基于多源国土空间数据的资源环境综合承载力及人口承载力评价
——以江苏省常州市为例

潘昱奇[1,2], 李满春[1,2], 姜朋辉[1,2], 陈登帅[1,2]
(1.南京大学 地理与海洋科学学院, 江苏 南京 210023; 2.江苏省地理信息技术重点实验室, 江苏 南京 210023)

摘　要: [目的] 研究江苏省常州市资源环境综合承载力情况,明确国土空间开发与利用方向,为该区土地与人口的空间布局优化提供决策依据。[方法] 基于 2010—2019 年多源国土空间数据,构建多因素多因子综合判别模型。[结果] 常州市资源环境综合承载力呈现出显著的东高西低,平原高山地丘陵区低等空间分异特征。此外,基于未来土地资源的粮食安全保障水平预测 2030 年常州市人口承载指数高达 1.27,显著高于国际警戒水平。[结论] 常州市空间开发程度、自然本底和基础设施条件对区域资源环境综合承载力水平具有显著的约束,且人口处于超载状态。

关键词: 资源环境综合承载力; 土地资源; 粮食安全; 人口承载力; 多因素多因子综合判别模型
文献标识码: A　　**文章编号:** 1000-288X(2021)04-0350-07　　**中图分类号:** X24, F127

文献参数: 潘昱奇, 李满春, 姜朋辉, 等.基于多源国土空间数据的资源环境综合承载力及人口承载力评价[J].水土保持通报, 2021, 41(4): 350-356. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.04.045; Pan Yuqi, Li Manchun, Jiang Penghui, et al. Evaluation on comprehensive carrying capacity of resources and environment, and population carrying capacity based on multi-source land spatial data [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(4): 350-356.

Evaluation on Comprehensive Carrying Capacity of Resources and Environment, and Population Carrying Capacity Based on Multi-source Land Spatial Data
—Taking Changzhou City of Jiangsu Province as an Example

Pan Yuqi[1,2], Li Manchun[1,2], Jiang Penghui[1,2], Chen Dengshuai[1,2]
(1.*School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu* 210023, *China*; 2.*Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu* 210023, *China*)

Abstract: [Objective] The comprehensive carrying capacity of resource and environment in Changzhou City of Jiangsu Province was studied, in order to clarify the direction of land space development and utilization, and to provide decision-making references for the spatial allocation optimization of land and population. [Methods] Based on multi-source land and space data from 2010 to 2019, a multi-index and multi-factor synthetic discriminant model was constructed. [Results] The comprehensive carrying capacity of resources and environment in Changzhou City presented significant spatial differences, such as high in the east and low in the west, high in the plain and low in the mountainous and hilly areas. Moreover, based on the food security guarantee level calculated with future land resources, the population carrying index of Changzhou City in 2030 would be as high as 1.27, which was significantly higher than the international alert level. [Conclusion] The spatial development degree, natural background and infrastructure conditions have significant constraints on the comprehensive carrying capacity of resources and environment in Changzhou City, and the population is in a state of overloading.

收稿日期: 2021-03-16　　**修回日期:** 2021-04-20
资助项目: 国家自然科学基金项目"市域尺度耕地景观格局演变时空过程模型研究"(41801298); 江苏省自然科学基金"耕地景观格局演变过程模型构建与应用研究"(BK20180348); 国家重点研发计划项目"国土资源与生态环境安全监测系统集成技术及应急响应示范"(2017YFB0504200)
第一作者: 潘昱奇(1996—),女(汉族),山东省烟台市人,硕士研究生,研究方向为地理信息系统与建模。Email: yuqipan77@163.com。
通讯作者: 姜朋辉(1986—),男(汉族),安徽省阜阳市人,副研究员,博士,主要从事国土空间信息学研究,Email: jiangph1986@nju.edu.cn。

Keywords: comprehensive carrying capacity of resources and environment; land resources; food security; population carrying capacity; multi-index and multi-factor synthetic discriminant model

