

# 基于突变级数法的江苏省资源环境承载力 评价及障碍因素诊断

翁翎燕

(南京大学 金陵学院, 南京 210089)

**摘 要:**资源环境承载力研究对实现区域可持续发展,建设生态文明社会具有重要的意义。以江苏省作为研究区域,构建资源环境承载力评价指标体系,运用突变级数法对江苏省 2004—2014 年的资源环境承载力进行了动态评价,并运用障碍因素诊断模型进一步探索制约江苏省资源环境承载力提高的因素。研究表明:(1) 江苏省资源环境承载力在波动中逐步提高,承载力水平从 2004 年的 0.829 0 上升到 2014 年的 0.967 8,资源环境承载能力由较弱承载力等级(Ⅱ)提高到较高承载力等级(Ⅳ);(2) 经济社会复合系统承载力呈稳定上升趋势,承载力水平由 2004 年的 0.682 7 上升到 2014 年的 0.993 1,而资源环境复合系统承载力呈波动上升趋势,承载力指数变化于 0.687 3~0.936 6,经济社会复合系统与资源环境复合系统的共同作用促进了江苏省资源环境承载力的整体提高;(3) 经济子系统和资源子系统是制约江苏省资源环境承载力提高的主要因素,其中人均耕地面积是最重要的障碍因素。以上研究可为促进江苏省经济社会的可持续发展提供理论支撑。

**关键词:**资源环境承载力;突变级数法;障碍因素;江苏省

中图分类号:F205

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)03-0354-06

## Evaluation of Resources and Environment Carrying Capacity Based on Catastrophe Progression Method and Diagnosis of Its Obstacle Indicators in Jiangsu Province

WENG Lingyan

(Jinling College, Nanjing University, Nanjing 210089, China)

**Abstract:** Resources and environment carrying capacity has great significance to the sustainable development of the region and the construction of the ecological civilization. Taking Jiangsu province as an example, this paper constructed the evaluation index system for environmental carrying capacity, used catastrophe progression method to analyze the change in resources and environment carrying capacity of Jiangsu from 2004 to 2014, and then built an obstacle indicators diagnosis model to further explore the factors that restrain the improvement of the resources and environment carrying capacity of Jiangsu. The results showed that: (1) the carrying capacity of resources and environment in Jiangsu was gradually increasing in fluctuation, with the value of carrying capacity increased from 0.829 0 in 2004 to 0.967 8 in 2014, and the level of resources and environment carrying capacity rose from weak(Ⅱ) to high(Ⅳ) level; (2) the resources and environment carrying capacity of the economic and social complex system showed a steady upward trend with the capacity level increased from 0.682 7 in 2004 to 0.993 1 in 2014, while the capacity of the resources and environment complex system showed a fluctuating upward trend as the capacity index changed from 0.687 3 to 0.936 6. The interaction between the economic social complex system and the resource environment complex system promoted the overall improvement of the carrying capacity of resources and environment in Jiangsu Province; (3) economy subsystem and resource subsystem were the main factors to restrain the improvement of the resources and environment carrying capacity, the per capita cultivated area was the most important obstacle factor. These above conclusions could provide theoretical support for promoting the sustainable development of economic and social in Jiangsu Province.

**Keywords:** resources and environment carrying capacity; catastrophe progression method; obstacle indicators; Jiangsu Province

人口、经济、社会、资源、环境之间的协调发展是可持续发展研究的重要命题,资源环境承载力是衡量可持续发展的重要标志。资源环境承载力是指在确保资源合理开发利用、生态环境系统良性循环和区域可持续发展的前提下,在一定的时间和区域范围之内,资源环境系统所能承载的人口规模和社会经济总量<sup>[1]</sup>。资源环境承载力受到特定时期和特定区域的资源环境本底条件、区域发展水平、人口数量及素质、产业结构、科技水平及政策环境等多种因素的影响<sup>[2]</sup>。

