

DOI: 10.5846/stxb201911122392

黄颖利, 乔振华, 邹为涛, 秦会艳, 张祥华. 基于 ISM 的国家森林公园生态福利供给系统评价指标体系研究. 生态学报, 2021, 41(10): 4090-4098.

Huang Y L, Qiao Z H, Zou W T, Qin H Y, Zhang X H. Evaluation index system of ecological welfare supply of National Forest Park based on Interpretation Structure Model. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(10): 4090-4098.

基于 ISM 的国家森林公园生态福利供给系统评价指标体系研究

黄颖利¹, 乔振华¹, 邹为涛², 秦会艳^{1,*}, 张祥华¹

¹ 东北林业大学经济管理学院, 哈尔滨 150040

² 东北林业大学信息与计算机工程学院, 哈尔滨 150040

摘要:国家森林公园作为生态福利供给的载体之一,具有带动经济发展、提供文化教育以及游憩、康养的复合功能,是平衡经济社会发展与生态保护,满足人民日益增长的美好生活需要的重要途径。从生态福利的概念出发,结合系统理论,以黑龙江省为例构建了国家森林公园生态福利供给评价指标体系,并利用解释结构模型(Interpretative Structural Modeling, ISM)确定了生态福利供给系统内部要素的递阶结构,从 ISM 结果得出以下结论:(1)国家森林公园生态福利供给系统表层影响因素主要包括身体健康(S01),心理健康(S02),地方感(S04)等 8 个内部要素;表层影响因素直接关系森林公园生态福利的供给。(2)国家森林公园生态福利供给系统中层影响因素包括 21 个内部因素;中层影响因素可以直接作用于表层因素,对其中可人为控制的因素进行干预是提高生态福利供给的重要路径之一。(3)国家森林公园生态福利供给系统深层影响因素包括游步道总数(S09),森林公园植物多样性(S14),林业相关科研和教育的投入(S16),环境建设与保护投入(S27),当年植树造林面积(S30)五个内部因素;深层影响因素具有多途径影响性和可控性,对其进行规划是国家森林公园提供高质量生态福利的主要手段。

关键词:生态福利;系统理论;解释结构模型;评价指标体系;国家森林公园

Evaluation index system of ecological welfare supply of National Forest Park based on Interpretation Structure Model

HUANG Yingli¹, QIAO Zhenhua¹, ZOU Weitao², QIN Huiyan^{1,*}, ZHANG Xianghua¹

¹ School of Economics and Management, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

² College of Information and Computer Engineering, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: The National Forest Park is one of the carriers of ecological welfare supply and an important way to balance social development and ecological protection, meet the people's growing needs for a better life. Combining with the system theory and taking Heilongjiang Province as an example, this paper constructs the ecological welfare supply system of the national forest park and sets up the hierarchical structure of the internal elements of the ecological welfare supply system by using the Interpretation Structure Model (ISM). The following conclusions are drawn: (1) The surface factor layer of the ecological welfare supply system contains 8 internal factors, which are directly related to the ecological welfare supply. (2) The middle factor level includes 21 internal factors, which can directly affect the surface layer and is one of the important paths to improve the ecological welfare supply. (3) The deep factor level composes of five internal factors, which are controllable and multipath influencing factors and are the main paths to improve the ecological welfare supply of the national forest park.

基金项目:国家自然科学基金(31700562)

收稿日期:2019-11-12; 网络出版日期:2021-03-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huiyanqin@hotmail.com

Key Words: ecological welfare; system theory; Interpretative Structural Modeling; evaluation index system; the national forest park

随着 2017 年《建立国家公园体制总体方案》以及 2019 年《关于建立以国家公园为主体的自然保护地体系的指导意见》两份文件的发布,我国自然保护地体系建设进入统一规范高效的新模式。国家森林公园作为自然保护地体系的重要组成部分之一,是指以保护自然为主,同时具有生态、观赏、文化和科学价值,可持续利用的区域,是生态福利供给的主要载体之一。建立和开放国家森林公园是平衡经济社会发展和生态保护,满足我国人民日益增长的美好生活需要的重要途径。

自 1997 年 Costanza^[1] 对全球生态系统服务与自然资本价值的评估以及 2005 年千年生态系统评估 (Millennium Assessment, MA)^[2] 发表之后,生态环境指标纳入福利评价系统,即生态系统可以为人类提供直接或间接的收益,包括文化服务、供给服务、调节服务以及支持服务^[3-5]。随着研究深入,“生态福利”发展成为了代表生态环境与人类福利水平关系的独立概念,我国学者邓禾、刘茜等^[6-7] 认为生态福利是政府向居民提供的一种新型社会公共福利,是生态化的社会福利。基于现有理论,本文认为“生态福利”反映了生态环境对人类福利水平的作用,因此将其定义为良好生态环境带给人和经济社会的一切物质及非物质、直接及间接的惠益。

