

引用格式:马慧强,廉倩文,论宇超,等.基于BP神经网络的旅游经济系统脆弱性省际空间分异[J].资源科学,2019,41(12):2248-2261.[Ma H Q, Lian Q W, Lun Y C, et al. Spatial differentiation of tourism economic system vulnerability based on BP neural network in different provinces of China[J]. Resources Science, 2019, 41(12): 2248-2261.] DOI: 10.18402/resci.2019.12.09

# 基于BP神经网络的旅游经济系统脆弱性 省际空间分异

马慧强<sup>1,2</sup>,廉倩文<sup>1</sup>,论宇超<sup>3</sup>,席建超<sup>2</sup>

(1. 山西财经大学文化旅游学院,太原 030000;2. 中国科学院地理科学与资源研究所/陆地表层格局与模拟重点实验室,北京 100101;3. 辽宁师范大学地理科学学院,大连 041000)

**摘要:**开展旅游经济系统脆弱性评价与影响因素研究,是制定旅游经济科学发展策略,提高区域旅游发展质量的客观要求。本文在探讨旅游经济系统脆弱性内涵的基础上,从旅游经济系统敏感性和应对能力两个方面来构建旅游经济系统脆弱性评价指标体系,并运用BP人工神经网络模型、脆弱性评价指数模型、地理探测器等研究方法,对中国30个省级行政单元(不包括西藏和港澳台地区)的旅游经济系统脆弱性空间分异特征及影响因素进行分析。结果表明:①中国旅游经济系统整体处于较高脆弱、中等敏感、较高应对能力状态,且旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力省际空间分异明显;②中国旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力均呈现“集群化”和“极差化”分布特征,东部地区旅游经济系统脆弱性较高,且内部差异显著,中部和西部地区脆弱性较低,内部差异较不明显;③中国旅游经济系统脆弱性空间分异是不同影响因素共同作用的结果,其中产业结构多样化指数对脆弱性空间分异的影响最大,旅游外汇收入占旅游总收入比重对脆弱性空间分异的影响最小。研究结果可丰富旅游可持续发展理论,并为解决旅游经济质量提升问题等提供科学依据。

**关键词:**旅游经济系统;脆弱性;BP神经网络;地理探测器;空间分异

DOI: 10.18402/resci.2019.12.09

## 1 引言

20世纪末以来,脆弱性研究备受相关国际组织、各国政府及国内外专家学者的重视,在世界范围内掀起了全球气候变化与可持续发展研究的热潮<sup>[1,2]</sup>。脆弱性的概念最早出现在地学领域,源自与自然灾害相关的研究<sup>[3]</sup>。随着认识的逐渐深入,脆弱性概念被越来越多地应用到其他领域,如工程学、生态学、经济学、管理学等。由于学科视角和研究对象的不同,不同研究领域学者对脆弱性内涵的理解存在一定差异,但总体上达成一些共识,即认为脆弱性是包括“敏感性”“风险”“恢复力”“适应性”等诸多相关概念在内的复合体,且脆弱性的客

体具有多层次性<sup>[4,5]</sup>。地理信息科学的快速发展与广泛应用为脆弱性研究提供了技术支撑,也推动了脆弱性研究范围的不断拓展,从单一系统研究到复合系统研究,脆弱性已逐渐发展成一个涉及多领域、具有多尺度特点的跨学科研究主题。

旅游经济系统是一个具有高度综合性与复杂性的区域经济子系统,是以旅游资源综合开发利用为基础,以旅游目的地的旅游公共服务、社会经济支持系统、旅游生态系统为基础保障,在旅游相关产业的协同运作下发展的一个综合性系统。旅游经济的发展不仅取决于经济的增长,同时也受社会服务系统完善程度以及生态环境变化的影响。旅

收稿日期:2019-03-25 修订日期:2019-09-21

基金项目:国家自然科学基金项目(41671151);山西省教育厅项目(2019W074);山西省体育局项目(18TY136)。

作者简介:马慧强,男,山西大同人,博士,副教授,研究方向为经济地理,旅游开发与规划。E-mail: Mahuiqiang001@126.com

通讯作者:席建超,男,河南确山人,研究员,研究方向为区域旅游发展规划,环境科学与资源利用。E-mail: xijc@igsrr.ac.cn

2019年12月

游经济系统脆弱性是指旅游经济系统由于自身特征的制约,在一定时间、地点和条件下,受系统内部和外部各方面扰动所表现出来的敏感性,以及因缺乏抗不利扰动能力而使系统功能和结构受损的本质属性<sup>[6]</sup>。其中内部因素主要来自旅游经济系统本身产业结构的合理化程度与承受外部冲击的免疫力(旅游产业系统);外部因素主要来自与旅游经济发展密切相关的社会安全与旅游地生态环境扰动(社会支持系统、旅游生态系统)等。综上所述,旅游经济系统脆弱性内涵可以从以下两个方面理解:①由于旅游活动的异地性、复杂性、综合性等特性,旅游产业成为一种敏感性产业,其发展容易受到来自经济、社会、自然等各方面因素的影响,对旅游产业依赖程度较高的国家或地区经济往往表现出较高的敏感性;②除敏感性以外,旅游经济系统脆弱性还取决于系统本身对外部环境变化表现出的应对能力。旅游经济脆弱性对一个地区旅游业的健康发展有着重要影响,因此,研究区域旅游经济脆弱性程度及其影响因素,对于促进区域旅游经济的科学、可持续发展具有十分重要的意义。

国外对脆弱性研究较早,并取得了丰硕的成果。20世纪70年代,能源危机的发生使世界旅游业发展受到了严重冲击和影响,在此背景下,国际旅游界开始关注旅游经济脆弱性问题<sup>[7]</sup>。国外学者对旅游经济脆弱性的研究多是从旅游危机管理的角度,对旅游经济脆弱性的成因以及遭遇危机后旅游经济的恢复与管理进行分析<sup>[8-11]</sup>。国内关于脆弱性的研究起步较晚,学者们最初主要以自然脆弱性<sup>[12,13]</sup>、生态脆弱性<sup>[14-16]</sup>、社会脆弱性<sup>[17,18]</sup>等单一系统为研究对象进行分析,随着脆弱性研究的日益深化,学者们关注的焦点逐渐转向复合系统脆弱性,如自然-社会系统脆弱性<sup>[19]</sup>、社会-生态系统脆弱性<sup>[20-22]</sup>、人-地系统脆弱性<sup>[23,24]</sup>、人-海系统脆弱性<sup>[25,26]</sup>、人-环境系统脆弱性<sup>[27]</sup>等。近年来,国内学者对经济系统脆弱性的关注度不断提升,逐步由对城市经济系统脆弱性<sup>[28-30]</sup>、海洋经济系统脆弱性<sup>[31-33]</sup>的研究,过渡到旅游经济系统脆弱性研究<sup>[34-41]</sup>等方面。从现有研究成果看,旅游经济系统脆弱性相关研究以典型旅游目的地或旅游城市的案例研究为主,内容涉及旅游经济系统脆弱性测度评价<sup>[34,35]</sup>、时空格局演变<sup>[36,37]</sup>与

影响因素分析<sup>[38-41]</sup>等。但总体来说,目前国内关于旅游经济系统脆弱性的研究仍相对薄弱,缺乏统一的旅游经济系统脆弱性研究框架和综合评价体系,且脆弱性研究方法以集对分析法<sup>[34,39,41]</sup>、主成分分析法<sup>[35]</sup>、TOPSIS法<sup>[37]</sup>、障碍度模型<sup>[36,38,40]</sup>等为主,亟待一些新的方法来充实研究。

当前中国旅游业发展态势迅猛,对经济、社会发展具有明显促进作用,但由于各省(市、区)自然条件和社会经济发展状况各异,旅游业发展特征性明显、水平程度不同,旅游经济系统脆弱性的空间差异性和不均衡性表现较为突出,主要体现在旅游经济发展水平、旅游聚集能力、旅游危机应对能力等方面,而从脆弱性角度出发的省际旅游经济空间分异及其影响因素的研究尚不多见。因此,本文基于系统科学视角,以中国30个省级行政单元(不包括西藏和港澳台地区)作为研究区域,尝试构建旅游经济系统脆弱性综合评价指标体系,运用BP神经网络模型、脆弱性评价指数模型、地理探测器等,在全国尺度范围内进行旅游经济系统脆弱性综合评价研究,明确中国旅游经济系统脆弱性的总体状况、省际空间差异及其影响因素,研究结果可为区域防控旅游危机、科学应对旅游经济系统脆弱性提供参考依据。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 研究方法

