

DOI: 10.5846/stxb201708101435

朱东国,熊鹏,方世敏.旅游生态安全约束下的张家界市土地利用优化.生态学报,2018,38(16): - .

Zhu D G, Xiong P, Fang S M. Optimization of land use in Zhangjiajie City under tourism ecological security constraints. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): - .

旅游生态安全约束下的张家界市土地利用优化

朱东国^{1,2}, 熊 鹏¹, 方世敏^{1,*}

1 湘潭大学 商学院, 湘潭 411105

2 湖南师范大学 资源与环境科学学院, 长沙 410081

摘要:土地利用多以经济、社会和生态效益最大化为目标进行数量结构优化,很少对旅游生态安全约束下的土地利用进行空间结构优化,鉴于此,为提高旅游城市土地利用综合效益和改善生态环境,在旅游生态安全约束下,不仅对土地利用数量结构进行优化,而且实现了土地利用空间结构优化。以典型旅游城市张家界为例,构建旅游生态安全评价指标体系,运用灰色线性规划法中的 Lingo 模型求取旅游生态安全约束下的最优土地利用结构,并根据分布规则把优化后的数量结构配置在空间上,借助 CLUE-S 模型进行土地利用空间优化。结果表明:(1)2015 年旅游生态安全综合指数为 0.7394,旅游环境状况和旅游人文社会响应的安全度均比旅游资源环境压力低。(2)在数量结构优化下,林地、水域、建设用地面积增幅明显,耕地、草地和未利用地的面积有所减少,2025 年旅游生态安全综合指数为 0.8196,比 2015 年提高了 0.0802,处于安全的状态。(3)在空间结构优化下,林地主要分布在桑植县和慈利县的山地丘陵区、武陵源区以及永定区南部;建设用地主要集中在慈利县、桑植县及永定区城区;草地主要位于桑植县和慈利县的山区以及武陵源区;耕地主要分布在慈利县和永定区的平原和丘陵地区;未利用地零星分布在慈利县、桑植县及永定区。研究结果可为张家界市土地资源永续利用和旅游生态安全建设提供规划指导和技术借鉴。

关键词:旅游生态安全;土地利用优化;CLUE-S 模型;张家界市

Optimization of land use in Zhangjiajie City under tourism ecological security constraints

ZHU Dongguo^{1,2}, XIONG Peng¹, FANG Shimin^{1,*}

1 Business School, Xiangtan University, Xiangtan 411105, China

2 College of Resources and Environment Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

Abstract: Optimization of land use usually focuses on quality structure as it considers the maximization of economic, social, and ecological benefits as the goal. However, space structure optimization of land use under tourism ecological security constraints is hardly done. On account of this situation, only if the optimization of quality structure as well as space structure is taken into practice under the constraints can comprehensive land use efficiency and ecological environment improve in tourist cities. A typical tourist city, Zhangjiajie, was used as a case study to construct an tourism ecological safety evaluation index system, and the optimal land use structure under the tourism ecological security constraints based on the Lingo model were determined using the Grey linear programming method; in addition, measures were taken to configure the optimized parameter structure in space according to distribution rules, and finally, to optimize land use space with the help of the CLUE-S model. The results showed that 1) the comprehensive index of tourism ecological security in the year 2015 was 0.7394, indicating a relatively safe state. Specifically, that of the environmental pressure on tourism resources was 0.3231, that of the tourism environment condition was 0.2789, and that of the security degree of the humanistic social

基金项目:国家社科基金项目“长江经济带农产品主产区农业与旅游业融合发展机制研究”(17BJY151)

收稿日期:2017-08-10; **网络出版日期:**2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fangshimin555@126.com

response of tourism scores was 0.1374; thus, the tourism environment condition and the security degree of the humanistic social response of tourism are lower than the environmental pressure on tourism resource. 2) Under the optimization of quantity structure, the areas of woodland, water and construction land apparently increased, while the areas of cultivated land, grassland, and unused land decreased. Predictably, the comprehensive index of tourism ecological security in the year of 2025 was 0.8196, which was 0.0802 higher than that in the year 2015, but which also indicated a safe state. Thus, the optimized quantity structure of land use plays a significant role in the ecological security of tourism. 3) Under the optimization of spatial structure, many positive changes have taken place in land use, and they all present more reasonable spatial distribution of land use. Woodland is distributed mainly in mountains and hills in Sangzhi County, Cili County, Wulingyuan District and the southern part of Yongding District; construction land is mainly concentrated in Cili County, Sangzhi County and the urban area of Yongding District; grassland is mainly located in the mountainous areas of Sangzhi County and Cili County as well as Wulingyuan District; cultivated land is distributed mainly in plains and hills of Cili County and Yongding District; utilized land is distributed sporadically in Cili County, Sangzhi County and Yongding District. In conclusion, the results of the study will provide Zhangjiajie City with technical reference points that will facilitate sustainable use of land resources and construction of tourism ecological security.