人口、资源与环境是可持续发展研究的核心主题,资源环境综合承载力评价是衡量人口、资源与环境配置合理性的重要方法,对于科学研判区域经济社会发展潜力,优化国土空间格局等具有重要的科学指导意义[1]。随着区域经济社会不均衡发展,人类社会面临着资源约束趋紧、环境污染严重、生态系统退化的严峻形势[2]。我国作为全球最大的发展中国家,已逐步由过度依赖高资源消耗、高污染排放的粗放型发展方式,转向形成以生态文明建设为核心的低消耗、高质量的节约集约型发展方式[3]。因此,如何根据资源环境条件,协调资源、环境、生态、社会经济发展的关系,统筹国土空间规划建设,合理配置区域资源,促进区域经济可持续绿色发展,已成为一个重要的热点问题[4]。资源环境综合承载力研究缘于 20 世纪 70 年代[5],指在自然生态环境不受危害并维系良好生态系统前提下,一个区域资源禀赋和环境容量所能承载的经济社会活动规模[6],通过对资源环境承载力的判断,来实现区域资源的优化配置是解决区域发展现状和发展要求之间矛盾的主要思路之一[7],研究成果在区域资源、环境管理和国土空间规划等工作中发挥了重要作用[8-10]。然而,资源环境承载力研究多为针对土地资源[11]、水资源[12]的单要素评价,环境承载力本身具有复杂性及影响因素多样性等特点,传统评价体系聚焦自然属性,弱化社会要素,难以客观反映区域资源环境综合承载力,操作性低且涵盖不全面[1]。此外,研究多以较小空间尺度评价居多[13]。综上所述,资源环境承载力评价方法未统一;探索资源环境要素与社会经济要素作用机理研究方面较为薄弱;资源环境承载力多要素综合评价模型研究有待深化[14]。长三角地区是我国经济最活跃地区之一,随着城市化迅速发展,土地资源供需矛盾日益凸显[15]。江苏省常州市地处长三角腹地的苏南地区,近年来其经济发展迅猛,城镇化速度较快,资源环境与经济发展矛盾突出。因此,本研究基于对常州市区域概况的分析,选取可能影响常州市资源环境综合承载力的各种自然、经济、社会因素,构建多因素多因子综合评价指标体系,结合层次分析法,计算常州市资源环境综合承载力,揭示常州市资源环境综合承载力的短板与约束。然后,测算常州市土地资源能够持续支撑的 2030 年最大人口规模,以期为区域国土空间规划提供有力的科学依据。

1　研究区概况

江苏省常州市位于北纬 31°09′—32°04′,东经 119°08′—120°12′之间,北临长江,南部与安徽省交界,东濒太湖与无锡市相连,西与南京、镇江两市接壤(图 1),下辖天宁区、钟楼区、武进区、新北区、江苏常州经济开发区、金坛区、溧阳市,总面积 4 372 km^2。截至 2019 年末,全市常住人口 473.60 万人,城镇化率达到 73.27%。2019 年实现地区生产总值(GDP)7 400.86 亿元,居全省第 5 位。其中,第一产业增加值 157.00 亿元;第二产业增加值 3 529.17 亿元,增长 8.4%;第三产业增加值 3 714.69 亿元,增长5.8%[16]。常州水陆空交通便利,沪宁铁路、沪宁与宁杭高速公路、312 国道、京杭大运河穿境而过。常州市地貌类型属高沙平原,山丘平圩兼有,处亚热带向北温带过渡气候区域,季风影响显著,属湿润季风气候,境内河道纵横交织,湖塘星罗棋布[16]。

2　数据来源

本研究主要采用常州市 2010—2019 年多源国土空间数据数据,各类数据的具体名称、属性及其来源详见表 1。

3　研究方法

3.1　多因素多因子判别模型构建

本文以人地关系学说为理论基础,综合相关数理知识,采用层次分析法(AHP)对资源环境综合承载力进行定量和定性评价。层次分析法是一种基于数学和心理学的结构化技术,用于组织和分析复杂的决策[17],它将待评估问题分为 3 个层次,最上层为目标层、中间层为准则层、最下层为影响因素层。多因素多因子判别模型的建立主要包括在资源环境现状分析的基础上,进行指标体系构建、指标权重确定、评价结果与分析 3 个步骤(图 1)。

3.1.1　资源环境分析[16]　①土地资源。常州市耕地资源丰富,建设用地扩张较快且结构有待优化,耕地后备资源贫乏且分布不均衡;②水资源。水质型缺水严重,水资源开发利用程度低且配置不合理,经济发展与水环境承载力关系不协调;③矿产资源。矿产主要分布在低山丘陵地带,资源利用待进一步整合,矿山地质环境保护和治理任务艰巨;④大气。空气质量较好,常年达二级标准;⑤水环境。水质逐步改善,主要湖库存在不同程度营养化;⑥地质。地下水资源大规模开采、工业废弃物排放及长期开山采石活动,造成了一系列崩塌、滑坡等地质问题。

