

# 贵阳市生态足迹与生态安全研究<sup>1</sup>

付银<sup>1, 2</sup>, 张玉彪<sup>1▲</sup>, 唐佳<sup>2</sup>, 朱粟峰<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550001;

<sup>2</sup>福州大学资源与环境科学学院, 福建 福州 350116)

**【摘要】:**为科学评价贵阳市的生态安全, 促进其社会经济可持续发展, 以 MODIS17A3 和 MODIS12Q1 为数据源, 运用生态足迹理论和 GIS 空间技术对贵阳市的生态足迹、生态承载力、生态赤字、生态压力指数进行了研究, 分析贵阳市生态安全现状, 结果表明: (1) 贵阳市人均生态足迹从 2000 年的 1.543hm<sup>2</sup> 增加至 2010 年的 2.28hm<sup>2</sup>, 其中化石能源生态足迹比重最大, 增长最快; 而人均生态承载力则由 0.4515hm<sup>2</sup> 减少到 0.3696hm<sup>2</sup>, 其中耕地生态承载力减少最多, 三个时期生态足迹都远大于生态承载力, 生态赤字显著。(2) 2000 年、2005 年和 2010 年贵阳市生态压力指数均大于 2, 处于极不安全的状态; (3) 贵阳市生态安全空间分布不均, 生态压力指数呈现西南高、东北低; 由市中心向郊区递减的规律。从县域尺度看, 其中乌当区、云岩区、南明区、小河区、花溪区、白云区 and 清镇市大部分地区生态压力指数均大于 2, 生态安全状况极差; 息烽县、开阳县和修文县生态压力指数均小于 1, 生态安全状况较好。

**【关键词】:**贵阳市, 生态足迹, GIS, 生态安全

**【中图分类号】:** X171.1

**【文献标识码】:** A

**【文章编号】:** 1003-6563 (2018) 01-0051-08

## 0、引言

自工业革命以来, 世界经济飞速发展, 人民生活水平日益提高, 同时森林锐减、土地退化、物种灭绝、资源枯竭、环境污染等全球性环境问题也日益突出, 生态安全问题逐渐引起人们的高度重视<sup>[1]</sup>。国外对生态安全研究始于 20 世纪 70 年代<sup>[2]</sup>, 主要从生态风险评估、生态系统服务功能和生态系统健康角度来研究区域生态安全。国内生态安全研究始于 20 世纪 90 年代<sup>[3]</sup>, 2000 年国务院颁布了《全国生态环境保护纲要》首次提出“维护国家生态安全”的目标, 中共十六大提出“生态安全是国家安全的重要组成部分”, 标志着生态安全上升到国家安全层面。科学评价生态安全状况是制定区域环境保护策略的前提。传统生态安全评价方法主要有景观生态安全格局法、层次分析法、压力-状态-响应模型等<sup>[4]</sup>, 这些方法主要是基于土地利用覆盖和景观生态角度, 从自然、社会、经济子系统建立评价指标, 形成生态安全评价综合指数。但是这些评价指标众多, 具体参数很难统一,

<sup>1</sup>[收稿日期]: 2017-08-25; [修回日期]: 2017-08-23

[基金项目]: 贵州省科技基金项目“亚喀斯特”生态脆弱区地质灾害危险性调查及评价研究——黔西县为例 (黔科合 J 字 LKS (2011) 28 号); 国家自然科学基金项目“亚喀斯特”准生态脆弱区自然特征、演替状况与生态重建 (以贵州为例) [41161002]; 国家自然科学基金项目“中国南方喀斯特流域结构的水文干旱驱动机制研究” [41471032]; 贵州省本科教学工程建设项目“地理与环境生态大学生创新训练中心 (2016DC3)”等资助。

[作者简介]: 付银 (1994-), 女, 福州大学, 在读硕士, 研究方向: 地理学。

▲[通讯作者]: 张玉彪 (1976-), 男, 副教授, 硕士, 主要从事 RS 及 GIS 应用研究。



## 2.1 研究方法

### 2.1.1 生态足迹理论

依据生态足迹理论,生态生产性土地分为耕地、草地、林地、化石能源用地、水域和建设用地<sup>[10]</sup>。在生态足迹计算中,均衡因子和产量因子是其重要的参数,其数值的科学与否直接影响到生态足迹和生态承载力的计算结果。均衡因子是某类生物生产性土地平均生产力与全球所有各类生物生产性土地平均生产力的比值<sup>[11]</sup>,产量因子指的是某类生物生产性土地平均生产力与全球同类生物生产性土地平均生产力的比值<sup>[12]</sup>。由于不同区域的资源禀赋存在较大差异<sup>[13]</sup>,直接引用世界常用均衡因子和产量因子不能真实反映不同区域范围土地生产力之间的差别。本文基于已有的省级公顷模型基础上,利用植被净第一生产力数据和土地利用数据,计算贵阳市的均衡因子和产量因子。其具体计算公式如下:

$$r_j = NPP_j / NPP_a \quad (1)$$

式中,  $r_j$  为均衡因子,  $NPP_j$  为某类生物生产性土地的平均 NPP,  $NPP_a$  为四种土地类型的平均 NPP。

$$y_j = NPP_j / NPP_m \quad (2)$$

式中,  $y_j$  为产量因子,  $NPP_j$  为某类生物生产性土地的平均 NPP,  $NPP_m$  为贵州省同类生物生产性土地的平均 NPP。

$$\begin{aligned} EF &= N \cdot ef = N \cdot r_j \cdot \sum (aa_i) \\ &= N \cdot NPP_j / NPP_a \cdot \sum (c_i / p_i) \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $EF$  为总的生态足迹,  $N$  为总人口,  $ef$  为人均生态足迹,  $i$  为消费品和投入的生产类型,  $aa_i$  为第  $i$  中交易商品折算的生物生产地域面积,  $r_j$  为均衡因子,  $c_i$  为第  $i$  中消费品的消费量,  $p_i$  为  $i$  中消费品的世界平均生产量<sup>[14]</sup>。

生态承载力又称生态容量,是指在不损害区域生产力的前提下,一个区域有限的资源能供养的最大能口数<sup>[5]</sup>。计算公式如下:

$$EC = a_j \cdot r_j \cdot y_j (j = 1, 2, 3, 4, 5, 6) \quad (4)$$

其中,  $EC$  为人均生态承载力,  $a_j$  为人均生物生产面积,  $r_j$  为均衡因子,  $y_j$  为产量因子。化石能源用地是假定人类单独留出来吸收  $CO_2$ , 但是目前人类并没有留出来, 因此化石能源用地的产量因子为 0<sup>[16]</sup>, 区域生态承载力与生态足迹做减法, 其值为正, 则表现为生态盈余; 区域生态承载力与生态足迹做减法, 其值为 0, 则表现为生态平衡 (理想状态); 区域生态承载力与生态足迹做减法, 其值为负, 则表现为生态赤字。区域生态盈余或生态赤字反映了区域人口对资源的消耗情况<sup>[17]</sup>。其具体计算公式如下:

$$ES/ED = EC - EF \quad (5)$$

### 2.1.2 生态安全评价模型

生态足迹的计算包括可更新资源与不可更新资源的生态足迹，在生态承载力计算部分，由于化石能源的贸易流通和因其消耗所排放的气体具有流通性，所以某一地区消耗的化石能源足迹带来的生态压力应该由全球承担，所以生态压力指数指的是某一地区的人均生态足迹与人均生态承载力的比率，该指数代表了区域生态环境的承压程度<sup>[18]</sup>，其公式为：

$$ETI = \frac{ef'}{ec} \quad (6)$$

其中， $ef'$  为区域人均生态足迹， $ec$  为区域人均生态承载力， $ETI$  为生态压力指数。利用生态压力指数进行生态安全分级，其标准参考赵先贵先生分类标准<sup>[19]</sup>。

表 1 生态安全评价标准

等级	ETI	表征状态	等级	ETI	表征状态
1	<0.5	很安全	4	1.01~1.5	较不安全
2	0.51~0.8	较安全	5	1.51~2	很不安全
3	0.81~1	稍不安全	6	>2	极不安全

## 2.2 数据来源与处理

本文 2000 年至 2010 年各类消费品的统计数据来源于《贵阳市统计年鉴》，世界平均粮食产量数据来自 FAO（联合国粮农组织数据库），MODIS17A3 植被净第一生产力数据和 MODIS12Q1 土地利用数据均来自美国地质调查局。

MODIS17A3 数据空间分辨率为 1km，原始数据为正弦曲线投影，HDF 格式，将 Modis17A3 植被净第一生产力数据用 MRT（投影转换工具）进行格式转换，重投影，坐标变换等预处理最终转化为 Asia North Albers Equal Area 投影的 TIF 文件，M0-DIS17A3 数据有效值为 0~65500，单位是  $kgC/m^2$ ，首先乘以缩放因子 0.0001，然后去除异常值，最后根据贵阳市的行政区划进行裁剪。植被净第一生产力数据的数值是计算均衡因子和产量因子的关键，其精度显得尤为重要。目前估测植被净第一生产力的方法有 CASE 模型、Thorntwaite Memori-al 模型等，但是这些模型计算量较大、计算结果仍然需要与实测数据比较，因此在缺乏实测数据的前提下直接用 MODIS17A3 数据产品具有一定可行性。

