

# 中国省域土地利用可持续性评价及时空格局特征

赵兴国<sup>1</sup>, 潘玉君<sup>2\*</sup>, 丁生<sup>3</sup>, 刘树芬<sup>1</sup>, 段如婷<sup>1</sup>, 魏群<sup>1</sup>, 苏骅<sup>1</sup>

(1. 保山学院资源环境学院, 保山 678000; 2. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 昆明 650092;  
3. 红河学院商学院, 蒙自 661100)

**摘要:** 为了揭示中国省域尺度土地可持续利用程度及其时空格局特征。该研究运用基于“国家公顷”改进的生态足迹模型构建土地利用可持续性系数, 对中国 31 个省区 1998—2008 年土地利用可持续状态进行综合评价, 借助 ArcGIS 10.0 软件平台, 绘制出研究期内中国土地利用可持续程度的空间格局地图, 并以此进行时空分析。结果表明: 从时序变化特征看, 各地区土地利用可持续性总体偏低且出现不同程度的赤字现象, 近 71% 的省区土地利用可持续性呈上升态势但增速不平衡, 部分省区变动幅度较大; 从空间格局及其演变特征看, 土地可持续利用程度从高到低排序依次为东部沿海地区>东北地区>中部地区>西部地区, 局部省区虽有变化, 但总体格局变幅较小, 土地利用处于 IIb、IIIc、IIIb 的省区分别下降了 4、6 和 13 个百分点, 而处于 IIIa 的省区则上升了 23 个百分点, 上升的省区中大都为中西部地区, 土地利用可持续性的空间格局不断优化且呈良性演变趋势; 人均生态足迹的本底基数较大, 且人均生态足迹和人均生态承载力的变化率相差较小是导致土地利用产生赤字的主要因素, 人口较快增长也是一个重要因素, 贸易和区域互补可为减少或消除土地利用产生的赤字提供重要的解决路径。该研究可为中国省域尺度土地开发与可持续利用战略、政策与对策制定提供科学依据和决策参考。

**关键词:** 土地利用; 模型; 生态; 可持续性评价; 时空格局

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2014.03.026

中图分类号: F301.24

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2014)-03-0196-09

赵兴国, 潘玉君, 丁生, 等. 中国省域土地利用可持续性评价及时空格局特征[J]. 农业工程学报, 2014, 30(3): 196—204.

Zhao Xingguo, Pan Yujun, Ding Sheng, et al. Evaluation of regional land use sustainability and its spatial-temporal pattern among provinces in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(3): 196—204. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

从目前国内外研究动态看, 土地利用评价已从 20 世纪 70 年代偏重于土地自然属性的土地适宜性评价、土地潜力评价, 到 80 年代的土地承载力评价, 逐渐转向注重土地综合属性的土地利用可持续性评价、生态安全评价与集约性评价<sup>[1]</sup>。在土地利用可持续性评价方面, 自 1993 年联合国粮农组织 (food and agriculture organization of the United Nations, FAO) 颁布的《可持续土地管理评价纲要》全面系统提出土地可持续利用的概念、基本原则、评价标准和评价程序等内容<sup>[2]</sup>以及国际上随之蓬勃

开展的相关研究以来, 土地可持续利用已推向全球可持续发展的战略高度<sup>[3]</sup>, 也成为中国土地科学研究的热点领域之一<sup>[4]</sup>。

保障土地资源可持续利用是实现区域可持续发展的重要路径之一, 只有定量判定区域土地资源利用的可持续性, 才能为制订土地资源可持续利用战略、政策和对策提供科学依据<sup>[5]</sup>。因此, 土地利用可持续性的定量评价成了土地可持续利用研究的核心内容, 国内研究者分别从理论和实证 2 个方面对其开展相关探索与研究。理论研究方面, 主要探讨了土地可持续利用的理论基础、概念模型、方法构建等内容<sup>[6-8]</sup>, 但学者们更多的是关注“方法论”问题, 即土地利用可持续性评价的概念模型与方法; 实证研究方面, 主要通过构建评价指标体系<sup>[9-11]</sup>、数学模型<sup>[12-14]</sup>、计算机模拟<sup>[15]</sup>和 3S 技术<sup>[16]</sup>等进行相关案例研究。从选用的模型方法来看, 生态足迹模型为土地可持续利用评价提供了重要途径<sup>[17]</sup>, 对土地利用开展生态足迹评价是当前中国土地可持续利用评价领域的研究热点<sup>[18]</sup>。

由加拿大生态经济学家 William Rees 提出, 并

收稿日期: 2013-07-21 修订日期: 2014-01-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (41261033); 国家社科基金资助项目 (BHA100058); 保山学院自然科学基金资助项目 (13BY031)

作者简介: 赵兴国 (1985—), 男, (布朗族), 云南保山人, 讲师, 主要从事土地利用变化及其区域响应、水土资源利用与粮食安全等研究。保山 保山学院资源环境学院, 678000。Email: xgzhaol08@163.com  
\*通信作者: 潘玉君 (1965—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境与区域可持续发展、地理学理论等研究。昆明 云南师范大学旅游与地理科学学院, 650092。

Email: 13888346995@139.com

由其博士生 Mathis Wackernagel 进一步完善的生态足迹 (ecological footprint, EF) 模型最初是应用于国家尺度生态足迹的评价与比较, 其产量因子 (yield factor)、均衡因子 (equivalence factor) 等模型中重要的特征参量都是基于“全球公顷 (global hectare, gha)”计算而得<sup>[19-20]</sup>, 该模型自 1999 年引入到国内以来<sup>[21]</sup>, 许多研究者大都是直接引用基于“全球公顷 (gha)”计算出的产量因子和均衡因子进行区域 (如省域、市域、县域等) 实证研究, 这种基于全球视角研究中小尺度区域问题会因忽略区域实际情况而使研究结果不能较为准确的反映区域实际。一些研究者在研究中也意识到该问题的存在, 分别对模型的特征参量进行了“国家公顷”<sup>[22]</sup>、“省公顷”<sup>[23]</sup>等调整, 进而研究土地资源的可持续利用问题, 但这些改进研究大都只针对某一区域进行时间序列分析, 较少见有关时空格局及演变的研究案例。从生态足迹的内涵可以看出, 该模型实质上是蕴含着区域比较和时空变化分析的, 只有在对传统模型进行改进的基础上进行区域时空格局演变及比较分析, 才能体现模型的真实涵义。因此, 本文运用基于“国家公顷 (national hectare, nha)”改进的生态足迹模型构建土地利用可持续性系数 (land use sustainability coefficient, LUSC), 对中国 31 个省 (直辖市、自治区, 暂不包括港澳台) 自 1998-2008 年的土地利用可持续状况进行综合评价, 借助 ArcGIS 10.0 软件绘制研究期内中国土地利用可持续状态的专题类型图, 以此揭示中国土地利用可持续状态的时空格局及演变特征, 以期为中国优化土地利用时空格局, 制定土地可持续利用的战略、政策与对策等提供宏观决策参考。

