

Research on Estimation and Reduction Potential of Carbon Emission in Jiangsu Province, China

Rongqin Zhao^{1,2}, Xianjin Huang¹, Shan Gao¹, Zhiling Zhao¹, Dan Tan¹

1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing, China;

2. College of Resources and Environment, North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Zhengzhou, China

1.zhaorq234@163.com, 2.hxj369@nju.edu.cn

Abstract: based on provincial level, this paper established research framework and estimation model of carbon emission inventory. It also estimated the carbon emission inventory of Jiangsu province from 2000 to 2008, and analyzed carbon reducing potential of Jiangsu province through scenario approach. the conclusions were as following: (1) Total carbon emission of Jiangsu province increased from $8005.29 \times 10^4 \text{t}$ in 2000 to $17426.22 \times 10^4 \text{t}$ in 2008 with increasing rate of 118%, in which carbon emission from industrial energy consumption account for 86%. (2) Carbon emission intensity of per unit GDP of Jiangsu province decreased from 0.94t/Yuan RMB in 2000 to 0.75t/Yuan RMB in 2008, meanwhile per capita carbon emission increased form 1.09t in 2000 to 2.27t in 2008. (3) The amount of reduced carbon will be $6641 \times 10^4 \text{t}$ and $19206 \times 10^4 \text{t}$ in 2015 and 2020 respectively under low-carbon scenario, and the carbon reducing proportion will be reach 19% and 34% respectively. (4) In the “twelfth five-year planning” of Jiangsu province, carbon emission reduction in the sectors such as industrial and transportation energy consumption, waste burning and dumping should be strengthened, and provide technological support and demonstration effect for the development of low-carbon Jiangsu province, and decrease regional carbon emission intensity effectively.

Keywords: carbon emission, estimation, carbon reducing, potential, Jiangsu province

江苏省碳排放测算与减排潜力分析

赵荣钦^{1,2}, 黄贤金¹, 高珊¹, 赵志凌¹, 谭丹¹

1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京, 中国, 210093;

2. 华北水利水电学院 资源与环境学院, 郑州, 中国, 450045

1.zhaorq234@163.com, 2.hxj369@nju.edu.cn

摘要: 基于省域层面, 构建了碳排放清单的研究框架和计算模型; 以江苏省为例, 对 2000-2008 年的碳排放进行了全面核算, 并对江苏省碳减排潜力进行了情景分析。结论如下: (1) 江苏省总碳排放量从 2000 年的 8005.29 万吨上升到 2008 年的 17426.22 万吨, 涨幅为 118%, 其中工业能源消费碳排放占 86%; (2) 江苏省单位 GDP 碳排放强度呈波动下降趋势, 从 2000 年的 0.94 吨/万元下降到 2008 年的 0.75 吨/万元, 降幅达 20%; 人均碳排放则呈逐年增加趋势, 从 2000 年的 1.09 吨/人上升到 2008 年的 2.27 吨/人; (3) 低碳情景下, 江苏省 2015 年和 2020 年碳减排量分别为 6641 万吨和 19206 万吨, 减排比例分别为 19% 和 34%; (4) 在“十二五”低碳经济规划中, 应重点加强工业能源消耗、交通能源消耗、垃圾焚烧与填埋等部门的碳减排力度, 切实降低区域碳排放强度, 为发展低碳江苏提供技术支撑和示范效应。

关键词: 碳排放; 测算; 碳减排; 潜力; 江苏省

1 引言

低碳经济的概念最早出现于 2003 年的英国能源

基金项目: 江苏省环保科技基金 (2009037); 江苏省政府决策咨询招标课题

白皮书中, 认为低碳经济是通过更少的自然资源消耗和更少的环境污染, 获得更多的经济产出^[1], 其实质是提高能源效率和清洁能源结构, 核心是能源技术创新和制度创新^[2], 它是人类在气候危机下提出的新的

经济运行模式。近年来，国内外关于低碳经济及碳减排潜力的学术研究也逐渐展开，如 Kawase R^[3]采用改进的 kaya 恒等式对碳排放进行了因素分解研究，并对不同国家的碳减排目标进行了情景预测；Shimada K^[4]建立了对未来区域尺度上低碳经济情景分析的方法；庄贵阳^[5-6]对我国经济低碳发展的可能途径与潜力做了分析；温宗国^[7]针对低碳发展措施对我国经济可持续发展的影响进行了情景分析；魏一鸣等^[8]对我国能源消费碳排放、不同发展水平对碳排放的影响、区域碳排放以及碳减排技术等进行了较为深入的研究；中科院可持续发展战略研究组^[9]对中国低碳发展情景和发展战略对策进行了论述。以上研究对于了解碳排放状况、探索低碳经济的路径和发展前景具有重要意义。但考虑到区域低碳经济发展模式和路径的差异性，对于省级层面碳排放的全面核算和分析还需要进一步探索研究。

