

基于县域单元的中国生态经济系统协调度及空间演化

魏晓旭¹, 赵 军¹, 魏 伟¹, 颀斌斌²

(1. 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070; 2. 兰州城市学院城市经济与旅游文化学院, 兰州 730070)

摘 要:以中国2853个县(市、旗、区)为研究单元,利用1980、1990、2000和2012年的中国县级行政单元GDP数据和全国1 km格网土地利用数据,通过计算生态系统服务价值(ESV)和GDP的变化率,构建生态经济系统协调度(EEH)模型,分析了EEH的空间演化特征,在此基础上借助空间统计Local Moran's I和Getis-Ord G_i^* 指数评价EEH空间分布模式。结果表明:①自1980年以来中国县级行政单元GDP持续快速增长,全国呈现东南沿海增长速度明显高于中部地区,而中部地区又明显高于西部地区的特征;②生态系统服务价值(ESV)在空间分布上表现为西部和北部地区较高,南部和中东部地区较低;③中国县域EEH 1980-2012年间逐步得到改善,EEH空间关联度总体相对稳定,但空间格局分布不均衡。总体来看,确保生态经济系统的持续协调发展的任务依然十分艰巨。

关键词:生态经济系统;生态经济系统协调度;生态系统服务价值;区域经济;空间演化

doi: 10.11820/dlkxjz.2014.11.010

中图分类号:F205

文献标识码:A

1 引言

改革开放以来,快速的工业化和城市化促使中国经济发展取得了举世瞩目的成就,然而在经济快速发展的进程中,诸如资源约束趋紧、环境污染和生态系统退化等人地关系、生态经济相互制约关系不和谐、不持续发展问题也日益凸显。生态经济系统协调度(EEH)作为衡量生态与经济是否均衡发展的重要指标,长期以来成为学界关注和研究的热点,将生态经济看作一个系统来研究已成为当前的共识。在国外,对EEH的定性研究始于20世纪五六十年代。Boulding(1966)将系统方法应用于EEH的分析,提出“循环式”发展模式;Douglass(2002)从宏观尺度将生态经济是否协调发展作为评价亚太地区发展潜力的主要依据,分析了亚太地区国家面临的机遇与挑战;Konarska等(2002)将遥感影像及数据产品用于计算生态系统服务价值,反映生态与经济两者内在的联系与相互影响机制,取得了很好的效果;Pauls等(2004)用平衡模型来评估生态经济效益;Sherrouse(2011)等将GIS方法运用于生态经济

协调度研究中,通过制作生态经济协调度演变图表征生态经济最适度。在国内,1982年,中国生态经济科学讨论会上首次跨学科地进行了生态与经济协调发展的探讨。马世骏(1990)首先提出了生态环境优化模型,阐释怎样通过可控变量实现生态系统和经济发展的优化组合。随后众多学者分别从地理学、经济学、生态学、社会学、哲学等不同学科研究生态经济协调度。例如,林道辉等(2002)利用量化方法建立协调发展的指标体系,并通过计算描述协调发展程度的指标数值的大小来判断EEH。近年来,关于EEH的研究方法主要包括能值分析法(李海涛等, 2003; 方创琳等, 2004; 谢花林等, 2012)、生态足迹分析法与指标定量评价体系法(苏飞等, 2009; 王振波等, 2011)。但当前以小区域小尺度EEH的研究居多(魏敏等, 2012; 陈香香, 2013; 华娟, 2013; 张东海等, 2013; 熊建新等, 2014; 周扬等, 2014),从全国大尺度、长时间序列来分析中国陆地县域单元生态经济系统协调度的极少。为此,本文在归纳总结EEH研究方法的基础上,以中国县域为地域单元,深入研究生态经济协调度(EEH)的空间

收稿日期:2014-06;修订日期:2014-09。

基金项目:国家自然科学基金项目(41261104);国家社科基金青年项目(12CTJ001);甘肃省青年科技基金计划项目(1107RJYA077)。

作者简介:魏晓旭(1985-),女,甘肃庄浪人,硕士生,主要从事生态遥感和GIS的应用研究,E-mail: 18893821557@163.com。

通讯作者:赵军(1963-),男,山西河津人,教授,博导,主要从事资源环境遥感的应用研究,E-mail: Zhaojun@nwnu.edu.cn。

演化格局,对于促进生态经济系统的持续协调发展具有一定意义。

2 数据与方法

2.1 研究单元与数据源

2.1.1 研究单元

本文以县级行政单元作为研究全国区域经济与生态环境差异及其空间格局的基本单元,行政区划按2012年《中国经济社会发展统计数据库》中的行政单元进行归并统一,为便于分析制图,在GIS软件中将其转化为矢量行政边界,基本单元包括县、自治县、县级市和市辖区。此外,由于全国有4个地级市不设市辖区(甘肃省嘉峪关市、海南省三亚市、广东省中山市、广东省东莞市),为便于分析和制图,将这4个市纳入基本研究单元。由于缺乏统计数据,本研究暂不包括香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾省。因此,本文所涉及的县级基本单元共为2853个,研究时段为1980、1990、2000和2012年等共4个时段。

2.1.2 数据来源与处理

本文所用数据包括全国2853个县级单元的GDP数据和全国4个时期的土地利用数据。其中统计数据主要来源于各年份《中国经济社会发展统计数据库》、《中国城市统计年鉴》、各省区、市统计年鉴、部分省区、市与地级市年鉴以及部分市、县、区的国民经济与社会发展统计公报。4个时段的土地利用数据中,1980、1990和2000年数据主要来源于中国科学院资源环境数据库1:10万土地利用图,包括1980、1990和2000年的全国1 km格网数据库(<http://www.igsnr.ac.cn/>),每个格网带有耕地、林地、园地、草地、城镇居民点用地、工矿用地、交通用地、未利用地等土地类型代码和面积比例。由于目前国内尚未完整解译出全国范围2012年土地利用数据,本文试图用2009年数据来代替。选取河北、西藏、内蒙和贵州四省份作为样本区,在《中国经济社会发展统计数据库》中获取2010-2012年的耕地面积增减变化情况。经统计,四省耕地面积在3年内发生变化的面积约占总面积的0.13%,可见2010-2012年中国土地利用类型之间的转化率不大。选用欧空局全球陆地覆盖数据(ESA GlobCover),主要由MERIS(Medium Resolution Imaging Spectrometer)传感器拍摄完成,图像合成时主要选取了