## 1 研究方法

### 1.1 “国家公顷”生态足迹 (national hectare ecological footprint, nhaEF)

#### 1.1.1 计算公式

“国家公顷”生态足迹是在传统的“全球公顷”生态足迹基础上通过调整模型中 2 个主要特征参量——产量因子 (yield factor) 和均衡因子 (equivalence factor)——的计算方法改进而得, 具体计算公式为:

$$\text{nhaEF} = N \times \text{nhaef} =$$

$$N \sum e_{a_i} \times r_j = N \sum (c_i / p_i) \times r_j \quad (1)$$

$$\text{nhaEC} = N \times \text{nhaec} = N \sum a_j \times r_j \times y_j \quad (2)$$

式中: nhaEF 为总量生态足迹,  $\text{hm}^2$ ; nhaef 为人均生态足迹,  $\text{hm}^2$ ;  $N$  为地区人口总量, 人 (按常住人口数统计);  $e_{a_i}$  为各人均消费项所需的生物生产性土地面积,  $\text{hm}^2$ ;  $r_j$  为第  $j$  类土地利用类型的均衡

因子;  $c_i$  为第  $i$  种消费品的人均年消费量,  $\text{kg}$ ;  $p_i$  为对应的生态生产性土地生产第  $i$  类消费项目的年全国平均生产力 (也称为单产因子),  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ; nhaEC 为总量生态承载力,  $\text{hm}^2$ ; nhaec 为人均生态承载力,  $\text{hm}^2$ ;  $a_j$  为第  $j$  类生态生产性土地的实际人均面积,  $\text{hm}^2$ ;  $y_j$  为第  $j$  类生态生产性土地的产量因子。

根据生态足迹计算步骤, 首先将各类消费项目 ( $c_i$ ) 划归到其所对应的 6 类生态生产性土地类型中, 通过单产因子 ( $p_i$ ) 将其转化为相应的生态生产性土地面积 ( $e_{a_i}$ )。考虑到数据的可获取性和便于省区比较, 将稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、棉花、油料、麻类、甘蔗、甜菜、烟叶、蔬菜、茶叶、猪肉、禽蛋、牛肉 (86%)、羊肉 (57%)、牛奶 (72%) 等消费项划归为耕地; 将苹果、梨、柑桔类、香蕉、菠萝、荔枝、龙眼、猕猴桃、桃、葡萄、红枣、柿子、橡胶、松脂、生漆、油桐籽、油茶籽、核桃等消费项划归为林地; 将牛肉 (14%)、羊肉 (43%)、牛奶 (28%) 等消费项划归为牧草地; 将水产品划归为水域; 将建设用地面积划归为建设用地; 将煤、石油、天然气等消费项划归为化石能源用地。其中, 牛肉、羊肉和牛奶该 3 项消费项所属土地利用类型及其比例划分参考谢鸿宇等<sup>[24]</sup>的研究成果。

按照世界环境与发展委员会 (world commission on environment and development, WCED) 的报告《我们共同的未来》的建议, 生物圈并非人类所独有, 人类应将生物生产土地面积的 12% 用于生物多样性的保护。因此, 在生态承载力计算中, 出于谨慎性考虑, 要扣除 12% 的生物多样性保护面积。

#### 1.1.2 计算参数调整

在生态足迹和生态承载力的计算中, 须引入产量因子 (yield factor) 和均衡因子 (equivalence factor) 来解决各类生态生产性土地面积的可加性和可比性问题, “全球公顷”生态足迹模型对产量因子和均衡因子的概念做了如下界定: 某个国家或地区某类土地的产量因子是其平均生产力与世界同类土地的平均生产力的比率; 某一类生物生产性面积的均衡因子等于全球该类生物生产性面积的平均生态生产力除全球所有各类生物生产面积的平均生态生产力<sup>[19-21]</sup>。“国家公顷”生态足迹模型则将“全球公顷”生态足迹模型中的产量因子和均衡因子的计量标准由“全球公顷”调整为“国家公顷”, 调整后的概念为: 某个地区 (省级区域) 某类土地的产量因子是其平均生产力与全国 (中国) 同类土地的平均生产力的比率; 某一类生物生产性面积的均衡因子等于全国 (中国) 该类生物生产性面积的平均生态生产力除全国 (中国) 所有各类生物生产面积的平均生态生产力。

调整后的产量因子 (yield factor) 的具体计算公式为:

$$y_j = \frac{\bar{P}_j^n}{\bar{P}_j} = \frac{o_j^n / s_j^n}{O_j / S_j} = \frac{\sum_k (p_k^j)^n \times \gamma_k^j}{s_j^n} / \frac{\sum_k p_k^j \times \gamma_k^j}{S_j} \quad (3)$$

式中:  $\bar{p}_j^n$  为  $n$  省区第  $j$  类土地的平均生产力,  $\text{J}/\text{hm}^2$ ;  $\bar{p}_j$  为全国 (中国) 第  $j$  类土地的平均生产力,  $\text{J}/\text{hm}^2$ ;  $o_j^n$  为  $n$  省区第  $j$  类土地的总产出,  $\text{J}$ ;  $s_j^n$  为  $n$  省区第  $j$  类土地的总面积,  $\text{hm}^2$ ;  $O_j$  为全国 (中国) 第  $j$  类土地的总产出,  $\text{J}$ ;  $S_j$  为全国 (中国) 第  $j$  类土地的总面积,  $\text{hm}^2$ ;  $p_k^j$  为第  $j$  类土地的第  $k$  种产品的年产量,  $\text{kg}$ ;  $\gamma_k^j$  为第  $j$  类土地的第  $k$  种产品的单位热值,  $10^3 \text{J}/\text{kg}$ , 引入该参数是为了将各种生物产品转化为可直接相加的能值。

调整后的均衡因子 (equivalence factor) 的计算公式为:

$$r_j = \frac{\bar{P}_j}{\bar{P}} = \frac{O_j / S_j}{\sum_j O_j / \sum_j S_j} = \frac{\sum_k p_k^j \times \gamma_k^j}{S_j} / \left( \frac{\sum_j \sum_k p_k^j \times \gamma_k^j}{\sum_j S_j} \right) \quad (4)$$