江苏省处于城市化、工业化快速发展的时期，面临着较大的碳排放需求。因此，本文基于省域层面，构建了碳排放清单编制的研究框架和计算模型，对江苏省碳排放清单进行了科学地详细的核算，并初步分析了江苏省碳减排的潜力，为江苏省低碳经济发展提供政策参考。

2 数据来源与计算方法

采用 2000-2008 年江苏省的各种能源消费、食物消费、农村生物质能源消费、农业投入、农作物产量、播种面积、土地利用类型数据、废水和固体废弃物排放量等统计数据，主要取自于《中国能源统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《中国交通年鉴》、《江苏省统计年鉴》、《江苏省环境统计年报》等。结合以上数据，对江苏省工业能源消费、生活能源消费、食物消费、交通能源消费、农业生产活动、废弃物等的碳排放以及陆地生态系统的碳吸收进行了定量核算，在江苏省域尺度上建立起了较为详细的碳排放清单。具体各项计算方法如下：

2.1 能源消费碳排放

主要对工业能源、城市生活能源、农村生物质能源和交通能源等四种能源消费的碳排放进行了测算。

2.1.1 工业能源碳排放

工业能源消费碳排放，采用工业能源消费数据，结合相应的碳排放系数进行估算，计算方法如下：

$$C_e = \sum (Q_i \times B_i \times C_i) \quad (1)$$

其中， C_e 为能源消费碳排放量， Q_i 为年度第 i 类能源消费量， B_i 为第 i 类能源折标煤系数，各类能源的折标煤系数来自于中国能源统计年鉴。 C_i 为第 i 类能源的碳排放系数，煤炭、石油、天然气的碳排放系数采用国内外学者研究的平均值（表 1）。除以上三种主要能源类型外，在核算中涉及到的其他相关细化的能源类型的碳排放系数均采用 IPCC 的相关参数（表 2）。

Table 1 Carbon emission coefficient (tC/t)
表 1. 碳排放转换系数表 (tC/t)

煤炭	石油	天然气	平均	来源
0.7020	0.4780	0.3890	0.5230	DOE/EIA ^[10]
0.7560	0.5860	0.4490	0.5970	日本能源经济研究所 ^[10]
0.7260	0.5830	0.4090	0.5726667	国家科委气候变化项目 ^[10]
0.7476	0.5825	0.4435	0.5912	徐国泉 ^[11]
0.7329	0.5574	0.4426	0.5776333	谭丹 ^[12]
0.6510	0.5430	0.4040	0.5326667	国家计委能源所 ^[13]
0.7030	0.5425	0.4210	0.5555	王雪娜 ^[14]
0.7193837	0.584859	0.4035743	0.5692723	何介南 ^[15] , ORNL ^[16] 等
0.717235	0.557157	0.420209	0.564867	平均

2.1.2 城市生活能源碳排放

主要对城市生活消费能源的碳排放进行了核算，采用的碳排放系数来自于 IPCC（表 2）。

2.1.3 农村生物质能源碳排放

主要考虑三种生物质能源（薪柴、沼气和秸秆）的碳排放。计算公式如下：

$$C_b = \sum Qb_i \times Db_i \times Eb_i \quad (2)$$

Table 2. Carbon emission coefficient and standard coal coefficient
表 2. 相关能源的碳排放系数和折标煤系数

名称	碳排放系数 (t/t)	折标煤系数 (kg/kg)
焦炭	0.855	0.9714
原油	0.5857	1.4286
汽油	0.5538	1.4714
煤油	0.5714	1.4714
柴油	0.5921	1.4571
燃料油	0.6185	1.4286
液化石油气	0.5042	1.7143

其中， C_b 为农村生物质能源消费碳排放量(104t)， Qb_i 为第 i 种能源消费量， Db_i 为碳排放系数，这里取

几种化石燃料排碳系数的均值 (0.564867 tC/t)， E_{b_i} 为折标准煤系数，薪柴和沼气折标系数来自中国能源统计年鉴，秸秆折标煤系数采用几种秸秆的折标系数加权平均得到。

2.1.4 交通能源碳排放

采用江苏省综合能源平衡表中的“交通运输、仓储及邮电通讯业”的能源消费量 (万吨标准煤) 作为江苏省交通能源消费量活动数据，乘以煤炭的碳排放系数即可得到历年的交通碳排放量。

2.2 食物消费碳排放

分别对城镇和乡村居民主要食物消费的碳排放进行核算，计算方法如下：

$$CF = \sum Qf_i \times Df_i \quad (3)$$

其中 Qf_i 为第 i 种食物的消费量， Df_i 为第 i 种食物的碳排放吸收，具体各项食物消费的碳排放系数见表 3^[17-18]。

Table 3. Carbon emission coefficient of food consumption(kg/kg)
表 3. 居民食物消费碳排放系数表 (kg/kg)

