

# 武汉城市圈土地碳平衡适宜性评价及潜力分析

余光英<sup>1</sup>, 员开奇<sup>2</sup>

(1. 中南财经政法大学 武汉学院, 武汉 430079; 2. 华中农业大学 土地管理学院, 武汉 430070)

**摘要:**碳排放的不断增加导致了全球变暖等诸多气候问题,土地是碳排放的载体,土地利用方式对碳排放量有着重要的影响。运用文献分析法查找有关土地适宜性评价的相关研究,将碳平衡引入土地适宜性评价中,建立了城市圈土地碳平衡适宜性评价指标体系。应用全排列多边形图示指标法,分别从碳源和碳汇两个角度对武汉城市圈各城市的土地适宜性进行了评价,研究发现,碳汇适宜性较高的城市有咸宁市、黄冈市和孝感市,碳源适宜性较高的城市有仙桃市、潜江市、天门市,通过图示可以直观地发现各城市的优势和不足。以土地利用结构和土地碳排放当量为依据估算各城市碳源碳汇总量,通过计算平衡因子、碳源碳汇比例等综合指标分析各城市土地碳平衡潜力,结果显示,各城市碳平衡潜力差异显著,工业较发达地区在碳平衡方面一般处于劣势。在城市圈发展中,区域整体的碳平衡更有利于实现城市圈的协同发展。

**关键词:**土地管理; 土地适宜性评价; 碳平衡; 全排列多边形图示指标法; 潜力分析

中图分类号:F301.2

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2013)06-0271-06

## Suitability Evaluation on Land Carbon Balance and Potential Analysis in Wuhan City Circle

YU Guang-ying<sup>1</sup>, YUAN Kai-qi<sup>2</sup>

(1. Wuhan College, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430079, China;

2. College of Land Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** Increasing carbon emissions has led many climatic issues such as global warming. Land is the carrier of carbon emissions, and different types of land uses have important effects on carbon emissions. Literature analysis was used to find land suitability evaluation study, carbon balance was taken into land suitability evaluation, and the index system of city circle land suitability evaluation was established based on the carbon balance. Full array polygon icon Law was used to make an objective evaluation from the two aspects of carbon sources and sinks land suitable for the city of Wuhan city circle. The carbon sinks high suitability cities are Xianning City, Huanggang City, Xiaogan City, while the carbon source high suitability cities are Xiantao City, Qianjiang City, Tianmen City. It can be very convenient to find out the advantages and disadvantages of cities in carbon balance. Estimation of the amount of carbon source and carbon sink by each city land use types and land carbon equivalent can reflect the potential of the city in the carbon balance by calculating the balance factor, carbon balance potential differences of cities are significant. The more developed industrial areas are generally at a disadvantage in terms of carbon balance. In the development of city circle, carbon balance of the region as a whole is more conducive to the realization of the coordinated development of the city circle.

**Key words:** land management; land suitability assessment; carbon balance; full array polygon indicators method; potential analysis

土地是人类经济社会发展的载体,土地利用类型变化。碳排放是土地利用类型影响生态效益的重要因素,林地、草地等主要碳汇用地类型面积急剧减少,土地质量的降低导致了地区生态环境的剧烈

收稿日期:2013-03-07

修回日期:2013-04-15

资助项目:教育部人文社科基金课题(11YJC790253);湖北省教育厅人文社科研究课题(2011JYTE247);中央高校基本科研业务费专项基金资助(2013SC32)

作者简介:余光英(1972—),女,湖北宜昌人,博士研究生,研究员,主要研究方向:低碳经济、区域发展。E-mail:jackrunc@gmail.com

通信作者:员开奇(1990—),男,河北唐山人,在读硕士研究生,主要研究方向为耕地保护及城市圈土地利用。E-mail:512570486@qq.com

建设用地等碳源用地类型面积不断扩张,使得原有的碳平衡状态被打破。低碳经济是生态文明建设的重要组成部分,是实现土地资源可持续利用的主要途径,土地适宜性评价已有较长的研究历史,世界粮农组织早在1993年颁布的《土地利用规划指南》中就指出,土地适宜性评价做为土地利用规划的基础,对土地资源的合理利用起着关键作用。近些年,土地适宜性评价的研究成果越来越丰富,整体呈现出研究视角趋于多元化、评价方法不断突破和创新的特点。