式中:  $r_j$  为第  $j$  类土地利用类型的均衡因子;  $\bar{P}$  为全国 (中国) 各类土地的平均生产力,  $\text{J}/\text{hm}^2$ 。

在实际计算中, 只有耕地、林地、牧草地和水域具有生物生产能力, 因此, 只能计算该 4 类土地的产量因子和均衡因子。建设用地实际是占用了耕地面积, 故其产量因子和均衡因子与耕地的对应值相同; 化石能源用地的均衡因子与林地的相同, 其产量因子取 0。这样处理与传统生态足迹模型<sup>[19-20]</sup>的处理办法一致。

## 1.2 土地利用可持续性系数 (land use sustainability coefficient, LUSC)

基于生态足迹的土地利用可持续性评价, 已有相关研究案例<sup>[25-26]</sup>, 但未明确提出或构建基于生态足迹的区域土地可持续利用评价模型或方法。也有相关研究提出了“土地可持续利用支撑强度 (sustainable land use support strength, SLUSS)”用以测度土地利用可持续性强弱, 但其计算方法是用总量生态赤字 (ecological deficit, ED) 或生态盈余 (ecological remainder, ER) 除以总量生态足迹 (ecological footprint, EF) 和总量生态承载力 (ecological capacity, EC) 的和<sup>[27]</sup>。笔者在总结前人研究成果的基础上提出了“耕地资源可持续利用系数”<sup>[28]</sup>, 本研究以此为基础进一步提出基于 nhaEF

的土地利用可持续性系数, 具体的计算公式为:

$$\text{LUSC} = \frac{\text{nhaec}}{\text{nhaef} + \text{nhaec}} \quad (5)$$

式中: LUSC 为区域土地利用可持续性系数。从公式 (5) 中可以看出, LUSC 的取值范围为  $0 < \text{LUSC} < 1$ , 当各类土地的生态承载力足以支撑人类从土地产出的各种消耗时, 出现了生态盈余, LUSC 越接近 1, 表明区域土地利用呈可持续状态; 反之, 当各类土地的生态承载力不足以支撑人类从土地产出的各种消耗时, 出现了生态亏损, LUSC 越接近 0, 表明区域土地利用呈不可持续状态。由于 LUSC 是一个综合性指标, 其细微变化对评价结果都会产生较大影响, 因此, 本研究以 0.1 作为区间划分标准, 将区域土地利用的可持续状态划分为 10 类, 最终得出区域土地利用可持续性判别标准 (表 1)。

表 1 区域土地利用可持续性的判别标准  
Table 1 Sustainability criterion of regional land use

取值区间 Ranges	可持续性大类 Sustainability categories	可持续性亚类 Sustainability sub-categories
$0.9 < \text{LUSC} < 1$		极强可持续性 (I a)
$0.8 < \text{LUSC} \leq 0.9$	可持续性 (I)	强可持续性 (I b)
$0.7 < \text{LUSC} \leq 0.8$		中度可持续性 (I c)
$0.6 < \text{LUSC} \leq 0.7$		轻度可持续性 (I d)
$0.5 < \text{LUSC} \leq 0.6$	临界状态 (II)	可持续→不可持续性临界状态 (II a)
$0.4 < \text{LUSC} \leq 0.5$		不可持续→可持续性临界状态 (II b)
$0.3 < \text{LUSC} \leq 0.4$		轻度不可持续性 (III a)
$0.2 < \text{LUSC} \leq 0.3$	不可持续性 (III)	中度不可持续性 (III b)
$0.1 < \text{LUSC} \leq 0.2$		强不可持续性 (III c)
$0 < \text{LUSC} \leq 0.1$		极强不可持续性 (III d)

## 2 数据来源与处理

研究的基础数据主要来自《中国统计年鉴》(1999—2009 年)、31 个省 (直辖市、自治区, 暂不包括港澳台) 1999—2009 年统计年鉴、中国农业科学院国家农业科学数据共享中心 (<http://www.agridata.cn/>)、中科院地球系统科学数据共享平台 (<http://www.geodata.cn/Portal/index.jsp>)、中科院资源环境科学数据中心 (<http://www.resdc.cn/first.asp>) 和中科院人地系统主题数据库 (<http://www.data.ac.cn/index.asp>) 等统计资料和数据库。数据处理主要包括: ①由于自然地理条件、土地资源的数量和质量、土地利用结构、方式、技术条件等的差异会影响土地的生产能力, 加上均衡因子的计算较为复杂, 运用不同方法计算的结果差异较大, 大量研究表明, 各类生态生产性土地的均衡因子在一定时间内是相对稳定的,

刘某承和李文华<sup>[29]</sup>运用 MODIS 数据, 根据植被的净初级生产力测算了中国各省区的均衡因子, 本研究拟引用其研究成果; ②根据改进的生态足迹模型中对产量因子的测算标准, 本研究计算出了全国 31 个省(直辖市、自治区, 暂不包括港澳台)1998—2008 年各类土地的产量因子。

### 3 结果与分析

#### 3.1 土地利用可持续性评价结果及其时序变化特征

##### 3.1.1 各地区土地利用可持续性总体偏低且出现不同程度的赤字现象

根据公式(1)~公式(5)计算出 1998—2008 年中国各省区土地利用可持续性系数(表 2)。

表 2 1998—2008 年中国 31 个省区土地利用可持续性系数  
Table 2 Land use sustainability coefficient of Chinese 31 provinces from 1998 to 2008