资源环境承载力的研究始于土地资源承载力研究,属于生态学范畴<sup>[3]</sup>,环境承载力研究则拓宽了其内涵<sup>[4]</sup>,后又相继发展起来人口承载力<sup>[5]</sup>、水资源承载力<sup>[6]</sup>、生态承载力<sup>[7]</sup>,旅游资源承载力<sup>[8]</sup>等方面的研究,形成了较多且富有成效的研究成果。随着承载力理论研究的不断深入,同时随着人口、资源、环境之间矛盾的不断凸显,学者们发现资源或环境单要素承载力的研究存在一定局限,将资源与环境综合起来研究,是承载力理论应用于资源环境领域的必然趋势<sup>[1]</sup>,因而,“资源环境综合承载力”应运而生<sup>[9]</sup>,并开始广泛而深入的研究与应用。资源环境承载力研究主要采用定量研究的方法,建立评价指标体系,通过一定的模型或方法进行综合评价,已有的成果中主要有生态足迹法<sup>[10]</sup>、时间序列<sup>[11]</sup>、能值分析法<sup>[12]</sup>、灰色关联分析法<sup>[13]</sup>、状态空间法<sup>[14]</sup>、TOPSIS 法<sup>[3,15]</sup>及系统动力学模型<sup>[16]</sup>等,这些方法各有特点,用于评价区域资源环境承载力具有一定的可行性,但这些方法普遍存在着权重分配过程中受主观因素影响大,评价过程偏复杂等问题。突变级数法克服了以上方法的缺

点,无需人为确定权重,只需把握各指标间的主次关系,且运算简单,适用于内部结构不明朗的灰色系统的多目标决策问题。基于此,本文尝试运用突变级数理论,选取省级区域作为研究区域,从资源供给系统、环境支撑系统、社会、经济压力系统对江苏省资源环境承载力进行动态评价。通过构建障碍因素诊断模型,对引起资源环境承载力变化的根源进行识别,旨在为江苏省优化资源配置,推动绿色发展,促进江苏省经济社会环境的可持续发展提供理论支撑。

1 评价指标体系与研究方法

1.1 评价指标体系建立

资源环境承载力是一个多目标复杂系统,反映了区域资源、环境、经济、社会系统间的协调程度<sup>[1]</sup>,其中资源子系统是决定承载力大小的基础,反映区域资源状况对人口规模和社会经济总量的支撑能力,可用耕地资源、水资源、能源资源等进行量化;环境子系统反映环境对人类活动的容纳能力和环境自身的修护力度,和环境结构及污染治理有关;经济子系统和社会子系统一方面反映人类活动给资源、环境带来的压力,如人口增长、人口密度增大等,另一方面,人类也可通过自身的活动提高资源、环境子系统的承压能力,如产业结构调整、资源环境保护投资水平增强、人口素质提高等。基于以上分析,借鉴相关研究成果<sup>[17-20]</sup>,遵循系统性、科学性、代表性和可操作性等原则,从资源供给子系统、环境支撑子系统,经济压力子系统、社会压力子系统 4 个维度,选取 16 项指标,构建了江苏省资源环境承载力评价指标体系(表 1)。

表 1 江苏省资源环境承载力评价指标体系

目标层	子目标层	权重	准则层	权重	指标层	权重
资源环境承载力	经济社会复合系统 A <sub>1</sub>	0.4718	经济子系统 B <sub>1</sub>	0.2643	C <sub>1</sub> 人均 GDP(元/人)	0.0642
					C <sub>2</sub> 地均固定资产投资(万元/km <sup>2</sup> )	0.0746
					C <sub>3</sub> 第三产业比重(%)	0.0635
					C <sub>4</sub> 城镇居民人均可支配收入(元/人)	0.0620
			社会子系统 B <sub>2</sub>	0.2075	C <sub>5</sub> 人口自然增长率(%)	0.0291
					C <sub>6</sub> 城镇化水平(%)	0.0537
					C <sub>7</sub> 人口密度(人/km <sup>2</sup> )	0.0708
					C <sub>8</sub> 大专及以上人口占总人口比重(%)	0.0540
	资源环境复合系统 A <sub>2</sub>	0.5282	资源供给子系统 B <sub>3</sub>	0.3066	C <sub>9</sub> 人均耕地面积(hm <sup>2</sup> /人)	0.0859
					C <sub>10</sub> 人均水资源量(m <sup>3</sup> /人)	0.0330
					C <sub>11</sub> 人均能源占有量(t(标准煤)/人)	0.0366
					C <sub>12</sub> 森林覆盖率(%)	0.1511
			环境承载子系统 B <sub>4</sub>	0.2216	C <sub>13</sub> 万元 GDP 工业废气排放量(m <sup>3</sup> /万元)	0.0457
					C <sub>14</sub> 城市污水处理率(%)	0.0494
					C <sub>15</sub> 工业固体废物综合利用率(%)	0.0323
					C <sub>16</sub> 环境基础设施投资总额(万元)	0.0942