在研究视角方面,申金山等<sup>[1]</sup>基于城市的宜居视角开展了城市土地适宜性评价;崔凤军等<sup>[2]</sup>将旅游用地作为评价对象,综合考虑了对旅游影响较大的社会、文化、心理、生态、经济等因素,定义了旅游环境承载能力的概念。此外,还有不少学者基于景观生态学理论、可持续发展理论等视角开展土地适宜性评价研究。随着生态文明建设的日益深入,包括低碳经济在内的生态土地利用评价等的研究越来越多,例如,钟林生等<sup>[3]</sup>将景观生态学理论引入生态旅游适宜性评价中,指出发展旅游业要以保持生态健康为前提,以确保生态环境的稳定安全;赵德华等<sup>[4]</sup>总结已有的关于陆地生态系统碳平衡的主要研究方法,分别从“自下而上”和“自上而下”两个角度对已有研究进行了分类并分析了各研究方法的优劣;杨立等<sup>[5]</sup>以河北省曲周县为例,估算了曲周县碳汇和碳源量,并定性分析了区域内碳平衡潜力,利用GIS的叠加分析法对区域内碳汇适宜性进行了评价;卢娜<sup>[6]</sup>系统研究了土地利用变化对碳排放的影响,分别分析了土地非农化的碳排放效应、土地利用技术变化碳排放效应、土地利用结构碳排放效应。低碳经济对土地适宜性评价的影响不断加深,基于低碳视角的土地问题研究对指导土地资源的可持续利用的作用日益凸显。

在评价方法上,主要考虑的是如何确定评价体系的权重,确定权重的方法主要有层次分析法、德尔菲法、模糊综合评判法、限制评分法、人工神经网络、物元模型、数据流<sup>[7]</sup>等,线性回归也是一种常用的方法,但该方法要求的样本量较大,实用性不强;GIS技术为土地适宜性评价带来了革命性的进步,它可将空间数据与属性数据结合获得综合的评价结果,宋如华等<sup>[8]</sup>建立了朔州市平鲁区的土地资源管理信息系统,运用GIS技术对空间指标进行了量化处理,与属性数据相结合进行了土地适宜性评价,并进一步将研究成果用于城市布局优化。土地适宜性评价是土地利用结构优化的前期,客观科学的土地适宜性评价可以为土地利用结构的合理布局提供指导。在低碳经济的指导下,基于适宜性评价的土地利用结构优化研究

也有很多,余德贵等<sup>[9]</sup>以经济快速发展的区域为研究对象,建立了区域土地利用结构的低碳优化模型,以江苏泰兴市为例进行了分析验证,结果较好地满足了土地可持续利用的目标,为低碳土地利用结构优化提供了新的方法。汤洁等<sup>[10]</sup>采用生态系统类型法对吉林省通榆县的有机碳储量进行了估算,分析了土地利用变化对碳储量的影响,并采用线性规划的方法对土地利用进行了优化,获得了可行的土地利用方案。

土地碳平衡适宜性评价研究是低碳土地利用研究的基础性工作之一,目的是综合研究区的碳平衡指标,挖掘研究区域土地利用在碳平衡方面的问题。区域之间的碳排放和吸收没有明显的边界,在研究碳平衡的适宜性评价问题时,应合理地界定研究区域。城市圈是地域上存在一定连接、协同发展的城市群,城市间发展中有一定的独立性和依存性,将城市圈作为碳平衡的研究对象能够合理地引导整个城市圈的协同发展<sup>[11]</sup>。本研究从城市圈碳平衡的视角出发,将碳源与碳汇引入土地适宜性评价中,以武汉城市圈为研究对象,分别评价各城市在碳源和碳汇两方面的适宜性,进一步分析各城市在组团发展中的优势和不足,做到优势互补,协调发展。