现阶段,我国人民对生态福利的需求不断增长^[6-7], 因此对生态福利供给提出了较高的要求。包括国家森林公园在内的良好生态环境肩负着提供高水平生态福利的功能,学者们已经从生态^[8-9]、游憩康养^[10-12]、文化^[13-15]、资金应用^[16]、经济效益^[17-18] 等方面对国家森林公园进行了广泛研究,为国家森林公园的建设和发展提供了可借鉴的研究成果。国家森林公园已经与人类经济社会共同形成互有影响、互有反馈的系统,需要对国家森林公园的综合效益进行系统的研究。生态福利的供给是国家森林公园综合效益或功能的体现,因此系统研究国家森林公园的生态福利供给具有科学意义和实践价值。黑龙江省森林覆被率居全国前列,原始生态群落等自然资源非常丰富,肩负着保障国家生态安全的重任,具有提供高质量生态福利的优势。本文统合生态福利与国家森林公园的研究,利用系统学理论以黑龙江省为例构建了微系统、中系统、外系统为主的国家森林公园生态福利供给系统,并采用解释结构模型 (Interpretative Structural Modeling, 简称 ISM) 对该指标体系的层次结构进行了分析。该指标体系的构建,是研究国家森林公园生态福利供给的基础,以期为我国国家森林公园生态福利供给的研究提供坚实的基础和科学的依据,并为我国自然保护地体系的建设提供思路。

1 研究方法

1.1 理论框架

系统是相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成、具有特定功能的有机整体^[19], 记为:

$$S = \langle E, R \rangle \quad (1)$$

式中, E 为系统 S 中所有元素构成的集合, R 为系统 S 中所有关系的集合^[20]。国家森林公园是一个开放的复杂系统,与外界有着信息、物质、能量的交换。系统存在一定的结构层次,每一层次称为子系统。个人(微系统)指与国家森林公园有联系的个人,可以是国家森林公园的工作人员也可以是来此游憩休闲的居民;中系统是影响个人的因素如就业、收入、健康以及文化;外系统是决定中系统的环境,即制度环境、物质环境、生态环境、文化环境;宏观上,物质、信息和能量是包含一切的宏系统。系统内部一切元素(E)和关系(S)都是共生的,关联复杂密切,相互促进或制约,共同构成整体并进行运作。内在元素和关系与外界环境在经历物质、能量、信息的交换之后,从无序混乱走向有序,保持适应状态并达到最适合发展的理想状态(如图 1)。

1.2 解释结构模型

解释结构模型 (Interpretative Structural Modeling, 简称 ISM) 应用十分广泛,胡俊锋等^[21] 利用 ISM 对区域综合减灾能力评价指标体系进行分析,胡乃娟^[22] 采用 Logistic-ISM 分析了农户在稻麦轮作农田施用有机肥的

影响因素及其层次结构。ISM 原理是通过数学方法计算复杂系统中各要素之间的逻辑关系,创建由节点和有向边组成的结构模型,描述系统内部的递阶层次和因果关系^[21],把模糊杂乱的要素关系转化为通透直观的具有良好结构关系的模型。鉴于解释结构模型广泛适用性和分析内部要素的有效性,本文采用 ISM 分析国家森林公园生态福利供给系统内部要素以理解该系统的内部结构性。具体分析过程如下:一般的,系统 S 共有 n 个要素:

$$S = \{e_i | i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

邻接矩阵 A 用于表示系统元素两两之间的影响关系,其中, $a_{ij} = \begin{cases} 1, e_i \text{ 对 } e_j \text{ 有直接影响} \\ 0, e_i \text{ 对 } e_j \text{ 没有直接影响} \end{cases} (i = 1, 2, \dots, n)$ 。

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

求解可达矩阵: e_i 与 e_j 之间存在传递的关系,若在有向图上存在由节点 i 到节点 j 的有向通路时,则认为 e_j 到 e_i 是可达的,定义:

$$m_{ij} = \begin{cases} 1, j \text{ 是 } i \text{ 可达的} \\ 0, j \text{ 是 } i \text{ 不可达的} \end{cases} \quad (4)$$

可达矩阵可由邻接矩阵加上单位矩阵进行逻辑运算得出,公式为: $M = (A + I) \cup (A + I)^2 \cup \cdots \cup (A + I)^n$ 且 M 满足 $M = A^{2^r} = A^{2^{(r+1)}} \neq A^{2^{(r-1)}}$, $r \leq n$ 。

$$M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \cdots & m_{1n} \\ m_{21} & m_{22} & \cdots & m_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n1} & m_{n2} & \cdots & m_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

