

DOI: 10.5846/stxb201903280602

吴健生, 门·新纳, 梁景天, 赵宇豪. 基于基尼系数的生态系统服务供需均衡研究——以广东省为例. 生态学报, 2020, 40(19): 6812–6820.

Wu J S, Men X N, Liang J T, Zhao Y H. Research on supply and demand equilibrium of ecosystem services in Guangdong Province based on the gini coefficient. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(19): 6812–6820.

基于基尼系数的生态系统服务供需均衡研究 ——以广东省为例

吴健生^{1,2,*}, 门·新纳¹, 梁景天¹, 赵宇豪^{1,2}

1 北京大学深圳研究生院 城市规划与设计学院 城市人居环境科学与技术重点实验室, 深圳 518055

2 北京大学 城市与环境学院 地表过程与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

摘要: 生态系统服务供需研究尚不成熟, 亟需建立一套适用于多数区域而数据要求不高的供需评价方法, 因此, 以广东省地级市为研究单元, 以生态系统服务价值表征生态系统服务供给量, 根据对生态系统服务的消耗量或期望获得量核算生态系统服务需求量, 提出了一种基于基尼系数识别区域内各类生态系统服务供需状态, 并据此评估各城市生态系统服务供需均衡状态的方法。研究结果表明: ①广东省生态系统的水源涵养服务基尼系数为 0.135, 大部分地级市的供需系数位于 0.75—1.25 之间, 整体空间供需高度均衡; 食物生产、原材料生产和保持土壤服务基尼系数在 0.293—0.423 之间, 供需系数东高西低, 有一定程度的空间不均但在合理范围内; 而气体调节和废物处理服务供需基尼系数大于 0.6, 在空间上出现两极分化; ②广东省综合生态系统服务基尼系数为 0.332, 处于合理范围内, 基于此, 将城市按供需均衡状态分为低供给高需求、供需相对均衡和高供给低需求三类, 处于不同状态的城市需要根据不同的策略对生态系统服务供需关系进行调整, 维护区域生态安全。本研究可以为促进广东省及其他区域城市可持续发展, 加快建设生态文明提供决策指引。

关键词: 生态系统服务; 基尼系数; 洛伦兹曲线; 广东省

Research on supply and demand equilibrium of ecosystem services in Guangdong Province based on the gini coefficient

WU Jiansheng^{1,2,*}, MEN Xinna¹, LIANG Jingtian¹, ZHAO Yuhao^{1,2}

1 Key Laboratory for Urban Habitat Environmental Science and Technology, School of Urban Planning and Design, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China

2 Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: Research on the supply and demand of ecosystem services is still in its early stages, and a set of supply and demand evaluation methods that have region-wide suitability and low data requirements is urgently needed. Given this situation, the present study took prefecture-level cities in Guangdong Province as research units, estimated the ecosystem service demand based on the consumption or desired amount of ecosystem services and calculated the ecosystem service supply based on the value of ecosystem services per unit land area. A method to recognize the regional balance between the supply and demand of ecosystem services based on the Gini coefficient was further proposed. The results showed that the water conservation service in Guangdong had a Gini coefficient of 0.135, suggesting a relatively even spatial distribution; the food production, material production, and soil maintenance ecosystem services had Gini coefficients between 0.293 and 0.423, indicating that their distributions were spatially uneven to some extent but reasonable; the atmosphere regulation and

基金项目: 国家重点研发计划 (2019YFB2102000); 国家自然科学基金面上项目 (41671180); 深圳市科技计划 (JCYJ20170412150910443)

收稿日期: 2019-03-28; **修订日期:** 2020-05-09

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wujs@pkusz.edu.cn

waste disposal services had Gini coefficients above 0.6, representing spatial polarity between supply and demand. The ecosystem service synthetical supply-demand coefficients of Guangdong Province was 0.332 and the cities can be classified according to their equilibrium states of supply and demand into 3 categories: low supply-high demand, relative balance between supply and demand, and high supply-low demand. Low supply-high demand cities can make full use of economic and technological advantages to change the condition of having less supply and greater demand for ecosystem services and reduce ecological risks; cities in which there is a relative balance between supply and demand can improve targeted protection of ecosystem service supplies and pay close attention to changes in supply and demand; and high supply-low demand cities can increase their demand for ecosystem services appropriately on the premise of ensuring ecological security, so as to effectively utilize the supply of ecosystem services. This study provides decision-making guidance for promoting the sustainable development of cities in Guangdong Province and other regions, and for accelerating the development of ecological civilizations.