MERIS传感器在2009年1月1日-12月31日期间所接收的较高质量的影像数据。

2.2 研究方法

2.2.1 生态系统服务价值(ESV)的估算

借助ArcGIS 10.1软件,利用1980、1990、2000、2012年土地利用数据计算ESV,得出1 km×1 km精度的ESV演变栅格数据。再进一步求算每一个县级单元ESV的总值,作为该县的最终ESV结果,保存在行政边界对应的属性表中。当前,国内外对ESV基准单价尚未形成统一的认识。相比而言,Coastanza等(1997)和Xie等(2010)确定的基准单价在当前应用最为广泛。因此,本文在借鉴Xie(2010)等研究成果的基础上,对ESV基准单价进行了微调(表1)。ESV的计算公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A_j E_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中:ESV为生态系统服务价值; A_j 为j类土地类型的面积; E_{ij} 为j类土地利用类型单位面积的生态系统总服务价值基准单价/(亿元/hm²)。中国陆地各类用地单位面积生态服务价值见表1。

2.2.2 生态经济系统协调度(EEH)估算与分区

目前,生态经济协调度没有统一标准,二者系统间的协调度是一个相对指标。中国学者乔标等(2005)、苏飞等(2009)和王振波等(2011)在构建生态与经济协调度时利用了ESV与GDP比值。他们将EEH定义为研究期内县级单元生态系统服务价值的变化率(ESV_{pr})与县级单元GDP变化率(GDP_{pr})。这种比值是一个参考值,用以表征当年经济发展与固有生态之间的协调关系,它能较好地反映环境变化与经济发展过程中二者相互影响、相互制约或推动的程度。EEH相关公式如下:

$$EEH = \frac{ESV_{pr}}{GDP_{pr}} \quad (2)$$

$$ESV_{pr} = \frac{ESV_{p_j} - ESV_{p_i}}{ESV_{p_i}} \quad (3)$$

$$GDP_{pr} = \frac{GDP_{p_j} - GDP_{p_i}}{GDP_{p_i}} \quad (4)$$

式中:EEH为生态经济协调度指数; ESV_{p_i} 、 ESV_{p_j} 分别为不同时段始、末年份各个县级单元的生态系统服务价值/亿元; GDP_{p_i} 、 GDP_{p_j} 分别为不同时段始、末年份的县级单元的GDP/亿元。

在式(2)中存在4种可能情况:①式(3)>0且式(4)>0,则式(2)>0,生态经济系统处于协调状态,这

说明生态与和经济发展达到了可持续程度,并向良性方向发展;②式(3)>0 且式(4)<0,则式(2)<0,生态经济系统处于非协调状态,某些区域由于自然植被长势良好或人为干预使得生态系统不断好转,但这些区域经济发展缓慢,制约了生态系统自我修复、自我改善能力;③式(3)<0 且式(4)>0,则式(2)<0,生态经济系统处于非协调状态,某些区域由于一味追求 GDP 增长,而忽视生态系统保护和建设,导致经济发展快速,但生态系统严重恶化;④式(3)<0 且式(4)<0,则式(2)>0,这说明区域在研究期初始阶段在发展经济时已经严重破坏了生态,区域为提高整个环境对社会经济的支撑能力,不得不进行生态保育,提高生态系统的服务功能,经济发展明显地受到生态环境的制约。由于中国经济 1980 年以来处于快速增长状态,且在 4 个时段 GDP 统计值均为增长,故对式(4)<0 的情况不予考虑。由于 EEH 表现为研究时段内经济发展与生态环境演变态势,因此根据 1980-1990、1990-2000、2000-2012 年 3 个时段的 EEH 计算结果,根据上述值进行分类,各分类标准如表 2 所示。

2.3 空间统计分析

EEH 作为不同的区域化变量,其在不同时段内空间上的演变规律,可采用空间统计学方法来分析。在 EEH 研究中,空间格局分析方法可以用于检

验空间变量的取值是否与相邻空间上该变量取值大小有关(陈培阳等, 2012)。本文运用 Local Moran's I 和 Getis-Ord G_i^* 指数来评价空间局部关联。Local Moran's I 为 Global Moran's I 的分解形式,用于测度空间单元某属性值与其周边地区之间的空间差异程度和差异的显著性。对于空间单元 i ,其局部 Moran's I 指数计算公式为(Anselin, 1995):

$$I_i = z_i \sum_j W_{ij} z_j \tag{5}$$

式中: z_i 和 z_j 是区域 i 和 j 上观测值的标准化值; W_{ij} 是空间权重,权重之和为 1。Moran's I 为正(HH/LL),表示 EEH 较高或较低的区域在空间上显著聚集, Moran's I 为负(HL/LH),则表明区域与其周边地区的 EEH 具有显著的空间差异。

Getis-Ord G_i^* 指数用来确定相似或不相似的空间模式,它可以用来测定中国县域 EEH 的热点和冷点地区,从而发现 EEH 可能存在的空间分布关系。计算公式(Haining, 2004)为:

$$G_i^*(d) = \sum_{i=1}^n W_{ij}(d) x_i / \sum_{i=1}^n x_i \tag{6}$$

式中: x_i 为研究单元 i 的观测值; W_{ij} 为空间权重矩阵,空间相邻为 1,不相邻为 0。若 $G_i^*(d)$ 值显著为正,表明 i 地区周围的值相对较高,属于热点地区;反之则为冷点地区。

表 1 中国陆地单位面积生态服务价值表(元/hm²·a)
Tab. 1 Ecological service value per unit area in China (yuan/hm²·a)

生态系统功能	耕地	林地	草地	园地	水域	城镇	未利用地	其他用地
基准单价	6624.43	19334.98	6406.5	2316.01	40676.4	—	371.4	—

表 2 生态经济系统协调度划分标准
Tab. 2 Classification criteria of ecological-economic system coordination (ecological-economic harmony, EEH)

序号	代码	类 型	范 围	说 明
1	A	高度协调区	$0.8 \leq EEH \leq 1$	生态经济系统向着相互促进、相互影响的和谐状态发展
2	B	较高协调区	$0.6 \leq EEH < 0.8$	生态经济系统发展状况好,二者协调度较高
3	C	中度协调区	$0.4 \leq EEH < 0.6$	生态经济系统发展状况较好,二者同步协调发展
4	D	较低协调区	$0.2 \leq EEH < 0.4$ 或 $EEH > 1$	生态经济系统发展状况改善,二者相互促进 生态系统状况良好,但经济发展落后,形成两级分化,需要大力发展经济
5	E	潜在危机区	$0 \leq EEH < 0.2$	生态经济系统存在潜在危险,若不注重治理生态系统,将影响经济发展
6	F	冲突协调过渡区	$-0.2 \leq EEH < 0$	生态系统发展较差,经济发展与生态系统建设协调性较差
7	G	较低冲突区	$-0.4 \leq EEH < -0.2$	生态经济系统发展不协调,生态系统初步退化
8	H	中度冲突区	$-0.6 \leq EEH < -0.4$	生态经济系统发展不协调,生态系统退化,对经济发展造成负面影响
9	I	较高冲突区	$-0.8 \leq EEH < -0.6$	生态系统恶化,经济发展缺乏动力,二者发展较不协调
10	J	高度冲突区	$EEH < -0.8$	生态系统极度恶化,经济发展受到极大影响,二者发展极不协调