## 1 研究区域概况

### 1.1 武汉城市圈发展状况

武汉城市圈,又称“1+8”城市圈,包括武汉、鄂州、黄冈、孝感、咸宁、黄石、天门、仙桃、潜江9个城市,其中武汉为城市圈中心城市。武汉城市圈土地面积占全省的33%,人口总数为全省的51.6%,2008年武汉城市圈实现地区生产总值6972.11亿元,同比增长14.8%,占全省总量61.5%,在全省经济增长中处于重要地位。

### 1.2 土地利用结构

武汉城市圈总面积为57972 km<sup>2</sup>,是中部最大、发展条件最好的城市圈之一。土地利用面积最大的是耕地,其次是林地,水域和建设用地区次之,未利用地最少。武汉城市圈耕地面积达29321 km<sup>2</sup>,占总面积的50.58%,主要集中在中东部地区和黄冈,耕地面积最大的地区是黄冈和孝感,占总量的46.06%;林地面积达17535 km<sup>2</sup>,占总面积的30.25%,主要分布在南部和东北部,尤其是黄冈市,该地区林地面积占总面积高达43.43%,此外,咸宁也是林地分布较集中的地区;草地面积达1413 km<sup>2</sup>,占总面积的2.44%,分布较为集中,黄冈和咸宁的草地面积超过总量的80%;水域面积达5731 km<sup>2</sup>,占总面积的9.89%,武汉在水域分布中占有绝对优势,占总量的

30%;城乡、工矿、居民点用地面积达 3 722 km<sup>2</sup>, 占总面积的 6.42%, 各地区差异不明显, 除武汉外几乎均匀分布;未利用地为 251 km<sup>2</sup>, 占总面积的 0.43%。

2 土地碳平衡适宜性评价及潜力分析

武汉城市圈各城市间发展水平和方式存在显著差异, 武汉作为中心城市其土地利用情况极其复杂, 碳源碳汇严重失衡, 造成了较为严重的环境问题。咸宁市是典型的园林城市, 全市林地总面积达 5 612.86 km<sup>2</sup>, 占全市总面积的 61.98%, 碳汇资源丰富, 在碳平衡方面具有较大优势。土地碳平衡适宜性评价即将城市圈各城市的碳平衡能力进行对比, 综合各指标因素得到各城市在碳平衡方面的优势和不足。

2.1 评价指标体系

土地碳平衡适宜性评价指标体系包括 3 个子系统, 分别是经济系统、生态系统和社会系统, 根据评价目标确定各个分系统具体的指标体系。由于研究对象是碳平衡的适宜性, 所以两类适宜性评价体系均在生态系统中分别选取与碳平衡关系紧密的地均碳汇量和地均碳源量指标。

在碳汇适宜性评价指标体系中, 林草覆盖率和人均水资源量用来估算评价对象潜在碳汇能力, 是除碳汇量这一直接指标外与碳汇适宜性联系最紧密的两个指标, 将其选入碳汇适宜性评价指标中的生态子系统、在碳汇适宜性评价经济子系统中, 选取了与土地适宜性评价紧密相关的两个经济指标, 人均 GDP 和地均 GDP, 这两个指标代表了评价对象的生产力水平和土地开发效率, 是经济指标在土地适宜性评价中的典型代表; 社会子系统中选取了城市化率和人均公共基础设施建设投入, 以此分析评价对象在社会视角下的碳汇适宜性<sup>[12]</sup>。

在碳源适宜性评价指标体系中, 生态子系统除了考虑地均碳源量外, 还考虑了用自然灾害损失和建设用地年增量来衡量生态系统在适宜性评价中的作用, 这两个指标在一定程度上分别代表了评价对象的生态系统稳定性和土地利用的压力。经济子系统选取了经济发展中与能源相关的两个指标来进一步分解经济发展中的负面效应对碳源适宜性评价所起到的作用。社会子系统同样将社会指标与环境指标挂钩, 分别选取了垃圾清运量和废水排放量两个具体指标<sup>[13]</sup>。具体指标体系如表 1 所示。

2.2 数据来源及适宜性评价方法

本研究的数据来源主要有 2011 年中国城市统计年鉴<sup>[14]</sup>、2011 年湖北省统计年鉴<sup>[15]</sup>、2011 年湖北省国民经济与社会发展统计公报<sup>[16]</sup>等数据库。