地区 Regions	土地利用可持续性系数值 Land use sustainability coefficient										
	1998 年 Year of 1998	1999 年 Year of 1999	2000 年 Year of 2000	2001 年 Year of 2001	2002 年 Year of 2002	2003 年 Year of 2003	2004 年 Year of 2004	2005 年 Year of 2005	2006 年 Year of 2006	2007 年 Year of 2007	2008 年 Year of 2008
北京 Beijing	0.2860	0.2880	0.2905	0.3141	0.3338	0.3437	0.3340	0.3227	0.3213	0.3230	0.3214
天津 Tianjin	0.2600	0.2628	0.2534	0.2615	0.2712	0.2755	0.2777	0.2717	0.2713	0.2483	0.2499
河北 Hebei	0.3588	0.3636	0.3651	0.3681	0.3804	0.3851	0.3858	0.3780	0.3866	0.3880	0.3915
山西 Shanxi	0.1911	0.2097	0.2136	0.2081	0.2076	0.2001	0.2015	0.1799	0.1863	0.1787	0.1835
内蒙古 Inner Mongolia	0.2517	0.2453	0.2459	0.2556	0.2754	0.2970	0.3149	0.3284	0.3383	0.3320	0.3234
辽宁 Liaoning	0.2923	0.2793	0.2562	0.2663	0.2691	0.2667	0.2655	0.2642	0.2691	0.2654	0.2741
吉林 Jilin	0.2564	0.2470	0.2331	0.2292	0.2528	0.2406	0.2401	0.2354	0.2345	0.2284	0.2341
黑龙江 Heilongjiang	0.2759	0.2745	0.2718	0.2851	0.3075	0.3016	0.3122	0.3163	0.3173	0.3217	0.3202
上海 Shanghai	0.1446	0.1431	0.1366	0.1431	0.1427	0.1299	0.1206	0.1163	0.1238	0.1255	0.1270
江苏 Jiangsu	0.3331	0.3347	0.3283	0.3341	0.3394	0.3158	0.3092	0.2820	0.2793	0.2685	0.2652
浙江 Zhejiang	0.3585	0.3472	0.3269	0.3684	0.3677	0.3582	0.3487	0.3089	0.3118	0.2952	0.2948
安徽 Anhui	0.2891	0.2987	0.2965	0.2937	0.3044	0.2849	0.2979	0.2956	0.3052	0.3055	0.2920
福建 Fujian	0.3680	0.3741	0.3737	0.4006	0.4159	0.4092	0.3962	0.3829	0.3820	0.3812	0.3932
江西 Jiangxi	0.2184	0.2140	0.2105	0.2225	0.2281	0.2345	0.2170	0.2259	0.2343	0.2643	0.3054
山东 Shandong	0.4066	0.4170	0.4294	0.4214	0.4120	0.4110	0.4049	0.3783	0.3684	0.3670	0.3693
河南 Henan	0.3075	0.3156	0.3214	0.3329	0.3396	0.3276	0.3327	0.3328	0.3349	0.3463	0.3475
湖北 Hubei	0.3427	0.3526	0.3569	0.3708	0.3685	0.3662	0.3533	0.3475	0.3471	0.3411	0.3483
湖南 Hunan	0.2123	0.2273	0.2364	0.2445	0.2447	0.2572	0.2375	0.2349	0.2473	0.2646	0.2654
广东 Guangdong	0.3762	0.3833	0.3879	0.3876	0.4163	0.4036	0.4007	0.3890	0.3952	0.3874	0.3983
广西 Guangxi	0.3166	0.3195	0.3200	0.3326	0.3771	0.3773	0.3531	0.3578	0.3556	0.3823	0.3871
海南 Hainan	0.1538	0.1710	0.1854	0.2008	0.1938	0.1915	0.1709	0.2154	0.2394	0.2474	0.2765
重庆 Chongqing	0.2660	0.2735	0.2791	0.2904	0.3144	0.3329	0.3211	0.3268	0.3093	0.3299	0.3235
四川 Sichuan	0.3188	0.3386	0.3349	0.3464	0.3357	0.3296	0.3388	0.3516	0.3447	0.3441	0.3574
贵州 Guizhou	0.1429	0.1488	0.1523	0.1596	0.1664	0.1620	0.1556	0.1595	0.1533	0.1519	0.1560
云南 Yunnan	0.1901	0.1961	0.1940	0.1938	0.2019	0.1936	0.1861	0.1825	0.1883	0.1973	0.2147
西藏 Tibet	0.2932	0.2760	0.2672	0.2923	0.2782	0.3022	0.2917	0.2881	0.2782	0.2995	0.3000
陕西 Shaanxi	0.4332	0.4605	0.4684	0.4820	0.4619	0.4728	0.4631	0.4548	0.4620	0.4765	0.4777
甘肃 Gansu	0.2795	0.2929	0.2786	0.3009	0.2945	0.2838	0.2804	0.2956	0.3109	0.3066	0.3138
青海 Qinghai	0.2638	0.2562	0.2641	0.2518	0.2564	0.2567	0.2525	0.2477	0.2445	0.2263	0.2469
宁夏 Ningxia	0.2919	0.3002	0.3059	0.3212	0.3147	0.2397	0.2653	0.2741	0.2789	0.2881	0.3012
新疆 Xinjiang	0.2930	0.2940	0.2956	0.2999	0.3171	0.3117	0.3221	0.3189	0.3267	0.3250	0.3151

表中数据显示, 各省区土地利用可持续性系数总体较小, 土地利用可持续程度也普遍较低。1998 年仅有山东、陕西实现土地利用从不可持续性向可持续性过渡的临界状态(Ⅱb), 其余 29 个省区均呈现不同程度的不可持续状态, 其中, 山西、上海、海南、贵州、云南 5 省区则呈强不可持续利用状态; 至 2008 年, 绝大多数省区土地利用可持续性有了不同程度的增强趋势, 但山西、

上海、贵州 3 省区在波动变化中仍呈现强不可持续性, 表明该 3 省区发展中对土地产出的消耗远高于土地的实际承载能力, 出现了较强的土地利用赤字现象。虽然其余 29 省区土地利用的可持续状态有了不同程度的上升趋势, 但仍处于不可持续状态。由此可见, 近 10 余年来, 中国通过土地整理和整治、农地流转和保护、高标准农田建设、土地复垦、土地利用分区与差别化的土地利用政

策等政策与措施加强转变土地利用方式, 土地生产能力与集约利用水平有了显著提升, 土地可持续利用程度有了较为明显的增强, 但总体上仍处于不可持续状态, 各省区均出现了不同程度的土地利用赤字现象。

从数据计算结果看, 研究期内各省区人均生态足迹 (nhaef) 的平均值均高于人均生态承载力 (nhaec) 的平均值, 两者均相差 1 倍以上, 其中, 相差 3 倍以上的省区就有 11 个, 上海则高达 7 倍以上, 为各省区之最。但从年均增长率来看, 人均生态足迹的年均增长率高于人均生态承载力的省区有天津、山西、辽宁、吉林、上海、江苏、浙江、山东和青海 9 省区, 其余 22 省区则低于人均生态承载力的年均增长率, 且相差较小。由此可得出, 导致各省区土地利用出现赤字现象的主要原因就是人均生态足迹的本底基数较大, 且人均生态足迹和人均生态承载力的变化率相差较小。然而, 人口的较快增长也会使生态足迹不断升高, 与变化相对稳定且缓慢的生态承载力相比, 生态足迹的变化更为显著。因此, 人口数量较快增长也是导致各地区土地利用产生赤字的重要因素。