#### 2.1.1 指标体系构建

本文在遵循系统性、科学性、全面性等指标体系构建原则的基础上,参考众多已有文献中的脆弱性评价指标体系<sup>[31,34-37]</sup>,以不考虑全球性金融危机、国际贸易战、突发性公共卫生事件、重大自然灾害、大型战争或武装冲突等极端危机事件为前提,从旅游产业、旅游社会支持、旅游生态环境3个方面选取了旅游经济系统的敏感性指标(S1-S17)和应对能力指标(R1-R17),构建出一个相对均衡状态条件下的旅游经济系统脆弱性评价指标体系(表1)。

在应对能力一定的条件下,敏感性与脆弱性呈正相关关系,即敏感性越高,脆弱性越高,反之则相反<sup>[37]</sup>。旅游经济系统敏感性指标主要从旅游产业敏感性(S1-S7)、旅游社会支持敏感性(S8-S14)和旅游生态环境敏感性(S15-S17)3个方面选取。其中,S1

表1 旅游经济系统脆弱性评价指标体系

Table 1 Evaluation index system for tourism economic system vulnerability

目标层	准则层	代码	指标层	指标解释及性质	主观权重	客观权重	组合权重
旅游经济系统脆弱性指数	敏感性指数	S1	旅游收入占GDP比重/%	经济对旅游产业的依赖性(+)	0.0204	0.0196	0.0200
		S2	旅游外汇收入占外贸出口总值比重/%	外汇收入对旅游业的依赖性(+)	0.0473	0.0309	0.0391
		S3	旅游业增长弹性系数	旅游增长对经济增长的弹性(+)	0.0050	0.0038	0.0044
		S4	旅游外汇收入占旅游总收入比重/%	旅游业对入境旅游的依赖程度(+)	0.0079	0.0337	0.0208
		S5	产业结构多样化指数	产业结构多样化程度(-)	0.0078	0.0064	0.0071
		S6	入境旅游人数占游客总人数比重/%	旅游业对入境游客的吸引力(+)	0.0766	0.0902	0.0834
		S7	外贸依存度/%	旅游经济内外需求的平衡性(+)	0.0784	0.0698	0.0741
		S8	旅游业从业人数占总从业人数比重/%	地区就业对旅游业的依赖度(+)	0.0112	0.0226	0.0169
		S9	城镇登记失业率/%	城镇失业状况(+)	0.0043	0.0119	0.0081
		S10	交通事故发生数/起	内部灾害事故发生情况(+)	0.0522	0.0492	0.0507
		S11	交通事故伤亡人数/人	游客交通安全性(+)	0.0496	0.0438	0.0467
		S12	交通事故财产损失/万元	交通事故对经济发展的影响(+)	0.0303	0.0293	0.0298
		S13	文盲率/%	地区文化教育普及和发达程度(+)	0.0313	0.0307	0.0310
		S14	犯罪率/%	社会环境安全性(+)	0.0623	0.0591	0.0607
		S15	自然灾害经济损失占比/%	自然灾害对经济发展的影响(+)	0.1079	0.0369	0.0724
		S16	自然灾害受灾人口比重/%	自然灾害对游客安全的影响(+)	0.0259	0.0367	0.0313
		S17	森林覆盖率/%	地区自然生态状况(-)	0.0754	0.0764	0.0759
应对能力指数		R1	人均旅游GDP/万元	旅游经济实力(-)	0.0036	0.0134	0.0085
		R2	旅游收入增长率/%	旅游经济增长能力(-)	0.0129	0.0157	0.0143
		R3	旅游劳动生产率/%	旅游产品生产效率(-)	0.0323	0.0357	0.0340
		R4	旅游资源丰富度/分	旅游资源禀赋(-)	0.0093	0.0089	0.0091
		R5	食宿企业收入比重/%	地区食宿接待能力(-)	0.0276	0.0264	0.0270
		R6	社会消费品零售总额/亿元	地区消费接待能力(-)	0.0089	0.0121	0.0105
		R7	公共服务支出占财政支出比重/%	公共服务财政支持力度(-)	0.0358	0.0346	0.0352
		R8	教育支出占财政支出比重/%	教育财政支持力度(-)	0.0267	0.0259	0.0263
		R9	等级公路、铁路网密度/(km/km <sup>2</sup> )	地区交通运输接待能力(-)	0.0204	0.0186	0.0195
		R10	互联网普及率/%	信息化服务程度(-)	0.0310	0.0374	0.0342
		R11	邮电业务量/亿元	信息传递服务能力(-)	0.0136	0.0228	0.0182
		R12	文化体育投资占比/%	居民休闲环境投入能力(-)	0.0153	0.0125	0.0139
		R13	城镇化率/%	城镇化发展情况(-)	0.0091	0.0141	0.0116
		R14	医疗卫生机构数/个	医疗救援能力(-)	0.0121	0.0257	0.0189
		R15	生活垃圾无害化处理率/%	生活废弃物处理能力(-)	0.0251	0.0197	0.0224
		R16	工业固体废物综合利用率/%	工业废弃物处理能力(-)	0.0149	0.0127	0.0138
		R17	环境保护投资增长率/%	旅游发展环境支持保障度(-)	0.0096	0.0168	0.0132

注:各项指标性质的(+)(-)判断是相对于旅游经济系统脆弱性而定的,旅游业增长弹性系数=旅游经济年增长率/GDP年增长率×100%;产业结构多样性指数= $\sum I_i \times \ln I_i$ ,其中 $I_i$ 为第 $i$ 次产业增加值占GDP比重;登记失业率=登记失业人数/(登记失业人数+登记从业人数)×100%;旅游劳动生产率=旅游业接待人数/(星级饭店工作人员+景区工作人员+旅行社工作人员);旅游资源丰富度=5A×10+4A×7+3A×5(5A级10分,4A级7分,3A级5分);食宿企业收入比重=(住宿企业客房收入+连锁餐饮企业营业额)/GDP×100%;等级公路、铁路网密度=道路总长度/区域总面积;文化体育投资能力=文化、体育和娱乐业全社会固定资产投资/全社会固定资产投资×100%。

(旅游收入占GDP比重)反映了经济发展对旅游产业的依赖性,比重越大,敏感性越高;S2(旅游外汇收入占外贸出口总值比重)和S4(旅游外汇收入占旅游总收入比重)分别反映了外汇收入对旅游业的依赖性和旅游业对入境旅游的依赖性,二者均与旅游经济敏感性呈正相关关系;S3(旅游业增长弹性系数)体现了旅游增长对经济增长的弹性,弹性系数值越大,敏感性越高;S5(产业结构多样化指数)代表了地区产业结构的多样化程度,指数越低则旅

游经济敏感性越高;S6(入境旅游人数占游客总人数比重)反映了旅游业对入境游客的吸引力,入境旅游比国内旅游更容易受到各种突发因素的影响,因此入境旅游人数占游客总人数比重越大,旅游经济敏感性越高;S7(外贸依存度)可以度量地区旅游经济内外需求的平衡性,外贸依存度越高,表明旅游经济受外需影响越大,则旅游经济敏感性越高;S8(旅游业从业人数占总从业人数比重)和S9(城镇登记失业率)分别反映了地区就业对旅游业的依赖

2019年12月

度和城镇失业状况,与旅游经济敏感性呈正相关;S10(交通事故发生数)、S11(交通事故伤亡人数)、S12(交通事故财产损失)和S14(犯罪率)分别从不同方面反映了旅游经济发展的外部安全性,S13(文盲率)反映了地区文化教育普及和发达程度,它们均与旅游经济敏感性呈正相关;S15(自然灾害经济损失占比)和S16(自然灾害受灾人口比重)分别反映了自然灾害对经济发展和游客安全的影响程度,自然灾害经济损失和受灾人口比重越大,旅游经济的敏感性越高;S17(森林覆盖率)是反映地区自然生态状况的指标,森林覆盖率越高,说明旅游生态环境质量越高,则旅游经济的敏感性越低。