Key Words: ecosystem service; Gini coefficient; Lorenz curve; Guangdong Province

生态系统服务是指生态系统能够提供的维持和满足人们生活需求的各种环境条件与效用,即人类从生态系统中直接或间接获得的各种惠益^[1-2]。生态系统提供的各项服务,为人们生存和发展提供了必需的资源 and 环境基础^[3]。然而,“千年生态系统评估”结果指出:地球上超过 60%的生态系统服务都发生了不同程度的退化^[4],其中最重要的一个原因是生态系统服务格局与区域社会经济没有得到优化配置^[5]。生态系统服务供给主要受区域自然属性影响^[6];需求则受人类主观意愿决定^[7-8]。对生态系统服务供给和需求均衡进行评估研究,可以反映环境资源的空间配置,对实现生态安全和可持续发展具有重要推动作用^[9]。

生态系统服务供给和需求的研究在国内尚不成熟,其关键和难点在于刻画供需的空间异质性^[10]。目前,生态系统服务供需空间化的研究方法主要有 4 类:土地利用估计、生态过程模拟、数据空间叠置和专家经验判别以及综合集成式模型,如 InVEST 和 ARIES^[11]。虽然空间化方法多样,但这些方法均存在一定程度的不足之处。土地利用估计以土地利用表征生态系统服务,往往与生态监测结果存在一定的偏差;生态过程模拟方法主要集中在供给分析,缺乏对供给与需求的量化模型^[12];基于多元数据空间叠置制图生态系统服务的方法,虽不需要进行复杂的模型计算,但其结果直接受采用的数据和图件影响,较适用于成果较为丰富且成熟的生态服务类型^[13];而基于土地利用的生态系统服务供需关系矩阵评估方法,对专家的知识要求较高,主观影响无法避免,得出的结果往往无法反应实际情况^[14];已有的 InVEST 和 ARIES 模型在运行过程中需要大量的参数,在数据缺乏地区限制较大,且仍处于开发阶段^[11]。故而,亟须建立一套适用于多数区域而数据要求不高的生态系统服务供需评价方法。

基尼系数与洛伦兹曲线是国际上用来综合考察居民内部收入分配差异的一个重要分析指标^[15-16],其实质是衡量指标分配的均衡性,在生态环境领域已有应用。较典型的有学者黄和平^[17]以江西省为例,利用资源环境基尼系数方法评估了环境公平性;钟晓青^[18]和张音波^[19]等以广东省为研究区域,计算了资源环境基尼系数,表明资源环境基尼系数在评估城市环境资源配置方面已具有一定的合理性和有效性。因此,本文尝试基于基尼系数的内涵以及前人的相关研究,将基尼系数引入到生态系统服务供给与需求均衡研究中,以生态系统服务供给量和需求量的累计占比分别替代基尼系数中的收入、人口累计占比,构建了生态系统服务供需系数和基尼系数,对区域生态系统服务供需空间分布及变化特点进行分析量化。

广东省是我国改革开放的先行地区,在经济迅速发展的同时,其经济与环境发展不均衡等问题引起了大量关注^[20]。而这些问题与生态系统服务密切相关^[21]。在供给端,人为因素导致的水^[22]、土^[23]、气^[24]等污染问题,使生态系统服务难以维持原有供给水平。在需求端,城市化进程的加快,经济发展水平提高,人类对区域生态保护、支持服务等的需求迅速增加^[25]。上述现象反映了广东省生态系统服务需求与生态系统服务供给之间难以协调问题。因此,本文以广东省为例,从谢高地^[26]等划分的 9 类生态系统服务中选取部分服务类

型进行供需核算。其中由于气候调节和维持生物多样性两类服务属于“全球非临近”类服务^[27],而文化服务的产生和获取具有主观性,消费过程具有非消耗性^[28],难以量化其需求^[11],所以不进行该三类服务的供需核算。最终,本文选取食物生产、原材料生产、气体调节、水源涵养、废物处理和土壤保持六类生态系统服务,基于基尼系数,进行生态系统服务空间供需分析,为促进广东省及其他区域的城市可持续发展,加快建设生态文明提供决策指引。

1 研究区概况

广东省(109°45′—117°20′E、20°12′—25°31′N,图1),属于亚热带季风气候区,可分为粤东、粤北、粤西和珠三角4个地区,选取省内的21个地级市作为本研究的基本研究单元。地形方面,粤东、粤北、粤西地区以丘陵为主,珠三角地区和沿海地区则以台地和平原为主。社会经济方面,2015年,广东省常住人口达到1.085亿,GDP总量为72812.55亿元。其中,珠三角地区是广东省的高城市化水平地区,2015年常住人口达到5874.27万,GDP总量62267.78亿元;粤东、粤北和粤西地区的城市化水平则相对较低。总体而言,广东省的自然生态和社会经济在空间分布上都具有很强的异质性。

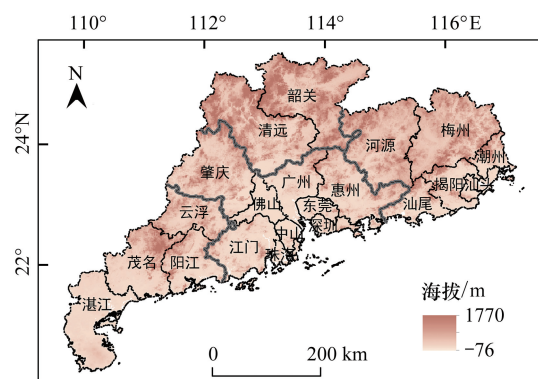


图1 研究区位置和地形图

Fig.1 Position and terrain of the research area

2 研究方法

2.1 生态系统服务供需系数和基尼系数计算

基尼系数实质上是分析一个指标在另一个指标中分布的均衡情况^[29],生态系统服务供给在区域需求上分配的非均衡性问题与经济收入具有相似的原理:假设基于一定比例的生态系统服务需求量,需要有相同比例的生态系统服务供给量与之相适应,而洛伦兹曲线是适应关系的直观表达。鉴于此,本文以生态系统服务供给量、需求量的累计占比分别替代基尼系数中的收入、人口累计占比,构建生态系统服务基尼系数,并通过基尼系数衡量广东省生态系统服务供需的空间均衡程度。