表 1 土地碳平衡适宜性评价指标体系

| 目标                       | 一级指标      | 二级指标 | 三级指标                              |
|--------------------------|-----------|------|-----------------------------------|
| 土地利用<br>碳平衡<br>适宜性<br>评价 | 碳汇<br>适宜性 | 生态   | 地均碳汇量(N1)/(t·hm <sup>-2</sup> )   |
|                          |           |      | 林草覆盖率(N2)/%                       |
|                          |           |      | 人均水资源(N3)/m <sup>3</sup>          |
|                          |           | 经济   | 人均 GDP(N4)/元                      |
|                          |           |      | 地均 GDP(N5)/元                      |
|                          |           |      | 城市化率(N6)/%                        |
|                          | 碳源<br>适宜性 | 社会   | 人均公共基础设施投入(N7)/元                  |
|                          |           |      | 地均碳源量(N8)/(t·hm <sup>-2</sup> )   |
|                          |           |      | 气象灾害损失(N9)/亿元                     |
|                          |           | 生态   | 建设用地年增量(N10)/1000 hm <sup>2</sup> |
|                          |           |      | 单位 GDP 能耗(N11)/(t/万元)             |
|                          |           |      | 能源消耗总量(N12)/t                     |
|                          |           | 经济   | 工业废水排放量(N13)/t                    |
|                          |           |      | 年均垃圾清运量(N14)/t                    |

选择全排列多边形图示指标法作为适宜性评价方法, 全排列多边形图示指标法最早是由周伟等<sup>[17]</sup>提出的用于城市生态学的评价方法, 该方法与现有的其他多因素统计方法相比有较大优势, 以其计算简单、可视化效果好、综合性强等特点在经济发展评价、生态效益评价等问题中得到了广泛应用。

全排列多边形图示指标法中定义: 设有  $n$  个统计指标, 以  $n$  个指标的上限值为边界构成一个中心  $n$  边形, 将指标值连接, 构成了一个不规则的多  $n$  边形, 这个多  $n$  边形的顶点是  $n$  个指标的一个全排列,  $n$  个指标共可组成  $(n-1)!/2$  个不规则  $n$  边形, 综合评价指数等于这些不规则多  $n$  边形面积的均值除以中心多  $n$  边形的面积。

采用双曲线标准化函数对指标值进行标准化, 公式如下:

$$F(x)=\frac{a}{bx+c} \tag{1}$$

$$F(x) \text{ 满足: } F(x) \mid_{x=L}=-1, F(x) \mid_{x=T}=0,$$

$$F(x) \mid_{x=U}=1$$

式中:  $U$ ——指标上限值;  $T$ ——指标临界值;  $L$ ——表指标下限值。指标的上限根据相应指标的最大值确定, 指标的临界值根据相应指标的平均值确定, 指标的下限值根据相应指标的最小值确定。

双曲线标准化函数将指标值全部映射到  $[-1, +1]$ 。函数还改变了指标值的变化速度, 当指标值小于临界值时, 指标的增长速度逐渐变小, 当指标值大于临界值时, 指标的增长速度逐渐变大, 即指标值标准化后的变化规律为快慢快, 临界值位置为指标增长规律变化的临界点。

由上述条件可知, 标准化计算公式为:

$$F(x) = \frac{(U-L)(x-T)}{(U+L-2T)x+UT+LT-2UT} \quad (2)$$

对于指标  $i$ , 单项指标  $S_i$  的计算公式为:

$$S_i = \frac{(U_i-L_i)(x_i-T_i)}{(U_i+L_i-2T_i)x+U_iT_i+L_iT_i-2U_iT_i} \quad (3)$$

$n$  个顶点可以构成一个正  $n$  边形,  $n$  边形的顶点为标准化后各指标取最大值 1 的位置,  $n$  边形的中心为标准化后各指标值取最小值 -1 的位置, 顶点与中心连线中点构成的小  $n$  边形是各指标值的临界值, 将各评价对象的指标值在  $n$  边形的内部标出, 按序连接成  $n$  边形, 便形成了各对象的指标图示, 通过图示可以清晰地比较各对象间的指标差异。