Key Words: tourism ecological security; optimization of land use; CLUE-S mode; Zhangjiajie City

土地利用/土地覆被变化是全球生态环境变化和可持续发展研究关注的热点和焦点问题,在全球生态系统变化和社会经济发展研究中占有重要的地位^[1-2]。张家界是我国著名旅游城市,旅游业的发展对土地利用格局产生了深远的影响,同时也对生态环境造成了强烈的冲击,由此带来的旅游生态安全问题日显突出。目前,众多学者对旅游生态安全约束下土地利用优化的研究主要集中在 3 个方面:一是研究土地利用与生态安全之间的关系。国内学者主要探讨城市土地利用变化对生态安全的影响,包括对气候、水文以及土壤和生物多样性的影响^[3-4]。郭斌^[5]等运用 RS/GIS 技术分析了西安市土地利用变化,并通过构建城市生态安全 P-S-R 模型探讨土地利用变化与生态安全之间的内在关系。何玲^[6]等以生态安全格局为影响因素利用元胞自动机和马尔科夫模型进行了不同情境的土地利用格局模拟。二是对旅游生态安全的研究。关于旅游地生态安全评价方面,李若凝^[7]结合了旅游地生态环境与地区经济发展的特点,构建了旅游地生态安全评价指标体系;还有部分学者预测了旅游生态安全的发展趋势和警情演变趋势^[8-9]。从研究方法来看,肖建红^[10]等基于生态足迹模型对旅游生态安全开展了研究;武春友^[11]结合系统动力学对旅游生态安全进行了仿真模拟。三是有关土地利用优化的研究。Doyen 等^[12]利用 GIS 技术的空间分析功能对土地利用空间格局进行了生态优化。喻锋^[13]等认为土壤侵蚀和生态用水是影响流域生态安全的重要因素,并对土地利用格局进行了优化。王越^[14]等运用 3S 技术,建立了土地利用格局元胞自动机优化模型。李鑫^[15]等利用 CLUE-S 模型开展了区域土地利用优化布局研究。

整理国内外关于旅游生态安全约束下土地利用优化研究的相关文献,大多是单方面研究土地利用优化或就旅游生态安全本身进行研究,很少有关于旅游生态安全约束下典型旅游城市土地利用优化的研究。为此,本文选择张家界作为研究区域,首先运用灰色线性规划法求出旅游生态安全约束下的土地利用数量结构,再借助 CLUE-S 模型对土地利用空间结构进行优化,以期旅游城市生态安全维护和土地合理利用与管控提供理论依据和实践指导。

1 研究区概况

张家界市位于湖南省西北部,地势西北高东南低,辖永定、武陵源 2 区和桑植、慈利 2 县(图 1),总面积约 9533 km²。截止 2015 年,全市总人口 172.12 万人,常住人口 151.9 万人。境内地势险峻,地貌构造复杂,地表起伏大,相对高差 1800 多米,属典型的山地丘陵区。水系以澧水为主,往南经桑植县、永定区、慈利县汇入洞

庭湖流域。张家界气候属亚热带山原型季风湿润气候,雨量充沛,四季分明,多年平均气温 16.8°C,平均降雨量 1400 mm。区内不仅拥有独特且丰富的自然风光和人文资源,同时栖息了多种野生珍稀动植物,是湖南省生态环境脆弱和水土流失较为严重的地区之一,旅游生态安全问题不容忽视。

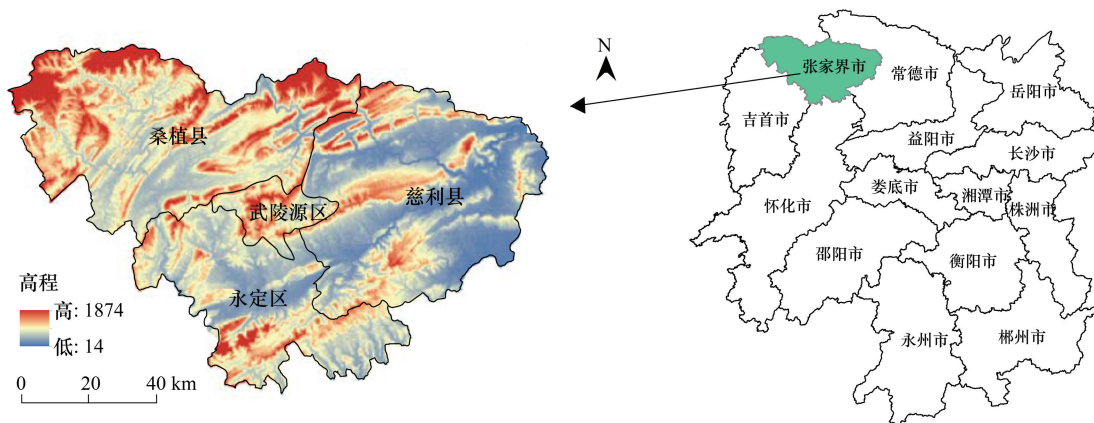


图 1 研究区位置

Fig.1 The location of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理

本研究采用中科院地理空间数据云提供的 2015 年 TM 遥感影像(地面分辨率为 30 m×30 m)作为初始数据源。以张家界市 1:50000 分幅地形图和统计局社会经济数据作为补充信息源。首先对原始图像进行坐标配准和拼接,在 ERDAS 9.2 平台下进行几何校正和数据融合,再选择 TM 2、3、4 波段进行 RGB 假彩色合成,并采取均衡化处理,然后根据行政区划图在 ArcGIS 10.0 中进行裁剪。最后,根据实地考察的地形特征,采用非监督分类方法进行目视解译,将研究区划分为林地、草地、耕地、建设用地、水域和未利用地等 6 种用地类型。本文共采集了 90 个 GPS 点对 2015 年的解译结果进行精度验证,其中有 78 个点显示解译正确,解译精度为 86.7%。