根据可达矩阵给出先行集和可达集:

$$\text{先行集: } A(e_i) = \{e_j | e_j \in S, m_{ji} = 1\} \quad (6)$$

$$\text{可达集: } R(e_i) = \{e_j | e_j \in S, m_{ij} = 1\} \quad (7)$$

$$\text{进一步的,给出底层要素: } B = \{e_i | e_i \in S \text{ 且 } R(e_i) \cap A(e_i) = A(e_i)\} \quad (8)$$

如果 e_i 是底层元素,则先行集 $A(e_i)$ 包含 e_i 它本身及与有强连接的要素;可达集 $R(e_i)$ 包含它本身,与 e_i 有强连接的要素和可从 e_i 到达的要素。如果存在要素 e_j 在 e_i 的下层, e_j 只能包含在 $A(e_i)$ 中而不能包含在 $A(e_i) \cap R(e_i)$ 中,即 $A(e_i) \neq A(e_i) \cap R(e_i)$ 。

2 国家森林公园生态福利供给系统构建——以黑龙江省为例

本文结合图 1 以黑龙江省为例建立国家森林公园生态福利供给系统指标体系,因为宏系统是代表物质、能量以及信息交汇的虚系统,本文指标体系设计仅取微系统 (Micro system, S1)、中系统 (Medium System, S2) 和外系统 (External systems, S3) 三个子系统,如表 1 所示。

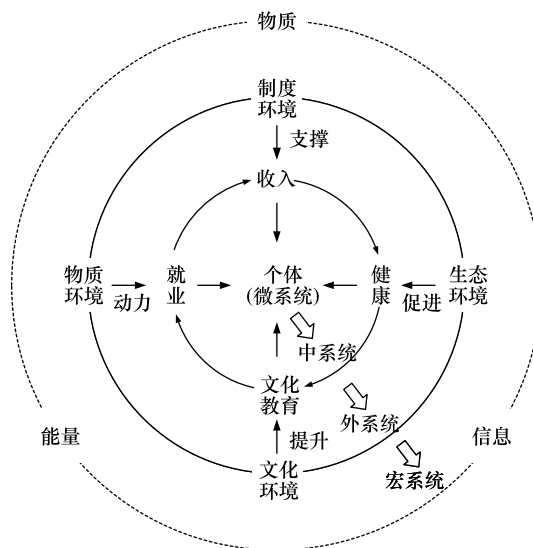


图 1 国家森林公园复合系统示意图

Fig.1 Framework of composite system of national forest park

表 1 国家森林公园生态福利供给系统指标体系

Table 1 Evaluation index system of ecological welfare provided by the national forest park

子系统 Subsystem	序号 Number	指标 Index	二级指标 Second index	单位 Unit
微系统(S1) Micro system	S01	健康	身体健康	—
	S02		心理健康	—
	S03	文化教育	社会关系	—
	S04		地方感	—
	S05		源于森林的灵感所引发的文化活动或文艺作品数量	件
	S06	个人收入	国家森林公园职工工资	元
中系统(S2) Medium system	S07	就业	国家森林公园提供岗位	个
	S08	健康	恢复性自然景观	—
	S09		游步道总数	km
	S10		平均负离子浓度	个/cm ³
	S11	教育	人均公园绿地面积	hm ²
	S12		森林知识讲解员	人
	S13		环境教育基地	个
	S14		森林公园植物多样性	种
	S15		森林所有者、林业从业者平均参与培训的天数	天
	S16		林业相关科研和教育的投入	万元
	S17	收入	森林公园旅游收入	万元
	S18		带动其他产业产值	万元
	S19		木材产值收入	万元
外系统(S3) External system	S20	就业	森林公园带动就业人数	人
	S21	物质环境	吸引投资情况	万元
	S22		基础设施建设	—
	S23	文化环境	公众对森林知识的了解程度	个
	S24		森林文化遗址资源	个
	S25		森林文化遗址影响力	%
	S26		森林文化价值保护投资	万元
	S27	制度环境	环境建设与保护投入	万元
	S28		环境污染治理投资占 GDP 比重	%
	S29		水土流失治理面积	hm ²
	S30	生态环境	当年植树造林面积	hm ²
	S31		净化水质功能	—
	S32		固碳释氧功能	—
	S33		固土保肥功能	—
	S34		生物多样性保护功能	—

2.1 微系统指标

微系统代表了与国家森林公园有联系的个人,国家森林公园通过健康、文化教育、收入以及就业为个人提供生态福利。

(1)健康:健康包括身体健康与心理健康。人在负氧离子丰富的森林环境中活动时会产生康养疗愈的效果^[23]。其次,森林中的视觉、听觉以及触觉感受给人以放松舒缓的感受,有利于缓解精神或心理上的紧绷和不适感,达到心理保健的作用^[24]。

