

DOI: 10.5846/stxb202107141894

肖练练, 朱冬芳, 虞虎. 三江源国家公园游憩承载力模拟仿真研究. 生态学报, 2022, 42(14): 5642-5652.

Xiao L L, Zhu D F, Yu H. Simulation on recreation carrying capacity of Sanjiangyuan National Park. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(14): 5642-5652.

三江源国家公园游憩承载力模拟仿真研究

肖练练^{1,2}, 朱冬芳^{2,3}, 虞 虎^{2,*}

1 中华女子学院, 北京 100101

2 中国科学院地理科学与资源研究所, 区域可持续发展分析与模拟重点实验室, 北京 100101

3 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049

摘要: 游憩承载力评估与预测是国家公园游憩规划与动态管理的重要工具。采用系统动力学模拟仿真软件 Vensim_PLE, 构建三江源国家公园游憩承载力系统动力学模型, 包括资源空间、生态环境、社会经济、社会心理 4 个子系统。以 2015—2035 年为系统仿真区间, 模拟了原始情景、社会驱动模式、生态保护优先模式、协调发展模式 4 种情景下各子系统的发展演化趋势, 为三江源国家公园游憩规划与管理提供参考。结果表明: (1) 原始情景模式下, 三江源国家公园游憩承载力呈先增后降的趋势, 在 2031 年面临游憩承载力超载风险, 在加大游憩设施投入的社会驱动模式下, 游憩承载力将有所提升, 但 2031 年后提升效果微弱。(2) 生态保护优先模式通过提高污染治理能力和适度控制游客规模, 游憩承载力有所提升, 并将游憩承载力超载风险由 2031 年延迟至 2033 年。(3) 协调发展模式下, 生态环境承载力和资源空间承载力缓慢上升, 在 4 种模式中均为最高值, 游憩承载力也达到最大值, 游憩承载力超载的风险由 2031 年延长至 2035 年以后。对国家公园游憩承载力的模拟预测, 可为合理及时调控提供科学参考, 有利于三江源国家公园生态保护与游憩质量提升。

关键词: 游憩承载力; 系统动力学模型; 模拟仿真; 三江源国家公园

Simulation on recreation carrying capacity of Sanjiangyuan National Park

XIAO Lianlian^{1,2}, ZHU Dongfang^{2,3}, YU Hu^{2,*}

1 China Women's University, Beijing 100101, China

2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Key Laboratory of Regional Sustainable Development Analysis and Simulation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: Recreation carrying capacity estimation and predication is an important tool for recreation planning and dynamic management of national park. This paper establishes a system dynamics model for Sanjiangyuan National Park recreation carrying capacity based on the system dynamics simulation software Vensim_PLE, which includes four subsystems, namely resource space, ecological environment, socio-economic, and social-psychological system. Using 2015—2035 as the time interval, this paper sets four scenarios for simulation to estimate trend of each subsystem, providing a reference for the recreation planning and management of Sanjiangyuan National Park. The four scenarios include original scenario, the social-driven scenario, the ecological protection priority scenario, and the coordinated development scenario. Results show: (1) Under the current original scenario, the recreation carrying capacity shows a trend of increasing initially and decreasing afterwards. However, it may face the risk of surpassing the recreation carrying capacity in 2031. Under the social-driven scenario of increasing investment in recreational facilities, the recreation carrying capacity has improved, but the effect of

基金项目: 中国科学院-青海省人民政府三江源国家公园联合研究专项(YHGX-2020-07); 第二次青藏高原综合科学考察研究(2019QZKK0401); 中国科学院 A 类战略性先导科技专项(XDA20020302)

收稿日期: 2021-07-14; 网络出版日期: 2022-03-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yuhu@igsrr.ac.cn

improvement after 2031 will be weak. (2) Under the ecological protection priority scenario, through the improvement of capacity of pollution prevention and control of tourist scale, the recreation carrying capacity has been improved, and the risk of overloading the recreation carrying capacity has been postponed from 2031 to 2033. (3) Under the coordinated development scenario, the ecological environment carrying capacity and the resource space carrying capacity increase slowly, with the highest value among the four scenarios, and the recreation carrying capacity reaches the maximum value. The risk of overloading the recreation carrying capacity extended from 2031 to after 2035. The simulation and prediction of recreation carrying capacity of national park provides a scientific reference for reasonable and timely control, which is conducive to ecological protection and improvement of recreational quality in Sanjiangyuan National Park.

Key Words: recreation carrying capacity; system dynamics model; simulation; Sanjiangyuan National Park

20 世纪 90 年代以来,游憩利用被视为破解国家公园资源保护与利用矛盾的有效手段,通过游憩服务供给能提升公众福利、促进国民认同,同时为社区提供生计来源^[1-2]。但是,游客接待量的不断增长不仅对国家公园脆弱的植被、土壤和野生动物带来冲击,而且引发游客拥挤、主客冲突等系列问题^[3-5]。因此,对国家公园游憩承载力进行模拟与预测,可以为多主体提供良好的环境与游憩体验,提升国家公园应对不确定因素的响应与适应能力^[6],实现国家公园容纳能力的动态平衡,是一个兼具理论价值与解决现实需求的重要问题。

