

CO₂ Emission of High Carbon Energy and Absorbed by Vegetation in Guangzhou, South of China

Xiaoqing Zhong^{1,2,3,4}

1. School of Life Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275, China

2. Lingnan College, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510275, China

3. State Key Lab of Biocontrol, Sun Yat-Sen University, 510275, China

4. State Key Lab for Architecture on Subtropic, South China University of Technology, Guangzhou 510650, China

Email: zhongxq@mail.sysu.edu.cn

Abstract: Basic on the Low carbon economy, taken Guangzhou City as urban ecosystem, analysis the CO₂ emission of high carbon energy and absorbed by vegetation. Results shown that from 2000 to 2007, the total release of carbon in Guangzhou go up from 17,347,600 t to 28,205,100 t, increase of 61.51%, average annual growth rate of 7.26%. The net amount of carbon fixed show fluctuation in the 8 years, in 2003 the largest net amount of carbon fixed 2,114,400 t in calculating years, 2000 get the Minimum carbon sequestration of 1,953,200 t. The net amount of 2.0703 million tons of carbon sequestration according the latest date in 2007. Net release of carbon rise year after year. The data in 2000 show that carbon emission has far exceeded its carbon sequestration capacity, then the gap has reached 15.3944 million tons of carbon release, while the net release of carbon in 2007 as many as 26,134,800 tons. Guangzhou City as an urban ecosystem NEP are negative, indicating Guangzhou playing the role of the carbon source.

Keywords: Fossil energy; Carbon emission; Carbon sink of the vegetation; Low economy; Carbon neutral; Carbon emission city

广州高碳能源排碳及植被碳汇间碳均衡

钟晓青^{1,2,3,4}

1. 中山大学生命科学院生态学系, 广州, 中国, 510275

2. 中山大学岭南学院人口资源环境经济研究中心, 广州, 中国, 510275

3. 中山大学生物防治国家重点重点实验室, 广州, 中国, 510275

4. 华南理工大学亚热带建筑国家重点重点实验室, 广州, 中国, 510650

Email: zhongxq@mail.sysu.edu.cn

摘要: 根据广州高碳能源消耗和植被碳汇的固碳的低碳经济理论, 把广州作为一个有生命的开放式生态系统, 按实验参数评估系统中碳收支之间的碳均衡。研究表明, 从2000年到2007年8年间广州市总释碳量(碳源)从2000年的1734.76万t, 增加到2007年2820.51万t, 8年间增加了61.51%, 年平均增长率高达7.26%。碳净固定量(碳汇)在8年内成一种波动态势。2003年碳净固定量最大211.44万t, 2000年最低固碳量195.32万t, 2007年净固碳量207.03万吨。碳源与碳汇之间的数量差净释碳量连年上升。就2000年的数据显示, 碳释放量已经远远超过了其固碳能力, 当年释碳缺口已达1539.44万吨, 而2007年净释碳量多达2613.48万吨。广州城市生态系统中高碳能源的碳排放量远大于所拥有的植被碳汇量, 是典型的碳源城市。

关键词: 化石能源; 碳源; 碳汇; 碳均衡; 碳源城市

1 引言

全球气候变暖已经是不争事实, 而防止气候变暖的关键在于减少二氧化碳的排放。2003年英国政府首

次在能源白皮书中提出低碳经济(low carbon economy, LCE)这一概念, 并呼吁到2050年建立低碳经济社会, 引起了广泛的关注(DTI, UK, 2003)

伴随低碳社会发展要求, 低碳城市(Low-carbon City, LCC)概念应运而生。根据世界自然基金会(WWF)的定义, 低碳城市是指城市在经济高速发展

华南理工大学亚热带建筑国家重点实验室开放基金“绿色空间研究”(20070401)和国家社科基金“可持续发展经济学研究”“九五”重点项目(96AJB042)

