

基于生态占用的南宁市资源环境承载力评价

殷裕民, 李俊峰* (安徽师范大学地理与旅游学院, 安徽芜湖 241000)

摘要 利用改进后的生态占用模型, 计算了2003—2017年南宁市人均生态占用、2011—2017年人均生态承载力, 并基于资源环境承载力视角采取相关生态占用影响因素建立指标体系, 利用灰色关联度确定各因素的影响程度以对南宁市资源环境承载力状况进行评价。结果表明: 南宁市人均生态足迹从2003年的 $1.3006 \text{ hm}^2/\text{cap}$ 增加到2017年的 $1.8861 \text{ hm}^2/\text{cap}$, 增幅为45.02%, 南宁市人均生态承载力由2011年的 $0.7192 \text{ hm}^2/\text{cap}$ 下降到2017年的 $0.6617 \text{ hm}^2/\text{cap}$, 减少 $0.0575 \text{ hm}^2/\text{cap}$, 降幅为7.99%, 资源环境承载力严重不足, 区域可持续发展形式严峻, 总人口数、城镇人口、建成区面积对南宁市的生态占用有深远影响。调整产业结构以及控制城镇人口增长是提高资源环境承载力, 实现南宁市可持续发展的有效途径。

关键词 生态占用; 资源环境承载力; 影响因素; 南宁市

中图分类号 S181.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)02-0048-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.02.015



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Evaluation on Resource and Environmental Carrying Capacity of Nanning City Based on Ecological Occupation

YIN Yu-min, LI Jun-feng (College of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu, Anhui 241000)

Abstract This paper uses the improved ecological occupancy model to calculate the ecological occupancy per capita in Nanning from 2003 to 2017, and the ecological carrying capacity per capita from 2011 to 2017. Based on the perspective of resource and environmental carrying capacity, the relevant ecological occupancy factors are used to establish an indicator system and use gray correlation to determine the degree of influence of various factors to evaluate the status of Nanning's resource and environmental carrying capacity. The results show that: During the study period, the per capita ecological footprint of Nanning increased from $1.3006 \text{ hm}^2/\text{cap}$ in 2003 to $1.8861 \text{ hm}^2/\text{cap}$ in 2017, an increase of 45.02%. The ecological carrying capacity per capita in Nanning decreased from $0.7192 \text{ hm}^2/\text{cap}$ in 2011 to $0.6617 \text{ hm}^2/\text{cap}$ in 2017, reduced $0.0575 \text{ hm}^2/\text{cap}$, a decrease of 7.99%, the resource and environmental carrying capacity is seriously insufficient, the regional sustainable development form is severe, and the total population, urban population, and built-up area have a profound impact on Nanning's ecological footprint influences. Adjusting the industrial structure and controlling urban population growth are effective ways to improve the carrying capacity of resources and the environment and achieve sustainable development in Nanning.

Key words Ecological occupation; Resource and environmental carrying capacity; Influencing factors; Nanning City

随着我国现代化发展加快, 自然资源和国土空间的开发利用呈高强度态势, 给生态环境带来巨大压力。随着生态文明体制和空间规划体系的推进, 我国先后出台一系列指导政策, 主要强调国土空间规划在规划空间发展和空间管制方面的指导作用。国土空间规划编制以资源环境承载力评价和国土空间开发适宜性评价(下文简称“双评价”)为分析基础, 而生态承载力评价和生态可占用性是“双评价”的重要组成部分^[1]。作为指示人类的生产生活和消费对自然资源和环境影响的综合性指标, 生态足迹能相对全面地反映区域的生态承载力状况, 是衡量区域绿色发展水平与趋势的重要指标^[2-4]。加拿大生态学家 Rees^[5] 1992年提出了生态足迹的概念, 1996年, Wackernagel等^[6]对生态足迹的概念进一步完善, 即生产一定的人口消费的各种资源和吸纳这些人口所产生的废弃物所需要的生物土地面积的总和, 用于揭示区域资源与经济发展的关系, 评价区域可持续利用能力^[7-8]。南宁是广西壮族自治区的首府。它是连接着西部大开发的核心城市, 是北部湾建设的主要城市, 被称为“中国—东盟自由贸易区”, 近年来在不断发展, 推动了其社会经济的增长及综合竞争力的增加。在发展过程中不可避免地出现了生态环境问题, 并且日益严重^[9-10]。由于生态足迹模型对于特定地方

