

## 安徽省池州市土地利用碳排放演变及其影响因素

张勇<sup>1,2</sup> 张乐勤<sup>3\*</sup> 汪应宏<sup>1</sup> 陈发奎<sup>4</sup>

(1. 中国矿业大学 环测学院,江苏 徐州 221116; 2. 池州学院 政法管理系,安徽 池州 247100;  
3. 池州学院 资源环境与旅游系,安徽 池州 247100; 4. 池州学院 经济贸易系,安徽 池州 247100)

**摘要** 碳排放和土地利用密切相关。依据土地利用碳排放测算方法,测算池州市 2000—2010 年主要土地利用类型耕地、林地、牧草地和建设用地的碳排放量,同时对碳源、碳汇和净碳排放进行了测算,分析土地利用碳排放演变情况,计算地均碳排放强度和建设用地碳排放强度,并基于 STIRPAT 模型分析土地利用碳排放的影响因素。结果表明:1)2000—2010 年池州市碳排放总量呈逐年递增的趋势,碳排放总量由 2000 年的 35.835 4 kt 增加到 2010 年的 1 774.016 3 kt,碳排放总量递增主要以建设用地的碳排放递增为主,建设用地的碳排放量与碳排放总量具有趋同的变化趋势。2)2000—2010 年池州市碳汇能力基本稳定,碳源与碳汇的比例整体呈增加趋势,由 2000 年的 1.135 5 增加到 2010 年的 6.657 2。3)2000—2010 年池州市土地利用碳排放变化划分为缓慢增长、快速增长和平稳增长 3 个阶段。4)地均碳排放强度呈现缓慢增长趋势,而建设用地地均碳排放强度则呈现波动上升的趋势,地均碳排放强度、地均建设用地碳排放强度的增长与工业经济发展水平呈正相关关系。5)碳排放量和人口总量、人均 GDP 之间的线性相关关系十分显著,且人均 GDP 对碳排放量的解释程度要大于人口总量对碳排放量的解释程度。

**关键词** 土地利用; 碳排放; STIRPAT 模型; 池州市

中图分类号 F 124.5

文章编号 1007-4333(2014)02-0216-08

文献标志码 A

## Research on the carbon emission evolution of land use and its influential factors of Chizhou City in Anhui Province

ZHANG Yong<sup>1,2</sup>, ZHANG Le-qin<sup>3\*</sup>, WANG Ying-hong<sup>1</sup>, CHEN Fa-kui<sup>4</sup>

(1. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China;  
2. Political Legal and Management Department, Chizhou College, Chizhou 247000, China;  
3. Resource Environment and Tourism Department, Chizhou College, Chizhou 247000, China;  
4. Economic and Trade Department, Chizhou College, Chizhou 247100, China)

**Abstract** Land use is closely related to carbon emissions. According to the measurement method of land use carbon emissions, the carbon emissions of the main land use types were calculated, including cultivated land, woodland, grassland and land for construction from 2000 to 2010 in Chizhou City, and the carbon source, carbon sequestrate and the net carbon emissions were also calculated. Then land use carbon emission evolution was analyzed and land use carbon emission intensity was measured. Finally, based on the STIRPAT model, the influential factors of land use carbon emissions were analyzed. The results are as the followings. First, the total carbon emissions increased gradually from 2000 to 2010 in Chizhou City, the total carbon emissions had risen from 35.835 4 kt in 2000 to 1 774.016 3 kt in 2010, especially the carbon emissions of construction land increased notably. The total carbon emissions and the carbon emissions of construction land showed the same increasing trend. Second, the carbon sequestration remained stable

收稿日期: 2013-08-12

基金项目: 教育部人文社科面上一般项目(13YJA790003); 江苏省高校优势学科建设工程项目(SZBF2011-6-B35); 池州学院 2013 年度自然科学重点项目(2013ZRZ007)

第一作者: 张勇, 讲师, 博士研究生, 主要从事土地资源管理研究, E-mail: happy5401260@126.com

通讯作者: 张乐勤, 教授, 主要从事资源与环境经济研究, E-mail: zhangleqing@sohu.com

from 2000 to 2010, the proportion of carbon source and carbon sequestration appeared an increasing trend, which had risen from 1.135 5 in 2000 to 6.657 2 in 2010. Third, the changing process of land use carbon emissions was divided into three stages, including slow growth, rapid growth and stable growth stages. Forth, the land carbon emission intensity showed a trend of slow growth, and the construction land carbon emission intensity showed a fluctuant growth trend, and it was found that land use carbon emission intensity and industrial economic development level showed positively correlated relationship. Finally, the influential factors of land use carbon emissions were analyzed, it was found that linear correlation of carbon emissions versus population and GDP per capita was remarkably related, GDP per capita was the major cause of carbon emissions. It is also hoped to play a sample role in studying the driving factors of carbon emissions in other provincial administrative regions.

