

# 神农架林区生态系统健康及发展协调性综合评价<sup>1</sup>

陈克峰<sup>1, 2</sup> 林孝伟<sup>1</sup> 谭路<sup>1</sup> 杨敬元<sup>3</sup> 蔡庆华<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院水生生物研究所淡水生态与生物技术国家重点实验室, 湖北 武汉 430072;

2. 大连海洋大学水产与生命学院, 辽宁 大连 116023;

3. 神农架公园管理局, 湖北 神农架林区 442400)

**【摘要】**: 作为我国首批国家公园试点之一, 掌握神农架林区的生态系统健康状态和发展的历史进程, 有利于制定林区发展政策的制定与实施。选用神农架林区 2013 ~ 2019 年社会经济、自然生态和政策措施等方面数据, 构建了神农架林区生态系统健康综合评价指标体系和社会经济—自然生态耦合协调评价指标体系, 分别评价了神农架林区的生态系统健康状态和发展指数及耦合协调度。结果指明 2013 ~ 2019 年间神农架林区生态系统健康状况、发展协调度与各系统发展指数均呈现向好趋势, 社会经济与自然生态维度持续保持高耦合度。评价结果符合国家政策措施预期, 对神农架国家公园试点工作转化成果评价有借鉴意义。

**【关键词】**: 神农架林区; 生态系统健康; 社会经济; 自然生态; 协调发展

**【中图分类号】**: X21 **【文献标识码】**: A **【文章编号】**: 1004-8227(2022)11-2449-09

**【DOI】**: 10. 11870 /c.jlyzyyhj202211010

协调发展作为当今社会发展的根本原则, 一直被视为调节社会经济和自然生态尖锐矛盾的唯一途径<sup>[1]</sup>。社会经济在依靠自然生态提供物质基础发展的同时, 其过程会对自然生态产生正面或负面影响<sup>[2]</sup>。失调的经济发展方式会引发一系列的问题, 例如区域经济发展失衡、资源过度消耗、温室效应和环境污染加剧等<sup>[3,4,5]</sup>。在不同的社会经济发展阶段人们相应的价值观也有所不同<sup>[6]</sup>。当下阶段, 人类对美好生活的追求包括对良好的自然生态追求, 利用社会经济的发展对自然生态进行积极地影响, 投入更多的

<sup>1</sup> **【收稿日期】**: 2021-11-12; **【修回日期】**: 2021-12-16

**【基金项目】**: 中国科学院战略先导 A 类项目(XDA23080101); 国家重点实验室专项经费资助项目(2019FBZ01); 国家重点研发计划项目(2017YFC0506406)

**【作者简介】**: 陈克峰(1996 ~ ), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为淡水生态学。E-mail: ChenKf96@163.com

\* **【通讯作者 E-mail】**: qhcai@ihb.ac.cn

资源来反哺自然生态是协调发展的必然途径<sup>[7]</sup>。“绿水青山就是金山银山”作为习近平生态文明思想的核心要义，其实质是坚持自然生态保护和社会经济发展的互利共赢<sup>[8]</sup>。从“金山银山”-“绿水青山”到“社会经济”-“自然生态”的科学理念转换，协调发展作为这一理念的实践桥梁，制定的发展策略需紧密结合社会经济发展趋势并且与自然生态健康状况相适应<sup>[9]</sup>。因此，掌握社会经济发展和自然生态健康的状况是实践协调发展的重要一环。

由联合国 OECD 和 UNEP 提出的“压力-状态-响应”(PSR)概念模型能突出了环境受到的压力和环境退化之间的因果关系<sup>[10]</sup>，压力、状态和响应三个环节相互作用，制定对策与实践的全过程可直接反应在模型的结果上<sup>[11]</sup>。PSR 模型的广泛性与包容性，不仅可应用在不同生态系统的健康评价，例如流域、消落带、滩涂和林地等<sup>[10,11,12,13]</sup>各类型生态系统，在环境承载力评估、生态安全演变过程监测、环境压力量化评价和绿色发等<sup>[14,15,16,17]</sup>均有指示作用。耦合协调度模型借用物理学概念(耦合度)来反应两个或以上的系统间的相互作用程度<sup>[18]</sup>，而耦合协调度则反应系统间及系统内相互作用的积极性<sup>[19]</sup>，该模型广泛应用于国内外协调发展评价，并作为评价系统间协调发展的典型方法与 PSR 模型结合运用<sup>[1,2,3]</sup>。过往研究中，PSR 模型对耦合协调度模型的构建是有指导意义的，结合方式大多为耦合协调度模型内部的子系统按 PSR 模型理念区分<sup>[20,22]</sup>，如 Hu 等<sup>[22]</sup>对三峡水库流域重庆段的生态承载力与城市发展强度的耦合协调度模型中，将 PSR 模型理念用与划分生态承载力子系统。但是不同指标在两个模型内的指示方向是不同的，尤其以依托自然环境发展的第一产业相关指标，在 PSR 模型中压力层起负面指示作用，但在耦合协调度模型中的社会经济维度起正向指示作用。因此，分别构建生态系统健康评价模型与发展耦合协调度模型，结合二者的评价结果，分析讨论不同指标在不同体系中的作用与指示意义，以此增加评价的准确性。