### 3.1.2 绝大多数省区土地利用可持续性呈上升态势但增速不平衡

从土地利用可持续性系数的年均变化情况看 (图 1), 天津、山西、辽宁、吉林、上海、江苏、浙江、山东、青海 9 省区均呈下降态势, 其中, 上海、江苏、浙江年均下降超过 1%, 江苏下降率则达到 2.25%。与此同时, 22 省区则呈现上升态势, 按增速大小大致可分为 4 类地区, 增长缓慢的地区主要包括河北、安徽、福建、湖北、广东、贵州、西藏、陕西、宁夏和新疆 10 省区, 其土地利用可持续性系数年均增长率均低于 1%; 增长较缓慢的地区主要包括北京、黑龙江、河南、重庆、四川、云南和甘肃 7 省区, 其土地利用可持续性系数年均增长率介于 1%~2% 之间; 增长较快的地区主要包括内蒙古、江西、湖南、广西 4 省区, 其土地利用可持续性系数年均增长率介于 2%~4% 之间; 增长快的地区仅有海南, 其土地利用可持续性系数年均增长率达到 6.04%。从表 2 数据还可以看出, 北京、内蒙古、江苏、浙江、江西、山东、广西、海南、重庆和宁夏等 10 省区变化幅度较大, 但除江苏、浙江、山东在波动变化中呈下降趋势外, 其他 7 省区则在较大波动变化中呈现上升态势, 其中, 海南波动幅度最大。

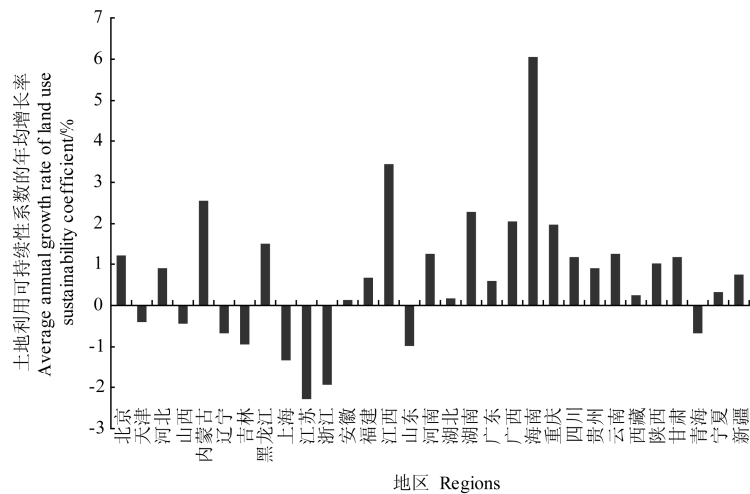


图 1 1998 - 2008 年中国 31 个省区土地利用可持续性系数的年均增长率

Fig.1 Average annual growth rate of land use sustainability coefficient of Chinese 31 provinces from 1998 to 2008

近 10 余年来, 在新型工业化和城镇化双重驱动下的区域发展模式给土地资源高效、集约、持续、科学利用带来了诸多困难与挑战, 主要集中体现在城镇土地“摊大饼”式的“圈地”利用和农村“空心村”及大量闲置土地的浪费 2 个方面, 这将严重影响区域土地生态承载力的提升进而制约着区域土地的可持续利用。尽管国家和各级各类区域为解决这些难题出台了系列土地利用政策和措施, 但短期内效果并不突出。纵然如此, 也有近 71% 的省区土地利用可持续性呈现上

升态势, 虽然增速不平衡且部分省区波动较大, 但总体上是朝着有利于土地可持续利用的方向发展的。

## 3.2 土地利用可持续性的空间格局及其演变特征

### 3.2.1 土地利用可持续性具有明显的空间带状格局且变幅较小

根据表 2 数据, 并结合表 1 的判断标准, 运用 ArcGIS 10.0 软件绘制出中国 1998 年、2000 年、2005 年和 2008 年土地利用可持续程度的空间格局地图 (图 2)。