的使用具有局限性, 该研究结合南宁市处于亚热带气候区, 均衡因子和产量因子均采 Wackernagel等^[6]在计算亚热带季风气候时所采用的标准, 利用改进后的生态足迹模型计算南宁市生态占用、生态承载力、生态赤字/有效承载力等数值, 研究其变化特征, 由此推及分析生态占用的特征^[11]。利用 Excel、SPSS 建立了灰色关联度模型, 选取与资源环境承载力相关的生态占用影响因素建立指标体系, 并利用关联度确定影响程度。笔者通过基于南宁市生态占用的变化特征以及影响因素研究, 认识南宁市的资源环境承载力现状和发展趋势, 以及改善南宁市生态环境现状的重要现实意义, 以期更好地对提高南宁市资源环境承载力提出对策, 并为“双评价”提供技术参考^[1]。

1 “双评价”概念框架

“双评价”是个简称, 由“资源环境承载力评价”和“国土空间开发适宜性评价”两部分构成^[12], 见图1。

“资源环境承载力评价”: 在一定发展阶段, 在维持区域资源结构符合持续发展需要、区域环境功能仍具有维持其稳态效应能力的条件下, 一定地域范围内资源环境要素能够支撑的农业生产、城镇建设等人类活动的最大规模。判断区域内土地资源、水资源、矿产资源、能源、旅游资源、水环境、大气环境等资源环境要素, 对这个区域经济社会发展的最大人口规模、经济规模和建设规模的支撑能力。概括地说, 就是判断资源(利用)、环境(质量)、生态(基线)、灾害(风险)4类要素, 定量测度国土空间发展的综合潜力, 人类活动的承

基金项目 国家自然科学基金项目(41671164)。

作者简介 殷裕民(1996—), 男, 安徽铜陵人, 硕士研究生, 研究方向: 城市地理与城市规划。* 通信作者, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事城市地理与城市规划研究。

收稿日期 2020-05-27; **修回日期** 2020-06-29

载能力,以及为人的经济、社会活动提供的生态系统服务能力^[13]。

“国土空间开发适宜性评价”:在维系生态系统健康的前提下,综合考虑资源环境要素和区位条件以及特定国土空

间,进行农业生产城镇建设等人类活动的适宜程度。用于判断国土空间自然条件对城镇(开发)、农业(生产)、生态(保护)3类利用方式的适宜程度及评判分级,是着重于从资源保护和开发利用关系、人地关系分析基础上的分析和判断。