名称	碳含量	名称	碳含量	名称	碳含量	名称	碳含量
粮食	0.326	畜禽肉	0.254	植物油	0.766	糖果	0.338
蔬菜	8	水产品	6	酒饮料	6	食糖	0
水果	0.027	蛋类	0.143	奶类	0.041	茶叶	0.396
	4		3		1		5
	0.049		0.151		0.062		0.338
	8		0		9		0

2.3 农业活动碳排放

2.3.1 稻田甲烷碳排放

以江苏省历年的水稻播种面积作为活动数据，参考稻田的碳排放系数，核算江苏省水稻种植的碳排放量。具体计算公式如下：

$$F = \sum EF_i \times A_i \times 12/16 \quad (4)$$

其中， F 为水稻碳排放量， EF_i 为水稻甲烷排放系数，江苏省的甲烷排放系数采用华中单季稻区的排放系数 ($365t/10^3hm^2$)。 A_i 为水稻播种面积，12/16 为碳转化系数。

2.3.2 动物肠道发酵和粪便碳排放

结合唐红侠等^[19]的研究，采用主要动物的甲烷排放参数 (表 4)，结合历年主要动物的数量可以推算出全省的碳排放量。

Table 4. CH₄ emission coefficient of animals(kg)
表 4. 动物甲烷排放参数表 (kg)

类别	肠道发酵	动物粪便
黄牛	44	0.66
奶牛	56	7.95
水牛	55	1.28
马	18	1.23
驴	10	0.62
骡	10	0.62
骆驼	46	1.28
猪	1	1.95
山羊	5	0.13
绵羊	8	0.1
家禽		0.015

2.3.3 农业耕作活动碳排放

主要测算了农业机械使用和灌溉过程的碳排放，考虑到农业用电等碳排放实际已在能源消费中进行了核算，所以这里没有重复计算。计算公式如下：

$$E_i = E_m + E_j \quad (5)$$

其中， E_i 、 E_m 、 E_j 分别为碳农业耕作的碳排放总量、农业机械使用和灌溉过程带来的碳排放。各项碳排放过程计算公式参见赵荣钦等^[20]的研究，其中相关的碳排放系数 B、C、D 来自于 West 的研究^[21]。

$$E_m = (A_m \times B) + (W_m \times C) \quad (6)$$

$$E_j = R_i \times D \quad (7)$$

其中， A_m 为农作物种植面积， W_m 为农业机械总动力， $B = 16.47kgC/hm^2$ ， $C = 0.18kgC/kw$ ； R_i 为灌溉面积， $D = 266.48kgC/hm^2$ 。

2.4 废弃物碳排放

2.4.1 垃圾碳排放

垃圾的最终处置方式是焚烧和填埋。根据《IPCC 指南》，对垃圾焚烧产生的温室气体只需要计算焚烧时产生的二氧化碳量，对垃圾填埋产生的温室气体则需要计算甲烷的排放量。计算公式如下：

$$\text{垃圾焚烧碳排放} = \text{垃圾焚烧量} \times 0.99945 \times 45\% \quad (8)$$

$$\text{垃圾填埋碳排放} = \text{垃圾填埋量} \times 0.167 \times 28.5\% \quad (9)$$

其中，垃圾 CO_2 和 CH_4 的排放因子采用《IPCC 指南》^[22]的缺省值，分别为 0.99945 和 0.167；45% 和 28.5% 分别为垃圾含碳率和含水率^[23]。

2.4.2 废水碳排放

结合江苏省废水排放的实际情况，废水的甲烷排放采用《IPCC 指南》中缺省排放系数，即 $0.25kg/kgCOD$ ^[24]，因此，废水碳排放量可采用如下公式进行估算：

$$\text{废水碳排放量} = COD \times 0.25 \times 12/16 \quad (10)$$

2.5 陆地生态系统碳吸收

除了对碳排放进行测算之外，区域陆地生态系统碳汇能力也是衡量区域自身碳补偿水平的重要指标。为了解江苏省碳吸收状况及其在碳排放中的比例关系，本文对森林、草地和农田等主要陆地生态系统的碳吸收进行了测算。森林和草地的碳吸收率采用谢鸿宇等^[25]计算结果，分别采用 3.809592 t/hm^2 和 0.948229 t/hm^2 ，农作物碳吸收的计算方法为：

$$C_s = \sum_i C_d \quad (11)$$

其中， i 表示第 i 种农作物类型； C_d 为某种作物全生育期对碳的吸收量；

$$C_d = C_a D_w = C_a Y_w / H \quad (12)$$

C_a 为作物合成 1g 有机质（干重）所需要吸收的碳， Y_w 为经济产量； D_w 生物产量； H 为经济系数，主要农作物的经济系数和碳吸收率见文献^[20, 26]。