(2)文化教育:人们可以通过娱乐消遣、精神感悟、美学欣赏和提升认知等方式获得非物质惠益,即森林文化服务(ecosystem cultural services,ECS)^[14]。森林旅游等活动会加强人与土地以及人与人之间的纽带关系^[14],即“社会关系”和“地方感”^[15]。

(3) 就业:建设和开放国家森林公园会创造大量的就业岗位,提高当地的就业率。参考国家统计局统计年鉴,2016 年黑龙江省森林公园从业职工人员 7537 人。

(4) 收入:指的是国家森林公园的就业人员的收入情况,包括各个岗位职工的薪酬以及单位福利情况。

2.2 中系统指标

中系统代表的是能直接影响该区域居民以及游客的各方面外在因素。

(1) 健康:公园中能够影响居民及游客身体、心理健康的因素,包括能够帮助人们得到消除疲劳和压力等消极情绪的恢复性体验的景观^[11]、游步道和人均绿地面积以及具有杀菌和预防疾病功能的负离子^[23]。

(2) 教育:国家森林公园在自然保护的前提下,应该为民众提供森林文化科普教育服务的机会^[2]。影响国家森林公园提供科普教育的因素包括森林知识讲解员、园内植物多样性、环境教育基地以及林业相关科研和教育投入水平^[13]。

(3) 就业:指国家森林公园在带动周边产业发展时为该区域居民带来的就业机会。

(4) 收入:指该区域因国家森林公园产生的收入,包括国家森林公园旅游收入等直接收入,以及带动其他产业产值等间接收益^[25]。2016 年黑龙江省森林公园直接带动其他产业产值 410332 万元。

2.3 外系统指标

外系统是影响国家森林公园提供生态福利的整体环境。

(1) 物质环境:指国家森林公园提供生态福利的物质条件,包括资金和设备。吸引投资情况包括国投和引资^[16],基础设施建设则包括床位总数、车船总数以及交通通达度^[26],2016 年黑龙江省国家森林公园共有车船总数 3339 台/艘,床位总数 72574 张。

(2) 文化环境:指社会对森林文化和知识的认同度。公众对森林知识的了解程度、森林文化遗址资源、森林文化遗址影响力以及森林文化价值保护投资是具有代表性的指标^[13],分别从民众、资源、社会以及政府等方面展现了森林文化的社会影响力,是当下森林文化环境的重要体现。

(3) 制度环境:指该区域辅助国家森林公园提供生态福利的制度支持。政府提供的制度环境是国家森林公园生态福利供给的重要影响因素。城市环境的好坏影响着国家森林公园的环境,因此环境的建设与保护投入、治理环境污染投入以及水土流失治理情况都是关系国家森林公园生态福利供给能力的重要因素。

(4) 生态环境:指国家森林公园整体的生态状况,生态环境是一切生态福利的基础。生态效益的提高主要通过扩大森林的面积来实现,其次净化水质、固碳释氧、固土保肥以及保护生物多样性是基本的森林生态系统服务功能^[2,27],保证了良好的生态环境。

3 模型应用及结果分析

3.1 解释结构模型(ISM)应用

将 ISM 应用于以黑龙江省为例建立的国家森林公园生态福利供给系统中。在判断矩阵 A 时参考相关文献,如:1、在判断影响(S01)身体健康因素时,森林中大量的负离子会对健康产生积极的作用^[23],而人均公园绿地面积是体现这一康养环境质量的要素,其次游步道在国家森林公园中发挥生活健身和日常休闲的基本功能^[28]。结合本组内专家的意见确定影响身体健康的因素包括:S09 游步道总数、S10 平均负离子浓度、S11 人均公园绿地面积和 S32 固碳释氧功能。2、在判断 S10 负离子浓度的影响因素时,通过查阅文献,影响负离子浓度的因素包括树种类型(负离子浓度从高到低排序为:阔叶林>针阔叶混交林>针叶林)、天气情况(负离子浓度雷雨天>晴天>阴天>雾霾天)以及人类活动(空气负离子浓度与人流量车流量均呈负相关)等^[29],另外与气温、氧气、湿度、降水量等气象因子也存在一定相关性^[30],确定本系统中影响负离子浓度的因素有:S11 人均公园绿地面积、S14 森林公园植物多样性、S28 环境污染治理投资占 GDP 比重、S30 当年植树造林面积、S31 净化水质功能、S32 固碳释氧功能。