随着“绿水青山就是金山银山”理念的贯彻落实，我国自然保护地建设及改革发展迅速<sup>[23]</sup>。我国国家公园体制建立至今已有 9 年，其核心目的为解决我国自然保护地管护范围交叉重叠、行政职能多头管理等突出问题。籍此推进改革自然保护地体系，助力生态环境保护和生态文明体制改革<sup>[24,25]</sup>。神农架国家公园试点区域作为中国首批十个国家公园试点区之一，因其丰富的文化底蕴和自然资源，受到广泛关注<sup>[26,27]</sup>。神农架林区不仅作为资源丰富的林业资源型乡镇，其第三产业同样具有巨大的发展潜力，其复杂性要求对神农架林区进行测度时需综合考虑指标间和维度间存在的问题与症结<sup>[8]</sup>。过往学者们对神农架林区的评测侧重点、空间尺度与时间跨度均有不同<sup>[28,29,30]</sup>，但对神农架林区综合发展的历史进程及对应的生态系统健康状况变化比较匮乏。本文收集神农架林区 2013~2019 年自然资源、生态环境和社会经济发展相关数据，分别构建 PSR 模型和耦合协调度模型用以综合评价神农架林区生态系统健康状况和发展状况。旨在以“绿水青山”和“金山银山”角度看待神农架林区社会经济与自然生态发展进程中的问题，掌握重要历史结点如国家公园试点建立等政策的驱动作用，为神农架国家公园试点工作成效评估提供借鉴，以确保国家公园总体规划的顺利进行，同时对神农架林区十四五发展规划提供科学依据。

## 1 研究区域概况与数据来源

### 1.1 研究区域概况

神农架林区位于湖北省西北部，地跨 109° 56' E~110° 58' E, 31° 15' N~31° 75' N, 总面积 3 253 km<sup>2</sup>，是中国唯一以“林区”命名的行政区划，由湖北省直辖。神农架林区下辖 6 个镇：松柏镇、阳口镇、木鱼镇、红坪镇、新华镇 和九湖镇；2 个乡：宋洛乡和下谷坪土家族乡。2016 年 7 月，神农架被列入世界遗产名录，成为湖北省第 1 处、中国第 11 处世界自然遗产。

### 1.2 数据来源

各指标数据来源于 2012~2020 年《神农架林区国民经济和社会发展统计公报》、2012~2020 年《湖北省统计年鉴》及中国统计信息网相关数据和调查数据。通过插值法补齐少数缺失数据，并在数据使用前对原始数据进行极差标准化处理。

## 2 研究方法

### 2.1 数据处理

(1) 将收集来的数据进行无量纲化处理<sup>[1]</sup>, 以便不同量级或不同单位的指标能够进行加权和比较。无量纲化也称为数据的规范化, 本文运用最小极值法标准化处理, 具体的无量纲化处理公式如下:

$$P'_{ij} = \frac{P_{ij} - P_{jmin}}{P_{jmax} - P_{jmin}} \quad (1)$$

正向指标:

$$P'_{ij} = \frac{P_{jmax} - P_{ij}}{P_{jmax} - P_{jmin}} \quad (2)$$

逆向指标:

式中:  $P_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  项指标的值;  $P_{jmax}$ 、 $P_{jmin}$  分别为第  $j$  项指标数据中的最大值和最小值;  $P'_{ij}$  为无量纲化后的指标的值。

(2) 处理后的数据会有一些为 0, 而熵值法中有些公式要求数据为正数, 此时需要对数据进行简单处理。本研究将处理后的各指标数据整体均加 0.000 1, 即

$$Q_{ij} = P'_{ij} + 0.000 1 \quad (3)$$

式中:  $Q_{ij}$  为移动后的数据。

(3) 熵值法确定各项指标权重, 具体计算过程如下:

$$X_{ij} = Q_{ij} / \sum_{i=1}^m Q_{ij} \quad (4)$$

指标的熵权:

$$Y_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m X_{ij} \ln X_{ij} \quad (5)$$

指标的熵值:

$$W_j = (1 - Y_j) / \sum_{j=1}^n (1 - Y_j) \quad (6)$$

指标的权重:

$X_{ij}$  第  $i$  年第  $j$  项指标值的比重;  $Y_j$  是第  $j$  项指标的熵值;  $W_j$  是第  $j$  项指标的权重;  $m$  是年份数;  $n$  是指标个数。

## 2.2 神农架林区生态系统健康评价体系构建

本文应用“压力-状态-响应”(PSR)概念模型作为神农架林区生态系统健康评价体系的基本框架。PSR 模型建立在自然资源和生态环境、人类活动和社会发展的两个维度上, 以压力、状况和响应为表征<sup>[31]</sup>, 将指标体系分目标层和指标层两层构建。参考国内外相关文献中的指标体系构建案例<sup>[11, 12, 13]</sup>, 共选取 20 项指标, 构建神农架林区生态系统健康综合评价体系。本文采用专家决

策法并参考以往案例对目标层进行权重分配，压力、状况和响应比重按 1：1：2 确定。各指标内容、性质和权重见表 1。

生态系统健康评价参考过往经验，具体计算公式为：

$$E = \sum_{j=1}^n W_j Q_j \quad (7)$$

式中：E 表示生态系统健康综合指数。评价结果按照生态系统健康综合指数从高到低排序，反映其健康程度变化，评价结果共分为 5 个等级：①良好状态 (0.8 ≤ E < 1.0)；②较好状态 (0.6 ≤ E < 0.8)；③警戒状态 (0.4 ≤ E < 0.6)；④较差状态 (0.2 ≤ E < 0.4)；⑤极差状态 (0 ≤ E < 0.2)。