在敏感性一定的条件下,应对能力与脆弱性呈负相关关系,即应对能力越强,脆弱性越低,反之则相反<sup>[37]</sup>。旅游经济系统应对能力指标主要从旅游产业应对能力(R1-R6)、旅游社会支持应对能力(R7-R14)和旅游生态环境应对能力(R15-R17)3个方面选取。其中,R1(人均旅游GDP)和R2(旅游收入增长率)分别反映了地区旅游经济的整体实力和增长能力,二者均与旅游经济应对能力之间呈正相关关系;R3(旅游劳动生产率)反映了旅游产品生产效率高,旅游经济应对能力越强;R4(旅游资源丰富度)可用来衡量地区旅游资源禀赋,旅游资源丰富度越高,旅游经济应对能力越强;R5(食宿企业收入比重)和R6(社会消费品零售总额)分别反映了地区食宿接待能力和消费接待能力,与旅游经济应对能力呈正相关;R7(公共服务支出占财政支出比重)和R8(教育支出占财政支出比重)通过影响公共服务质量来影响旅游经济应对能力,公共服务支出和教育支出比重越大,旅游经济应对能力越强;R9(等级公路、铁路网密度)、R10(互联网普及率)和R11(邮电业务量)分别是反映旅游交通和旅游信息的指标,与旅游经济应对能力呈正相关;R12(文化体育投资占比)和R13(城镇化率)分别反映了居民休闲环境投入能力和城镇化发展情况,同样与旅游经济应对能力呈正相关;R14(医疗卫生机构数)反映了医疗救援能力,救援能力越强,旅游经济应对能力也越强;R15(生活垃圾无害化处理率)和R16(工业固体废弃物综合利用率)分别反映了生活废弃物处理能力和工业废弃物处理能力,

R17(环境保护投资增长率)反映了旅游发展环境支持保障度,以上3个指标直接影响到旅游生态环境质量,进而影响了旅游经济应对能力,与旅游经济应对能力呈正相关。

### 2.1.2 主客观综合赋权法

层次分析法(AHP)是一种典型的主观赋权法,主要依据该领域专家的经验 and 掌握的专业知识对指标的重要程度进行确定<sup>[42]</sup>;熵值法(EVM)是相对客观的一种赋权方法,能够有效克服信息重叠及主观因素带来的偏差<sup>[43]</sup>。为了使指标赋权更具科学性,本文采用层次分析法(AHP)与熵值法(EVM)相结合的主客观综合赋权法来确定指标权重,具体计算过程如下:

根据层次分析法得到主观权重向量 $\mathbf{v}$ :

$$\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T \quad (1)$$

根据熵值法得到客观权重向量 $\mathbf{u}$ :

$$\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T \quad (2)$$

根据公式  $\mathbf{w} = \alpha\mathbf{v} + (1-\alpha)\mathbf{u}$ , 得到组合权重向量 $\mathbf{w}$ :

$$\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T \quad (3)$$

式中: $n$ 为变量个数; $T$ 表示矩阵的转置; $\alpha$ 代表主观权重所占比例; $1-\alpha$ 代表客观权重所占比例。

以组合权重与主客观权重之间的偏差平方和最小为目标,建立目标函数:

$$\min Z = \sum_{j=1}^n [(w_j - v_j)^2 + (w_j - u_j)^2] \quad (4)$$

式中: $Z$ 为组合权重与主客观权重的偏差平方和; $w_j$ 为第 $j$ 项指标的组合权重; $v_j$ 为第 $j$ 项指标的主观权重; $u_j$ 为第 $j$ 项指标的客观权重( $j=1, 2, \dots, n$ )。通过对上式求导,并令一阶导数为零,解得 $\alpha=0.5$ <sup>[44]</sup>。

### 2.1.3 旅游经济系统脆弱性评价模型构建

#### (1) 评价模型

BP神经网络是一种多层前馈网络,根据误差逆传播算法训练,非线性模拟和自学习、自组织、自适应能力很强,适合处理旅游经济系统脆弱性与其影响因素之间这种高度复杂的非线性关系。本文首先采用BP人工神经网络模型来评价旅游经济系统的敏感性以及应对能力,然后选取脆弱性指数( $V_i$ )模型对各省(市、区)旅游经济系统的脆弱性指数进行计算。

$$V_i = S_i/R_i \quad (5)$$

式中： $V_i$ 为中国*i*省(市、区)的旅游经济系统脆弱性指数； $S_i$ 为中国*i*省(市、区)的旅游经济系统敏感性指数； $R_i$ 为中国*i*省(市、区)的旅游经济系统应对能力指数。

(2)训练样本设计

关于旅游经济系统脆弱性目前尚没有统一的分级标准,本文在参考已有研究成果的基础上<sup>[31]</sup>,结合相关专家意见,依据系统敏感性和应对能力指标值的分布情况,把中国各省(市、区)旅游经济系统的各个指标值分成3个等级(高、中、低)(表2),分别代表3种不同评价标准。利用BP神经网络的线性插值技术,在每个区间内等距插入100个值(一个指标有300个值),随机抽取50个样本作为测试样本和检验样本进行监测训练。

(3)网络结构

神经网络中的处理单元一般分为输入层、隐藏层和输出层,神经元之间的连接方式可分为层间互联和层内互联。根据文中所构建的评价指标体系,选取了一个三层的BP网络模型来评价旅游经济系统的敏感性和应对能力。网络中的神经元及输出神经元分别对应旅游经济系统中的各个指标及其

指标指数,根据网络拓扑结构的操作方法确定输入层—隐藏层—输出层个数为16—17—1(图1)。

(4)网络训练与模拟

运用Matlab软件对评价网络进行训练,两个评价网络的训练样本误差在分别进行40次、45次训练之后达到目标值。把2017年中国30个省(市、区)(不包括西藏及港澳台地区)旅游经济系统敏感性及相关数据对应导入已经训练好的网络模型中,再根据脆弱性评价指数公式,计算得出中国各地区旅游经济系统脆弱性评价结果(表3)。

2.1.4 地理探测器

地理探测器是探测和利用空间分异性的工具,主要由风险探测、因子探测、生态探测和交互探测组成,其核心思想为:假设某个因变量受某个自变量影响较大,那么这两个变量的空间分布则具有相似性<sup>[45-47]</sup>。本文主要利用地理探测器中的交互探测、因子探测和生态探测综合分析旅游经济系统脆弱性空间分异的影响因素及因子之间的交互作用。

2.2 数据来源

本文选取中国30个省级行政单元(不包括西藏和港澳台地区)为研究区,由于数据获取困难,本研究暂不把中国西藏地区和港澳台地区放入案例

表2 中国旅游经济系统敏感性及应对能力评价标准

Table 2 Standards of sensitivity and response capacity assessments for the tourism economic system in China

S	低	中	高	R	低	中	高
S1	[0.05,0.14)	[0.14,0.23)	[0.23,0.31)	R1	[0.22,0.81)	[0.81,1.40)	[1.40,1.99]
S2	[0.00,0.03)	[0.03,0.05)	[0.05,0.08)	R2	[-0.23,0.02)	[-0.02,0.19)	[0.19,0.40]
S3	[-5.71,6.49)	[6.49,18.69)	[18.69,30.89]	R3	[987.53,3419.22)	[3419.22,5850.90)	[5850.90,8282.59]
S4	[0.00,0.04)	[0.04,0.08)	[0.08,0.11)	R4	[170.00,1026.67)	[1026.67,1883.33)	[1883.33,2740.00]
S5	[-1.03,-0.87)	[-0.87,-0.72)	[-0.72,-0.56]	R5	[27.33,100.45)	[100.45,173.56)	[173.56,246.68]
S6	[0.00,0.04)	[0.04,0.07)	[0.07,0.10)	R6	[314.90,5016.12)	[5016.12,9717.33)	[9717.33,14418.55]
S7	[0.05,0.43)	[0.43,0.82)	[0.82,1.21)	R7	[0.05,0.08)	[0.08,0.10)	[0.10,0.13]
S8	[0.16,0.51)	[0.51,0.85)	[0.85,1.20)	R8	[0.12,0.15)	[0.15,0.17)	[0.17,0.20]
S9	[1.30,2.37)	[2.37,3.43)	[3.43,4.50)	R9	[1.29,9.47)	[9.47,17.66)	[17.66,25.8]
S10	[1029.00,9501.00)	[9501.00,17973.00)	[17973.00,26445.00]	R10	[34.10,47.83)	[47.83,61.57)	[61.57,75.30]
S11	[1526.00,12920.67)	[12920.6,24315.33)	[24315.33,35710.00]	R11	[80.75,1171.62)	[1171.62,2262.48)	[2262.48,3353.35]
S12	[462.90,2748.73)	[2748.73,5034.57)	[5034.57,7320.40]	R12	[0.00,0.01)	[0.01,0.02)	[0.02,0.03]
S13	[0.01,0.04)	[0.04,0.08)	[0.08,0.11)	R13	[0.40,0.57)	[0.57,0.73)	[0.73,0.90]
S14	[0.00,0.01)	[0.01,0.02)	[0.02,0.03)	R14	[79.32,257.62)	[257.62,435.92)	[435.92,614.25]
S15	[0.00,0.02)	[0.02,0.03)	[0.03,0.05)	R15	[0.00,0.02)	[0.02,0.04)	[0.04,0.06]
S16	[0.00,0.23)	[0.23,0.46)	[0.46,0.69)	R16	[30.02,36.69)	[36.69,43.36)	[43.36,50.03]
S17	[17.26,33.29)	[33.29,49.32)	[49.32,65.35]	R17	[0.03,0.05)	[0.05,0.08)	[0.08,0.11]

