

引用格式:郑德凤,王燕燕,曹永强,等.基于生态系统服务的生态福祉分类与时空格局:以中国地级及以上城市为例[J].资源科学,2020,42(6):1110-1122.[Zheng D F, Wang Y Y, Cao Y Q, et al. Classification and spatiotemporal patterns of ecological well-being based on ecosystem services: Taking China's prefecture-level and above cities for example[J]. Resources Science, 2020, 42(6): 1110-1122.] DOI: 10.18402/resci.2020.06.09

# 基于生态系统服务的生态福祉分类与时空格局 ——以中国地级及以上城市为例

郑德凤,王燕燕,曹永强,王燕慧,郝帅,吕乐婷

(辽宁师范大学地理科学学院,大连 116029)

**摘要:**基于生态系统服务价值理论,利用生态系统贡献率对生态福祉核算方法进行改进,在此基础上分析中国地级及以上城市人均生态福祉和生态—经济效率时空分异特征,同时提出基于相对公平与效率视角的生态福祉分类模型,通过相对福祉指数与相对效率指数将生态福祉进行分类,并分析2000—2015年中国337个地级及以上城市不同类型的生态福祉时空格局,研究结果可为促进中国生态文明建设提供部分参考。结果表明:①研究时段内中国337个地级及以上城市人均生态福祉与生态—经济效率在胡焕庸线两侧空间分布差异较大,其重心分别位于青海省的玉树藏族自治州和河南省的信阳市,并随时间分别向东北、西南方向移动。②通过双变量空间自相关方法分析得出生态—经济效率与人均生态福祉之间存在空间负相关关系,生态—经济效率与人均生态福祉的高—低聚集区主要分布在上海市以及河北、山东、江苏等省的沿海城市,以及安徽、河南2省的部分地级及以上城市;低—高聚集区主要分布在西部城市;低—低聚集区主要分布在中部地区的山西、河南、安徽3省的部分城市。③运用相对福祉指数与相对效率指数可将研究区划分为4类生态福祉区:高效—低福祉区所在城市主要以河北、山东、山西、河南、江苏5省为主;低效—高福祉区主要分布在西部城市、东北大部分城市与东南部分城市;低效—低福祉区城市主要分布在高效—低福祉区与低效—高福祉区交界处;高效—高福祉区零散分布。因此,全面实现中国各地区的生态文明建设,需要共同提高西部地区生态—经济效率与东部地区人均生态福祉。

**关键词:**生态福祉;生态—经济效率;胡焕庸线;双变量空间自相关;分类;中国

DOI :10.18402/resci.2020.06.09

## 1 引言

生态系统是生态文明建设载体,在经济社会快速发展中,人类对自然资源过度索取加剧了生态系统破坏,导致各类生态系统严重退化<sup>[1,2]</sup>。在这一背景下,中共十九大报告指出国家把建设生态文明放到更加突出位置,并将其作为中华民族可持续发展的千年计划。生态系统服务功能与人类福祉间的联系是生态系统评估的核心<sup>[3]</sup>,研究生态系统服务与人类福祉关系有利于促进生态文明建设。

千年生态系统评估<sup>[4]</sup>首次将生态系统服务作为

人类福祉影响因素进行研究,此后有关生态系统服务与人类福祉关系的研究大量涌现。各国学者就此展开了一系列研究,如Douglas<sup>[5]</sup>将热带雨林生态系统与人类福祉关系进行研究,表明通过改变两者的管理方法可以从根本上提高人类福祉;Verhofstadt等<sup>[6]</sup>使用问卷调查方法对比利时弗兰德地区生态足迹与主观福祉间的关系进行实证分析,上述文献通过主观分析法对生态系统与福祉两者进行分析,缺乏客观数据详细分析;Zhang等<sup>[7]</sup>对2012年82个人口超过1000万的国家利用人类发展指数和

收稿日期:2019-04-12;修订日期:2019-11-01

基金项目:国家社会科学基金项目(17BJL105)。

作者简介:郑德凤,女,黑龙江伊春人,教授,博导,主要从事资源环境与可持续发展、生态环境保护研究。E-mail: defengzheng@lnnu.edu.cn

通讯作者:曹永强,男,内蒙古丰镇人,教授,博导,主要从事资源环境与灾害方面研究。E-mail: caoyongqiang@lnnu.edu.cn

2020年6月

生态足迹两个指标构建生态福利绩效指数进行实证分析,用以衡量生态消费转化为人类福祉的效率,文献通过国家层面的可持续发展进行指标化和数量化研究。

在国内,谢高地等<sup>[8]</sup>采用单位面积生态系统服务价值当量因子法对中国生态系统服务功能经济价值进行核算,认为生态系统服务价值与人类福祉关系极其密切;高振斌等<sup>[9]</sup>以东江流域为例构建生态系统服务价值当量因子表,并对东江流域生态系统服务价值进行评估;龚溪等<sup>[10]</sup>以福建省武夷山市为例定量评估了8类生态系统服务的经济价值;刘佳佳等<sup>[11]</sup>以锡林郭勒盟为例通过文献综述的方法分析了草原生态系统服务与人类福祉的联系;柳冬青等<sup>[12]</sup>以安定区为例对土地利用强度—生态系统服务—人类福祉的时空权衡与协同关系进行实证研究;黄甘霖等<sup>[13]</sup>、朱杰等<sup>[14]</sup>通过文献分析的方法和问卷调查的方法探讨了客观福祉,主观福祉,生态系统服务与人类福祉的关系;张继飞等<sup>[15]</sup>借助生态系统服务价值当量评价法对岷江上游生态系统服务与居民福祉的空间关系及其变化进行实证分析;刘家根等<sup>[16]</sup>用生态系统服务定量评估方法计算并分析了桐庐县的生态系统服务价值与人类发展指数间的相互关系。上述文献从生态系统服务价值研究逐渐转向生态系统服务与人类福祉关系研究,并且主要以典型地区为对象进行研究,研究结果为认识不同时空尺度的生态系统服务与人类福祉的关系起到一定的推动作用,但这些文献多采取问卷调查访谈方式,以定性评价为主,所得结论有一定的主观性。故有必要采用定性与定量相结合的方法对生态系统服务与人类福祉关系展开研究。

公平与效率是福利经济学研究的重要内容,在国内何宗泽等<sup>[17]</sup>认为效率本身意味着公平,而公平本身就体现着效率,效率和公平是相互依存、相互促进的。黄兰芳等<sup>[18]</sup>通过构建公平与效率的理论模型,分析不同因素的变化对公平与效率均衡的影响,并提出提高公平与效率的相应对策;叶晓佳等<sup>[19]</sup>构建了分配公平、经济效率与社会稳定协调性评价指标体系,并提出了相应的测度方法,以中国为例进行实证分析。现阶段在中国开展基于公平与效

率视角的生态福祉定量评价研究既能权衡生态保护与经济发展问题,也能正确衡量全国生态福祉水平,为进一步提出生态福祉提升路径提供依据。

纵观上述文献可以看出,有关生态系统服务与人类福祉关系主要以特定区域为例进行互动式研究,对两者关系进行定量评价与区域间比较研究较少。臧正等<sup>[20]</sup>在前人研究的基础上将生态系统服务与人类福祉相结合给出了生态福祉的定义为“人类从自然环境中获取或享有的、由生态系统通过初级生产和次级生产提供的、与人类福祉直接相关的产品和服务”。该定义中的生态福祉与生态系统服务价值相比研究范围较小,仅包含当前人类自身需求与生产力水平所获得的终端产品与服务价值,减少了对生态系统服务的重复计算。据此,生态福祉、生态系统服务、人类福祉三者的从属关系如下:人类福祉 > 与人类福祉相联系的全部生态系统服务 > 生态福祉。文献[20]中生态福祉核算方法的不足在于忽略了生态系统为人类生产生活提供服务过程中由于要维护自身发展需消耗部分生态系统服务价值,这部分不能为人类提供福祉。鉴于此,本文引入生态系统贡献率对生态福祉核算方法进行改进,并以中国地级及以上城市为研究对象对全国各地区的生态福祉进行测度评价,并进行生态福祉的区域划分与时空格局分析,旨在掌握中国地级市尺度的生态福祉时空演变规律,为促进中国各地生态文明建设提供参考。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