全排列多边形综合指数  $S$  计算公式为:

$$S = \frac{\sum_{i \neq j}^{i,j} (S_i+1)(S_j+1)}{2n(n-1)} \quad (4)$$

式中:  $S$ ——综合指数;  $S_i$ ——第  $i$  项指标值;  $S_j$ ——第  $j$  项指标值;  $n$ ——指标的个数。全排列多边形综合指数是一种客观的评价方法, 在评价过程中没有涉及到主观性较强的权重确定问题, 使得评价结果最大可能地反映评价对象的真实水平。

### 2.3 评价结果分析

采用双曲线标准化函数对原始数据进行标准化, 利用标准化后的数据进行绘图, 通过图示可以观察到城市圈各城市间在碳源碳汇方面的对比情况, 利用全排列方法分别计算各城市在碳源和碳汇方面的综合评价指数, 结果如表 2 所示。

表 2 城市圈土地碳平衡适宜性综合评价指数

| 评价类型   | 武汉    | 黄石    | 鄂州    | 孝感    | 黄冈    | 咸宁    | 仙桃   | 潜江    | 天门    |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| 碳源评价指数 | 0.348 | 0.242 | 0.212 | 0.568 | 0.351 | 0.547 | 0.03 | 0.055 | 0.037 |
| 碳汇评价指数 | 0.023 | 0.012 | 0.045 | 0.097 | 0.117 | 0.244 | 0.03 | 0.055 | 0.037 |

综合评价指数中, 碳源评价指数越小评价结果越优, 碳汇评价指数越大评价结果越优。由表 2 可知, 碳源适宜性最高的城市是仙桃市, 碳源适宜性最低的城市是孝感市, 孝感市的建设用地、建设用地年增量、单位 GDP 能耗等指标值较高。碳汇适宜性最高的地