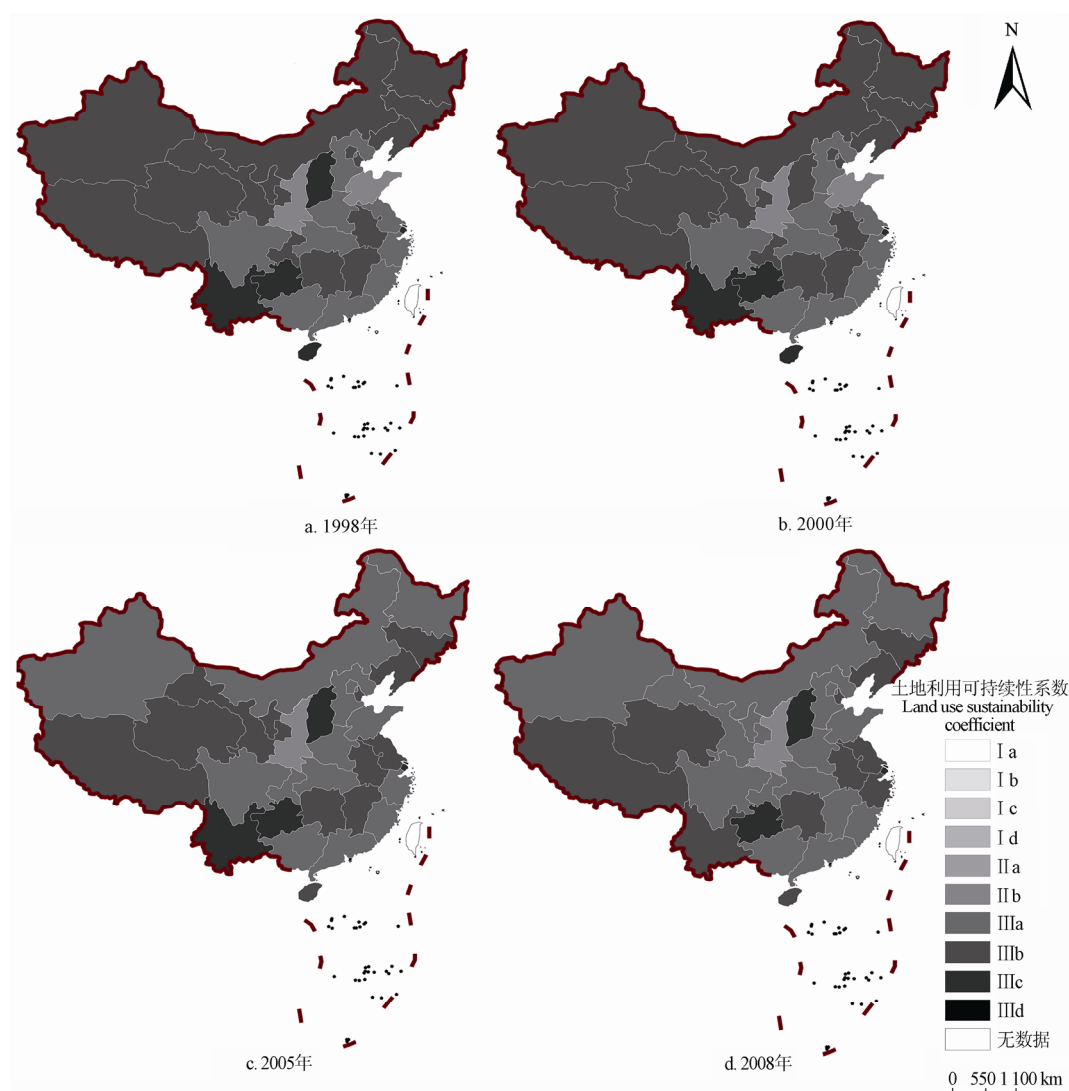


图2 1998—2008年中国31个省区土地利用可持续状态的空间格局

Fig.2 Spatial pattern for land use sustainability from 1998 to 2008 in Chinese 31 provinces

图中显示, 1998—2000年间, 除山西、宁夏分别呈现由强不可持续性(IIIc)向中度不可持续性(IIIb)演变和由中度不可持续性(IIIb)向轻度不可持续性(IIIa)演变外, 其余29省区的土地利用可持续程度均未发生变化, 但绝大多数省区土地利用的可持续性系数呈现上升趋势, 且空间上呈现出明显的带状格局特征。主要体现在: 1) 有48%的省区其土地利用处于中度不可持续性(IIIb), 主要分布于东北、西北等地区; 2) 有32%的省区其土地利用处于轻度不可持续性(IIIa), 主要分布于东部沿海地区; 3) 西南地区主要以强不可持续性(IIIc)为主; 4) 中部地区则呈现多种可持续利用类型。2000—2005年间, 有32%的省区其土地利用可持续程度发生了变化, 且大都呈现增强趋势, 空间格局也有了较为明显的演变, 其中, 东北和西北地区变幅明显, 其他地区带状分布格局依然明显且变幅较小。2005—

2008年间, 有16%的省区土地利用可持续程度继续发生变化, 且也呈现增强趋势, 空间格局有了较小的变动, 主要体现在西北部分省区和中部部分省区。从上述演变特征可以看出, 研究期内中国土地利用可持续性在空间上呈现明显的带状格局, 总体来看, 土地可持续利用程度从高到低排序依次为东部沿海地区>东北地区>中部地区>西部地区, 局部省区虽有变化, 但总体格局变幅较小。明显的空间带状格局表明各省区土地资源可持续利用程度具有一定的空间关联性, 这种关联性与区域自然环境(如地貌、气候、土壤等)、经济环境(如产业、交通、城镇等)和社会文化环境(如人口、社会、文化等)在空间上具有近趋同性或趋同性有很大关系。例如东部沿海地区属于中国开发较早的区域, 人口聚集程度、经济社会发展水平均较高, 同时其土地开发利用强度也较大, 土地利用结构不

断优化,土地的经济产出也较高且增速较快,因此,该区域土地可持续利用程度也较高;东北地区拥有中国第一大平原——东北平原,是具有举足轻重地位的粮食主产区之一,土地利用以耕地为主,建设用地较快增长,加上国家的政策、技术、资金等支持,土地可持续利用程度也不断增强;中部地区为低山丘陵和平原相间分布,地形因素会给土地利用结构和模式带来较大影响,土地利用类型呈多样化趋势,致其土地利用可持续程度也呈现多类型态势;西部地区土地利用受地形因素则更加明显,加上生态脆弱、环境复杂、土地资源开发利用难度大等因素,其土地利用可持续程度总体偏低。

### 3.2.2 土地利用可持续性的空间格局不断优化且呈良性演变趋势

近 10 余年来,土地利用可持续程度处于 IIb、IIIc、IIIb 和 IIIa 的地区所占比例由 7%、16%、48% 和 29% 逐渐演变为 3%、10%、35% 和 52%,其中,处于 IIb、IIIc、IIIb 的省区分别下降了 4 个百分点、6 个百分点和 13 个百分点,而处于 IIIa 的省区则上升了 23 个百分点,且上升的省区大都为中西部地区,表明在国家实施非均衡发展战略的指导下,伴随着西部大开战略的出台与实施,西部地区在土地利用和改造方面获得诸多的政策、资金、技术等支持,其土地利用结构不断优化、土地生产力较快提升,土地利用效率、集约利用水平和可持续利用水平均有不同程度的上升,实现土地利用的区域互补,促使了中国土地利用可持续性的空间格局整体上得到不断优化并呈良性演变趋势。

## 4 结论与讨论

本文运用基于“国家公顷(nha)”改进的生态足迹模型构建土地利用可持续性系数,以此对中国省域土地利用可持续状况进行综合评价并揭示中国土地利用可持续状态的时空格局及演变特征。通过以上分析,得出以下基本结论:

1) 从土地利用可持续状态看,近 10 余年来各地区土地利用可持续性总体偏低且出现不同程度的赤字现象。人均生态足迹的本底基数较大,且人均生态足迹和人均生态承载力的变化率相差较小是导致土地利用产生赤字的主要因素,人口较快增长也是一个重要因素。贸易和区域互补可为减少或消除土地利用产生的赤字提供了重要的解决路径。从支撑区域土地可持续利用的生态承载力来看,其变化是由区域自身的自然条件、土地利用/土地覆盖变化(LUCC)、人口规模、产业结构、社会发展水平等因素综合决定的,其本身不具有可交易性。但生态足迹是从对生态生产性土地产品的消费来

衡量的,是可以交易的,通过贸易实现对生态生产性土地产品消费的区域互补,可平衡区域的生态足迹进而减少土地利用产生的赤字,进一步增强区域土地可持续利用程度。

2) 从土地利用可持续性的时间变化看,在研究的 31 个省区中,约有 71% 的省区土地利用可持续性呈现上升态势,但增速不平衡,按增速大小大致分为 4 类地区,增长缓慢( $<1\%$ )和较缓慢( $1\% \sim 2\%$ )地区主要集中在东南沿海地区、中部部分地区和西部大部分地区,增长较快( $2\% \sim 4\%$ )和快( $>4\%$ )的地区主要集中在海南、内蒙古和部分中部省区。土地利用可持续性系数的变化幅度较大的省区主要有北京、内蒙古、江苏、浙江、江西、山东、广西、海南、重庆和宁夏等 10 省区。

