

广东省碳源碳汇现状评估及增加碳汇潜力分析*

匡耀求¹ 欧阳婷萍¹ 邹毅¹ 刘宇² 李超¹ 王德辉¹

(1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东 广州 510640; 2. 综合开发研究院, 广东 深圳 518029)

摘要 以生态系统为研究对象, 分析生态系统内部各种温室气体排放源, 得到 2005-2008 年广东省主要排放源 CO₂ 排放量估算结果, 2005 年为 6.19 亿 t, 2008 年达到 7.4 亿 t。首要排放源是化石燃料燃烧, 其次是土壤呼吸。两者占总排放量的 77%-79%。其中土壤呼吸的排放量比较稳定, 基本上保持在 2.27 亿 t 左右(或 6 200 万 t 碳), 而化石燃料燃烧的排放量呈现出明显的增长趋势, 从 2005 年的 2.57 亿 t CO₂(或 7 021 万 t 碳)增加到 2008 年的 3.44 亿 t CO₂(或 9 375 万 t 碳), 4 年增长了 33.52%。其他排放源由大而小依次为: 生物质转化、工业过程和牲畜呼吸。2005-2008 年全省主要碳汇总的 CO₂ 吸收量变化于 2.53 亿-2.56 亿 t(CO₂) 之间。2008 年, 全省最大的碳汇是林地, 年固碳量达 4 831 万 t 碳, 约合 17 715 万 t CO₂; 其次为耕地, 年固碳量为 1 418 万 t 碳, 约合 5 201 万 t CO₂。这两类固碳地吸收的 CO₂ 占了全省碳汇的 90%。源汇相抵后, 全省净排放量从 2005 年的 3.63 亿 t 增加到 2008 年的 4.86 亿 t。人均 CO₂ 排放量从 2005 年的 3.95 t/人增加到 2008 年的 5.09 t/人。单位 GDP 排放量则从 2005 年的 1 625 kg/万元下降到 2008 年的 1 361 kg/万元。在此基础上分析了增加碳汇的潜力。其中推广冬种绿肥每年可增加吸收 CO₂ 2 155 万 t。将全省现有未成林地全部实行封山育林, 约 2 年后每年可以增加吸收 CO₂ 1 000 万 t。同时还建议利用海洋的生物生产力增加碳汇。

关键词 温室气体; 碳源; 碳汇; 广东省

中图分类号 F062 **文献标识码** A **文章编号** 1002-2104(2010)12-0056-06 **doi: 10.3969/j.issn.1002-2104.2010.12.012**

国际能源署的数据显示, 到 2007 年, 我国已经成为世界头号温室气体排放大国, 能源燃烧温室气体排放占全球比重达到 20.8%, 2007 年温室气体净增量已占全球的 46.1%^[1], 在国际社会面对的减排压力与日俱增。2009 年底在哥本哈根召开的联合国气候变化大会上, 中国政府向世界作出了到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放比 2005 年下降 40%-45% 的郑重承诺, 并作为约束性指标纳入了国民经济和社会发展中长期规划。为将碳减排目标落实到具体区域, 国家发展与改革委员会就省级区域排放配额分配方案征求各地意见。为在地区谈判中争取尽可能对广东省有利的碳排放份额, 2010 年 4 月 3 日, 广东省发展与改革委员会召集省内相关领域的专家学者就“省级区域碳排放权配额分配”开展研究, 并根据各自的研究基础进行了具体分工。鉴于我们在碳源、碳汇领域已有的工作基础^[2-9], 分配我们承担广东省碳源、碳汇现状及增汇潜力研究工作。通过省发改委的协调, 补充收集了新的数据, 在原有工作基础上, 对 2005-2008 年全省主要排放源的碳排放情况进行了计算和分析, 于 4 月 8 日提交了初步

研究成果。7 月 19 日, 国家发展与改革委员会下发了《关于开展低碳省区和低碳城市试点工作的通知》, 将包括广东省在内的 5 省 8 市列入国家低碳试点范围。广东省发展与改革委员会在这些研究基础上根据国家低碳省试点工作的有关要求制定了《广东省开展国家低碳省试点工作实施方案》并组织成立了广东省低碳发展专家委员会。11 月 2 日上午, 广东省政府在广州召开了开展国家低碳省试点工作启动大会, 对低碳试点工作进行了动员和部署。本文就是在这样的背景下完成的。