### 2.3 社会经济-自然生态测度评价体系构建

借鉴过往研究经验<sup>[32, 33]</sup>，以“金山银山”和“绿水青山”的角度出发，充分考虑神农架林区十四·五规划主旨，结合神农架林区生态系统健康评价模型构建的指标体系，构建能反映神农架林区社会经济-自然生态耦合协调评价体系。各级指标内容、性质和权重见表 2。

表 1 神农架林区生态系统健康综合评价体系

目标层	权重	指标层	权重	指示方向
压力	0.25	全区户籍人口	0.0926	-
		污水排放量	0.1086	-
		发电量(万 kW·h)	0.1301	-
		能耗总量(万吨煤)	0.0963	-
		农业总产值	0.1248	-
		粮食产量(t)	0.1541	-
		全区财政收入(万元)	0.1391	+
		人均可支配收入	0.1543	+
	0.25		0.1719	-

状况		城镇化率		
		动植物种类	0.0613	+
		森林覆盖率	0.1336	+
		全年空气优良率	0.0986	+
		生态环境状况指数	0.1078	+
		人均水资源量	0.1914	+
		水土流失面积	0.1078	-
		旅游经济收入	0.1276	+
响应	0.50	节能环保支出	0.2799	+
		科研支出	0.2558	+
		城镇废水处理率	0.2030	+
		新增耕地	0.2614	-

表2 神农架林区社会经济-自然生态耦合协调评价体系

系统层	子系统层	准则层	权重	指标层	权重	指示方向
自然生态-社会经济 协调评价指标体系	自然生态子系统	生态质量	0.3632	森林面积	0.0318	+
				全年空气优良率	0.0507	+
				生态环境状况指数	0.0555	+
				动植物种类	0.1267	+
				人均水资源量	0.0985	+

		干扰胁迫	0.2458	全区能源消费总量	0.0398	-	
				污水排放量	0.0463	-	
				水土流失面积	0.1151	-	
				新增耕地面积	0.0446	-	
		生态响应	0.3910	植树造林	0.0931	+	
				城镇废水处理率	0.0347	+	
				节能环保支出	0.0478	+	
				万元 GDP 能耗下降率	0.2155	+	
		社会经济子系统	经济效益	0.4520	全区财政收入	0.0718	+
					全区生产总值	0.0940	+
	建筑业总产值				0.0620	+	
	农业产值所占比重				0.0786	+	
	旅游收入				0.0796	+	
	发电量				0.0660	+	
	经济发展		0.2296	人均可支配收入	0.0797	+	
				全区户籍人口	0.1028	+	
				城镇化率	0.0472	+	
	公共服务		0.3184	全区在校学生	0.0817	+	
		卫生技术人员		0.0502	+		
		卫生机构		0.0384	+		
科研支出		0.1480		+			

神农架林区自然生态维度与社会经济维度发展指数计算公式如下：

自然生态维度发展指数  $f(x)$ ：

$$f(x) = \sum_{j=1}^n W_j Q_{\bar{y}} \quad (8)$$

社会经济维度发展指数  $g(y)$  :

$$g(y) = \sum_{j=1}^n W_j Q_{ij} \quad (9)$$

综合发展指数  $U$  :

$$U = af_{(x)} + bg_{(y)} \quad (10)$$

$f(x)$  和  $g(y)$  分别代表自然生态维度与社会经济维度发展指数； $n$  代表指标个数； $a$ 、 $b$  分别代表自然生态维度与社会经济维度发展指数的权重，本文认为自然生态子系统与社会经济子系统相同重要，故  $a=b=1/2$ 。

耦合协调度描述自然生态与社会经济两个维度建相互作用影响的程度，耦合作用和协调程度决定了系统发展状况；本文借鉴容量耦合系数模型构建神农架林区社会经济-自然生态耦合协调度模型<sup>[4,12]</sup>。公式如下：

$$C = \left\{ \frac{f_{(x)} \times g_{(y)}}{\left[ \frac{(f_{(x)} + g_{(y)})}{2} \right]^2} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

$$D = \sqrt{C \times U} \quad (13)$$

$C \in [0, 1]$ , 为自然生态与社会经济协同发展耦合度； $D \in [0, 1]$ , 为复合系统协调发展协调度。

本文参考过往案例的研究成果，将神农架林区自然生态与社会经济发展耦合协调程度划分为如表 3 所示等级标准：

表 3 神农架林区自然生态-社会经济耦合协调度评价标准 导出到 EXCEL

协调发展程度	协调等级	协调度	协调类型
协调	10	$0.9 \leq D < 1$	优质协调
	9	$0.8 \leq D < 0.9$	良好协调
	8	$0.7 \leq D < 0.8$	中级协调
	7	$0.6 \leq D < 0.7$	初级协调

过度	6	$0.5 \leq D < 0.6$	勉强协调
	5	$0.4 \leq D < 0.5$	濒临失调
失调	4	$0.3 \leq D < 0.4$	轻度失调
	3	$0.2 \leq D < 0.3$	中度失调
	2	$0.1 \leq D < 0.2$	严重失调
	1	$0 \leq D < 0.1$	极度失调

### 3 结果与分析

#### 3.1 神农架林区生态系统健康评价结果

基于 PSR 模型理念构建的神农架林区生态系统健康评价体系将神农架林区生态系统健康状况及其项目层分为 5 个等级，即极差、较差、警戒、较好、良好。结果显示(表 4)，神农架林区生态系统健康状况呈现向好的趋势，整体经历较差( $0.2 \leq E < 0.4$ )、警戒( $0.4 \leq E < 0.6$ )和较好( $0.6 \leq E < 0.8$ )三个时期。其中，2016 年作为主要转折点，神农架林区生态系统健康状况转为较好状态。主要原因为 2016 年神农架国家公园管理局正式挂牌成立，标志着神农架的生态文明建设步[8]，同时科研支出大幅增加。同年，神农架林区完成土地规划改革完成，自此以后无新增耕地，进入退耕还林还草阶段。