**Key words** land use; carbon emissions; STIRPAT model; Chizhou City

由于人类活动所导致的碳排放对全球碳循环的影响及全球气候变暖已经成为当前各国所共同关注的热点问题。实际上人类活动对碳循环的影响实质是通过改变土地利用方式进而改变能源消费格局,并最终影响碳排放的数量,如各种砍伐森林、开垦草地和城市无限扩张等非持续的土地利用活动改变了碳循环的平衡性,直接导致 CO<sub>2</sub> 排放量的增加<sup>[1]</sup>。据资料统计,在过去的 250 年里,世界人口迅猛增加和人类工业活动导致全球植被面积锐减,并引起大气 CO<sub>2</sub> 的排放量增幅约 30%<sup>[2]</sup>。在过去的 150 年间,土地利用方式变化所释放的碳约占同期因人类活动而释放到大气中的碳的 33%<sup>[3]</sup>。20 世纪 80 年代以来,全球土地利用方式的改变直接增加 CO<sub>2</sub> 排放约  $1.6 \times 10^9$  t。我国 1950—2005 年土地利用变化累计碳排放约为 10.6 Pg, 占中国全部人为碳源排放量的 30%<sup>[4]</sup>。近年来,随着我国工业化、城镇化加速推进,土地利用受到人类活动的影响十分显著,研究土地利用碳排放及其影响因素对于促进土地低碳利用、发展低碳经济、实现节能减排具有重要现实意义。

关于土地利用碳排放的研究已经成为国内外众多学者关注的热点。Caspersen<sup>[5]</sup>通过研究发现土地利用变化是控制碳积累速率的主导因子。Houghton 等<sup>[6]</sup>对中国因土地利用与覆盖变化所排放的碳进行了测算。Campos 等<sup>[7]</sup>利用历史数据对耕地的 CO<sub>2</sub> 排放量和浓度的变化进行了研究。近年来国内学者开始关注土地利用的碳排放研究,如方精云等<sup>[8]</sup>对 1981—2000 年中国陆地植被碳汇进行了估算,分析了林地、草地等的碳汇能力;赖力<sup>[9]</sup>对中国土地利用的碳排放效应进行了研究,提出基于土地利用方式的综合碳排放清单;赵荣钦等<sup>[10]</sup>对江苏省 2003—2007 年不同土地利用方式的碳排放及碳足迹进行了定量分析;孙贤斌<sup>[11]</sup>对安徽省会经

济圈土地利用变化的碳排放效益进行了研究;蓝家程等<sup>[12]</sup>对重庆市 1997—2009 年不同土地利用碳排放量进行了估算,并分析了不同土地利用方式碳排放效益;郑欣等<sup>[4]</sup>基于土地利用结构变化对芜湖市 2000—2010 年的主要土地利用方式的碳排放总量进行了计算,并研究了影响碳排放量的主要因素。

综上所述表明,近年来国内外土地利用碳排放研究较多,取得了丰硕的研究成果,其研究趋势体现在:研究方法的模型化、研究尺度的多元化和研究视野的拓展化(如碳足迹研究)等方面。本研究以池州市为例,通过对土地利用碳排放量、碳排放演变分析及碳排放强度进行测算,并引入环境研究领域的 IPAT 等式的随机形式 STIRPAT 模型分析土地利用碳排放影响因素,旨在为实现池州市促进土地低碳利用、发展低碳经济提供一定科学依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

本研究中耕地、林地、草地及建设用地数据采用 2000—2010 年池州市土地利用变更调查数据,能源消耗数据来源于《池州市统计年鉴》(2001—2011 年)<sup>[13]</sup>中的原煤、洗精煤、焦炭、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气和液化石油气 9 种能源消费数据。在计算人均 GDP 指标值时,是运用 GDP 平减指数法对现价 GDP 进行调整以剔除通货膨胀后的人均 GDP。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 土地利用碳排放测算

结合池州市土地利用状况,并考虑到受试验数据的限制,主要讨论耕地和建设用地的碳排放及林地、牧草地的碳吸收。

耕地、林地和牧草地的碳排放(吸收)量测算采

用直接碳排放系数法,碳排放测算公式参考相关文献<sup>[14-16]</sup>,计算公式为

$$E = \sum e_i = \sum S_i \delta_i \quad (1)$$

式中: $E$ 为碳排放总量,t; $e_i$ 为各种土地利用类型所产生的碳排放量,t; $S_i$ 为各种土地利用类型对应的土地面积,hm<sup>2</sup>; $\delta_i$ 为各种土地利用方式的单位面积碳排放系数,t/hm<sup>2</sup>;排放为正,吸收为负。