区是咸宁市, 碳汇适宜性最低的地区是黄石市, 黄石市是典型的工业城市, 林地、林草覆盖率、地均碳吸收量等指标明显低于其他城市。

利用 excel 绘制武汉城市圈土地适宜性全排列多边形评价结果(图 1—2)。

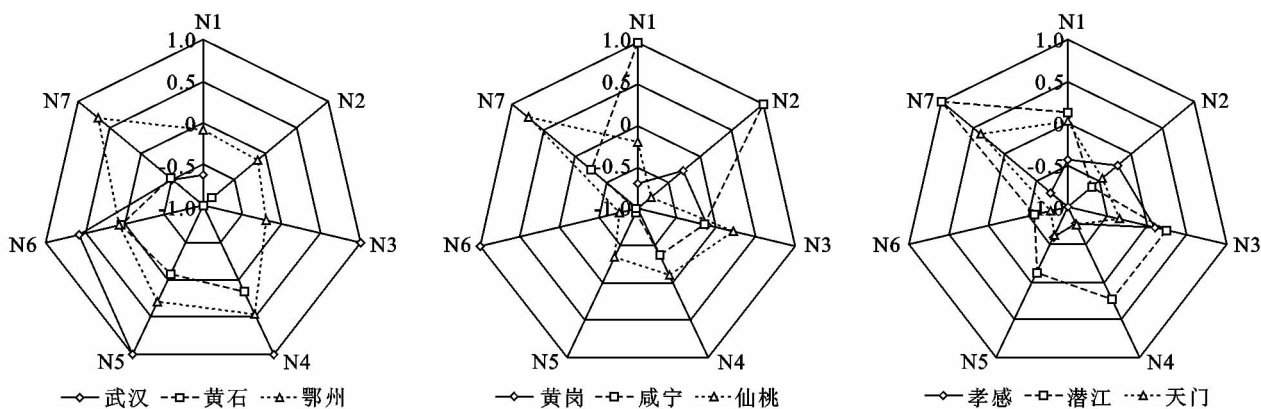


图 1 武汉城市圈土地碳源适宜性评价示意图

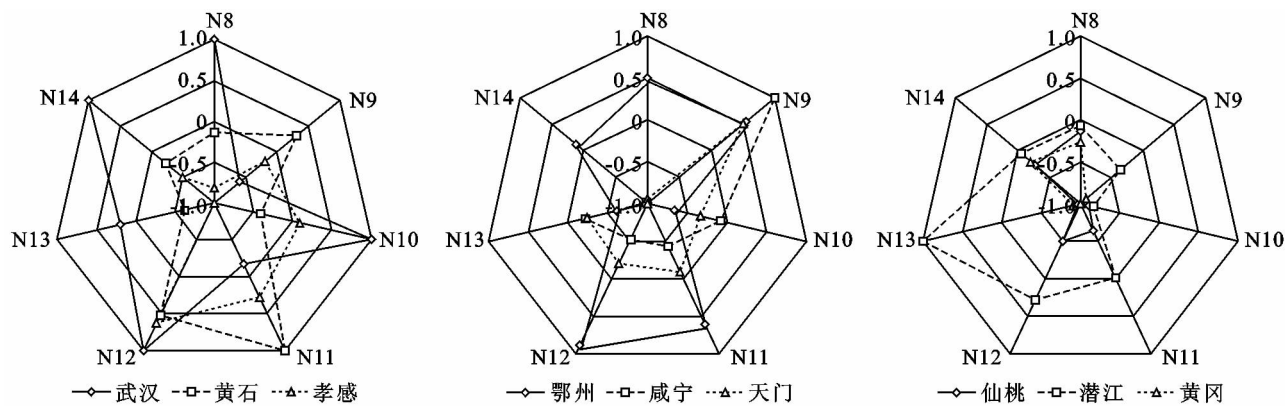


图 2 武汉城市圈土地碳汇适宜性评价示意图

由图 1 可知,仙桃市在建设用、地均碳排放、单位 GDP 能耗、能源消耗总量、工业废水排放总量等方面均明显低于其他城市,位于图示的偏中心位置,导致仙桃市的碳源适宜性较高;由图 2 可知,咸宁市林地、建成区绿地面积、林草覆盖率等方面具有显著优势,位于图示的外围,形成了咸宁市高碳汇水平的主要因素。

2.4 潜力分析

在城市圈内部,各城市之间发展水平不同、发展方向各有侧重,武汉市是中心城市,对于建设用地、工业用地的需求要高于其他地区,咸宁市是典型的农林城市,应更加注重对耕地和林地的保护,黄石市以工

业发展为主,工业污染、二氧化碳的直接排放量较高。各城市的发展优势不同,应立足整个城市圈的角度去研究碳平衡问题,针对各城市和城市圈整体土地利用类型的区别进行碳平衡潜力分析,研究各城市的平衡能力的差异以及城市圈整体的平衡潜力。

不同土地利用类型所呈现的碳平衡状态不同<sup>[18]</sup>,例如林地、在建设用、地均碳排放、单位 GDP 能耗、能源消耗总量、工业废水排放总量等方面均明显低于其他城市,位于图示的偏中心位置,导致仙桃市的碳源适宜性较高;由图 2 可知,咸宁市林地、建成区绿地面积、林草覆盖率等方面具有显著优势,位于图示的外围,形成了咸宁市高碳汇水平的主要因素。

表 3 武汉城市圈土地碳平衡因子对比表

| 平衡类型     | 武汉          | 黄石          | 鄂州          | 孝感          | 黄冈           |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 碳源总量/t   | 80115572.00 | 24974227.00 | 56579059.00 | 82129423.00 | 11483513.00  |
| 碳源所占比例/% | 24          | 7           | 17          | 24          | 3            |
| 碳汇总量/t   | 2301101.20  | 1530343.80  | 2436231.20  | 7282010.00  | 462031.59    |
| 碳汇所占比例/% | 12          | 8           | 12          | 27          | 2            |
| 平衡因子     | 0.03        | 0.06        | 0.04        | 0.09        | 0.04         |
| 平衡类型     | 咸宁          | 仙桃          | 潜江          | 天门          | 整体           |
| 碳源总量/t   | 31029494.00 | 19924860.00 | 11585704.00 | 19405873.00 | 337227726.00 |
| 碳源所占比例/% | 9           | 6           | 3           | 6           | 100          |
| 碳汇总量/t   | 4207024.80  | 510508.29   | 383845.99   | 507009.70   | 19620106.00  |
| 碳汇所占比例/% | 21          | 3           | 2           | 3           | 100          |
| 平衡因子     | 0.14        | 0.03        | 0.03        | 0.03        | 0.06         |