本文核算了广东省各市6类生态系统服务的供给和需求,对供给和需求分别除以各组数据最大值进行无量纲化。参考钟晓青等^[18]构建“绿色负担系数”和王金南等^[30]构建“绿色贡献系数”的方法,构建生态系统服务供需系数 ESSD,用以评估内部单元均衡程度,可用公式(1)表示:

$$ESSD_{i,j} = \frac{ES_supply_{i,j} / \sum ES_supply_j}{ES_demand_{i,j} / \sum ES_demand_j} \quad (1)$$

式中, $ESSD_{i,j}$ 、 $ES_supply_{i,j}$ 、 $ES_demand_{i,j}$ 分别为第 i 个城市第 j 种生态系统服务的供需系数、供给量、需求量; $\sum ES_supply_j$ 、 $\sum ES_demand_j$ 分别为全省第 j 种生态系统服务的供给量、需求量。若 $ESSD_{i,j} = 1$, 则表明城市的生态系统服务的供给和需求占全省的供给量和需求量的比例是相同的, 供需在空间中的分布达到相对均衡; 若 $ESSD_{i,j} > 1$ 或 $ESSD_{i,j} < 1$, 则表明城市的生态系统服务供给比率大于或小于需求比率, 体现出服务供需的空间分布不均衡, 且 ESSD 越远离 1, 不均衡就越严重。

随后, 按供需系数从小到大顺序排列, 按照洛伦兹曲线的绘制方法, 加和各城市的累积供给百分比(0—100%)和累积需求百分比(0—100%), 得到表示生态系统服务供需洛伦兹曲线, 并计算曲线下方的图形面积, 进而得到生态系统服务基尼系数。该曲线与代表绝对平等分配的 45 度线之间的部分面积为 A , 洛伦兹曲线右下方面积为 B , 生态系统服务供需基尼系数可用公式(2)表示:

$$\text{Gini Coefficient} = \frac{A}{A+B} \quad (2)$$

当基尼系数小于 0.2,表明生态系统服务供需分配高度均衡;处于 0.2—0.3 时,生态系统服务供需分配相对均衡;处于 0.3—0.4 时,为比较合理;处于 0.4—0.5 间,表明趋于两极分化;大于 0.5,则表明生态系统服务供需分配高度两极分化。

2.2 生态系统服务供给核算

基于彭建等^[31]计算的广东省各地类单位面积的生态系统服务价值表,和中国科学院资源环境科学数据中心(www.resdc.cn)提供的 2015 年广东省土地利用分类图,使用公式(3)计算 2015 年广东省 21 个地级市食物生产、原材料生产、气体调节、水源涵养、废物处理和土壤保持 6 类生态系统服务供给量:

$$\text{ES_supply}_{i,k} = \sum_j (V_{j,k} \times A_{i,j}) \quad (3)$$

式中, $\text{ES_supply}_{i,k}$ 为第 i 个城市的第 k 类生态系统服务类型供给量, $V_{j,k}$ 为单位面积第 j 类用地类型提供的第 k 类生态系统服务类型价值, $A_{i,j}$ 为第 i 个城市的第 j 类用地类型的面积。

2.3 生态系统服务需求核算

基于 Villamagna 等^[8]的需求定义,即认为生态系统服务需求既包括从生态系统中可获得或已消耗的产品或服务,也包括期望获得的产品或服务。具体到本研究涉及的 6 类生态系统服务而言,其服务需求的涵义及指标数据来源如下:

(I)食物生产。考虑到广东省部分沿海城市的海洋渔业产值远大于陆地渔业产值,但用于生态系统服务供给核算的土地利用图只包括陆地部分,因此使用淡水养殖产量占总产量的比例对渔业产值进行修正,即使使用公式(4)计算食物生产服务需求量:

$$\text{ES_demand}_{i,\text{food}} = p_{i,\text{agri}} + p_{i,\text{livestock}} + p_{i,\text{aqua}} \times \frac{m_{i,\text{fresh}}}{m_{i,\text{all}}} \quad (4)$$

式中, $p_{i,\text{agri}}$ 、 $p_{i,\text{livestock}}$ 、 $p_{i,\text{aqua}}$ 分别为 2015 年第 i 个城市的农业、牧业、渔业产值, $m_{i,\text{fresh}}$ 和 $m_{i,\text{all}}$ 分别为第 i 个城市的淡水养殖产量和水产品总产量。数据来源为广东省统计年鉴。

(II)原材料生产。使用林业产值代表各市对生态系统原材料生产服务的需求水平,这与生态系统原材料服务供给中林地单位服务价值远大于其他地类也是对应的。数据来源为广东省统计年鉴。

(III)气体调节。大气污染物主要来自工业源和机动车源,因此使用以下公式(5)计算各市对气体调节服务的需求:

$$\text{ES_demand}_{i,\text{atmos}} = \text{ind_emission}_i + n_automobile_i \times \text{avg_e} \quad (5)$$