表 1 研究数据来源

数据类型	数据名称	数据属性	数据源
土地利用数据	土地利用变更数据	矢量数据	常州市自然资源和规划局(2009—2018 年)
	人均土地面积数据	统计数据	
	土地利用强度数据	统计数据	常州统计年鉴(2010—2019 年)
	土地产出效益数据	统计数据	
耕地质量等别数据	耕地自然等别数据	矢量数据	常州市自然资源和规划局(2015 年)
	耕地利用等别数据	矢量数据	
	耕地经济等别数据	矢量数据	
土壤重金属含量数据	土壤镉含量数据	矢量数据	中国土壤数据库(2005—2018 年)
	土壤铬含量数据	矢量数据	
	土壤汞含量数据	矢量数据	
	土壤铅含量数据	矢量数据	
	土壤砷含量数据	矢量数据	
	土壤铜含量数据	矢量数据	
	土壤锌含量数据	矢量数据	
历年经济发展数据	第一产业 GDP 数据	统计数据	常州统计年鉴(2010—2019 年)
	第二产业 GDP 数据	统计数据	
	第三产业 GDP 数据	统计数据	
	人均 GDP 数据	统计数据	
	GDP 数据	统计数据	
	人口规模数据	统计数据	
水资源数据	水功能分区	矢量数据	
	水网密度	矢量数据	
	人均水资源拥有量	矢量数据	
大气环境	大气功能分区	矢量数据	常州市水文局、气象局和生态环境局(2015—2019 年)
生态环境数据	生态红线划定数据	矢量数据	
	绿地覆盖率	矢量数据	
地质环境	地质灾害数据	矢量数据	常州市自然资源和规划局(2015 年)
粮食数据	人均食物消费量	统计数据	世界银行开放数据(2017 年)
土地利用总体规划数据	基本农田保护区数据	矢量数据	常州市土地利用总体规划(2006—2020 年)调整完善

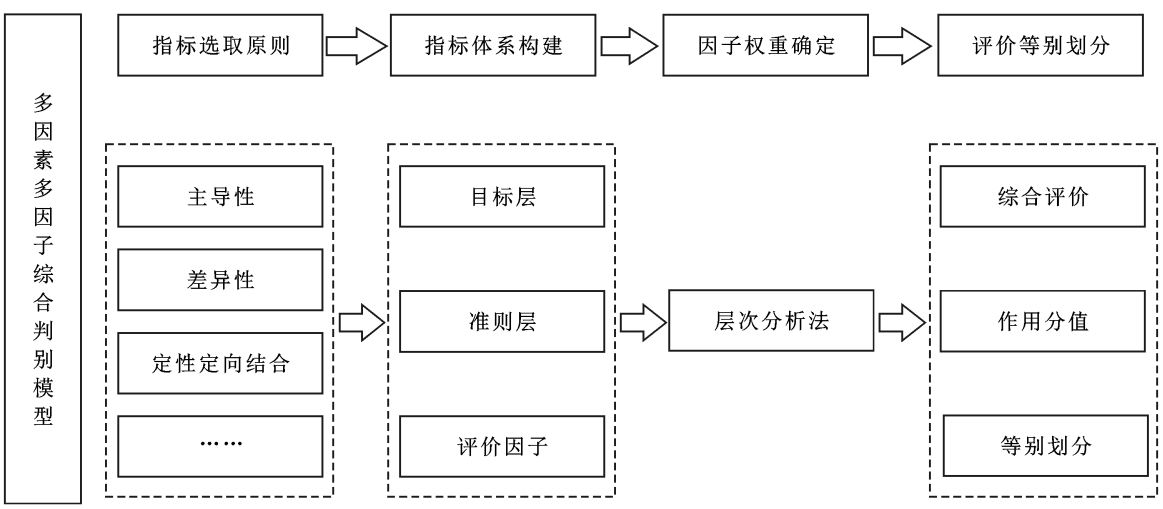


图 1 资源环境承载力评价的多因素多因子综合判别模型

3.1.2 评价指标体系构建 结合常州市资源环境本底现状分析,按照客观真实、可操作及可应用等原则,以常州市资源环境综合承载力评价为目标,从自然、经济、社会角度出发,确定资源环境综合承载力准则层,提出包括土地资源、水资源承、矿产资源等资源单要素承载力和包括大气环境、土壤环境等的环境单要素承载力,构建了面向资源环境、社会经济等要素的评价准则层(表 2)。基于准则层,通过文献综合等方

