}{A}$$

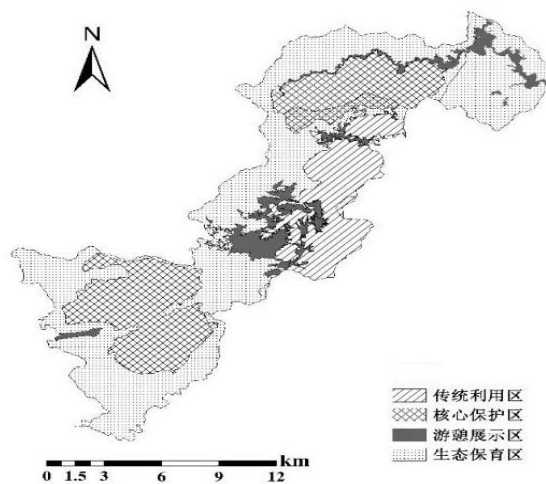


图1 钱江源国家公园体制试点区功能分区

Figure 1 Functional zoning of Qianjiangyuan National Park pilot area

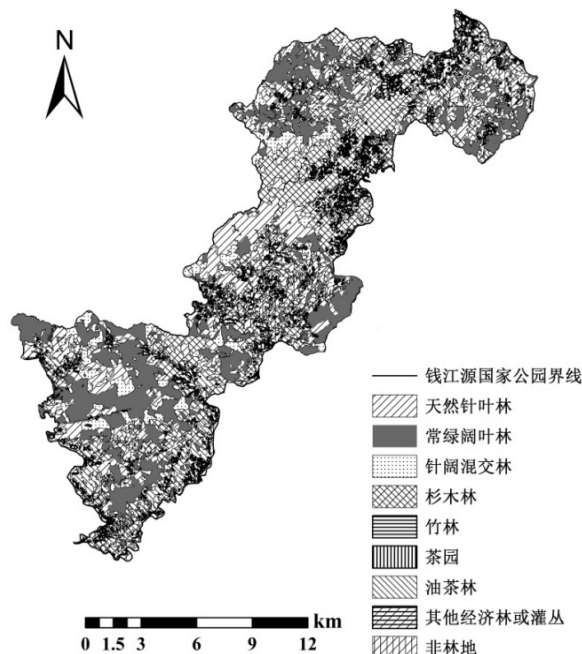


图2 2014年钱江源国家公园森林类型

Figure 2 Land types of Qianjiangyuan National Park in 2014

式中， $N$  为景观中某类斑块的数量， $A$  为某类斑块的总面积。

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \times 100\%$$

式中， $a_{ij}$  为景观类型  $i$  中斑块  $j$  的面积。

$$MPS = \frac{A}{N} \times 10^{-6}$$

（2）反映斑块形状特征的平均形状指数（ $MSI$ ）和面积加权的平均分维数（ $AWMPFD$ ）。这两个指标反映斑块形状的复杂程度，也在一定程度上反映出人类活动对景观格局的影响<sup>[23-24]</sup>。

$$MSI = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{p_{ij}}{\min p_{ij}}}{N}$$

式中， $m$  为景观斑块类型数， $n$  为景观中所有斑块个数， $p_{ij}$  为景观类型  $i$  中斑块  $j$  的周长。

$$AWMPFD = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[ \frac{2 \ln(0.25 p_{ij})}{\ln a_{ij}} \left( \frac{a_{ij}}{A} \right) \right]$$

（3）反映斑块之间聚集程度的蔓延度指数（ $CONTAG$ ）。 $CONTAG$  描述景观斑块的连通性程度，分析景观的聚集和散布情况<sup>[21-23]</sup>。

$$CONTAG = \left[ 1 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{p_{ij} \ln p_{ij}}{2 \ln m} \right] \times 100\%$$

2 结果与分析

钱江源国家公园不同功能区内各景观类型的面积如表 1 所示。由表 1 可知，钱江源国家公园植被类型以天然针叶林、常绿阔叶林和杉木林为主要类型，其中，常绿阔叶林有 5 855.2  $\text{hm}^2$ ，占整个国家公园面积的 22.4%，主要分布在核心保护区和生态保育区。

表 1 2014 年钱江源国家公园景观类型面积  
Table 1 Area of different landscape types of Qianjiangyuan National Park in 2014