2019年12月

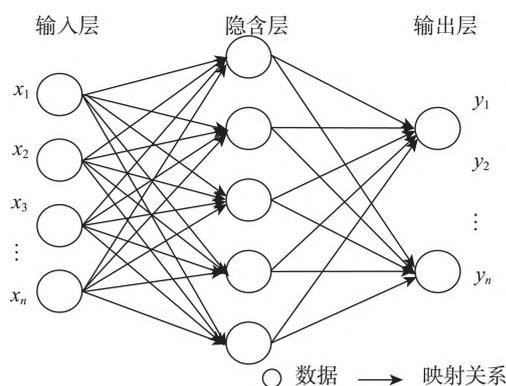


图1 BP神经网络拓扑结构图

Figure 1 The architecture of the back propagation (BP) neural network

区。各指标所使用的数据来源分别为:S1、S2、S3、S4、S5、S7、S9、S10、S11、S12、S13、S15、S16、S17、R1、R2、R4、R5、R6、R9、R10、R11、R12、R13、R14、R15、R16、R17的指标统计数据来源于2018年《中国统计年鉴》<sup>[48]</sup>;S6、S8、R3、R7、R8的指标统计数据来源于2018年《中国旅游统计年鉴》<sup>[49]</sup>;S14的指标统计数据来源于2018年《中国法律年鉴》<sup>[50]</sup>以及部分省市的2018年司法报告;由于社会保障支出是社会性公共支出的主要部分,因此用R7公共服务支出占财政支出比重来测度社会保障系数;青海、宁夏地区连锁餐饮企业营业额缺失,以最小值海南省数据代替;

其余的个别缺失数据通过算术平均值法进行处理。地图数据来自国家测绘局1:400万基础地理信息数据库。

### 3 结果与分析

#### 3.1 旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力总体评价与空间分异特征

##### 3.1.1 旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力“等级化”分异特征

根据旅游经济系统脆弱性指数,采用自然断裂点分级法,分别将旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力划分为低度、中等、较高、高度4个等级,并利用ArcGIS绘制出中国旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力的空间分布图(图2)。根据测算分析,各省(市、区)旅游经济系统脆弱性指数平均值为0.915,说明中国旅游经济系统整体处于较高脆弱状态。对地区数量进行分级统计分析,发现处于中等脆弱和低度脆弱的省份数量均为10个,两者总和占省份总数的66.67%,处于较高脆弱和高度脆弱的省份数量分别为9个和1个,分别占省份总数的30.00%和3.33%,表明中国旅游经济系统脆弱性等数量呈现中部和底部多、顶部少的分布特征。各省(市、区)旅游经济系统敏感性指数平均值为

表3 2017年中国各省(市、区)旅游经济系统敏感性、脆弱性、应对能力指数

Table 3 Sensitivity, vulnerability, and coping ability index values of the tourism economic system of 30 provinces (municipalities, autonomous regions) in China's mainland, 2017

省份	S	R	V	省份	S	R	V
北京	0.178	0.124	1.438	河南	0.104	0.187	0.556
天津	0.132	0.187	0.706	湖北	0.115	0.170	0.678
河北	0.098	0.187	0.523	湖南	0.142	0.155	0.913
山西	0.091	0.204	0.446	广东	0.374	0.124	3.019
内蒙古	0.147	0.195	0.756	广西	0.139	0.178	0.778
辽宁	0.107	0.197	0.544	海南	0.203	0.171	1.189
吉林	0.102	0.266	0.383	重庆	0.140	0.191	0.729
黑龙江	0.100	0.267	0.375	四川	0.148	0.204	0.727
上海	0.229	0.156	1.471	贵州	0.142	0.215	0.66
江苏	0.163	0.122	1.333	云南	0.227	0.198	1.148
浙江	0.242	0.121	1.989	陕西	0.147	0.174	0.846
安徽	0.188	0.166	1.13	甘肃	0.091	0.256	0.356
福建	0.198	0.152	1.303	宁夏	0.106	0.251	0.423
江西	0.092	0.173	0.533	青海	0.089	0.208	0.430
山东	0.143	0.101	1.414	新疆	0.138	0.215	0.644

注:S为敏感性;R为应对能力;V为脆弱性。

0.151,说明中国旅游经济系统整体处于中等敏感状态。处于低度敏感和中等敏感的省份数量分别为11个和12个,两者总和占省份总数的76.67%,处于较高敏感和高度敏感的省份数量分别为6个和1个,分别占省份总数的20.00%和3.33%,表明中国旅游经济系统敏感性等级数量分布特征与脆弱性等级数量分布特征较为相似。各省(市、区)旅游经济系统应对能力平均值为0.184,说明中国旅游经济系统整体处于较高应对能力状态。处于中等应对能力和较高应对能力的省份数量分别为9个和12个,分别占省份总数的30.00%和40.00%,处于低度应对能力和高度应对能力的省份数量分别为5个和4个,分别占省份总数的16.67%和13.33%,表明中国旅游经济系统应对能力等级数量呈现中间多,两头少的分布特征。

**3.1.2 旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力“集群化”分异特征**

从图2中可以看出,就脆弱性而言,旅游经济系统脆弱性较高的省份主要分布在东部沿海地区,且表现出一定的“集群化”特征,旅游经济系统脆弱性中等的省份包括新疆、内蒙古、陕西、天津、四川、重庆、湖北、湖南、贵州、广西,呈现出显著的“J”型分布特征。就敏感性而言,处于旅游经济系统低度敏感的省份在空间上呈现出以青海、甘肃、宁夏3省集聚的“块状”分布特征,和以东北三省、河北、山西、河南、湖北、江西共8个省份集聚的“条状”分布特征,处于旅游经济系统中等敏感的省份除北京、天津、山东、江苏以外,还包括新疆、内蒙古、陕西、四川、

重庆、湖南、广西、贵州,同样呈现出与旅游经济系统中等脆弱水平相似的“J”型分布特征。就应对能力而言,处于旅游经济系统较高和高度应对能力的省份主要分布在东北部地区、中部部分地区以及西部广大地区,处于旅游经济系统中等和低度应对能力的省份包括陕西、湖北、湖南、安徽、江西、福建、上海、广西、海南、山东、江苏、浙江、广东、北京,同样呈现出明显的集聚分布特征。整体来说,中国旅游经济系统脆弱性存在省际空间分异,且相同的旅游经济系统脆弱性等级类型集聚效应明显。就三大区域而言,东部地区省份的旅游经济系统跨越了低度脆弱、中等脆弱、较高脆弱和高度脆弱4个等级,呈现出旅游经济系统脆弱性内部差异显著、区域不平衡突出的特征;中部和西部地区省份的旅游经济系统均跨越了低度脆弱、中等脆弱和较高脆弱3个等级,表明中西部地区的旅游经济系统脆弱性内部差异较不明显,区域平衡性高于东部地区。

**3.1.3 旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力“极差化”分异特征**

本文引入平均值、极差、标准差和变异系数来分析中国旅游经济系统脆弱性的区域空间差异特征(表4)。全国30个省级行政单元(不包括西藏及港澳台地区)旅游经济系统脆弱性的极差、标准差和变异系数分别为2.633、0.570、和0.623,表明中国旅游经济系统脆弱性在省域层面差异显著,且存在极化现象。具体来说,旅游经济系统脆弱性指数最高值为广东省,约为全国平均值的3.289倍,脆弱性指数最低值为甘肃省,约为全国平均值的0.389