法[18-19],分析选取能够表征准则层的因子数据,基于多重共线性评估法筛选评价因子数据,任意两个因素相关系数大于 0.7 即被剔除,根据筛选结果构建常州市资源环境综合承载力评价指标体系(表 2)。

3.1.3　指标权重确定　层次分析法的指标权重确定流程如图 2 所示,利用层次分析法[23],结合基础权重,即可得到各评价指标的变权权重(表 2)。基于所选 25 个评价因子的权重,将不同量纲指标转化为无量纲作用分值,综合判断评价对象属性,从而构建常州市资源综合环境承载力评价的多因素多因子综合判别模型。综合考虑数据可获得性及研究区面积,以 1 km 格网为基准评价单元,基于资源环境综合承载力评价的多因素多因子综合判别模型,通过无量纲因子加权叠加分析,即可得到常州市资源环境综合承载力评价结果。

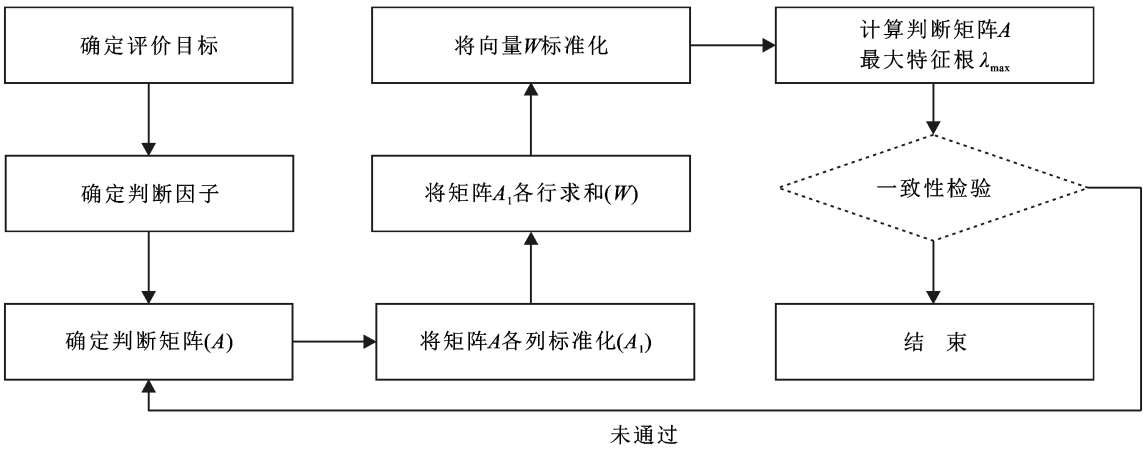


图 2　层次分析法的指标权重确定流程

表 2　评价因子权重及数据说明[20-22]