景观类型	核心保护区/ $\text{hm}^2$	生态保育区/ $\text{hm}^2$	游憩展示区/ $\text{hm}^2$	传统利用区/ $\text{hm}^2$	合计/ $\text{hm}^2$
常绿阔叶林	2 146.4	3 043.7	66.0	599.1	5 855.2
针阔混交林	929.5	1 624.5	70.9	212.6	2 837.5
天然针叶林	1 179.4	3 110.7	185.6	517.9	4 993.6
杉木林	1 812.2	3 420.2	248.1	1 360.9	6 841.4
竹林	111.9	348.2	83.3	160.6	704.0
茶园	55.8	299.8	123.2	98.3	577.1
油茶林	226.3	1 153.8	71.6	52.2	1 503.9
其他经济林或灌丛	5.8	23.2	20.2	37.5	86.7
非林地	145.7	1 143.4	1 043.2	452.9	2 785.2
合计	6 613.0	14 167.5	1 912.1	3 492.0	26 184.6

结合海拔（800 m）和自然度（I，II，III）对常绿阔叶林的分布和原真性作进一步分析（表 2），结果表明，常绿阔叶林主要分布在 800 m 以下的低海拔区域，其中，在核心保护区和生态保育区低海拔地区分布着大面积自然度 I 的常绿阔叶林（由于自然度划分精度的原因，有少部分区域自然度属性为空值，导致划分海拔和自然

度后的常绿阔叶林面积和未划分前的面积存在偏差），表明这两个功能区内的常绿阔叶林维持较好的原真性。

表 2 钱江源国家公园各功能区中不同海拔和自然度的常绿阔叶林面积

Table 2 Area of evergreen broad-leaved forest at different elevations with different naturalness in each functional zone of Qianjiangyuan National Park					
功能区	海拔	自然度 I	自然度 II	自然度 III	合计/hm <sup>2</sup>
核心保护区/hm <sup>2</sup>	≥800 m	360.3	175.8	177.4	713.5
	<800 m	848.2	310.6	274.2	1 433
生态保育区/hm <sup>2</sup>	≥800 m	140.3	378.5	141.1	659.9
	<800 m	618.8	1 086.9	672.0	2 377.7
游憩展示区/hm <sup>2</sup>	≥800 m	0	0	0.1	0.1
	<800 m	0.1	15.4	50.5	66.0
传统利用区/hm <sup>2</sup>	≥800 m	0	16.4	104.0	120.4
	<800 m	0	99.6	379.2	478.8
合计/hm <sup>2</sup>	≥800 m	500.6	570.7	422.6	1 493.9
	<800 m	1 467.1	1 512.5	1 375.9	4 355.5
总计/hm <sup>2</sup>		1 967.7	2 083.2	1 798.5	5 849.4

注：由于方法原因，表 2 划分海拔与自然度后的常绿阔叶林面积与表 1 中未划分海拔和自然度的常绿阔叶林面积有一定的误差。

天然针叶林面积为 4 993.6 hm<sup>2</sup>，占整个国家公园面积的 19.1%，集中分布在生态保育区内，多为砍伐后次生的马尾松林和黄山松林；杉木林、油茶林和茶园等属于经济林，杉木林的面积为 6 841.4 hm<sup>2</sup>，占 26.1%，其中，人工纯杉木林 2 000.8 hm<sup>2</sup>（图 3），占 7.6%，集中分布在生态保育区和传统利用区，油茶林面积 1 503.9 hm<sup>2</sup>，占 5.7%，茶园 577.1 hm<sup>2</sup>，占 2.2%。非林地包括农用地、居住地、交通用地和部分裸地，共 2 785.2 hm<sup>2</sup>，占 10.6%，主要分布在生态保育区和传统利用区，在核心保护区也有少量分布。各功能区的景观指数见表 3。由表 3 表明，（1）核心保护区的 PD 最小，MPS 最大，LPI 较高，表明该区内存在明显的主导景观类型；MSI 较高，受到的人为干扰较小；CONTAG 较低，表明斑块的分离程度高，不同景观类型之间未能形成良好的连接性。（2）生态保育区的 PD 略高于核心保护区，MPS 仅次于核心保护区，表明生态保育区的景观破碎化低，斑块平均面积较大；LPI 最低，表明生态保育区内各种类型的景观斑块分布均匀、优势度不明显；MSI 较高，受到的人为干扰较小；CONTAG 较低，斑块的分离程度高。（3）传统利用区和游憩展示区的 PD 高，MPS 小，表明游憩展示区和传统利用区由较分散的小斑块组成，破碎化程度较高；LPI 较高，存在明显的主导景观类型；MSI 较小，区域内组成斑块形状较简单，受到人为干扰的强度相对较大；CONTAG 均较低，斑块的分离程度高。