国家公园游憩承载力是指在不对自然环境和游客体验质量产生不可接受的影响前提下,国家公园区域能够容纳的最大游客数量^[7],重点关注游憩活动对国家公园所产生的生态和社会影响,以确定最佳的游憩利用水平^[8-10]。美国、加拿大的国家公园管理机构开发了一系列以游憩承载力为核心的管理框架,包括可接受的改变极限(Limits of Acceptable Change, LAC)、游客影响管理(Visitor Impact Management, VIM)、游客体验和资源保护(Visitor Experience and Resource Protection, VERP)等。随着对自然保护地游憩利用的深入理解,游憩承载力的研究从单一角度扩展到对环境、经济、社会、文化以及心理等多层面研究^[11-13]。Shelby 和 Heberlein 将游憩承载力划分为生态承载力、经济承载力、社会承载力、设施承载力^[14]。在国家公园游憩承载力定量评估方面,Papageorgiou 和 Brotherton 从生态、知觉和经济三个维度的承载力探讨了国家公园管理框架^[15],大量实证研究被广泛用于海岸、森林、草地等各类保护地研究中。Prato 基于对游憩承载力的综合认识,提出了适应性生态系统管理技术和容量多因素评分检验技术结合的模型,模拟国家公园游憩承载力变化^[16];Salerno 等基于管理目标导向,构建了旅游流、固体污染、水污染、能源四个子模型,评估国家公园游憩环境承载力,并提出管理框架^[17];Cupul-Magaña 等测算了国家公园潜水活动的容量^[18]。近年来,国内将承载力概念用于风景名胜区、森林公园、地质公园等各类保护地管理研究中。崔凤军等从环境生态承载量、资源空间承载量、心理承载量和经济承载量四个维度评估了泰山风景区的游憩承载力^[19];贾秀红等采用生态足迹成分法计算了森林公园旅游六要素的生态足迹,计算其旅游生态足迹及生态旅游承载力^[20]。王嘉欣等基于 TOMM 理论,采用人工智能算法对三江源国家公园进行游憩线路优化,实现在预期游憩承载力范围内游憩体验的提升^[21]。综合来看,游憩承载力的研究方法主要有综合指标评价法^[22-23]、生态足迹法^[24-25]、状态空间法^[26]、系统动力学方法^[27-28]等。综合指标评价法包括“驱动力-状态-响应”三类指标体系,该体系指标数量较多,难以在统计不完善的区域开展研究,且指标系统的可操作性存在一定缺陷;生态足迹法通过使用相同生产力的生物生产性土地面积来衡量人类活动的生态负荷和自然系统的承载力,方法较为直观,但模型参数弹性不够,容易忽略游憩利用中其他重要影响因素;状态空间法由三维状态空间轴组成,通过构建指标体系评估系统各要素状态,较难获得游憩承载力的数值,只知其承载力水平高低^[29]。与其他研究方法相比,系统动力学法基于对系统各种反馈关系的梳理,构建模型对游憩承载力进行情景模拟,可以得到最佳的游憩利用方案及承载力状态,能够为国家公园游憩利用适应性管理和动态监测提供依据。

本文以三江源国家公园为例,构建游憩承载力评价指标体系,采用系统动力学模型,模拟和预测三江源国家公园游憩利用承载力状况,评估不同情景模式下的游憩承载力各子系统的演化趋势,为三江源国家公园游

憩利用动态管理与调节提供理论参考和借鉴,实现国家公园的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

三江源国家公园地处青藏高原腹地,是长江、黄河、澜沧江的发源地,总面积 12.31 万平方公里,涉及治多、曲麻莱、玛多、杂多四县和可可西里自然保护区管辖区域,共 12 个乡镇、53 个行政村(图 1)。三江源国家公园功能分区划分为核心保育区、生态保育修复区、传统利用区,面积分别为 9.06 万 km^2 、0.59 万 km^2 、2.66 万 km^2 。核心保育区实行严格的生态保护,限制开展游憩活动;生态保育修复区和传统利用区主要用于生态保育修复、提供牧民传统生活、生产空间,是公众游憩利用的主要场所。根据三江源国家公园范围内各县旅游主管部门统计,2015 年,三江源国家公园范围内接待游客量约为 17.05 万人次。作为青藏高原特有物种的生物多样性、遗传多样性和生态系统多样性保护的重要区域,人类游憩活动对三江源国家公园生态系统产生冲击的风险较大。因此,确定游憩承载力水平,合理开展游憩活动,对保障国家公园可持续发展至关重要。