最终通过查阅文献以及组内专家多轮讨论,确定了系统中各要素之间的关系,建立邻接矩阵 A 。由于指

标过多,矩阵 A 庞大,以指向图的形式呈现如图 2。

3.2 模型结果

根据 1.3 中 ISM 的求解公式,对可达矩阵进行级位划分,可将影响路径分为 5 个层级:一级因素: $L_1 = \{S01, S02, S04, S06, S20, S23, S25, S29\}$;二级因素为: $L_2 = \{S03, S05, S07, S08, S10, S12, S19, S24, S26, S33, S34\}$;三级因素: $L_3 = \{S11, S13, S15, S17, S18, S21, S22, S28, S31, S32\}$;四级因素: $L_4 = \{S09, S14, S16, S30\}$;五级因素: $L_5 = \{S27\}$ 。如表 2 所示:

表 2 可达集、先行集、交集、层级划分
Table 2 Reachable set, Antecedence set, Intersection, Dividing of the Hierarchy

序号 Number	可达级 $R(e_i)$	先行级 $A(e_i)$	$R(e_i) \cap A(e_i)$	层级 Level
S01	S01	S01, S09, S10, S11, S14, S27, S28, S30, S31, S32	S01	L1
S02	S02	S02, S08, S09	S02	L1
S03	S03, S04	S03	S03	L2
S04	S04	S03, S04, S08, S14, S24, S27, S30, S34	S04	L1
S05	S05, S23, S25	S05, S13	S05	L2
S06	S06	S06, S07, S09, S17, S18, S19, S21, S22	S06	L1
S07	S06, S07	S07, S09, S17, S18, S21, S22	S07	L2
S08	S02, S04, S08	S08	S08	L2
S09	S01, S02, S06, S07, S09, S17, S18, S20, S21, S22, S23, S25	S09	S09	L2
S10	S01, S10	S10, S11, S14, S27, S28, S30, S31, S32	S10	L2
S11	S01, S10, S11	S11	S11	L3
S12	S12, S23, S25	S12, S15, S16	S12	L2
S13	S05, S013, S23, S25	S13	S13	L3
S14	S01, S04, S10, S14, S23, S25, S32	S14, S27	S14	L3
S15	S12, S15, S23, S25,	S15, S16	S15	L3
S16	S12, S15, S16, S23, S25	S16	S16	L4
S17	S06, S07, S17, S18, S20, S21, S22	S09, S17, S18, S21, S22	S17, S18, S21, S22	L3
S18	S06, S07, S17, S18, S20, S21, S22	S09, S17, S18, S21, S22	S17, S18, S21, S22	L2
S19	S06, S19	S19	S19	L2
S20	S20	S09, S17, S18, S20, S21, S22	S20	L1
S21	S06, S07, S17, S18, S20, S21, S22	S09, S17, S18, S21, S22	S17, S18, S21, S22	L2
S22	S06, S07, S17, S18, S20, S21, S22	S09, S17, S18, S21, S22	S17, S18, S21, S22	L2
S23	S23, S25	S05, S09, S12, S13, S14, S15, S16, S23, S24, S25, S26, S27	S23, S25	L1
S24	S04, S23, S24, S25	S24	S24	L3
S25	S23, S25	S05, S09, S12, S13, S14, S15, S16, S23, S24, S25, S26, S27	S23, S25	L1
S26	S23, S25, S26	S26	S26	L2
S27	S01, S04, S10, S14, S23, S25, S27, S28, S32	S27	S27	L5
S28	S10, S28	S27, S28	S28	L3
S29	S29	S29, S30, S33	S29	L1
S30	S01, S02, S04, S10, S29, S30, S31, S32, S33, S34	S30	S30	L4
S31	S01, S10, S31	S30, S31	S31	L3
S32	S01, S10, S32	S14, S27, S30, S32	S32	L3
S33	S29, S33	S30, S33	S33	L2
S34	S04, S34	S30, S34	S34	L2

黑龙江省国家森林公园生态福利供给系统内部要素横向主观划分为微系统、中系统以及外系统 3 个子系统,纵向由 ISM 结果划分为五级递阶结构,本文根据要素的横纵向影响关系将五个层级再次划分为表层因

素、中层因素以及深层因素。其中,表层因素指一级因素 $\{S01, S02, S04, S06, S20, S23, S25, S29\}$,中层因素包括二级因素和三级因素,即 $\{S03, S05, S07, S08, S10, S11, S12, S13, S15, S17, S18, S19, S21, S22, S24, S26, S28, S31, S32, S33, S34\}$,深层原因包括四级因素和五级因素,即 $\{S09, S14, S16, S27, S30\}$ 。根据该层次划分,将矩阵 A 以指向图形式呈现如图 2,表层要素、中层要素、深层要素节点(○)面积依次减小。

