

# 土地利用变化碳排放效应研究 ——以重庆市为例\*

肖红艳<sup>1,2</sup>,袁兴中<sup>1,2</sup>,李波<sup>1,2</sup>,颜文涛<sup>1,2,3</sup>

(1. 重庆大学 资源及环境科学学院,重庆 400044; 2. 西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室,重庆 400044; 3. 重庆大学 建筑城规学院,重庆 400045)

**摘要** 土地利用方式是影响碳排放的主要原因,低碳排放已成为土地利用调控的新课题。为了分析不同土地利用方式的碳排放效应,本文以重庆市为例,分析直辖以来重庆市主要土地利用方式的碳排放,并对重庆市的碳排放进行预测。结果表明,1997-2008年,由于土地利用的变化,重庆市碳排放从1 158.29万t增加到2 892.75万t,其中建设用地和耕地是主要碳源,建设用地年碳排放达1 214.922 987.29万t,排放强度为2.495.04 kg/(m<sup>2</sup>·a),耕地年碳排放从126.3万t降为111.13万t,林地作为主要的碳汇,由于林地面积持续扩大,林地的年碳吸收量由182.43万t增加到205.17万t。对重庆市2020年土地利用规划下的碳排放预测结果显示,2020年重庆市单位GDP碳排放比2005年减少43.99%,但碳排放总量显著增加,为10 381.19万t,因此面临的减碳任务非常严峻。

**关键词** 土地利用;碳排放;重庆市

中图分类号 F121.3;X24

文献标志码 A

文章编号 1672-6693(2012)01-0038-05

由于全球气候变暖现实的严峻性,世界各国对全球气候变化非常关注<sup>[1-5]</sup>,而土地利用变化是引起全球气候变化和碳循环不平衡的主要原因之一,土地利用对碳排放的影响已引起广泛的关注,各国学者对不同生态系统碳排放进行了大量研究,如森林生态系统<sup>[6-7]</sup>、草地生态系统<sup>[8-9]</sup>、农田生态系统<sup>[10-12]</sup>、湿地生态系统<sup>[13-14]</sup>、土壤生态系统<sup>[15-17]</sup>、城市生态系统<sup>[18-19]</sup>等,其中对城市生态系统的研究主要集中于城市能源消费的碳排放,但对区域不同土地利用方式的总体研究较少。研究不同土地利用方式的总体碳排放效应,有助于更好地进行未来温室气体排放预测,从而提出相应的碳管理措施。经历了西部大开发战略实施十周年以及直辖建设十几年,重庆市社会经济迅速发展,同时土地利用格局也发生了巨大变化。本文对直辖以来重庆市土地利用变化的碳排放进行分析,并结合重庆市土地利用规划,对重庆市的碳排放进行预测。本文的研究结论对我国及西部地区的节能减排与可持续发展有一定的理论意义和实践价值,为区域土地利用的调控提供科学依据。

## 1 研究区域概况与研究方法

### 1.1 研究区域概况

重庆市(N28°10'32"13',E105°11'110"11')地处较为发达的东部地区和资源丰富的西部地区的结合部,是国家统筹城乡综合配套改革试验区、国家实行西部大开发的重点地区,将可能成为长江上游地区经济中心和金融中心。全市面积8.24万km<sup>2</sup>,总人口3 253.32万。自1997年直辖以来,重庆市充分利用国家的优惠扶持政策以及自身在区位和产业基础等方面的优势,经济社会实现了全面快速发展,GDP从1997年的1 360.24亿元增长到2008年的5 096.66亿元,人均GDP增加了3倍。在经济飞速增长的同时,土地利用格局也发生了巨大变化,土地生态系统受人类活动影响显著。分析该区域土地利用变化的碳排放效应对探讨经济快速增长与土地利用的可持续利用具有一定的典型性意义。

### 1.2 研究方法

碳源分为自然排放源和人为排放源,自然碳排放主要是来自海洋、土壤、岩石和生物体;人工排放

\* 收稿日期 2011-07-15 修回日期 2011-10-26 网络出版时间 2012-01-15 18:09:00

资助项目 环境保护部“区域和行业重大发展战略环境评价”财政专项(No. 2110203)

作者简介 肖红艳,博士研究生,研究方向为环境生态学;通讯作者:袁兴中,E-mail: xzyuan63@yahoo.com.cn

网络出版地址 [http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120115.1809.201201.38\\_007.html](http://www.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20120115.1809.201201.38_007.html)