式中, ind_emission_i 和 $n_automobile_i$ 分别为 2015 年第 i 个城市的工业大气污染物(包括烟粉尘、 SO_2 、 NO_x)排放量和民用机动车数量,数据来源广东省统计年鉴、广东省各地级市统计年鉴和年度环境公报; avg_e 为 2015 年广东省平均每辆机动车排放大气污染物的量,数据来源于广东省机动车污染防治年报。

(IV)水源涵养。使用各市 2015 年的水资源总量代表各市对水源涵养服务的需求水平,数据来源于广东省水资源公报。

(V)废物处理。排放到生态系统中的废物包括固废和废水,但统计数据显示 2015 年广东省各地级市的工业丢弃固体废物量均极少,生活垃圾无害化处理率也已达到较高水平(21 个地级市中有 20 个达到 90% 以上,17 个达到 100%),因此使用废水排放总量代表各市对废物处理服务的需求,数据来源为广东省统计年鉴。

(VI)土壤保持。使用各市 2015 年的化肥、农药、地膜消耗量代表各市对保持土壤服务的需求,分别除以各自的最大值进行无量纲化后进行相加。数据来源于广东省农村统计年鉴。

2.4 生态系统服务综合供需系数和基尼系数计算

生态系统服务供需系数和基尼系数只能表示某类生态系统服务的空间供需情况,而不能反映城市发展的综合生态系统服务供需均衡性。因此,本文将上生态系统服务的供给量和需求量进行分别加和得到综合的生

态系统服务供给和需求(公式(6)、(7)),并计算各市综合供给和需求占全省之比的比值(公式(8)),得到生态系统服务综合供需系数,并进一步绘制洛伦兹曲线,使用公式(1)计算其基尼系数:

$$CES_demand_i = \sum_j ES_demand_{i,j} \quad (6)$$

$$CES_supply_i = \sum_j ES_supply_{i,j} \quad (7)$$

$$CESSD_i = \frac{CES_supply_i / \sum CES_supply_i}{CES_demand_i / \sum CES_demand_i} \quad (8)$$

式中, CES_demand_i 为第 i 个城市的生态系统服务需求总和; CES_supply_i 为第 i 个城市的生态系统服务供给总和; $CESSD_i$ 为第 i 个城市的生态系统服务综合供需系数, $CESSD_i$ 的涵义同公式(1),若 $CESSD_i = 1$,则表明城市的生态系统服务的供给和需求占全省的供给量和需求量的比例是相同的,供需在空间中的分布达到相对均衡;若 $CESSD_i > 1$ 或 $CESSD_i < 1$,则表明城市的生态系统服务供给比率大于或小于需求比率,体现出服务供需的空间分布不均衡,且 $CESSD$ 越远离 1,不均衡的情况就越严重。

3 结果与讨论

3.1 生态系统服务供需的空间分布

广东省各城市的各类生态系统服务的供需系数如表 1 所示,生态系统服务供需系数在广东省内的空间分布、洛伦兹曲线和对应的基尼系数如图 2、图 3 所示。根据这 6 类生态系统服务基尼系数的大小和供需系数的空间分布差异,本研究将生态系统服务供需状态分为 3 类,即基尼系数小于 0.2 的高度均衡类、基尼系数处于 0.2—0.5 之间供需相对均衡类、基尼系数大于 0.5 的供需两极分化类:

表 1 广东省城市各生态系统服务供需系数

Table 1 Supply—demand coefficients of ecosystem services for cities in Guangdong Province

区域 Region	城市 City	食物生产 Food production	原材料生产 Raw material production	气体调节 Atmosphere regulation	水源涵养 Water conservation	废物处理 Waste deposal	土壤保持 Soil maintainance
珠三角 Pearl River Delta	广州	0.53	2.10	0.27	0.80	0.23	0.57
	深圳	5.12	10.64	0.06	0.76	0.04	7.99
	珠海	0.61	4.13	0.14	1.26	0.43	0.74
	佛山	0.33	2.25	0.07	1.81	0.50	0.13
	江门	1.05	1.68	0.99	0.97	1.64	2.08
	东莞	1.20	4.41	0.05	0.83	0.10	0.30
	中山	0.45	61.54	0.10	1.55	0.40	0.06
	惠州	1.28	4.17	1.43	0.94	1.24	2.12
粤东 Eastern Guangdong	肇庆	1.00	0.49	2.57	1.10	3.34	1.31
	汕头	0.49	2.25	0.16	1.37	0.60	0.33
	汕尾	1.11	1.42	2.08	0.81	2.10	4.73
	潮州	1.08	1.45	1.03	0.96	1.34	0.46
	揭阳	0.66	0.32	1.18	0.74	0.91	0.69
	梅州	1.35	2.25	3.19	1.18	4.72	1.59
	河源	3.01	1.54	6.95	1.22	7.11	1.68
	云浮	0.97	0.45	2.20	1.41	4.20	0.82
粤西 Western Guangdong	阳江	1.25	0.78	1.57	0.80	3.48	1.12
	茂名	0.59	0.55	2.08	0.96	3.34	0.80
	湛江	0.76	0.66	1.69	1.50	2.75	0.42
	清远	1.83	1.26	2.48	0.70	5.13	1.55
粤北 Northern Guangdong	韶关	2.02	1.92	3.23	0.93	4.24	3.34