1 碳源的现状评估

1.1 碳源现状评估方法

一个地区的碳源通常是指这个地区的温室气体排放清单。计算温室气体排放清单一般有两种思路。一种只考虑人类活动排放的温室气体, 不考虑自然排放源(如土壤呼吸等), 目前 IPCC 采用的是这种方法^[10], 只是狭义的碳源。另外一种是以生态系统为研究对象, 分析生态系统内部所有温室气体的排放源, 既包括人类活动如化石燃料

收稿日期: 2010-08-10

作者简介: 匡耀求, 研究员, 博导, 主要研究方向为地球系统科学与可持续发展。

* 广东省科技计划重大项目(No. 2008A030203003)、广东省软科学计划重点项目(No. 2007A070300004)资助。

燃烧、工业生产过程、土地利用变化等等,也包括自然系统的排放,是广义的碳源。本文采取第二种方法,将广东省的陆域视为一个独立的生态系统,系统地研究全省在能源消费、工业生产、土壤呼吸、人畜呼吸、生物质转化及植被变化等过程中 CO_2 的排放量。

能源消费是最重要的 CO_2 排放源,这里参考 IPCC 推荐的方法,即能源利用导致的温室气体的排放量,由能源利用量及其排放因子决定^[10-11]:

$$E_{\text{GHG},f_{\text{fuel}}} = FS_{f_{\text{fuel}}} \cdot EF_{\text{GHG},f_{\text{fuel}}} \cdot SE_{f_{\text{fuel}}} \quad (1)$$

其中, $E_{\text{GHG},f_{\text{fuel}}}$ 代表某种化石燃料所排放的某种温室气体量,这里只考虑了 CO_2 一种温室气体; $FS_{f_{\text{fuel}}}$ 表示某种化石燃料的消耗量,以 TJ 或 t 为单位; $EF_{\text{GHG},f_{\text{fuel}}}$ 则指某种化石燃料使用时的温室气体排放系数,不同能源的 CO_2 排放系数见表 1; $SE_{f_{\text{fuel}}}$ 为某种能源利用的热效率(燃烧效率)。

表 1 不同能源的 CO_2 排放系数

Tab. 1 CO_2 emission coefficients of different kind of energy

能源种类 Energy type	单位 Unit	CO_2 排放系数 CO_2 emission coefficient	燃烧效率 Stove efficiency
煤炭	g/kg	2 280 ^[12]	
石油	g/kg	3 130 ^[12]	0.45 ^[11]
液化石油气	g/kg	3 075 ^[12]	0.55 ^[11]
天然气	kg/TJ	117 500 ^[12]	0.57 ^[12]
煤气	kg/TJ	92 500 ^[12]	0.46 ^[12]
电力	t/MWh	1.057 7 ^[13]	

根据以往文献,工业生产过程中水泥、钢铁、石灰生产等行业的排放量占工业生产过程温室气体排放量的 90% 以上^[13]。由于缺少其他工业生产活动的 CO_2 排放系数,这里以这三项产品的 CO_2 排放量作为工业生产排放总量,计算方法类似于公式(1),即某项工业产品的产量与其对应的 CO_2 排放因子决定了该工业生产活动 CO_2 的排放量,以下其他几种排放源的计算方法同样如此,不过与公式(1)不同之处在于不必考虑能源利用效率问题,只需获得排放因子即可^[3,8,14]。

土壤呼吸是指土壤释放 CO_2 的过程,从严格意义上讲是指未受扰动的土壤产生 CO_2 的所有代谢作用,包括三个生物学过程(土壤微生物呼吸、活根系呼吸和土壤动物呼吸)及一个非生物学过程(含碳物质的化学氧化作用)。根据植被类型分为耕地土壤、林地土壤、园地土壤、牧草地土壤等,以当年统计年鉴公布的各类土壤类型面积及广东省国土厅公布的数据为依据,采用各类土壤平均呼吸速率估算广东省森林等植被土壤的呼吸量^[2,9,15]。