耕地的碳排放主要是考虑农业生产过程中的CH<sub>4</sub>等温室气体的碳排放系数和农作物在生育期间对CO<sub>2</sub>的吸收系数<sup>[16]</sup>,且耕地的碳汇作用很小,二者的差值可得耕地的碳净排放系数<sup>[11]</sup>。本研究耕地、林地和牧草地碳排放(吸收)系数确定依据如下,其中耕地碳排放系数采用的是Cai Zu-cong等<sup>[16]</sup>研究的农作物碳排放系数0.504 0 t/hm<sup>2</sup>,耕地的碳吸收系数采用的是何勇等<sup>[17]</sup>研究的农作物碳吸收系数0.007 0 t/hm<sup>2</sup>,由此可得出耕地净碳

排放系数为0.497 0 t/hm<sup>2</sup>;林地碳吸收系数参考方精云等<sup>[8]</sup>研究的林地碳吸收系数-0.581 0 t/hm<sup>2</sup>;牧草地碳排放系数参考方精云等<sup>[8]</sup>研究的草地碳吸收系数-0.021 0 t/hm<sup>2</sup>。

建设用地碳排放一般是通过其利用过程中的各项能源消耗的碳排放系数来间接估算<sup>[12,14]</sup>,主要是将生产、生活中产生的能源消耗的消耗量换算成标准煤的吨数,再根据不同能源的碳排放系数转化为碳排放量<sup>[18]</sup>。建设用地碳排放测算公式参考相关文献<sup>[11,19-20]</sup>,采用的计算公式为:

$$EC = \sum ec_i = \sum En_i \sigma_i \varphi_i \quad (2)$$

式中:EC为建设用地碳排放总量,t; $ec_i$ 为各种能源消耗产生的碳排放量,t; $En_i$ 为各种能源消耗量,t; $\sigma_i$ 为各种能源消耗量转换为标准煤的系数, $\varphi_i$ 为各种能源的碳排放系数。测算建设用地碳排放的不同能源的标准煤换算系数和碳排放系数见表1。

表1 各类能源碳排放系数\*

Table 1 Coefficient of carbon emissions for different types of energy

能源种类 Types of energy	标准煤换算系数 Coefficient of standard coal conversion	碳排放系数 Coefficient of carbon emissions	能源种类 Types of energy	标准煤换算系数 Coefficient of standard coal conversion	碳排放系数 Coefficient of carbon emissions
原煤 The raw coal	0.714 3(t/t)	0.755 9	燃料油 Fuel oil	1.428 6(t/t)	0.618 5
洗精煤 Cleaned coal	0.900 0(t/t)	0.755 9	焦炭 Coke	0.971 4(t/t)	0.855 0
液化石油气 Liquefied petroleum gas (LPG)	1.714 3(t/t)	0.504 2	气田天然气 Gas field gas	1.214 3×10 <sup>-3</sup> (t/m <sup>3</sup> )	0.448 3
原油 Crude oil	1.428 6(t/t)	0.585 7	油田天然气 Oil and gas	1.330 0×10 <sup>-3</sup> (t/m <sup>3</sup> )	0.448 3
汽油 Gasoline	1.471 4(t/t)	0.553 8	焦炉煤气 Coke oven gas	0.571 4×10 <sup>-3</sup> (t/m <sup>3</sup> )	0.354 8
煤油 Kerosene	1.471 4(t/t)	0.571 4	炼厂干气 Refinery dry gas	1.571 4(t/t)	0.460 2
柴油 Diesel	1.475 1(t/t)	0.592 1	其他煤气 Other gas	—	0.354 8

注:\*本研究中不考虑所选取系数变化。数据来源:《中国能源统计年鉴》、IPCC碳排放计算指南(2006年)。“—”表示视其他不同种类的煤气而具有不同的换算系数,具体可以参考《中国能源统计年鉴》。

Note: \* This study ignores the variation of coefficient. Data sources: China energy statistical yearbook, IPCC carbon emission calculation guide(2006 year). “—” represents different kinds of gas with different conversion coefficient according to China energy statistical yearbook.