是由人类活动引起的碳排放,主要包括能源燃烧、工业生产、农业生产等过程中的碳排放。本文基于各种用地类型的碳排放(吸收)系数进行计算,主要涉及到耕地、园地、林地、草地、建设用地,其中园地、林

地和草地为碳汇,耕地和建设用地为主要碳源。建设用地的碳排放通过其利用过程中能源消耗的碳排放系数间接估算,各种能源消耗的碳排放系数和耕地、林地(包括园地)和草地的碳吸收系数见表 1。

表 1 各种土地覆被及能源的碳排放/吸收系数

Tab. 1 Coefficient of carbon emission/absorbability of different carbon source/sink

名称	参数值	数据来源	平均值	单位
农作物 C 排放系数	0.050 4	Cai Zu-Cong et al. [12-20]	0.049 7	kg/(m <sup>2</sup> a)
农作物 C 吸收系数	-0.000 7	何勇等[21]		
林地 C 吸收系数	-0.058 1	方精云等[22]	-0.058 1	kg/(m <sup>2</sup> a)
草地 C 吸收系数	-0.002 1	方精云等[22]	-0.002 1	kg/(m <sup>2</sup> a)
煤炭消耗 C 排放系数	0.756	日本能源经济研究所	0.732 9	
	0.726	国家科委气候变化项目		
	0.747 6	国家发展和改革委员会能源研究所,徐国泉等[23]		
	0.702	DOE/EIA		
石油消耗 C 排放系数	0.586	日本能源经济研究所	0.557 4	
	0.583	国家科委气候变化项目		
	0.582 5	国家发展和改革委员会能源研究所,徐国泉等[23]		
	0.478	DOE/EIA		
天然气消耗 C 排放系数	0.449	日本能源经济研究所	0.422 6	
	0.409	国家科委气候变化项目		
	0.443 5	国家发展和改革委员会能源研究所,徐国泉等[23]		
	0.389	DOE/EIA		

碳排放测算公式为

$$E = \sum e_i = \sum A_i \cdot \delta_i$$

式中  $E$  为碳总排放量; $e_i$  为第  $i$  种土地利用方式产生的碳排放(吸收)量; $A_i$  为第  $i$  种土地利用方式对应的土地面积; $\delta_i$  为第  $i$  种土地利用方式的碳排放(吸收)系数,吸收为负。

建设用地碳排放估算公式为

$$E_f = \delta_f \cdot E_f + \delta_m \cdot E_m + \delta_n \cdot E_n$$

式中  $E_i$  为碳排放量; $E_f$ 、 $E_m$  和  $E_n$  分别为煤炭、石油和天然气消耗标准煤量; $\delta_f$ 、 $\delta_m$  和  $\delta_n$  分别为煤炭、石油和天然气消耗的碳排放系数。

## 2 结果分析

### 2.1 重庆市 1997—2008 年碳排放演变过程

根据重庆市 1997—2008 年土地利用数据和能源消耗数据得出 1997—2008 年重庆市的碳排放总量。如图 1 所示,1997—2008 年,重庆市碳排放总量持续增加,其值由 1997 年的 1 158.29 万 t 增加到 2008 年的 2892.75 万 t,增长了 1.5 倍,尤其是 2004 年开始,由于投资高速增长导致电力热力生产、水泥、电解铝等高耗能产业迅速扩张,造成能源消费快速增长;另外居民生活能源消费的快速增长导致全社会能源消费增长加快,因此碳排放增长幅度较前几年偏大。在主要碳源中,以建设用地碳排放为主,建设用地碳排放占碳源排放 90% 以上,建设用地的碳排放量为 2.495.04 kg/(m<sup>2</sup>a),呈逐年增加的态势;其次的碳源是耕地,随着耕地面积的减少,1997—2008 年耕地产生的碳排放缓慢降低。林地是主要碳汇,1997—2008 年重庆市林地面积持续增加,因此林地碳汇效应有所增加,但由于建设用地碳排放强度明

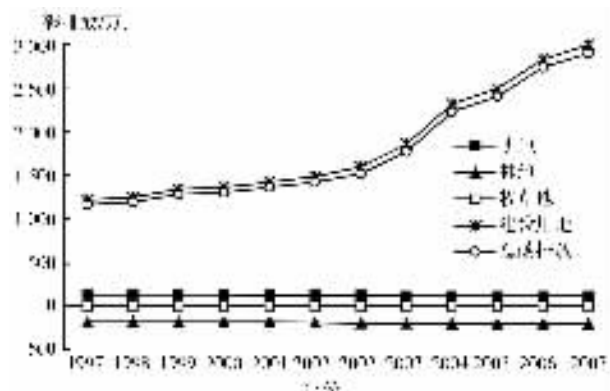


图 1 1997—2008 年重庆市不同土地利用碳排放及碳排放总量的演变过程

Fig. 1 Carbon emission of different land use in Chongqing from 1997 to 2008

显增加,林地碳汇效益抵销的碳排放较小。

虽然直辖以来重庆市总碳排放不断增长,但由于重庆市 GDP 增长速度更快,因此 1997—2008 年重庆市单位 GDP 碳排放呈下降趋势(图 4),表明区域在获得经济发展的同时在碳排放控制方面也取得了一定的成效。