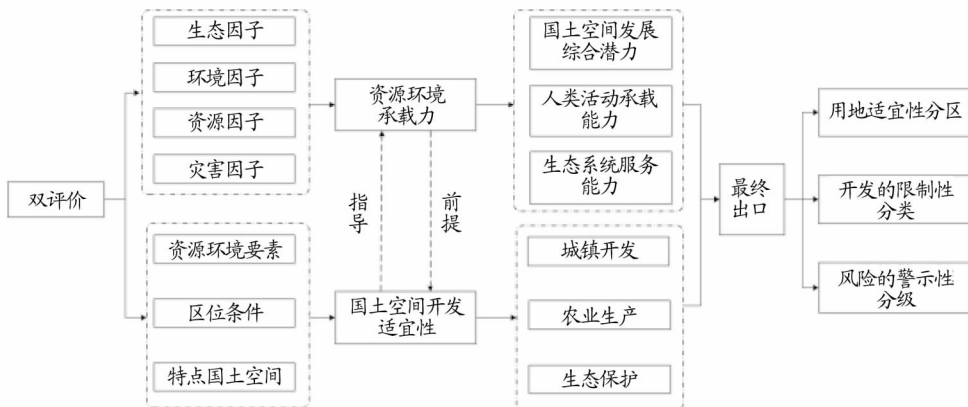


Fig.1 “Dual Evaluation” conceptual framework

“双评价”的最终出口,都要落实在用地的适宜性分区、开发的限制性分类和风险的警示性分级上。

2 研究方法与数据来源

2.1 数据获取及数据处理 2003—2017年南宁市生态足迹计算涉及的数据来自《广西统计年鉴》《南宁年鉴》《南宁统计年鉴》等,南宁市统计局、南宁市规划局等相关政府部门的数据以及世界粮农组织(FAO)网上数据库的相关资料。对于一些无法获取和已经缺少的数据进行拟合计算。其中2003—2010年南宁市林地、草地面积统计年鉴未有完整统计记录,故2003—2010年的生态承载力和生态赤字未进行分析^[14]。

2.2 改进型生态足迹模型 生态足迹模型是指通过计算得到某一区域生态足迹,即将某一地区或区域的各种生物资源和能源消耗转化为生物生产用地的面积,然后计算耕地、林地、草地、水域、化石能源用地和建筑用地的6种生态足迹,其中建筑用地足迹中分为电力和热力足迹^[15]。因为贸易的复杂性会影响数据的准确性,为了统一数据统计口径,故采用南宁市各项目的生产量代替各自的消费量。

$EF = N \times ef = N \times r_j \times \sum_{i=1}^n (C_i / \overline{EP}_i)$, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, 6$
式中,EF为总的生态足迹;N为人口数;ef为人均生态足迹(hm^2/cap); r_j 为均衡(等价)因子:耕地和建设用为2.8,林地、化石能源用地为1.1,草地为0.5,水域为0.2; i 为消费商品和投入的类型; \overline{EP}_i 为第j类生态生产性土地中第j类产品全球平均产量; C_i 为区域第i种消费品的人均年消费量(kg/cap)。

2.3 生态承载力模型 根据相关规定,在计算生态承载力时,应扣除生态系统中生物多样性保护的面积,从计算过程中减去12%的生物多样性面积。在南宁市土地利用中并没有设立 CO_2 吸收用地,故对于化石能源生态承载力不作分析。

$$ec = \sum_{j=1}^6 a_j \times r_j \times y_j, j = 1, 2, \dots, 6 \quad (2)$$

$$EC = N \times ec \times (1 - 12\%) \quad (3)$$

式中,ec代表人均生态承载力,实际上是生态生产用地面积(hm^2/cap); a_j 代表第i类生态生产性土地人均面积; r_j 为均衡因子; y_j 为产出因子:耕地和建设用地1.66,草地20.80,林地1.86,水域1.00,建筑用地1.66。EC为区域总生态承载力;N为区域人口数。

2.4 计算有效承载力与生态赤字 生态赤字/有效承载力是生态足迹和生态承载力相减而得出的。当生态足迹减去生态承载力时,计算出的数值是正的是生态赤字,而负的数值是有效承载力。当一个区域和地区的生态环境处于赤字状态时,意味着该区域或地区的所利用资源超过生态承载力,生态环境资源需求超过供应,生态系统不可持续。当区域和地区的生态系统资源过剩时,意味着该区域或地区的所利用资源小于生态容量,生态环境资源供应超过需求,生态系统可持续发展。

2.5 灰色关联法 灰色关联分析法是基于系统中各因素之间发展趋势的定量比较,通过分析发展趋势的相似和不相似程度来作为衡量因素之间相关程度的一种方法。评价对象与标准对象的曲线几何越接近,其发展态势就越接近,关联程度就越大^[16]。

所谓的关联度本质上是曲线几何形状之间的差异,曲线之间的差异可用作关联度的尺度。对于参考序列 X_0 ,有几个比较序列 X_1, X_2, \dots ,任何时候 X_0 相关系数的比较顺序与参考顺序在任何时间可以通过以下公式计算:

$$r_{0i} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N L_{0i}(k) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \frac{\Delta \min + \zeta \Delta \max}{\Delta 0_i(k) + \zeta \Delta \max} \quad (4)$$