1.2.2 STIRPAT 模型

美国生态学家埃里奇 (Ehrlich) 和康默纳 (Comner) 于 20 世纪 70 年代提出了关于经济增长与资源环境关系的 IPAT 模型: 即  $I = PAT$ 。Rose 等<sup>[21-23]</sup> 在 IPA 的基础之上, 通过对人口、财富和技术的回归, 进行环境压力的随机估计, 提出了环境压力随机模型, 简称 STIRPAT 模型, 表达式为<sup>[24-25]</sup>

$$I = aP^b A^c T^d e \quad (3)$$

式中:  $I$ 、 $P$ 、 $A$ 、 $T$  分别表示环境影响、人口数量、富裕程度和技术;  $a$  为模型系数,  $b$ 、 $c$ 、 $d$  分别为人口数量、富裕度和技术等人文驱动力指数;  $e$  为模型残差项。STIRPAT 模型是定量分析人文因素对环境影响的一种有效的方法, 目前已经被广泛地应用于生态足迹、能源足迹和  $CO_2$  排放等相关的研究中<sup>[25-28]</sup>。本研究应用 STIRPAT 模型, 将碳排放量作为环境影响的表征, 可构建出驱动因素与碳排放量关系的模型<sup>[24, 26-28]</sup>, 模型的表达式为

$$Y = KT^{a_1} S^{a_2} R^{a_3} \epsilon \quad (4)$$

式中:  $Y$  为碳排放量,  $K$  为常数项;  $T$ 、 $S$  和  $R$  分别表示驱动因素人口总量、人均 GDP 和技术项;  $\epsilon$  为模型的残差项;  $a_1$ 、 $a_2$  和  $a_3$  分别为人口总数、人均 GDP 和技术项对碳排放的弹性系数, 表示当驱动因

素人口总量、人均 GDP 和技术项每变化 1%, 将会引起碳排放量  $a_1\%$ 、 $a_2\%$  和  $a_3\%$  的变化。由于式 (4) 是一个多自变量的非线性模型, 为定量测算驱动因素对碳排放的影响, 通常将式 (4) 转化为对数形式, 对式 (4) 两边取对数<sup>[29]</sup>, 得到式 (5)

$$\ln Y = \ln K + a_1 \ln T + a_2 \ln S + a_3 \ln R + \ln \epsilon \quad (5)$$

以  $\ln Y$  作为因变量, 以  $\ln T$ 、 $\ln S$  和  $\ln R$  作为自变量,  $\ln K$  作为常数项,  $\ln \epsilon$  作为残差项, 对经过处理的模型进行多元线性拟合<sup>[30]</sup>。由于目前对技术项缺乏统一的测量指标, 在本研究中将其归之于残差项, 而不单独估算, 在计算中将技术项和残差项加以合并, 用来表示除人口总数、人均 GDP 以外的其他因素。

2 结果与分析

2.1 土地利用碳排放量分析

根据 2000—2010 年池州市土地利用变更调查数据和《池州市统计年鉴》(2001—2011 年)<sup>[13]</sup> 中的各项能源消费数据, 运用土地利用碳排放测算方法, 可测算出耕地碳排放量、林地碳吸收量、牧草地碳吸收量、建设用地碳排放量和碳排放总量 (表 2) 以及碳源/碳汇 (图 1)。

表 2 2000—2010 年池州市主要土地利用碳排放量

Table 2 Quantities of carbon emissions generated by different land use patterns in Chizhou City from 2000 to 2010 kt

年份 Year	耕地碳排放量 Farmland carbon emissions	林地碳吸收量 Forest carbon absorption	牧草地碳吸收量 Grassland carbon absorption	建设用地碳排放量 Construction land carbon emissions	碳排放总量 The total carbon emissions	碳源/碳汇 Carbon source/ Carbon sequestration
2000	66.974 7	-264.364 3	-93.574 1	233.318 7	35.835 4	1.135 5
2001	67.104 6	-264.342 3	-92.945 0	247.862 9	50.531 6	1.191 1
2002	65.201 5	-266.435 6	-92.909 7	341.149 0	139.822 1	1.524 6
2003	61.929 0	-270.131 8	-92.814 1	644.479 9	436.184 3	2.614 2
2004	61.939 5	-269.913 7	-92.416 6	866.914 0	658.847 5	3.440 1
2005	61.224 7	-270.736 9	-92.386 8	980.977 0	771.372 4	3.848 2
2006	60.878 5	-270.421 1	-92.332 2	1 616.230 9	1 406.596 0	6.199 7
2007	60.990 5	-270.390 7	-92.332 2	1 626.600 6	1 417.108 2	6.239 2
2008	60.864 4	-270.414 0	-92.332 2	1 905.753 0	1 696.110 9	7.270 1
2009	69.073 3	-283.641 2	-108.432 2	1 918.688 2	1 704.011 9	7.005 3
2010	68.965 1	-313.480 3	-106.637 4	2 018.638 0	1 774.016 3	6.657 2

注: “-”表示碳吸收。Note: “-” represents carbon absorption.