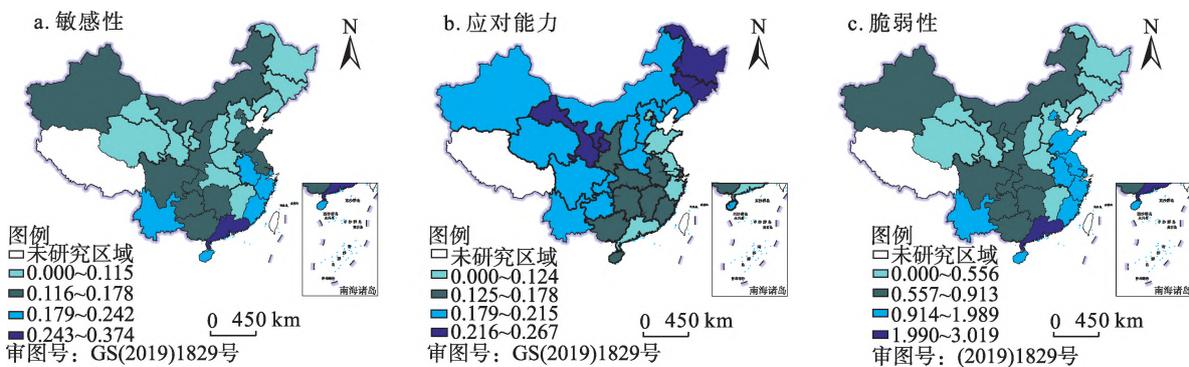


图2 2017年中国各省(市、区)旅游经济系统敏感性(a)、应对能力(b)、脆弱性(c)等级空间分布图

Figure 2 The hierarchical spatial distribution of sensitivity (a), coping ability (b), and vulnerability (c) of the tourism economic system of 30 provinces (municipalities, autonomous regions) in China's mainland, 2017

2019年12月

表4 2017年中国各省(市、区)旅游经济系统敏感性、应对能力、脆弱性的平均值、极差、标准差及变异系数

Table 4 The mean, range, standard deviation, and coefficient of variation of vulnerability, sensitivity, and coping capacity of the tourism economic system of 30 provinces (municipalities, autonomous regions) in China's mainland, 2017

		平均值	极差	标准差	变异系数
东部	S	0.184	0.276	0.075	0.408
	R	0.205	0.143	0.043	0.210
	V	1.224	2.589	0.725	0.592
中部	S	0.120	0.097	0.033	0.275
	R	0.163	0.086	0.030	0.184
	V	0.647	0.928	0.289	0.447
西部	S	0.137	0.138	0.041	0.299
	R	0.176	0.150	0.044	0.250
	V	0.770	1.082	0.350	0.455
全国	S	0.151	0.284	0.061	0.404
	R	0.184	0.166	0.043	0.234
	V	0.915	2.663	0.570	0.623

倍。就旅游经济系统敏感性和应对能力而言,同样存在显著的省际区域差异和极化现象,敏感性指数最高值同样为广东省,约为全国敏感性平均值的2.476倍,敏感性指数最低值为青海省,约为全国敏感性平均值的0.589倍,应对能力指数最高值为黑龙江省,约为全国应对能力指数平均值的1.451倍,最低值为山东省,约为全国平均值的0.548倍。针对区域整体敏感性、应对能力和脆弱性,将三大区域<sup>①</sup>平均值与全国平均值相比较,可看出三大区域之间差异明显。东部、中部、西部地区旅游经济系统敏感性平均值分别为0.184、0.120和0.137,而全国旅游经济系统敏感性平均值为0.151,表明东部地区的旅游经济系统敏感性高于全国平均水平,而中部和西部地区的旅游经济系统敏感性均低于全国平均水平,旅游经济系统脆弱性情况与之相似。这是由经济、社会、自然等诸多因素共同作用形成的,东部地区城市化发展较快,尤其是珠三角、长三角地区对外开放程度高,旅游业发展受出入境旅游和国际外部非稳定环境的影响较大,且东部地区地处环太平洋带,遭遇台风、洪涝灾害、风暴潮灾害等自然灾害的可能性大,因此使得其旅游经济系统敏感性和脆弱性程度高;西部地区生态环境恶劣,自然

灾害频繁,也严重影响了其旅游经济系统敏感性和脆弱性;与东部和西部地区相比,中部地区由于其地理位置、生态环境、社会经济等方面特征,旅游经济遭受内部和外部环境影响的可能性最低,因此其旅游经济系统敏感性和脆弱性程度也最低。与全国旅游经济系统应对能力平均值相比,东部地区的旅游经济系统应对能力同样高于全国平均水平,中部和西部地区的旅游经济系统应对能力同样低于全国水平,这是因为旅游经济系统应对能力很大程度上依赖于区域经济条件,东部地区经济实力较强,能够通过投资、管理等方式提高区域教育和医疗水平,改善基础设施条件等,从而为旅游经济发展提供良好的外部环境支撑,提升其旅游经济系统风险应对能力。中西部地区的经济发展水平明显不如东部地区,因此其旅游经济系统风险应对能力也较弱。

### 3.2 旅游经济系统脆弱性空间分析的影响因素分析

首先借助主成分分析法提取出5个因子,分别为S5(产业结构多样化指数)、R8(教育支出占财政支出比重)、S6(入境旅游人数占游客总人数比重)、R2(旅游收入增长率)、S4(旅游外汇收入占旅游总收入比重),然后借助地理探测器进行影响因素分析。

#### 3.2.1 因此探测分析

因子探测用于探测各因子多大程度上解释了旅游经济系统脆弱性的空间分异<sup>[51]</sup>,其解释程度用 $q$ 值来表示。由表5可知,S5(产业结构多样化指数)的 $q$ 值为0.576,在5个因子中 $q$ 值最大,说明S5(产业结构多样化指数)是中国旅游经济系统脆弱性空间分异的最主要影响因素。多样化的产业结构是保持旅游经济系统长期稳定的重要前提条件,长期依靠单一产业发展,会导致旅游经济系统在面临内部调整和外部冲击时,出现“断崖式”的发展风险,

表5 地理探测器的因子探测结果

	S5	R8	S6	R2	S4
$q$ statistic	0.576	0.487	0.564	0.502	0.271
$p$ value	0.028	0.179	0.052	0.012	0.213

① 东部包括辽宁、河北、北京、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南,共11个;中部包括黑龙江、吉林、山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西,共8个;西部包括内蒙古、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、四川、云南、贵州、西藏、重庆、广西,共12个。

因此各地区应根据实际情况,积极调整产业结构,促进产业结构向多元化方向发展,以此来降低旅游经济系统的敏感性及脆弱性程度。 $S_6$ (入境旅游人数占游客总人数比重)和 $R_2$ (旅游收入增长率)的 $q$ 值分别为0.564和0.502, $q$ 值均大于0.500,说明其对旅游经济系统脆弱性的空间分异有较大影响。外向型旅游经济活动往往与外部环境变化密切相关,如国际金融环境、政策连续性以及政府对外关系等,这直接影响到旅游经济系统的敏感性程度,由于入境旅游市场难以控制,过高依赖入境旅游的地区在面临外界环境的扰动时,其旅游经济系统更容易受到破坏。对入境旅游依赖程度较高的地区应注意调整旅游客源市场结构,以降低旅游经济系统的敏感性,推动区域旅游经济可持续发展。较高的旅游收入增长率反映了旅游经济发展的良好态势,有利于增强对旅游发展的经济支撑,提高旅游经济系统的应对能力。因此,促进地区旅游经济发展、提高旅游经济实力是降低旅游经济系统脆弱性的重要途径。 $R_8$ (教育支出占财政支出比重)的 $q$ 值为0.487, $q$ 值小于0.500,说明其对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响较小。 $S_4$ (旅游外汇收入占旅游总收入比重)的 $q$ 值为0.271,说明其对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响最小,这与中国目前国内旅游收入在旅游业总收入中占主体的现实情况相一致。

### 3.2.2 交互探测分析

交互探测可以识别不同因子之间共同作用是否增加或减弱对旅游经济系统脆弱性空间分异的解释程度。因子交互探测的结果显示(表6), $S_4$ (旅游外汇收入占旅游总收入比重)与 $S_5$ (产业结构多样化指数)的交互值为0.857,与 $S_6$ (入境旅游人数占游客总人数比重)的交互值为0.709,与 $R_2$ (旅游收入增长率)的交互值为0.679,与 $R_8$ (教育支出占