平衡因子是碳汇与碳源的比值,计算方程如下:

$$\epsilon = \frac{t_i}{t_0}$$

式中:ε——平衡因子;ti——碳汇总量;t0——碳源总量。平衡因子是反映研究对象碳平衡能力最直接的指标,平衡因子越大表示该地区碳平衡潜力越大<sup>[22]</sup>,反之亦然。

由各城市碳源估算结果(表 3)可知,城市圈碳源主要来自武汉市、孝感市和鄂州市,分别占总碳源的 24%、24%和 17%,碳源量最小的是天门市和黄冈市,仅占碳源总量的 3%。

由各城市碳汇估算结果(表 3)可知,仅孝感市和咸宁市的碳汇总量占城市圈总碳汇量的 48%,其他各市碳汇量分为两个水平,武汉市和鄂州市碳汇量均占总量的 12%,碳汇量较低的 4 个城市分别为黄冈市、仙桃市、天门市、潜江市,合计占 12%。

由平衡因子计算结果(表 3)可知,平衡因子位于后三位的分别是武汉市、天门市、仙桃市,位于前三位的分别是咸宁市、孝感市、黄石市。平衡因子值最大的咸宁市最小的仙桃市的 5.29 倍,由此可见,各城市的平衡因子差异显著,城市之间的互补能力比较突出。

城市圈整体的平衡因子值为 0.06,在各城市的对比中,平衡因子值低于整体情况的有武汉市、鄂州市、黄冈市、仙桃市、潜江市、天门市,高于整体情况的有黄石市、孝感市、咸宁市。实现城市圈内某一城市较高的碳平衡能力需要牺牲很多经济发展的优势,代价较高,但估算结果显示,通过整体的协调则可以达到较好的平衡效果。碳平衡问题具有区域性的特点,对碳平衡的研究必须着眼于区域的整体发展。

3 结论与讨论

3.1 结论

本研究针对武汉城市圈的土地利用状况,运用全排列多边形图示指标法,从碳平衡的视角分析了武汉城市圈土地利用的适宜性,主要得出以下结论:

(1) 武汉城市圈各城市间土地碳平衡适宜性存在较大差异。碳源适宜性较高的城市主要有仙桃市、潜江市、天门市,碳汇适宜性较高的城市主要有咸宁市、黄冈市、孝感市。武汉市碳汇适宜性综合评价指数为 0.023,处于较低水平,造成其水平较低的原因主要是林地面积较少<sup>[23]</sup>、森林覆盖率偏低,地均碳吸收量不足等。

(2) 武汉城市圈各城市间碳平衡潜力差异显

著<sup>[24]</sup>,平衡因子最大的城市是最小城市的 5.29 倍,其他各城市的碳平衡因子的数值分布也很离散。城市圈发展主要宗旨包括利用城市圈中心城市的集聚作用,带动其他城市的协调发展,实现经济、社会等方面的组团发展。在实现碳平衡目标方面,各城市发展优势不同,很难实现单一的城市高水平的碳平衡效果,城市圈整体的碳平衡是一种既不忽视各城市特色产业、又能有效实现低碳经济的发展模式。

### 3.2 讨论

(1) 各城市应优势互补,协同发展。城市圈发展的核心目的是发掘各城市在集群发展中的优势,实现优势互补,协同发展。碳平衡的控制也要着眼于区域,不能单单考虑实现某一地区较高水平的碳平衡而遏制发展较好但有一定碳排放的产业。部分地区为了倡导低碳,限制碳排放较高的产业发展,通过宏观调控来严控高碳排放土地的开发,一些不合理的调控在一定程度上阻碍了地区经济的可持续发展。

(2) 通过财政转移支付进行碳汇生态补偿。碳汇适宜性低多为经济发展的负面效应所致,碳汇适宜性高的地区为区域整体的生态效益在经济发展上做出牺牲,城市间应根据碳平衡作用的不同对碳汇适宜性较高的地区进行经济补偿,通过各城市间的财政转移支付弥补提供较高碳汇量的城市因保持地区生态稳定而造成的经济损失。