表 4 神农架林区 2013~2019 年生态系统健康综合评价结果

年份	评价得分(E)	健康等级
2013	0.251	较差
2014	0.433	警戒
2015	0.518	警戒
2016	0.663	较好
2017	0.643	较好

2018	0.712	较好
2019	0.699	较好

构建好的指标体系中,对压力、状况和响应三个目标层的评价结果显示,压力层在2013处于较差状态( $0.2 \leq E < 0.4$ );2014~2015年处于警戒状态( $0.4 \leq E < 0.6$ );2016~2019年处于较好状态( $0.6 \leq E < 0.8$ )。状况层2013年处于较差状态( $0.2 \leq E < 0.4$ );2014~2019年处于警戒状态( $0.4 \leq E < 0.6$ )及以上,其中2018年处于较好状态( $0.6 \leq E < 0.8$ );响应指标的评价结果自2013年起呈逐年向好的趋势,其中2019年达到良好状态( $0.8 \leq E < 1.0$ ) (图2)。响应层变化最为明显,压力层与状态层变化波动较之不大。作为典型林业资源型乡镇,神农架林区产业结构较为单一,第一产业机械化程度不高,城镇化程度较低[34, 35],而且神农架林区地广人稀,人类足迹呈明显的两级分化趋势[36],50%以上的区域常年保持低人类足迹,神农架林区生态状况常年处于湖北省首位。作为人口密度较大的阳日、木鱼、松柏三镇,围绕其发展的城镇建设、污染排放和农耕地等人类活动是神农架林区面临的主要生态压力。其中松柏镇和木鱼镇作为林区政府所在地和林区旅游接待服务中心,旅游行业同样需要高质量的生态环境,这无疑加强了林区政府对生态环境的重视程度。由此可见,神农架林区响应层对生态系统的健康状况起主导作用。

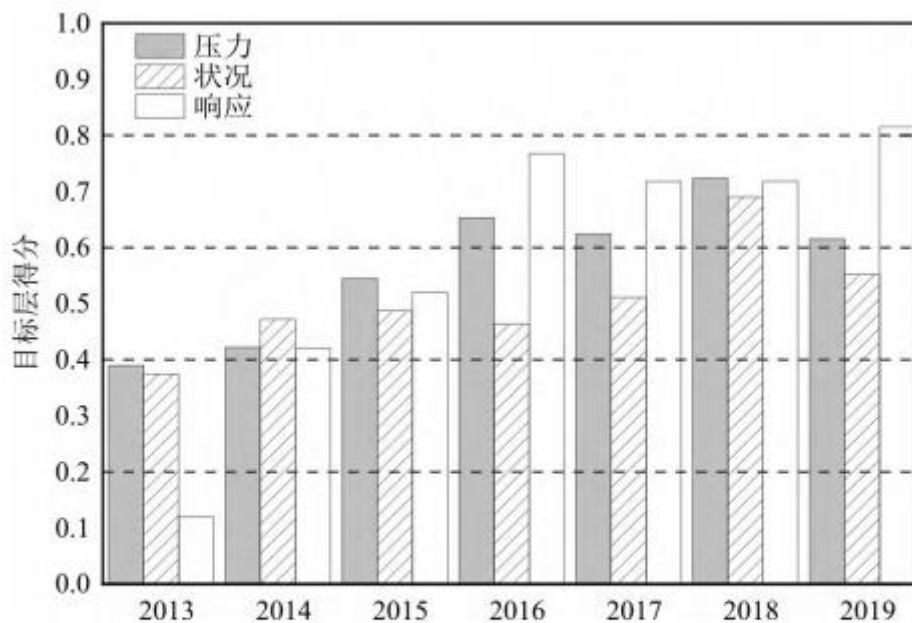


图1 神农架林区2013~2019年  
压力、状态和响应评价结果

Fig. 1 Evaluation results of pressure, state and response in Shennongjia Forest Region from 2013-2019

### 3.2 神农架林区社会经济、自然生态和综合发展指数评价结果

神农架林区社会经济子系统、自然生态子系统及综合发展指数评价结果如图3所示。从子系统的角度上看,自然生态子系

统与社会经济子系统均呈现明显的上升趋势，其中社会经济子系统上升跨度较自然生态子系统更为明显。自然生态子系统中，生态质量、干扰胁迫和生态响应均呈现波动上升趋势，生态响应( $W_j=0.3910$ )是影响自然生态子系统发展波动的主要因素。指标层中动植物种类、水土流失面积和万元 GDP 能耗下降率是主要影响指标；社会经济子系统发展的主要影响因素是经济效益( $W_j=0.4520$ )，其 3 个准则层指标均呈现显著上升趋势，指标层中全区生产总值、全区户籍人口和科研支出是主要影响指标。

从指标的角度看，两个子系统中分别有 3 个高权重影响指标，每个指标分属于不同的项目层，这检验了指标选取上的全面性与覆盖性，以提高评价的准确性。指标间的相互关系也会影响彼此的权重。例如，科研支出作为社会经济子系统中变化是最大的指标，驱动方式表现为在神农架国家公园试点建立后，科研投入比重加大，金丝猴保护区等保护地的投入，有效地保护动植物种类，缓解了水土流失问题。