2.2 研究方法

2.2.1 灰色线性规划法

灰色线性规划法是指技术系数为可变的灰数,且约束值为发展状态下的动态线性规划方法^[16-17]。本研究拟采用灰色线性规划法构建土地利用结构优化模型,模拟旅游生态安全约束下的市域土地利用数量结构,其基本模型为:

$$\text{目标函数: } f(x) = \sum_{j=1}^m c_j x_j \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\text{约束条件: } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq (\geq) b_i (i = 1, 2, \dots, n), x_j \geq 0 (j = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

式中, x_j 为土地利用类型, c_j 为效益系数向量, a_{ij} 为约束系数, b_i 为约束常数。

2.2.2 CLUE-S 模型法

CLUE-S 模型从概念上分为两部分,一是非空间的土地需求模块,二是空间配置模块。空间配置模块通过寻找影响土地利用类型空间分布的因素,采用 Logistic 模型提取分布规则,然后调整竞争因子,最后进行多次迭代来实现空间模拟^[18-19],计算公式如下:

$$\text{TPROP}_{i,u} = P_{i,u} + \text{ELAU}_u + \text{ITER}_u \quad (3)$$

式中, $ITER_u$ 代表土地类型 u 的竞争因子, 迭代过程中自动调整, 且其大小不断的改变; $ELAU_u$ 是土地类型 u 的转移参数, 可根据栅格的现状属性确定其大小, 即转换成本越大, $ELAU_u$ 值设置越大; $P_{i,u}$ 是栅格 i 对土地类型 u 的适宜概率, 既是 Logistic 的回归结果, 也是土地利用现状的空间分布规则; $TPROP_{i,u}$ 是栅格 i 对于土地类型 u 的总体适宜度。

2.2.3 土地利用现状布局优化调整

本文针对张家界市土地利用现状及布局优化调整的可行性, 提出如下调整方案: 为防止水土流失, 治理生态环境, 把坡度 25° 以上的耕地和地形起伏度在 70 m 以上的居民点变为林地; 为保持水域生态平衡, 把湖泊周围 500 m 以内的土地利用类型变为草地; 把地质灾害区、生态保护区内的居民点变为林地; 把离城镇较远的农村居民点变为耕地。通过上述四步操作, 形成优化后的土地利用布局, CLUE-S 模型可在其中提取各用地类型的优化布局规则。

3 张家界市旅游生态安全现状评价

3.1 旅游生态安全指标安全指数及权重

3.1.1 指标安全指数

本文将旅游生态安全指标划分为正向指标和逆向指标, 分别计算其安全指数^[20]。假定第 i 项指标实际值为 $Y_i (i=1 \cdots n)$, 评价指标的标准值为 Q_i , 且 $p(Y_i)$ 为该指标的不安全指数, 则有以下两种方法确定其安全指数:

(1) 正向指标的安全指数确定

正向指标的安全趋向性为正, 属于越大越安全的指标。假如用“安全”作为标准值, 当 $Y \geq Q$, 则安全指数为 1; 当 $Y < Q$, 则安全指数为 Y/Q ; 假如用“不安全”作为标准值, 当 $Y \leq Q$, 则安全指数为 0; 当 $Y > Q$, 则安全指数为 $1 - Q/Y$ 。

(2) 逆向指标的安全指数确定

逆向指标的安全趋向性与正向指标相反, 属于越小越安全的指标。假如用“安全”作为标准值, 当 $Y \leq Q$, 则安全指数为 1; 当 $Y > Q$, 则安全指数为 Q/Y ; 假如用“不安全”作为标准值, 当 $Y \geq Q$, 则安全指数为 0; 当 $Y < Q$, 则安全指数为 $1 - Y/Q$ 。

从张家界市土地利用现状、旅游生态环境、旅游资源及经济发展水平出发, 计算旅游生态安全评价指标的安全指数, 结果如表 1 所示。

3.1.2 指标权重的确定

从旅游资源环境压力、旅游环境状况、旅游人文社会响应三方面选择能够表征旅游生态安全的指标^[21], 构建张家界市旅游生态安全评价指标体系, 并采用层次分析法 (AHP) 法, 结合专家咨询来确定不同层次各指标的权重 (表 1)。

旅游生态安全指旅游地的生态系统自身结构完整、功能健全, 其生态环境和自然资源处于一种无威胁、无风险的安全状态。表 1 中的人口自然增长率反映了旅游地居民人数对生态环境的影响, 人口增长过快将直接对旅游地生态环境质量和土地资源的充分供给造成影响; 而旅游客流增长率反映了旅游地的吸引力水平, 客流量的增长表示旅游地生态环境所承受的压力增加, 对旅游用地的需求也会增加; 旅游地建筑密度反映了旅游地建筑对旅游生态环境造成的负面影响, 建筑密度越大, 生态安全性越低, 说明旅游地土地利用结构处于不合理的状态。