目标层	准则层(权重)	因子层(权重)	功能说明
常州市资源环境综合承载力评价	社会经济 A(0.057 7)	人均 GDP A_1(0.022 8) 人口规模 A_2(0.025 2) 第一产业 GDP A_3(0.030 2) 第二产业 GDP A_4(0.031 8) 第三产业 GDP A_5(0.042 3)	社会经济一定程度上直观反映了区域资源环境承载能力的高低,高社会经济发展水平代表了资源环境高承载力。
	生态环境 B(0.112 6)	绿地覆盖率 B_1(0.051 8) 生态红线 B_2(0.060 8)	绿地覆盖率是表征城市生态建设的重要指标,生态保护红线区是必须实现严格保护的国土生态空间。
	水资源 C(0.104 9)	水网密度 C_1(0.057 8) 人均水资源拥有量 C_2(0.097 1)	水资源和水环境是表征水源数量和质量的重要指标,评价一个地区剩余或潜在可利用水资源的支撑能力。
	水环境 D(0.192 6)	水功能分区 D_1(0.122 6)	
	大气环境 E(0.105 2)	大气功能区 E_1(0.105 2)	大气环境反映长期空气质量、降尘、硫酸盐化速率和降水等情况。
	地质环境 F(0.188 8)	地质灾害 F_1(0.108 8)	地质环境反映由于超量开采地下水引起的地面沉降和低山丘陵地带,由于不合理的切坡活动常引发一系列崩塌、滑坡灾害。
	土壤环境 G(0.082 3)	镉污染分级 G_1(0.009 8) 锌污染分级 G_2(0.006 7) 铬污染分级 G_3(0.009 4) 铜污染分级 G_4(0.009 3) 铅污染分级 G_5(0.008 6) 砷污染分级 G_6(0.009 2) 汞污染分级 G_7(0.004 7)	土壤环境面向土壤环境评价要求,通过选取土壤各类重金属含量为评价指标,综合分析常州市土壤生态环境健康状况。
	土壤质量 H(0.052 3)	农用地利用等 H_1(0.012 7) 农用地经济等 H_2(0.020 4) 农用地自然等 H_3(0.019 2)	土壤质量能够反映土地生产能力,是评价土地承载力的关键参考因子。
	土地资源 I(0.103 6)	土地利用强度 I_1(0.009 2) 土地产出效益 I_2(0.097 3) 人均土地面积 I_3(0.027 1)	土地资源是在确保土地资源合理利用和生态环境良性循环条件下,评价区域剩余或潜在可利用土地资源承载能力的重要指标。

3.2 土地资源支撑的人口承载力测算模型

为满足当前及未来人口高峰时期粮食安全，依据未来粮食供给及粮食消费标准，确定未来区域粮食供给能够支撑的最大人口规模[24]。测算模型为：

$$LCC=\frac{G}{W\cdot G_{pc}} \tag{1}$$

$$LCCI=\frac{P}{LCC} \tag{2}$$

式中：LCC 为耕地资源人口承载力(人)；G 为区域生活用粮总产量(kg)；W 为粮食自给率(%)；G_{pc} 为人均粮食消费标准(kg/人)；LCCI 为人口承载力指数；P 为现实人口数(人)。人口承载力指数越低，粮食盈余率就越高，表明区域人口数量与粮食供给的关系越平衡；反之，人口承载力指数越高，区域人口超载就越严重。

4 结果与分析

4.1 资源环境综合承载力评价

本文主要基于 2010—2019 年资源环境综合承载力评价的多因素多因子综合判别模型，常州市资源环境综合承载力状况如图 3 所示。常州市资源环境综合承载力总体较高，具有明显东高西低，平原高，山区丘陵低等特征，该评价结果与苏伟忠等[23]对常州市城市承载力空间分级分区结果、龚媛等[25]对常州市城市承载力空间分级分区结果及张小飞等[26]基于功能网络评价的常州市城市生态安全格局研究等研究结果相契合。由于地处太湖和沿江平原，毗邻中心城区，基础设施条件完备，自然与区位条件优越，使新北区和武进区成为资源环境高等级综合承载力集中分布区。相反，溧阳市和金坛区，由于远离中心城区，交通等基础设施建设薄弱，且多山地丘陵，虽具备优质生态环境，但生态脆弱，一经开发破坏，难以实现可持续利用。因此，金坛区和溧阳市资源环境综合承载力相对低于其他区域。而地处中心城区的钟楼、天宁、经开等区，由于多年的建设开发，虽然具备完善的基础设施条件，但是由于生态环境质量差、人口和建设密度高，已难以承载更多的建设开发活动。因此，中心城区资源环境综合承载力同属于低等级承载力区。

4.2 基于土地资源的人口承载规模测算

本研究土地资源人口承载力评价在粮食总产量预测基础上，综合考虑种子用粮、工业用粮需求，预测 2030 年生活用粮总供给量；由历史居民生活粮食消费状况及相关规划，确定 2030 年人均粮食消费量，由此测算未来区域人口承载力。

4.2.1 生活用粮总供给量

(1) 粮食播种面积预测。根据常州市 2010—2019 年粮食播种面积，以多年平均值作为评价目标年 2030 年粮食播种面积，为 136 810.00 hm^2。

(2) 粮食单产预测。由常州市 2010—2019 年统计年鉴的粮食总产量和粮食播种面积得粮食单产(表 3)。2010—2019 年，常州市粮食单产稳步增加，粮食单产处于较高水平，在可预测的粮食生产条件下，未来粮食单产不可能明显提升。因此，2030 年粮食单产取近 10 a 单产平均值作为预测值，为 7 316.44 kg/hm^2。