式中,N是总数; $\Delta \max$ 、 $\Delta \min$ 是各个比较对象组中的最大值和最小值,每个比较对象组的绝对差值计算记为 $\Delta 0_i(k)$ 。 r_{0i} 为相关系数是在每个时刻(曲线中的每个点)的级数和参考序列之间的相关性,由于数目大于1,并且信息太分散,使得

比较整体更容易。其中 ζ 为系数, $0 < \zeta < 1$, 一般取值为0.5, 主要是为了降低最大绝对差值引起的偏离性, 提高各对象之间的显著性。

3 结果与分析

3.1 生态足迹与生态承载力动态分析 根据以上统计得出2003—2017年南宁市人均生态足迹汇总, 如表1所示。

从表1可以得出, 南宁市人均生态足迹从2003年的1.300 6 hm^2/cap 增加到2017年的1.886 1 hm^2/cap , 增幅为45.02%, 年均增幅为3.00%, 峰值1.963 7 hm^2/cap 出现在2012年。南宁市人均生态承载力2011年的0.719 2 hm^2 下降到2017年的0.661 7 hm^2/cap , 减少0.057 5 hm^2/cap , 降幅为7.99%, 年均下降1.14%, 峰值0.719 2 hm^2/cap 出现在2011年。从2011年开始, 生态赤字由1.0400 hm^2 增加到2017年的1.224 4 hm^2/cap , 增加了0.1844 1 hm^2/cap , 增长率为17.73%, 年均增长率为2.53%, 峰值1.249 9 hm^2/cap 出现在2014年。在2003年至2017年间, 南宁市人均生态足迹平均值为1.722 6 hm^2/cap , 人均承载力平均值为0.689 7 hm^2/cap , 人均生态赤字平均值为1.201 1 hm^2/cap , 南宁市总人均生态足迹是总人均生态承载力的2.498倍。

表1 2003—2017年南宁市人均生态足迹汇总

Table 1 Summary of per capita ecological footprint of Nanning City during 2003—2017

| 年份 Year | 总人口数 (N) // 万人 | 人均生态 足迹(ef) hm^2/cap | 人均生态 承载力(ec) hm^2/cap | 人均生态赤字 Ecological deficit per capita hm^2/cap |
|------------|-------------------|--|---|--|
| 2003 | 641.673 6 | 1.300 6 | — | — |
| 2004 | 634.683 8 | 1.493 7 | — | — |
| 2005 | 659.540 2 | 1.491 1 | — | — |
| 2006 | 671.892 3 | 1.565 3 | — | — |
| 2007 | 683.511 7 | 1.668 8 | — | — |
| 2008 | 691.687 4 | 1.704 4 | — | — |
| 2009 | 697.895 7 | 1.681 5 | — | — |
| 2010 | 707.372 0 | 1.698 1 | — | — |
| 2011 | 711.487 9 | 1.759 2 | 0.719 2 | 1.040 0 |
| 2012 | 713.497 9 | 1.963 7 | 0.715 0 | 1.248 7 |
| 2013 | 724.430 9 | 1.916 2 | 0.710 0 | 1.206 2 |
| 2014 | 729.656 5 | 1.929 5 | 0.679 6 | 1.249 9 |
| 2015 | 740.230 2 | 1.885 3 | 0.679 1 | 1.206 2 |
| 2016 | 751.744 6 | 1.895 0 | 0.663 0 | 1.232 0 |
| 2017 | 756.865 6 | 1.886 1 | 0.661 7 | 1.224 4 |

结合表1和图2分析得出, 整体上处于一种上升的趋势。2003—2012年上升趋势明显, 年均增长率为5.10%, 并在2012年达到顶峰。但在2012—2017年, 人均生态足迹出现了整体下降的情况, 出现了不同的小幅度波动, 年均减少率为0.66%。2003—2017年, 南宁人均生态足迹整体呈上升趋势, 但是人均生态承载力却在不断下降, 此消彼长, 就导致人均生态赤字不断地增长。人均生态足迹和人均生态赤字都曾出现过波动, 但人均承载力却一直处于下降的态势, 说明南宁市自然资源供给系统存在严重问题, 要及时提高其供给能力。生态赤字代表着不可持续发展, 地区经济发展越快