财政支出比重)的交互值为0.693,均大于 $S_4$ (旅游外汇收入占旅游总收入比重)的单独作用值0.562,说明 $S_4$ (旅游外汇收入占旅游总收入比重)与其他因子两两交互后,对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响起到了双因子增强的效果,且 $S_4$ (旅游外汇收入占旅游总收入比重)与 $S_5$ (产业结构多样化指数)的交互值最高,表明这2个因子交互后对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响最大。同理,其余任何两个因子之间的交互作用值均大于其中某个因子的单独作用值,这说明单个因子对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响较小,但都对其发挥着同向作用,而因子间的交互作用会增强对旅游经济系统脆弱性空间分异的解释力度,即旅游经济系统脆弱性空间分异特征不是由单一影响因素造成的,而是不同影响因素共同作用的结果。因此,在制定区域旅游经济可持续发展策略时,应充分考虑各影响因素的单独作用特点,以及不同影响因素的交互作用效果,采取差异化多元调控策略,避免因子间的相互作用增强对旅游经济系统脆弱性的影响程度。

### 3.2.3 生态探测分析

生态探测用来探究2个因子对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响是否存在显著差异,“Y”表示两个影响因子间的相对重要性显著,“N”表示两个影响因子间的相对重要性不显著。由生态探测结果可知(表7), $S_5$ (产业结构多样化指数)与 $S_4$ (旅游外汇收入占旅游总收入比重)相比较对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响存在显著差异; $S_6$ (入境旅游人数占游客总人数比重)与 $S_4$ (旅游外汇收入占旅游总收入比重)相比较对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响存在显著差异,与 $S_5$ (产业结构多样化指数)相比较对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响不存在显著差异; $R_2$ (旅游收入增长率)与 $S_4$ (旅游外汇收入占旅游总收入比重)相比较对旅游

表6 地理探测器的交互探测结果

Table 6 Interactive detection results of geographical detectors

	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$R_2$	$R_8$
$S_4$	0.562				
$S_5$	0.857	0.452			
$S_6$	0.709	0.769	0.571		
$R_2$	0.679	0.781	0.710	0.562	
$R_8$	0.693	0.743	0.773	0.679	0.278

表7 地理探测器的生态探测结果

Table 7 Ecological detection results of geographical detectors

	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$R_2$	$R_8$
$S_4$					
$S_5$	Y				
$S_6$	Y	N			
$R_2$	Y	N	N		
$R_8$	Y	N	N	N	

2019年12月

经济系统脆弱性空间分异的影响存在显著差异,与S5(产业结构多样化指数)、S6(入境旅游人数占游客总人数比重)2个因子相比较对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响均不存在显著差异;R8(教育支出占财政支出比重)与S4(旅游外汇收入占旅游总收入比重)相比较对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响存在显著差异,与其他3个因子相比较对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响均不存在显著差异。以上结果更进一步证明产业结构多样化指数对中国旅游经济系统脆弱性空间分异具有重要影响作用,因此,在中国经济高质量发展的时代背景下,研究区域产业结构多样化问题,具有重大的现实意义,同时也为各区域制定旅游经济可持续发展策略提供了可参考的方向。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文以中国30个级行政单元(不包括西藏和港澳台地区)为研究区域,在探讨旅游经济系统脆弱性内涵的基础上,从敏感性和应对能力两个方面构建旅游经济系统脆弱性评价指标体系,运用BP神经网络模型、脆弱性评价指数模型、地理探测器等研究方法,对中国旅游经济系统脆弱性省际空间分异特征及影响因素进行分析,得到如下结论:

(1)中国旅游经济系统整体处于较高脆弱、中等敏感、较高应对能力状态。根据等级数量统计分析结果,旅游经济系统敏感性等级数量与脆弱性等级数量均呈现中部和底部多、顶部少的分布特征,而旅游经济系统应对能力等级数量呈现中间多,两头少的分布特征。

(2)中国旅游经济系统脆弱性省际空间分异明显,且脆弱性、敏感性和应对能力均呈现“集群化”分布特征。东部地区旅游经济系统脆弱性内部差异显著、区域不平衡现象突出,中部和西部地区旅游经济系统脆弱性内部差异较不明显,区域平衡性高于东部地区。

(3)中国旅游经济系统脆弱性、敏感性和应对能力呈现出“极差化”分异特征。东部地区的旅游经济系统敏感性、脆弱性和应对能力均高于全国平均水平,中部和西部地区的旅游经济系统敏感性、脆弱性和应对能力均低于全国平均水平,这是由区

域地理环境、社会经济发展状况等多方面原因共同导致的。

(4)产业结构多样化指数是中国旅游经济系统脆弱性空间分异的最主要影响因素,多样化的产业结构是保持旅游经济系统长期稳定的重要前提条件。入境旅游人数占游客总人数比重和旅游收入增长率对旅游经济系统脆弱性的空间分异有较大影响,旅游外汇收入占旅游总收入比重对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响最小。

(5)单个因子对旅游经济系统脆弱性空间分异的影响较小,但都对其发挥着同向作用,因子间的交互作用会增强对旅游经济系统脆弱性空间分异的解释力度,旅游经济系统脆弱性空间分异是不同影响因素共同作用的结果。

### 4.2 讨论

随着大众旅游、全域旅游时代的到来,我国旅游业亟待转型发展、提质增效。开展旅游经济系统脆弱性评价与影响因素分析,是探讨旅游经济健康、绿色、可持续发展的重要科学途径,也是在全域旅游背景下不断提升旅游经济发展质量的客观要求,具有十分重要的现实和理论意义。本文通过构建旅游经济系统脆弱性综合评价指标体系,运用BP神经网络模型和脆弱性评价指数模型等方法,对中国旅游经济系统脆弱性进行了总体评价、省际空间分异研究。但本文在旅游经济系统脆弱性评价指标体系的构建方面,尚不够全面和完善,还有待于进一步完善和优化。同时,受于统计数据和资料获取难度大的限制,本文只对2017年中国30个省级行政单元(不包括西藏和港澳台地区)的旅游经济系统脆弱性作了横向比较,对时间纵向演化尚未研究,而较长时间尺度的面板数据可能会更好地反映出旅游经济系统脆弱性时空演化规律,并可以更加准确地辨析其主要影响因素,因此这将是下一步研究的主要方向之一。由于中国省域之间在地理区位、旅游资源、自然环境、社会经济发展等方面存在巨大差异,旅游经济脆弱性也呈现出不同的地方化特征和多因素交互胁迫作用,如何准确识别核心影响因素及其交互作用,并结合不同区域的旅游经济脆弱性的特点,寻求降低区域旅游经济系统脆弱性的方法和策略,对区域旅游经济系统脆弱性进