3 结果分析

3.1 中国县域单元GDP变动特征

3.1.1 时序发展特征

纵观近30多年以来中国的经济发展状况,宏观经济运行总体特征是高增长、不均衡(图1)。1980年中国县级单元平均GDP为3.565亿元,而1990年则达到9.001亿元,10年间增长了2.53倍,年均增长率达到15.25%;到2000年,中国县级单元平均GDP为34.007亿元,比1990年增长3.78倍,年均增长率为27.78%;到2012年,中国陆地县级单元平均GDP达到198.201亿元,分别比1980、1990和2000年增长了54.6、21.02和4.83倍。由此可见,中国县域GDP 1980-2012年间增长十分迅速。

3.1.2 空间演化特征

从县域单元GDP空间分布上来看,4个研究时段均显示了东南部GDP高于西北部的特点。其中

1980年县域GDP低值主要分布在新疆、青海、西藏、内蒙、甘肃和四川西北部,高值区则出现在京津冀、长三角、珠三角和东北的吉林、辽宁省。1990年县域GDP低值区和高值区空间分布特征和1980年类似,东南沿海地区GDP继续保持高速增长态势,而新疆北部地区、内蒙西北地区 and 四川西北部部分地区GDP增长较快;从2000年开始,中国县域GDP开始了井喷式增长,新疆西北部、内蒙古中部、甘肃中西部、四川东部增长较快,但东南沿海比西部地区增速更加显著。到2012年,县域GDP最大值达到了7205.17亿元,且GDP超过100亿元的县级行政区达1567个,占全国总县域数的54.92%;而在1980、1990和2000年,这个比例分别为0.14%、0.53%和5.40%。

3.2 中国县域生态系统服务价值的时空演变特征

3.2.1 时序发展特征

根据在ArcGIS 10.1计算出的不同面积县域单

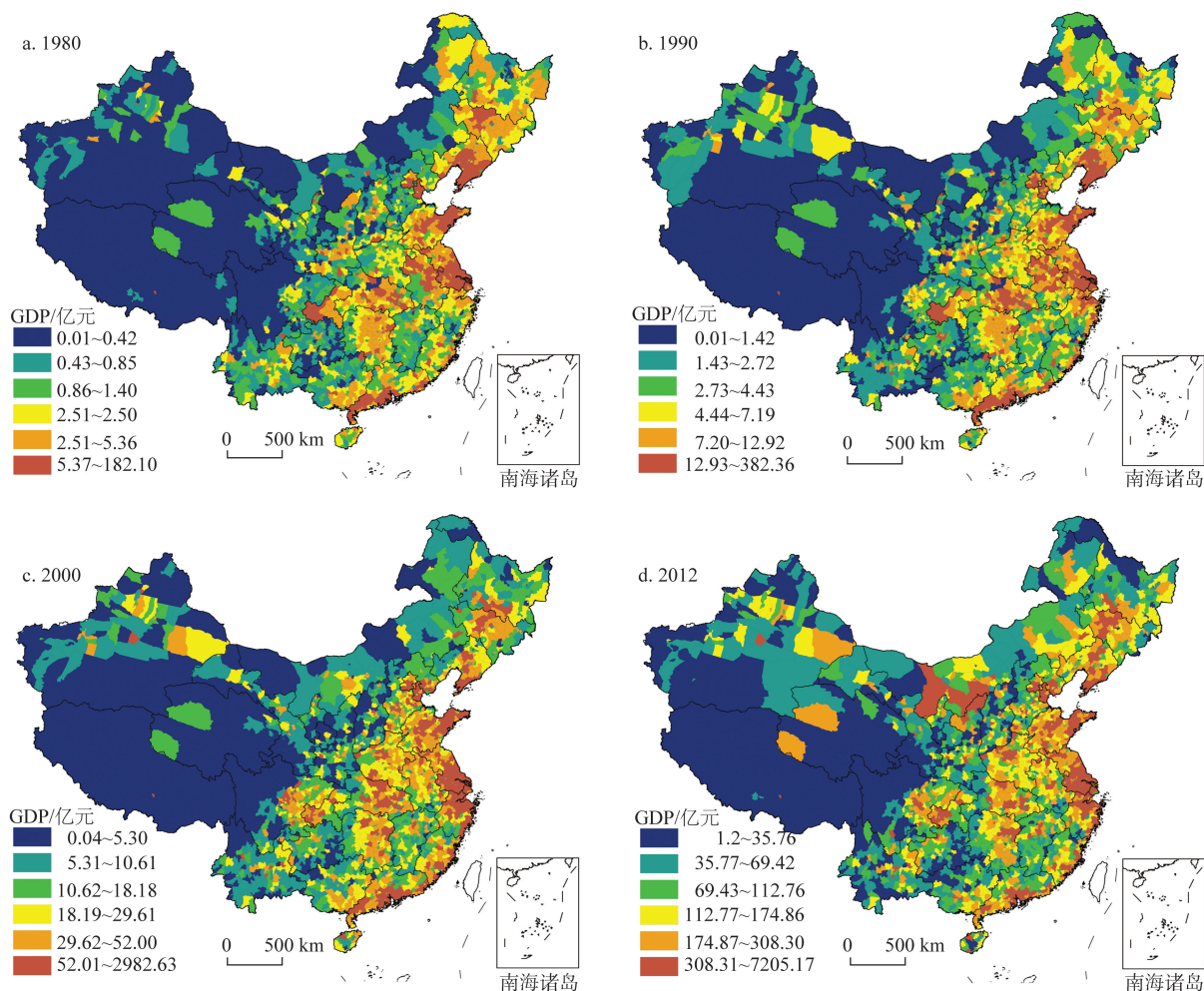


图1 中国县级单元GDP空间演变(1980-2012)

Fig. 1 Spatial pattern and change of GDP per county in China, 1980-2012

元的ESV值,按照按等距离百分位法自然分类(Natural Breaks (Jenks))将ESV值的大小分为6类,得到不同时段生态系统服务价值空间演变趋势(图2)。1980、1990、2000、2012年中国ESV分别为85302.15、84909.00、84967.78和94876.82亿元。由此看出,1980-2000年中国的ESV基本趋于稳定,2000年以后有升高趋势,2012年比2000年增长了9909.04亿元,年均增长率为0.92%,中国陆地生态系统总体变化不大,且向好的方向发展。

3.2.2 空间演化特征

从县域单元ESV空间分布上来看,1980年ESV值较高地区主要集中在新疆东南部、西藏北部和南部、青海西北部、内蒙东北部、黑龙江北部等地(图2a);1990年ESV值(图2b)高值集聚区的面积有所扩大,内蒙等地县域ESV值增大,无较大变化;2000年ESV值(图2c)高值集聚区的面积有所减少,中东部地区无明显变化;2012年ESV值(图2d)整体稍有提高,与2000年相比无较大波动。从整体上看,中