综合发展指数在 2013~2019 年间同样呈现上升趋势，但增长速率随着时间降低。2013~2016 年自然生态子系统是主要贡献因子，2016~2019 年社会经济子系统是主要贡献因子。在经济子系统内的经济效益准则层中，选取的农业产值所占比重、建筑业总产值和旅游收入分别代表了神农架林区第一产业、第二产业和第三产业。其中权重最大的是旅游收入( $W_j=0.0796$ )，其次是农业产值所占比重( $W_j=0.0786$ )，这表明神农架林区在 2013~2019 年间旅游收入和农业产值变化波动是较大的。神农架林区产业结构不断的优化下，第三产业的投入与产出逐渐增高，开发建设过程中对生态环境进行人为的改善，退耕还林、草地恢复、居住区移民搬迁、修复自然生态景观和建设生态廊道等政策措施对生境质量起到了一定的保护作用，旅游业对景区周边环境水平的高要求促进了自然生态的发展，以此实现“绿水青山”就是“金山银山”的生态文明理念。同样，对旅游业的开发和生态环境的修复会压缩农业发展空间，具体表现在 2013~2015 年神农架林区新增耕地面积增加的，2016 年起耕地面积开始减少，同年农业产值所占比重也开始降低。

### 3.3 神农架林区耦合协调度分析

耦合协调度计算结果如下(表 5)。神农架林区自然生态与社会经济(2013~2019 年)一直处于高度耦合状态，这说明神农架林区社会经济维度与自然生态维度间存在紧密的相互依赖、相互作用关系。但高水平的耦合度仅能体现系统间联系的紧密性，无法体现综合发展水平与发展的协调度，如 2013 年神农架林区耦合度为 0.9382，但综合发展指数只有 0.1526，协调度为 0.3784 轻度失调。从时间角度上看，神农架林区的协调度与生态系统健康的演进过程是相似的，呈现波动上升趋势，从 2013 年神农架林区处于轻度失调状态，到 2014~2015 年勉强协调、2016~2017 年为中级协调、2018~2019 年为良好协调，共经历四个阶段。从发展类型上除 2013、2015 生态进步经济滞后型发展和 2017 年经济进步生态滞后型发展，神农架林区其余年间发展类型均处于生态经济同步发展型。