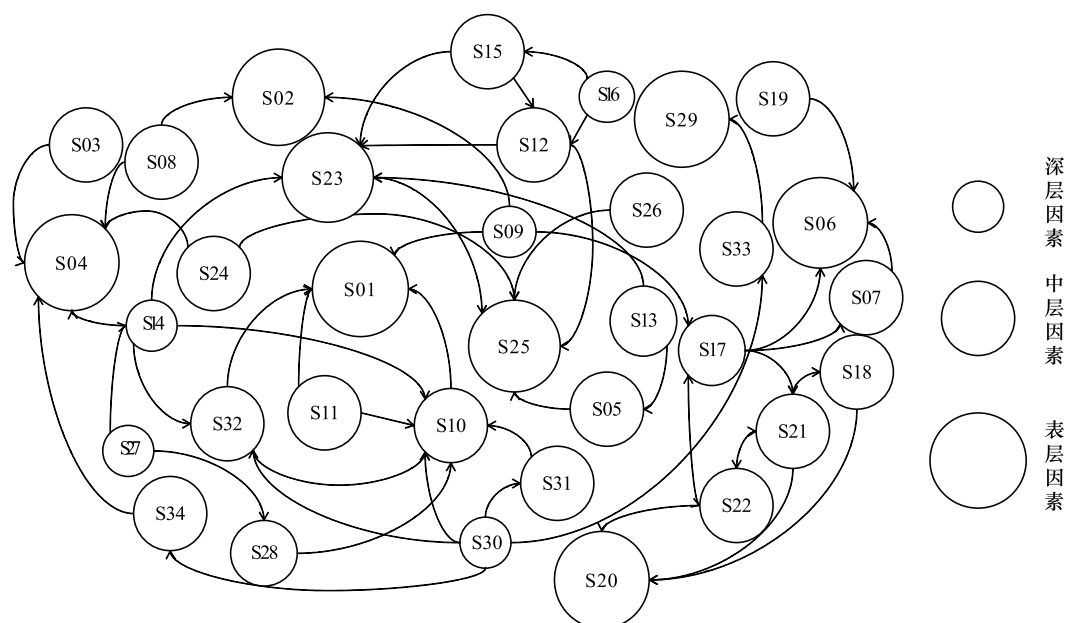


图 2 国家森林公园生态福利供给系统内部因素影响指向图

Fig.2 The Direction of Internal Factors of Ecological Welfare Supply System of National Forest Park

3.3 结果分析

利用解释结构模型(ISM)对国家森林公园生态福利供给系统进行层次结构的分析,主要得出如下结论:

3.3.1 表层影响因素分析

国家森林公园生态福利供给系统表层因素主要包括 8 个内部要素,是影响国家森林公园生态福利供给的直接原因。S01 身体健康和 S02 心理健康直接表征了居民及游客的身心健康状态;S04 地方感表征国家森林公园满足人类与土地情感联系的因素,可以直接被居民或游客感受;S06 国家森林公园职工工资和 S20 森林公园带动就业人数两个指标直接反映了国家森林公园在提供该区域居民稳定收入来源的贡献;S23 公众对森林知识的了解程度和 S25 森林文化遗址影响力反映了国家森林公园通过文化教育实现生态福利供给;S29 水土流失治理面积则衡量了该区域整体生态环境的因素。8 个表层影响因素均可以直接为居民或游客享受或感知,与福利供给有直接的联系。

3.3.2 中层影响因素分析

国家森林公园生态福利供给中层因素主要包括:微系统 $\{S03$ 社会关系, $S05$ 源于森林的灵感所引发的文化活动或文艺作品数量, $S07$ 国家森林公园提供岗位 $\}$,中系统 $\{S08$ 恢复性自然景观, $S10$ 平均负离子浓度, $S11$ 人均公园绿地面积, $S12$ 森林知识讲解员, $S13$ 环境教育基地, $S15$ 森林所有者、林业从业者平均参与培训的天数, $S17$ 森林公园旅游收入, $S18$ 带动其他产业产值, $S19$ 木材产值收入 $\}$,外系统 $\{S21$ 吸引投资情况, $S22$ 基础设施建设, $S24$ 森林文化遗址资源, $S26$ 森林文化价值保护投资, $S28$ 环境污染治理投资占 GDP 比重, $S31$ 净化水质功能, $S32$ 固碳释氧功能, $S33$ 固土保肥功能, $S34$ 生物多样性保护功能 $\}$,共 21 个内部因素。中层是“承下递上”的中间层次,该层次的内部因素受深层因素的影响,同时向上递进影响表层因素。结合图 2 可以看到影响路径在中层因素交集汇聚,由深层向表层传递。