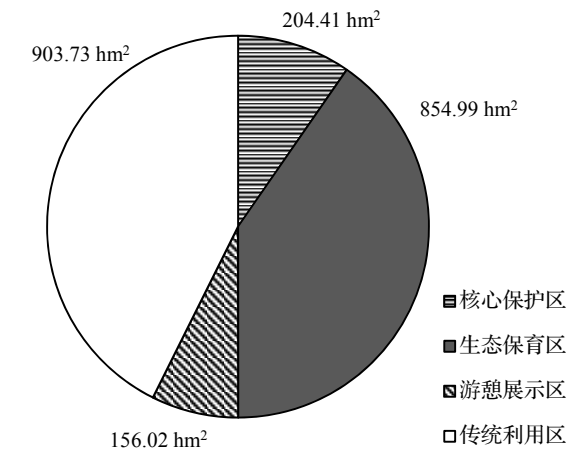


图 3 钱江源国家公园各功能区人工纯杉木林的面积  
Figure 3 Area of *C. lanceolata* plantation in each functional zone of Qianjiangyuan National Park

表 3 钱江源国家公园不同分区的景观格局指数

Table 3 Landscape pattern index of different functional zones of Qianjiangyuan National Park						
功能区	PD/(个·100 hm <sup>-2</sup> )	MPS/hm <sup>2</sup>	LPI/%	CONTAG/%	MSI	AWMPFD
核心保护区	11.18	8.95	16.41	50.74	1.49	1.15
生态保育区	17.54	5.70	5.99	43.11	1.43	1.16
游憩展示区	61.80	1.62	16.30	46.76	1.27	1.19
传统利用区	30.28	3.30	19.26	44.15	1.37	1.18

对钱江源国家公园不同功能区内重要森林类型天然针叶林、常绿阔叶林和针阔混交林的破碎化分析结果如表 4。由表 4 可知, (1) 核心保护区中三种植被类型的  $PD$  均较小, 其中, 常绿阔叶林的  $MPS$  和  $LPI$  最大, 表明常绿阔叶林分布集中, 破碎化程度小, 是核心保护区中的优势景观类型。核心保护区三种植被类型的  $MSI$  均较大, 表明这三种重要植被景观斑块形状复杂, 植被受到人为干扰程度较轻。(2) 生态保育区中三种植被类型的  $PD$  均较小, 其中, 天然针叶林和常绿阔叶林的  $MPS$  和  $LPI$  较大, 表明生态保育区植被破碎化程度较低, 植被类型以天然针叶林和常绿阔叶林为主。(3) 游憩展示区三种植被类型  $PD$  均较大,  $MPS$  和  $LPI$  均较小, 表明游憩展示区整体景观破碎化程度较大, 天然针叶林和针阔混交林是此区域相对主要的植被类型。游憩展示区三种植被类型的  $MSI$  均较小, 表明该区域景观被分割成形状简单的小斑块, 植被受到较大程度的人为影响。(4) 传统利用区中天然针叶林的  $PD$  均较大, 破碎化程度较大, 常绿阔叶林和针阔混交林的  $PD$  均较小, 常绿阔叶林的  $MPS$  和  $LPI$  较大, 是传统利用区中的优势景观类型。

表 4 钱江源国家公园不同分区重要森林类型的景观格局指数  
Table 4 Landscape pattern index of main forest types in different functional zones of Qianjiangyuan National Park