中国大陆地级及以上城市的土地利用数据由中国科学院资源环境科学数据中心([www.resdc.cn](http://www.resdc.cn))提供,基于Landsat 8遥感影像,通过人工目视解译生成2000—2015年的土地利用数据。人口、粮食平均价格、平均粮食单产以及地区国内生产总值等数据通过各省(市、区)统计年鉴(2001—2016)获得,其中粮食平均价格是按照国家发展和改革委员会网站公布的相关粮食最低收购价格和市场谷物平均价为基础,结合历年物价指数折算得出。本文中水域生态系统包括土地利用/土地覆盖遥感分类系统中的河渠、湖泊、水库坑塘、永久性冰川雪地,湿

地生态系统包括土地利用/土地覆盖遥感分类系统中滩涂、滩地、沼泽地,考虑到数据的可得性,将湿地生态系统与水域生态系统合并,用水体与湿地生态系统表示;荒漠生态系统包括土地利用/土地覆盖遥感分类系统的沙地、戈壁、盐碱地、裸土地、裸岩石质地。研究样本选取中国4个直辖市和333个地级行政单位(包括地级市、盟、地区、自治州),总计337个地级及以上城市,因统计数据缺失,研究区不包括海南省三沙市、港澳台地区。

## 2.2 研究方法

本文基于生态系统服务理论对现有的生态福祉进行改进,运用人均生态福祉模型和生态—经济效率模型计算中国地级及以上城市人均生态福祉与生态—经济效率,并进行时空分析。在此基础上,引入双变量空间自相关分析生态—经济效率与其邻域人均生态福祉均值之间的空间聚集与分异特征,运用相对福祉指数与相对效率指数对研究区进行生态福祉分类及时空格局分析。

### 2.2.1 基于生态系统服务价值理论的生态福祉核算方法

现有的生态福祉核算方法忽视了生态系统为人类生产、生活提供服务过程中由环境降级造成的永久性成本损失不能为人类提供福祉,致使核算结果偏高。鉴于此,本文在谢高地等<sup>[21]</sup>提出的中国各类陆地生态系统服务价值修正算法以及臧正等<sup>[20]</sup>提出的生态福祉核算模型基础上,引入生态系统贡献率(即某类土地生态系统为人类生产生活提供产品与服务的效率)对生态福祉核算方法进行了改进,改进后的计算公式如下:

$$GEW = \frac{1}{7} v \cdot g \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^9 e_{ij} \cdot a_i \cdot c_j \quad (1)$$

式中:  $GEW$  表示现期生态福祉(万元);  $v$  代表粮食平均价格(万元/t);  $g$  代表平均粮食产量( $t/hm^2$ );  $e_{ij}$  表示第  $i$  类生态系统中第  $j$  种生态系统服务价值当量因子;  $i=1, 2, \dots, 6$ , 分别代表耕地、林地、牧草地、湿地、水域、未利用地6类生态系统;  $j=1, 2, \dots, 9$ , 分别代表食物生产与供给, 能源与原材料供应, 娱乐及文化服务, 生物多样性保护, 调洪灌溉与涵养水源, 土壤水分及营养盐保持, 释氧固碳及净化空气, 调节区域小气候, 废弃物吸纳与处理9类生态福祉<sup>[22]</sup>;

$a_i$  代表第  $i$  类生态系统对应的土地面积( $hm^2$ );  $c_j$  表示第  $j$  类生态系统贡献率, 其计算方法详见文献<sup>[23]</sup>。

为了使不同年份的生态福祉具有可比性, 借鉴经济学中的可变增长率与可比价格等概念, 以2000年为基准, 参照国家历年通胀率将生态福祉统一为不变价, 计算过程如下:

$$GEW' = GEW / (1 + E_u) = GEW / [1 + (I_u - I_0) / I_0] \quad (2)$$

式中:  $GEW'$  代表统一后的生态福祉(万元);  $E_u$  和  $I_u$  分别代表第  $u$  期通货膨胀率和消费者价格指数( $I_0$  为基期CPI值)。

### 2.2.2 双变量空间自相关分析

空间自相关是对空间单元属性值聚集程度的一种度量, 旨在空间上测度某点属性值是否与其邻近点存在相关性, 包括全局空间自相关与局部空间自相关<sup>[24,25]</sup>。分别用Moran's  $I$  指数与Local Moran's  $I$  指数表示, 计算公式为:

$$I = \frac{\sum_{b=1}^n \sum_{d \neq 1}^n W_{bd} (Y_b - \bar{Y})(Y_d - \bar{Y})}{S^2 \sum_{b=1}^n \sum_{d \neq 1}^n W_{bd}} \quad (3)$$

$$I_b = \frac{Y_b - \bar{Y}}{S^2} \cdot \sum_{d \neq 1}^n (Y_d - \bar{Y}) \quad (4)$$

式中:  $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{b=1}^n (Y_b - \bar{Y})^2$ ;  $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{b=1}^n Y_b$ ;  $Y_b$  和  $Y_d$  分别表示空间单元  $b$ 、单元  $d$  评价指标值;  $n$  为评价地区总数;  $W_{bd}$  是基于空间邻近关系建立的权重。

为探讨多变量之间的空间自相关, 相关学者进一步拓展了双变量空间自相关, 公式如下<sup>[26,27]</sup>:

$$I_{lm}^p = z_l^p \cdot \sum_{q=1}^n W_{pq} \cdot z_m^q \quad (5)$$

式中:  $I_{lm}^p$  为空间单元  $p$  的双变量(评价指标  $l$  和  $m$  的值)全局空间自相关指数;  $z_l^p = \frac{X_l^p - \bar{X}_l}{\sigma_l}$ ;  $z_m^q = \frac{X_m^q - \bar{X}_m}{\sigma_m}$ ;  $X_l^p$  是空间单元  $p$  的评价指标  $l$  的值;  $X_m^q$  是空间单元  $q$  的评价指标  $m$  的值;  $\bar{X}$  和  $\sigma$  分别表示相应评价指标的均值与方差;  $W_{pq}$  为空间单元  $p$ 、 $q$  之间的空间连接矩阵。

### 2.2.3 基于相对公平与效率视角的生态福祉分类模型

人均生态福祉表示生态福祉的供给能力, 生态—经济产出效率表征在国民生产过程中消耗单位生态福祉转化为经济效益的能力, 相应的计算公式如

2020年6月

下<sup>[28]</sup>:

$$PGEW = GEW' / P \quad (6)$$

$$EEOC = GDP / GEW' \quad (7)$$

式中: $PGEW$ 表示研究区人均生态福祉(万元/人); $P$ 为研究区人口; $EEOC$ 为生态—经济产出效率(简称生态—经济效率,下同); $GDP$ 为统一后的地区国内生产总值(万元),其计算方法与公式(2)相同。