3) 土地利用可持续性具有明显的空间带状格局,总体来看,土地可持续利用程度从高到低排序依次为东部沿海地区 $>$ 东北地区 $>$ 中部地区 $>$ 西部地区,局部省区虽有变化,但总体格局变幅较小。

4) 近 10 余年来,土地利用处于 IIb、IIIc、IIIb 的省区分别下降了 4 个百分点、6 个百分点和 13 个百分点,而处于 IIIa 的省区则上升了 23 个百分点,且上升的省区大都为中西部地区,土地利用可持续性的空间格局不断优化且呈良性演变趋势。

作为区域土地可持续利用评价常用的研究方法,生态足迹模型本身也存在一些问题并在学术界引起广泛争议,但该方法以其概念的形象性和内涵的丰富性、理论的新颖性、方法可操作性强、可进行横向和纵向比较等优点仍成为当前国内土地可持续利用研究的热点方法之一。基于“国家公顷”改进的生态足迹模型切实反映了中国土地的实际生态生产力,以此构建土地利用可持续性系数,能真实反映所研究区域土地利用的可持续程度。此外,基于生态足迹的区域土地利用可持续性是从土地的支撑能力与人类对土地产出的消费能力的关系进行评价,更偏向于土地利用的生态可持续性,今后应加强土地利用可持续性评价的综合研究,将经济可持续性、社会可持续性纳入到土地利用可持续性评价中,以更好的反映土地利用的综合属性。

### [参 考 文 献]

- [1] 陈百明, 张凤荣. 我国土地利用研究的发展态势与重点领域[J]. 地理研究, 2011, 30(1): 1—9.  
Chen Baiming, Zhang Fengrong. Trend and priority areas in land use research of China[J]. Geographical Research, 2011, 30(1): 1—9. (in Chinese with English abstract)
- [2] FAO. FESLM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management[R]. Rome: World Soil Resources Report No.73, 1993.
- [3] 刘彦随. 区域土地利用优化配置[M]. 北京: 学苑出版社, 1999: 46.

- [4] 刘彦随, 郑伟元. 中国土地可持续利用论[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 2—3.
- [5] 余敦, 陈文波. 江西省土地利用可持续性评价与时空特征研究[J]. 中国土地科学, 2009, 23(4): 43—47, 69. Yu Dun, Chen Wenbo. Study on land use of sustainability appraisal and spatiotemporal features in Jiangxi Province[J]. China Land Science, 2009, 23(4): 43—47, 69. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陈百明, 张凤荣. 中国土地可持续利用指标体系的理论与方法[J]. 自然资源学报, 2001, 16(3): 197—203. Chen Baiming, Zhang Fengrong. Theory and methodology for sustainable land use indicator system in China[J]. Journal of Natural Resources, 2001, 16(3): 197—203. (in Chinese with English abstract)
- [7] 刘康. 土地利用可持续性评价的系统概念模型[J]. 中国土地科学, 2001, 25(6): 19—23. Liu Kang. System conceptual model of land use sustainability[J]. China Land Science, 2001, 25(6): 19—23. (in Chinese with English abstract)
- [8] 蔡运龙, 李军. 土地利用可持续性的度量: 一种显示过程的综合方法[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 305—313. Cai Yunlong, Li Jun. Measurement of land use sustainability: A comprehensive method representing processes[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(2): 305—313. (in Chinese with English abstract)
- [9] 毛德华, 夏军, 王立辉, 等. 洞庭湖洪涝高风险区土地可持续利用评价研究[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 46—51. Mao Dehua, Xia Jun, Wang Lihui, et al. Evaluation of sustainable land use in the region with high risk of the flood and water logging in the Dongting Lake[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2005, 21(7): 46—51. (in Chinese with English abstract)
- [10] 刘芳, 张红旗. 我国农产品主产区土地可持续利用评价[J]. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1138—1153. Liu Fang, Zhang Hongqi. Sustainability assessment of land use in main agricultural production regions in China[J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(7): 1138—1153. (in Chinese with English abstract)
- [11] 刘庆, 陈利根. 长株潭地区土地可持续利用综合评价及空间分区[J]. 农业工程学报, 2013, 29(6): 245—253. Liu Qing, Chen Ligen. Comprehensive evaluation and spatial partition of sustainable utilization of land in Chang-Zhu-Tan region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(6): 245—253. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陈士银, 周飞, 吴雪彪. 基于绩效模型的区域土地利用可持续性评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(6): 249—253. Chen Shiyin, Zhou Fei, Wu Xuebiao. Evaluation of regional land use sustainability based on performance model[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(6): 249—253. (in Chinese with English abstract)
- [13] 赵艳, 濮励杰, 张健, 等. 基于三角模型的城市土地可持续利用评价: 以江苏省无锡市为例[J]. 经济地理, 2011, 31(5): 810—815, 838. Zhao Yan, Pu Lijie, Zhang Jian. Triangle model evaluation of urban land sustainable use: A case study of Wuxi, Jiangsu[J]. Economic Geography, 2011, 31(5): 810—815, 838. (in Chinese with English abstract)
- [14] 吴健生, 冯喆, 黄力, 等. 基于 CLUE-S 模型框架的土地可持续利用情景预测: 以阳泉市郊区为例[J]. 资源科学, 2011, 33(9): 1699—1707. Wu Jiansheng, Feng Zhe, Huang Li, et al. CLUE-S based scenario prediction on sustainable land use: A case study of suburban district, Yangquan City[J]. Resources Science, 2011, 33(9): 1699—1707. (in Chinese with English abstract)
- [15] 常欣, 程序, 邱化蛟, 等. 计算机模拟模型在黄土丘陵区土地可持续利用中的实证研究[J]. 农业工程学报, 2003, 19(4): 295—298. Chang Xin, Cheng Xu, Qiu Huajiao, et al. Case study of using computerized simulation model in land-use research on Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2003, 19(4): 295—298. (in Chinese with English abstract)
- [16] 曾伟. 3S 技术在土地利用可持续发展进程中的应用探讨[J]. 测绘科学, 2012, 37(2): 191—193. Zeng Wei. Discussion on application of 3S in process of land use sustainable development[J]. Science of Surveying and Mapping, 2012, 37(2): 191—193. (in Chinese with English abstract)
- [17] 中国土地学会. 2009—2010 土地科学学科发展报告[R]. 北京: 中国科学技术出版社, 2010: 82.
- [18] 刘艳中, 李江风, 张祚, 等. 生态足迹模型在我国土地可持续利用评价中的应用及启示[J]. 地理与地理信息科学, 2008, 24(1): 80—84. Liu Yanzhong, Li Jiangfeng, Zhang Zuo, et al. Application and enlightenments on sustainable land utilization assessment based on ecological footprint approach in China[J]. Geography and Geo-Information Science, 2008, 24(1): 80—84. (in Chinese with English abstract)
- [19] Wackernagel M, Rees W E. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth[M]. Gabriola Island: New Society Publishers, 1996.
- [20] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, et al. National natural capital accounting with the ecological footprint concept[J]. Ecological Economics, 1999, 29(3): 375—390.
- [21] 张志强, 徐中民, 程国栋, 等. 中国西部 12 省(区市)的生态足迹[J]. 地理学报, 2001, 56(5): 599—610. Zhang Zhiqiang, Xu Zhongmin, Cheng Guodong, et al. The ecological footprints of the 12 Provinces of West China in 1999[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(5): 599—610. (in Chinese with English abstract)
- [22] 顾晓薇, 王青, 刘建兴, 等. 基于“国家公顷”计算城市生态足迹的新方法[J]. 东北大学学报: 自然科学版, 2005, 26(4): 295—298. Gu Xiaowei, Wang Qing, Liu Jianxing, et al. New method of urban ecological footprint calculation based on “National Hectare”[J]. Journal of Northeastern University: Natural Science, 2005, 26(4): 295—298. (in Chinese with English abstract)
- [23] 张恒义, 刘卫东, 王世忠, 等. “省公顷”生态足迹模型中均衡因子及产量因子的计算: 以浙江省为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1): 82—92. Zhang Hengyi, Liu Weidong, Wang Shizhong, et al. Calculation and analysis of equivalence factor and yield factor of ecological footprint based on Sub-national Hectare: A case study of Zhejiang[J]. Journal of Natural Resources, 2009, 24(1): 82—92. (in Chinese with English abstract)
- [24] 谢鸿宇, 王羚. 足迹评价模型的改进与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 1—11.