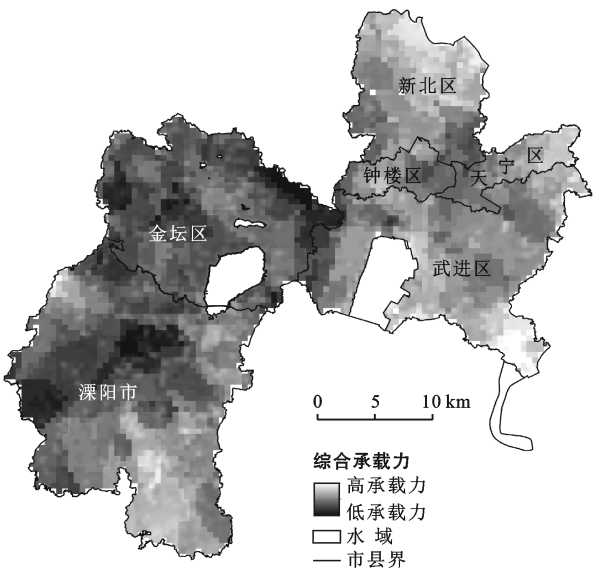


图 3 常州市资源环境综合承载力评价结果

表 3 常州市粮食单产及工业用粮折算量

年份	粮食播种面积/10^3 hm^2	粮食单产/(kg·hm^2)	工业用粮/t
2010	161.48	7 131.53	403 896.3
2011	159.51	7 221.49	405 700.1
2012	155.65	7 375.52	414 089.1
2013	150.32	7 564.52	442 191.4
2014	147.56	7 600.97	439 901.0
2015	142.77	7 586.05	442 430.1
2016	132.79	7 063.77	445 983.6
2017	112.84	7 210.36	456 312.8
2018	109.51	7 136.78	460 443.5
2019	95.67	7 273.40	450 048.5

(3) 粮食总产量预测。根据以上由 2010—2019 年统计数据得到的 2030 年常州市粮食播种面积及粮食单产预测结果，预测得常州市 2030 年粮食总产量为 1.00×10^6 t。

(4) 种子用粮预测。种子需要量主要取决于粮食播种面积和单位面积用种量。由于单位面积用种量年度间变化不大，因此本文采用已有研究成果[27]中

的 113.00 kg/hm^2 来计算种子用量需求量,即已知 1 hm^{2}平均所需种子用粮,结合上文常州市 2030 年粮食播种面积预测结果 136 810.00 hm^2,计算得到 2030 年常州市种子用粮需求量为 1.55×10^4 t。

(5) 工业用粮预测。工业用粮主要含酿酒、制作调味品、饲料生产等,不含制作食品、糕点等。根据常州市统计年鉴(2010—2019 年)中工业产品生产统计情况,借鉴已有研究[22],不同工业产品生产量与粮食用量的换算比例,将白酒、啤酒及饲料生产量折算为相应的工业用粮,换算比例白酒 1∶2.3,啤酒1∶0.172,味精 1∶24,饲料 1∶0.7。常州市 2010—2019 年工业用粮折算结果见表 3。

根据常州市 2010—2019 年工业用粮折算量,SPSS 曲线估计线性回归拟合良好,其 R^2 为 0.829,常州市 2030 年工业用粮水平预测模型为:

$$y=6\ 203.60x-401\ 908.00 \tag{3}$$

式中:x 为 2010—2019 年时间序列,y 为对应年份工业用粮,预测得常州市 2030 年工业用粮为 5.32×10^5 t。

(6) 生活用粮测算。由上述测算结果,各乡、镇粮食总产量除去种子用粮以及工业用粮,剩余部分即为供应区域人口消费的生活用粮为 4.53×10^4 t。

4.2.2　人均粮食消费量及粮食自给率

(1) 人均粮食消费量。根据江苏省全面建设小康社会的目标安排,2015 年江苏省要以县为单位实现全面小康,到 2020 年全省基本实现现代化。按这一目标要求及常州市目前发展状况,常州市 2020 年将全面达到富裕型生活水平。世界银行发布的《中国经济简报》预测,中国人均粮食消费量 2030 年达到 491 kg/人。因此,根据富裕型生活水平粮食消费需求及世界银行预测数据,综合确定常州市 2030 年人均粮食消费量为 483 kg/人。