国陆地县域单元生态系统服务价值总体空间分布呈现西高东低、北高南低的趋势。这一结果,与中国陆地单位面积生态系统服务价值总体空间分布呈现由东向西递减、由中部向东北和南部递减趋势的结论相一致(何浩等, 2005)。

为进一步分析ESV在县域研究单元数量上的变化情况,利用ArcGIS 10.1统计了4个研究时段县域单元ESV值的增减变化。结果表明,1980-1990年期间,有1443个县域单元ESV出现负增长,1410个县域单元保持增长趋势,9个县域单元保持不变,ESV总体损失393.15亿元;1990-2000年期间,ESV有1670个县域单元出现负增长,1161个县域单元保持增长趋势,31个县域单元无变化,ESV总体增加58.78亿元,ESV无较大波动;2000-2012年期间,有1648个县域单元ESV出现负增长,1200个县域单元保持增长趋势,14个县域单元无变化,ESV总体增加了9909.04亿元;1980-2012年32年间,有1753个县域单元出现负增长,1099个县域单元保持

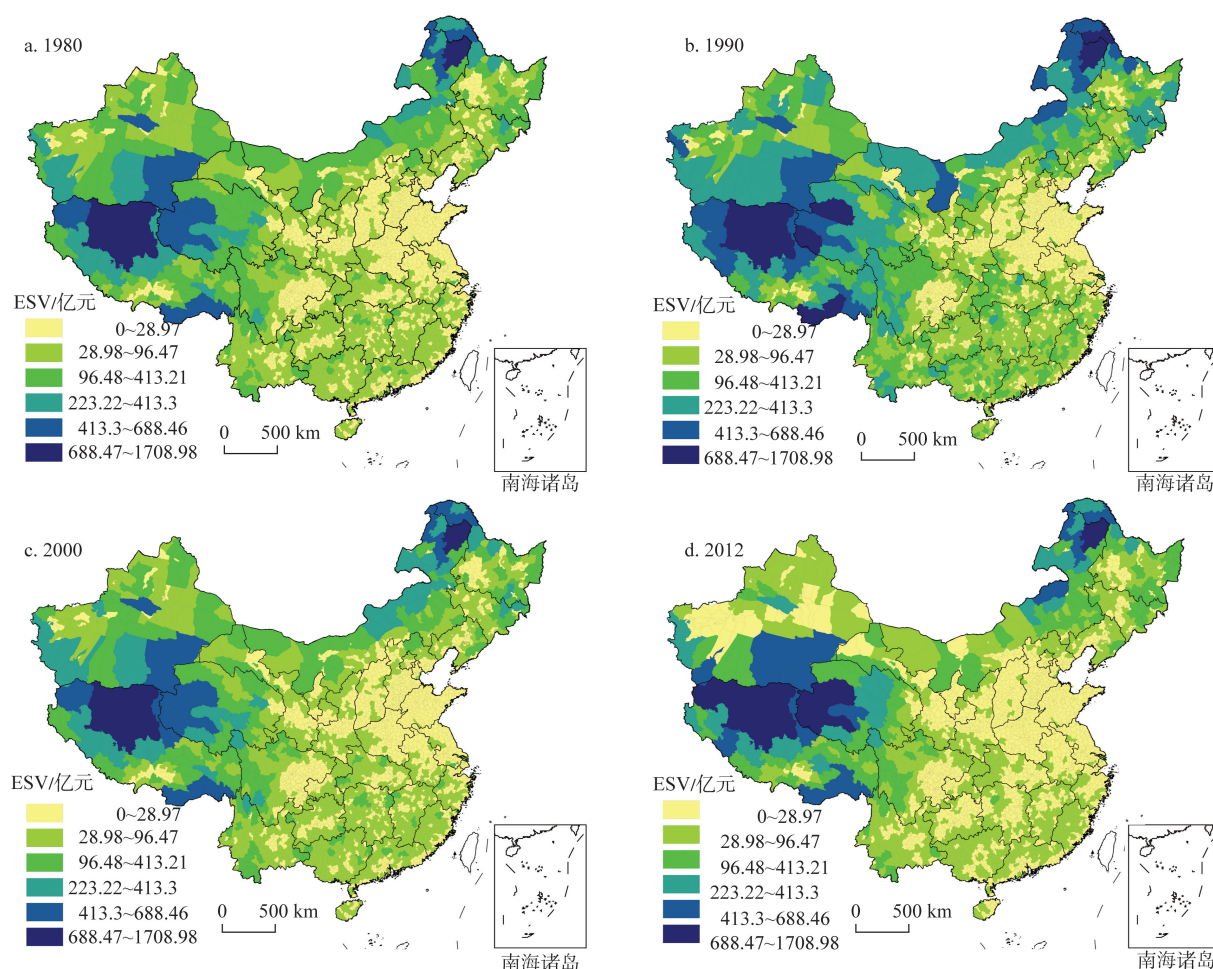


图2 中国县级单元ESV空间演变(1980-2012)

Fig. 2 Spatial pattern and change of ecological service value (ESV) per county in China, 1980-2012

增长,10个县域单元无变化,总体增加了9574.67亿元。经过进一步研究发现,全国ESV总量在2000年之前出现了负增长,其主要原因是土地开垦导致生态环境破碎,而且城镇建设中有部分耕地转化为建设用地,在大部分县区中均不同程度出现草地面积萎缩或退化为裸地,因此客观上造成耕地、林地和草地等类型不同程度的减小,从而使部分县区出现了ESV呈现负增长的态势;而在2000年之后ESV出现正增长,主要是因为1999年起国家实施退耕还林还草工程,加之早期实施的生态修复工程、防护林工程、水土流失治理等一大批工程,使得林地和草地面积明显增加,生态系统服务价值量有所提高,中国整体生态环境状况有所改善。

3.3 中国县域生态经济系统协调度(EEH)的时空演变

3.3.1 时序变化特征

中国县域EEH的统计发现(表3),1980-1990年间共有74个县域单元处于冲突区内,1362个县域单元处于协调冲突过渡区,1368个县域单元处于潜在危机区,49个县域单元处于协调区;1990-2000年间共有31个县域单元处于冲突区内,1630个县域单元处于协调冲突过渡区,1152个县域单元处于潜在危机区,40个县域单元处于协调区;2000-2012年间共有18个县域单元处于冲突区内,1621个县域单元处于协调冲突过渡区,1126个县域单元处于潜在危机区,88个县域单元处于协调区,18个县域单元处于冲突区。总体来看,全国大多数县域单元主要处于潜在危机区和协调冲突过渡区,处于协调区和冲突区的是少数部分县域单元,陆地生态经济协调度在整体趋势上有所好转,并且在2000年以后协调发展程度明显提高。

3.3.2 空间演变特征

为了研究中国县域GDP和ESV的发展变化引起EEH的空间变化,根据划分标准将EEH绘制成图(图3)。由图(3)可知,1980-1990年,县域单元EEH较低,西藏东南部、青海南部、甘肃中部、内蒙