1.2 数据来源

数据资料主要来源于中国统计年鉴(2005—2015 年)、中国环境统计年鉴(2005—2015 年)、江苏统计

年鉴(2005—2015 年)。其中,人均 GDP、地均固定资产投资、第三产业比重、城镇居民人均可支配收入、人口自然增长率、城镇化水平、人口密度、人均水资源

量、人均耕地面积、人均能源占有量来源于《江苏统计年鉴》,除了城镇居民人均可支配收入、人口自然增长率及人口密度三项指标直接获取外,其他指标均为经处理后获取;大专及以上人口占总人口比重来源于《中国统计年鉴》,为经处理后获取的指标;森林覆盖率、城市污水处理率、工业固体废物综合利用率、环境基础设施投资总额来源于《中国环境统计年鉴》;万元GDP 工业废气排放量由来源于《中国环境统计年鉴》的工业废气排放量指标和来源于《江苏统计年鉴》的GDP 总量指标经处理后获取。

1.3 基于突变级数法的资源环境承载力评价方法

突变级数法的理论基础是突变理论<sup>[21]</sup>,是用突变数学模型进行多目标评价决策的管理技术。其核心思想是将评价目标进行逐级分解,将突变理论运用到模糊数学中,产生突变模糊隶属函数,通过分歧集的归一化处理,将多目标参数归一为一个参数,即求出总的隶属度,从而进行评价目标的综合评价。

运用突变级数法进行资源环境承载力评价时要明

确以下几点:一是突变模型的研究对象是势函数,势函数是描述系统控制变量与状态变量之间相互关系的函数。根据突变理论,如果 1 个指标(系统状态变量)包含 1 个对应的下级指标(系统控制变量)可视为折叠突变。由此可推出,当 1 个指标分别含有 2,3,4 个下级指标时,可依次根据尖点、燕尾、蝴蝶突变模型进行计算<sup>[22]</sup>。常见的突变模型见表 2。二是在利用突变级数法的计算过程中,要求对每个层次中各个指标的相对重要性进行排序,重要程度相对大的排在前面,相对次要的指标排在后面。熵值法是客观赋权相对精准的一种方法,克服了人为排序的主观性,因此,本文采用熵值法<sup>[23]</sup>确定各级指标的相对重要性(表 1)。三是利用突变级数法进行综合评价时必须遵循两个评价准则:(1) 互补准则。若系统的诸控制变量间可相互弥补不足,对应突变级数值按平均值法取值;(2) 非互补准则。若系统的诸控制变量之间不存在明显的相关性,则按“大中取小”的原则取值。根据上述方法构建江苏省资源环境承载力评价突变级数法结构<sup>[18]</sup>,见图 1。

表 2 突变模型

突变类型	势函数	分歧集方程	归一化方程
折叠突变	$f(x)=x^3+ax$	$a=-3x^2$	$x_a=a^{1/2}$
尖点突变	$f(x)=x^4+ax^2+bx$	$a=-6x^2,b=8x^3$	$x_a=a^{1/2},x_b=b^{1/3}$
燕尾突变	$f(x)=\frac{1}{5}x^5+\frac{1}{3}ax^3+\frac{1}{2}bx^2+cx$	$a=-6x^2,b=8x^3,$ $c=-3x^4$	$x_a=a^{1/2},x_b=b^{1/3},$ $x_c=c^{1/4}$
蝴蝶突变	$f(x)=\frac{1}{6}x^6+\frac{1}{4}ax^4+\frac{1}{3}bx^3+\frac{1}{2}cx^2+dx$	$a=-10x^2,b=20x^3,$ $c=-15x^4,d=4x^5$	$x_a=a^{1/2},x_b=b^{1/3},$ $x_c=c^{1/4},x_d=d^{1/5}$