(3) 碳平衡适宜性评价结果可为城市圈土地利用结构优化和碳排放权分配提供指导。十八大报告指出,加强生态文明建设,要把资源消耗、环境损害、生态效益纳入经济社会发展评价体系。低碳经济是生态文明建设的一个重要组成部分,低碳经济的发展思路将对未来经济发展起到越来越重要的作用,研究结论中的碳平衡差异性、碳平衡适宜性、综合评价指数等成果可以在后续的基于低碳经济的土地利用结构优化和以控制碳排放量为目标的碳排放权分配等问题的研究中起到重要作用。

#### 参考文献:

- [1] 申金山,关柯,李峰.城市居住用地适宜性评价方法与应用[J].城市环境与城市生态,1999,12(2):29-31.
- [2] 崔凤军,刘家明.旅游环境承载力理论及其实践意义[J].地理科学进展,1998,17(1):86-91.
- [3] 钟林生,肖笃宁,赵士洞.乌苏里江国家森林公园生态旅游适宜度评价[J].自然资源学报,2002,17(1):71-77.
- [4] 赵德华,李建龙,齐家国,等.陆地生态系统碳平衡主要

研究方法评述[J].生态学报,2006,26(8):2655-2662.

- [5] 杨立,郝晋,琨艾东,等.基于区域碳平衡的土地利用结构调整:河北曲周县为例[J].资源科学,2011,33(12):2293-2301.
- [6] 卢娜.土地利用变化碳排放研究[D].南京:南京农业大学,2011.
- [7] 陈宏斐,陈竹安,张立亭.基于数据流的土地适宜性评价系统设计[J].水土保持研究,2010,17(2):208-211.
- [8] 宋如华,齐实,孙保平,等.区域土地资源的适宜性评价和空间布局[J].土壤侵蚀与水土保持学报,1997,3(3):23-30.
- [9] 余德贵,吴群.基于碳排放约束的土地利用结构优化模型研究及其应用[J].长江流域资源与环境,2011,20(8):911-917.
- [10] 汤洁,毛子龙,王晨野,等.基于碳平衡的区域土地利用结构优化:以吉林省通榆县为例[J].资源科学,2009,31(1):130-135.
- [11] 黄海,刘长城,陈春.基于生态足迹的土地生态安全评价研究[J].水土保持研究,2013,20(1):193-196.
- [12] 赖力.中国土地利用的碳排放效应研究[D].南京:南京大学,2010.
- [13] 薛进军.低碳经济学[M].北京:社会科学文献出版社,2011:6-11.
- [14] 中华人民共和国国家统计局.中国城市统计年鉴 2011[DB/OL].http://www.stats.gov.cn.
- [15] 湖北省统计局.湖北省统计年鉴 2011[DB/OL].http://www.stats-hb.gov.cn.
- [16] 湖北省统计局.湖北省国民经济与社会发展统计公报 2011[DB/OL].http://www.hubei.gov.cn/.
- [17] 周伟,曹银贵,乔陆印.基于全排列多边形图示指标法的西宁市土地集约利用评价[J].中国土地科学,2012,24(4):84-90.
- [18] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算[J].中国科学: D 辑,2007,37(6):804-812.
- [19] 谢高地,李士美,肖玉,等.碳汇价值的形成和评价[J].自然资源学报,2011,26(1):1-9.
- [20] 王莉,陈浮,陈海燕.低碳经济与土地集约利用的脱钩分析体系研究:以江苏省昆山经济开发区为例[J].水土保持研究,2012,19(4):218-222.
- [21] 游和远,吴次芳.土地利用的碳排放效率及其低碳优化[J].自然资源学报,2010,25(11):1875-1884.
- [22] 刘焱序,李春越,任志远,等.基于 LUCC 的生态型城市土地生态敏感性评价[J].水土保持研究,2012,19(4):125-130.
- [23] 刘忠秀,谢爱良.区域多目标土地适宜性评价研究:以临沂市为例[J].水土保持研究,2008,15(1):176-181.