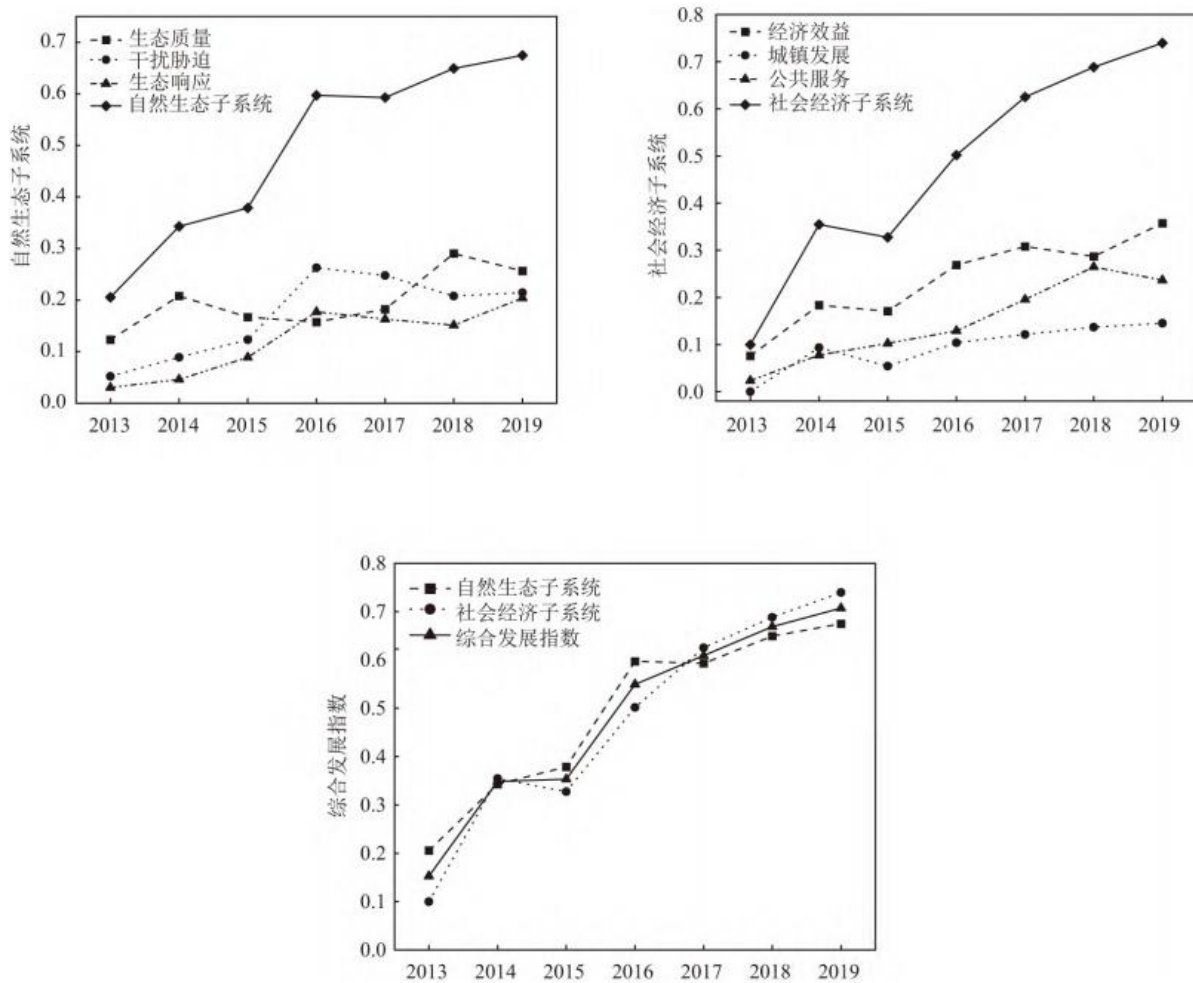


图 2 神农架林区 2013~2019 年社会经济子系统、自然生态子系统发展指数及综合发展指数  
 Fig. 2 Development index and comprehensive development index of social and economic subsystem, natural ecological subsystem in Shennongjia Forest Region from 2013-2019

表 5 神农架林区 2013~2019 年耦合协调发展水平

年份	耦合度	协调度	状态	发展类型
2013	0.9382	0.3784	轻度失调	生态进步-经济滞后型
2014	0.9999	0.5905	勉强协调	生态经济同步发展型
2015	0.9974	0.5934	勉强协调	生态进步-经济滞后型
2016	0.9962	0.7398	中级协调	生态经济同步发展型
2017	0.9997	0.7803	中级协调	经济进步-生态滞后型
2018	0.9996	0.8176	良好协调	生态经济同步发展型
2019	0.9989	0.8404	良好协调	生态经济同步发展型

随着协调度的上升,神农架林区经历的 2013~2016 年间为协调度高速上升期,2016 年以后协调度上升速率减缓。考虑内在因素,主要由于 2016 年国家公园试点成立以后,神农架林区土地规划整合基本完成,耕地与林地草地的主要矛盾已经得到缓解,退耕还林还草已得到基本成效[36],城镇废水处理率基本达到 100%,万元 GDP 能耗下降率也基本达到峰值。指标波动幅度会影响指标权重进而影响评价结果[39]。神农架林区高协调度主要表现为生态与经济同步发展,在发展保护自然生态的同时,开展神农架林区特有野生绿色经济,以此弥补耕地面积减少后第一产业产值。此外,良好的自然生态与神农架林区旅游业相辅相成,旅游业的发展与景点的维护依托于优良的生态环境。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本文从神农架林区作为林业资源城市和旅游城市的发展特点出发,分别构建了生态系统健康评价模型和发展耦合协调度评价模型,从不同角度分析神农架林区 2013~2019 年间发展趋势及问题,探讨重要历史结点对林区发展的作用影响,以此确保神农架林区国家公园试点工作顺利实施,并为神农架林区十四五规划提供科学参考依据。

通过对神农架林区 2013~2019 年间生态系统健康及发展协调性研究发现,神农架林区从历史角度上,生态系统健康情况是逐年向好的,评价结果与耦合协调度评价模型中的自然生态维度发展指数是相似的,以此相互印证,增加评价结果的准确性。神农架林区 2013~2019 年间发展耦合协调研究表明,神农架林区大部分时间是经济生态同步发展的,非同步发展时也是以生态发展为主。作为依托自然资源发展第一、第三产业的城市,神农架林区的耦合协调度评价结果体现了社会经济与自然生态发展的协同性,深刻诠释了“绿水青山就是金山银山”这一生态发展理念。

由于标准化后的数据仅能体现 2013~2019 年间的相对趋势,仅能反映神农架林区 2013~2019 年间生态系统健康与发展的相对变化状况,无法反应过往历史情况,但可根据变化趋势预测发展趋势,对于十四五政策制定与实施具有一定价值。结论中各主要影响指标分属于不同准则层,这表明神农架林区耦合协调评价体系的指标选取是均匀且完备的,能够充分体现神农架林区自然生态和社会经济的发展情况。为子系统与目标层赋权时,考虑到不同指标间的相互影响,且不同指标的影响因子是有差异的,一些环境指标如,人均水资源量、森林面积、水土流失面积等,这些指标能指示自然生态状况,但在神农架林区,这些指标的主要受自然因素调控。使用熵权法确定子系统与目标层的权重会受自然因素的影响,从而影响评价的准确性。因此本文采用专家意见法、参考过往评价案例,结合神农架林区具体情况,为子系统与目标层赋权。

### 4.2 结论

本研究建立的神农架林区生态系统健康综合评价体系与社会经济-自然生态耦合协调评价指标体系评价结果反映了神农架林区 2013~2019 年间生态系统健康情况、发展情况和耦合协调度情况。结果显示,神农架林区生态系统健康状况 2013 年处于较差状态、2014~2015 年处于警戒状态、2016~2019 年处于较好状态;综合发展指数及发展协调度在 2013~2019 年间均呈现上升趋势,除 2013 年处于发展失调状态,之后均达到协调状态;2013~2019 年间除 2017 年经济进步型发展,其余年间处于生态进步型或同步发展型。评价结果体现神农架林区社会经济与自然生态相辅相成的发展特点,诠释了“绿水青山就是金山银山”绿色生态发展理念,对林区十四五规划具指导意义。

## 参考文献

[1] FAN Y P, FANG C L, ZHANG Q. Coupling coordinated development between social economy and ecological environment in Chinese provincial capital cities—assessment and policy implications[J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 229:289-298.