3.2 旅游生态安全值

旅游生态安全指标体系的每一项指标只是从不同侧面反映旅游生态安全现状, 若对各项指标进行综合计算, 可以全面地反映研究区旅游生态安全现状和动态变化。计算公式如下:

$$V = \sum_{i=1}^{18} p(Y_i) \times W_i \quad (4)$$

式中, V 为综合旅游生态安全值, $p(Y_i)$ 为第 i 项指标的安全指数, W_i 为第 i 项指标权重。评价旅游生态安全值如表 2 所示。

表 1 张家界市旅游生态安全评价指数及指标权重^[22]

Table 1 Evaluation index and index weight of tourism ecological security in Zhangjiajie ^[22]							
项目层 A Project A	因素层 B The factor level B	指标层 C The index layer C	属性 Attribute	安全指数 Reliable index		权重 W Weight W	
				2015 年	2025 年		
旅游资源环境压力 Tourism resources and environment pressure	人口压力	人口自然增长率/%	逆向	0.66	0.66	0.03	
		旅游客流增长率/%	逆向	1.00	1.00	0.11	
		人均耕地面积/hm ²	正向	1.00	1.00	0.07	
	旅游资源压力	旅游资源利用强度(接待游客数/旅游生态容量)	逆向	1.00	1.00	0.07	
		旅游地建筑密度/%	逆向	1.00	1.00	0.05	
	土地压力	单位面积耕地农药负荷/(kg/hm ²)	逆向	0.00	0.18	0.03	
		地质灾害受灾面积比例/%	逆向	0.00	0.36	0.04	
		人均旅游生态足迹/(hm ² /万人)	正向	0.11	0.14	0.03	
旅游环境状况 Tourism environment status	旅游生态环境	大气质量/%	正向	1.00	1.00	0.06	
		质量	环境噪音/dB	逆向	0.75	0.82	0.02
		森林覆盖率/%	正向	1.00	1.00	0.07	
		25°以上坡耕地面积比/%	逆向	0.14	0.57	0.06	
	土地利用结构	林地面积比率/%	正向	1.00	1.00	0.08	
	土地质量状况	粮食单位面积产量/(kg/hm ²)	正向	0.91	0.92	0.05	
		水土流失面积比例/%	逆向	0.00	0.52	0.04	
	旅游人文社会响应 Tourism social response	经济投入能力	环保建设投资强度/%	正向	1.00	1.00	0.05
旅游环境的保护		耕地有效灌溉比/%	正向	0.86	0.88	0.07	
和治理		环境治理占 GDP 比例/%	正向	0.34	0.46	0.08	

* 资料主要来源于 2015 年《张家界市统计年鉴》

表 2 张家界市旅游生态安全评价结果

Table 2 Evaluation results of tourism ecological security in Zhangjiajie				
年份 Year	系统层指标 Index system			综合分值 Comprehensive score
	旅游资源环境压力 Environmental pressure on tourism resource	旅游环境状况 Tourism environment condition	旅游人文社会响应 Security degree of humanistic social response of tourism	
2015	0.3231	0.2789	0.1374	0.7394
2025	0.3438	0.3274	0.1484	0.8196

3.3 旅游生态安全标准的评判

根据国内外相关研究成果,结合张家界市的实际情况,并在咨询有关专家的基础上,将旅游生态安全评价指标取值范围划分为 4 个等级,即不安全、稍不安全、比较安全、安全,并给出了相应的评判标准(表 3)。

表 3 旅游生态安全度的划分

Table 3 Division of tourism ecological security				
类型 Type	不安全 Unsafe	稍不安全 Slightly unsafe	比较安全 Relatively safe	安全 Safe
标准 Standard	0.00≤ V <0.25	0.25≤ V <0.50	0.50≤ V <0.75	0.75≤ V ≤1.00

V , 综合旅游生态安全值 Integrated tourism ecological safety value

3.4 旅游生态安全评价分析

张家界市 2015 年旅游生态安全度为“比较安全”,处于较安全的土地利用状态。如若 2025 年张家界市土地利用达到“安全”的旅游生态安全标准,则需将旅游生态安全作为土地利用优化的前提和目标,对土地利用数量结构和空间布局进行优化,进而实现土地利用综合效益最大化。

4 旅游生态安全约束下的土地利用优化

4.1 土地利用格局分析

综合分析张家界市 2015 年土地利用格局可得,张家界市土地利用类型以林地、耕地和建设用地为主,分别占市域总面积的 72.74%、16.46%和 4.48%,构成了张家界市土地利用格局的基本类型。从土地利用空间分布特征来看,耕地主要分布在慈利县和永定区境内的一些地势较低的平原和冲击盆地以及坡度起伏不大的地区;林地和草地主要集中于桑植县境域内的山地丘陵区、武陵源区和慈利县东部以五雷山为核心的山地区域;建设用地主要集中在慈利县、桑植县、永定区境域内的核心城区和住宅区,武陵源区所占的比例很少;未利用地主要以裸露的土地为主,零星分布在慈利县、桑植县及永定区;张家界市水资源较丰富,是澧水发源地,域内主要有澧水干流、支流和沅水支流两大水系。

4.2 土地利用结构优化

4.2.1 设置模型变量

根据张家界市土地利用现状、土地资源特点及土地利用总体规划的要求,以 2015 年为基期年,以 2025 年为目标年,共设置 6 个变量: X_1 (耕地)、 X_2 (林地)、 X_3 (草地)、 X_4 (水域)、 X_5 (建设用地)、 X_6 (未利用地),单位为 hm^2 。