注: $a,b,c,d$  为外部控制变量; $x_a,x_b,x_c,x_d$  为各控制变量相应的突变级数值

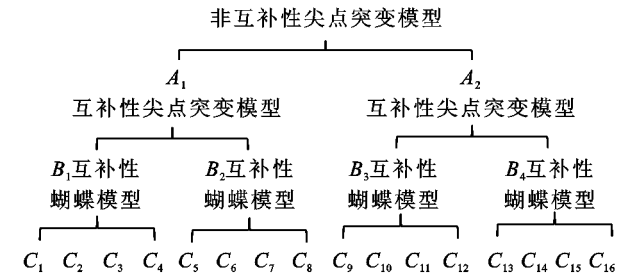


图 1 江苏省资源环境承载力突变级数法结构

1.4 评价标准的确定

根据突变级数法计算结果的特点,在常规标准的基础上,制定出适合突变级数法的等级标准,可以使资源环境承载力评价更具有使用价值<sup>[24]</sup>。参考已有研究,将资源环境承载力评价标准分为弱承载力(I)、较弱承载力(II)、适中承载力(III)、较高承载力(IV)和高承载力(V)5 个等级<sup>[25]</sup>。设底层控制指标相对隶属度均取为  $x_i(x_i=0.2,0.4,0.6,0.8)$  时,根据图 1 的突变级数模型,由下至上逐级计算各层次隶属度值,最终得出总隶属度值,由此得出基于突变级数法的资源环境承载力等级标准(表 3)。

1.5 障碍因素诊断模型

在分析资源环境承载力的基础上,进一步探究制约资源环境承载力提高的障碍因子,引入“因子贡献率”、“指标偏离度”和“障碍度”构建障碍度模型<sup>[26]</sup>,对障碍因子进行诊断。相关计算公式如下:

$$q_j=w_i \times w_{ij}$$
(1)

$$V_{ij}=1-X_{ij}^*$$
(2)

$$S_{ij}=\frac{q_j \times V_{ij}}{\sum_{j=1}^n q_j \times V_{ij}} \times 100\%$$
(3)

$$S_j=\frac{\sum_{i=1}^m S_{ij}}{m}$$
(4)

式中: $q_j$  为因子贡献率,表征各单项指标对总目标的权重; $w_i$  为准则层对总目标层的权重; $w_{ij}$  为各单项指标对准则层的权重; $V_{ij}$  为指标偏离度,表征各指标实际值与最优值的差距; $X_{ij}^*$  为第  $i$  年第  $j$  项指标标准化得分; $S_{ij}$  为第  $i$  年第  $j$  项指标的障碍度,表征第  $i$  年各单项指标对总目标的影响程度; $S_j$  为第  $j$  项指标的年平均障碍度; $m$  为年数。本文即运用此值对制约资源环境承载力的障碍因子进行诊断,根据平均障碍度的大小进

行排序,找出各障碍因子的主次关系。

2 结果与分析

2.1 江苏省资源环境承载力动态评价

原始数据通过直接取值或简单运算得到江苏省 2004—2014 年 16 项指标数据。根据突变级数法的计算规则,运用极值法<sup>[27]</sup>将控制变量的原始数据进行归一化处理,将原始数据转化到[0,1]之间,使不同指标间具有可比性,且对于正向指标和逆向指标分别采用不同的公式进行标准化处理。然后,运用突变级

数法逐级计算得出 2004—2014 年江苏省资源环境承载力(表 4)。根据表 4 绘制出江苏省资源环境承载力变化趋势(图 2),以及经济、社会、资源、环境 4 个子目标层的承载力变化趋势(图 3)。

表 3 资源环境承载力评价等级标准

等级	常规值	总隶属度	承载状态
1	[0,0.2)	[0,0.8125)	弱承载力Ⅰ
2	[0.2,0.4)	[0.8125,0.8870)	较弱承载力Ⅱ
3	[0.4,0.6)	[0.8870,0.9347)	适中承载力Ⅲ
4	[0.6,0.8)	[0.9347,0.9708)	较高承载力Ⅳ
5	[0.8,1.0)	[0.9708,1.0)	高承载力Ⅴ