速, 则对自然资源的消耗就越大, 进而更加容易表现为生态赤字。结合南宁市人均生态赤字分析, 其环境承载力有待提高, 对环境资源的保护力度应该进一步提升来防止生态赤字的不断增长, 以求达到降低生态赤字的理想效果。

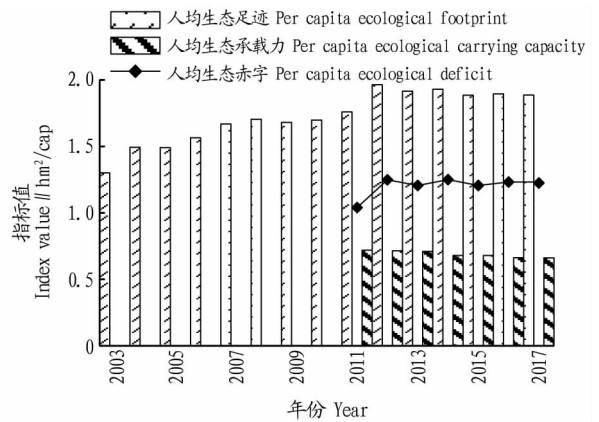


图2 2003—2017年南宁市人均生态足迹动态变化

Fig.2 Dynamic changes of ecological footprint in Nanning City during 2003—2017

3.2 南宁各类生产性土地人均生态足迹动态分析 南宁各类生产性土地人均生态足迹动态见图3。耕地对生态足迹的贡献力度最大, 占比达到42.21%, 各类生态土地中人均生态足迹比例为耕地>草地>化石能源用地>水域>林地>建筑用地, 南宁市的气候适宜耕种, 尤其适合甘蔗类农作物生长, 所以耕地生态足迹比较高。草地贡献力度仅次于耕地, 占比24.60%, 近年来人们的生活质量不断提高, 对食物营养要求也在提升, 像禽肉、蛋类、奶类等高营养级食品的消耗也在不断增加, 所以导致林地的生态足迹居高不下。化石能源用地生态足迹从总体分析来看, 在2012年达到最高点后出现了明显下降的状态, 主要原因是南宁市在2012年开始提倡节能环保, 减少煤炭使用, 提出严格的机动车出行政策。在时间界限内, 林地、水域没有显著波动, 整体上处于缓慢上升的态势。建筑用地初始处于不断缓慢增长的态势, 到2007年之后出现3次小波动, 近年来南宁市已在大力提倡建设节约环保型城市, 各行各业都在积极配合政府, 着力推进太阳能与建筑一体化发展, 这对缓解建筑用地的供需紧张状况有所帮助。耕地、林地、草地以及水域的增长, 主要原因是南宁市人口快速增长和人均消费水平不断提升, 导致南宁市在这些年对粮食作物需求量越来越大。而化石能源和建筑用地在2012年开始出现2次波动, 并整体相较于2012年有所下降, 与南宁市对各种生态资源的利用有所控制有关。

3.3 南宁市的生态占用影响因素分析 灰色系统理论提出了每个子系统的灰色关联分析的概念, 并通过一定的方法来寻求系统中子系统(或因子)之间的数值关系。因此, 灰色关联适合对过程进行动态分析。南宁市的生态足迹与其影响因素的变化都是随着时间的推移变化, 因此采用灰色关联度法分析南宁市生态足迹与影响因素。

该研究建立的生态占用影响因素的灰色关联度模型, 是基于资源环境承载力的视角下, 故选取与资源环境承载力相

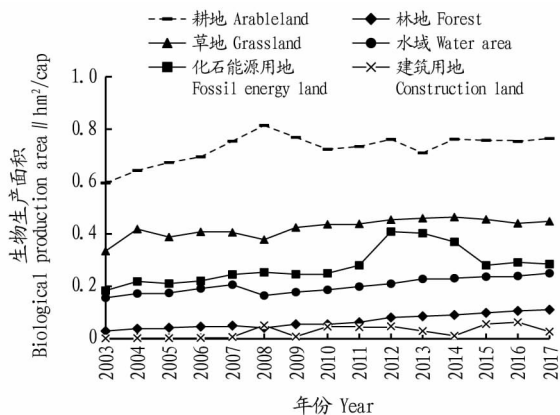


图3 2003—2017年南宁市6类用地人均生态足迹时间动态

Fig.3 Time dynamics of per capita ecological footprint of six types of land in Nanning during 2003–2017