3 江苏省 2000-2008 年碳排放清单分析

将以上各种碳排放项目进行汇总，就可以得到江苏省碳排放清单（城镇食物消费量 2000 年的数据缺失，考虑到年际变动不大，用 2001 年的数据进行了替代）。结合对陆地生态系统碳吸收的计算，这里对江苏省整体的净碳排放水平也进行了定量分析。主要结论如下：

(1) 江苏省碳排放总量从 2000 年以来呈明显的上升趋势，从 2000 年的 8005.29 万吨上升到 2008 年的 17426.22 万吨，涨幅为 118%（图 1）。可见随着江苏省经济发展和人口增加，能源消费、食物消费和废弃物的增多等使江苏省碳排放总量大幅增加。

(2) 就碳排放构成来看，2008 年工业能源消费碳排放占 86%，其次为交通能源和农村能源碳排放，分别为 4.8% 和 3.7%。其他各项碳排放所占比重相对较低，城镇和农村食物消费碳排放合计比重不足 3%；其他各项的比重都在 1% 以下，全部合计仅占 2.4%。工业能源、交通能源和生活能源的碳排放合计占 95% 以上，这说明能源消耗碳排放是构成江苏碳排放的主要来源（表 5）。

Table 5. Carbon emission inventory of Jiangsu province from 2000 to 2008(10⁴t)
表 5. 江苏省 2000-2008 年碳排放清单（万吨）

项目	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
工业能源	5913.79	6248.71	6981.41	8182.92	10201.01	11994.39	12922.28	14506.42	15049.20	
能源	生活									
	城市	64.43	70.23	76.31	85.89	84.07	71.73	61.25	54.77	91.79
能源	农村	892.92	822.60	752.28	731.61	922.98	962.50	557.91	615.27	639.08
交通能源	257.14	325.26	393.37	515.57	629.78	645.10	686.39	752.16	833.21	
食物	城镇食物	151.57	151.57	181.31	183.93	187.31	174.42	205.38	184.70	192.02
	农村食物	484.99	444.13	425.60	394.49	352.56	320.19	330.16	317.13	300.01
稻田甲烷	60.32	55.03	54.26	50.40	57.84	60.48	60.66	60.99	61.12	
农业	反刍									
	肠道发酵	7.74	7.99	8.35	8.60	8.52	8.39	8.33	4.08	4.18
动物	动物粪便	3.88	3.93	3.95	3.95	3.84	3.87	3.71	3.19	3.49
农业	灌溉	103.95	103.93	103.56	102.36	102.31	101.74	102.27	101.98	101.72
耕作	农机	13.61	13.34	13.38	13.20	13.18	13.15	12.75	12.81	13.02
废弃物	垃圾	38.68	38.68	38.68	38.68	41.11	50.12	80.23	118.81	121.41
	废水	12.26	15.58	14.70	14.39	16.01	18.12	17.44	16.71	15.97
总碳排放	8005.29	8300.98	9047.15	10325.96	12620.52	14424.19	15048.77	16749.03	17426.22	
碳吸收	林地	121.55	119.40	119.55	123.90	125.67	124.90	123.84	123.41	123.41
	草地	0.57	2.12	2.10	0.48	0.24	0.24	0.10	0.10	0.09
	农田	7037.45	6974.12	7294.74	6564.44	7007.13	6804.00	7080.73	6726.21	7001.07
总碳吸收	7159.57	7095.64	7416.39	6688.82	7133.03	6929.13	7204.67	6849.73	7124.58	
净碳排放	845.72	1205.34	1630.76	3637.15	5487.48	7495.06	7844.10	9899.31	10301.64	

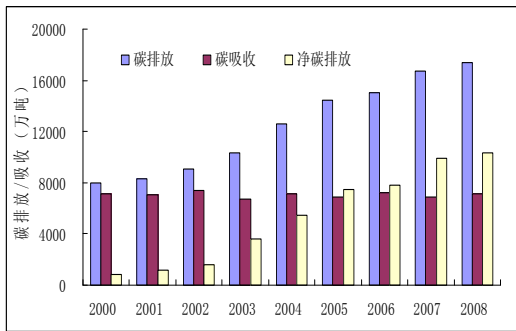


Figure 1. Carbon emission of Jiangsu from 2000 to 2008
图 1. 江苏省历年碳排放状况

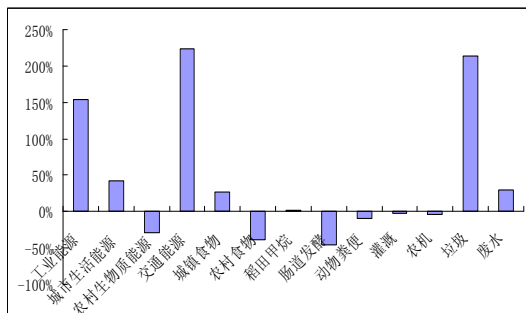


Figure 2. Increasing rate of the main carbon emission items of Jiangsu province from 2000 to 2008
图 2. 江苏省主要碳排放项目的增幅 (2000-2008)