表 4 江苏省 2004—2014 年资源环境承载力测度结果

年份	资源环境 承载力	社会经济复合 系统(A <sub>1</sub> )	资源环境复合 系统(A <sub>2</sub> )	经济子系统 (B <sub>1</sub> )	社会子系统 (B <sub>2</sub> )	资源子系统 (B <sub>3</sub> )	环境子系统 (B <sub>4</sub> )
2004	0.8290	0.6827	0.6873	0.2574	0.6315	0.4544	0.3436
2005	0.9146	0.8007	0.8366	0.4625	0.7821	0.7014	0.5835
2006	0.9160	0.8305	0.8391	0.5439	0.7875	0.6926	0.6056
2007	0.9312	0.8564	0.8671	0.6227	0.7879	0.6942	0.7317
2008	0.9301	0.8722	0.8651	0.6906	0.7623	0.6599	0.7731
2009	0.9535	0.8834	0.9092	0.7492	0.7322	0.7791	0.8191
2010	0.9517	0.8852	0.9057	0.8091	0.6606	0.7351	0.8685
2011	0.9476	0.9218	0.8980	0.8699	0.7559	0.7215	0.8484
2012	0.9344	0.9390	0.8732	0.9207	0.7750	0.7018	0.7503
2013	0.9674	0.9455	0.9359	0.9666	0.7484	0.7875	0.9538
2014	0.9678	0.9931	0.9366	0.9876	0.9542	0.7823	0.9666

2.1.1 资源环境承载力总体变化趋势 由图 2 可知,2004—2014 年江苏省资源环境承载力水平总体呈小幅波动上升趋势,数值从 2004 年的 0.829 0 上升到 2014 年的 0.967 8,资源环境承载能力从较弱承载力发展到较高承载力。资源环境承载力水平在 11 a 间存在小幅波动,2008 年,江苏省资源环境承载力水平较 2007 年下降了 0.12%,但并未影响承载力等级的变化,2009 年又上升了 2.52%,此后 2010—2012 年资源环境承载力水平连续三年下降,特别是资源环境承载力等级在 2011—2012 年由较高承载力(Ⅳ)调整到适中承载力(Ⅲ)。

2.1.2 经济社会复合系统变化趋势 由图 2 可知,经济社会复合系统承载力存在一个稳定上升的过程,承载力水平由 2004 年的 0.682 7 上升到 2014 年的 0.993 1,年均增速达 3.82%。由图 3 可知,2004—2012 年江苏省经济子系统承载力指数总体呈线性增长趋势,年平均增长速度达 14.39%,居各子系统之首,这与近年来江苏省实施“富民强省”的战略目标,倡导“绿色增长”,加快经济结构调整的发展方式有密切的关系。2004—2014 年,江苏省 GDP 总量由 15 003.6 亿元增加到 65 088.32 亿元,年均增长 4 553.16 亿元。随着经济总量的快速增长,地均 GDP 持续增长,第三产业加速发展,城镇居民人均可支配收入稳步提升,直接促进经济承载力的提升。

社会子系统承载力指数呈现一个波动上升的态

势,由 2004 年的 0.631 5 上升到 2014 年的 0.954 2,但 2008 年、2009 年和 2010 年的社会子系统承载力指数分别较上一年有一定幅度回落,其中 2008 年社会子系统承载力指数较 2007 年下降了 3.25%,主要原因是大专及以上学历人口比重在这一年有所下降;而 2009 年和 2010 年社会子系统承载力指数较上一年度分别下降了 3.95%和 9.78%,原因在于这两年人口自然增长率和人口密度这两项逆向指标值大大增加,其中,人口自然增长率这一指标达到 11 a 间的最大值,为 2.85%,人口的增长大大加剧了社会子系统的压力。但经济子系统与社会子系统的协同作用,使得经济社会复合系统承载力呈稳步上升趋势。

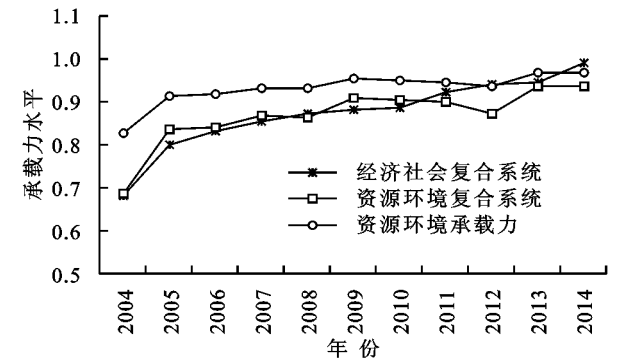


图 2 江苏省两大复合系统与资源环境承载力变化趋势(2004—2014 年)