(2) 粮食自给率预测。根据常州市 2010—2018 年的粮食自给率数据,从 2010—2018 年常州市粮食自给率呈现出减小的趋势,年均减小 2.5%。2016 年由于洪涝灾害的影响,常州市粮食自给率降低最为明显,达到 8.41%。考虑到国家粮食安全战略以及区域农业发展安全的战略,未来常州市粮食自给率可降低程度较小。同时考虑未来农业生产技术的提高,粮食单产的提高,根据常州市近 10 a 粮食自给率的平均值及粮食自给率回归预测模型,预测得常州市 2030 年粮食自给率为 0.25。至 2030 年,随着城市的扩展及人口的增加,粮食自给率明显下降,区域粮食供给依赖其他区域的调配供给。

4.2.3　人口承载力测算　根据常州市 2010—2019 年常住人口数统计状况可知,10 a 来常州市常住人口数量总体呈平稳增长趋势。常州全市常住人口 10 a 间增加 28.42 万人,年均增长率为 0.62%。

根据常州市 2010—2019 年人口数量,使用 SPSS 软件,进行曲线估计,由计算结果得知对数模型拟合效果最佳,其 R^2 为 0.954,由此构建常州市人口数量预测模型:

$$y=5.5904\ln x+460.66 \tag{4}$$

由预测模型得常州市评价目标年 2030 年常住人口数为 477.68 万人。

根据生活用粮、人均粮食消费及粮食自给率预测结果测算常州市人口承载力,由测算结果可知,2030 年常州市粮食供给可支持人口达 505.58 万人。基于粮食供给的人口承载力测算结果,计算 2030 年常州市的人口承载力指数为 1.27,2030 年的承载力状态级别整体处于人口过载状态。

5　讨 论

本研究引入多因素多因子综合评价模型对常州市资源环境综合承载力进行定量分析,利用多重共线性评估法科学全面选取自然、经济、社会因素因子,基于单要素承载力计算和分析,评价多要素约束下的资源环境综合承载力,模型构建客观、真实且可操作强。研究针对影响资源环境综合承载力的土地资源要素,基于粮食安全约束下的人口承载规模测算模型,全面分析了中国典型快速城镇化地区国土空间开发所面临的资源环境限制。

本研究利用量化数值计算、借助 ArcGIS 可视化表达显示,使结果更直观清晰地展现了常州市资源环境综合承载力空间分异情况。在科学研究层面,弥补因素因子选取不全面及研究尺度的空白,保证模型因子能够准确反映区域实际。本研究利用文献综合法、多重共线性评估法筛选评价因子,同时利用层次分析法确定因子权重,能够更加凸显指标因子的区域代表性。但是,各类资源、社会和人口评价指标之间及其与资源环境综合承载力之间的复杂机理还需分析总结,进一步全面因地制宜选取指标是下一步的研究方向。实际决策层面,本文的资源环境综合承载力评价更侧重于资源、环境和人口 3 个方面,在模型推广应用时还需充分考虑地域差异性构建体系,这就要求强化对指标要素之间及其与区域客观实际之间的权衡分析,从而为区域发展和资源保护提供决策依据。具体应用层面,构建多因素多因子综合评价指标体系计算常州市资源环境综合承载力,完善和补充了传统评价方法体系,具有很好的可操作性和普适性,但评价体系未考虑政策要素作用,可能会影响实际应用。最

后，研究测算常州市土地资源能够持续支撑的 2030 年最大人口规模，为区域发展规划提供有力的科学依据。

6 结 论

对江苏省常州市资源环境综合承载力评价结果显示，常州市资源环境综合承载力呈现出显著的东高西低，平原高山地丘陵区低等空间分异特征，体现出空间开发程度、自然本底和基础设施条件对于区域资源环境综合承载力水平所具有得显著约束。此外，基于常州市未来土地资源的粮食安全保障水平，2030 年常州市人口承载指数高达 1.27，显著高于国际警戒水平，处于超载状态。因此，常州市亟需对国土资源空间结构与布局进行调整，走可持续的绿色发展道路。

[参 考 文 献]

[1] 刘文政，朱瑾.资源环境承载力研究进展：基于地理学综合研究的视角[J].中国人口·资源与环境，2017，27(6)：75-86.