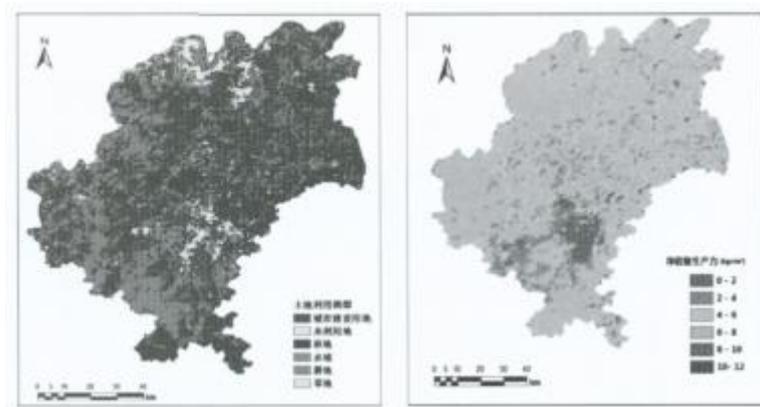


图 2 NPP 与土地利用分类图

MODIS12Q1 土地利用数据空间分辨率为 500m，正弦曲线投影，HDF 格式，该数据分类方案总共有 5 类，本文土地利用数据采用的是美国马里兰大学土地利用分类方案，有 17 个土地利用类型，用 MRT 软件对其进行预处理后，按照国家土地利用变化数据库分类标准，将其合并分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地。结合贵阳市的行政区划矢量数据在 Arcgis 里面对其进行掩模提取后得到贵阳市的土地利用图。

贵阳市生态足迹计算分为生物资源和能源账户两部分其中生物资源账户为耕地、林地、水域和草地部分，见表 2，表 3，表 4，能源资源账户为化石能源生态足迹见表 5（数据来源于贵阳市统计年鉴）。产量因子和均衡因子计算结果见表 6。

表 2 贵阳市 2005 年耕地资源账户

分类项目	全球平均产量 / (kg/hm <sup>2</sup> )	消费量 /t	总的生态足迹 /hm <sup>2</sup>	人均足迹	生产面积类型
稻谷	2744	303700	110677.8	0.0328	耕地
小麦	2744	31600	11516.04	0.0034	耕地
玉米	2744	201800	73542.27	0.0218	耕地
薯类	12607	89200	7075.43	0.0020	耕地
豆类	1856	23200	12500	0.0035	耕地
油菜籽	1600	61200	38250	0.0108	耕地
花生	1856	2200	1185.34	0.0003	耕地
烤烟	1548	20600	13307.49	0.0037	耕地
蔬菜	18000	1048760	58264.4	0.0173	耕地
茶叶	566	1513	2673.14	0.0007	耕地

表 3 贵阳市 2005 年草地资源账户

分类项目	全球平均产量 / (kg/hm <sup>2</sup> )	消费量 /t	总的生态足迹 /hm <sup>2</sup>	人均足迹	生产面积类型
猪肉	74	142600	1927027.03	0.5457	草地
牛肉	33	9300	281818.2	0.0798	草地
羊肉	33	1000	30303.03	0.0085	草地
牛奶	502	21456	42741.04	0.0121	草地
蜂蜜	400	20	50	0.00001	草地
禽肉	764	16100	21073.3	0.00596	草地
禽蛋	400	13961	34902.50	0.00988	草地

表 4 贵阳市 2005 年林地和水域资源账户

分类项目	全球平均产量 / (kg/hm <sup>2</sup> )	消费量 /t	总的生态足迹 /hm <sup>2</sup>	人均足迹	生产面积类型
水果	3500	68597	19599.14	0.0055	林地
油桐籽	1600	234	176.86	0.00005	林地

油茶籽	1600	112	70	0.00002	林地
核桃	3000	149	49.67	0.00001	林地
竹笋	3000	14	4.67	0.000001	林地
板栗	3000	286	95.33	0.00002	林地
棕片	1856	82	43.18	0.000012	林地
乌柏籽	1600	15	9.375	0.000003	林地
水产品	29	10540	363448.28	0.10293	水域