中北部、四川中西部和浙江、江西部分地区、京津冀部分地区及东海沿海部分地区处于冲突区,西藏西部、青海省、内蒙古西部、黑龙江部分地区以及中国中东部地区处于高、中度协调区,低度冲突区和协调冲突过渡区分布较多(图3a);1990-2000年,西部县域EEH整体下降,高度协调区变为中低度协调区,中低度协调区演变为中低度冲突区,中低度冲突区演变为高度冲突区,只有少数区域EEH稍有增加,但中东部大多数县域EEH稍有提高并向协调区演变(图3b);2000-2012年,EEH明显提高,高度冲突区和中低度冲突区均有较大幅度减少,较低协调区和中度协调区开始增加。其中新疆西部、青海中部、西藏西部、四川和云南及贵州部分地区、东北黑龙江部分地区、东部部分县(区)处于较低协调区和中度协调区,而新疆东中部、甘肃西部、内蒙古西部处于较高协调区和高度协调区,只有内蒙古中部和江苏南部等小部分地区处于高中低度冲突区(图3c)。

3.3.3 空间分布模式

研究表明(图4),1980-1990年,呈显著正相关类型的县(区)为173个,占显著关联类型的19.20%,其中HH类型占12.43%,LL类型占6.77%;1990-2000年,呈显著正相关类型县市为292个,占显著关联类型的51.59%,其中HH类型占36.93%,LL类型占14.66%;2000-2012年,呈显著正相关类型县市为267个,占显著关联类型的33.13%,其中HH类型占27.42%,LL类型占5.71%;1980-2012年,呈显著正相关类型县市为262个,占显著关联类型的41.92%,其中HH类型占30.56%,LL类型占11.36%。从空间关联变化情况来看(图4),1980-1990年,高值聚集区主要分布在西藏东南部、青海局部和东北地区。1990年以后,高值聚集分布发生较明显变化,东南沿海地区HH类型分布较为明显;LL主要分布在西藏与四川交界处和内蒙古西北部,且呈现出分布面积增大,个数增多的特点。从整体来看,EEH的空间关联度总体相对稳定,主要表现为:HH在西藏南

表3 1980-2012时段中国县域单元EEH类别转换及单元数量

Tab. 3 EEH change in China, 1980-2012

状态 类型	协调状态				潜在危机 状态	协调冲突 过渡状态	冲突状态				合计
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1980-1990	3	5	7	34	1368	1362	40	11	10	13	2853
1990-2000	1	3	6	30	1152	1630	11	12	5	3	2853
2000-2012	1	4	13	70	1126	1621	10	2	3	3	2853

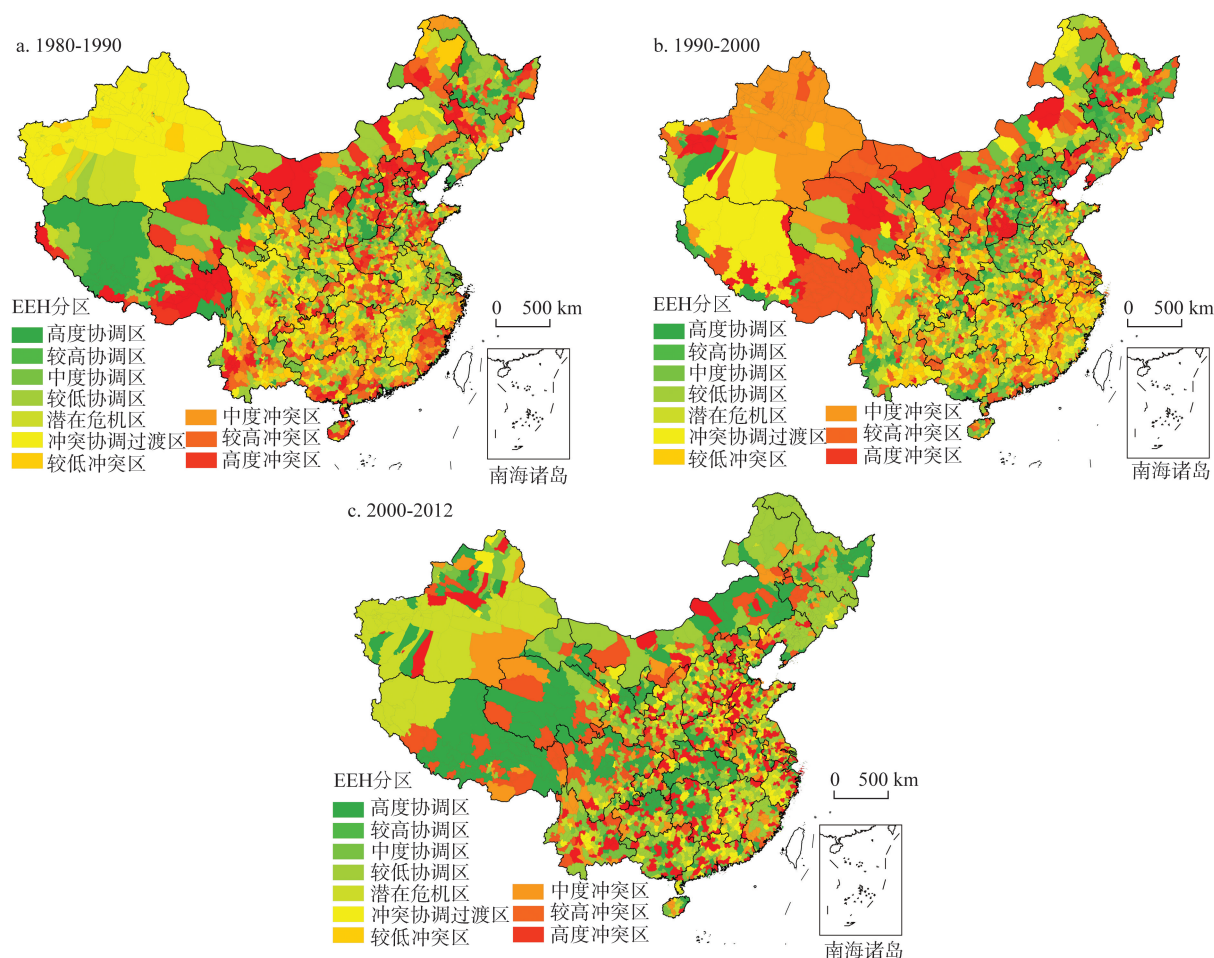


图3 中国县级单元EEH空间演变(1980-2012)

Fig. 3 Spatial pattern and change of EEH per county in China, 1980-2012

部逐渐减少,东北地区逐渐增加,东南部增长显著;LL在西藏和内蒙古变化不明显,而在京津冀地区逐年增加,且部分中东部县(区)也开始出现。以上研究结果表明,中国EEH值空间分布表现为西部既有高值聚集区,也有低值聚集区,说明EEH在这些区域分布极不均衡,需要进一步提高生态—经济可持续、高协调发展水平;而在京津冀地区LL从无到有,说明这些地区EEH出现了低值聚集区,经济发展的同时生态环境大幅下降,应引起高度关注。