功能区	类型	$PD/(\text{个} \cdot 100 \text{ hm}^2)$	$MPS/\text{hm}^2$	$LPI/\%$	$MSI$	$AWMPFD$
核心保护区	天然针叶林	1.60	11.08	3.09	1.59	1.13
	常绿阔叶林	1.29	25.32	16.41	1.61	1.18
	针阔混交林	1.42	9.86	1.31	1.64	1.12
生态保育区	天然针叶林	1.96	11.15	5.99	1.57	1.15
	常绿阔叶林	1.84	11.73	3.39	1.50	1.15
	针阔混交林	1.73	6.59	0.99	1.45	1.11
游憩展示区	天然针叶林	10.98	0.89	1.53	1.19	1.11
	常绿阔叶林	5.70	0.61	0.27	1.22	1.10
	针阔混交林	2.77	1.35	1.22	1.26	1.10
传统利用区	天然针叶林	3.55	4.14	1.36	1.55	1.13
	常绿阔叶林	1.29	13.36	10.65	1.49	1.14
	针阔混交林	1.20	5.05	0.84	1.41	1.09

3 结论与讨论

国家公园的建设有利于保护我国大面积的自然生态系统, 实现自然资源的科学保护与合理利用, 保持中亚热带低海拔常绿阔叶林自然生态系统的完整性和原真性是钱江源国家公园的首要功能<sup>[9,18]</sup>。本文应用景观生态学的原理, 选取表征景观破碎化、人为干扰程度和景观连接程度的景观格局指数对钱江源国家公园的景观生态特征进行定量化研究, 从景观尺度分析其生态系统的完整性和原真性。结果表明, 钱江源国家公园自然生态系统总体保持较好的完整性和原真性, 各功能区的破碎化和人为干扰程度由大到小表现为: 游憩展示区>传统利用区>生态保育区>核心保护区, 与国家公园功能区的特点以及保护与利用要求基本一致。

核心保护区和生态保育区内低海拔地区分布着大面积原始常绿阔叶林, 斑块面积大、景观破碎化程度低, 受到较小的人为干扰和破坏。该区域常绿阔叶林是典型的甜槠 *Castanopsis eyrie*-木荷 *Schima superba* 林, 群落垂直结构复杂, 包括冠层、亚冠层、灌木层、草本层, 生物多样性高, 稀有种丰富, 生境异质性高, 是国家一级保护动物黑麂 *Muntiacus crinifrons* 栖息地集中分布的区域<sup>[25-26]</sup>。钱江源国家公园常绿阔叶林分布区包含了常绿阔叶林全部物理环境要素、完整的生境和动植物相互作用关系, 能维持种群生存繁衍、生态功能稳定和生态系统健康, 整体保持较好的完整性和原真性。核心保护区内仍有部分非林地(居住地)分布, 不符合该区域零人为干扰的原则, 应通过搬迁等措施尽量消除人类活动的影响。生态保育区是次生常绿阔叶林的最大分布区, 同时也是人工种植的纯杉木林的主要分布区之一, 表明生态保育区内部分植被的原真性遭到破坏, 原始林被次生林和人工林代替, 生态保育区是核心保护区的屏障, 应作为国家公园的重点保护和恢复区域, 在维持原生生境的同时实现已遭到不同程度破坏区域的自然恢复或人工干扰修复。传统利用区和游憩展示区是自然资源利用程

度相对较高的区域,组成斑块面积小、破碎化程度较高,受人为活动影响较大,传统利用区在保护生态环境的前提下发展农林经济,该区内无原始常绿阔叶林,取而代之的部分次生常绿阔叶林和大量人工种植的纯杉木林等经济林木,植被的原真性破坏较严重,游憩展示区主要承担国家公园的生态旅游功能,是人类活动强度最大的功能区,也是破碎化程度最高、植被覆盖率最低的区域,自然生态系统的完整性和原真性破坏相对其他功能区较严重。

钱江源国家公园四个功能区的蔓延度指数均较低,表明该国家公园整体景观连通性较低,同种类型的斑块之间联系不足。连通性反映景观元素在空间结构上的联系,并通过影响生态系统过程的进行和功能的发挥影响生态系统完整性以及生物多样性的维持<sup>[27-28]</sup>。因此,国家公园的管理应致力于提高景观连通性,促进大面积次生林演替,促进人工林向天然林转变,提高生态系统的完整性。