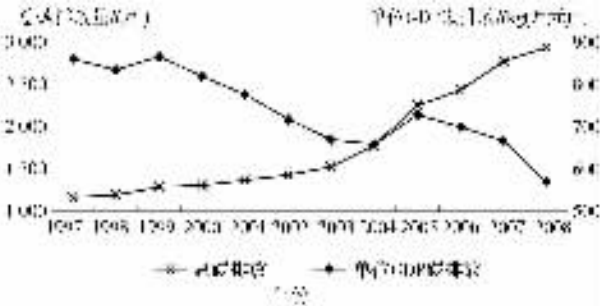


图 2 1997—2008 年重庆市单位 GDP 碳排放与总碳排放变化

Fig. 2 Amount of total carbon emission and per GDP in Chongqing from 1997 to 2008

## 2.2 重庆市碳排放格局分析

利用重庆市 2005 年各区县土地利用数据和能耗数据,得到重庆市各区县的碳排放以及单位面积碳排放强度(封三彩图 1)。由重庆市碳排放格局(封三彩图 1a)可看出,江津区、九龙坡区、长寿区以及涪陵区的碳排放总量较大,年碳排放量均在 150 万 t 以上;从碳排放强度格局(封三彩图 1b)来看,渝中区和大渡口区单位面积碳排放较高,其中渝中区碳排放强度达  $24 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。总体来看,碳

排放总量和碳排放强度相对较大的区县均位于重庆一小时经济圈和长江流域,渝东南翼和渝东北翼区县的碳排放总量和碳排放强度均较低,特别是巫溪县碳汇已抵销了区域的碳排放。

## 2.3 重庆市碳排放预测

利用灰色动态(GM)模型对重庆市能源消费和地区生产总值进行预测(表 2)结合《重庆市土地利用总体规划(2006—2020)》,本研究对重庆市 2020 年碳排放进行预测(表 3)。由预测结果可知,重庆市 2020 年单位地区生产总值碳排放为  $404.89 \text{ kg}/\text{万元}$ ,与 2005 年相比下降了 43.99%,达到了中国在哥本哈根气候峰会上承诺的“中国到 2020 年单位国内生产总值碳排放比 2005 年下降 40%—45%”的标准,但 2020 年碳排放总量将达到 1 0381.19 万 t,与 2005 年相比将增加约 3.68 倍,减碳压力巨大。

表 2 利用 GM 模型对重庆市能源消费的预测  
Tab. 2 Prediction on Chongqing energy consumption

能源种类	预测值/(万 t)			预测检验值		预测精度等级
	2020 年	$\varepsilon$	$P$	$C$		
GDP	25 639.44	0.031	1.00	0.127	合格	
煤炭	10 639	0.007	1.00	0.203	好	
天然气	1 867.7	0.008	1.00	0.221	好	
油料	3 419.7	0.015	1.00	0.227	合格	
电力	1 653.7	0.004	1.00	0.158	好	
能耗总量	17 580					

表 3 重庆市碳排放预测

Tab. 3 Prediction on Chongqing carbon emission

预测年限	耕地/( $10^4 \text{ t}$ )	林地/( $10^4 \text{ t}$ )	牧草地/( $10^4 \text{ t}$ )	建设用地/( $10^4 \text{ t}$ )	总碳排放/( $10^4 \text{ t}$ )	单位 GDP 碳排放/( $\text{kg}/\text{万元})^{-1}$ )
2020 年	107.88	-218.61	-0.51	10 492.41	1 0381.19	404.89

## 3 讨论与建议

自 1997 年直辖以来,重庆市充分利用国家的优惠政策扶持政策以及自身在区位和产业基础等方面的优势,经济社会实现了全面快速发展,但此期间重庆市年碳排放总量也持续增加,从 1 158.29 万 t 增加到 2 892.75 万 t。建设用地是重庆市主要碳源,它的碳排放占重庆市总碳源 90% 以上,林地是重庆市主要碳汇,年碳吸收量为 184.2205.17 万 t。建设用地单位面积年碳排放增长非常快,从 1997 年的