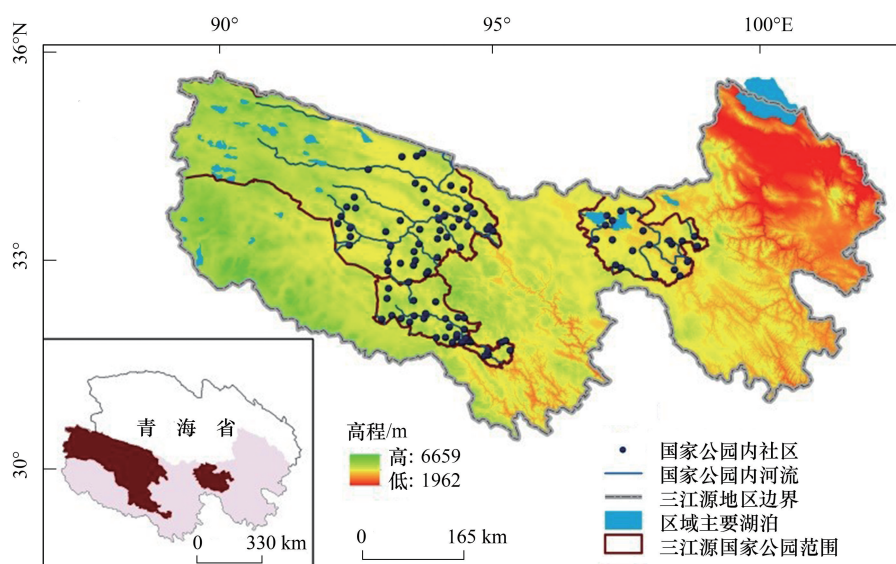


图 1 三江源国家公园区位概况

Fig.1 Location of Sanjiangyuan National Park

1.2 研究方法和数据来源

系统动力学是一门以控制论、信息论、决策论等有关理论为理论基础,以计算机仿真技术为手段,定量研究非线性、高阶次、多重反馈系统的科学。本文运用系统动力学的专业软件 Vensim_PLE 进行建模,模型运行时间为 2015—2035 年,仿真步长为 1 年。其中,2015—2019 年为模型仿真行为、状态的参考和验证模式,为模型仿真的科学性和精准性提供参考借鉴,2020—2035 年为游憩承载力系统的模拟仿真和未来情景预测,用于模拟预测系统未来发展演变的方向和路径。

系统动力学模型中所涉及的数据主要来自《三江源国家公园总体规划》(2018 年)、《三江源国家公园社区发展和基础设施建设专项规划》(2020 年)、《三江源国家公园产业发展与特许经营专项规划》(2020 年)、《2011—2019 年玉树州国民经济和社会发展统计公报》等,部分指标的参数设置参考《青海省水资源公报(2017 年)》、《青海省三江源地区生态旅游发展规划(2009—2025 年)》以及相关文献研究成果整理得到。

1.3 游憩承载力系统动力学模型构建

游憩承载力系统动力学模型构建旨在反映国家公园自然环境、社会环境、经济环境系统之间的协调程度。根据国家公园游憩系统间的结构、功能和各变量间的因果关系,遵循科学性、可获取性、代表性等原则,将三江

承载力取决于合理游客密度以及拥挤程度对游客心理承载力的影响系数,而拥挤度受年接待游客量和国家公园游憩利用面积影响。居民心理承载力取决于游客居民比和居民能够承受的游客居民比^[32]。因此,选取社区人口、年接待游客量为水平变量,出生人口、死亡人口等为速率变量,游客居民比、拥挤程度等为辅助变量,建立社会心理子系统的互动关系。

1.4 系统动力学模型参数确定

确定模型参数是系统动力学模型的重要组成部分,通过分析系统各要素之间的因果关系,本文在参考前人相关研究、三江源国家公园游憩开展实际情况和专家意见的基础上确定模型参数,各变量的计算方程式见表 1。

表 1 国家公园游憩承载力系统主要指标体系及方程

Table 1 Main indicators and equations of recreation carrying capacity in national park

子系统 Subsystem	指标 Indicator	方程 Equation	变量类型 Type of variables
资源空间承载力 Resource space carrying capacity	游憩利用面积	$y = \text{INTEG}(+ \text{新开放面积}, \text{游憩利用面积初始值})$	水平变量
	新开放面积	$y = \text{新增道路面积} + \text{新增步道面积} + \text{新增观景台面积}$	速率变量
	资源空间最大负荷数	$y = \text{游憩利用面积} \times \text{合理游客密度} \times (\text{每天开放时间} / \text{游客平均停留时间})$	辅助变量
	合理游客密度	常数	常量
	每天开放时间	常数	常量
	资源空间承载力	$y = \text{资源空间最大负荷数}$	辅助变量
生态环境承载力 Ecological environment carrying capacity	污水量	$y = \text{INTEG}(+ \text{污水排放} - \text{污水处理}, \text{污水量初始值})$	水平变量
	污水排放	$y = (\text{年接待游客量} \times \text{游客平均污水排放量}) + (\text{社区人口} \times \text{居民人均污水排放量})$	速率变量
	污水处理	$y = \text{污水处理投资} / \text{污水处理投资单价}$	速率变量
	水污染率	$y = \text{污水量} / \text{污水标准排放量}$	辅助变量
	生态环境承载力	$y = ((\text{污水处理能力} + \text{单位面积污水的自然净化能力}) / (\text{游客平均污水排放量} + \text{居民人均污水排放量})) \times \text{水污染对生态环境承载力影响}$	辅助变量
	污水处理投资	常数	常量
	污水处理投资单价	常数	常量
	游憩基础设施接待能力	$y = \text{INTEG}(+ \text{游憩基础设施接待能力增加} - \text{游憩基础设施接待能力减少}, \text{游憩基础设施接待能力初始值})$	水平变量
社会经济承载力 Socio-economic carrying capacity	游憩服务设施接待能力	$\text{INTEG}(+ \text{游憩服务设施接待能力增加} - \text{游憩服务设施接待能力减少}, \text{游憩服务设施接待能力初始值})$	水平变量
	游憩基础设施接待能力增加	$y = \text{计划基础设施投资} \times \text{游憩基础设施投资比} / \text{基础设施投资周期}$	速率变量
	游憩服务设施接待能力增加	$y = \text{产业发展投资} \times \text{游憩服务设施投资比} / \text{游憩服务设施投资周期}$	速率变量
	游憩服务设施接待能力减少	$y = \text{游憩服务设施接待能力} / \text{游憩服务设施使用寿命}$	速率变量
	游憩基础设施接待能力减少	$y = \text{游憩基础设施接待能力} / \text{基础设施使用寿命}$	速率变量
	游憩基础设施承载力	$y = \text{游憩基础设施接待能力} \times (\text{每天开放时间} / \text{游客往返时间})$	辅助变量
	游憩服务设施承载力	$y = \text{游憩服务设施接待能力} \times (\text{每天开放时间} / \text{游客使用时间})$	辅助变量
	社会经济承载力	$y = \text{MIN}(\text{游憩基础设施承载力}, \text{游憩服务设施承载力})$	辅助变量
	社区人口	$y = \text{INTEG}(+ \text{出生人口} - \text{死亡人口}, \text{社区人口初始值})$	水平变量
	出生人口	$y = \text{社区人口} \times \text{出生率}$	速率变量
社会心理承载力 Social-psychological carrying capacity	死亡人口	$y = \text{社区人口} \times \text{死亡率}$	速率变量