由表2可以看出,池州市2000—2010年碳排放总量呈逐年递增的趋势,碳排放总量由2000年的35.835 4 kt增加到2010年的1 774.016 3 kt,2010年的碳排放总量是2000年的49.50倍。从表2中耕地和建设用地的碳排放量来看,2000—2010年间耕地的碳排放量基本保持稳定,10年间的变化量并不大,而期间建设用地碳排放量的变化非常明显,由2000年的233.318 7 kt增加到2010年的2 018.638 0 kt,10年间增加了1 785.319 4 kt,建设用地碳排放量年均增长率达76.52%,尤其是2005年以后建设用地碳排放量增加更为显著。因此,2000—2010年间总的碳排放呈递增趋势主要以建设用地的碳排放递增为主,建设用地的碳排放量与碳排放总量具有趋同的变化趋势,进一步说明了建设用地作为碳源的主导地位。而作为碳汇的林地、牧草地的碳吸收量在2000—2010年间变化并不明显,处于基本稳定的状态,相比碳源排放量的增加速度,林地、牧草地的碳汇能力的增长的幅度并不明显,基本维持在一个稳定的水平(表2和图1)。

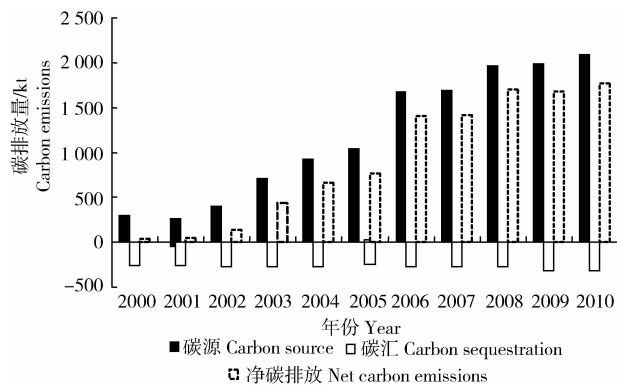


图1 池州市2000—2010年碳排放变化趋势

Fig. 1 Change trend of carbon emissions in Chizhou City from 2000 to 2010

另外,由表2可见,2000—2010年间,碳源与碳汇的比例整体呈增加趋势,由2000年的1.135 5增加到2010年的6.657 2,其中2008、2009年分别达到7.270 1和7.005 3。主要是由于作为碳源的建设用地碳排放量在逐年递增,而作为碳汇的林地和牧草地的碳吸收量基本不变,因而导致碳源与碳汇的比例增加。碳源与碳汇的比例越高说明区域发展低碳经济和节能减排的任务就越重。由此可见,仅仅依靠林地和牧草地的碳汇能力是远远不能抵消快速增长的建设用地碳排放量。

## 2.2 土地利用碳排放演变

根据表2和图1,并结合池州市2000—2010年工业化发展及能源消耗状况,将池州市2000—2010年土地利用碳排放变化划分为3个阶段,即第1阶段(2000—2001年),为缓慢增长阶段;第2阶段(2002—2005年),为快速增长阶段;第3阶段(2006—2010年),为平稳增长阶段。

第1阶段(2000—2001年):该阶段为碳排放量缓慢增长阶段,碳排放量由2000年的35.835 4 kt增加到2001年的50.531 6 kt,仅增加了14.696 0 kt。这一时期的碳排放量远低于11年来的平均碳排放水平917.312 4 kt。究其原因,主要是由于该时期池州市建市初期工业化、城镇化水平很低,城镇化水平仅为23.30%,工业总产值仅为 $16.04 \times 10^8$ 元,该时期各种能源消耗量较小,所以碳排放总量较小。

第2阶段(2002—2005年):该阶段为碳排放量快速增长阶段,碳排放量从2001年的50.531 6 kt迅速增长到2002年的139.822 1 kt,并以年均增长率达150.56%增加到2005年的771.372 4 kt。主要是由于该时期池州市作为国家第一个生态经济示范区,市域经济以农业为主,工业基础十分薄弱,加之该阶段国家宏观产能政策宽松,池州市政府放松了高能耗、高排放、低效益企业的准入门槛,一批能源利用粗放、碳排放量大的水泥、煤窑等企业纷纷上马,导致此阶段池州市土地利用碳排放量呈迅速增长趋势<sup>[31]</sup>。