(3) 结合碳排放及其构成情况,在江苏省未来低碳经济发展中,工业领域应成为碳减排的重点,另外,加强交通领域和农村生物质能源的碳减排也是发展低碳经济的重要步骤,废弃物的碳排放控制技术的革新也是不可忽视的领域。相对而言,城镇生活能源消费和食物碳消费属于刚性的碳排放,减排空间不大,不应成为碳减排的重点。

(4) 就各项碳排放 2000 年以来的增幅而言,增幅最大的为交通能源碳排放 (224%),其次为垃圾碳排放,工业能源的增幅次之。其他各项碳排放的增幅相对较低,有一些项目的碳排放甚至呈下降趋势,如农村生物质能、农业活动 (稻田甲烷除外) 和农村食物碳排放等都有不同程度的下降 (图 2)。

(5) 用碳排放总量减去碳吸收,可以得到江苏省净碳排放状况。结果发现,由于碳汇水平有所下降,从 2000 年的 7159.57 万吨下降到 2008 年的 7124.58 万吨,而与此同时碳排放总量却大幅增长,因此江苏省净碳排放增长速率明显超过了碳排放的增长。净碳排放从 2000 年的 845.72 万吨上升到 2008 年的 10301.64 万吨,上升了 11 倍多 (表 5)。

(6) 总体而言,江苏省陆地生态系统碳吸收对于碳排放具有较大的补偿效果,但近年来随着碳汇水平的下降,补偿率从 2000 年的 89.4% 下降到 2008 年的 40.9%,这是值得关注的现象。这表明,随着江苏省经济发展和碳排放的大幅增长,加强陆地生态系统的固碳水平能有效补偿区域自身的碳排放,这对于减轻区域应对气候变化的压力具有重要意义。

4 江苏省碳排放强度及其变化分析

碳排放强度是反映区域经济发展中单位经济效益的碳排放量,用单位 GDP 碳排放来表示。这里对江苏省历年的碳排放强度和人均碳排放的变化进行了分析。其中, GDP 数据采用 2000 年的可比价进行计算。

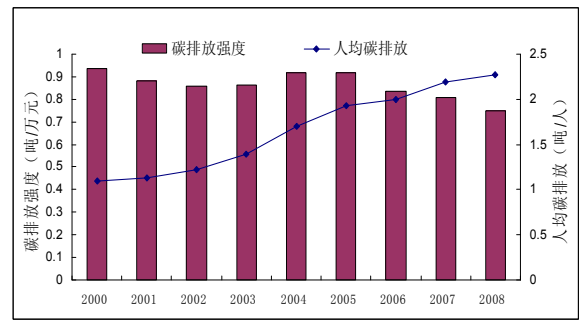


Figure 3. carbon emission intensity and per capita carbon emission of Jiangsu province
图 3. 江苏省历年碳排放强度和人均碳排放

(1) 江苏省 2000 年以来碳排放强度呈波动下降趋势,从 2000 年的 0.94 吨/万元下降到 2008 年的 0.75 吨/万元,降幅达 20%。其中 2004 和 2005 年有所回升,为 0.92 吨/万元。这表明江苏省经济发展速度超过了碳排放的增长速度,江苏省近年来的节能减排工作取得了较大的成效,能源利用效率在逐步提高。

(2) 江苏省人均碳排放呈逐年增加趋势,从 2000 年的 1.09 吨/人上升到 2008 年的 2.27 吨/人,说明随着经济发展和能源消耗量的大幅增长,总碳排放的迅速增长导致了人均碳排放的增加,也说明了人均碳污染水平处于上升趋势 (图 3)。

5 江苏省碳减排潜力分析

结合前文碳排放的计算分析,这里对江苏省 2020 年的碳排放进行预测,主要考虑碳排放强度指标的约束条件来设定发展目标。

江苏省十一届人大三次会议上提出了 2010 年地区生产总值增长 10% 的目标。这里假定 2010-2020 年

经济发展水平按照 GDP 年均 10% 的速率增长。人口按照 2000-2008 年的平均增长率进行计算 (0.5841%)。

(1) 低碳情景: 2005 年碳排放强度为 0.92 吨/万元。按照中国政府 2009 年提出的减排目标的高目标来进行设定: 2020 年单位 GDP 碳排放比 2005 年下降 45%, 即 2020 年为 0.51 吨/万元; 阶段目标 2015 年为 0.61 吨/万元, 比 2005 年下降 34%。