续表			
子系统 Subsystem	指标 Indicator	方程 Equation	变量类型 Type of variables
	游客居民比	$y = \text{社区人口} / \text{平均每天接待游客}$	辅助变量
	拥挤程度	$y = \text{平均每天接待游客} / (\text{游憩利用面积} \times \text{合理游客密度})$	辅助变量
	居民心理承载力	$y = \text{社区人口} \times \text{游客能够承受的游客居民比} \times \text{游客居民比对居民心理承载力的影响系数}$	辅助变量
	游客心理承载力	$y = \text{合理游客密度} \times \text{游憩利用面积} \times (\text{每天开放时间} / \text{游客平均停留时间}) \times \text{拥挤程度对游客心理承载力影响}$	辅助变量
	社会心理承载力	$y = \text{MIN}(\text{居民心理承载力}, \text{游客心理承载力})$	辅助变量

因篇幅所限,本表仅列出主要参数和变量方程

2 结果与分析

2.1 仿真模型校验

为确保模型的科学性、有效性和精确性,运用历史性检验法对系统动力学模型进行验证。选取社区人口、年接待游客量、游憩服务设施接待能力 3 个代表性变量进行历史性检验,时间为 2015—2019 年。检验结果表明,社区人口、年接待游客量、游憩服务设施接待能力模拟值的平均误差分别为 1.71%、-1.21%、-7.18%。相关研究认为,检验误差在-10%—15%之间变动均可接受^[33],说明该模型拟合的结果较可靠,能反映国家公园游憩承载力的真实情况。

2.2 原始情景仿真模拟分析

以 2015 年为基准值,对 2015 年以来三江源国家公园游憩承载力系统状态进行模拟仿真,对应参数借鉴相关研究成果与方法进行估算,分析原始情景下三江源国家公园游憩承载力的演化趋势。从图 3 和表 3 可知,按照现有发展趋势,三江源国家公园年接待游客量呈增长趋势,到 2035 年,将达到 287.59 万人;按照三江源国家公园规划及各变量发展趋势,游憩承载力将呈上升趋势,其中 2015—2022 年间,由于三江源国家公园处于规划、建设阶段,各类设施不断完善,游憩承载力增速较快,能够为国家公园游憩利用提供较好的基础;2023—2035 年则增速趋向平缓,2031 年可能面临超载风险,说明应采取相应措施改善现有趋势,优化国家公园游憩承载力。

国家公园游憩承载力受资源空间、生态环境、社会经济、社会心理 4 个承载力子系统的影响,由 4 个子系统的最小值决定。由图 4 可看出,2015—2019 年,社会经济承载力是 4 个分承载力中的最小值,这主要由于三江源国家公园地处经济落后地区,游憩服务产业发育较弱,基础设施和服务设施投入不足,设施容纳能力较低,制约了游憩承载力的提升。2020—2029 年间,三江源国家公园游憩承载力主要受生态环境承载力、社会心理承载力两个因素的制约,随着三江源国家公园知名度的提升,游客接待量增长较快,带来的垃圾、旅游废弃用水量增长,而污染处理投资略显不足。另一方面,虽然在国家公园开放之初,社区居民对游客持欢迎态度,但随着游客量的增加,拥挤度系数提升较快,易导致当地居民产生不适心理,同时降低游客体验效用,使社会心理承载力难以提升,制约国家公园游憩承载力的提升。2030 年以后,三江源国家公园游憩承载力主要受社会经济承载力和社会心理承载力两个因子的制约。

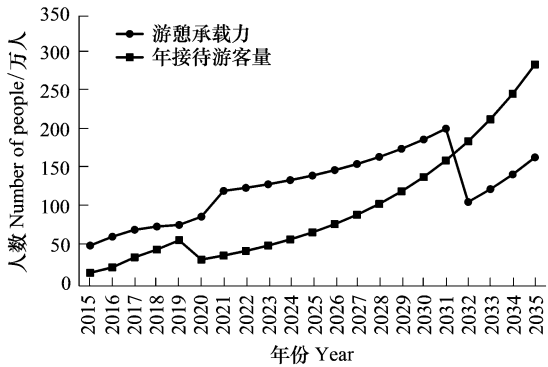


图 3 原始情景下三江源国家公园游憩承载力与年接待游客量仿真结果对比

Fig.3 Comparison of simulation result of Sanjiangyuan National Park's recreation carrying capacity and annual tourist reception under the original scenario