第3阶段(2006—2010年):该阶段为碳排放量平稳增长阶段,碳排放量从2005年的771.372 4 kt快速增长到2006年的1 406.596 0 kt,再继续平稳增长到2010年的1 774.016 3 kt,2006—2010年间共增加了367.420 3 kt,年均增加91.855 0 kt。该阶段的平均碳排放水平达到1 599.568 7 kt,是第二阶段平均碳排放水平的3.19倍,但该阶段碳排放量的年均增长率仅为6.53%,远低于第2阶段的年均增长率水平。究其原因,一方面是由于自2006年以来,池州市政府正式提出“以工业化为核心,以工业园区为平台”的战略思路,将工业作为经济增长主导产业,全力推进工业化进程,相继建成了池州市贵池区工业园、东至县香隅化工园、青阳县工业园、东至县大渡口开发区等工业园区;加之2010年年初国家批准皖江城市带承接产业转移示范区规划,将安徽省江南产业集中区落户在池州市贵池区梅龙镇。随

着工业园区建设、江南产业集中区建设的推进,以电力、冶金、水泥、化工、钢铁等重化工业为主的工业发展迅速带动了能源消费不断攀升,致使能源消费及碳排放量呈增加趋势。另一方面,2006—2010年间,主要受到国家有关政策的影响和能源利用的效率在现代科技有力推动下得到提高,特别是近年来人们逐渐意识到经济建设和资源环境之间的矛盾,通过科技创新推进低碳、绿色经济发展,能源利用效率不断提高,有效地遏制了碳排放迅猛增长趋势,使得该阶段碳排放增长速度减慢并基本维持在一个相对稳定水平。

### 2.3 地均碳排放强度和建设用地碳排放强度分析

目前碳排放强度的研究大多数是从单位 GDP 角度出发<sup>[11]</sup>,从单位土地面积角度研究碳排放强度的并不多见。本研究基于池州市主要土地利用方式

研究碳排放,因此,参考郑欣<sup>[4]</sup>、孙贤斌<sup>[11]</sup>等研究成果,引入地均碳排放强度和地均建设用地碳排放强度的概念,地均碳排放强度为单位土地面积的碳排放量,地均建设用地碳排放强度为单位面积建设用地的碳排放量。从图 2 中可以看出,地均碳排放强度平稳增长,2010 年的地均碳排放强度为 2.112 2 t/hm<sup>2</sup>,较 2000 年 0.042 7 t/hm<sup>2</sup> 增加了 2.069 6 t/hm<sup>2</sup>,利用 Excel 对其进行曲线拟合,从图 2 可以看出为一元线性方程,表现出缓慢增长的趋势;还可以看出地均建设用地碳排放强度呈现波动上升的趋势,利用 Excel 对其进行曲线拟合,拟合结果较好, R<sup>2</sup>=0.927 2。2000—2010 年是池州市经济加速发展尤其是工业经济加速发展的时期,地均碳排放强度、地均建设用地碳排放强度与工业经济发展水平呈正相关关系。

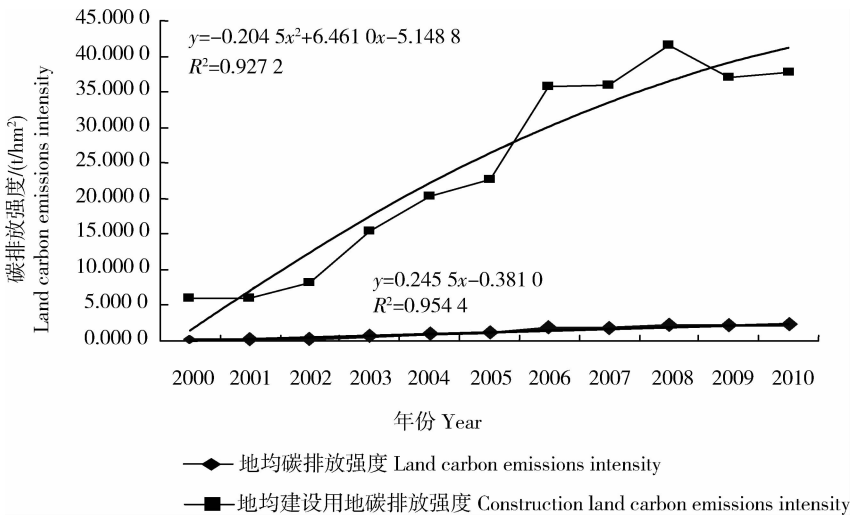


图 2 池州市 2000—2010 年碳排放强度

Fig. 2 Carbon emissions intensity in Chizhou City from 2000 to 2010

### 2.4 土地利用碳排放影响因素分析

依据所构建的模型公式(5),利用 SPSS19.0 软件的线性回归分析对模型进行拟合,具体拟合结果见表 3 所示。通过表 3 可知,自变量的 t 经验结果说明因变量碳排放量和自变量人口总量、人均 GDP 之间的线性相关关系十分显著,回归方程有意义。其中,方差分析的 F 值为 104.852, P 为 0.000,均能很好地说明回归方程通过了显著性检验。