#### 参考文献:

- [1] 彭杨靖,樊简,邢韶华,等. 中国大陆自然保护地概况及分类体系构想[J]. 生物多样性, 2018, 26(3): 315-325.
- [2] 唐小平. 中国国家公园体制及发展思路探析[J]. 生物多样性, 2014, 22(4): 427-431.
- [3] 钟林生,邓羽,陈田,等. 新地域空间—国家公园体制构建方案讨论[J]. 中国科学院院刊, 2016, 31(1): 126-133.
- [4] 蒋志刚. 论保护地分类与以国家公园为主体的中国保护地建设[J]. 生物多样性, 2018, 26(7): 775-779.
- [5] 虞虎,钟林生,曾瑜哲. 中国国家公园建设潜在区域识别研究[J]. 自然资源学报, 2018, 33(10): 1766-1780.
- [6] 朱春全. 国家公园体制建设的目标与任务[J]. 生物多样性, 2017, 25(10): 1047-1049.
- [7] 黄宝荣,欧阳志云,郑华,等. 生态系统完整性内涵及评价方法研究综述[J]. 应用生态学报, 2006, 17(11): 2196-2202.
- [8] 马克平. 中国国家公园建设取得标志性进展[J]. 生物多样性, 2017, 25(10): 1031-1032.
- [9] 代云川,薛亚东,张云毅,等. 国家公园生态系统完整性评价研究进展[J]. 生物多样性, 2019, 27(1): 104-113.
- [10] 李鑫,田卫. 基于景观格局指数的生态完整性动态评价[J]. 中国科学院研究生院学报, 2012, 29(6): 780-785.
- [11] 熊建新,吴南飞. 东洞庭湖湿地景观空间结构的完整性分析[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(4): 30-33.
- [12] 马克明,傅伯杰. 北京东灵山地区景观格局及破碎化评价[J]. 植物生态学报, 2000, 24(3): 320-326.
- [13] 肖笃宁,李秀珍. 景观生态学的学科前沿与发展战略[J]. 生态学报, 2003, 23(8): 1615-1621.
- [14] LI X, LU L, CHENG G D, *et al.* Quantifying landscape structure of the Heihe River Basin, north-west China using FRAGSTATS[J]. J Arid Environ, 2001, 48(4): 521-535.
- [15] 陈方敏,徐明策,李俊祥. 中国东部地区常绿阔叶林景观破碎化[J]. 生态学杂志, 2010, 29(10): 1919-1924.
- [16] 叶铎,钱海源,王璐瑶,等. 钱江源国家公园古田山常绿阔叶林木本植物的萌生更新特征[J]. 生态学报, 2018, 38(10): 3562-3568.
- [17] 余建平,申云逸,宋小友,等. 钱江源国家公园体制试点区功能分区对黑麂保护的有效性评估[J]. 生物多样性, 2019, 27(1): 5-12.
- [18] 虞虎,陈田,钟林生,等. 钱江源国家公园体制试点区功能分区研究[J]. 资源科学, 2017, 39(1): 20-29.
- [19] 余拥军,张健. 浙江省开化县森林资源规划设计调查报告[R]. 浙江:浙江省开化县林业局/福建省林业勘察设计院, 2014.
- [20] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度与等级[M]. 北京:高等教育出版社, 2000: 99.
- [21] 刘世梁,安南南,侯笑云,等. 澜沧江下游景观破碎化时空动态及成因分析[J]. 生态环境学报, 2018, 27(7): 1351-1358.
- [22] 汤萃文,张海风,陈银萍,等. 祁连山南坡植被景观格局及其破碎化[J]. 生态学杂志, 2009, 28(11): 2305-2310.
- [23] 杨丽,谢高地,甄霖. 基于因子分析的景观指数筛选与分区研究[J]. 山东科技大学学报, 2010, 29(5): 19-23.
- [24] 唐建,谭飞,周琳. 景观破碎化对物种多样性的影响探讨[J]. 绿色科技, 2018(24): 158-161.
- [25] 祝燕,赵谷风,张丽文,等. 古田山中亚热带常绿阔叶林动态监测样地——群落组成与结构[J]. 植物生态学报, 2008(32): 262-273.
- [26] 芦伟,余建平,任海保,等. 古田山中亚热带常绿阔叶林群落物种多样性的空间变异特征[J]. 生物多样性, 2008, 26(9): 1023-1028.
- [27] WATTS K, HANDLEY P. Developing a functional connectivity indicator to detect change in fragmented landscapes[J]. Ecol Indic, 2010, 10(2): 552-557.
- [28] 陈利顶,傅伯杰. 景观连接度的生态学意义及其应用[J]. 生态学杂志, 1996, 15(4): 37-42.