空间统计分析图(图5)显示,中国县域生态经济系统协调发展空间统计值形成5类,且总体呈现热点和冷点各自高度聚集分布模式。从GiZScore空间分布图可看出,1980-1990年,中国县域单元生态经济系统协调度空间分布态势整体较为均匀,热点地区主要分布在西藏南部、甘肃中部、青海东北部、黑龙江中部和上海、江苏、浙江等省,冷点地区主要分布在内蒙古西北部和中部地区、京津冀地区、青海

与西藏东南部、云南南部边界地区及湖北和湖南部分地区(图5a);1990-2000年,热点地区主要分布在西藏东北部,京津冀、山东西北部、河南东北部、山西东南部及上海市,冷点地区主要分布在辽宁与吉林和内蒙三省交界处(图5b);2000-2012年,热点地区主要分布在新疆中部、广西、贵州、湖南、湖北、广东西南部,低于均值区的冷点主要分布于西藏中和西北部、黑龙江东北部、辽宁与吉林和内蒙的交界处(图5c)。从1980-2012年整个时段看,热点区域主要分布在新疆北部、山西南部、贵州东部、广东西部、河北南部、山东西部以及湖南、湖北省、江苏与安徽和上海交界处,其聚集效应明显,增加幅度也较大;而西藏中部、辽宁与吉林和内蒙三省交界处、黑龙江东北部冷点聚集特征也较明显(图5d)。以上现象说明:中国县域经济与生态系统协调发展的空间分布从1980年的低于均值聚集模式,发展到2012年的高一低两种聚集模式共同分布,并且显示

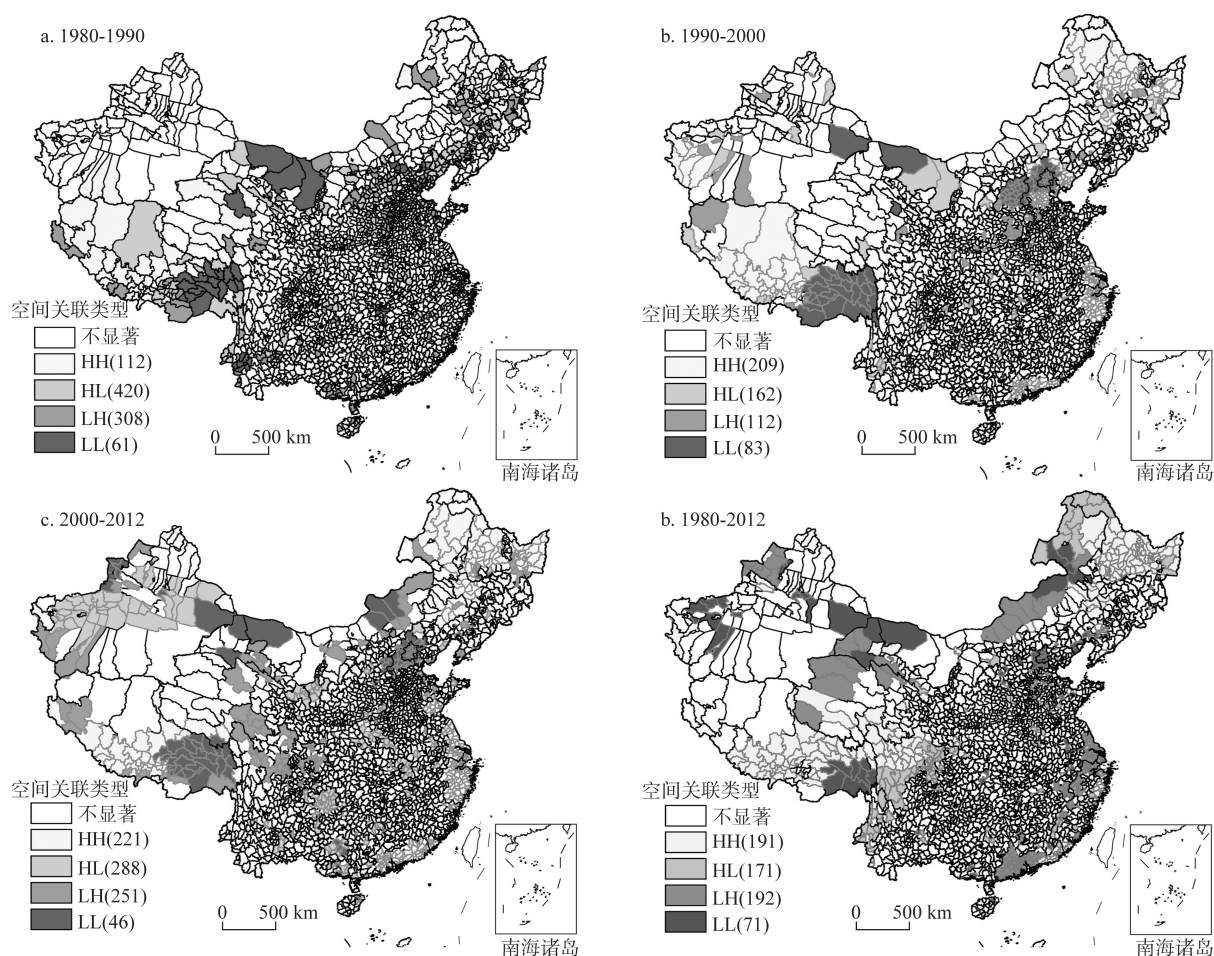


图4 中国县级单元显著空间关联类型空间演变(1980-2012)

Fig. 4 LISA cluster map for per capita EEH at the county level in China, 1980-2012

出热点高度聚集,而冷点低度聚集的特征,这进一步说明中国县域经济与生态系统协调发展模式向高和低两个极端发展,并且在西南和东南两个区域同时波动变化。

5 结论

(1) 中国县域经济自1980年以来保持持续快速增长。全国县域单元GDP增长模式表现为:东南沿海地区增长速度明显高于内地,中部增速由高于西部地区,全国各县区GDP增长呈不均衡状态。

(2) 中国县域生态系统服务价值由1980年的85302.15亿元增加到2012年的94876.82亿元,增长了11.22%;从空间分布来看,广大西部地区草地、耕地面积总体大于东部,因此,县域单元生态系统服务价值分布特点表现为:西部地区、内蒙、黑龙江等地较高,中东部地区较低;从县域生态系统服务价

值变化情况来看,呈现先降低后增长的态势,整体上表现为西部和东北部生态状况明显好于中东部地区。

(3) 中国县域单元EEH整体呈良性发展,表现为东北地区好于西部地区,西部地区好于中、东部及沿海地区的空间格局。经济发展与生态系统二者之间尚未出现大面积的协调区和大面积的冲突区,大部分县域单元处于潜在危机区和冲突协调过渡区,生态经济系统的可持续发展仍然受到威胁。