- 
- [2] WANG S J, MA H T, ZHAO Y B. Exploring the relationship between urbanization and the eco-environment—A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region[J]. *Ecological Indicators*, 2014, 45:171-183.
- [3] BRESEE M K, LE MOINE J, MATHER S, et al. Disturbance and landscape dynamics in the Chequamegon National Forest Wisconsin, USA, from 1972 to 2001[J]. *Landscape Ecology*, 2004, 19(3).
- [4] YANG C, LIU H, LI Q, et al. Rapid Urbanization Induced Extensive Forest Loss to Urban Land in the Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area, China[J]. *Chinese Geographical Science*, 2021, 31(1):93-108.
- [5] LIU Z, GUAN D B, MOORE S, et al. Climate policy: Steps to China's carbon peak[J]. *Nature*, 2015, 522(7556).
- [6] BINA O, VAZ S G. Humans, environment and economies: From vicious relationships to virtuous responsibility[J]. *Ecological Economics*, 2011, 72.
- [7] 迟国泰, 杨中原. 基于循环修正思路的科学发展评价模型[J]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29(11):31-45. CHI G T, YANG Z Y. Evaluation model of scientific development based on circulating revision[J]. *Systems Engineering-Theory & Practice*, 2009, 29(11):31-45.
- [8] 蔡庆华, 罗情怡, 谭路, 等. 神农架国家公园: 现状与展望[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(6):1378-1383. CAI Q H, LUO Q Y, TAN L, et al. Shennongjia National Park: Present Situation and Prospect[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2021, 30(6):1378-1383.
- [9] LI R Z. Dynamic Assessment on Regional Eco-environmental Quality Using AHP-Statistics Model—A Case Study of Chaohu Lake Basin[J]. *Chinese Geographical Science*, 2007(4):341-348.
- [10] 周谐, 杨敏, 雷波, 等. 基于 PSR 模型的三峡水库消落带生态环境综合评价[J]. *水生态学杂志*, 2012, 33(5):13-19. ZHOU K, YANG M, LEI B, et al. Comprehensive Assessment of Eco-Environmental Quality of the Water-level-fluctuating Zone in the Three Gorges Area Based on PSR Model[J]. *Journal of Hydroecology*, 2012, 33(5):13-19.
- [11] 颜利, 王金坑, 黄浩. 基于 PSR 框架模型的东溪流域生态系统健康评价[J]. *资源科学*, 2008(1):107-113. YAN L, WANG J K, HUANG H. An Assessment of Ecosystem Health in Dongxi River Basin based on PSR Framework[J]. *Resources Science*, 2008(1):107-113.
- [12] LI H F, LI L F, SU F L, et al. Ecological stability evaluation of tidal flat in coastal estuary: A case study of Liaohe estuary wetland, China[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 130.
- [13] WANG Y T, WANG Y S, WU M L, et al. Assessing ecological health of mangrove ecosystems along South China Coast by the pressure-state-response (PSR) model[J]. *Ecotoxicology*, 2021, 30(4).
- [14] LI X Z, XU Z G, FU Y Y, et al. Ecological Security Evaluation Algorithm for Resource-Exhausted Cities Based on the PSR Model[J]. *Cmc-Computers Materials & Continua*, 2021, 69(1):p.985-1001.
- [15] TANG Y S, ZHAO X Y, JIAO J L. Ecological security assessment of Chaohu Lake Basin of China in the context

---

of River Chief System reform[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2020, 27(3).

[16] ŚWIGOST-KAPOCSI A. Reviewing the measurement methods for Green Development in Cities -a proposal for Polish cities[J]. Environmental & Socio-economic Studies, 2020, 8(3).

[17] LIU Y, HU W, WANG S W, et al. Eco-environmental effects of urban expansion in Xinjiang and the corresponding mechanisms[J]. European Journal of Remote Sensing, 2021, 54(sup2).

[18] LIU L, CALOZ C, CHANG C C, et al. Forward coupling phenomena between artificial left-handed transmission lines[J]. Journal of Applied Physics, 2002, 92(9):5560-5565.

[19] FANG C L, LIU H M, LI G D. International progress and evaluation on interactive coupling effects between urbanization and the eco-environment[J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(8):1081-1116.

[20] 丁柯, 葛炬. 基于 PSR 模型的新疆旅游发展与交通运输业耦合协调研究[J]. 交通科技与经济, 2021, 23(1):67-73. DING K, GE J. Coupling coordination based on PSR model between Xinjiang tourism development and transportation industry[J]. Technology & Economy in Areas of Communications, 2021, 23(1):67-73.

[21] QIAO R, LI H M, HAN H. Spatio-temporal coupling coordination analysis between urbanization and water resource carrying capacity of the provinces in the Yellow River Basin, China[J]. Water, 2021, 13(3).

[22] HU J J, HUANG Y, DU J. The impact of urban development intensity on ecological carrying capacity: A case study of ecologically fragile areas[J]. International journal of environmental research and public health, 2021, 18(13).

[23] 李款, 李发祥. 国家公园自然资源管理探讨[J]. 生物多样性, 2021, 29 (\*):0-0. LI K, LI F X. Natural resource management of national parks[J]. Biodiversity Science, 2021, 29 (\*):0-0.

[24] 陈宗铸, 雷金睿, 吴庭天, 等. 国家公园生态系统生产总值核算——以海南热带雨林国家公园为例[J]. 应用生态学报, 2021, 32(11):3883-3892. CHEN Z Z, LEI J R, WU T T, et al. Gross ecosystem product accounting of national park: Taking Hainan Tropical Rainforest National Park as an example[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2021, 32(11):3883-3892.