(2) 基准情景: 根据 2000-2008 年碳排放的自然增长水平来进行基准情景的设定, 即碳排放按照 2000-2008 年的平均速率 10.38% 的速度增长。

根据以上设定, 对基准情景和低碳情景的碳排放分别进行了预测和计算 (表 6)。

计算结果发现: 在碳排放自然增长条件下, 2015 年和 2020 年江苏省碳排放总量将分别达到 34778 万吨和 56972 万吨, 同时对应的碳排放强度分别为 0.75 吨/万元和 0.765 吨/万元, 人均碳排放分别为 4.355 吨/人和 6.92 吨/人。在碳排放强度约束情景下, 碳排放总

量 2015 和 2020 年分别为 28137 万吨和 37766 万吨, 分别比自然增长条件下减排 6641 万吨和 19206 万吨, 减排比例分别达 19% 和 34%, 对应的碳排放强度分别为 0.615 吨/万元和 0.515 吨/万元, 人均碳排放分别为 3.72 吨/人和 4.59 吨/人。

这说明, 江苏省未来在经济发展中应努力采取节能降耗措施, 加大减排力度, 按照国家 2020 年碳排放下降 45% 的目标设定, 江苏省到 2020 年将会少排放 19206 万吨碳, 该减排量超过了 2008 年全省的碳排放总量, 说明江苏省的减排潜力是十分巨大的。

减排应该首先在能源高消耗部门展开, 考虑到各种碳排放项目 2000-2008 年的增长速率不同, 应重点加强对碳排放量巨大且增幅较大的部门率先开展低碳技术的应用和推广, 如工业能源消耗部门、城市生活能源消费、垃圾焚烧与填埋等, 切实降低区域碳排放强度, 为发展低碳江苏提供技术支撑和示范效应。

Table 6. scenario analysis of carbon emission of 2020 in Jiangsu province
表 6. 江苏省 2020 年碳排放的情景分析

年份	人口 (万人)	GDP (亿元)	基准情景			低碳情景			减排潜 力 (万 t)	减排比例 (%)
			碳排放强 度 (t/万元)	人均 (t/ 人)	碳排放 (万 t)	碳排放强 度 (t/万元)	人均 (t/ 人)	碳排放 (万 t)		
2000	7327.24	8553.69	0.94	1.09	8005.29	0.94	1.09	8005.29		
2001	7354.92	9422.01	0.88	1.13	8300.98	0.88	1.13	8300.98		
2002	7380.97	10521.02	0.86	1.23	9047.15	0.86	1.23	9047.15		
2003	7405.82	11954.29	0.86	1.39	10325.96	0.86	1.39	10325.96		
2004	7432.50	13717.60	0.92	1.70	12620.52	0.92	1.70	12620.52		
2005	7474.50	15703.94	0.92	1.93	14424.19	0.92	1.93	14424.19		
2006	7549.50	18043.83	0.83	1.99	15048.77	0.83	1.99	15048.77		
2007	7624.50	20724.57	0.81	2.20	16749.03	0.81	2.20	16749.03		
2008	7676.50	23273.69	0.75	2.27	17426.22	0.75	2.27	17426.22		
2009	7721.13	26159.63	0.74	2.49	19234.23	0.73	2.47	19057.89	176.34	0.92%
2010	7766.02	28775.59	0.74	2.73	21229.81	0.71	2.62	20381.58	848.24	4.00%
2011	7811.17	31653.15	0.74	3.00	23432.45	0.69	2.79	21779.42	1653.03	7.05%
2012	7856.59	34818.46	0.74	3.29	25863.61	0.67	2.96	23253.02	2610.59	10.09%
2013	7902.27	38300.31	0.75	3.61	28547.02	0.65	3.14	24803.55	3743.47	13.11%
2014	7948.21	42130.34	0.75	3.96	31508.83	0.63	3.33	26431.65	5077.18	16.11%
2015	7994.42	46343.38	0.75	4.35	34777.93	0.61	3.52	28137.33	6640.60	19.09%
2016	8040.90	50977.71	0.75	4.77	38386.21	0.59	3.72	29919.84	8466.37	22.06%
2017	8087.65	56075.48	0.76	5.24	42368.85	0.57	3.93	31777.47	10591.39	25.00%
2018	8134.67	61683.03	0.76	5.75	46764.71	0.55	4.14	33707.43	13057.28	27.92%
2019	8181.97	67851.34	0.76	6.31	51616.64	0.53	4.36	35705.61	15911.03	30.83%
2020	8229.54	74636.47	0.76	6.92	56971.97	0.51	4.59	37766.05	19205.92	33.71%