但是中层因素分为两类,一类是人力不易控制因素,如 S10 负离子浓度、S31 净化水质功能, S32 固碳释氧

功能,S33 固土保肥功能,S34 生物多样性保护功能等,因此需要对深层因素进行控制,达到控制中层影响因素的效果。另一类是可以人为直接控制的因素,如 S07 国家森林公园提供岗位、S11 人均公园绿地面积、S12 森林知识讲解员等。中层作为可直接影响表层因素的存在,对可控制因素进行直接干预是提高生态福利供给的重要路径之一,如:增加对森林所有者、林业从业者的培训(S15),提高职业素养以及职工森林文化知识的储备,进而提高(S23)公众对森林知识的了解程度(微系统),实现生态福利供给。

3.3.3 深层影响因素分析

国家森林公园生态福利供给的深层因素包括:中系统{S09 游步道总数,S14 森林公园植物多样性,S16 林业相关科研和教育的投入},外系统{S27 环境建设与保护投入,S30 当年植树造林面积}。深层因素是根本影响因素,通过诸多路径对国家森林公园生态福利供给产生重要作用,同时均是人为可控的。如增加 S14 森林公园内部植物多样性,既可以通过植物的多样和独特性增强游客和居民与土地的情感联系,对表层因素 S04 地方感产生直接影响;又可以通过植物多样性产生大量负离子,对中层因素 S10 负离子浓度产生影响,进而影响表层因素 S01 身体健康,从文化和健康两个方面向游客及居民提供生态福利。路径如下:

直接影响路径:S14 森林公园内部植物多样性(深层因素)→S04 地方感(表层因素)

间接影响路径:S14 森林公园内部植物多样性(深层因素)→S10 负离子浓度(中层因素)→S01 身体健康(表层因素)

因此,鉴于深层因素的可控制性以及多路径影响性,可以通过对深层因素的规划和建设提供高质量生态福利,满足人们对生态产品多方位的需求。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文针对森林生态福利供给和国家森林公园综合效益的研究空白,有效结合系统学理论,以黑龙江省为例构建了国家森林公园生态福利供给系统,以期丰富现有理论研究,并为我国自然保护事业提供研究基础和建设思路。研究得出:(1)国家森林公园生态福利供给表层影响因素主要包括身体健康(S01),心理健康(S02),地方感(S04)等8个内部要素;国家森林公园生态福利供给中层影响因素包括21个内部因素;深层影响因素包括游步道总数(S09),森林公园植物多样性(S14),林业相关科研和教育的投入(S16),环境建设与保护投入(S27),当年植树造林面积(S30)五个内部因素。(2)表层影响因素可以直接为民众所享受或感知,是影响森林公园生态福利的直接原因。(3)中层影响因素可以直接作用于表层因素,对其中可人为控制的因素进行干预是提高生态福利供给的重要路径之一。(4)深层影响因素可通过中层影响因素作用于表层,亦有部分可以直接作用于表层,具有多途径影响性和可控性,对其进行规划是国家森林公园提供高质量生态福利的主要手段。

4.2 讨论

国家森林公园是一个开放的复杂系统,与人类经济社会通过物质、能量与信息地交换形成互有影响、互相反馈的大系统,将系统学理论应用于国家森林公园生态福利供给研究中,提供了具有示范性和可参考的分析方法。此外解释结构模型(ISM)能够很好的体现国家森林公园生态福利供给系统内部要素之间的作用关系,通透直观的展示出福利供给的影响路径。本文作为对国家森林公园生态福利供给的有益初步探索,在参考国内外相关文献的基础上,尽可能全面的覆盖生态福利供给指标,为国家森林公园生态福利供给提供了框架性的研究依据。生态福利的供给与需求在地域上是否相匹配,在对国家森林公园在微系统、中系统以及外系统的生态福利供给能力的实证研究时如何处理各个指标,三个系统的生态福利供给是否存在协同效应等问题都有待后续研究。

参考文献(References):