上述人均生态福祉和生态—经济效率均是基于绝对视角(有量纲)对不同单元间的指标差异进行评价,为进一步明确评价结果的政策导向,结合当前中国经济、社会发展阶段性特征,提出基于相对公平与效率视角的生态福祉分类模型。通过引入经济学中的区位熵理论<sup>[29]</sup>,分别将区域人均生态福祉和生态—经济效率比上全国平均值得无量纲的相对福祉指数、相对效率指数,计量模型如下:

$$REqI = (GEW'_k / P_k) / (GEW'_c / P_c) \quad (8)$$

$$REffI = (GDP_k / GEW'_k) / (GDP_c / GEW'_c) \quad (9)$$

式中: $REqI$ 表示相对福祉指数,反映了相对视角的

公平性原则, $REqI$ 值越大,表明区域 $k$ 人均生态福祉对提高全国生态福祉供给能力的贡献越大;下标 $k$ 表示区域指标; $c$ 表示全国平均指标; $REffI$ 指相对效率指数,反映了相对视角的效率原则, $REffI$ 值越大,表明区域 $k$ 在基于消耗单位生态福祉的前提下对提高全国经济和社会效益的区域贡献越大。 $REqI > 1$ 表示人均生态福祉超过了全国平均水平称高福祉区, $REqI < 1$ 则为低福祉区; $REffI > 1$ 表示生态—经济效率超过了全国平均水平称高效率区, $REffI < 1$ 为低效率区。

### 3 结果与分析

#### 3.1 人均生态福祉及生态—经济效率空间格局

依据式(1)–(2)、(6)–(7)及相关数据计算中国大陆337个地级及以上城市生态福祉、人均生态福祉及生态—经济效率。人均生态福祉、生态—经济效率均按5个级别聚类显示,结果如图1、图2所示。

图1显示,在全国范围内人均生态福祉 $PGEW$ 随时间推移不断提高,东、中、西部地区分布不均,

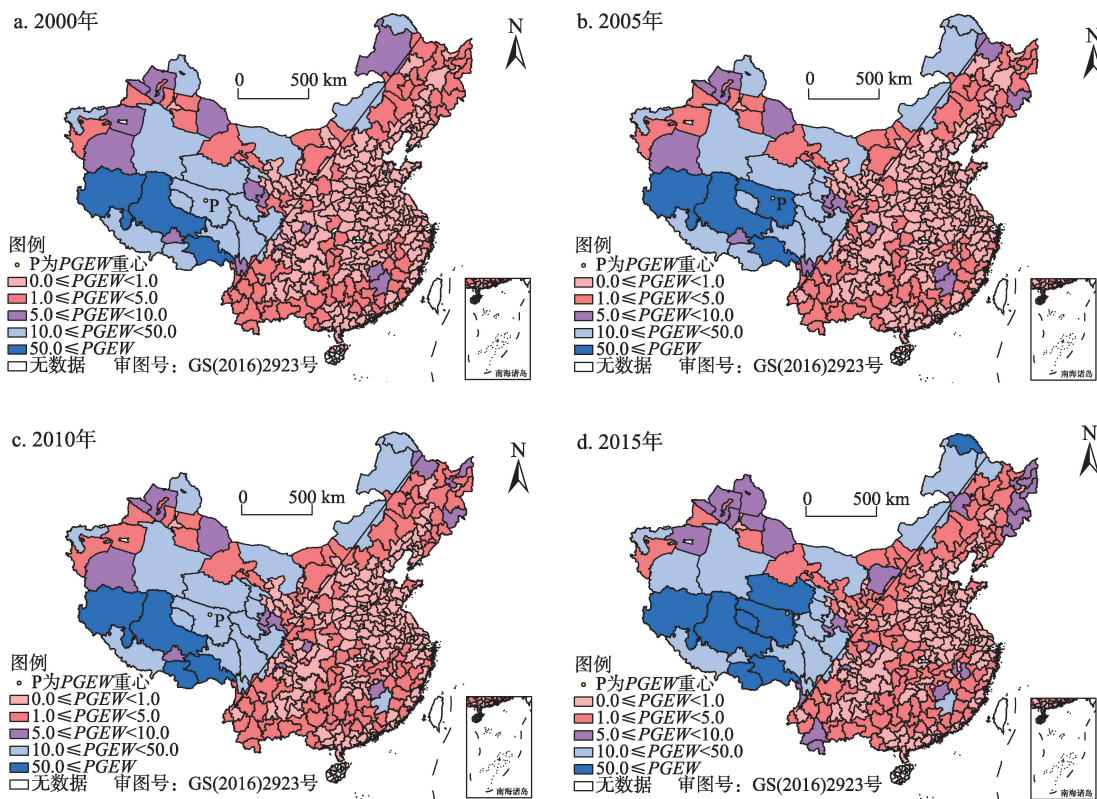


图1 中国地级及以上城市人均生态福祉空间格局

Figure 1 Spatial pattern of per capita ecological well-being of prefectural-level and above cities in China

东部大部分城市  $PGEW$  低于 1.0 (1 万元/人), 中部大多数城市低于 5.0, 西部大部分城市高于 10.0。在研究时段内  $PGEW$  低于 1.0 的城市从 2000 年的 226 减少到 2015 年的 175, 约占总数的 52%, 主要位于东部的环渤海地区, 长江三角洲城市群以及除浙江省台州市、福建省的漳州市和宁德市以外的东南沿海城市, 中部的山西、河南、安徽 3 省部分地级市。结果表明在经济发达人口密集的城市, 当地为每人提供的生态福祉较低, 生态福祉供给能力较低, 生态服务稀缺性变得比较突出。除重庆市以及陕西、贵州两省大部分城市外的西部城市都高于 1.0, 并随时间推移, 西部地区  $PGEW$  不断提高。

从方位看,  $PGEW$  在黑河—腾冲线 (即“胡焕庸线”) 两侧呈现出西北高一东南低的多级分布格局, 表示在经济发达与人口密集地区的生态系统服务价值具有较高稀缺性<sup>[30]</sup>。从图 1 可以看出, 人均生态福祉在不断提高, 其重心在青海省的玉树藏族自治州并不断往东北方向移动, 说明中国大陆东、中

部地区生态福祉供给能力在不断提高, 但与西部相比有很大差距, 这与西部地区有丰富自然资源和良好生态环境, 以及人口密度不高有关。

图 2 显示, 生态—经济效率  $EEOC$  在研究时段内不断提高, 东、中、西部地区分布不均, 西部大部分地级及以上城市  $EEOC$  低于 1.0, 中部大部分地级市与东南部分地级市  $EEOC$  低于 5.0,  $EEOC$  高于 20.0 的城市主要零散分布在山东、江苏的地级及以上城市。其中  $EEOC$  低于 1.0 的城市从 2000 年的 166 减少到 2015 年的 57 个, 降幅为 65.7%, 尤其在 2010 年降幅最大。随时间推移胡焕庸线以东  $EEOC$  小于 1.0 的城市在迅速减少, 到 2015 年基本退出了东南地区, 说明该地区城市消耗单位生态福祉获得的经济效益不断提高, 间接表明这些城市对生态系统的利用率不断提高, 有利于生态系统的可持续发展。