6 结论与政策建议

本文基于省域层面,构建了碳排放清单的研究框架和计算模型;以江苏省为例,对碳排放项目进行了较为详尽的核算,并初步分析了碳减排的潜力。结果发现,江苏省总碳排放量从2000年的8005.29万吨上升到2008年的17426.22万吨,涨幅为118%,其中工业能源消费碳排放占86%;江苏省碳排放强度呈波动下降趋势,而人均碳排放呈逐年增加趋势;在低碳情景下,2020年江苏省可减少19206万吨碳排放,碳减排比例高达34%。结合本文的研究结论,特提出以下政策建议:

(1) 化石能源使用是造成碳排放的主要因素。因此,尽量减少传统化石能源的使用,提高清洁能源比重,对高碳排放的产业进行调控是降低碳排放的关键。

(2) 交通能耗碳排放也呈明显增长趋势,因此应尽可能推广清洁燃料,发展大容量轨道交通,以尽可能提高交通能源使用的效率。

(3) 农村生物质能源的碳减排和废弃物的碳排放控制技术的革新也是发展低碳经济的重要步骤。相对而言,城镇生活能源消费和食物碳消费属于刚性的碳排放,减排空间不大,不应成为碳减排的重点。

(4) 江苏省碳汇功能2000年以来略有下降,因此应进一步加强植树造林,提高绿化覆盖率和生产性土地的面积,提高生态系统固碳效率并增加生态系统碳汇,以补偿能源消费的碳排放,同时应通过加强土壤碳管理以改善农田的碳吸收水平。

(5) 考虑到各种碳排放项目2000-2008年的增长速率不同,应重点加强对碳排放量巨大且增幅较大的部门率先开展低碳技术的应用和推广,如工业能源消耗部门、城市生活能源消费、垃圾焚烧与填埋等,切实降低区域碳排放强度,为发展低碳江苏提供技术支撑和示范效应。同时,“十二五”低碳经济规划对于江苏省未来低碳经济转型具有重要意义。

References (参考文献)

[1] Department of Trade and Industry(DTI).UK Energy White Paper: Our energy future—creating a low carbon economy[M]. London: TSO,2003.

[2] Zhuang Guiyang. China: addressing climate change challenge by low-carbon economy[J]. *Environmental Economy*, 2007(1):70(Ch).
庄贵阳.中国:以低碳经济应对气候变化挑战[J].*环境经济*,2007(1):70.

[3] Reina Kawase,Yuzuru Matsuoka,Junichi Fujino.Decomposition analysis of CO₂ emission in long-term climate stabilization sce-

narios[J]. *Energy Policy*,2006,(34), P2113-2122.

[4] Shimada K,Tanaka Y,Gomi K, et al.Developing a long-term local society design methodology towards a low-carbon economy:An application to Shiga Prefecture in Japan[J]. *Energy Policy*,2007,6(35), P 4688-4703.

[5] Zhuang Guiyang. Low-carbon economy: the development path for China under climate change context[M]. Beijing: China Meteorological Press,2007.1-67 (Ch).
庄贵阳.低碳经济:气候变化背景下中国的发展之路[M].北京:气象出版社,2007.1-67.

[6] Zhuang Guiyang. Path and potential analysis on low-carbon development of China's economy[J]. *Studies in International Technology and Economy*,2005,8(3), P 8-12 (Ch).
庄贵阳.中国经济低碳发展的途径与潜力分析[J].*国际技术与经济研究*,2005,8(3), P 8-12.

[7] Wen Zongguo. Scenario analysis on low-carbon development measures on national sustainability. Zhang Kunmin, Pan Jiahua, Cui Dapeng et al. Low-carbon Economy[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2008, P 105-126 (Ch).
温宗国.低碳发展措施对国家可持续性的情景分析.见张坤民,潘家华,崔大鹏等.低碳经济论[M].北京:中国环境科学出版社,2008, P 105-126.

[8] Wei Yiming, Liu Lancui, Fanying, et al. China Energy Report (2008): Carbon emission research[M]. Science Press,2008 (Ch).
魏一鸣,刘兰翠,范英等.中国能源报告(2008):碳排放研究[M].科学出版社,2008.

[9] Sustainable development strategy research group of Chinese Academy of Sciences. 2009 China sustainable development strategies research report: exploring low-carbon path with Chinese characteristic[M]. Science Press,2009 (Ch).
中国科学院可持续发展战略研究组.2009 中国可持续发展战略研究报告——探索中国特色的低碳道路[M].科学出版社,2009.