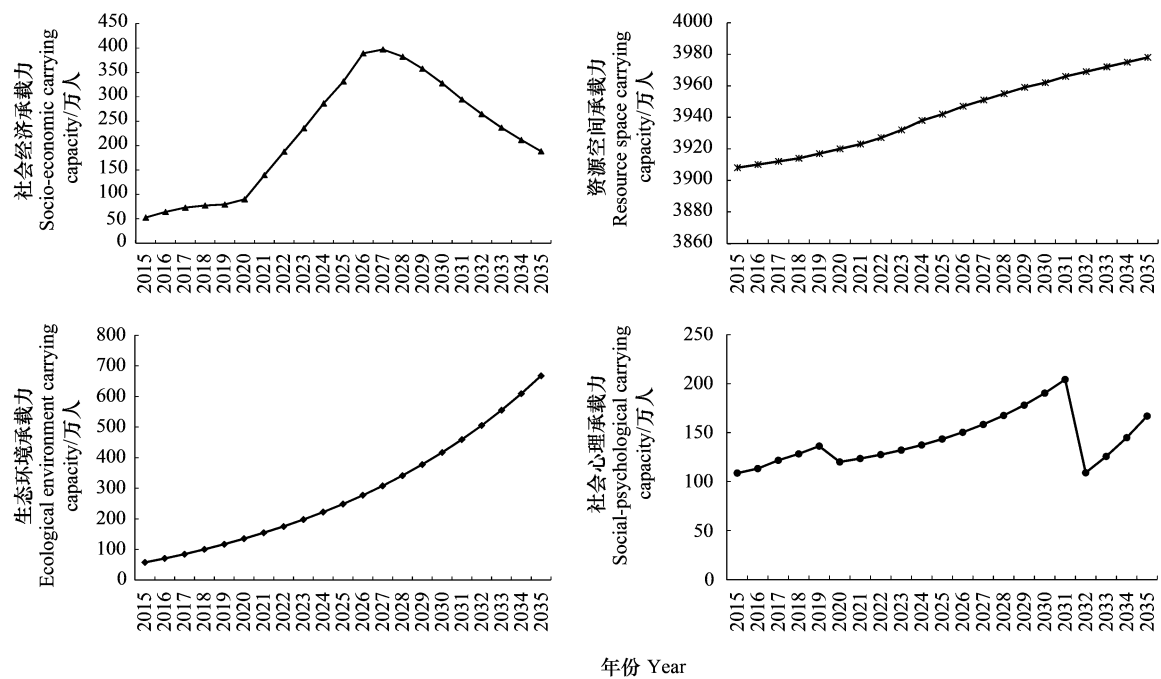


图 4 原始情景下三江源国家公园游憩承载力子系统仿真情况

Fig.4 Simulation of subsystem of recreation carrying capacity in Sanjiangyuan National Park under the original scenario

2.3 优化模式仿真分析

对三江源国家公园游憩承载力系统仿真结果表明,游憩承载力将在 2031 年达到最大值,而后呈现下降趋势。要使国家公园游憩开发与生态保护相互协调,游憩承载力保持在一定合理水平,实现三江源国家公园可持续发展目标,需对当前的发展策略和方案进行优化调整。本文通过甄别关键要素及可能对国家公园游憩承载力产生的影响,选取 3 种优化模式,通过改变相关调控参数,来改善系统行为。根据相关文献研究结果^[34],按照 25%的比例对初始参数值进行调整是比较适中的比例,这一调整比例有利于测试系统的稳定性和灵敏性,识别不同情景措施干预点的灵敏度及作用效果。结合文献研究和三江源国家公园管理规划实际,不同模拟情景参数设置值见表 2。

表 2 不同情景下调控变量参数表

Table 2 Parameter setting in different scenarios

变量 Variable	原始情景 Original scenario	社会驱动模式 Social-driven scenario	生态保护优先模式 Ecological protection priority scenario	协调发展模式 Coordinated development scenario
污水处理投资/(万元/a) Investment in sewage treatment	1145.45	1145.45	1431.82	1431.82
游客平均污水排放量/(L 人 ⁻¹ d ⁻¹) Average tourist wastewater discharge	43.2	43.2	32.4	32.4
游客年均增长率/% Annual tourists growth rate	24.71	24.71	18.53	18.53
游憩基础设施投资比/% Investment ratio of recreation infrastructure	0.84	1.05	0.84	0.84
游憩服务设施投资比/% Investment ratio of recreation service facility	1.5	1.88	1.5	1.88
新增道路面积/km ² Newly-added road area	3.31	4.14	2.48	3.31

原始情景以 2020 年为基期,参数设置以三江源国家公园各类规划、行政区统计数据及相关资料为参考;社会驱动模式、生态保护优先模式、协调发展模式的相关参数以原始情景中的参数为基准值,根据各方案设计调整所得

2.3.1 社会驱动模式

社会驱动模式指充分利用当地的社会经济条件,加大人口城镇及关键节点的游憩基础设施与配套服务设施在国家公园建设中的比例,拓展游憩活动利用空间,提升游憩设施容量和空间容量。在其他条件不变的前提下,提升三江源国家公园建设与管理投资中游憩基础设施、服务设施的比例,需要合理规划并增加道路建设。由图 5 和表 3 可看出,在社会驱动模式下,国家公园游憩服务能力得到较大提升,社会经济承载力快速增长,在 2035 年,该模式下社会经济承载力比原始情景提升 24.62%,资源空间承载力提升 0.27%。在社区驱动模式影响下,国家公园游憩承载力在 2020—2022 年间得到较大提升。但在 2022—2031 年间,该模式对国家公园游憩承载力的提升作用微弱;在 2031 年,该模式下游憩承载力比原始情景提升 0.11%,之后对游憩承载力无影响,仍存在游憩承载力超载的风险。这说明仅提高游憩设施建设能在短时间内提升国家公园游憩承载力,但长期来看无法实现游憩承载力的持续稳定提升。

表 3 2035 年不同情景模式下主要变量预测值
Table 3 Predicted values of major variables under different scenarios in 2035