从方位上看, 生态—经济效率分布格局与同期  $PGEW$  大致处于相反状态。2000 年  $EEOC$  的重心位

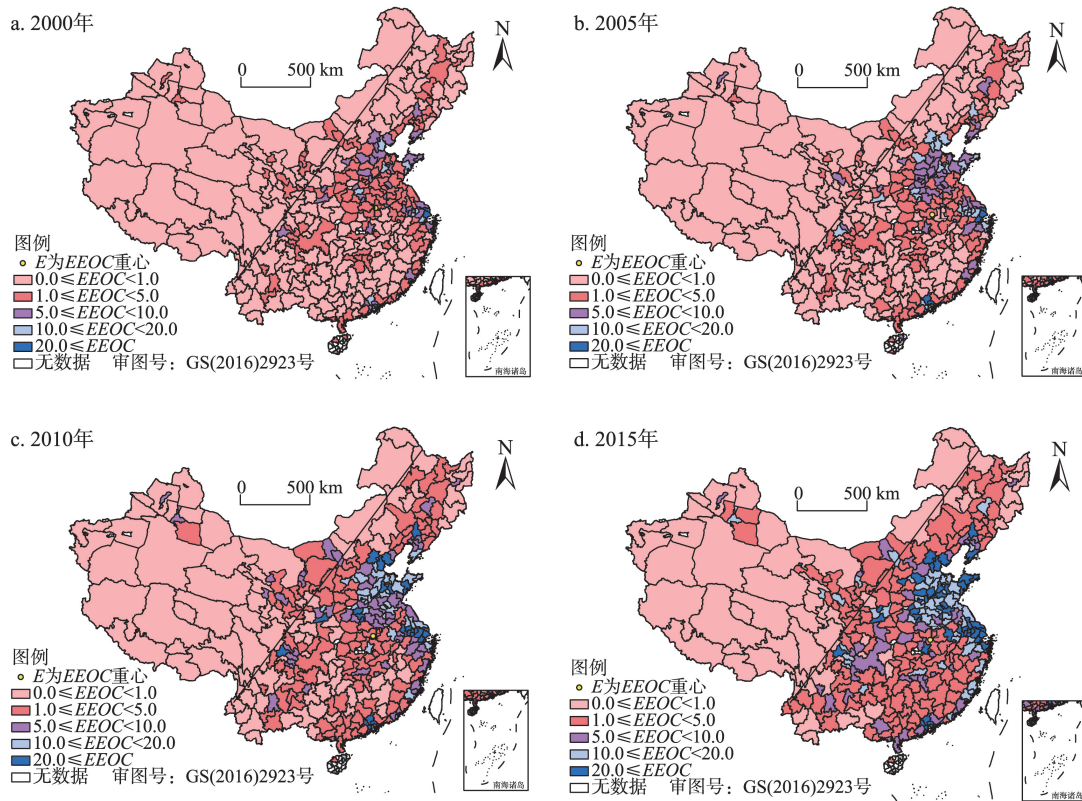


图 2 中国地级及以上城市生态—经济效率空间格局

Figure 2 Spatial pattern of ecological-economic efficiency of prefectural-level and above cities in China

2020年6月

于胡焕庸线以东的河南省驻马店市和信阳市,安徽省阜阳市3市交界处,并先后向东南、西南方向移动,最后进入河南省信阳市境内。说明中国西南地区城市 *EEOC* 在不断提高,侧面反映出人们对生态系统服务价值的利用效率逐渐提高,对生态系统越来越重视,体现了生态系统利用的可持续性。从图1和图2中可以看出,研究时段内中国大陆地级及以上城市西北部 *PGEW* 高, *EEOC* 低,东南部 *PGEW* 低, *EEOC* 高。

### 3.2 人均生态福祉与生态—经济效率全局与局部空间自相关分析

为了解生态—经济效率的空间分布结构是否直接影响人均生态福祉的空间分布,通过运用双变量空间自相关分析,可以将中国地级及以上城市生态—经济效率的空间分布与人均生态福祉的空间分布情况建立相关关系。

#### 3.2.1 全局空间自相关

运用 *Geoda* 空间分析工具,建立空间权重矩阵,计算生态—经济效率与人均生态福祉间的全局空间自相关指数 *Moran's I*, 并对其进行显著性检验(表1),从表1可以看出,在研究时段内 *Moran's I* 指数均小于0, *P-value* 都远小于0.01,通过了1%水平下的显著性检验,说明生态—经济效率与人均生态福祉之间存在空间负相关关系,但由于 *Moran's I* 相对较小,两者的空间相关性较弱,人均生态福祉较高的区域生态—经济效率相对较低,与前文研究结果相一致。出现这一现象主要因为在人均生态福祉高的区域生产力较低,经济发展较缓慢,以粗放式经营为主,消耗单位生态福祉产生的经济效益较低,其生态—经济效率较低;在生态—经济效率较高的区域人口比较密集,经济发展较快,生态系统的土地利用面积较少,当地为每人提供的生态福祉

表1 生态—经济效率与人均生态福祉的双变量空间自相关结果

Table 1 Results of bivariate spatial correlation analysis between per capita ecological well-being and ecological-economic efficiency

年份	2000	2005	2010	2015
<i>Moran's I</i>	-0.1002*	-0.0797	-0.0693	-0.0787
<i>P-value</i>	0.001	0.002	0.002	0.001

注:\*表示在95%的置信度时显著相关。

较低,其人均生态福祉较低。

#### 3.2.2 局部空间自相关

为更加直观地观察中国地级及以上城市生态—经济效率与人均生态福祉间的空间相关类型及分布情况,选取2000年、2005年、2010年、2015年用 *Geoda* 绘制双变量局部空间自相关 *LISA* 聚集图(图3),表征区域生态—经济效率与其领域人均生态福祉均值之间是高一高/低—低的空间正相关,或者低—高/高一低的空间负相关,或者无显著的空间相关性。

从图3看出,研究时段内生态—经济效率与人均生态福祉的空间聚集主要分布在西北内陆城市和东部部分沿海城市,且变动幅度较小,其中高一低聚集区域分布在上海市以及河北、山东、江苏等省的沿海城市及安徽、河南的部分城市。2005年陕西省渭南市退出高一低聚集区,广东省中山市在2015年加入该区域,而山东省东营市和枣庄市在研究时段内波动出现,这些城市是被生态—经济效率较高的地级市所围绕的人均生态福祉较低地区,造成这种分布的原因为东部沿海城市经济发展较快、产业结构较完整,技术水平较先进,对生态系统服务价值的利用率较高,生态—经济效率较高,但由于上述区域较发达,吸引大量人口迁入,导致人均生态福祉较低。

低—高聚集区多分布在新疆、西藏、青海等西部省(区)的城市以及甘肃省的酒泉市和云南省的怒江傈僳族自治州,2010年后黑龙江省黑河市和大兴安岭地区,内蒙古自治区呼伦贝尔市加入该区域,而甘肃省张掖市,青海省海南藏族自治州和黄南藏族自治州,云南省迪庆藏族自治州内在2000—2015年出现年份少,这些地级行政单位是被人均生态福祉较高的地级市所围绕的生态—经济效率较低的地区,原因在于西部地区地广人稀,自然资源相比东中部较丰富,人均生态福祉较高,但由于上述区域地理位置偏内陆,以传统的资源型产业为主,技术水平相对落后<sup>[31]</sup>,对生态系统的利用率较低,消耗单位生态福祉转化为经济效益的难度大,导致其生态—经济效率较低。