Raich 和 Schlesinger 在全球尺度上对陆地生态系统土壤呼吸的研究认为:植物的根系呼吸占土壤呼吸总量的

30%–70%,故在成熟森林中,根系呼吸量在土壤总呼吸量中所占的比例取 50% 是适宜的^[16]。考虑到我国成熟林并不多,林地根系呼吸占土壤总呼吸量的比值取 45%,这与方精云等人^[15]的观点也是一致的。另外,热带草原根系呼吸占土壤总呼吸的 40%,温带草原为 30%^[17]。广东大部分地区属亚热带,所以草地的根系占土壤总呼吸的比值取两者的中间值 35%。由于根系呼吸的这一部分碳量已包含在植物群落的呼吸消费量之中,因此,在计算陆地生态系统的碳排放量时,从土壤释放到大气层中的 CO_2 量应为土壤呼吸量减去根系呼吸消费量。

由于缺乏相关数据,人畜呼吸只考虑了人和广东饲养较多的大型动物猪、牛的排放量。不同动物呼吸的 CO_2 排放系数可见相关文献^[18],在此取人、猪、牛的排放系数分别为:0.079($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)、0.082($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)、0.796($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$)。

生物质转化分析了主要的排放源如木材消耗、沼气利用、秸秆燃烧、森林火灾等所导致的 CO_2 排放。

木材消费的碳释放量($\text{t} \cdot \text{a}^{-1}$) = 木材净消费量(m^3) × 平均木材容积密度($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$) × 总生物量与茎秆生物量之比 × 碳与干物质量之比

木材净消费量(m^3) = 采伐量 + 进口量 - 出口量

其中:平均木材容积密度取 0.4($\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$),总生物量与茎秆生物量之比取 2.0,碳与干物质量之比取 0.45。

1.2 碳源现状评估结果

根据以上原则和计算方法,得到 2005–2008 年广东省主要排放源 CO_2 排放量估算结果见表 2。

由表 2 可知,全省 CO_2 的排放总量在 2005 年为 6.19 亿 t,近年来还在保持明显的增长势头,2008 年达到 7.4 亿 t。首要的排放源是化石燃料的燃烧,其次是土壤呼吸。两者占了总排放量的 77%–79%。其中土壤呼吸的 CO_2 排放量比较稳定,基本上保持在 2.27 亿 t 左右(或 6 200 万 t 碳),而化石燃料燃烧的排放量还在呈现出明显的增长趋势,从 2005 年的 2.57 亿 t CO_2 (或 7 021 万 t 碳)增加到 3.44 亿 t CO_2 (或 9 375 万 t 碳),4 年增长了 33.52%。其他排放源由大而小依次为:生物质转化、工业过程和人畜呼吸。

2 碳汇的现状评估

目前,我省的碳汇主要表现为各类生态系统中的植被通过光合作用将空气中的 CO_2 转化为生物质而固定下来,部分埋藏在地下或以有机质的形式赋存在土壤中。能够固定 CO_2 的植被主要分布在林地、耕地、园地、草地和城市园林绿地等具有一定生态功能的土地利用类型中。广东省各类固碳地 2005–2008 年 CO_2 吸收量估算结果见表 3。

从表 3 可以看出,2005–2008 年全省主要碳汇总的 CO_2 吸收量变化于 2.53 亿–2.56 亿 t(CO_2)之间,前期随

表2 2005-2008年广东省主要排放源
CO₂排放量估算结果

 Tab. 2 Estimation of CO₂ emission from main sources in
Guangdong Province for the year of 2005-2008