变量 Variable	原始情景 Original scenario	社会驱动模式 Social-driven scenario	生态保护优先模式 Ecological protection priority scenario	协调发展模式 Coordinated development scenario
社会经济承载力/万人 Socio-economic carrying capacity	188.2	234.52	141.92	234.52
资源空间承载力/万人 Resource space carrying capacity	3977.67	3988.35	4059.25	4060.57
社会心理承载力/万人 Social-psychological carrying capacity	166.94	166.94	126.68	177.24
生态环境承载力/万人 Ecological environment carrying capacity	667.86	815.14	748.74	903.58
游憩承载力/万人 Recreation carrying capacity	166.94	166.94	126.68	177.24
年接待游客量/万人 Annual tourist reception	287.59	287.59	208.63	170.10
拥挤度 Congestion degree	0.046	0.048	0.034	0.027

2.3.2 生态保护优先模式

生态保护优先模式是指将国家公园生态环境保护和生物多样性保育放在优先位置,增强生态环境系统回路中的反馈效应,来实现生态保护子系统的优先发展。生态保护优先模式一方面加大水污染处理投资,降低游客污水排放量,改善污水治理;另一方面,适度保持或降低现有设施或道路建设,尽可能减少对国家公园生态空间的占用。设定此模式的污水处理投资由 1145.45 万元/a 增加为 1431.82 万元/a,对游客增长采取一定措施进行控制,年均游客增长率在原有基础上降低为 18.53%,同时采取相应措施减少游客污水排放量,减少道路开发和建设(表 2)。由图 5 和表 3 可知,在 2035 年,生态保护优先模式下生态环境承载力和资源空间承载力比原始情景分别提高 12.11%和 2.06%。与原始情景和社会驱动模式相比,生态保护优先模式的年均游客接待量降低,游客拥挤度降低,游憩承载力增速较平缓,同时,游憩超载的风险由原始情景和社会驱动模式的 2031 年延迟至 2033 年。生态保护优先模式对降低游憩活动的生态负面影响、降低游客拥挤起到了较好的效果,可以使游憩承载力实现更长时间的持续增长。

2.3.3 协调发展模式

协调发展模式是指在国家公园游憩利用开发过程中,同时注重社会经济、资源环境和社区协调发展,促进游憩承载力合理增长,使游客接待量处于游憩承载力范围值内,实现系统发展的整体最优。本文通过提升国家公园水污染处理能力、适度控制游客接待量、提升游憩设施投资力度,设计了三江源国家公园游憩承载力协调发展模式,相关参数设置见表 2。由图 5 和表 3 可知,在协调发展模式下,由于采取了治污能力提升措施和游憩空间优化,生态环境承载力和资源空间承载力缓慢上升,在 4 种模式中均为最高值,有利于降低游憩活动

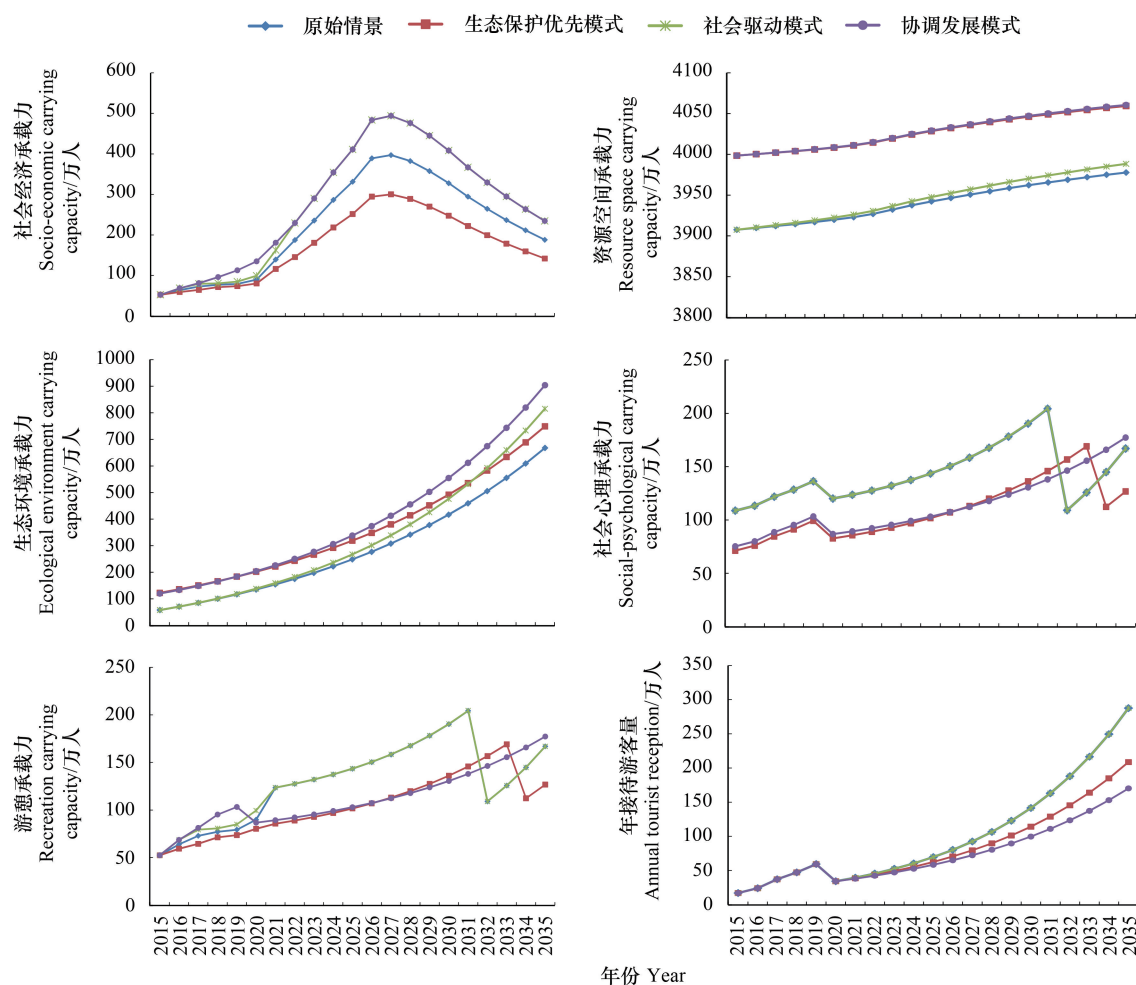


图5 不同情景模式下三江源国家公园游憩承载力主要变量的变化趋势

Fig.5 The change trend of the main variables of recreation carrying capacity in Sanjiangyuan National Park