的前提下，保持高碳能源消耗和二氧化碳排放处于较低的水平，并实现新能源替代和碳均衡。

发展低碳生态城市是中国城镇化的必然选择，也是中国可持续发展道路的集中体现。

本文以广州为例，剖析其高碳化石能源的碳源和植被碳汇之间的碳均衡问题。

2 研究方法

要建设低碳城市生态系统，必须先把现有城市生态系统中碳的流动情况、碳源碳汇特点分析清楚，本文将选用城市碳收支平衡的相关方法，就生态系统的碳循环进行分析。

城市生态系统中碳收支平衡的研究主要涉及两方面：一方面，植被通过光合作用固定大气中的 CO₂（碳汇）；另一方面，植被、土壤、人、动物的呼吸作用以及人类的生产活动向大气释放 CO₂（碳源）。

2.1 碳汇评估方法

在广州市范围内能够吸收 CO₂ 的主要陆地生态系统包括森林、农田、湿地、草地等不同植被为主构成的生态系统。对于生态系统中各固碳地碳吸收量的直接计量方法是，基于样地实际测量结果统计出不同类型生态系统中各固碳地的平均碳净固定量，再乘以不同类型生态系统面积求得某特定区域的碳吸收量。其计算公式为：

$$Q_{吸} = A \times b,$$

式中：Q_吸 为 CO₂ 的净碳固定量，即纯碳吸收量，单位为 t·a⁻¹；A 为不同固碳地的面积，单位为 hm²；b 为不同固碳地的平均碳净固定量，即纯碳吸收率，单位为 t·hm⁻²·a⁻¹。

2.2 碳源评估方法

陆地系统向大气层释放的 CO₂ 主要由人体的呼吸、动物的呼吸、土壤的呼吸及人类的各种生产活动如化石燃料的燃烧、水泥生产、陆地植被的破坏、土地利用等所产生。有关各种释碳源的释放量的计算方法如下：

$$\begin{aligned} & \text{燃煤的碳释放量 (t·a}^{-1}\text{)} \\ & = \text{耗煤量 (t·a}^{-1}\text{)} \times 0.982 \times 0.73257 \end{aligned}$$

其中：0.982=有效氧化分数，0.73257=每吨标准煤的含碳率。

$$\begin{aligned} & \text{燃油的碳释放量 (t·a}^{-1}\text{)} \\ & = \text{标准煤当量 (t·a}^{-1}\text{)} \times 0.982 \times 0.73257 \times 0.813 \end{aligned}$$

其中：0.813=在获得相同热能的情况下，石油释放 CO₂ 是煤释放 CO₂ 的倍数。

$$\text{燃气的碳释放量 (t·a}^{-1}\text{)}$$

$$= \text{标准煤当量 (t·a}^{-1}\text{)} \times 0.982 \times 0.73257 \times 0.561$$

其中：0.561=在获得相同热能的情况下，天然气释放 CO₂ 是煤释放 CO₂ 的倍数。

$$\text{水泥生产排放 CO}_2 \text{ 的计算 (REHAN R, 2005):}$$

$$\text{水泥生产的碳释放量 (t·a}^{-1}\text{)}$$

$$= \text{水泥产量 (t)} \times 0.136$$

$$\text{木材消费释放 CO}_2 \text{ 的计算(方精云等, 1996):}$$

$$\text{木材消费的碳释放量 (t·a}^{-1}\text{)}$$

$$= \text{木材净消费量 (m}^3\text{)} \times 0.4 \text{ (t·m}^{-3}\text{)} \times 2.0 \times 0.45$$