4.2.2 建立约束条件

所设约束条件主要基于旅游生态安全和生态系统服务功能的考量。

土地面积约束。张家界市的土地总面积为 953377.48 hm^2 ,各种用地类型面积之和应该等于土地总面积。

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 = 953377.48 \text{ hm}^2 \quad (5)$$

常住人口总量约束。根据 2015 年张家界市统计公报中常住人口的相关数据,计算出农区用地和城镇用地人口密度分别为 $0.96 \text{ 人}/\text{hm}^2$ 和 $15.93 \text{ 人}/\text{hm}^2$,预测 2025 年人口总量达 1679529 人。

$$0.96(X_1 + X_2 + X_3) + 15.93X_5 \leq 1679529 \quad (6)$$

粮食产量需求约束。为持续保障张家界市粮食安全,以研究区粮食需求总量和实际总产量计算,并根据市域土地利用规划中关于耕地保有量的规定,2025 年耕地总量将不得少于 134445.68 hm^2 。

$$134445.68 \text{ hm}^2 \leq X_1 \leq 156963.25 \text{ hm}^2 \quad (7)$$

旅游生态环境约束。为保障张家界市旅游生态环境安全,应适当增加林地面积,预测 2025 年林地面积不少于 2015 年的面积。

$$X_2 \geq 693446.31 \text{ hm}^2 \quad (8)$$

旅游地建筑密度约束。根据专家经验,旅游地建筑密度控制在 1.6%以内为生态安全好的标准。为缓解游客活动对旅游景区造成的压力,2025 年旅游地建筑密度将不超过 1.6%,其中旅游地景区总面积为 120200 hm^2 ,旅游景区建筑面积占总建设用地面积比为 1.5%。

$$0.015X_5 / 120200 \leq 0.016 \quad (9)$$

旅游资源利用强度约束。根据专家经验,旅游资源利用强度维持在 0.8 以内为生态安全好的标准。为确保张家界市旅游资源的利用强度不超过旅游生态环境可承受的范围,2025 年旅游资源利用强度将不超过 0.8。根据张家界市统计年鉴数据,预测 2025 年游客人数为 16285.5 万人,森林覆盖率为 $X_2 / 953377.48$,人均绿地面积参考国内同类风景区,取值为 $0.004 \text{ hm}^2/\text{人}$ 。

$$(16285.5/365) / (X_2 / 953377.48 \times 953377.48) / 0.004 \leq 0.8 \quad (10)$$

草地资源约束。根据张家界市草地资源现状和后备资源条件,为保障草地资源供需平衡,草地面积应适当减少,预测 2025 年草地面积将不少于 29830 hm²。

$$X_3 \geq 29830 \text{ hm}^2 \quad (11)$$

植被保护约束。张家界市 2015 年水土流失面积约为 228810.60 hm²。为保证旅游生态安全,应最大限度的控制水土流失,预测 2025 年各类水土流失面积占土地总面积的比例不大于 0.24,2025 年各类水土流失面积应不大于 2015 年各类水土流失面积。

$$0.24 \times (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6) \leq 228810.60 \text{ hm}^2 \quad (12)$$

建设用地总规模约束。根据张家界市土地利用总体规划的要求,为加强对自然遗产地和风景名胜区的保护,在参考研究区建设用地规模控制目标的基础上,预测 2025 年建设用地增加量不得超过 2491.02 hm²。

$$X_5 - 42682.46 \leq 2491.02 \text{ hm}^2 \quad (13)$$

未利用地需求约束。根据张家界市土地利用规划中适度调减未利用地的要求,结合未利用地的开发现状,预计到 2025 年,因城市发展、耕地整理、生态保护和旅游开发等占用未利用地不超过 1814.32 hm²。

$$X_6 \geq 4623.36 - 1814.32 = 2809.04 \text{ hm}^2 \quad (14)$$

水域面积约束。为保证市水资源的供给,湖泊水域面积应适当增加。假定 2025 年水域面积最多增加 1250.72 hm²,约占 2015 年水域面积的 5%。

$$X_4 - 1250.72 \leq 23835.48 \text{ hm}^2 \quad (15)$$

4.2.3 确立目标函数

本研究以单位面积上各用地类型的生态效益作为变量系数,建立基于生态系统服务价值的目标函数预测旅游生态安全最大化时张家界市的土地利用数量结构。生态系统单位面积生态服务价值向量参照谢高地等人的研究成果^[23],并将研究区建设用地和未利用地的生态服务价值当量设定为 1.00,由此得出张家界市生态系统单位面积的生态服务价值当量(表 4)。目标函数确定为:

$$\max f(x) = 7.9X_1 + 28.12X_2 + 11.67X_3 + 45.35X_4 + X_5 + X_6 \quad (16)$$

表 4 张家界市生态系统单位面积生态服务价值当量

Table 4 Equivalent value per unit area of ecosystem services in Zhangjiajie

耕地(X_1)	林地(X_2)	草地(X_3)	水域(X_4)	建设用地(X_5)	未利用地(X_6)
Cultivated land(X_1)	Woodland(X_2)	Grassland(X_3)	Water body(X_4)	Construction land(X_5)	Unused land(X_6)
7.90	28.12	11.67	45.35	1.00	1.00