行积极调控,也是目前和今后研究中需要突破的重点。

### 参考文献(References):

- [1] Kates R W, Clark W C, Corel R, et al. Environment and development: Sustainability science[J]. *Science*, 2001, 292(5517): 641-642.
- [2] Turner B L, Kasperson R E, Matson P A, et al. A frame work for vulnerability analysis in sustainability science[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [3] Janssen M A, Schoon M L, Ke W, et al. Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change[J]. *Global Environmental Change*, 2006, 16(3): 240-252.
- [4] 杨飞, 马超, 方华军. 脆弱性研究进展: 从理论研究到综合实践[J]. *生态学报*, 2019, 39(2): 441-453. [Yang F, Ma C, Fang H J. Research progress of vulnerability: From theoretical research to comprehensive practice[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(2): 441-453.]
- [5] 唐波, 邱锦安, 彭永超, 等. 基于 CiteSpace 国内脆弱性的知识图谱和研究进展[J]. *生态经济*, 2018, 34(5): 172-178. [Tang B, Qiu J A, Peng Y C, et al. Knowledge structure and progress of China's vulnerability research: An analysis based on CiteSpace map[J]. *Ecological Economy*, 2018, 34(5): 172-178.]
- [6] 苏飞, 储毓婷, 张平宇. 中国典型旅游城市经济脆弱性及障碍因素分析[J]. *经济地理*, 2013, 33(12): 189-194. [Su F, Chu Y T, Zhang P Y. Analysis of economic vulnerability and obstacle factors of typical tourism cities in China[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(12): 189-194.]
- [7] 李锋. 基于集对分析法(SPA)的中国旅游经济系统脆弱性测度研究[J]. *旅游科学*, 2013, 27(1): 15-28. [Li F. Study of vulnerability measurement of Chinese tourism economic system: Based on SPA[J]. *Tourism Science*, 2013, 27(1): 15-28.]
- [8] Patrick G. Assessing the economic vulnerability of small island developing states and the least developed countries[J]. *Working Papers*, 2010, 46(5): 828-854.
- [9] Csete M, Palvolgyi T, Szendro G. Assessment of climate change vulnerability of tourism in Hungary[J]. *Regional Environmental Change*, 2013, 13(5): 1043-1057.
- [10] Perchnielsen S L. The vulnerability of beach tourism to climate change: An index approach[J]. *Climatic Change*, 2010, 100(3-4): 579-606.
- [11] Scott D, Dawson J, Jones B. Climate change vulnerability of the US northeast winter recreation: Tourism sector[J]. *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 2008, 13(5-6): 577-596.
- [12] 谭丽荣, 陈珂, 王军, 等. 近20年来沿海地区风暴潮灾害脆弱性评价[J]. *地理科学*, 2011, 31(9): 1111-1117. [Tan L R, Chen K, Wang J, et al. Assessment on storm surge vulnerability of coastal regions during the past twenty years[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(9): 1111-1117.]
- [13] 石先武, 国志兴, 张尧, 等. 风暴潮灾害脆弱性研究综述[J]. *地理科学进展*, 2016, 35(7): 889-897. [Shi X W, Guo Z X, Zhang Y, et al. A review of research on vulnerability to storm surges[J]. *Progress in Geography*, 2016, 35(7): 889-897.]
- [14] 李平星, 樊杰. 基于 VSD 模型的区域生态系统脆弱性评价: 以广西西江经济带为例[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(5): 779-788. [Li P X, Fan J. Regional ecological vulnerability assessment of the Guangxi Xijiang River Economic Belt in southwest China with VSD model[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29(5): 779-788.]
- [15] 张德君, 高航, 杨俊, 等. 基于 GIS 的南四湖湿地生态脆弱性评价[J]. *资源科学*, 2014, 36(4): 874-882. [Zhang D J, Gao H, Yang J, et al. Assessment for the ecological vulnerability of Nansihu Wetland based on GIS technology[J]. *Resources Science*, 2014, 36(4): 874-882.]
- [16] 林金煌, 胡国建, 祁新华, 等. 闽三角城市群生态环境脆弱性及其驱动力[J]. *生态学报*, 2018, 38(12): 4155-4166. [Lin J H, Hu G J, Qi X H, et al. Ecological environmental vulnerability and its driving forces in urban agglomeration in the Fujian Delta region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(12): 4155-4166.]
- [17] 刘凯, 任建兰, 程钰, 等. 黄河三角洲地区社会脆弱性评价与影响因素[J]. *经济地理*, 2016, 36(7): 45-52. [Liu K, Ren J L, Cheng Y, et al. Yellow River Delta social vulnerability evaluation and influence factor[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(7): 45-52.]
- [18] 刘伟, 徐洁, 黎洁. 陕南易地扶贫搬迁农户生计脆弱性研究[J]. *资源科学*, 2018, 40(10): 2002-2014. [Liu W, Xu J, Li J. Livelihood vulnerability of rural households under poverty alleviation relocation in southern Shaanxi, China[J]. *Resources Science*, 2018, 40(10): 2002-2014.]
- [19] 周苏娥, 张明军, 王圣杰, 等. 甘肃省河西地区自然-社会系统脆弱性评价[J]. *资源科学*, 2018, 40(2): 452-462. [Zhou S E, Zhang M J, Wang S J, et al. Assessment of vulnerability in natural-social system in Hexi, Gansu[J]. *Resources Science*, 2018, 40(2): 452-462.]
- [20] 陈佳, 杨新军, 尹莎, 等. 基于 VSD 框架的半干旱地区社会-生态系统脆弱性演化与模拟[J]. *地理学报*, 2016, 71(7): 1172-1188. [Chen J, Yang X J, Yin S, et al. The vulnerability evolution and simulation of the social-ecological systems in the semi-arid area based on the VSD framework[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(7): 1172-1188.]
- [21] 常丽博, 骆耀峰, 刘金龙. 哈尼族社会-生态系统对气候变化的脆弱性评估: 以云南省红河州哈尼族农村社区为例[J]. *资源科*

2019年12月

- 学, 2018, 40(9): 1787-1799. [Chang L B, Luo Y F, Liu J L. Hani minority social-ecological system vulnerability assessment to climate change: A case study of Hani minority rural community in Honghe Prefecture, Yunnan Province[J]. Resource Science, 2018, 40(9): 1787-1799.]
- [22] 王群, 银马华, 杨兴柱, 等. 大别山贫困区旅游地社会-生态系统脆弱性时空演变与影响机理[J]. 地理学报, 2019, 74(8): 1663-1679. [Wang Q, Yin M H, Yang X Z, et al. Spatio-temporal evolution and impact mechanism of socio-ecological system vulnerability in poor mountainous tourist destinations: Taking Dabie Mountain Area as example[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(8): 1663-1679.]
- [23] 张立新, 杨新军, 陈佳, 等. 大遗址区人地系统脆弱性评价及影响机制: 以汉长安城大遗址区为例[J]. 资源科学, 2015, 37(9): 1848-1859. [Zhang L X, Yang X J, Chen J, et al. Vulnerability assessment and mechanism of human-land systems in the Han Dynasty Chang'an large relic area[J]. Resources Science, 2015, 37(9): 1848-1859.]
- [24] 宋永永, 米文宝, 仲俊涛, 等. 宁夏限制开发生态区人地耦合系统脆弱性空间分异及影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(11): 85-91. [Song Y Y, Mi W B, Zhong J T, et al. Spatial differentiation and its factors for coupled human-environment interaction systems vulnerability in limited developing ecological zone in Ningxia[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(11): 85-91.]
- [25] 李博, 韩增林, 孙才志, 等. 环渤海地区人海资源环境系统脆弱性的时空分析[J]. 资源科学, 2012, 34(11): 2214-2221. [Li B, Han Z L, Sun C Z, et al. Spatial and temporal vulnerability analysis of the human-sea resource environment of the Bohai Rim Region[J]. Resources Science, 2012, 34(11): 2214-2221.]
- [26] 潘哈. 中国沿海地区人海关系地域系统脆弱性研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2019. [Pan H. Study on the Vulnerability of the Regional System of Human-Sea Population Relationship in Coastal Areas of China[D]. Dalian: Liaoning Normal University, 2019.]
- [27] 陈萍, 陈晓玲. 全球环境变化下人-环境耦合系统的脆弱性研究综述[J]. 地理科学进展, 2010, 29(4): 454-462. [Chen P, Chen X L. Summary on research of coupled human-environment system vulnerability under global environmental change[J]. Progress in Geography, 2010, 29(4): 454-462.]
- [28] 杨艳茹, 王士君, 陈晓红. 石油城市经济系统脆弱性动态演变及调控途径研究: 以大庆市为例[J]. 地理科学, 2015, 35(4): 456-463. [Yang Y R, Wang S J, Chen X H. Dynamic evolution and control approaches of petroleum city's economic system vulnerability: A case study of Daqing City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, 35(4): 456-463.]
- [29] 苗长虹, 胡志强, 耿凤娟, 等. 中国资源型城市经济演化特征与影响因素: 路径依赖、脆弱性和路径创造的作用[J]. 地理研究, 2018, 37(7): 1268-1281. [Miao C H, Hu Z Q, Geng F J, et al. Characteristics of economic evolution and the influencing factors of resource-dependent cities in China: The role of path dependence, vulnerability and path creation[J]. Geographical Research, 2018, 37(7): 1268-1281.]
- [30] 唐波, 林琳. 外向型城市经济脆弱性时空演变和发展路径: 以广东佛山市为例[J]. 生态经济, 2019, 35(3): 100-106. [Tang B, Lin L. Spatio-temporal evolution and development path of vulnerability of export-oriented city economy: A case study of Foshan, Guangdong Province[J]. Ecological Economy, 2019, 35(3): 100-106.]
- [31] 彭飞, 韩增林, 杨俊, 等. 基于BP神经网络的中国沿海地区海洋经济系统脆弱性时空分异研究[J]. 资源科学, 2015, 37(12): 2441-2450. [Peng F, Han Z L, Yang J, et al. Time-space differentiation of the vulnerability of marine economy systems in China's coastal area based on BP neural networks[J]. Resources Science, 2015, 37(12): 2441-2450.]
- [32] 伏捷, 孙才志, 彭飞. 环渤海地区海洋生态经济系统脆弱性与协调性时空演变及动态模拟[J]. 辽宁师范大学学报(自然科学版), 2017, 40(3): 395-406. [Fu J, Sun C Z, Peng F. Temporal and spatial variation and dynamic simulation of vulnerability and coordination of the marine ecological and economic system around the Bohai Sea area[J]. Journal of Liaoning Normal University (Natural Science Edition), 2017, 40(3): 395-406.]
- [33] 孙才志, 曹强, 王泽宇. 环渤海地区海洋经济系统脆弱性评价[J]. 经济地理, 2019, 39(5): 37-46. [Sun C Z, Cao Q, Wang Z Y. Vulnerability evaluation of marine economic system in the coastal area of Bohai Rim[J]. Economic Geography, 2019, 39(5): 37-46.]
- [34] 苏飞, 陈媛, 张平宇. 基于集对分析的旅游城市经济系统脆弱性评价: 以舟山市为例[J]. 地理科学, 2013, 33(5): 538-544. [Su F, Chen Y, Zhang P Y. Vulnerability assessment of tourism city's economic system based on the set pair analysis: A case study of Zhoushan City[J]. Scientia Geographica Sinica, 2013, 33(5): 538-544.]
- [35] 李锋, 万年庆, 史本林, 等. 基于“环境-结构”集成视角的旅游产业脆弱性测度: 以中国大陆31个省市区为例[J]. 地理研究, 2014, 33(3): 569-581. [Li F, Wan N Q, Shi B L, et al. The vulnerability measure of tourism industry based on the perspective of “environment-structure” integration: A case study of 31 provinces in mainland China[J]. Geographical Research, 2014, 33(3): 569-581.]
- [36] 贾菲, 苗红, 孔云霄, 等. 宁夏区域旅游经济系统脆弱性评价[J]. 宁夏大学学报(自然科学版), 2017, 38(4): 409-414. [Jia F, Miao H, Kong Y X, et al. Evaluation on system vulnerability of regional tourism economy in Ningxia[J]. Journal of Ningxia University (Natural Science Edition), 2017, 38(4): 409-414.]
- [37] 田里, 田媛, 杨懿. 基于TOPSIS的大理州旅游经济系统脆弱性