$2.49 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  增长到 2008 年的  $5.04 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ,因此在建设用地只增加了 21.51% 的基础上,建设用地碳排放总量增加了 145.89%,这也是导致重庆市碳排放总量急剧增加的原因。

重庆市碳排放格局为:重庆一小时经济圈和沿长江流域碳的排放总量和单位面积碳排放强度大,渝东南翼和渝东北翼区县的碳排放总量和碳排放强度均较低。碳排放总量与地区生产总值显著相关( $r = 0.674, P < 0.01$ ),说明重庆经济高速发展的同时带来了高碳排放,但重庆市单位 GDP 碳排放为下降

趋势,表明重庆市社会经济发展在逐步进入可持续发展轨道。

通过对重庆市 2020 年不同土地利用方式碳排放的预测显示,2020 年碳排放有明显增加,将达到 10 381.19 万 t,为 2008 年的 3.59 倍。其中建设用地的碳排放增长最快,建设用地碳排放总量为 10 492.41 万 t/年,单位面积碳排放强度达到 14.9 kg/(m<sup>2</sup>a),碳减排任务十分严峻。但根据重庆市中长期能源发展规划,随着可再生能源开发利用的大力推进以及能源结构和利用效率的逐步优化提高,煤炭能耗的比例将可能比预测值低,因此到 2020 年重庆市的实际碳排放总量可能低于本文的预测值。同时,预测结果表明,重庆市 2020 年单位国内生产总值碳排放将明显降低,与 2005 年相比减少 43.99%,达到了中国在哥本哈根气候峰会上承诺的“中国到 2020 年单位国内生产总值碳排放比 2005 年下降 40%~45%”的标准,表明重庆市 2020 年的土地利用规划是符合低碳、环境生态友好的可持续发展规划。

重庆市正处于工业化、城市化快速发展时期,建设用地持续增加给耕地保护及林地管护和建设带来了巨大压力,更重要的是能源需求快速增长以及大规模基础设施建设将使建设用地的碳排放强度急剧上升。因此要构建低碳土地利用体系,在土地利用规划阶段纳入低碳理念,合理划分土地利用功能区,按照循环经济原则对开发区用地实行合理布局,提高资源利用效率,减少资源和能源消耗以及污染排放。

目前国内外对基于土地利用碳排放核算研究已取得了一定进展,碳排放核算的技术标准已初步形成,但同一类用地的地被覆盖类型差异导致了同一类用地碳排放有很大的差异。本文由于数据缺乏,部分用地类型碳排放直接选取了中国地被覆盖的平均值,并且忽略了用地类型的质变所引起的碳排放变化,这导致结果可能有一定的误差,但对于了解区域碳排放变化趋势和指导区域土地利用规划有一定的现实意义。今后应对地被覆盖的微量变化碳排放效应进行研究,以制定符合各地土地利用特征的温室气体清单和指导区域土地利用规划。

#### 参考文献:

[1] Yabe N. An analysis of CO<sub>2</sub> emissions of Japanese industries during the period between 1985 and 1995[J]. Energy

Policy 2004, 32: 595-610.

- [2] Fontaras G, Samaras Z. A quantitative analysis of the European Automakers' voluntary commitment to reduce CO<sub>2</sub> emissions from new passenger cars based on independent experimental data[J]. Energy Policy 2007, 35: 2239-2248.
- [3] Ribbenhed M, Thorén M, Sternhufvud C. CO<sub>2</sub> emission reduction costs for iron ore-based steelmaking in Sweden[J]. Journal of Cleaner Production 2008, 16: 125-134.
- [4] Zhang M, Mu H L, Ning Y D. Accounting for energy-related CO<sub>2</sub> emission in China, 1991-2006[J]. Energy Policy, 2009, 37: 767-773.
- [5] Deja J, Uliasz-Bochenczyk A, Mokrzycki E. CO<sub>2</sub> emissions from Polish cement industry[J]. International Journal of Greenhouse Gas Control 2010, 4: 583-588.
- [6] Choi S D, Chang Y S, Park B K. Increase in carbon emissions from forest fires after intensive reforestation and forest management programs[J]. Science of The Total Environment 2006, 372(1): 225-235.
- [7] Kiese R, Butterbach-Bahl K. N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> emissions from three different tropical forest sites in the wet tropics of Queensland, Australia[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(7): 975-987.
- [8] Jones S K, Rees R M, Skiba U M, et al. Greenhouse gas emissions from a managed grassland[J]. Global and Planetary Change 2005, 47: 201-211.
- [9] Galanca P, Vuichard N, Campbell C, et al. Simulating the fluxes of CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O in European grasslands with the Pasture Simulation Model (PaSim)[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment 2007, 121: 164-174.
- [10] Guo J P, Zhou C D. Greenhouse gas emissions and mitigation measures in Chinese agroecosystems[J]. Agricultural and Forest Meteorology 2007, 142: 270-277.
- [11] Howden S M, O'Leary G J. Evaluating options to reduce greenhouse gas emissions from an Australian temperate wheat cropping system[J]. Environmental Modelling & Software, 1997, 12: 169-176.
- [12] Cai Z C, Kang G D, 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.
- [13] Ding W X, Cai Z C. Methane emission from natural wetlands in China: summary of years 1995-2004 studies[J]. Pedosphere 2007, 17(4): 475-486.
- [14] Chang T C, Yang S S. Methane emission from wetlands in Taiwan[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(32): 4551-4558.
- [15] Mancinelli R, Campiglia E, Di Tizio A, et al. Soil carbon