(4) 中国县域单元EEH在分布模式上,空间关联度总体相对稳定,空间分布状态从1980年的低于均值聚集模式发展变化到2012年的高一低两种聚集模式共同分布,并且呈现出热点地区高度聚集,而冷点地区低度聚集的特征,进一步说明了县域单元生态经济系统发展模式向高和低两个方向聚集,并在西南、西北、东北和东南地区波动变化。总之,EEH在空间分布上差异较为明显,西部地区在保护

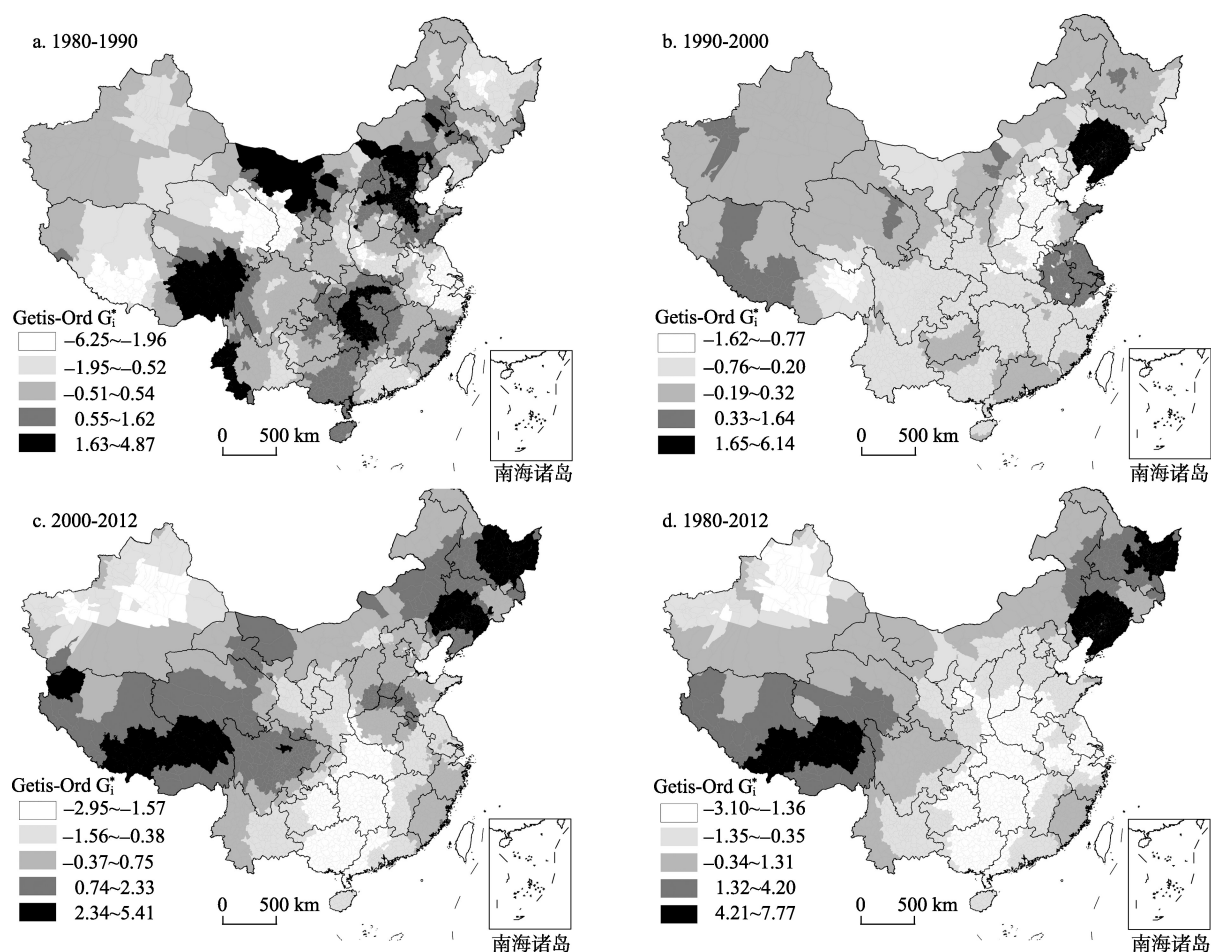


图5 中国县级单元热点、冷点地区分布(1980-2012)

Fig. 5 Getis-Ord G_i^* values distribution of counties in China, 1980-2012

生态环境的同时需大力发展经济,而中东部地区则需在发展经济的同时注重生态保持与修复。

目前,对生态系统服务价值的计算还不完善,事实上,生态系统服务价值系数的大小还与生态系统的种类、结构、生物多样性等因素有关外,还受其他因素影响,如国内部分学者对Xie等(2010)的生态系统服务价值系数的科学性还存在一定质疑,因此在计算小区域的ESV时还考虑了其他多种因素。对于大面积的ESV计算,还需进一步细化各种影响因子,并逐步形成一套科学的ESV计算体系。因此,中国县域生态经济系统协调度的科学性还有待进一步验证。

参考文献(References)

陈培阳, 朱喜钢. 2012. 基于不同尺度的中国区域经济差异. 地理学报, 67(8): 1085-1097. [Chen P Y, Zhu X G. 2012. Regional inequalities in China at different scales. Acta Geographica Sinica, 67(8): 1085-1097.]

陈香香. 2013. 山东省能源与经济及生态环境协调发展研究[D]. 济南: 山东师范大学. [Chen X X. 2013. The Research on the coordination development of energy and economic and ecological environment in Shandong Province[D]. Jinan, China: Shandong Normal University.]

方创琳, 鲍超. 2004. 黑河流域水—生态—经济发展耦合模型及应用. 地理学报, 59(5): 781-790. [Fang C L, Bao C. 2004. The coupling model of water-ecology-economy coordinated development and its application in Heihe River Basin. Acta Geographica Sinica, 59(5): 781-790.]

何浩, 潘耀忠, 朱文泉. 2005. 中国陆地生态系统服务价值测量. 应用生态学报, 16(6): 1122-1127. [He H, Pan Y Z, Zhu W Q. 2005. Measurement of terrestrial ecosystem service value in China. Chinese Journal of Applied Ecology, 16(6): 1122-1127.]