[2] 张保成，国锋.自然资源承载力问题研究综述[J].经济经纬，2006(6)：22-25.

[3] 熊建新，陈端吕，彭保发，等.2001—2010 年洞庭湖区经济、社会和环境变化及其生态承载力响应[J].地理科学进展，2014，33(3)：356-363.

[4] 邓祥征，梁立，吴锋，等.发展地理学视角下中国区域均衡发展[J].地理学报，2021，76(2)：261-276.

[5] 强海洋，兰平和，张宝龙，等.中国国土规划研究综述及展望[J].中国土地科学，2012，26(6)：92-96.

[6] 邱鹏.西部地区资源环境承载力评价研究[J].软科学，2009，23(6)：66-69.

[7] 董文，张新，池天河，等.我国省级主体功能区划的资源环境承载力指标体系与评价方法[J].地球信息科学学报，2011，13(2)：177-183.

[8] Srinivasan T N. Population growth and economic development [J]. Journal of Policy Modeling, 1988, 10(1): 7-28.

[9] 沈春竹，谭琦川，王丹阳，等.基于资源环境承载力与开发建设适宜性的国土开发强度研究：以江苏省为例[J].长江流域资源与环境，2019，28(6)：1276-1286.

[10] Martire S V, Castellani S S. Carrying capacity assessment of forest resources: Enhancing environmental sustainability in energy production at local scale [J]. Resources, Conservation and Recycling, 2015, 94: 11-20.

[11] 修丽娜.城市土地承载力分析：以天津滨海新区为例[J].安徽农业科学，2010，38(34)：19657-19660.

[12] 徐咏飞，邹欣庆.曹妃甸工业区水资源承载能力研究[J].中国人口·资源与环境，2009，19(6)：60-64.

[13] 郝庆，邓玲，封志明.面向国土空间规划的“双评价”：抗解问题与有限理性[J].自然资源学报，2021，36(3)：541-551.

[14] 牛方曲，封志明，刘慧.资源环境承载力评价方法回顾与展望[J].资源科学，2018，40(4)：655-663.

[15] 王贞超，李满春，李飞雪.基于锡尔指数的区域土地利用时空分布特征：以常州市为例[J].长江流域资源与环境，2012，21(8)：951-957.

[16] 常州市国民经济和社会发展统计公报[R].江苏 常州：常州年鉴社，2019.

[17] Thompson S, Treweek J R, Thurling D J. The potential application of strategic environmental assessment (SEA) to the farming of Atlantic Salmon(*Salmo salar* L.)in Mainland Scotland [J]. Environmental Management, 1995, 45(3): 219-229.

[18] 郭秀锐，毛显强，冉圣宏.国内环境承载力研究进展[J].中国人口·资源与环境，2000，20(S1)：29-31.

[19] 封志明.资源科学的研究对象、学科体系与建设途径[J].自然资源学报，2003，18(6)：742-752.

[20] Li Kaiyuan, Jin Xiaolong, Ma Danxun, et al. Evaluation of resource and environmental carrying capacity of China's rapid-urbanization areas: A case study of Xinbei District, Changzhou [J]. Land, 2019, 8(4): 8040069.

[21] 徐晓晔，黄贤金.基于碳排放峰值的长江经济带人口承载力研究[J].现代城市研究，2016(5)：33-38.

[22] 肖玉，成升魁，谢高地，等.我国主要粮食品种供给与消费平衡分析[J].自然资源学报，2017，32(6)：927-936.

[23] 苏伟忠，杨桂山，陈爽，等.城市增长边界分析方法研究：以长江三角洲常州市为例[J].自然资源学报，2012，27(2)：322-331.

[24] 李如雪，王振健.聊城市耕地生产潜力及人口承载力研究[J].中国农学通报，2011，27(26)：245-248.

[25] 龚媛，李飞雪，洪武扬，等.区域空间管制约束下的建设用地动态变化分析：以常州市为例[J].长江流域资源与环境，2015，24(11)：1813-1818.

[26] 张小飞，李正国，王如松，等.基于功能网络评价的城市生态安全格局研究：以常州市为例[J].北京大学学报(自然科学版)，2009，45(4)：728-736.

[27] 钟太洋，黄贤金，马其芳，等.省级区域耕地保有量测算研究：以江苏省为例[J].资源开发与市场，2007(5)：404-407.