- [1] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Van

- Den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Wetlands and Water Synthesis*. Washington DC: World Resources Institute, 2005.
- [3] Wilkie D A, Morelli G A, Demmer J, Starkey M, Telfer P, Steil M. Parks and people: assessing the human welfare effects of establishing protected areas for biodiversity conservation. *Conservation Biology*, 2006, 20(1): 247-249.
- [4] Wu J G. Landscape sustainability science: ecosystem services and human well-being in changing landscapes. *Landscape Ecology*, 2013, 28(6): 999-1023.
- [5] Jordan S J, Hayes S E, Yoskowitz D, Smith L M, Summers J K, Russell M, Benson W H. Accounting for natural resources and environmental sustainability: linking ecosystem services to human well-being. *Environmental Science & Technology*, 2010, 44(5): 1530-1536.
- [6] 邓禾, 蒋杉秋. 生态福利制度探索. *重庆大学学报: 社会科学版*, 2014, 20(1): 126-130.
- [7] 刘茜. 论我国生态福利供给制度的完善. *广西社会科学*, 2018, (5): 158-162.
- [8] 于法展, 张忠启, 陈龙乾, 沈正平. 江西庐山自然保护区主要森林植被水土保持功能评价. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(4): 578-584.
- [9] 陈丽军, 赵希勇, 苏金豹, 万志芳. 中国森林公园旅游发展水平与生态承载力关系分析. *世界林业研究*, 2019, 32(3): 106-111.
- [10] 张彩红, 薛伟, 辛颖, 高玉娟. 基于层次分析法的贵州玉舍国家森林公园休养地适宜度评价. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 2020, 44(2): 215-219.
- [11] 刘群阅, 陈烨, 张薇, 张逸君, 黄启堂, 兰思仁. 游憩者环境偏好、恢复性评价与健康效益评估关系研究——以福州国家森林公园为例. *资源科学*, 2018, 40(2): 381-391.
- [12] 黄杰龙, 王立群, 陈秋华. 基于资源比较优势的森林公园旅游增长方式合理性研究. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 261-273.
- [13] 朱霖, 李岚, 李智勇, 樊宝敏, 张德成. 国外森林文化价值评价指标研究现状及分析. *世界林业研究*, 2015, 28(5): 92-96.
- [14] 樊宝敏, 李智勇, 张德成, 魏玲玲, 谢和生. 基于人林共生时间的森林文化价值评估. *生态学报*, 2019, 39(2): 692-699.
- [15] 李凯, 沈雯, 黄宗胜. 城市绿色空间生态系统文化服务绩效评价——以贵阳市黔灵山公园为例. *城市问题*, 2019, (3): 44-50.
- [16] 丁振民, 黄秀娟. 资本投入对中国森林公园旅游效率的影响研究. *资源科学*, 2016, 38(7): 1363-1372.
- [17] 史俊刚, 谭益民, 权书文. 发展森林旅游业对林区居民经济的影响研究——以湖南省为例. *中南林业科技大学学报*, 2013, 33(10): 158-162.
- [18] Job H. Estimating the regional economic impact of tourism to national parks: two case studies from Germany. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 2008, 17(S1): 134-142.
- [19] 郑新华, 曲晓东. 钱学森系统工程思想发展历程. *科技导报*, 2018, 36(20): 6-9.
- [20] 钱学森. 一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论. *城市发展研究*, 2005, 12(5): 1-8.
- [21] 胡俊锋, 杨佩国, 吕爱锋, 张宝军, 李仪. 基于 ISM 的区域综合减灾能力评价指标体系研究. *灾害学*, 2014, 29(1): 75-80.
- [22] 胡乃娟, 孙晓玲, 许雅婷, 周子阳, 朱利群. 基于 Logistic-ISM 模型的农户有机肥施用行为影响因素及层次结构分解. *资源科学*, 2019, 41(6): 1120-1130.
- [23] 赵庆, 钱万惠, 唐洪辉, 杨清, 严俊. 广东省云勇森林公园 6 种林分保健功能差异比较. *浙江农林大学学报*, 2018, 35(4): 750-756.
- [24] 宋阳, 王成, 段文军, 郝泽周, 徐心慧, 王子研, 韩丹, 徐珊珊, 杜倩, 王涵. 基于动物行为表现的四种森林群落环境的康养效果. *生态学杂志*, 2018, 37(12): 3556-3565.
- [25] Mayer M. Can nature-based tourism benefits compensate for the costs of national parks? A study of the Bavarian Forest National Park, Germany. *Journal of Sustainable Tourism*, 2014, 22(4): 561-583.
- [26] 黄杰龙, 陈秋华, 幸绣程, 王立群. 中国省域森林公园旅游产业竞争力的时空演化特征及影响因素. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(10): 2305-2315.
- [27] Ninan K N, Inoue M. Valuing forest ecosystem services: Case study of a forest reserve in Japan. *Ecosystem Services*, 2013, 5: 78-87.
- [28] 王孟莹. 基于康养旅游的黑龙省森林公园步道景观优化策略研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019: 99-99.
- [29] 张勇, 陈兰英, 刘婷, 肖娟. 峨眉山景区负氧离子浓度变化特征及预测模型研究. *气象与环境学报*, 2018, 34(2): 61-68.
- [30] 冯鹏飞, 于新文, 张旭. 北京地区不同植被类型空气负离子浓度及其影响因素分析. *生态环境学报*, 2015, 24(5): 818-824.