排放源 Source of emission	单位 Unit	年/Year			
		2008	2007	2006	2005
燃料 燃烧	碳当量(t)	93 753 705	92 610 363	80 108 323	70 214 462
煤炭	碳当量(t)	65 011 909	65 286 507	55 750 739	50 018 240
石油	碳当量(t)	25 491 615	24 601 891	23 466 830	20 020 182
天然气	碳当量(t)	3 250 181	2 721 965	890 754	176 040
工业 过程	碳当量(t)	15 988 336	16 504 110	14 868 526	13 449 067
水泥	碳当量(t)	9 674 037	9 971 143	9 028 153	8 192 375
钢铁	碳当量(t)	576 436	618 885	485 597	397 632
石灰	碳当量(t)	5 737 863	5 914 082	5 354 776	4 859 060
土壤 呼吸	碳当量(t)	61 944 184	61 836 662	61 661 913	62 471 541
耕地	碳当量(t)	13 860 576	13 943 808	14 115 168	14 457 888
林地	碳当量(t)	42 881 952	42 894 654	42 915 824	43 004 738
园地	碳当量(t)	3 670 128	3 630 077	3 524 488	3 367 925
草地	碳当量(t)	89 488	89 488	89 488	90 804
城市园 林绿地	碳当量(t)	1 442 040	1 278 635	1 016 945	1 550 186
人畜 呼吸	碳当量(t)	11 326 372	11 094 618	12 077 669	12 022 566
牛	碳当量(t)	1 834 700	1 764 334	2 891 152	3 001 636
猪	碳当量(t)	1 951 912	1 865 574	1 836 357	1 757 670
人	碳当量(t)	7 539 760	7 464 710	7 350 160	7 263 260
生物质 燃烧	碳当量(t)	18 943 828	13 406 948	14 047 916	10 845 956
木材	碳当量(t)	8 897 400	3 130 200	2 922 480	2 933 280
薪柴	碳当量(t)	5 530 000	5 672 990	6 187 675	3 102 330
秸秆	碳当量(t)	4 458 916	4 556 860	4 900 896	4 775 232
沼气	碳当量(t)	43 305	35 890	26 699	21 230
森林 火灾	碳当量(t)	14 207	11 007	10 166	13 884
排放 总计	碳当量(t)	201 956 425	195 452 701	182 764 347	169 003 593
	CO ₂ 当 量(亿 t)	7.405 7	7.167 3	6.702 0	6.197 4

随着城镇建设用地的快速增加,固碳地面积逐年减少,碳汇呈减少趋势,到2006年达到最低值(2.533 5亿 t),随着科学发展观的逐步推行和发展方式的逐渐转变,近年来土地利用的集约化程度大大提高,固碳地面积逐年减少的趋势得到抑制,广东省的碳汇得以稳定下来,并随着固碳地结构的改善而有所增加,2008年达到2.547 7亿 t(CO₂)。

2008年,全省最大的碳汇是林地,年固碳量达4 831万 t

 表3 2005-2008年广东省主要碳汇
CO₂吸收量估算结果

 Tab. 3 Estimation of CO₂ sequestration by main sinks in
Guangdong Province for the year of 2005-2008

固碳地类 Land type	单位 Unit	年/Year			
		2008	2007	2006	2005
耕地	碳当量(t)	14 183 310	14 268 480	14 443 830	14 794 530
林地	碳当量(t)	48 310 560	48 324 870	48 348 720	48 448 890
园地	碳当量(t)	5 271 840	5 214 310	5 062 640	4 837 750
草地	碳当量(t)	91 664	91 664	91 664	93 012
城市园 林绿地	碳当量(t)	1 620 165	1 436 576	1 142 561	1 741 670
总吸 收量	碳当量(t)	69 477 539	69 335 900	69 089 415	69 915 852
	CO ₂ 当 量(亿 t)	2.547 7	2.542 5	2.533 5	2.563 8
自然碳 汇(扣 除土壤 呼吸排 放)	碳当量(t)	7 533 355	7 499 238	7 427 502	7 444 311
	CO ₂ 当 量(亿 t)	0.276 2	0.275 0	0.272 4	0.273 0

碳,约合17 715万 t CO₂;其次为耕地,年固碳量为1 418万 t碳,约合5 201万 t CO₂。这两类固碳地吸收的CO₂占了全省碳汇的90%。

3 碳排放强度

通过对全省各类碳源与碳汇的定量估算,我们得到2005-2008年广东省CO₂净排放量与排放强度如表4。从表4可以看出,全省CO₂净排放量已从2005年的3.63亿 t增加到2008年的4.86亿 t。其中2006年比2005年增加了0.53亿 t,2007年比2006年增加了0.46亿 t,2008年比2007年增加了0.23亿 t。人均CO₂排放量也呈明显的增长趋势,2005年为3.95 t/人,2006年为4.48 t/人,2007年为4.89 t/人,2008年达到5.09 t/人,均略高于同期全国平均水平(2005年-2008年分别为3.89 t/人,4.28 t/人,4.58 t/人,4.91 t/人^[1])。但是单位GDP排放量有明显的下降趋势,从2005年的1 625 kg/万元下降到2008年的1 361 kg/万元,4年下降了16.23%,年均下降4.33%。如果保持这样的趋势,到2020年单位GDP的CO₂排放量可以下降到836 kg/万元,比2005年下降48.5%。