4.2.4 优化结果分析

据此,获得张家界市 2025 年土地利用结构优化方案(表 5)。其中,林地和水域面积增幅明显,分别增加了 22586.77 hm²和 1250.72 hm²,这主要是因为林地和水域的生态系统服务价值较高,其面积的增加有利于提高自然生态系统的自我调节功能和抗御自然灾害的能力;而建设用地的增加则归因于现代城市基础设施建设和休闲旅游的快速发展。与此相反,耕地、草地和未利用地的面积有所减少,分别减少了 22517.57、1996.62 hm²和 1814.32 hm²,主要源于耕地、草地和未利用地的生态系统服务价值相对较低,其产生的生态环境效益不如林地和水域。通过与 2015 年土地利用状况进行比较,2025 年研究区单位面积耕地农药负荷、地质灾害受灾面积比例、人均旅游生态足迹、环境噪音、25°以上坡耕地面积比、粮食单位面积产量、水土流失面积比例、耕地有效灌溉比、环境治理占 GDP 比例等指标的安全指数增加,分别为 0.18、0.36、0.14、0.82、0.57、0.92、0.52、0.88、0.46,旅游生态安全综合指数达到 0.8196(表 2),比 2015 年提高了 0.0802,处于安全的等级。

4.3 基于优化布局的各类用地分布规则提取

本研究先用 Logistic 提取各土地利用类型的分布规则,再以该优化布局规则为指导,运用 CLUE-S 模型对土地利用优化结构进行空间配置。根据研究区土地利用状况分别选取坡度、高程、与市中心的距离、与湖泊的距离、与县级道路的距离、与乡级道路的距离等 6 个驱动因子,并对因子进行空间化处理。坡度与高程由

DEM 数据生成,其他驱动因子的空间化文件通过欧式距离得出,提取出各土地利用类型的栅格图,经过文件格式转换产生 stat.txt 文件,再导入 SPSS 13.0 中,运用 Logistic 逐步回归进行统计分析,求出不同用地分布的回归系数,即各土地利用类型的分布规则(表 6)。由此可知,耕地分布与坡度和高程呈负相关,即坡度或高程越高,耕地分布的可能性越小;与市中心或县级道路的距离呈正相关,即与市中心或县级道路的距离越远,用地类型为耕地的可能性越大;与乡级道路的距离呈负相关,即离乡级道路越近,耕地分布的面积越大。草地分布与湖泊的距离呈负相关,即离湖泊越近,草地分布的可能性越大。林地分布与湖泊的距离呈负相关,即与湖泊的距离越近,越有利于林地分布;与县级道路的距离呈正相关,即与县级道路的距离越远,林地分布的可能性越大,且林地主要分布在距市中心较远的山区。建设用地分布与高程、坡度呈负相关,即高程或坡度越高,建设用地分布的可能性越小;与市中心或县级道路的距离呈负相关,离市中心或县级道路越近,建设用地分布的可能性越大。

表 5 张家界市 2025 年土地利用结构优化方案
Table 5 Optimization scheme of land use structure in Zhangjiajie in the year of 2025

土地利用类型 Land use type	现状面积 The status area/hm ²	比例 Percentage/%	优化后面积 Optimized area/hm ²	比例 Percentage/%	增减 Increase and decrease/(+ -)
耕地 Cultivated land	156963.25	16.46	134445.68	14.12	-22517.57
林地 Woodland	693446.31	72.74	716033.08	75.08	22586.77
草地 Grassland	31826.62	3.34	29830.00	3.13	-1996.62
建设用地 Construction land	42682.46	4.48	45173.48	4.74	2491.02
水域 Water body	23835.48	2.50	25086.20	2.63	1250.72
未利用地 Unused land	4623.36	0.48	2809.04	0.30	-1814.32
合计 Total			953377.48		

表 6 各用地类型 Logistic 分布的回归系数
Table 6 Regression coefficient of different land use type logistic distribution

土地利用类型 Land use type	坡度 Slope	高程 Altitude	与市中心的距离 Distance to citycenter	与湖泊的距离 Distance to lake	与县级道路的距离 Distance to County rank road	与乡级道路的距离 Distance to town rank road	常数 Constant	受试者工作特征值 Receiver operating characteristic value
耕地 Cultivatedland	-0.059	-0.002	0.001	—	0.003	-0.002	0.385	0.775
林地 Woodland	0.076	0.003	0.002	-0.001	0.001	—	-2.478	0.821
草地 Grassland	0.042	0.002	—	-0.001	—	—	0.196	0.714
建设用地 Construction land	-0.023	-0.001	-0.004	—	-0.002	0.003	-1.310	0.762

4.4 土地利用空间布局优化

由于水域和未利用地分布的驱动因子十分复杂,因此水域和未利用地不参与空间配置处理,而是进行缓冲区分析,直到缓冲区面积等于其在旅游生态安全约束下的数量约束值为止。根据前述布局规则把既定数量的土地利用优化结构配置在空间上,具体操作是:先把表 6 中的数据写入 alloc.reg 文件,再将张家界市土地利用结构优化方案写入 demand.in 文件,并把水域和未利用地等不参与空间配置的用地范围写入 region.fil 文件,关于 CLUE-S 模型的其他参数应在 main.1 文件中进行设置,最终便可获得张家界市 2025 年旅游生态安全约束下的土地利用空间结构。