对生态环境的负面影响。该模式下,2015—2031 年间社会心理承载力介于社会驱动模式与生态保护优先模式值之间;2032—2035 年则增速较快,大于上述两个情景模式的值。该模式下游客接待量增速放缓,2035 年游客接待量为 170.10 万人,游客拥挤度为 0.027,为 4 种模式中最低值,有利于为游客提供较好的游憩体验;三江源国家公园游憩承载力呈现平稳增长的趋势,在 2035 年达到 177.24 万人,此时,游客接待量达到游憩承载力的 95.9%,与原始情景相比,游憩承载力超载的风险由 2031 年延长至 2035 年以后。

2.3.4 四种模式比较分析

比较三江源国家公园游憩承载力系统 4 种模式发现,在原始情景下,游憩承载力前期受社会经济子系统制约,中期受生态环境子系统和社会心理子系统制约,后期受社会经济子系统和社会心理子系统制约,在 2031 年存在超载风险。从社会经济发展的角度看,在社会驱动模式下,通过加大游憩基础和服务设施的投入,能在短时间内快速提升游憩承载力,但难以实现可持续发展;从生态保护的角度看,生态保护优先模式大大降低了游憩利用对生态环境的负面影响,但较低的游憩管理投入无法满足游憩需求及社区发展诉求。可以发现,协调发展模式的效果最好,它在统筹生态保护和游憩投入的基础上,实现了游憩承载力的可持续提升,虽然游客接待量有所降低,但到 2035 年,游憩活动尚在承载力范围内,游客拥挤度大幅度降低,为国家公园制定适应性改进措施留有缓冲时间,最大程度保障了国家公园生态环境、游憩利用、社会经济的可持续发展。

3 讨论与结论

本文构建了三江源国家公园游憩承载力系统概念框架及系统动力学模型,并结合相关文献和三江源国家公园发展实际设置不同情景模式,模拟游憩承载力系统演化趋势并进行模式优选。得出如下结论:

国家公园游憩承载力由资源空间、生态环境、社会经济、社会心理 4 个承载力子系统组成,各个子系统之间通过一个或多个变量相互作用和关联,形成一个有机整体,驱动游憩承载力系统的发展演化。基于系统动力学模拟仿真软件 Vensim_PLE,通过科学设置关键变量参数,模拟三江源国家公园游憩承载力系统各变量的演化趋势。在对仿真模型进行检验的基础上,对三江源国家公园游憩承载力系统发展设置了原始情景、社会驱动模式、生态保护优先模式、协调发展模式,对游憩承载力未来发展的情景模式进行仿真。

不同情景模式对比表明,在不采取游憩管理措施优化的原始情景下,国家公园游客接待量平稳增长,但游憩承载力呈现先增后降的趋势。由于游客接待增速快于游憩承载力增速,将在 2031 年面临游憩承载力超载风险。社会驱动模式下游憩承载力比原始情景有小幅度提升,但 2031 年后游憩承载力并无提升,难以满足游憩开发需求,因此,仍需进一步优化。生态保护优先模式下从提高污染治理能力和适度控制游客规模进行调控,游憩承载力有所提升,并将游憩承载力超载风险由 2031 年延迟至 2033 年。协调发展模式下生态环境承载力和资源空间承载力缓慢上升,在四种模式中均为最高值,游憩承载力也达到最大值,与原始情景相比,游憩承载力超载的风险由 2031 年延长至 2035 年以后。

本文建立了三江源国家公园游憩承载力的评估框架,明确了资源空间承载力、生态环境承载力、社会经济承载力、社会心理承载力对国家公园游憩承载力变化的影响,为国家公园游憩动态规划与管理提供依据。国家公园游憩承载力评估系统的构建需要大量的数据和信息支持,以全面反映系统内部变量之间的反馈关系。由于数据获取的限制,本文对游憩承载力的子系统变量选取有待进一步拓展,在后续的研究中,有待根据国家公园的实际情况对模型进一步完善。

参考文献(References):