[25] 陆康英, 苏晨辉. 国家公园体制建设背景下自然保护区建设管理的思考[J]. 中南林业调查规划, 2018, 37(1):14-19. LU K Y, SU C H. Considerations on Construction and Management of Nature Reserves in the Context of National Park System[J]. Central South Forest Inventory and Planning, 2018, 37(1):14-19.

[26] 蔡凌楚, 赵慧, 赵本元, 等. 基于公众科学及分众传播的国家公园宣传推广——以神农架国家公园为例[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(6):1500-1510. CAI L C, ZHAO H, ZHAO B Y, et al. On the Publicity of National Parks from the Perspective of Citizen Science and Niche Communication: A Case Study from Shennongjia National Park[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(6):1500-1510.

[27] 姚帅臣, 闵庆文, 焦雯璐, 等. 基于管理分区的神农架国家公园生态监测指标体系构建[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(6):1511-1520. YAO S C, MIN Q W, JIAO W J, et al. Building on of Ecological Monitoring Indicator System for the

---

Shennongjia National Park Based on Different Management Districts[J].Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(6):1511-1520.

[28] 罗涛, 伦子健, 顾延生, 等. 神农架大九湖湿地植物群落调查与生态保护研究[J]. 湿地科学, 2015, 13(2):153-160. LUO T, LUO Z J, GU Y S, et al. Plant Community Survey and Ecological Protection of Dajiuhu Wetlands in Shennongjia Area[J]. Wetland Science, 2015, 13(2):153-160.

[29] 杨倩, 孙铖, 李山勇, 等. 湖北水资源生态承压能力的时空分异特征[J]. 水土保持研究, 2016, 23(1):289-295, 302. YANG Q, SUN C, LI S Y, et al. Analysis on the Spatiotemporal Difference of Water Resources Ecological Carrying Capacity in Hubei Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2016, 23(1):289-295, 302.

[30] 周文昌, 史玉虎, 潘磊, 等. 神农架林区大九湖湿地生态系统服务价值评价[J]. 水土保持通报, 2018, 38(1):208-213. ZHOU W C, SHI Y H, PAN L, et al. Evaluation of Ecosystem Services Value of Dajiuhu Wetland in Shennongjia Forest Region[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(1):208-213.

[31] WALZ R. Development of Environmental Indicator Systems: Experiences from Germany[J]. Environmental Management, 2000, 25(6):613-623

[32] 姜晓艳, 吴相利. 林业资源型城市生态-经济-社会协调发展的定量测度——以黑龙江省伊春市为例[J]. 生态学报, 2021(21):1-12. JIANG X Y, WU X L. Quantitative investigation of the coordinated development of ecology-economy-society in forest resource-based city: A case study of Yichun, Heilongjiang Province[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021(21):1-12.

[33] 舒远琴, 宋维峰, 马建刚. 哈尼梯田湿地生态系统健康评价指标体系构建[J]. 生态学报, 2021(23):1-13. SHU Y Q, SONG W F, MA J G. Establishment of health evaluation index system of Hani Terrace Wetland Ecosystem[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021(23):1-13.

[34] 李巍, 程红光, 高吉喜. 湖北神农架林区可持续发展战略生态规划[J]. 中国环境科学, 2002(4):88-92. LI W, CHENG H G, GAO J X. Strategic ecological planning for the sustainable development of the Shennongjia forestry region in Hubei Province[J]. China Environmental Science, 2002(4):88-92.

[35] 张丽娜, 吴凤平, 张陈俊, 等. 流域水资源消耗结构与产业结构高级化适配性研究[J]. 系统工程理论与实践, 2020, 40(11):3009-3018. ZHANG LI N, WU F P, ZHANG C J, et al. The adaptability of basin water resources consumption structure and optimization of industrial structure, 2020, 40(11):3009-3018.

[36] 周婷, 陈万旭, 李江风, 等. 1995—2015年神农架林区人类活动与生境质量的空间关系研究[J]. 生态学报, 2021(15):1-12. ZHOU T, CHEN W X, LI J F, et al. Spatial relationship between human activities and habitat quality in Shennongjia Forest Region from 1995 to 2015[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021(15):1-12.

[37] 南箬, 杨子寒, 毕旭, 等. 生态系统服务价值与人类活动的时空关联分析——以长江中游华阳河湖群地区为例[J]. 中国环境科学, 2018, 38(9):3531-3541. NAN B, YANG Z H, BI C, et al. Spatial-temporal correlation analysis of ecosystem services value and human activities: A case study of Huayang lakes area in the middle reaches of Yangtze River. [J]. China Environmental Science, 2018, 38(9):3531-3541.

---

[38] 冯舒, 孙然好, 陈利顶. 基于土地利用格局变化的北京市生境质量时空演变研究[J]. 生态学报, 2018, 38(12):4167-4179. FENG S, SUN R H, CHEN L D. Spatial-temporal variability of habitat quality based on land use pattern change in Beijing[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(12):4167-4179.

[39] 钟赛香, 胡鹏, 薛熙明, 等. 基于合理权重赋值方法选择的多因素综合评价模型——以 JCR 中 70 种人文地理期刊为例[J]. 地理学报, 2015, 70(12):2011-2031. ZHONG S X, HU P, XUE X M, et al. Multi-factor comprehensive evaluation model based on the selection of objective weight assignment method[J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70(12):2011-2031.