与 2015 年土地利用状况比较,优化后的土地利用空间布局显得更合理:林地主要分布在武陵源区、桑植县境内的丘陵区、慈利县东部的山区以及永定区的南部。因为这些地区地势相对较高,用于林地种植不仅具有很好的生态效益,而且能够创造更多的经济价值,同时在桑植县北部、慈利县东部以及永定区南部有大片的

林地分布,这样分别在南北两侧对张家界城区形成了两道生态屏障,不仅有利于吸收城区排出的废气,同时净化了市域水体环境。建设用地的增加主要位于慈利县、桑植县和永定区,景区内分布较少。建设用地向中心城区西南扩张主要由于该地区交通条件便利,高速公路在此交汇,且靠近火车站和机场。桑植县东部和慈利县中部的建设用地主要是中心镇及附属的产业园建设用地。草地主要集中在桑植县、慈利县的低海拔山区及武陵源区。耕地布局变化则表现在其分布的减少,主要分布在慈利县和永定区的平原地带,中心城区周围、慈利县内大部分不宜于耕地的栅格单元变成建设用地和林地,同时在偏远的交通不便和高海拔地区,也不宜于耕地的分布,已变为林地。未利用地面积减少,零星分布在慈利县、桑植县和永定区。经布局优化后,各用地类型均已分布在适宜度较高的空间单元,呈现出较为合理的状态,在相同的投入条件下,能获得更大的生态效益,并将促进生态环境保护和旅游可持续发展(图2,图3)。

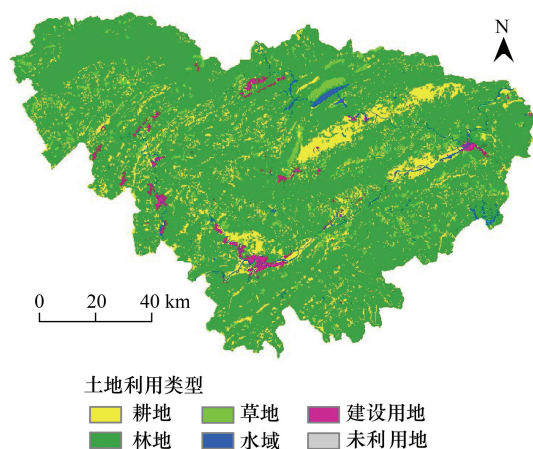


图2 张家界市 2015 年土地利用格局

Fig.2 The land use patterns of Zhangjiajie in 2015

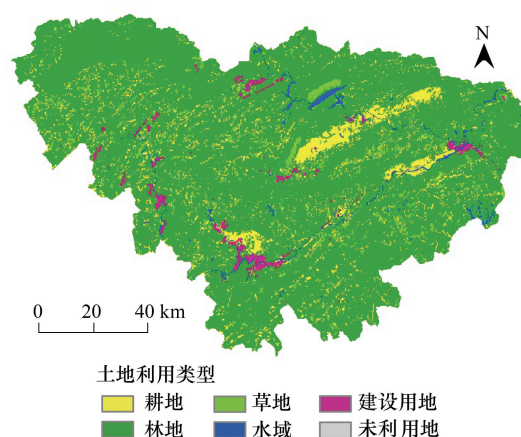


图3 张家界市 2025 年土地利用空间优化图

Fig.3 Land use spatial optimization map of Zhangjiajie in 2025

5 结论

本文以张家界市为例,首先借助灰色线性规划法中的 Lingo11.0 模型求取了旅游生态安全约束下的最优土地利用结构,再根据分布规则把优化后的土地利用数量结构配置在空间上,最后运用 CLUE-S 模型对土地利用空间结构进行优化。主要结论如下:

(1) 本研究从旅游资源环境压力、旅游环境状况和旅游人文社会响应 3 个方面选取了能够反映旅游生态安全的指标,构建了旅游生态安全评价指标体系,计算出张家界市 2015 年旅游生态安全综合指数为 0.7394,处于“比较安全”的状态。其中旅游资源环境压力、旅游环境状况、旅游人文社会响应得分分别为 0.3231、0.2789、0.1374,旅游环境状况和旅游人文社会响应的安全度较低,表明张家界市旅游生态安全建设还需进一步加强。

(2) 基于张家界市土地资源数量、旅游生态环境保护和水资源供给等约束条件,以旅游生态安全为目标,运用灰色线性规划法对土地利用数量结构进行优化。与 2015 年土地利用状况相比,林地和水域面积分别增加 22586.77 hm^2 和 1250.72 hm^2 ;建设用地因城市基础设施建设的需要增加 2491.02 hm^2 ;耕地、草地和未利用地的面积分别减少 22517.57、1996.62 hm^2 和 1814.32 hm^2 。优化后的张家界市旅游生态安全综合指数为 0.8196,比 2015 年提高了 0.0802,优化后的旅游生态安全度处于“安全”的状态,说明优化后的土地利用数量结构将对旅游生态安全起到明显的改善作用。

(3) 为提高土地利用生态效益,不仅要土地利用数量结构进行优化,而且还要对土地利用空间结构进行优化。在旅游生态安全约束下借助 CLUE-S 模型进行土地利用空间结构优化,结果表明:林地主要集中在慈利县的山区、武陵源区、桑植县的丘陵地带和永定区南部;建设用地主要分布在慈利县、桑植县和永定区城