- 评价研究[J]. 资源开发与市场, 2017, 33(12): 1529-1534. [Tian L, Tian Y, Yang Y. Study on tourism economic system's vulnerability assessment of Dali Prefecture based on TOPSIS[J]. Resource Development and Market, 2017, 33(12): 1529-1534.]
- [38] 尹鹏, 刘曙光, 段佩利. 海岛型旅游目的地脆弱性及其障碍因子分析: 以舟山市为例[J]. 经济地理, 2017, 37(10): 234-240. [Yin P, Liu S G, Duan P L. Analysis on the vulnerability and obstacle indicators in island type tourism destination: Take Zhoushan City for example[J]. Economic Geography, 2017, 37(10): 234-240.]
- [39] 卢有斌, 李晓东, 赵学鹏, 等. 新疆和田地区旅游经济系统脆弱性研究[J]. 地域研究与开发, 2017, 36(1): 120-124. [Lu Y B, Li X D, Zhao X P, et al. Tourism economic system's vulnerability assessment of Hotan Prefecture in Xinjiang[J]. Areal Research and Development, 2017, 36(1): 120-124.]
- [40] 陆保一, 明庆忠, 郭向阳, 等. 边疆省区旅游经济系统脆弱性评价, 影响因素及其应对策略: 以云南省为例[J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2018, 38(5): 66-74. [Lu B Y, Ming Q Z, Guo X Y, et al. Vulnerability evaluation, influencing factors and coping strategies of tourism economic system in frontier provinces: A case study of Yunnan[J]. Journal of Yunnan Normal University (Natural Science Edition), 2018, 38(5): 66-74.]
- [41] 谢霞. 丝绸之路经济带核心区旅游经济系统脆弱性评价[J]. 新疆大学学报(哲学·人文社会科学版), 2019, 47(5): 9-16. [Xie X. Vulnerability assessment of tourism economic system in the core area of the Silk Road Economic Belt[J]. Journal of Xinjiang University (Philosophy, Humanities and Social Sciences), 2019, 47(5): 9-16.]
- [42] 孙才志, 郭可蒙, 邹玮. 中国区域海洋经济与海洋科技之间的协同与响应关系研究[J]. 资源科学, 2017, 39(11): 2017-2029. [Sun C Z, Guo K M, Zou W. The coordination and response between regional marine economy and marine science and technology in China[J]. Resources Science, 2017, 39(11): 2017-2029.]
- [43] 马慧强, 韩增林, 江海旭. 中国基本公共服务空间差异格局与质量特征分析[J]. 经济地理, 2011, 31(2): 212-217. [Ma H Q, Han Z L, Jiang H X. The characteristics and spatial differences of basic public services of cities at prefecture level and above in China [J]. Economic Geography, 2011, 31(2): 212-217.]
- [44] 韩增林, 夏雪, 林晓, 等. 基于集对分析的中国海洋战略性新兴产业支撑条件评价[J]. 地理科学进展, 2014, 33(9): 1167-1176. [Han Z L, Xia X, Lin X, et al. Quantitative evaluation of supporting conditions of emerging strategic marine industries in China based on set pair analysis[J]. Progress in Geography, 2014, 33(9): 1167-1176.]
- [45] 梁巧霞, 黄杰, 谢霞, 等. 基于地理探测器的天山北坡旅游空间分异特征及其影响因素研究[J]. 西北师范大学学报(自然科学版), 2018, 54(6): 82-88. [Liang Q X, Huang J, Xie X, et al. Study on tourism spatial differentiation characteristics and influencing factors in northern slope of Tianshan Mountains based on geodetector[J]. Journal of Northwest Normal University (Natural Science), 2018, 54(6): 82-88.]
- [46] 刘彦随, 李进涛. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 161-173. [Liu Y S, Li J T. Geographic detection and optimizing decision of the differentiation mechanism of rural poverty in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 161-173.]
- [47] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134. [Wang J F, Xu C D. Geodetector: Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(1): 116-134.]
- [48] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018. [National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.]
- [49] 中华人民共和国文化和旅游部. 中国旅游统计年鉴[M]. 北京: 中国旅游出版社, 2018. [Ministry of Culture and Tourism of the People's Republic of China. The Yearbook of China Tourism Statistics[M]. Beijing: China Tourism Press, 2018.]
- [50] 中国法学会. 中国法律年鉴[M]. 北京: 中国法律年鉴社, 2018. [China Law Society. Law Yearbook of China[M]. Beijing: China Law Yearbook Press, 2018.]
- [51] 张金茜, 巩杰, 柳冬青. 地理探测器方法下甘肃白龙江流域景观破碎化与驱动因子分析[J]. 地理科学, 2018, 38(8): 1370-1378. [Zhang J Q, Gong J, Liu D Q. Dynamics and driving factors of landscape fragmentation based on geodetector in the Bailongjiang watershed of Gansu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(8): 1370-1378.]

# Spatial differentiation of tourism economic system vulnerability based on BP neural network in different provinces of China

MA Huiqiang<sup>1,2</sup>, LIAN Qianwen<sup>1</sup>, LUN Yuchao<sup>3</sup>, XI Jianchao<sup>2</sup>

(1. College of Culture and Tourism, Shanxi University of Finance and Economics, Taiyuan 030000, China; 2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS /Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Beijing 100101, China; 3. College of Geographic Sciences, Liaoning Normal University, Dalian 041000, China)

**Abstract:** Vulnerability evaluation of tourism economic systems and influencing factor identification are necessary for improving the quality of regional tourism development and formulating a scientific strategy for such development. This study constructed an index system of vulnerability assessment of tourism economic system from three aspects of vulnerability, sensitivity, and coping ability of the system. By using the back propagation (BP) artificial neural network model, vulnerability evaluation index, geographic detector, and other research methods, the spatial differentiation characteristics and influencing factors of tourism economic system vulnerability of 30 provincial-level administrative units in China (excluding Tibet, Hong Kong, Macao, and Taiwan) were evaluated and analyzed. The results show that: (1) The tourism economic system of China is in a state of high vulnerability, medium sensitivity, and high coping capacity as a whole, and the vulnerability, sensitivity, and coping ability of China's tourism economic system are clearly different among the examined provinces; (2) The vulnerability, sensitivity, and coping capacity of China's tourism economic system present the characteristics of clustering and polarized distribution. The vulnerability of the tourism economic system in the eastern region is relatively high, with significant internal differences, while the vulnerability of the central and western regions is relatively low, with less obvious internal differences; (3) The spatial differentiation of vulnerability in China's tourism economic system is the result of the joint action of different influencing factors, among which the diversification of industrial structure has the greatest influence on the spatial differentiation of vulnerability, and the proportion of tourism foreign exchange income in total tourism income has the least influence on the spatial differentiation of vulnerability. The results of this study provide some scientific basis for enriching the theory of sustainable tourism development and solving the problems of improving the quality of tourism economy.

**Key words:** tourism economic system; vulnerability; BP neural network; geographical detector; spatial differentiation