低—低聚集区城市为山西省晋中市、长治市和

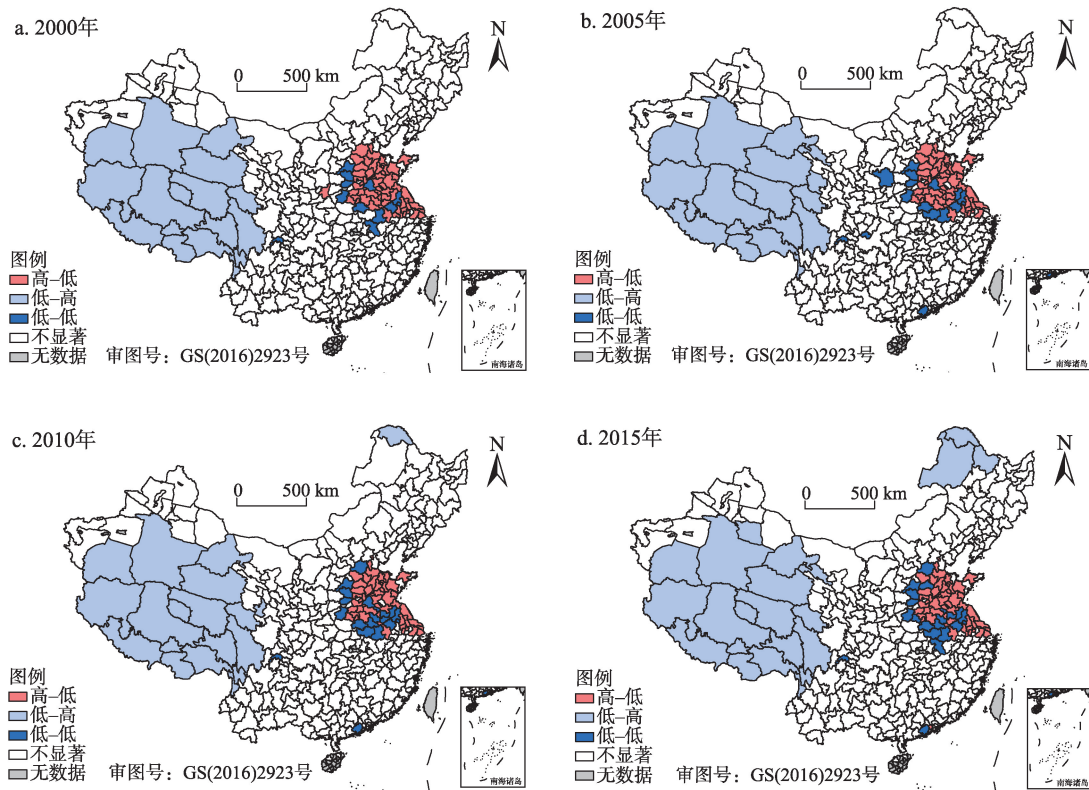


图3 生态—经济效率与人均生态福祉的双变量LISA聚集图

Figure 3 Bivariate local indicators of spatial association (LISA) cluster map of per capita ecological well-being and ecological-economic efficiency

晋城市,河南省驻马店市,安徽省六安市和滁州市,江苏省淮安市等,2005年后四川省眉山市,广东省江门市,河南省信阳市加入该区域,2010年后安徽的宿州市、阜阳市、亳州市以及江苏的宿迁市由高低聚集转入低—低聚集,湖北省黄冈市在研究时段内波动出现,这些城市的生态—经济效率与其周边城市人均生态福祉都较低,原因在于这些城市主要位于中部地区,经济水平落后于东部沿海城市,在产业发展过程中忽略了技术发展,从而造成资源的利用率低下,而这些城市人口较密集,人均生态福祉较低。其他区域无显著的空间相关性,研究时段内生态—经济效率与人均生态福祉没有出现高一高集聚,间接说明现阶段中国极少能达到生态福祉与生态—经济效率同时提高,在保护生态环境的同时发展经济,以最少的资源消耗和环境损害得到最大的经济效益,实现资源的可持续发展,在未来要走很长的路。

通过对中国大陆地级及以上城市人均生态福祉与生态—经济效率的聚集分析可以判断出两者

的相关性空间分布,但这两者均是基于绝对视角(有量纲)对不同单元间的指标差异进行评价,为进一步明确评价结果的政策导向,依据相对福祉指数、相对效率指数两者进行生态福祉分类显得尤为重要。

### 3.3 中国地级及以上城市生态福祉分类与时空分布格局

依据式(8)-(9)及相关数据计算2000—2015年中国大陆337个地级及以上城市相对福祉指数、相对效率指数,将其生态福祉划分为4类:高效—高福祉区( $REfI > 1, REqI > 1$ );高效—低福祉区( $REfI > 1, REqI < 1$ );低效—高福祉区( $REfI < 1, REqI > 1$ );低效—低福祉区( $REfI < 1, REqI < 1$ )。借助 ArcGIS 软件,选取2000年、2005年、2010年和2015年绘制生态福祉类型的时空分布图(图4)。

图4显示,随时间推移生态福祉类型的空间分布变化不大,主要以高效—低福祉区与低效—高福祉区为主,高效—高福祉区零散分布,低效—低福祉区分布范围较少。从空间分布看,生态福祉的类

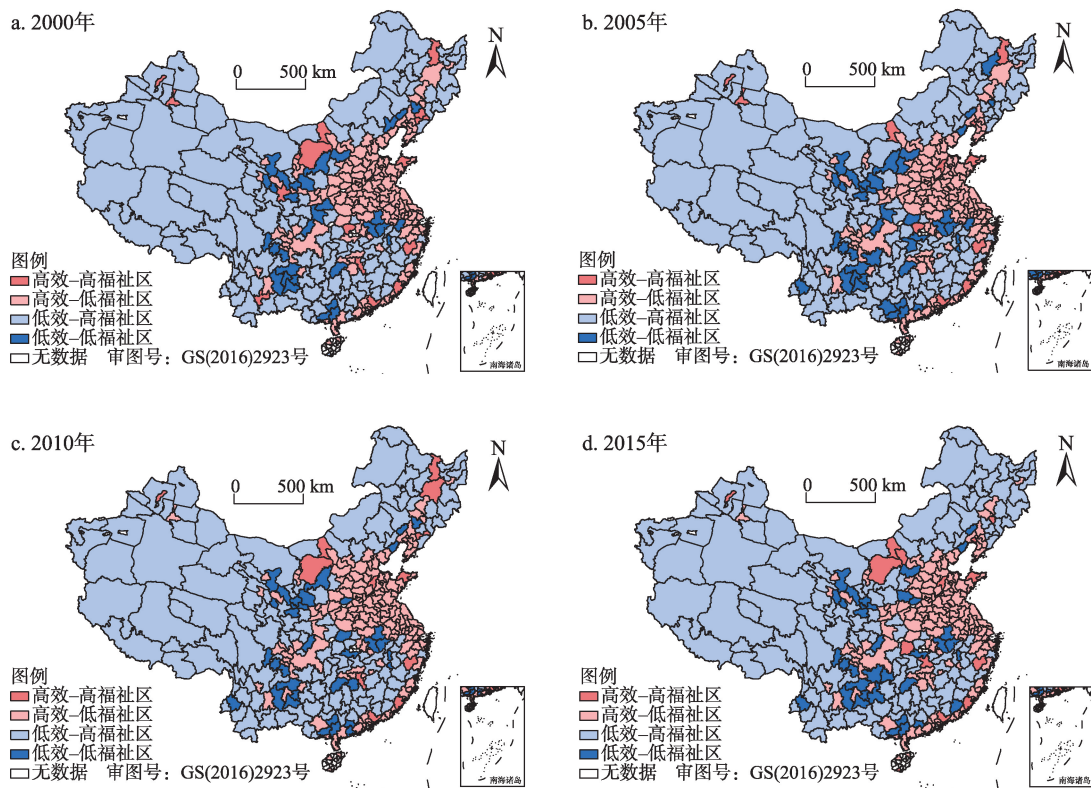


图4 中国地级及以上城市生态福祉类型的空间格局

Figure 4 Spatial pattern of ecological well-being types of prefectural-level and above cities in China

型具有一定聚集性, 高效—低福祉区所在城市主要分布在河北、山东、山西、河南、江苏5省, 这些城市生态福祉供给能力较低, 生态服务有一定的稀缺性, 但其消耗单位生态福祉获得的经济效益较高。低效—高福祉区主要分布在西部城市、东北大部分城市与东南部分城市, 其中西部生态系统用地面积较大, 以林地与牧草地为主, 而且该地区人口不断向东流动, 人口密度较小, 其生态系统的供给能力较高, 但西部经济较落后, 以粗放式发展为主, 对生态系统利用率低。低效—低福祉区主要分布在湖北省、安徽省、甘肃省、四川省、贵州省境内的城市, 这些城市大致位于高效—低福祉区与低效—高福祉区的交界处, 生态—经济效率与人均生态福祉都低。辽宁、广东、湖北、湖南4省中4类生态福祉都有分布, 说明这4个省城市间的生态福祉供给功能与社会经济发展水平存在较大差异。从图4看出, 中国有很少城市能达到生态福祉供给能力与消耗单位生态福祉转化为经济效益的能力同时提高, 与前文对生态—经济效率与人均生态福祉的聚集性