3 研究过程与计算结果

3.1 碳源评估

表 1 计算了广州市 2000 年到 2007 年 8 年间，每年各种碳源的统计数据及其碳释放量的评估结果。

从统计数据中的所有释碳源中只有牛的饲养数明显的减少的趋势，其他碳源均为总体上升的情况。能源（煤炭与石油总和）消耗量在逐年增长，其年平均增幅达 8.97%，其中煤炭消费量年平均增长率 10.68%，近几年煤炭消耗量增幅有所减少而石油消费量增幅有所上升，石油消费量年平均增长率 7.80%，2003-2006 年 3 年平均增长率达 12.07%，2007 年煤炭消费量高达 2037.19 万吨标准煤，石油消费量 1482.75 万吨标准煤，消耗量均达到历史最高值。水泥生产量年增长率达 4.05%，而 2003-2006 年增长率为-5.54%，有明显的下降趋势。户籍人口年增长率保持在 1.42%左右，稳定碳源增长点。8 年间各类释碳源的持续大幅度增加使总释碳量以年平均增长率 7.26% 的速度不断增大，促使广州市碳释放量急剧增加。

表 1 2000—2007 年广州市各种释碳源的释碳量 10000t·a⁻¹

Table 1: Carbon emission from various carbon sources in Guangzhou during the period from 2000 to 2007

年份	煤炭	石油	水泥生产	人口呼吸
2000	729.15	543.71	171.64	55.35
2001	753.25	526.88	163.77	56.30
2002	825.86	564.68	190.94	56.93
2003	1007.17	577.40	264.38	57.29

2004	1165.88	619.07	226.71	58.28
2005	1336.24	560.63	261.12	59.29
2006	1422.50	619.30	259.90	60.10
2007	1465.52	867.20	201.14	61.10
年份	牛呼吸	猪呼吸	土壤与植被呼吸	总释碳量
2000	7.00	23.52	204.40	1734.76
2001	6.53	23.06	203.87	1733.65
2002	6.02	23.28	204.78	1872.49
2003	4.98	23.54	204.16	2138.91
2004	4.61	23.36	195.84	2293.75
2005	4.40	26.28	198.20	2446.15
2006	4.41	27.96	197.86	2592.03
2007	2.52	26.65	196.37	2820.51

资料来源：根据广东省农村发展年鉴（2001-2008）、广州市统计局编的《广州统计年鉴》（2001—2008）

表 1 展示了 2000 年到 2007 年广州市各种释碳源的释碳量情况，广州市总释碳量在 2000 年为 1734.76 万 t，2007 年增加到了 2820.51 万 t，8 年间增加了 61.51%，年平均增长率高达 7.26%。广州市的能源消耗始终保持为最大碳源，2000 年能源类释碳量占总释碳量的 73.37%，而 2007 年该数据已升至 82.71%。随着广州的能源需求不断增加，对化石能源的依赖，将促使碳释放量不断飙升，作为第一大人为的释碳源，必须着力调整控制。其他释碳量除了牛的呼吸释碳量逐年减少外，均有不同程度的增加。

表 2 2000-2007 年广州市各项主要指标的年平均增长率
Table 2 The average growth rates of main indice in Guangzhou from 2000 to 2007

年份	固碳地总面积/(万 hm ²)	煤炭/万吨	石油/万吨	水泥 /万吨
2000-2003	1.61%	12.66%	3.39%	9.06%
2003-2006	-1.04%	9.96%	12.07%	-5.54%
2000-2006	0.56%	10.68%	7.80%	4.05%
年份	人口/万人	净固碳量	总释碳量	净释碳量

2000-2003	1.30%	1.65%	7.35%	8.03%
2003-2006	1.62%	-0.52%	7.17%	7.91%
2000-2006	1.42%	0.86%	7.26%	7.94%

资料来源：根据广东省农村发展年鉴（2001-2008）、广州市统计局编的《广州统计年鉴》（2001—2008）计算整理

表 2 显示了各项主要指标的年均增长率，从表中可以看到，03 到 06 年固碳地总面积有所下降，直接影响固碳能力。统计年份中，近 3 年，煤炭消费需求有所减缓，而石油消费需求明显上升，城市中水泥生产有较大幅度的减少。这反映了现有的能源结构的调整，及对传统建材的依赖开始较少。