表 5 贵阳市 2005 年能源资源账户

分类 项目	全球平均能源足迹 / (GJ/hm <sup>2</sup> )	折算 系数	消费量 (t)	人均 足迹	生产面 积类型
原煤	55	20.934	7597046	0.81893	化石能源用地
洗精煤	55	20.934	1310317	0.14124	化石能源用地
其他焦化产品	55	20.934	192842	0.02078	化石能源用地
焦炭	55	28.47	287627	0.04216	化石能源用地
汽油	93	43.124	10649	0.00139	化石能源用地
液化石油气	71	50.2	692	0.00001	化石能源用地
煤油	93	43.124	375	0.00004	化石能源用地
柴油	93	42.705	21895	0.00284	化石能源用地
燃料油	71	50.2	101796	0.02038	化石能源用地
电力	1000	0.0036	2149078	0.02171	建设用地

表 6 参数计算结果

2005 年	草地	建设用地	耕地	林地	水域	化石能源用地
产量因子	2.26	1.67	0.52	1.03	2.25	0.00
均衡因子	1.21	1.08	1.27	1.42	0.6	1.42

### 3、结果与分析

#### 3.1 不同土地类型人均生态足迹分析

表 7 不同地类生态足迹统计值

年份	耕地	草地	林地	水域	建设用地	能源用地
2000 年	0.245	0.22	0.0046	0.021	0.022	1.03
2005 年	0.217	0.308	0.008	0.028	0.029	1.48
2010 年	0.195	0.192	0.0097	0.0188	0.033	1.83

从各土地类型生态足迹的构成来看，2000 年生态足迹化石能源用地最高，耕地次之，草地，建设用地、水域、林地依次减小。化石能源用地生态足迹与林地生态足迹差值为  $0.785\text{hm}^2$ ；2005 年生态足迹化石能源用地最高，草地次之，耕地、建设用地、水域、林地依次减小；化石能源用地生态足迹与林地生态足迹差值为  $1.472\text{hm}^2$ ；2010 年生态足迹化石能源用地最高，耕地次之，草地、建设用地、水域、林地依次减小。化石能源用地生态足迹与林地生态足迹两者差值为  $1.82\text{hm}^2$ ；总体而言，化石能源用地生态足迹占的比重最大，并且呈现增加趋势；林地比重有所增加，但是幅度不大，仍然保持在最低比重。两者的差值由  $0.785\text{hm}^2$  增加至  $1.472\text{hm}^2$ ，增加了 47%，表明贵阳市各类土地生态压力差距较大。

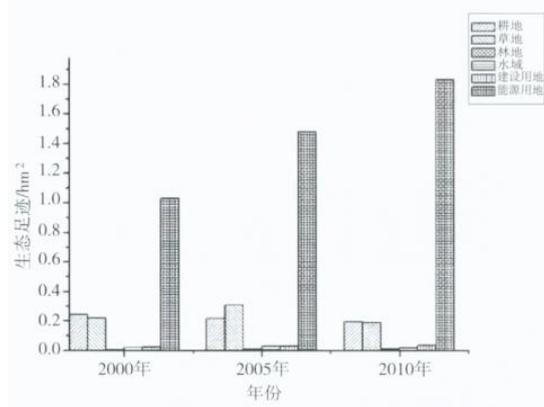


图 3 不同土地类型生态足迹变化图

从各土地类型生态足迹的时间演变来看，2000 年至 2010 年耕地的生态足迹虽然有所减少但是幅度不大，比重基本均衡，且占较大比重，说明随着人口增加，人们对粮食的需求仍然维持较高水平；2000 年到 2005 年草地的生态足迹逐渐增加，但是 2005 年到 2010 年又减少，说明随着 1999 年西部大开发以及经济发展，人们生活水平逐渐提高，讲究营养均衡，对禽蛋和奶制品的需求量增加。但是随着退耕还林，还草政策的出台，人们对草地的保护意识增强，草地生态足迹减少。林地和水域的生态足迹一直保持在较低水平，随着贵阳市工业化和城市化的开展，建设用地和化石能源用地生态足迹比重从 2000 年至 2010 年呈现增加趋势。

### 3.2 不同土地类型人均生态承载力分析

从不同土地类型生态承载力的构成来看，耕地生态承载力最高，林地次之，草地、水域、建设用地依次减少。其中草地，林地，水域和建设用地的生态承载力总体稳定，变化较小。耕地人均生态承载力由 2000 年的  $0.3499\text{hm}^2$  下降到 2010 年的  $0.2617\text{hm}^2$ ，下降了  $0.0882\text{hm}^2$ ，年际变化率为 25%左右。由此可见，贵阳市经济发展，人口增长对耕地的消费过大。