研究结果相类似。

为更清晰地分析生态福祉类型, 统计4类生态福祉城市数, 并绘制全国与四大区域生态福祉类型的城市变化趋势图(图5)。

从图5看出, 中国大陆生态福祉类型以高效—低福祉区城市数最多, 约占总数45%; 其次为低效—高福祉区, 约占总数40%; 高效—高福祉区城市数最少, 仅占总数4%。就四大区域而言, 东部地区城市以高效—低福祉区为主, 在研究时段内处于波动上升趋势, 从2000年的63个城市增加到2015年的74个城市, 说明该区域城市生态福祉利用率在不断提高, 由高能耗、高污染向低能耗、低排放的转变效果较好, 提高了生态—经济效率, 对周边城市正向带动作用较大<sup>[2]</sup>, 但由于该区域经济较发达, 人口密集, 当地为每人提供的生态福祉低, 高的生态福祉利用率及低的生态福祉供给, 导致该区域生态服务的稀缺性加重, 与之对应的是低效—高福祉区在研究范围内处于下降趋势, 从2000年的30个减少到2015年的17个; 东部低效—低福祉区城市在2000



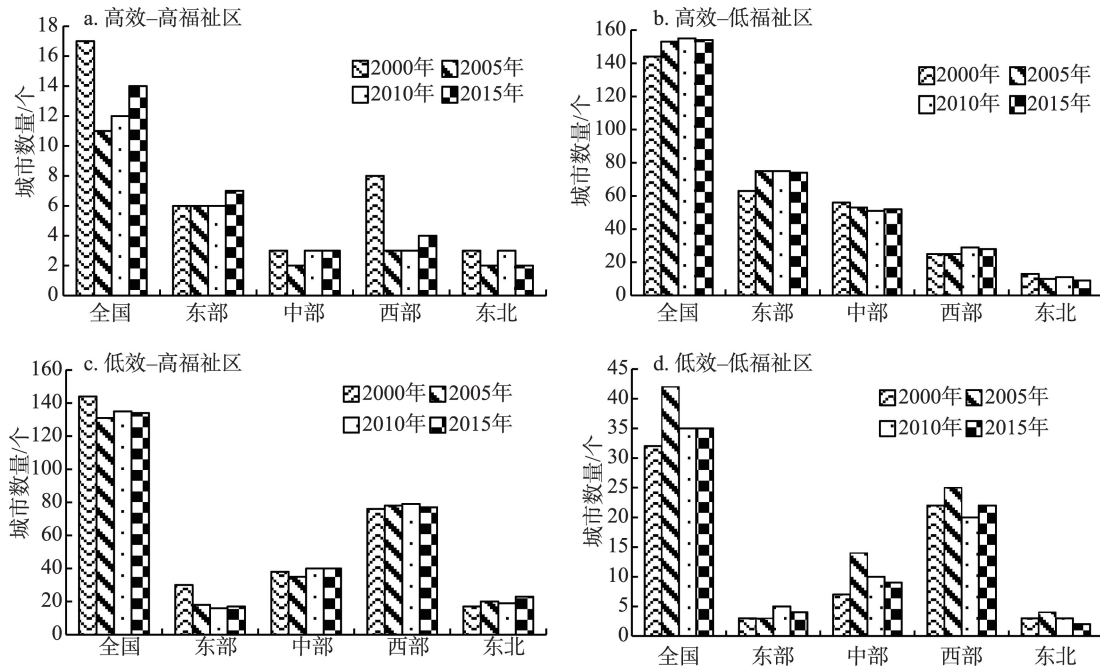


图5 中国地级及以上城市4类生态福祉的变化趋势

Figure 5 Variation trends of four types of ecological well-being of prefectural-level and above cities in China

注:四大区域中东部包括:北京、天津、上海、江苏、浙江、福建、山东、河北、广东、海南10省(市);中部地区包括:安徽、江西、河南、湖北、湖南、山西6省;西部地区包括:内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆12省(市、区);东北地区包括:黑龙江、吉林、辽宁3省。

年有3个,到2015年增加到4个,变化幅度较小,高效—高福祉区相比其他区域城市数量多,在2015年有7个城市,但与其他生态福祉类型相比较少。

中部地区城市以高效—低福祉区为主,在研究时段内处于下降趋势,从2000年的56个城市减少到2015年的52个城市;低效—高福祉区处于较平稳状态,从2000年到2015年增加了2个城市;低效—低福祉区变化幅度较大,在2005年最高,为14个城市,此后处于下降趋势,到2015年减少到9个城市。原因在于中部地区在经济发展过程中,高污染、高消耗的生产方式仍然存在<sup>[33]</sup>,生态—经济效率较低,该区域自然资源相对较丰富,区域人口较多,人均生态福祉较低,虽然自然资源较丰富,但低的利用率不利于生态系统的可持续发展。

西部地区城市以低效—高福祉区为主,且变化幅度较小,从2000年的76个城市增加到2015年的77个城市;高效—低福祉区处于上升趋势,从2000年的25个城市增加到2015年的28个城市,但占比较少;低效—低福祉区城市数在研究时段内基本不变,保持在22个。原因在于西部地区大量接收东部

转移来的高污染、高消耗的产业,从而提高该地区的经济效益,使其生态—经济效率有了明显提升,但相比东部工业总量较少、发展水平低,工业化进程推进缓慢,对人均生态福祉影响较小。

东北地区城市在研究时段内高效—低福祉区处于下降趋势,从2000年的13个城市减少到2015年的9个城市;低效—低福祉区城市在2005年以后不断下降;低效—高福祉区处于波动上升趋势,从2000年的17个城市增加到2015年的23个城市。原因在于该区域属于传统老工业基地,经济发展比较粗放,产业结构不合理,长期以来工业经济发展都以牺牲环境为代价<sup>[34]</sup>,因此区域生态—经济效率处于不断下降的趋势,该地区拥有丰富的土地、森林资源,当地为每人提供的生态系统服务价值较高。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文主要通过人均生态福祉与生态—经济效率两项指标进行生态福祉类型划分研究,将研究区生态福祉分为4类,通过研究不同生态福祉类型的空间区域分布,能使相应政策因地制宜,在保护生

2020年6月

态环境的同时提高人类的福祉。具体得出的结论如下:

(1)2000—2015年期间中国337个地级及以上城市人均生态福祉在胡焕庸线两侧呈现出西北高—东南低的多级分布格局,其重心位于青海省的玉树藏族自治州并向东北方向移动,说明西北部地区生态系统供给能力高,随着时间推移东北部地区的供给能力不断提高。生态—经济效率在胡焕庸线两侧呈现出西北低—东南高的多级分布格局,其重心位于河南省的信阳市并向西南方向移动,说明随着时间推移西南部的生态—经济效益有所提高。

(2)通过人均生态福祉与生态—经济效率的双变量空间自相关分析得出两者存在空间负相关关系,高一低聚集区主要分布在东部沿海城市,说明东部沿海地区主要是生态—经济效率较高、人均生态福祉较低的地方,这部分地区要保护好生态环境,实现环境的可持续利用;低—高聚集区多分布在西部城市,说明这些地区是人均生态福祉较高、生态—经济效率较低的地方,这些地方需要在保护生态的前提下,大力发展经济来提高当地人民福祉;低—低聚集区主要分布在中部部分城市,这些地区需要生态保护与经济发展同时进行,才能提高人民福祉。