2.1.3 资源环境复合系统变化趋势 由图 2 可知,江苏省 2004—2014 年的资源环境复合系统承载力呈波

动上升趋势,指数变化于 0.687 3~0.936 6。由图 3 可知,资源子系统承载力在 11 a 间的波动更为明显,主要是由于江苏省人均耕地面积较少,且耕地后备资源潜力有限,随着人口的增长,人均耕地面积逐年减小,同时,由于人们生活水平的提高,能源消费量持续增加,而水资源量具有年际变化大的特点,从而使得江苏省资源子系统承载力随时间呈波动变化趋势。2004—2014 年期间,江苏省环境子系统承载力水平总体也呈增加趋势,2010 年和 2012 年的承载力指数较上一年有所下降,是由这两年的工业固体废弃物综合利用率水平相对降低导致的。环境子系统承载力反映了环境对于人类活动的包容能力,而人类活动具有双向性,人类通过提高城市污水处理率、工业固体废弃物处理率,加大环境基础设施投资,减少单位 GDP 的废物排放等行为可以有效地增加环境子系统承载力。

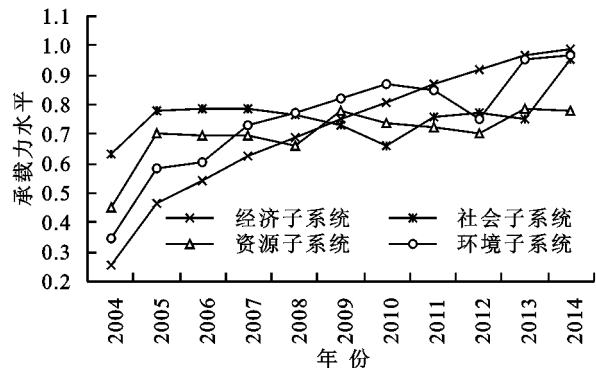


图 3 2004—2014 年江苏省各子系统承载力变化趋势

2.2 障碍因素分析

为深入了解制约江苏省资源环境承载力提高的障碍因素,根据障碍因素计算模型,得到江苏省资源环境承载力平均障碍因子(表 5),且进一步从指标层厘清主要障碍因子及其随时间的变化(表 6)。

2.2.1 障碍因素总体分析 由表 5 可知,江苏省资源环境承载力平均障碍因素最大是森林覆盖率,其值达到 16.64%;第二障碍因素和第三障碍因素分别是人均耕地面积和环境基础设施投资总额,平均障碍度分别达 14.99%和 10.05%。第四到第七障碍因素全都是社会经济复合系统中的因素,依次是人口密度、地均固定资产投资、第三产业比重和人均 GDP。依据表 5,从中选取障碍度排名前八位的因素为重点研究对象(障碍度均大于 5%),经济子系统占 4 个,资源子系统占 2 个(排名前两位)、环境子系统占 1 个,社会子系统占 1 个。说明经济子系统和资源子系统是阻碍江苏省资源环境承载力提高的两大障碍因素。虽然 2004—2014 年江苏省经济持续增长、资源利用效率逐渐提高、生态环境不断改善,但经济结构、经济增长方式及质量仍有提升的巨大潜能,经济发展中对资源的利用率、环境的保护力度有待进一步提高。