表 8 不同地类生态承载力统计值

年份	耕地	草地	林地	水域	建设用地
2000 年	0.3499	0.007	0.108	0.0075	0.0608
2005 年	0.3217	0.006	0.107	0.0073	0.0607
2010 年	0.2617	0.0012	0.101	0.0012	0.0554

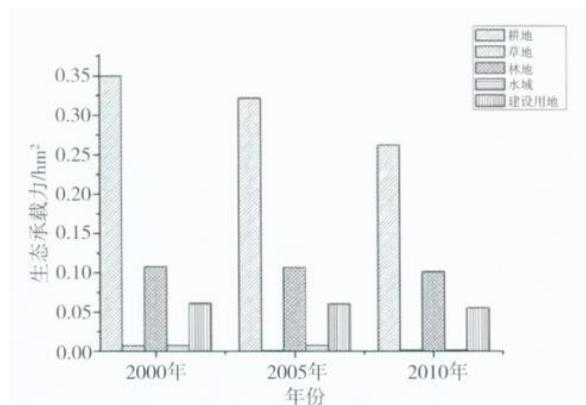


图 4 不同土地类型生态承载力变化图

### 3.3 贵阳市安全时间特征分析

2000-2010 年期间，贵阳市的人均生态足迹从 1.543hm<sup>2</sup>增加至 2.28hm<sup>2</sup>，在此期间，人口从 2000 年 374.35 万人增加到 2010 年的 437.45 万人，说明了随着贵阳市社会经济发展，人口的增长对资源消耗增加，对生态环境的压力增大。人均生态承载力从 0.4515hm<sup>2</sup>减少至 0.3696hm<sup>2</sup>，生态赤字从 1.128hm<sup>2</sup>增加至 1.9104hm<sup>2</sup>，人均生态压力指数呈现持续上升的趋势，从 3.417 增加至 6.174，增长了 2.757，增长幅度为 81%。说明贵阳市近 10 年来生态压力不断增大，人口增长，资源消耗与生态环境之间的矛盾加剧，贵阳市从 2000 年起，人均生态压力指数就大于 2，处于极不安全的状态。

表 9 贵阳市生态安全评价指标

年份	生态足迹	生态承载力	生态赤字	生态压力指数
2000 年	1.543	0.4515	1.128	3.417
2005 年	2.07	0.4326	1.6374	4.785
2010 年	2.28	0.3696	1.9104	6.174

### 3.4 贵阳市生态安全空间分析

#### 3.4.1 贵阳市生态足迹空间特征分析

将贵阳市 2000 年，2005 年和 2010 年的生态足迹，乘以相应年份的总人口，然后再除以相应区域的总面积，就得到贵阳市每平方公里的生态足迹值，然后与贵阳市的行政矢量数据进行连接，得到贵阳市生态足迹空间分布图，如图 5。从图中可以看出 2000 年，2005 年和 2010 年，总体上贵阳市每平方公里生态足迹保持稳定增长，但是各个区域每平方公里生态足迹分布不均衡，其中云岩区，南明区由于人口数量大而且面积较小，每平方公里生态足迹最高，白云、小河区由于人口密度较小，每平方公里的生态足迹也比较小。乌当区、花溪区的生态足迹有所增加，但是增幅不大，总体还是比较小。2005 年至 2010 年清镇市，修文县和息烽县每平方公里人均生态足迹有所减少，这与其人口减少有直接关系。