(3)高效—低福祉区所在城市主要以河北、山东、山西、河南、江苏5省为主,约占总数45%;低效—高福祉区主要分布在西部城市、东北大部分城市与东南部分城市,约占总数40%;低效—低福祉区城市主要分布在高效—低福祉区与低效—高福祉区交界处;高效—高福祉区零散分布,在研究时段内仅占总数4%。说明中国同时达到高效和高福祉还有一定的距离。

## 4.2 讨论

中国大陆337个地级及以上城市高效—高福祉区在研究时段内分布范围最少,东西部生态福祉与生态—经济效率差异较大,在东部生态—经济较高的地区,应在政府政策指引下,充分发挥经济技术优势,与其他发展较缓慢地区有效合作,构建这些地区生态文明所需要的经济技术体系;在中西部生态—经济效率较低地区,应加大政府援助扶持,深入挖掘生态环境管理方面潜力,抓住西部大开发的

机遇,加大政府支持力度,引进先进技术设备,努力以最少的资源消耗,最小的环境损害来实现生态—经济效率提高。东部地区人口密集,经济快速发展的同时不断破坏生态系统,导致生态系统供给能力较低,不利于生态文明建设;西部地区牧草地较多,生物种类丰富,人口分布较少,优良的生态资源使得生态系统的供给能力较高,应加大东西部生态系统服务价值间的合作,实现东西部生态福祉共同提高,通过促进西部地区生态—经济效率与东部地区人均生态福祉共同提高,从而实现中国各地区的生态文明建设。

需要指出的是,本文主要是对中国337个地级及以上城市的人均生态福祉与生态—经济效率2个指标进行生态福祉分类与时空分布研究,并按照东、中、西部3方面进行分析,没有对每个城市的具体情况进行分析,而且影响每个城市生态福祉的因素较多,而本文选取指标较少,具有一定的局限性,限于资料的可得性,没有选取更多指标对生态福祉分类的影响因素进行定量分析,生态福祉分类的影响因素对揭示生态福祉分类与时空格局演化十分必要,因而下一步将对生态福祉类型的影响因素进行深化研究。

## 参考文献(References):

- [1] 文一惠,刘桂环,田至美.生态系统服务研究综述[J].首都师范大学学报(自然科学版),2010,31(3):64-69.[Wen Y H, Liu G H, Tian Z M. Research review of ecosystem service[J]. Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition), 2010, 31(3): 64-69.]
- [2] 冯伟林,李树苗,李聪.生态系统服务与人类福祉:文献综述与分析框架[J].资源科学,2013,35(7):1482-1489.[Feng W L, Li S Z, Li C. Overview and frame work for ecosystem services and human well-being[J]. Resources Science, 2013, 35(7): 1482-1489.]
- [3] 赵士洞,张永民.生态系统评估的概念、内涵及挑战:介绍《生态系统与人类福利:评估框架》[J].地球科学进展,2004,(4):650-657.[Zhao S D, Zhang Y M. Concepts, contents and challenges of ecosystem assessment: Introduction to "ecosystems and human well-being: A framework for assessment"[J]. Advances in Earth Science, 2004, 19(4): 650-657.]
- [4] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis[M]. Washington: Island Press, 2005.
- [5] Douglas I. Ecosystems and human well-being[J]. Encyclopedia of

- the Anthropocene, 2018, 4: 185–197.
- [6] Verhofstadt E, Ootegem L V, Defloor B, et al. Linking individuals' ecological footprint to their subjective well-being[J]. *Ecological Economics*, 2016, 127: 80–89.
- [7] Zhang S, Zhu D J, Shi Q H, et al. Which countries are more ecologically efficient in improving human well-being? An application of the Index of Ecological Well-being Performance[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2018, 129: 112–119.
- [8] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. *资源科学*, 2015, 37(9): 1740–1746. [Xie G D, Zhang C X, Zhang C S, et al. The value of ecosystem services in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(9): 1740–1746.]
- [9] 高振斌, 王小莉, 苏婧, 等. 基于生态系统服务价值评估的东江流域生态补偿研究[J]. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(6): 563–570. [Gao Z B, Wang X L, Su J, et al. Ecological compensation of Dong Jiang River Basin based on evaluation of ecosystem service value[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2018, 34(6): 563–570.]
- [10] 龚溪, 曹铭昌, 孙孝平, 等. 武夷山市生态系统服务价值评估[J]. *生态与农村环境学报*, 2017, 33(12): 1094–1101. [Gong X, Cao M C, Sun X P, et al. Valuation of ecosystem services in Wuyishan City[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2017, 33(12): 1094–1101.]
- [11] 刘佳佳, 黄甘霖. 锡林郭勒盟和锡林浩特市草原生态系统服务与人类福祉的关系研究综述[J]. *草业科学*, 2019, 36(2): 573–593. [Liu J J, Huang G L. A review of grassland ecosystem service and human well-being in Xilingol League and Xilinhot City[J]. *Pratacultural Science*, 2019, 36(2): 573–593.]
- [12] 柳冬青, 张金茜, 巩杰, 等. 陇中黄土丘陵区土地利用强度-生态系统服务-人类福祉时空关系研究: 以安定区为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(2): 637–648. [Liu D Q, Zhang J X, Gong J, et al. Spatial and temporal relations among land-use intensity, ecosystem services, and human well-being in the Longzhong Loess Hilly Region: A case study of the Anding District, Gansu Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(2): 637–648.]
- [13] 黄甘霖, 姜亚琼, 刘志锋, 等. 人类福祉研究进展: 基于可持续科学视角[J]. *生态学报*, 2016, 36(23): 7519–7527. [Huang G L, Jiang Y Q, Liu Z F, et al. Advances in human well-being research: A sustainability science perspective[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(23): 7519–7527.]
- [14] 朱杰, 卢春天, 石金莲, 等. 自然保护区居民福祉的历时性: 以陕西佛坪国家级自然保护区为例[J]. *生态学报*, 2019, 39(22): 8299–8309. [Zhu J, Lu C T, Shi J L, et al. Diachronic study on the residents' well-being in natural reserves: A case study of Foping National Nature Reserve, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(22): 8299–8309.]
- [15] 张继飞, 邓伟, 朱昌丽, 等. 岷江上游生态系统服务与居民福祉的空间关联及其动态特征[J]. *山地学报*, 2017, 35(3): 388–398. [Zhang J F, Deng W, Zhu C L, et al. Spatial relationship and its dynamic features of ecosystem services and human wellbeing in the upper reaches of Minjiang River[J]. *Mountain Research*, 2017, 35(3): 388–398.]
- [16] 刘家根, 黄璐, 严力蛟. 生态系统服务对人类福祉的影响: 以浙江省桐庐县为例[J]. *生态学报*, 2018, 38(5): 1687–1697. [Liu J G, Huang L, Yan L J. Influence of ecosystem services on human well-being: a case study of Tonglu County, Zhejiang Province, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(5): 1687–1697.]
- [17] 何宗泽. 经济法价值目标中公平与效率的纳什均衡: 以土地征收补偿制度为视角[J]. *安徽广播电视大学学报*, 2017, (4): 15–18. [He Z Z. The Nash equilibrium of fairness and efficiency in the value target of economic law: From the perspective of land expropriation compensation system[J]. *Journal of Anhui Radio & TV University*, 2017, (4): 15–18.]
- [18] 黄兰芳, 吴克昌, 魏锡华. 公平与效率的均衡模型探讨[J]. *上海金融学院学报*, 2007, (2): 43–48. [Huang L F, Wu K C, Wei X H. A study on a balanced model of fairness and efficiency[J]. *Journal of Shanghai Finance University*, 2007, (2): 43–48.]
- [19] 叶晓佳, 孙敬水. 分配公平、经济效率与社会稳定的协调性测度研究[J]. *经济学家*, 2015, (2): 5–15. [Ye X J, Sun J S. Research on the measurement of the coordination among distribution equity, economic efficiency and social stability[J]. *Economist*, 2015, (2): 5–15.]
- [20] 臧正, 邹欣庆. 基于生态系统服务理论的生态福祉内涵表征与评价[J]. *应用生态学报*, 2016, 27(4): 1085–1094. [Zang Z, Zou X Q. Connotation characterization and evaluation of ecological well-being based on ecosystem service theory[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2016, 27(4): 1085–1094.]
- [21] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(8): 1243–1254. [Xie G D, Zhang C X, Zhang L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243–1254.]
- [22] 臧正, 郑德凤, 孙才志, 等. 中国大陆地区生态诅咒效应的多尺度实证检验[J]. *地理研究*, 2016, 35(5): 851–863. [Zang Z, Zheng D F, Sun C Z, et al. Multi-scale empirical test of ecological curse effect in mainland of China[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(5): 851–863.]
- [23] 郑德凤, 臧正, 孙才志. 改进的生态系统服务价值模型及其在生态经济评价中的应用[J]. *资源科学*, 2014, 36(3): 584–593. [Zheng D F, Zang Z, Sun C Z. An improved ecosystem service value model and application in ecological economic evaluation[J]. *Resources Science*, 2014, 36(3): 584–593.]