关的影响因素,其中包括经济指标、人口规模、社会发展、土地利用4个方面11个自变量。自变量来自《南宁统计年鉴》,如表2所示。

表2 生态足迹影响因素

Table 2 Influencing factors of ecological footprint

| 指标类别 Index category | 影响因素 Influencing factors | 对应自变量 Independent variable |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 经济指标 Economic index | GDP//亿元 | X_1 |
| | 第一产业产值//亿元 | X_2 |
| | 第二产业产值//亿元 | X_3 |
| | 第三产业产值//亿元 | X_4 |
| | 规模以上工业总产值//亿元 | X_5 |
| | 全社会固定资产投资//亿元 | X_6 |
| 人口规模 Population size | 总人口数//万人 | X_7 |
| | 城镇人口//万人 | X_8 |
| 社会发展 Social development | 城镇居民人均可支配收入//元 | X_9 |
| | 农村居民人均纯收入//元 | X_{10} |
| 土地利用 Land use | 建成区面积// km^2 | X_{11} |

如表3所示,灰色关联度法分析表明,南宁市总人口数、城镇人口、建成区面积对生态足迹驱动作用最大,并伴随人类活动的增加,全社会固定资产投资增加、产业产值增加等,导致生态环境恶化。这与南宁市总人口快速增加有所相关,人口的增加带来的需求就会增加,而城市人口对物质资源的需求程度更大。结合居民收入对生态占用的影响程度,城镇居民收入影响高于农村居民收入,收入代表着消费的保障,说明城市居民对生态资源的占用更大于农村居民。同时,城市人口的增加也代表着城市化,城市化必然会占用更多的生态资源,同时生产用地转化为建筑用地。在各产业对比之下,第一产业对南宁生态足迹的影响程度巨大,已经超过其他产业。第一产业占比大,也从另一方面说明南宁市产业发展结构不均衡,同时政府主张的节能环保压制了第二产业的发展。

4 结论与建议

随着生态文明建设推进,以生态优先为理念的高质量发

展模式成为主流,生态承载力评价在“双评价”中具有重要地位,是实现新时代高质量发展和生态文明建设的重要手段。该研究通过梳理2003—2017年南宁市人均生态占用、人均生态承载力和人均生态赤字,综合考虑生态足迹与“双评价”之间的关系,提出基于资源环境承载力视角下的生态足迹影响因素及模型,形成以资源环境承载力评价服务为基础的生态占用研究思路,为国土空间规划编制提供支撑。

表3 影响因素相关性大小

Table 3 Correlation of influencing factors

| 影响因素 Influencing factors | 关联度 Relevance | 排序 Sorting |
|--------------------------------|------------------|---------------|
| X_1 | 0.695 | 8 |
| X_2 | 0.758 | 5 |
| X_3 | 0.665 | 9 |
| X_4 | 0.703 | 7 |
| X_5 | 0.634 | 10 |
| X_6 | 0.563 | 11 |
| X_7 | 0.946 | 1 |
| X_8 | 0.841 | 2 |
| X_9 | 0.782 | 4 |
| X_{10} | 0.714 | 6 |
| X_{11} | 0.805 | 3 |

研究结果显示,南宁市有效承载力严重不足,城市已经呈现不可持续发展态势,如何降低生态占用已经到了刻不容缓的时刻,同时还需要进一步提升环境承载力从而提高城市韧性。从生态占用影响因素来看,城镇人口和建成区面积对南宁市生态占用的影响程度分别高居第2和第3,说明城镇的开发适宜性需要慎重考虑。总人口数对生态占用的影响最为巨大,说明南宁市对人口的快速发展带来的问题并未引起重视。因此,南宁市要实现区域可持续发展和提高资源环境承载力,应考虑采纳以下建议:

(1)调整产业发展结构。在产业结构中,第一产业对南宁人均生态足迹影响最大,而耕地在各类生产性土地中的生态足迹占比也是最大,所以为了维护南宁城市生态环境系统的平衡,调整产业发展结构是关键,尤其是对第一产业发展的调节。应该改善其发展模式,以科技进行优化,改善其内部结构,提高农业生产效率,将人力资源配置朝第三产业转移,大力发展第三产业。同时,要注重第二产业的稳定维持,特别是对清洁能源的利用,加强发展低耗低污染产业,既能发展经济,又能维护生态平衡。

(2)加大力度推广应用清洁能源。随着南宁经济社会快速发展,南宁化石能源生态足迹波动下降可以看出,近几年南宁对化石能源的消耗有所抑制,这与新技术和新能源带来的能源利用效益提升有所关联。但以南宁目前的态势结合中国其他城市的情况来分析,南宁市化石能源的利用还有待进一步提高。所以南宁应以开发新技术、新能源为重,用以保障南宁能源消耗和环境,从而使南宁发展可持续。

(3)近年来南宁市城镇人口增长迅速,而城镇人口对能

3 结论

海水重金属含量检测表明,HS10、HS15 属Ⅱ类水标准外,其余 28 个采样点均满足Ⅲ类水标准。HS21 采样点环境质量评价最差,为Ⅳ类水标准,而在 HS02、HS10 等 8 处采样点环境质量评价最好,均为Ⅰ类水标准。相关性表明: Ni、Zn、Hg 与 pH 之间呈极显著或显著负相关; As 与 pH 之间呈极显著正相关; Ni、Zn、Cu 与盐度之间呈极显著或显著负相关; As 与盐度之间呈极显著正相关。通径分析表明: 重金属含量对 pH 的直接作用大小顺序为 As>Ni>Hg>Zn>Cu>Cd>Pb; 重金属含量对盐度的直接作用大小顺序为 Ni>Pb>Cu>As>Zn>Hg>Cd。

参考文献

- [1] 吴瑞,詹夏菲,张光星,等.海南岛东寨港红树林研究进展[J].湿地科学与管理,2015,11(4):60-62.
- [2] 朱志伟.海上森林东寨港[J].环境经济,2015(26):57.
- [3] 陈淀国.海底森林天下奇——游东寨港红树林自然保护区[J].中国林业产业,2005(11):38-39
- [4] 严承高,苏文拔.“中德海南热带林保护与恢复项目”——东寨港、清澜港自然保护区和三亚市红树林保护与恢复子项目活动的基本设想[J].热带林业,1999,27(1):1-11.
- [5] WAKUSHIMA S, KURAIISHI S, SAKURAI N. Soil salinity and pH in Japanese mangrove forests and growth of cultivated mangrove plants in different soil conditions[J]. Journal of plant research, 1994, 107(1): 39-46.
- [6] 钟才荣,李诗川,杨宇晨,等.红树植物拉关木的引种效果调查研究[J].福建林业科技,2011,38(3):96-99.
- [7] VALDEZ-AGUILAR L A, GRIEVE C M, POSS J. Salinity and alkaline pH in irrigation water affect marigold plants: I. Growth and shoot dry weight

partitioning[J]. HortScience, 2009, 44(6): 1719-1725.