- dioxide emission and carbon content as affected by conventional and organic cropping systems in Mediterranean environment[ J ]. *Applied Soil Ecology* 2010 46( 1 ) 64-72.
- [ 16 ] Guntiñas M E ,Gil-Sotres F ,Leirós M C ,et al. CO<sub>2</sub> emission from soils under different uses and flooding conditions [ J ]. *Soil Biology and Biochemistry* 2009 41( 12 ) 2598-2601.
- [ 17 ] Banik A ,Sen M ,Sen S P. Methane emission from paddy soils fertilized with cowdung and farmyard manure[ J ]. *Chemosphere* 1995 30( 6 ) :1193-1208.
- [ 18 ] Svirejeva-Hopkins A ,Schellnhuber H J. Urban expansion and its contribution to the regional carbon emissions :Using the model based on the population density distribution [ J ]. *Ecological Modelling* 2008 216( 2 ) 208-216.
- [ 19 ] Guo R ,Cao X J ,Yang X Y ,et al. The strategy of energy-related carbon emission reduction in Shanghai[ J ]. *Energy Policy* 2010 38( 1 ) 633-638.
- [ 20 ] Cai Z C ,Tsuruta H ,Gao M ,et al. Options for mitigating methane emission from a permanently flooded rice field [ J ]. *Global Changy Biology*. 2003 9( 1 ) 37-45.
- [ 21 ] 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.
- [ 22 ] 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.
- [ 23 ] 徐国泉 ,刘则渊 ,姜照华. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析 :1995-2004 [ J ]. *中国人口、资源与环境* , 2006 16( 6 ) :158-161.

## Resources ,Environment and Ecology in Three Gorges Area

### The Effects of Land Use Changes on Carbon Emission C :Take Chongqing as an Example

XIAO Hong-yan<sup>1 2</sup> , YUAN Xing-zhong<sup>1 2</sup> , LI Bo<sup>1 2</sup> , YAN Wen-tao<sup>1 2</sup>

( 1. College of Resource and Environmental Science , Chongqing University ;

2. The Key Laboratory of the Exploitation of Southwest Resources & the Environmental Hazards Control Engineering , Ministry of Education , Chongqing University , Chongqing 400044 ;

3. School of Architecture and Urban Planning , Chongqing University , Chongqing 400045 , China )

**Abstract** : Land use is one of the most mainly factors affecting the carbon emission , and the low-carbon emission has become an important land use management issue. In order to investigate variations in carbon emission in response to land use changes , this paper analyzed the quantitative and the structural evolutions of carbon emissions influenced by land use patterns of Chongqing since 1997 , and estimated the prospective carbon emission of Chongqing 2020 based on the plan for land use. The results showed that , owing to land use change , the carbon emission has grown from 11. 58 million t to 28. 93 million t. Carbon emissions were significantly diverse according to different land use categories , in which the construction land and cultivated land were the two main carbon sources with annual carbon emission of 12. 15-29. 87 million t and 1. 11-1. 26million t separately , and forest land was the main carbon sink with absorbed 1. 82. 43-2. 05 million t ( C ) per year. According to the forecasts of carbon emission influenced by land use changes , although compared with 2005 , in 2020 the carbon emission will reduce by 43. 99% , the carbon emission will increase significantly with annual carbon emission of 103. 81 million t in 2020 , which indicated that it is severe to reduce the carbon emission in Chongqing.

**Key words** : land use ; carbon emission ; Chongqing

( 责任编辑 欧红叶 )