区;草地主要位于桑植县、慈利县的低矮山区和武陵源区;耕地主要分布在慈利县的丘陵及永定区的平原地区;未利用地零星分布在慈利县、桑植县及永定区。

6 讨论

(1)本研究虽从旅游资源环境压力、旅游环境状况和旅游人文社会响应 3 个层面构建了张家界市旅游生态安全评价指标体系,但在指标的选取上存在一定的主观性,如何通过约束条件的设定更好地实现旅游生态安全的目标,如何在深入理解土地利用与旅游生态安全相互关系的基础上,构建更加完善的旅游生态安全评价指标体系,是今后研究的重点。

(2)本研究没有直接将旅游生态安全最大化作为目标函数预测土地利用数量结构,而是建立基于生态系统服务价值的目标函数来间接预测旅游生态安全最大化时的土地利用数量结构,虽然在优化模型中引入了能体现旅游生态安全的约束条件和生态安全标准,但是目前还没有一种通用的模型方法来直接预测旅游生态安全最大化时的土地利用结构,因此,未来对于该方法的研究有待加强。

参考文献 (References):

- [1] 李秀彬. 全球环境变化研究的核心领域——土地利用/土地覆被变化的国际研究动向. 地理学报, 1996, 51(6): 553-558.
- [2] Turner II B L, Meyer W B, Skole D L. Global land-use/land-cover change: towards an integrated study. Ambio, 1994, 23(1): 91-95.
- [3] 黄忠华, 杜雪君. 快速城市化地区土地利用变化的生态环境效应——以杭州市中心城区为例. 水土保持通报, 2015, 35(6): 223-229.
- [4] 于雪, 濮励杰, 许艳, 朱明. 1980~2010 年江苏沿海城市土地利用变化及其与环境因子关系分析——以东台市为例. 长江流域资源与环境, 2016, 25(4): 537-543.
- [5] 郭斌, 任志远. 城市土地利用变化与生态安全动态测评. 城市规划, 2010, 34(2): 25-29.
- [6] 何玲, 贾启建, 李超, 张利, 许皞. 基于生态系统服务价值和生态安全格局的土地利用格局模拟. 农业工程学报, 2016, 32(3): 275-284.
- [7] 李若凝, 王晶, 程柯. 云台山旅游景区生态安全评价与优化对策. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2010, 9(1): 71-75.
- [8] 周彬, 虞虎, 钟林生, 陈田. 普陀山岛旅游生态安全发展趋势预测. 生态学报, 2016, 36(23): 7792-7803.
- [9] 徐美, 刘春腊, 李丹, 钟晓林. 基于改进 TOPSIS-灰色 GM(1, 1) 模型的张家界市旅游生态安全动态预警. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3731-3739.
- [10] 肖建红, 于庆东, 刘康, 陈东景, 陈娟, 肖江南. 海岛旅游地生态安全与可持续发展评估——以舟山群岛为例. 地理学报, 2011, 66(6): 842-852.
- [11] 武春友, 郭玲玲, 于惊涛. 区域旅游生态安全的动态仿真模拟. 系统工程, 2013, 31(2): 94-99.
- [12] Doyen É, Vannière B, Berger J F, Arnaud F, Tachikawa K, Bard E. Land-use changes and environmental dynamics in the upper Rhone valley since Neolithic times inferred from sediments in Lac Moras. Holocene, 2013, 23(7): 961-973.
- [13] 喻锋, 李晓兵, 王宏. 生态安全条件下土地利用格局优化——以皇甫川流域为例. 生态学报, 2014, 34(12): 3198-3210.
- [14] 王越, 宋戈, 张红梅. 黑龙江省县域土地利用格局优化研究. 经济地理, 2016, 36(8): 147-151.
- [15] 李鑫, 马晓冬, 肖长江, 欧名豪. 基于 CLUE-S 模型的区域土地利用布局优化. 经济地理, 2015, 35(1): 162-167, 172-172.
- [16] 赵阳, 张艺, 涂志华, 贾剑波, 余新晓, 孙佳美, 梁鸿儒. 基于生态服务价值的多目标水源地土地利用结构优化. 中国环境科学, 2014, 34(1): 232-238.
- [17] 孙丕苓, 杨海娟. 商洛市土地利用结构优化的情景分析. 水土保持通报, 2012, 32(2): 200-205.
- [18] 许月卿, 罗鼎, 郭洪峰, 周东. 基于 CLUE-S 模型的土地利用空间布局多情景模拟研究——以甘肃省榆中县为例. 北京大学学报: 自然科学版, 2013, 49(3): 523-529.
- [19] 许小亮, 李鑫, 肖长江, 欧名豪. 基于 CLUE-S 模型的不同情景下区域土地利用布局优化. 生态学报, 2016, 36(17): 5401-5410.
- [20] 杨京平. 生态安全的系统分析. 北京: 化学工业出版社, 2002: 139-143.
- [21] Li Y J, Chen T, Hu J, Wang J. Tourism ecological security in Wuhan. Journal of Resources and Ecology, 2013, 4(2): 149-156.
- [22] 张家界市统计年鉴编辑委员会. 张家界市统计年鉴. 2015 年卷.
- [23] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 肖玉, 陈操. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法. 自然资源学报, 2008, 23(5): 911-919.