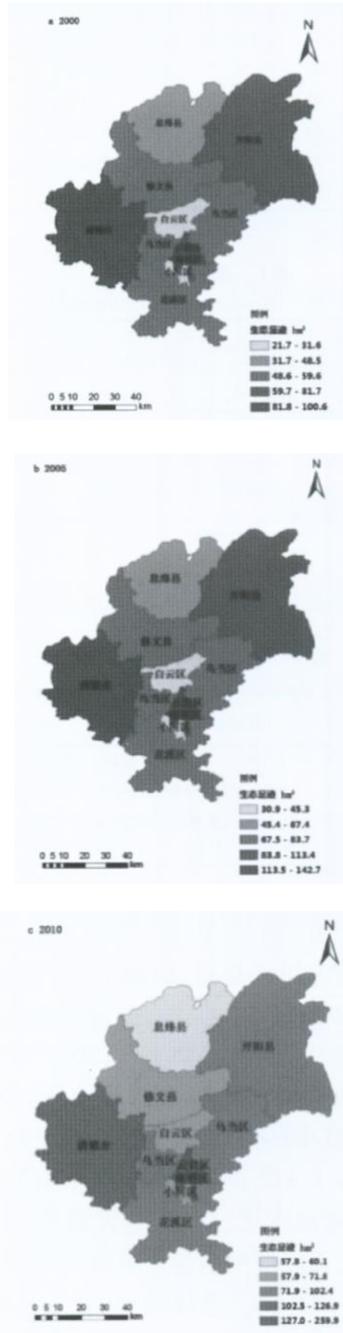


图 5 生态足迹变化图

### 3.4.2 生态承载力空间特征分析

根据上述均衡因子的计算，可以推算出贵阳市生态承载力的计算公式，如下

$$\begin{aligned}
 EC &= \sum a_j \cdot r_j \cdot y_j \\
 &= \sum a_j \cdot NPP_j / NPP_a \cdot y_j \cdot 100 \cdot 88\% \quad (6)
 \end{aligned}$$

其中 AC 为人均生态承载力为某种人均生物生产性土地面积，为产量因子， $\sim$ 为均衡因子，乘以 100 将单位  $\text{km}^2$  换成  $\text{hm}^2$ ，0.88 作为扣除生物多样性保护用地的系数。根据前面计算的均衡因子并将其空间化，然后在 Arcgis 里面用栅格计算器做乘法得到不同年份生态承载力计算结果（图 6）。

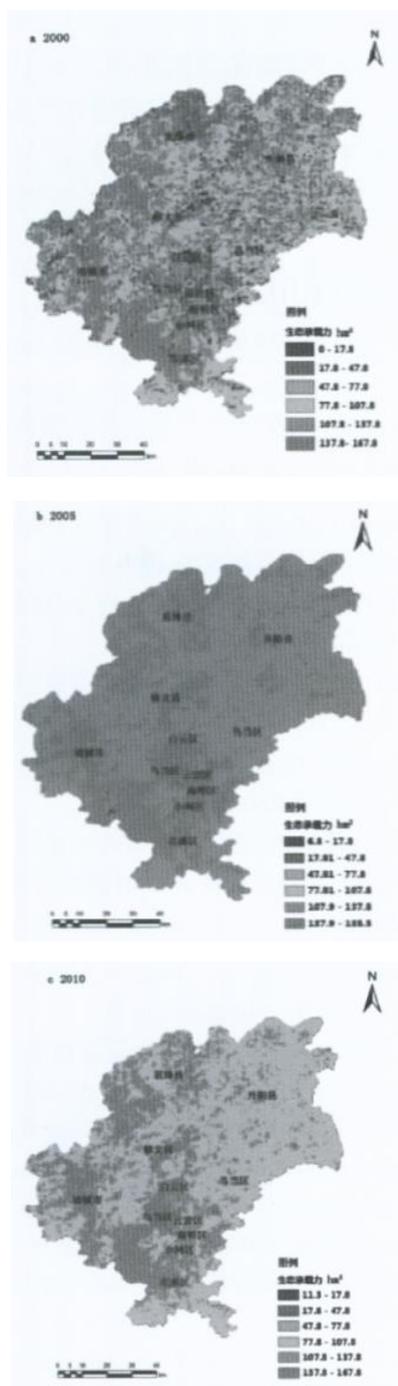


图 6 生态承载力变化图

从图中可以看出贵阳市生态承载力从 2000 年到 2005 年总体增幅较大，2010 年相比 2005 年整体又有所下降。其中在 2000 年云岩区、南明区、乌当区和息烽县北部生态承载力小于  $40\text{hm}^2/\text{km}^2$ ，这是因为国家 1999 年实行西部大开发，贵阳加大建设步伐，

经济发展依赖资源，对环境破坏严重。2000 年以后随着贵阳市“两个率先”、“环境立市”、“建设生态市”等环境保护政策的实施到 2005 年贵阳整体生态承载力大于  $100\text{hm}^2/\text{km}^2$ ，生态环境得到明显改善。2010 年生态承载力大部分集中在  $70\sim 100\text{hm}^2/\text{km}^2$ ，整体比 2005 年减少，但幅度不大。这段时间贵阳市人口增幅较大，对各类资源消耗较大。

### 3.4.3 生态压力指数空间特征分析

利用 ArcGIS 地理信息系统空间分析功能，以县为尺度进行栅格化，将生态足迹空间分布属性数据与生态承载力空间属性数据做除法，并进行重分类，得到贵阳市生态压力指数空间分布图（图 7）。