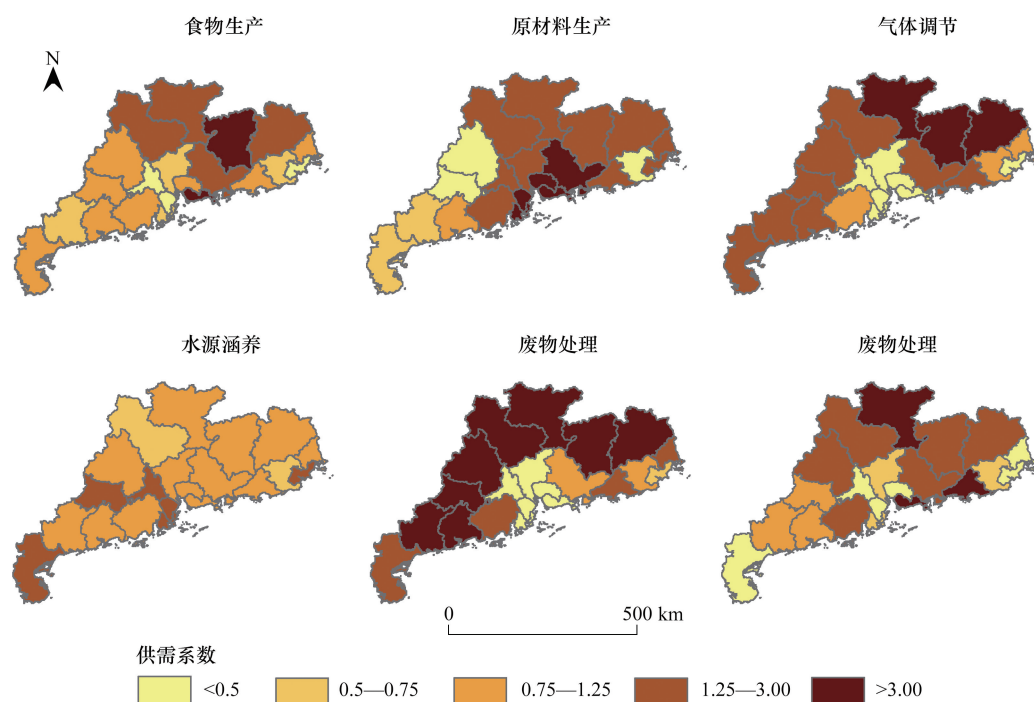


图2 广东省生态系统服务供需系数空间分布

Fig.2 ESSD coefficient of eco-service supply and demand in Guangdong Province

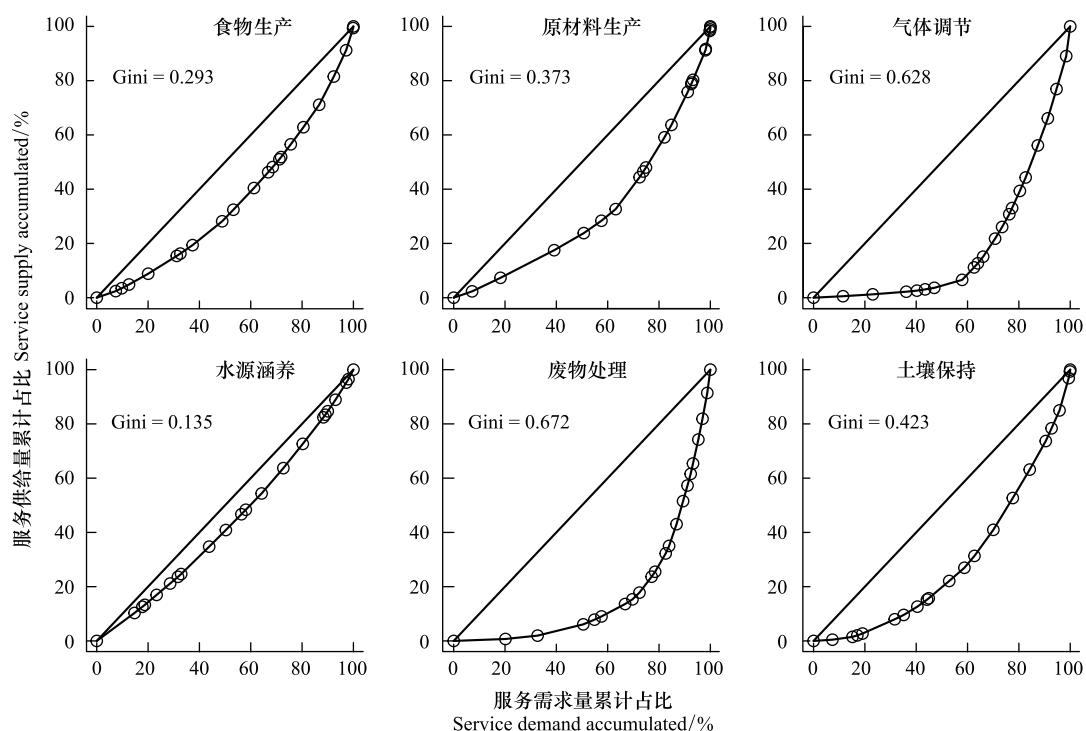


图3 广东省生态系统服务供需基尼系数

Fig.3 Gini coefficient of eco-service supply and demand in Guangdong Province

第一类生态系统服务为水源涵养,其空间供需高度均衡,基尼系数为 0.135,供需系数最低的为清远市的 0.70,最高的为佛山市的 1.81,大部分地级市的供需系数位于 0.75—1.25 之间。这表明广东省内各市的水资源能基本按其需求量大小得到相应的涵养服务量。广东省水资源禀赋丰裕,一定程度上保证了区域水资源的基本供给。同时,广东省人民政府于 1995 年、2002 年相继颁布了《广东省取水许可制度与水资源费征收管理办法》和《广东省水资源管理条例》,减少了广东省人类活动对生态系统水源涵养服务的直接影响^[32]。

第二类生态系统服务包括食物生产、原材料生产和土壤保持三种,其空间供需存在一定不均衡,基尼系数在 0.293—0.423 之间,基本处于合理范围内。从供需系数的空间分布可见,这三类生态系统服务在广东省内均呈现东高西低的特点。其中,供需系数远大于 1 区域主要集中在粤北区域,该区生态资源丰富,是广东省重要的生态屏障,且设有规模较大的生态特别保护区^[33];其次,当地农业在全省占据重要地位,其中林业几乎占广东林业总值的 9%,牧渔业产值自 2000 至 2014 年均保持在全省前列^[34]。基于以上事实,粤北区域依然表现为供大于需,可进一步表明当地该三类服务供给充裕远高于本地需求。珠三角区域深圳、东莞、中山在原材料生产服务中供需指数极高,这是因为三地发展重心并非林业,相关需求相对较低;与此同时,三地一直重视林地保护,林地面积一直保持增长,保证了该类服务供给水平^[35]。广东省食物生产、原材料生产和土壤保持三类服务的供需系数在空间上呈现不均衡的状态与当地农牧渔业、林业发展实际情况一致。