- [8] 廖岩,陈桂珠.盐度对红树植物影响研究[J].湿地科学,2007,5(3):266-273.
- [9] MCGOWAN J G, HERONEMUS W E. Ocean thermal and wind power: Alternative energy sources based on natural solar collection[J]. Environmental affairs, 1975, 4(4): 629-660.
- [10] 李海龙.海水入侵对近岸海域海水水质和生态系统的潜在影响[J].鞍山师范学院学报,2003,5(2):1-3.
- [11] 张际标,姚兼辉,刘加飞,等.不同初始 pH 下海水中重金属含量变化及其影响因素[J].广东海洋大学学报,2013,33(3):65-70.
- [12] 李娟英,陈洁芸,曹宏宇,等.pH 对污水污泥中污染物浸出的影响[J].环境工程学报,2013,7(12):4983-4989.
- [13] 黄智伟.表层海水重金属的变化特征及影响因素[J].科技传播,2014(6):129,127.
- [14] 王艳,黄玉明.我国环境中重金属污染行为和相和效应的研究进展[J].癌变·畸变·突变,2007,19(3):198-201,218.
- [15] 刘国强,刘保良,青尚敏,等.防城港临时性海洋倾倒地沉积物重金属污染现状及其生态风险评价[J].生态科学,2013,32(2):177-182.
- [16] 中国地质调查局,广州海洋地质调查局.海岸带(海区)环境地质调查规范(1:100 000); DD 2012-06[S].中国地质调查局,2012.
- [17] 房凯,徐文耀,朱岗崑.通径分析方法简介[J].地球物理学报,1986,29(2):117-123.
- [18] 国家海洋局第三研究所.海水水质标准:GB 3097—1997[S].北京:中国标准出版社,1997.
- [19] RIBA I, GARCÍA-LUQUE E, BLASCO J, et al. Bioavailability of heavy metals bound to estuarine sediments as a function of pH and salinity values[J]. Chemical speciation & bioavailability, 2003, 15(4): 101-114.
- [20] 金忠民,郝宇,刘丽杰,等.扎龙湿地土壤中抗性菌株对 Pb 和 Cd 去除率与其生理生化特性的相关性及其通径分析[J].环境污染与防治,2015,37(7):66-70.

(上接第 51 页)

源与食物等需求明显大于农村人口,因此南宁市为了避免生态环境出现恶化的情况,应提高人口质量,控制人口数量,节约能源与生物资源。同时培养城市居民节约资源的意识,构建资源节约型社会,从个体上微小减少生态占用从而达到整体上的巨幅降低。

参考文献

- [1] 魏旭红,开欣,王颖,等.基于“双评价”的市县级国土空间“三区三线”技术方法探讨[J].城市规划,2019,43(7):10-20.
- [2] REES W, WACKERNAGEL M. Urban ecological footprints: Why cities cannot be sustainable-and why they are a key to sustainability[J]. Environmental impact assessment review, 1996, 16(4/5/6): 223-238.
- [3] WACKERNAGEL M, REES W E. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective[J]. Ecological economics, 1997, 20(1): 3-24.
- [4] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳.生态经济系统能值分析[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [5] REES W E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out[J]. Environment and urbanization, 1992, 4(2):

121-130.

- [6] WACKERNAGEL M, REES W. Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth[M]. Gabriola Island, Canada: New Society Publishers, 1996.
- [7] 徐中民,张志强,程国栋.甘肃省 1998 年生态足迹计算与分析[J].地理学报,2000,55(5):607-616.
- [8] 熊娜娜,谢世友.成都市水资源生态足迹及承载力时空演变研究[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(6):124-131.
- [9] 杨媚.广东西江经济带发展的生态哲学研究[D].南宁:广西大学,2011.
- [10] 王靖磊.三河口煤矿可持续发展评价及战略研究[D].青岛:山东科技大学,2009.
- [11] 周宇,李月臣.基于改进生态足迹模型的重庆市生态承载力研究[J].重庆师范大学学报(自然科学版),2018,35(2):56-63,145.
- [12] 蔡忠亮,魏媛,徐智熙,等.面向生命共同体健康的生态安全评价研究:以湖北省三峡库区为例[J].地理信息世界,2019,26(4):7-12.
- [13] 岳文泽,王田雨.资源环境承载力评价与国土空间规划的逻辑问题[J].中国土地科学,2019,33(3):1-8.
- [14] 谢鸿宇,王羚郦,陈贤生,等.生态足迹评价模型的改进与应用[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [15] 赵文晖,宁雅楠,杨伟州,等.基于改进生态足迹模型的保定市耕地生态安全时空变异分析[J].土壤通报,2015,46(4):796-802.
- [16] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.