3.2 碳汇评估

通过统计和估算得到广州城市生态系统 2000 年到 2007 年间各年的净固碳量，见表 5。

表 3 2000—2007 年广州市主要固碳地面积净固碳量 10000t/a

Table 3: Net amount of primary carbon sinks in Guangzhou during 2000 to 2007

年份	有林地净固碳量	疏林地净固碳量	灌木林净固碳量	未成林净固碳量
2000	138.09	0.09	0.89	3.25
2001	137.47	0.09	0.85	3.46
2002	139.61	0.05	0.85	2.52
2003	139.99	0.05	0.85	1.71
2004	129.28	0.24	4.05	2.86
2005	134.14	0.24	1.79	2.0
2006	133.85	0.24	1.79	2.18
2007	133.76	0.24	1.79	0.94
年份	无林地净固碳量	耕地净固碳量	城市园林净固碳量	总计净固碳量
2000	3.56	39.92	9.52	195.32
2001	3.64	38.87	16.33	200.71
2002	2.72	36.71	17.75	200.20
2003	2.88	45.47	20.49	211.44
2004	3.60	44.47	23.72	208.22
2005	0.32	43.84	26.75	207.27
2006	2.84	35.92	28.68	205.49
2007	3.76	35.22	31.33	207.03

资料来源：根据广东省农村发展年鉴（2001-2008）、广州市统计局编的《广州统计年鉴》（2001—2008）计算整理

结果表明，广州的主要固碳地面积相对稳定，固碳地总面积 8 年间，2002 年到 2003 年面积增加最多，但增幅仅为 6.78%;近几年固碳地面积保持在 46 万 hm^2 左右。碳净固定量在近几年成一种波动态势，而并未呈现持续上升或下降，2003 年碳净固定量最大 211.44 万 t，2000 年最低固碳量 195.32 万 t。

从主要固碳地的固碳量及总固碳量的年际变化的成分来看，有林地面积始终占主要固碳地面积的一半以上，8 年间平均固碳贡献率达 66.46%，但 8 年间有林地面积总体呈现下降的趋势，从 00 年到 07 年有林地面积减少近 1 万公顷。另外值得注意的是，城市园林面积在 2000-2007 年 8 年内保持持续增长，其固碳贡献率也逐年增加：从 2000 年的 5% 上升到 2007 年的 15%。

这充分说明要提高广州市城市生态系统的碳净固定量就必须继续坚持发展城市园林体系，提高林地的面积及林地的初级生产力。

3.3 碳均衡评估

通过对以上数据分析，整理出的广州市净固碳量与释碳量的比较显示了广州市每年从释碳总量中扣除固碳量后的过剩释碳量，即净释碳量。可以看出，净固碳量相对稳定，而总释碳量持续上升，使净释碳量连年上升。就 2000 年的数据显示，碳释放量已经远远超过了其固碳能力，当年释碳缺口已达 1539.44 万吨，而 2007 年净释碳量多达 2613.48 万吨，这个以为着，广州市城市生态系统存在着严重的碳失汇现象，碳收支及其不平衡。而由表 3 可以知道 8 年间净释碳量仍以平均 7.94% 的年增长率上升，按此速度估算，到 2020 年城市净释碳量将可能达到 7056.51 万吨。

通过计算 NEP 获得了广州市在不同定义下的碳收支状况，可以看到无论考虑人为活动，人为碳源与否，广州市城市生态系统碳收支都不平衡，都起着 CO_2 源在作用，且源的作用越来越明显，NEP1 为负值，可见人口及牲畜呼吸量的增加及由于土地利用发生变化而产生的 CO_2 已经超过了生态系统本有的碳汇能力。|NEP1| 小于 100，与 |NEP2| 相比不及其一成，可见，与生物圈有关的因素中呼吸消耗的过量增长是造成碳收支失衡的部分原因，但绝不是造成碳失衡的最主要因素。2007 年 NEP1 值较 2000 年上升了 16.16%，而 NEP2 值却有所下降，其绝对值增长速度远高于