第三类生态系统服务包括气体调节和废物处理两种,基尼系数大于 0.6,表明空间供需两极分化严重。部分城市的这两类服务供给量占全省的大部分,但需求量占比很少,从供需系数的空间分布可看出这些城市基本为粤西、粤北和粤东的欠发达城市。另一些城市的这两种服务供给量占比很少,但具有很大的需求量占比,这些城市基本为珠三角地区的发达城市。这两种生态系统服务都与第二、第三产业有关,二三产业的发展,引起能源需求增加,促进了能源的消耗,扩大了各类污染物的排放量,故珠三角地区呈现出需求比大于供给比的情况。同时,珠三角地区城市化进程相较其他区域较快,城市规模的扩张在一定程度上促进其他用地类型转化为城市用地,部分林草植被也遭到破坏,从而使本地区的服务供给源相应缩小,这种供给源缩小和污染排放扩大的情况必然造成服务供需的不均衡。因此,对于广东省该类生态系统服务而言,其需求量主要由频繁的经济活动引起,其大部分需求量集中在高度城市化的珠三角地区,与由土地利用/土地覆被类型决定的服务供给量的空间分布存在较大的差异,且供给量无法满足需求量,造成生态系统服务空间供需的严重不匹配。

3.2 基于基尼系数的广东省生态系统服务供需均衡评估

根据计算出的各城市的 6 类生态系统服务综合供需系数和洛伦茨曲线,计算得出广东省生态系统服务基尼系数为 0.332,基本处于合理范围内,表明广东省生态系统服务供需总体上处于相对均衡状态。根据综合供需系数,本文进一步使用等距离法将全省 21 个城市分为 3 类,分别为:低供给高需求类城市、供需相对均衡类城市、高供给低需求类城市(图 4):

(I) 低供给高需求类城市,包括东莞、佛山、广州、汕头、中山、揭阳、珠海和深圳 8 个城市。这些城市均位于珠三角地区或粤东沿海地区,具有较高的城市化水平和经济发展程度,但人口的不断涌入和建设用地的迅速扩张造成了生态系统服务的需求量增加、供给量下降,以至于这些城市的生态系统服务的全省供给占比小于需求占比,生态压力不断上升,处于高生态风险的状态。这些地区需要提高对生态安全的重视,利用经济和技术优势加快进行生态修复和保育,促进产业转型和新能源开发使用,走绿色发展道路。此外,这些城市可与周边地区积极探索合作机制,以弥补高生态系统服务需求的负外部性影响。

(II) 供需相对均衡类城市,包括潮州、湛江、茂名、阳江、云浮、江门、肇庆、惠州、汕尾和清远 10 个城市。这些城市的生态系统服务在全省中的供给占比约等于或略高于需求占比,不但处于较为均衡的生态系统服务供需位置中,而且有一定的韧性可以抗衡进一步发展对生态系统服务的需求量增加,因此处于可持续的状态中。这些城市大多有良好的生态本底,需要制定详尽的生态环境规划,通过划定生态保护线等方式使生态系统的各类服务供给量保持在稳定水平。虽然这些城市的综合生态系统服务供需均衡程度较为合理,有利于城市的可持续发展,但仍可能存在部分服务子类供需相对不均。潮州市、湛江市的土壤保持服务和云浮市的原