2020年6月

- [24] 韦燕飞,李莹,童新华,等.左右江流域城镇化与耕地破碎化空间相关特征研究[J].广西师范学院学报(自然科学版),2017,34(2):97-103.[Wei Y F, Li Y, Tong X H, et al. Study on spatial correlation characteristics of urbanization and cultivated land fragmentation of the Zuoyoujiang Basin[J]. Journal of Guangxi Teachers Education University (Natural Science Edition), 2017, 34(2): 97-103.]
- [25] 刘剑炜,吴晨琛,刘建军,等.基于国家1:50000地形数据库的公路交通网络空间分布特征和趋势变化研究[J].地理信息世界,2016,23(5):59-63.[Liu J W, Wu C C, Liu J J, et al. Analysis on the spatial distribution characteristics on road network base on national 1:50000 topographic database[J]. Geomatics World, 2016, 23(5): 59-63.]
- [26] Anselin L, Syabri I, Smirnov O. Visualizing Multivariate Spatial Correlation with Dynamically Linked Windows[A]. Anselin L, Rey S. New Tools for Spatial Data Analysis: Proceedings of the Specialist Meeting[M]. Santa Barbara: University of California, 2002.
- [27] 姚小微,曾杰,李旺君.武汉城市圈城镇化与土地生态系统服务价值空间相关特征[J].农业工程学报,2015,31(9):249-256.[Yao X W, Zeng J, Li W J. Spatial correlation characteristics of urbanization and land ecosystem service value in Wuhan urban agglomeration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(9): 249-256.]
- [28] 臧正,邹欣庆,吴雷,等.基于公平与效率视角的中国大陆生态福祉及生态-经济效率评价[J].生态学报,2017,37(7):2403-2414.[Zang Z, Zou X Q, Wu L, et al. Evaluation of ecological well-being and eco-economic efficiency in the Chinese mainland: From the perspective of justice and efficiency[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(7): 2403-2414.]
- [29] 邓杨丰,杜雪,张露.集聚导向的广西城市金融产业竞争力分析[J].区域金融研究,2012,(11):64-69.[Deng Y F, Du X, Zhang L. Analysis of competitiveness of finance in Guangxi cities based on cluster-oriented[J]. Journal of Regional Financial Research, 2012, (11): 64-69.]
- [30] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等.青藏高原生态资产的价值评估[J].自然资源学报,2003,18(2):189-196.[Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189-196.]
- [31] 张雪梅.西部地区生态效率测度及动态分析:基于2000-2010年省际数据[J].经济理论与经济管理,2013,(2):78-85.[Zhang X M. The evaluation and dynamic analysis of eco-efficiency: Based on panel data of western China's provinces 2000-2010[J]. Economic Theory and Business Management, 2013, (2): 78-85.]
- [32] 成金华,孙琼,郭明晶,等.中国生态效率的区域差异及动态演化研究[J].中国人口·资源与环境,2014,24(1):47-54.[Cheng J H, Sun Q, Guo M J, et al. Research on regional disparity and dynamic evolution of eco-efficiency in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2014, 24(1): 47-54.]
- [33] 刘丙泉,李雷鸣,宋杰鲲.中国区域生态效率测度与差异性分析[J].技术经济与管理研究,2011,(10):3-6.[Liu B Q, Li L M, Song J K. China regional eco-efficiency measurement and difference analysis[J]. Technoeconomics & Management Research, 2011, (10): 3-6.]
- [34] 韩洁平,王霞,闫晶.东北地区生态效率评价及其影响因素分析[J].科技管理研究,2017,37(13):230-234.[Han J P, Wang X, Yan J. Eco-efficiency evaluation and influencing factors analysis of northeast China[J]. Science and Technology Management Research, 2017, 37(13): 230-234.]

# Classification and spatiotemporal patterns of ecological well-being based on ecosystem services: Taking China's prefecture-level and above cities for example

ZHENG Defeng, WANG Yanyan, CAO Yongqiang, WANG Yanhui, HAO Shuai, LV Leting  
(School of Geography, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

**Abstract:** In this study, based on ecosystem service theory, the contribution rate of ecosystems was introduced to improve the ecological well-being accounting method. On this basis, the spatial and temporal characteristics of per capita ecological well-being and ecological-economic efficiency were analyzed. In order to further clarify the policy implication of the evaluation results, a classification model of ecological well-being based on the perspective of relative equity and efficiency was proposed, ecological well-being was classified by relative well-being index and relative efficiency index, and the spatial and temporal distribution patterns of different types of ecological well-being was analyzed from 2000 to 2015 for 337 cities at prefecture-level and above in China. The research results can provide some references for promoting the construction of ecological civilization in China. The results indicate that during the study period the spatial distribution of per capita ecological well-being and ecological-economic efficiency of the 337 cities was very different in the two regions northwest and southeast of the "HU line," their centers were located in Yushu Prefecture of Qinghai Province and Xinyang City of Henan Province, respectively, and moved to the northeast and southwest directions. A negative spatial correlation between ecological-economic efficiency and per capita ecological well-being was identified by the bivariate spatial autocorrelation method. The high-low clusters were mainly located in the eastern coastal cities of Hebei, Shandong, Jiangsu, Shanghai, and some cities of Anhui and Henan; the low-high groups were mainly gathered in the western cities; the low-low clusters were mainly located in Shanxi, Henan, and Anhui Provinces. The relative well-being and relative efficiency indices were used to classify the study area into four categories: the high efficiency-low well-being zone was mainly distributed in Hebei, Shandong, Shanxi, Henan, and Jiangsu Provinces; the low efficiency-high well-being zone was mainly distributed in western cities, most cities in the northeast, and cities in the southeast; the low efficiency-low well-being zone was mainly located at the junction of high efficiency-low well-being zone and low efficiency-high well-being zone; the high efficiency-high well-being zone was scattered. To realize the construction of ecological civilization in all regions of China, it is necessary to enhance the ecological-economic efficiency in the western region and the per capita ecological well-being in the eastern region.

**Key words:** ecological well-being; ecological-economic efficiency; HU line; bivariate spatial autocorrelation; classification; China