从回归分析拟合结果可知,人均 GDP 对碳排放量的解释程度要大于人口总量对碳排放量的解释程度,人均 GDP 每增加 1%,则碳排放量相应的增加 36.055%,而人口总量每增加 1%,则碳排放量相应

表 3 回归分析拟合结果

Table 3 Results of regression analysis

变量 Variate	回归系数 Regression coefficient	标准误差 Standard error	t	P
ln Y	-478.745	34.916	-13.711	0.000
ln T	34.026	9.443	3.603	0.007
ln S	36.055	4.968	7.258	0.000

的增加 34.026%。另外,根据模型回归分析的结果, R<sup>2</sup>=0.970,说明人口总量和人均 GDP 指标能

够解释池州市土地利用碳排放量影响的97%，而且系数都在0.05水平上显著。

综上分析，池州市2000—2010年间人口总量的不断增加和人均GDP的逐年攀升是影响土地利用碳排放量的主要因素。首先，随着池州市于2000年设立地级市以来，人口增长明显，尤其是城镇人口逐年增长趋势更加突出，导致人们的各项生产生活活动明显增加，而人们的各种活动都会消耗能源并产生CO<sub>2</sub>，所以人口数量的快速增长必然会导致碳排放量的“刚性”增加。其次，人均GDP水平对池州市碳排放量影响程度更大，主要是近年来池州市经济发展加速推进，尤其是工业经济发展迅速，使得各项生产的能源消耗不断增加，直接导致碳排放量的逐年增加。

### 3 结 论

依据土地利用碳排放测算方法，对池州市2000—2010年主要土地利用类型耕地、林地牧草地、建设用地碳排放量以及碳源、碳汇和净碳排放进行测算，对土地利用碳排放演变情况进行分析，计算地均碳排放强度和建设用地碳排放强度，并基于STIRPAT模型对土地利用碳排放影响因素进行分析，得出如下结论：

1)池州市2000—2010年碳排放总量呈逐年递增的趋势，碳排放总量由2000年的35.835 4 kt增加到2010年的1 774.016 3 kt；碳排放总量呈递增趋势主要以建设用地的碳排放递增为主，建设用地的碳排放量与碳排放总量具有趋同的变化趋势。

2)2000—2010年间，碳汇能力基本稳定，碳源与碳汇的比例整体呈增加趋势，由2000年的1.135 5增加到2010年的6.657 2，主要是由于作为主要碳源的建设用地碳排放量在逐年递增，而作为碳汇的林地和牧草地的碳吸收量基本不变。因此，仅仅依靠林地和牧草地的碳汇能力是远远不能抵消快速增长的建设用地碳源的碳排放量。

3)通过对池州市2000—2010年土地利用碳排放演变分析，将池州市2000—2010年土地利用碳排放变化划分为以下3个阶段，即第1阶段(2000—2001年)为缓慢增长阶段，该时期碳排放量远低于11年来的平均碳排放水平；第2阶段(2002—2005年)为快速增长阶段，主要由于该时期属于池州市工业经济起步阶段，能源粗放利用；第3阶段(2006—2010年)为平稳增长阶段，一方面由于全市工业经

济加速发展，迅速带动了能源消费水平的不断攀升，直接导致碳排放量增加，另一方面由于该时期受政策和科技影响，能源利用效率不断提高，有效地遏制了碳排放量迅猛增长的趋势。

4)池州市2000—2010年地均碳排放强度呈现缓慢增长的趋势，而地均建设用地碳排放强度则呈现波动上升的趋势，地均碳排放强度与建设用地碳排放强度的增长与工业经济发展水平不断上升呈正相关的关系。

5)通过STIRPAT模型对土地利用碳排放影响因素进行分析得出碳排放量和人口总量、人均GDP之间的线性相关关系十分显著，且人均GDP对碳排放量的解释程度要大于人口总量对碳排放量的解释程度。