材料生产服务供需系数仍小于 0.5,需加以保护和提升。在进一步的发展过程中,这些城市需要密切关注生态系统服务需求的增长情况,警惕对生态系统服务需求过高的资源枯竭式发展。

(III)高供给低需求类城市,包括韶关、河源和梅州 3 个粤东北城市。这些城市的生态系统服务供给量在全省中占比较高,但需求量占比较低,表明它们具有较丰富的自然生态资源但是资源的使用度却远低于省内的其他城市,因而暂时处于不均衡状态。这些城市可在确保生态安全的前提下,适当增大对生态系统服务的需求量,充分运用当地自然资源的优势发展经济,与(I)中的低供给高需求类城市建立以产业转移、人才引进等途径的综合作机制,使广东省内部的生态系统服务供需的空间分布趋于更加合理。

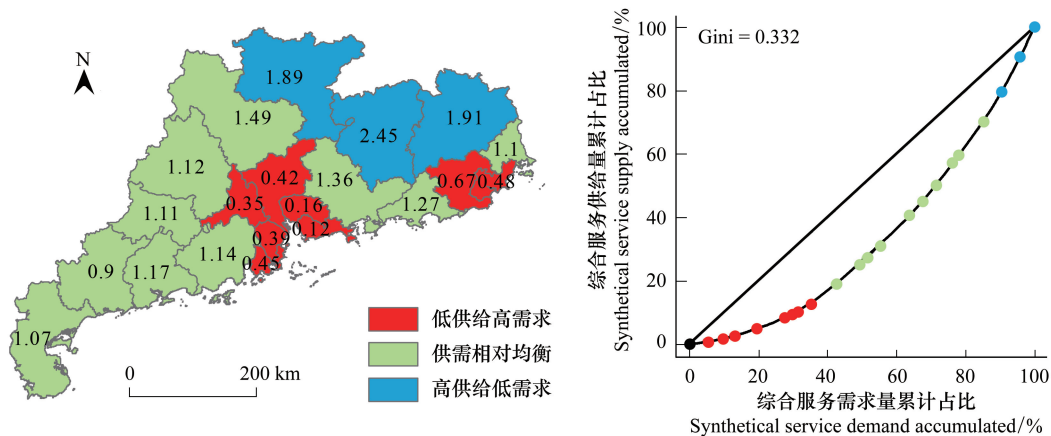


图 4 广东省城市生态系统服务供需均衡状态分类,数字为对应城市的生态系统服务综合供需系数

Fig.4 Classification of cities in Guangdong Province according to the equilibrium states of supply and demand of ecosystem services. The numbers are ecosystem service synthetic supply—demand coefficient of the cities

4 结论与展望

本研究对生态系统服务空间供需进行研究的意义不在于试图完全消除不均衡,而是为了识别各类生态系统服务的供需不均衡程度,从而评估各城市的供需均衡状态。通过基于生态系统服务供需系数和基尼系数的分析得到的结果表明,广东省的生态系统服务中,水源涵养服务的空间供需量相对均衡,可进一步追求服务的质量提升;食物生产、原材料生产和土壤保持服务在空间供需上有一定程度但相对合理的不均衡,需要持续注意防控风险,避免供需失衡过度;气体调节和废物处理服务的空间供需则趋于两极分化,需要在中长期省一级发展规划中逐渐调整需求的分布,而短期内可考虑货币形式的生态补偿作为过渡手段。根据生态系统服务的综合供需均衡程度,可将广东省地级市分为低供给高需求、供需相对均衡和高供给低需求三类。低供给高需求类城市多为珠三角一带发达城市,应重点利用经济和技术优势加快进行生态修复和保育走绿色发展道路;高供给低需求类城市多为粤北欠发达山区城市,可在保护自身生态环境优势的同时,加快承接低供给高需求类城市产业升级、转型带来的产业“转移”;相对均衡类城市在维持现状的前提下,应警惕对生态系统服务需求过高的资源枯竭式发展,走可持续发展道路。

在目前的生态系统服务供需研究中,生态系统服务供需均衡评估方法已取得较多成果,但还未有一种操作简便、具有普适性的评估方法;本文综合考虑广东省实际情况核算生态系统服务供需量,引入基尼系数与洛伦兹曲线评估广东省生态系统服务供需状态,是对生态系统服务定量分析的重要尝试。但这种方法仍存在一些可改进之处。首先,城市发展是一个动态过程,本研究限于数据可获得性仅分析了广东省各城市 2015 年的生态系统服务供需状况,缺少从发展趋势的角度对城市生态系统服务供需均衡状态进行评估,在下一步研究中可结合土地利用/土地覆被变化和生态系统服务的演化进行城市均衡状态的动态评估。其次,对生态系统服务供给的计算采用的当量因子法,其结果存在一定的误差,有待进一步改进;同样在需求的定义和核算方法

方面也需进一步明确和改进。

参考文献 (References):