NEP1，这均说明了化石燃料的燃烧及水泥生产所释放的 CO_2 是造成广州市城市生态系统碳失汇的根本原因。

表 4: 2000 — 2007 年广州市碳均衡与赤字

Table 4: Carbon neutral and its deficits of Guangzhou during 2000 to 2007

(单位:万 t, a^{-1} ,)

年份	NEP1	NEP2	NEP2 / NEP1
2000	-94.95	-1539.45	16.21
2001	-89.05	-1532.95	17.22
2002	-90.81	-1672.29	18.42
2003	-78.53	-1927.48	24.54
2004	-73.87	-2085.53	28.23
2005	-76.55	-2234.54	29.19
2006	-84.84	-2386.54	28.13
2007	-79.61	-2613.47	32.83

资料来源：根据广东省农村发展年鉴（2001-2008）、广州市统计局编的《广州统计年鉴》（2001—2008）

4 小结与讨论

本论文在前人的研究基础上，运用改良的指标体系，对广州市 2000 年到 2007 年的年度净固碳量和总释碳量进行了定性定量的评估。分析的结果归结如下：

1、从 2000 年到 2007 年，广州市的总释碳量与净固碳量均在增加，但是碳释放量已经远远超过了其固碳能力。而且无论是否考虑人为碳源，从 NEP 看，广州市的碳收支都是不平衡的，其城市生态系统的性质（或城市性质）是一个巨大的碳源。

2.总释碳量及净释碳量的变化主要受高碳的化石燃料主要是煤和石油消费量的影响，两者增长率的变化趋势尤其是与占释碳百分比最大的煤炭消费量的变化趋势最为相近。随着广州人口激增，能源需求不断增长，高碳模式的延续将使广州城市的“碳失衡”现象将进一步加剧。

4、在增加固碳能力方面，由于总净固碳量的变化主要是随着森林区域固碳量的变化而变化的，所以若要提高广州市的碳净固定量就必须大力提高其森林的数量和质量，并相应地提高植被的初级或第一性生产的能力。

5、尽快建立碳汇交易市场，利用经济手段来促进

“低碳经济”转型，使碳汇增加、碳源减少，并逐步达到城市的碳均衡。

References (参考文献)

- [1] Kawase, R., Matsuoka, Y., Fujino, J. Decomposition Analysis of CO₂ Emission in Long-term Climate Stabilization Scenarios[J]. *Energy Policy*, 2006, (34): 2113~2122.
- [2] Nicolas Stern. *Stern Review on the Economics of Climate Change* [M], Cambridge University Press, 2007.
- [3] Stern N. *The Economics of Climate Change: The Stern Review* [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006.
- [4] Chen Bin, Wang shaoqiang, Distribution analysis on the NPP of terrestrial vegetation in China, *Resource science*. 2007, 29 (6): 45-53.
- [5] Zhu Wen Quan, Pan Yao Zhong, Impact analysis climate changed with net primary productivity of chinese terrestrial vegetation. *Acta Science Sinica* 2007, 52 (21): 2535-2541
- [6] Zhu Wen Quan, Pan Yao Zhong, and Zhang Jin Shui, estimation of net primary productivity of chinese terrestrial vegetation based on remote sensing, *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 413—424
- [7] Asquith, N.M., Vargas, M.T., Wunder, S., 2008. Selling two environmental services: in-kind payments for bird habitat and watershed protection in Los Negros, Bolivia. *Ecological Economics* 65, 675–684 (this issue). doi:10.1016/j.ecolecon.2007.12.014.
- [8] Babcock, B.A., Lakshminarayan, P.G., Wu, J., Zilberman, D., 1997. Targeting tools for the purchase of environmental amenities. *Land Economics* 73 (3), 325–339.