致谢 本研究的数据整理得到池州学院土地资源管理专业刘鹏飞等同学的帮助，在此表示感谢！

### 参 考 文 献

- [1] 曲福田,卢娜,冯淑怡.土地利用变化对碳排放的影响[J].中国人口·资源与环境,2011,21(10):76-83
- [2] 石洪昕.四川省广元市土地利用变化的碳排放效应研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2012
- [3] 柳梅英,包安明,陈曦,等.近30年玛纳斯河流域土地利用/覆被变化对植被碳储量的影响[J].自然资源学报,2010,25(6):926-938
- [4] 郑欣,程久苗,郑硕.基于土地利用结构变化的芜湖市碳排放及其影响因素研究[J].水土保持研究,2012,19(3):259-262
- [5] Canadell J G. Land use effects on terrestrial carbon sources and sinks[J]. Science in China Series C,2002,45(Supp 1):1-9
- [6] Houghton R A, Hackler J L. Sources and sinks of carbon from land-use change in China[J]. Global Biogeochem Ical Cycle, 2003,17(2):1-11
- [7] Campos C P D, Muylaert M S, Rosa L P. Historical CO<sub>2</sub> emission and concentrations due to land use change of croplands and pastures by country[J]. Science of the Total Environment,2005,346(1):149-155
- [8] 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
- [9] 赖力.中国土地利用的碳排放效应研究[D].南京:南京大学,2010
- [10] 赵荣钦,黄贤金.基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J].地理研究,2010,29(9):1639-1649
- [11] 孙贤斌.安徽省会经济圈土地利用变化的碳排放效益[J].自然资源学报,2012,27(3):394-401
- [12] 蓝家程,傅瓦利,袁波,等.重庆市不同土地利用碳排放及碳足迹分析[J].水土保持学报,2012,26(1):146-150

- [13] 池州市统计局. 池州统计年鉴(2001—2011)[M]. 池州:安徽省快马印务有限公司, 2002—2011
- [14] 李颖, 黄贤金, 甄峰. 江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(增刊2): 102-107
- [15] 孙贤斌, 傅先兰, 倪建华, 等. 安徽省会经济圈碳排放强度与生态补偿研究[J]. 地域研究与开发, 2012, 31(1): 135-138
- [16] Cai Zucong, Kang Guoding, Tsuruta H, et al. Estimate of CH<sub>4</sub> emissions from year-round flooded rice field during rice growing season in China[J]. Pedosphere, 2005, 15(1): 66-71
- [17] 何勇. 中国气候、陆地生态系统碳循环研究[M]. 北京: 气象出版社, 2006
- [18] 苏雅丽, 张艳芳. 陕西省土地利用变化的碳排放效益研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(1): 152-156
- [19] 游和远, 吴次芳. 土地利用的碳排放效率及其低碳优化: 基于能源消耗的视角[J]. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1875-1886
- [20] 肖红艳, 袁兴中, 李波, 等. 土地利用变化碳排放效应研究: 以重庆市为例[J]. 重庆师范大学学报: 自然科学版, 2012, 29(1): 38-42
- [21] Chertow M R. The IPAT equation and its variants: Changing views of technology and environmental impact[J]. Journal of Industrial Ecology, 2000, 4(4): 13-30
- [22] York R, Rosa E A, Dietz T. A rift in modernity? Assessing the anthropogenic sources of global climate change with the STIRPAT model[J]. International Journal of Sociology and Social Policy, 2003, 23(10): 31-51
- [23] 宋晓晖, 张裕芬, 汪艺梅, 等. 基于 IPAT 扩展模型分析人口因素对碳排放的影响[J]. 环境科学研究, 2012, 25(1): 109-115
- [24] 张乐勤, 李荣富, 陈素平, 等. 安徽省 1995 年—2009 年能源消费碳排放驱动因子分析及趋势预测: 基于 STIRPAT 模型[J]. 资源科学, 2012, 34(2): 316-327
- [25] 卢娜, 曲福田, 冯淑怡, 等. 基于 STIRPAT 模型的能源消费碳足迹变化及影响因素: 以江苏省苏锡常地区为例[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 814-824
- [26] 张乐勤, 陈素平, 王文琴, 等. 基于 STIRPAT 模型的安徽省池州市建设用地扩展驱动因子测度[J]. 地理科学进展, 2012, 31(9): 1235-1242
- [27] 李春华, 李宁, 石岳. 基于 STIRPAT 模型的长沙市耕地面积变化驱动因素分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(3): 258-263
- [28] 丁唯佳, 吴先华, 孙宁, 等. 基于 STIRPAT 模型的我国制造业碳排放影响因素研究[J]. 数理统计与管理, 2012, 31(3): 499-506
- [29] 杜官印. 建设用地对碳排放的影响关系研究[J]. 中国土地科学, 2010, 24(10): 32-36
- [30] 郭运功, 汪冬冬, 林逢春. 上海市能源利用碳排放足迹研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(2): 103-108
- [31] 张乐勤, 司友斌, 荣慧芳, 等. 池州市 2000—2010 年能源足迹动态测度与驱动因子分析[J]. 环境科学学报, 2012, 32(5): 1270-1280

责任编辑: 苏燕