- [1] Daily G C. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Washington, DC: Island Press, 1997: 220-221.
- [2] 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. *Ecological Economics*, 1998, 25(1): 3-15.
- [3] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446.
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being*. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [5] 程玉鸿, 黄顺魁. 改革开放以来广东省经济发展不平衡时空演变. *经济地理*, 2011, 31(10): 1592-1598.
- [6] Syrbe R U, Walz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics. *Ecological Indicators*, 2012, 21: 80-88.
- [7] Villamagna A M, Angermeier P L, Bennett E M. Capacity, pressure, demand, and flow: a conceptual framework for analyzing ecosystem service provision and delivery. *Ecological Complexity*, 2013, 15: 114-121.
- [8] 严岩, 朱捷缘, 吴钢, 詹云军. 生态系统服务需求、供给和消费研究进展. *生态学报*, 2017, 37(8): 2489-2496.
- [9] 李双成, 王珏, 朱文博, 张津, 刘娅, 高阳, 王阳, 李琰. 基于空间与区域视角的生态系统服务地理学框架. *地理学报*, 2014, 69(11): 1628-1639.
- [10] 肖玉, 谢高地, 鲁春霞, 徐洁. 基于供需关系的生态系统服务空间流动研究进展. *生态学报*, 2016, 36(10): 3096-3102.
- [11] 马琳, 刘浩, 彭建, 吴健生. 生态系统服务供给和需求研究进展. *地理学报*, 2017, 72(7): 1277-1289.
- [12] Stürck J, Poortinga A, Verburg P H. Mapping ecosystem services: the supply and demand of flood regulation services in Europe. *Ecological Indicators*, 2014, 38: 198-211.
- [13] Serna-Chavez H M, Schulp C J E, van Bodegom P M, Bouten W, Verburg P H, Davidson M D. A quantitative framework for assessing spatial flows of ecosystem services. *Ecological Indicators*, 2014, 39: 24-33.
- [14] Eigenbrod F, Armsworth P R, Anderson B J, Heinemeyer A, Gillings S, Roy D B, Thomas C D, Gaston K J. The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, 2010, 47(2): 377-385.
- [15] Gini C. Measurement of inequality of incomes. *The Economic Journal*, 1921, 31(121): 124-126.
- [16] Gastwirth J L. The estimation of the Lorenz curve and Gini index. *The Review of Economics and Statistics*, 1972, 54(3): 306-316.
- [17] 黄和平. 基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究. *生态学报*, 2012, 32(20): 6431-6439.
- [18] 钟晓青, 张万明, 李萌萌. 基于生态容量的广东省资源环境基尼系数计算与分析——与张音波等商榷. *生态学报*, 2008, 28(9): 4486-4493.
- [19] 张音波, 麦志勤, 陈新庚, 彭晓春. 广东省城市资源环境基尼系数. *生态学报*, 2008, 28(2): 728-734.
- [20] 隋春花. 用环境公平促优质发展——广东生态发展区生态补偿机制建设探讨. *环境保护*, 2010, (3): 61-63.
- [21] 周景博, 冯相昭. 流域绿色发展路径探索——基于生态系统服务供需平衡的视角. *环境保护*, 2019, 47(21): 48-51.
- [22] 周瑛, 刘洁, 吴仁海. 珠江三角洲水环境问题及其原因分析. *云南地理环境研究*, 2003, 15(4): 47-53.
- [23] 鲁言波, 冯茜丹. 珠江三角洲土壤中重金属污染特征分析. *广东农业科学*, 2012, 39(14): 169-171.
- [24] 郑君瑜, 张礼俊, 钟流举, 王兆礼. 珠江三角洲大气面源排放清单及空间分布特征. *中国环境科学*, 2009, 29(5): 455-460.
- [25] 李小东. 广东环境保护: 重在未雨绸缪 实在亡羊补牢. *广东经济*, 2014, (4): 9-15.
- [26] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- [27] Costanza R. Ecosystem services: multiple classification systems are needed. *Biological Conservation*, 2008, 141(2): 350-352.
- [28] 董连耕, 朱文博, 高阳, 李双成. 生态系统文化服务研究进展. *北京大学学报: 自然科学版*, 2014, 50(6): 1155-1162.
- [29] 洪兴建. 基尼系数理论研究. 北京: 经济科学出版社, 2008.
- [30] 王金南, 逯元堂, 周劲松, 李勇, 曹东. 基于 GDP 的中国资源环境基尼系数分析. *中国环境科学*, 2006, 26(1): 111-115.
- [31] 彭建, 杨旸, 谢盼, 刘焱序. 基于生态系统服务供需的广东省绿地生态网络建设分区. *生态学报*, 2017, 37(13): 4562-4572.
- [32] 李奕霖. 广东省水安全评价及保障模式研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- [33] 胡淑仪. 对粤北生态屏障保护的思考. *中南林业调查规划*, 2019, 38(2): 23-25, 40-40.
- [34] 傅晨, 项美娟, 宋慧敏. 广东农业区域结构变迁: 2000-2014. *南方农村*, 2017, 33(1): 16-20.
- [35] 罗赵慧, 房巧丽, 周丽璇, 朱路平, 张晓君, 杨剑, 周健, 宋巍巍, 于锡军. 珠三角城市群城市扩张对生态环境质量的影响//2019 中国环境科学学会科学技术年会论文集(第一卷). 西安: 中国环境科学学会, 2019: 495-503.