2.2.2 指标层障碍因素分析 为进一步探究制约江苏省资源环境承载力提高的主要障碍因素,按照指标层指标障碍度的大小,选取障碍度排序在前 5 位的障碍因素作为重点分析对象(表 6)。由表 6 可知,障碍因素频率超过一半(出现 6 年)的因素有环境基础设施投资总额、森林覆盖率、地均固定资产投资、人口密度和人均耕地面积 5 个方面的因素,且每一个障碍因素在研究期间均连续出现。环境基础设施投资总额虽然出现的频率最多(90.91%),但从 2011 年开始障碍度排序已由第二位降为第四位,说明江苏省逐步加大环保投入,意识到环境建设对于提高区域资源环境承载力的重要性。森林覆盖率障碍因素出现的频率为 81.82%,且在 2004—2012 年期间均为第一障碍因素,因为森林资源作为一种自然资源,森林面积的多与少与生态功能、环境容量的大小有密切的关系,因此,森林覆盖率必然成为制约区域资源环境承载力的第一因素。研究时段内,经济子系统的地均固定资产投资出现的频率也较高,达 72.73%,但障碍度排序逐渐由第三位过渡到第五位,说明地均固定资产投资虽然是影响区域资源环境承载力的主要障碍因素,但随着江苏省经济的发展、经济结构的逐步调整,该障碍因素的作用在不断弱化。人均耕地面积与人口密度两个指标的障碍度出现频率均为 54.55%,但人均耕地面积作为主要的障碍因素从 2009 年开始连续出现,且障碍度排序由第三位逐渐跃升到第一位,说明江苏省作为经济相对发达地区,经济的发展、人口的增多挤占了大量的耕地资源,而耕地资源直接影响到一个区域的粮食安全,因此,保护耕地资源成为提高区域资源环境承载力的第一要务。

表 5 资源环境承载力平均障碍因素排序

次序	1	2	3	4	5	6	7	8
障碍因子	C <sub>12</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>16</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>4</sub>
障碍度(%)	16.64	14.99	10.05	9.35	6.87	5.59	5.49	5.13
次序	9	10	11	12	13	14	15	16
障碍因子	C <sub>13</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>14</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>11</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>15</sub>
障碍度(%)	3.99	3.96	3.86	3.39	3.28	2.81	2.47	2.14

表 6 江苏省资源环境承载力主要障碍因素排序

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>9</sub>	C <sub>10</sub>	C <sub>12</sub>	C <sub>13</sub>	C <sub>15</sub>	C <sub>16</sub>
2004	Ⅳ	Ⅲ	V					I			Ⅱ
2005	Ⅳ	Ⅲ	V					I			Ⅱ
2006	Ⅳ	Ⅲ	V					I			Ⅱ
2007	Ⅳ	Ⅲ	V					I			Ⅱ
2008	V	Ⅲ	Ⅳ					I			Ⅱ
2009		V			Ⅳ	Ⅲ		I			Ⅱ
2010		V			Ⅳ	Ⅱ		I			Ⅲ
2011		V			Ⅲ	Ⅱ		I			Ⅳ
2012					Ⅲ	Ⅱ		I		V	Ⅳ
2013					Ⅱ	I	Ⅲ				Ⅳ
2014				V	Ⅲ	I	Ⅳ		Ⅱ		

注:罗马字母的大小代表障碍因素的排序,如:Ⅰ表示某指标障碍度排序第一,依次类推。

### 3 结论与讨论

(1) 在构建适用于省级的资源环境承载力指标体系的基础上,运用突变级数法对2004—2014年江苏省的资源环境承载力进行实证研究。结果表明:江苏省的资源环境承载力在波动中不断上升,资源环境承载能力从较弱承载力(Ⅱ)发展到较高承载力(Ⅳ),这是经济社会复合系统与资源环境复合系统共同作用的结果。

(2) 为了进一步研究制约江苏省资源环境承载力的因素,引入障碍因素模型对江苏省资源环境承载力的障碍度进行测算,结果表明:经济子系统和资源子系统是影响江苏省资源环境承载力提高的主要因素,而其中人均耕地面积是最重要的障碍因素。主要障碍因素的影响力和影响时间随时间会发生不断变化,如地均固定资产投资和环境基础设施投资总额两项障碍因素对资源环境的影响力在逐步降低,而人均耕地面积因素对资源环境的影响力却在不断提高。

本文基于突变级数模型从时间尺度探讨了江苏省资源环境承载力大小的演变并进行了障碍因子的识别,但本文未从空间尺度进行资源环境承载力的计算与探讨,江苏省各市资源环境承载力如何,空间演化规律如何还有待进一步研究与探讨。