- [25] 刘一苏. 基于生态足迹的武汉市土地可持续利用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.  
Liu Yisu. Research on Sustainable Land Use in Wuhan City Based on Ecological Footprint[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张玉启. 基于生态足迹方法的四川省土地资源可持续利用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.  
Zhang Yuqi. The Study of Sustainable Use of Land Resources Based on "Ecological Footprint" in Sichuan Province[D]. Chongqing: Southwest University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [27] 白立佳. 基于改进生态足迹模型的土地可持续性时空演变研究——以怀来县为例[D]. 保定: 河北农业大学, 2012.  
Bai Lijia. Sustainable Land Spatial-Temporal Evolution Based on Improved Ecological Footprint Model: A Case Study of Huailai County[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [28] 赵兴国, 潘玉君, 王爽, 等. 云南省耕地资源利用的可持续性及其动态预测——基于“国家公顷”的生态足迹新方法[J]. 资源科学, 2011, 33(3): 542—548.  
Zhao Xingguo, Pan Yujun, Wang Shuang, et al. Dynamic analysis of sustainability of arable land resources use in Yunnan province[J]. Resources Science, 2011, 33(3): 542—548. (in Chinese with English abstract)
- [29] 刘某承, 李文华. 基于净初级生产力的中国各地生态足迹均衡因子测算[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(5): 401—406.  
Liu Moucheng, Li Wenhua. Calculation of equivalence factor used in ecological footprint for China and its provinces based on net primary production[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2010, 26(5): 401—406. (in Chinese with English abstract)

## Evaluation of regional land use sustainability and its spatial-temporal pattern among provinces in China

Zhao Xingguo<sup>1</sup>, Pan Yujun<sup>2\*</sup>, Ding Sheng<sup>3</sup>, Liu Shufen<sup>1</sup>, Duan Ruting<sup>1</sup>, Wei Qun<sup>1</sup>, Su Hua<sup>1</sup>

(1. College of Resource and Environment, Baoshan University, Baoshan 678000, China; 2. Department of Tourism and Geography, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China; 3. College of Business, Honghe University, Mengzi 661100, China)

**Abstract:** Land sustainable use is the core content and important basis of regional sustainable development. We made a quantitative evaluation of regional land use sustainability, and the research results can provide a scientific basis for making strategies, policies, and countermeasures of land sustainable use. In order to explore the degree of land sustainable use and its spatial-temporal pattern in Chinese provinces, with the ecological footprint model based on an improved “national hectare,” this study constructed a land use sustainability coefficient, and evaluated the state of sustainable land use of Chinese provinces, with a time span from 1998 to 2008. We adjusted the unit of measurement of yield factor and equivalence factor of ecological footprint model, that is, we adjusted a global hectare to a national hectare, and further calculated a per capita ecological footprint and a per capita ecological capacity. We finally stated a land use sustainability coefficient for using a per capita ecological capacity divided by the sum of a per capita ecological footprint and a per capita ecological capacity. Using the evaluation results as the basis, with a ArcGIS 10.0 software platform, this paper drew a spatial-temporal pattern map of the degree of land sustainable use in Chinese provinces, and analyzed the spatial data. The results showed that: From the temporal variation characteristics, the degree of land sustainable use was generally relatively low in Chinese provinces, and there appeared to be a land-use deficit phenomenon in different degrees, the degree of land sustainable use showed a rising trend for nearly 71% of Chinese provinces, but their growth was not balanced, and some of them showed larger changes. From the spatial pattern and its evolution characteristics, the degree of land sustainable use in the eastern coastal regions, northeast regions, central regions, and western regions showed a progressively declining trend. Although the local provinces of China had some changes, the overall spatial pattern showed minor changes. Those provinces in which the degree of land was in II b, IIIc and IIIb were decreased by 4, 6, and 13 percentage points. On the contrary, in these provinces in which the degree of land was in IIIa, were increased by 23 percentage points, and were mostly in the central and western regions. The spatial pattern of the land use sustainability coefficient presented a continuous optimization and showed a benign development trend. However, the cardinal number of a per capita ecological footprint was higher, and the rate of change of a per capita ecological footprint and a per capita ecological capacity had a smaller gap. These two reasons became a major factor of a land use deficit, and a rapid growth of population was also an important factor. Trade and regional complementarities can solve this problem. This study provides a scientific basis and decision-making reference for creating strategies, policies, and measures of land development and sustainable use in Chinese provinces.

**Key words:** land use; models; ecology; sustainable assessment; spatial-temporal pattern

(责任编辑: 刘丽英)