华娟. 2013. 重庆三峡库区生态环境与经济协调发展研究: 以涪陵区为例[D]. 重庆: 西南大学. [Hua J. 2013. The study on the coordinating development of Chongqing Three Gorges Reservoir Area between ecological environ-

- ment and economy[D]. Chongqing, China: Southwest University.]
- 李海涛, 廖迎春, 严茂超, 等. 2003. 新疆生态经济系统的能值分析及其可持续性评估. 地理学报, 58(5): 765-772. [Li H T, Liao Y C, Yan M C, et al. 2003. Emergy evaluation and assessment of sustainability on the eco-economic system of Xinjiang. *Acta Geographica Sinica*, 58(5): 765-772.]
- 林道辉, 沈学优, 刘亚儿. 2002. 环境与经济协调发展理论研究进展. 环境污染与防治, 24(2): 120-123. [Lin D H, Shen X Y, Liu Y E. 2002. Theory advance of environment and economy coordinating development. *Environmental Pollution & Control*, 24(2): 120-123.]
- 马世骏. 1990. 现代生态学透视. 北京: 科学出版社. [Ma S J. 1990. *Xiandai shengtaixue toushi*. Beijing, China: Science Press.]
- 乔标, 方创琳. 2005. 城市化与生态环境协调发展的动态耦合模型及其在干旱区的应用. 生态学报, 25(11): 3003-3009. [Qiao B, Fang C L. 2005. The dynamic coupling model of the harmonious development between urbanization and eco-environment and its application in arid area. *Acta Ecologica sinica*, 25(11): 3003-3009.]
- 苏飞, 张平宇. 2009. 基于生态系统服务价值变化的环境与经济协调度发展评价: 以大庆市为例. 地理科学进展, 28(3): 471-477. [Su F, Zhang P Y. 2009. Assessment of coordinative development between economy and environment based on ecosystem service values change: a case of Daqing City. *Progress in Geography*, 28(3): 471-477.]
- 王振波, 方创琳, 王婧. 2011. 1991年以来长三角快速城市化地区生态经济系统协调度评价及其空间演化模式. 地理学报, 66(12): 1657-1668. [Wang Z B, Fang C L, Wang J. 2011. Evaluation on the coordination of ecological and economic systems and associated spatial evolution patterns in the rapid urbanized Yangtze Delta region since 1991. *Acta Geographica Sinica*, 66(12): 1657-1668.]
- 魏敏, 冯永军, 李芬, 等. 2012. 泰安市旅游生态能值分析. 地理学报, 67(9): 1181-1189. [Wei M, Feng Y J, Li F, et al. 2012. Emergy analysis of tourism ecological system of Tai'an City. *Acta Geographica Sinica*, 67(9): 1181-1189.]
- 谢花林, 邹金浪, 彭小琳. 2012. 基于能值的鄱阳湖生态经济区耕地利用集约度时空差异分析. 地理学报, 67(6): 889-902. [Xie H L, Zou J L, Peng X L. 2012. Spatial-temporal difference analysis of cultivated land use intensity based on emergy in Poyang Lake Eco-economic Zone. *Acta Geographica Sinica*, 67(6): 889-902.]
- 熊建新, 陈端吕, 彭保发, 等. 2014. 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. 地理科学进展, 33(3): 356-363. [Xiong J X, Chen D L, Peng B F, et al. 2014. Response of ecological carrying capacity to socioeconomic and environmental changes in Dongting Lake region during 2001-2010. *Progress in Geography*, 33(3): 356-363.]
- 张东海, 任志远, 冯雪铭, 等. 2013. 中国西部社会、经济与生态的协调发展时空变化. 干旱区地理, 36(3): 545-552. [Zhang D H, Ren Z Y, Feng X M, et al. 2013. Dynamic change and spatial difference of coordinated development on economy-society and ecology of western area in China. *Arid Land Geography*, 36(3): 545-552.]
- 周扬, 李宁, 吴文祥, 等. 2014. 1982-2010年中国县域经济发展时空格局演变. 地理科学进展, 33(1): 102-113. [Zhou Y, Li N, Wu W X, et al. Evolution of spatial-temporal pattern of county economic development in China during 1982-2010. *Progress in Geography*, 33(1): 102-113.]
- Anselin L. 1995. Local indicators of spatial association-LISA. *Geographical Analysis*, 27(2): 93-115.
- Boulding K E. 1966. The economics of the coming spaceship earth//Jarret H. Environmental quality in a growing economy. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Coastanza R, Arge R, Groot R, et al. 1997. The value of the world ecosystem services and nature. *Nature*, 387(15): 253-260.
- Douglass M. 2002. From global intercity competition to cooperation for livable cities and economic resilience in Pacific Asia. *Environment & Urbanization*, 14(1): 53-68.
- Haining R. 2003. Spatial data analysis: theory and practice. Oxford, UK: Cambridge University.
- Konarska K M, Sutton P C, Castellon M. 2002. Evaluating scale dependence of ecosystem service evaluation: a comparison of NOAA- AVHRR and Landsat TM datasets. *Ecological Economics*, 41(3): 491-507.
- Paul S, Bhattacharya R N. 2004. Causality between energy consumption and economic growth in India: a note on conflicting results. *Energy Economics*, 26(6): 977-983.
- Sherrouse B C, Clement J M, Semmens D J. 2011. A GIS application for assessing, mapping, and quantifying the social values of ecosystem services. *Applied Geography*, 31(2): 748-760.
- Xie G D, Zhen L, Zhang C X, et al. 2010. Assessing the multifunctionalities of land use in China. *Journal of Resources and Ecology*, 1(4): 311-318.

Coordinated development of ecological-economic system and spatial evolution based on county unit in China

WEI Xiaoxu¹, ZHAO Jun¹, WEI Wei¹, XIE Binbin²

(1. College of Geographical and Environment Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China;

2. School of Urban Economics and Tourism Culture, Lanzhou City University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on the Gross Domestic Product (GDP) and 1 km×1 km land use data of 1980, 1990, 2000, and 2012, 2853 counties or districts of China, the rates of change in ecological service value (ESV) and GDP were calculated. Spatial analysis were performed in ArcGIS to examine coordinated development of ecological-economic system and its spatial variation and temporal change. The results are as follows. (1) Since 1980, county level GDP growth in China has been very rapid. The rate of GDP growth in China's southeast coastal area is higher than that in the central part, followed by counties in western China. (2) The total ecological service value of China increased from 85302.15 billion yuan in 1980 to 94876.82 billion yuan in 2012, with a 11.22% increase. Spatially, county level ESV is higher in northern and western counties, and lower in eastern counties. (3) The coordination between economic development and quality of the ecological -environment (EEH) has gradually improved. At the county level, EEH in northern China is better than that in western China followed by central and eastern counties. But the sustainable development challenges of the ecological-economic system is still high. The degree of spatial correlation of EEH is relatively stable. The development trend of coordination between socio-economic development and ecological environment tend to be positive, but ecological-economic system coordination in different counties varies significantly. The results of this study suggest that the regional economy of China's western counties should be further developed when efforts are made to protect the ecological environment of the region, while in China's central and eastern counties, greater attention should be paid to the protection of the ecological environment and ecological restoration, when the economy continues to grow. Achieving sound and fast economic development and maintaining ecological integrity is a balancing act that requires much greater effort.

Key words: ecological-economic system; ecological-economic harmony; ecological service value; regional economy; spatial evolution