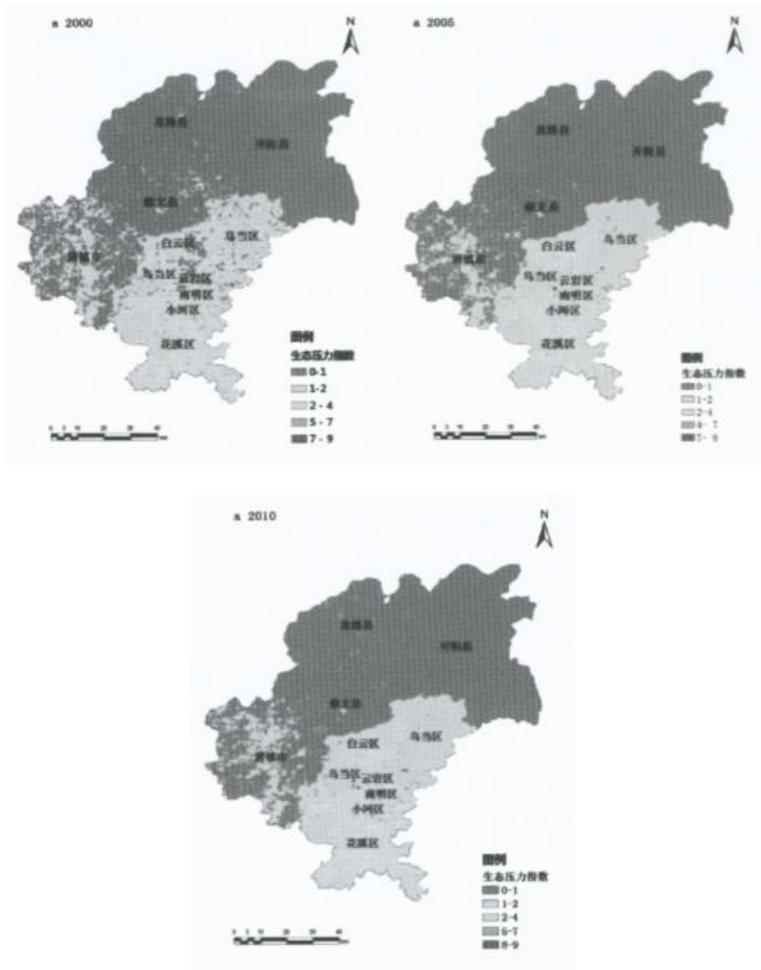


图 7 生态压力指数变化图

从图 7 可以看出三个时期贵阳市的生态压力指数大部分在 0~1 区间，生态比较安全，但是生态安全空间分布不均衡，呈现西南向东北方向递减，市中心向郊区递减的格局。贵阳市东北部为林地，生态环境良好，西南部为建筑用地，人口密集，生态压力大。从县域尺度看，2000 年云岩部分地区生态压力指数在 0~1 状态，到 2005 年和 2010 年生态压力指数大于 2，生态压力增大。生态环境恶化，生态安全格局有安全变为不安全。2000 年乌当区北部生态压力大于 7 到 2010 年生态压力指数小于 4，生态压力指数减小，生态环境有所改善。2000 年清镇市西部生态压力指数较大，到 2005 年大部分地区生态压力指数小于 1，生态安全面积增加，生态环境改善。2000~2010 年，南明区、小河区、花溪区、白云区 and 乌当大部分地区，生态压力指数均大于 2，生态安全极差，开阳县、息烽县和修文县，生态压力指数均小于 1，生态安全较好。

## 4、结论与讨论

基于省级公顷，利用植被净第一生产力数据，探索了适用于贵阳市生态足迹模型计算的均衡因子与产量因子，据此计算了贵阳市生态足迹、生态承载力与生态压力指数，其结果更加能客观的反映贵阳市的生态安全状况。主要结论如下：

(1) 十年间，贵阳市的人均生态足迹呈现增加趋势，从 1.543hm<sup>2</sup>到 2.28hm<sup>2</sup>，增长 0.74hm<sup>2</sup>，增长幅度为 33%，年均增幅为 3.3%；人均生态承载力不断减少，从 0.45hm<sup>2</sup>到 0.36hm<sup>2</sup>，减少 0.09hm<sup>2</sup>，减少幅度为 25%，年均下降 2.5%；生态压力指数呈现持续上升的趋势，从 3.417 增加至 6.174，增长 2.757，增长幅度为 81%。参考赵先贵生态安全分类标准，贵阳市从 2000 年起，生态压力指数就大于 2，处于极不安全的状态。