- [1] 张玉钧, 张海霞. 国家公园的游憩利用规制. 旅游学刊, 2019, 34(3): 5-7.
- [2] Valdivieso J C, Eagles P F J, Gil J C. Efficient management capacity evaluation of tourism in protected areas. *Journal of Environmental Planning & Management*, 2016, 58(9): 1-19.
- [3] Sayan S, Karag  zel O. Problems of outdoor recreation: the effect of Visitors' demographics on the perceptions of Termessos National Park, Turkey. *Environmental Management*, 2010, 45(6): 1257-1270.
- [4] Cox D T C, Gaston K J. Human-nature interactions and the consequences and drivers of provisioning wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2018, 373(1745): 20170092.
- [5] Chung M G, Dietz T, Liu J G. Global relationships between biodiversity and nature-based tourism in protected areas. *Ecosystem Services*, 2018, 34: 11-23.
- [6] Sohel M S I, Mukul S A, Burkhard B. Landscape's capacities to supply ecosystem services in Bangladesh: A mapping assessment for Lawachara National Park. *Ecosystem Services*, 2015, 12: 128-135.
- [7] Manning R. Visitor experience and resource protection: a framework for managing the carrying capacity of national parks. *Journal of Park and Recreation Administration*, 2001, 19(1): 93-108.
- [8] Eagles P F J, McCool S F, Haynes C D A. Sustainable Tourism in Protected Areas: Guidelines for Planning and Management. World Commission on Protected Areas (WCPA), Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 8. Cambridge: IUCN-The World Conservation Unit, 2002.
- [9] Ly T P, Nguyen T H H. Application of carrying capacity management in Vietnamese national parks. *Asia Pacific Journal of Tourism Research*, 2017, 22(10): 1005-1020.
- [10] 刘孟浩, 席建超, 陈思宏. 多类型保护地生态承载力核算模型及应用. *生态学报*, 2020, 40(14): 4794-4802.
- [11] Rathnayake R M W. How does 'crowding' affect visitor satisfaction at the Horton Plains National Park in Sri Lanka?. *Tourism Management Perspectives*, 2015, 16: 129-138.
- [12] Gonson C, Pelletier D, Alban F. Social carrying capacity assessment from questionnaire and counts survey: Insights for recreational settings management in coastal areas. *Marine Policy*, 2018, 98: 146-157.

- [13] Nahonyo C L, Sangu G. Ecological carrying capacity of Saanane Island proposed National Park, Mwanza, Tanzania. *Tanzania Journal of Science*, 2017, 43(1): 121-135.
- [14] Shelby B, Heberlein T A. *Carrying Capacity in Recreation Settings*. Corvallis, OR: Oregon State University Press, 1986.
- [15] Papageorgiou K, Brotherton I. A management planning framework based on ecological, perceptual and economic carrying capacity: The case study of Vikos-Aoos National Park, Greece. *Journal of Environmental Management*, 1999, 56(4): 271-284.
- [16] Prato T. Modeling carrying capacity for national parks. *Ecological Economics*, 2001, 39(3): 321-331.
- [17] Salerno F, Viviano G, Manfredi E C, Caroli P, Thakuri S, Tartari G. Multiple Carrying Capacities from a management-oriented perspective to operationalize sustainable tourism in protected areas. *Journal of Environmental Management*, 2013, 128: 116-125.
- [18] Cupul-Magaña A L, Rodríguez-Troncoso A P. Tourist carrying capacity at Islas Marietas National Park: An essential tool to protect the coral community. *Applied Geography*, 2017, 88: 15-23.
- [19] 崔凤军, 杨永慎. 泰山旅游环境承载力及其时空分异特征与利用强度研究. *地理研究*, 1997, 16(4): 47-55.
- [20] 贾秀红, 汪文涛, 胡云, 孙林山, 周欢, 乐祥明. 基于生态足迹成分法的太子山国家森林公园旅游承载力研究. *华中农业大学学报*, 2020, 39(4): 57-62.
- [21] 王嘉欣, 陈卓, 张玉钧. 基于 TOMM 理论应用创新的动态体验最优路线规划——以三江源国家公园为例. *北京林业大学学报: 社会科学版*, 2021, 20(2): 53-58.
- [22] Prato T. Fuzzy adaptive management of social and ecological carrying capacities for protected areas. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(8): 2551-2557.
- [23] 王奎峰, 李娜, 于学峰, 王岳林, 刘洋. 基于 P-S-R 概念模型的生态环境承载力评价指标体系研究——以山东半岛为例. *环境科学学报*, 2014, 34(8): 2133-2139.
- [24] 王友明. 基于生态足迹的区域旅游生态承载力研究——以苏南五市为例. *重庆第二师范学院学报*, 2013, 26(6): 43-46.
- [25] Wackernagel M, Galli A. An overview on ecological footprint and sustainable development: A chat with Mathis Wackernagel. *International Journal of Ecodynamics*, 2007, 2(1): 1-9.
- [26] 杨倩, 蒙吉军, 王晓东. 基于多维状态空间法的漓江上游生态旅游承载力空间评价及提升策略. *北京大学学报: 自然科学版*, 2015, 51(1): 131-140.
- [27] 曹冬萍. 基于系统动力学的生态旅游环境承载力仿真预测研究[D]. 南昌: 江西财经大学, 2016.
- [28] Wang J, Huang X J, Gong Z Q, Cao K Y. Dynamic assessment of tourism carrying capacity and its impacts on tourism economic growth in urban tourism destinations in China. *Journal of Destination Marketing & Management*, 2020, 15: 100383.
- [29] 李晖, 王巍静, 张裕, 华翊伶, 李亚东. 基于状态空间模型的“一带一路”遗产廊道生态旅游承载力研究. *中国园林*, 2020, 36(5): 18-23.
- [30] 孙根年. *旅游环境学*. 西安: 西安地图出版社, 1992.
- [31] 税清双. 山岳风景区旅游环境承载力测算模型研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2006.
- [32] 刘艳秋. 山水型风景区旅游环境承载力研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007.
- [33] 刘志强, 陈渊, 金剑, 潘相文. 基于系统动力学的农业资源保障及其政策模拟: 以黑龙江省为例. *系统工程理论与实践*, 2010, 30(9): 1586-1592.
- [34] 翁异静, 邓群钊, 杜磊, 刘晓玉, 周敏. 基于系统仿真的提升赣江流域水生态承载力的方案设计. *环境科学学报*, 2015, 35(10): 3353-3366.