[10] Wang Gang, Feng Xiao.CO₂ emission reduction through energy integration[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*,2006, 25 (12), P 1467-1470(Ch).
汪刚,冯霄.基于能量集成的CO₂减排量的确定[J].*化工进展*, 2006, 25(12), P 1467-1470.

[11] Xu Guoquan, Liu Zeyuan, Jiang Zhaohua. Decomposition model and empirical study of carbon emissions for China, 1995-2004[J].*China Population Resources and Environment*,2006,16 (6), P 158-161 (Ch).
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), P 158-161.

[12] Tan Dan, Huang Xianjin. Correlation analysis and comparison of the economic development and carbon emissions in the Eastern, Central and Western part of China[J]. *China Population Resources and Environment*,2008,18(3), P 54-57 (Ch).
谭丹,黄贤金.我国东、中、西部地区经济发展与碳排放的关联分析及比较[J].*中国人口·资源与环境*.2008, 18(3), P 54-57.

[13] Gao Shuting. Forecast method and countermeasures for greenhouse gases emission in China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 1994,7(6), P 56-59 (Ch).
高树婷.我国温室气体排放量估测初探[J].*环境科学研究*, 1994, 7(6), P 56-59.

[14] Wang Xuena.Study on estimation method of carbon emission to energy carbon sources in china [D]. Beijing Forestry University, 2006.28 (Ch).
王雪娜.我国能源类碳源估算方法研究[D].北京林业大学, 2006.28.

[15] He Jienan, Kang Wenxing. Estimation of carbon emissions from fossil fuel and industrial production from 2000 to 2005 in Hunan Province[J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*,2008,28(5), P 52-58 (Ch).

- 何介南,康文星.湖南省化石燃料和工业过程碳排放的估算[J].中南林业科技大学学报, 2008, 28(5), P 52-58.
- [16] ORNL. Estimate of CO₂ emission from fossil fuel burning and cement manufacturing. ORNL/CDIAC-25. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee,USA,1990.
- [17] Institute for Nutrition and Food Safety of the Chinese Center for Disease Control and Prevention. food composition table[M]. Beijing: People's Medical Publishing House 1992(Ch). 中国预防医学科学院营养与食品研究所. 食物成分表[M]. 北京:人民卫生出版社,1992.
- [18] Luo Tingwen, Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, et al. Dynamics of urban food-carbon consumption in Beijing households[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005,25(12), P 3252-3258 (Ch). 罗婷文,欧阳志云,王效科,等. 北京城市化进程中家庭食物碳消费动态[J]. 生态学报,2005, 25 (12), P 3252-3258.
- [19] Tang Hongxia, Han Dan, Zhao Youcai. Greenhouse gases emission reduction and controlling technology of agriculture and forestry[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2009.98-99(Ch). 唐红侠,韩丹,赵由才.农林业温室气体减排与控制技术[M].北京: 化学工业出版社,2009.98-99.
- [20] Zhao Rongqin, Qin Mingzhou. Temporospatial Variation of Partial Carbon Source/Sink of Farmland Ecosystem in Coastal China[J].*Journal of Ecology and Rural Environment*,2007,23(2), P 1-6,11 (Ch). 赵荣钦,秦明周.中国沿海地区农田生态系统部分碳源/汇时空差异[J].生态与农村环境学报, 2007,23(2), P 1-6, 11.
- [21] West T O. Marland G. A. Synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2002, 91, P 217-232.
- [22] IPCC, 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R], Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L, Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds).Published: IGES, Japan.
- [23] Sun Xiaojie, Xu Dimin, Li Bing et al. Analysis of Composition and Caloric Value Of Municipal Solid Waste In Shanghai[J]. *Journal Of Tongji University(Natural Science)*, 2008, 36(3), P 356-361 (Ch). 孙晓杰, 徐迪民, 李兵等.上海城市生活垃圾的组成及热值分析[J].同济大学学报(自然科学版).2008, 36(3), P 356-361.
- [24] Guo Yungong. The analysis on calculation and characteristics of greenhouse gas emission in Mega-cities[D]. East China Normal University, 2009 (Ch). 郭运功.特大城市温室气体排放量测算与排放特征分析—以上海为例[D].华东师范大学硕士毕业论文.2009.
- [25] Xie Hongyu, Chen Xiansheng, Lin Kairong. The ecological footprint analysis of fossil energy and electricity. *Acta Ecologica Sinica*,2008,28(4), P 1729-1735 (Ch). 谢鸿宇, 陈贤生, 林凯荣等.基于碳循环的化石能源及电力生态足迹[J].生态学报, 2008, 28(4), P 1729-1735.
- [26] Li Kerang. Land use change, net emission of greenhouse gases and the carbon cycle in terrestrial ecosystems [M].Beijing: China Meteorological Press,2000.260 (Ch). 李克让.土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环[M].北京:气象出版社,2000.260.