(2) 2000 至 2010 年，贵阳市化石能源用地生态足迹比重最大，且不断增长，耕地生态承载力虽然比重最大，但是呈现减少趋势。贵阳市三个时期的生态足迹在空间分布上以云岩、南明区最高，这与其处于市中心，人口密集有密切关系；白云、小河区由于人口密度较小，每平方公里的生态足迹也比较小；乌当区、花溪区的生态足迹有所增加，但是增幅不大，总体还是比较稳定；清镇市、修文县和息烽县每平方公里人均生态足迹有所减少，这与其人口减少有直接关系。

(3) 贵阳市的生态承载力总体看来保持在比较稳定增长的状态，其中 2000 年至 2005 年生态承载力增长最明显，特别是云岩区、南明区、白云区 and 息烽县北部增长最明显，增长幅度为 30hm<sup>2</sup>左右；2005 年至 2010 年，贵阳市整体生态承载力相对下降，但是幅度不大。开阳市和清镇市由于土地利用类型基本为耕地和林地，生态承载力比较高。

(4) 2000 年、2005 年和 2010 年贵阳市的生态压力指数在空间分布上差异较大，呈现西南部高、东北部低，由市中心向郊区递减规律。其中乌当区、南明区、白云区、花溪区、小河区和清镇市大部分地区生态压力指数大于 2，处于极不安全的状态。开阳、息烽和修文生态压力指数在 0~1 区间，生态比较安全。

### [参考文献]:

- [1]李加林, 张元东. 浅谈全球变化研究[J]. 河北水利, 1994 (4) : 73-77.
- [2]康鹏, 陈卫平, 王美娥. 基于生态系统服务的生态风险评价研究进展[J]. 生态学报, 2016, 36 (5) : 1192-1203.
- [3]王希强. 基于 GIS 和 RS 的区域生态安全评价研究-以银川市为例[D]. 兰州: 兰州大学, 2010.
- [4]催胜辉, 洪华生, 黄云凤, 等. 生态安全研究进展[J]. 生态学报, 2005, 25 (4) : 861-868.
- [5]庞雅颂, 王琳. 区域生态安全评价方法综述[J]. 中国人口, 资源与环境, 2014, 24 (SI) : 340-344.
- [6]杨开忠, 杨咏. 生态足迹分析理论与方法[J]. 地球科学进展, 2000, 15 (6) : 630-636.
- [7]赵先贵, 肖玲, 兰叶霞, 等. 陕西省生态足迹和生态承载力动态研究[J]. 中国农业科学, 2005, 38 (4) : 746-753.
- [8]任贤, 张磊, 王洋, 等. 基于生态足迹理论的银川市生态安全评价[J]. 广东农业科学, 2010, 37 (6) : 207-210.
- [9]覃德华, 何东进, 吴承祯, 等. 基于生态足迹分析的武夷山风景名胜区生态安全评价[J]. 北华大学学报: 自然科学版, 2009, 10 (3) : 253-257.

- 
- [10]程冬鹤, 赵先贵, 张 军, 等. 基于生态压力指数的河南省生态安全时空差异分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2009, 25 (3) : 288-293.
- [11]刘某承, 李文华, 谢高地. 基于净初级生产力的中国生态足迹产量因子测算[J]. 生态学杂志, 2010, 29 (3) : 592-597.
- [12]刘某承, 李文华. 基于净初级生产力的中国生态足迹均衡因子测算[J]. 自然资源学报, 2009, 24 (9) : 1550-1559.
- [13]张志强, 徐中民. 生态足迹的概念及计算模型[J]. 生态经济, 2000 (10) : 8-10.
- [14]肖 玲, 董林林, 兰叶霞, 等. 基于生态压力指数的江西省生态安全评价[J]. 地域研究与开发, 2008, 27 (1) : 117-120.
- [15]许联芳, 杨勋林, 王克林, 等. 生态承载力研究进展[J]. 生态环境, 2006, 15 (5) : 1111-1116.
- [16]宁雅楠, 赵文晖, 李 贝, 等. 基于改进生态足迹模型的保定市土地利用的生态安全评价[J]. 贵州农业科学, 2015, 43 (2) : 175-179,
- [17]吴健生, 李 萍, 张玉清. 基于生态足迹的城市地域可持续发展能力评价——以深圳为例[J]. 资源科学, 2008, 30 (6) : 850-856,
- [18]赵先贵, 马彩虹, 局利峰, 等. 基于生态压力指数的不同尺度区域生态安全评价[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15 (6) : 136-138.
- [19]刘婷婷, 卢文杰. 基于生态足迹的杭州市土地承载力 评价[J]. 中国国土资源经济, 2013 (8) : 61-64.