#### 参考文献:

- [1] 邓伟. 山区资源环境承载力研究现状与关键问题[J]. 地理研究, 2010, 29(6): 959-969.
- [2] 卢小兰. 中国省域资源环境承载力评价及空间统计分析[J]. 统计与决策, 2014(7): 116-120.
- [3] 雷勋平, 邱广华. 基于熵权 TOPSIS 模型的区域资源环境承载力评价实证研究[J]. 环境科学学报, 2016, 36(1): 314-323.
- [4] 崔凤军. 环境承载力论初探[J]. 中国人口·资源与环境, 1995, 5(1): 76-79.
- [5] 王学军. 地理环境人口承载潜力及其区际差异[J]. 地理科学, 1992, 12(4): 322-328.
- [6] 龙腾锐, 姜文超, 何强. 水资源承载力内涵的新认识[J]. 水利学报, 2004, 35(1): 38-45.
- [7] 高吉喜. 可持续发展理论探索: 生态系统承载力理论、方法与应用[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [8] 李健, 钟永德, 王祖良, 等. 国内生态旅游环境承载力研究进展[J]. 生态学报, 2006, 25(9): 1141-1146.
- [9] 刘殿生. 资源与环境综合承载潜力分析[J]. 环境科学研究, 1995, 8(5): 7-12.
- [10] Budihardjo S, Hadi S P, Sutikno S, et al. The ecological footprint analysis for assessing carrying capacity of

industrial zone in semarang[J]. Journal of Human Resource and Sustainability Studies, 2013, 1(2): 14-20.

- [11] Freckleton R, Watkinson A, Green R, Sutherland. Census error and the detection of density dependence[J]. Journal of Animal Ecology, 2006, 75(4): 837-851.
- [12] Brown M T, Ulgiati S. Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation[J]. Ecological Engineering, 1997, 9(1): 51-69.
- [13] 贾树海, 王晋, 潘锦华, 等. 辽宁中部平原耕地生产潜力及人口承载力的研究[J]. 浙江农业科学, 2010, 1(3): 617-620.
- [14] 余丹林, 毛汉英. 状态空间衡量区域承载状况初探: 以环渤海地区为例[J]. 地理研究, 2003, 22(20): 201-210.
- [15] 刘启君, 黄旻, 宋艺欣, 等. 基于灰色关联 TOPSIS 模型的武汉市环境承载力评价及障碍因子诊断[J]. 生态经济, 2016, 3(5): 191-194.
- [16] 祝秀芝, 李宪文, 贾克敬, 等. 上海市土地综合承载力的系统动力学研究[J]. 中国土地科学, 2014, 28(2): 90-96.
- [17] 陈云峰, 孙殿义, 陆根法. 突变级数法在生态适宜度评价中的应用: 以镇江新区为例[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2587-2593.
- [18] 孙茜, 张捍卫, 张小虎. 河南省资源环境承载力测度及障碍因素诊断[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(7): 33-38.
- [19] 秦成, 王红旗, 田雅楠, 等. 资源环境承载力评价指标研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(12): 335-338.
- [20] 刘明, 廖和平, 李涛, 等. 基于模糊物元的重庆市资源环境承载力动态评价研究[J]. 中国农学通报, 2015, 31(20): 113-118.
- [21] 李彩惠, 霍海鹰, 李雅洁, 等. 基于突变级数模型的城市低碳竞争力评价及障碍因子诊断分析[J]. 资源科学, 2015, 37(7): 1474-1481.
- [22] 魏婷, 朱晓东, 李扬帆. 基于突变级数法的厦门城市生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2008, 28(12): 6312-6320.
- [23] 袁久和, 祁春节. 基于熵值法的湖南省农业可持续发展能力动态评价[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(2): 152-157.
- [24] 徐琳瑜, 康鹏, 刘仁志. 基于突变理论的工业园区环境承载力动态评价方法[J]. 中国环境科学, 2013, 33(6): 1127-1136.
- [25] 旷开金, 刘金福, 徐道炜, 等. 基于突变级数法的福建省环境承载力动态研究[J]. 福建农林大学学报: 哲学社会科学版, 2014, 17(5): 58-62.
- [26] 张锐, 刘友兆. 我国耕地生态安全评价及障碍因子诊断[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(7): 945-951.
- [27] 刘启君, 黄旻, 宋艺欣, 等. 基于灰色关联 TOPSIS 模型的武汉市环境承载力评价及障碍因子诊断[J]. 生态经济, 2016, 32(5): 191-195.