4 增加碳汇的潜力分析

温室气体,尤其是CO₂,在大气中停留的时间很长,一般为50-200年^[9],而且它一旦进入大气就几乎无法回收,只有靠自然过程让它逐渐消失。但是气候反应的过程是很迟缓的,如果任其自然,即使现今把化石燃料的使用

表 4 2005-2008 年广东省 CO₂ 净排放量与排放强度
 Tab.4 Net emission and emission intensity of CO₂ in
 Guangdong Province for the year of 2005-2008

CO ₂ 当量 CO ₂ equivalent	单位 Unit	年/Year			
		2008	2007	2006	2005
净排放量	亿 t	4.858 0	4.624 7	4.168 5	3.633 5
人均排放量*	t/人	5.09	4.89	4.48	3.95
GDP 排放	kg/万元	1.361	1.488	1.593	1.625

* 人均排放量按常住人口口径计算。

量大幅减少,地球还是会因过去排放的累积而承受严重的长期暖化后果,并对气候产生长久影响,因此,我们增强碳汇功能,主要可通过调整植被结构和改变土地利用方式来实现。

4.1 调整植被结构

森林是陆地生态系统碳汇功能的主体,森林中的树木在生长过程中从大气中吸收并固定大量的碳,是大气碳循环中的一个主要的“库”,是一个庞大的 CO₂ 回收器,1 hm² 森林,每年吸收 CO₂ 11-30 t^[20]。在所有固碳地中森林生态系统碳汇功能最强,尤其是天然林生态系统具有较强的保护性组分碳,碳汇稳定性强,所以要扩大森林生态系统的面积,尤其是天然林面积是林业区划中首先应当考虑的。人工造林应该选择固碳树种,并营造混交林,控制火灾,同时在宜林荒山、荒地、海岸、平原四旁等地要尽可能多植树。另外为了改善广东省森林固碳量相对较低的现状,可以因地制宜的改变不同种类植被的种植比例,比如可以适当增加木麻黄林、疏林灌木林、针叶混交林、针阔叶混交林等平均净生产量较高的植被的覆盖面积。

4.2 改善土地利用方式

土地利用变化过程对碳汇/源的影响包括自然过程和人为过程两个方面。自然过程受制于自然植被本身光合作用和呼吸作用等增加生物量与生产力的生理过程及环境条件。人为过程通过改变植被碳和土壤有机碳的动态过程而实现,包括生物量收获、残体的处理和土壤扰动及植被组成改变或改变环境条件等方面^[21]。增加生态系统的碳汇功能主要应从增加输入量、减少输出量和增加稳定性去实现。在一定区域尺度,还应该合理选择土地利用方式。Kem 和 Johnson 提出了三种增加生态系统土壤碳汇的管理原则,即维持现有土壤有机质的水平、恢复退化土壤有机质含量水平、扩大土壤有机质库的容量^[22]。增加生态系统碳汇的输入量可以通过提高植被生产力和减少收获部分(如秸秆还田、冬种绿肥等)去实现。通过提高生

物量和减少收获部分可以增加土壤有机碳输入部分,增加植被和土壤碳库,这些过程将进一步增加土壤有机碳和生态系统的碳储量。减少生态系统碳的输出包括减少土壤呼吸、控制水土流失和减少土壤和岩石中碳的淋溶流失。土壤呼吸受土壤温度影响较大,增加土壤的植被覆盖度能减弱温度对土壤呼吸的影响。增加土壤有机碳稳定性包括增加土壤有机碳的腐殖质化、土壤稳定性碳及保护性组分碳储量。土壤有机碳稳定性与土壤团聚体密切相关,农田耕作破坏土壤结构,使有机碳稳定性降低,所以通过减少耕作可以增加有机碳稳定性。在人类土地利用的实际过程中,往往是多种土地利用方式并存,且土地利用过程担负着满足人类多种需求的功能。单纯为增加生态系统碳储量来选择土地利用方式或制定措施显然是不现实的。事实上,增加生态系统的碳储量要求又往往与增加土壤肥力、提高土地生产能力和土壤的环境调节能力的要求相一致。因此,增强生态系统碳汇功能的措施与实现提高土壤其他功能的措施并不矛盾。

在农田、草地与森林几种土地利用方式中,森林的固碳能力是最强的,所以要首先要提高现存森林生态系统的生产力。进行人工林的合理经营采伐,造林或采伐活动中归还所有残体,减少对土壤扰动。同时要停止毁林,保护天然林生态系统。毁林和严重破坏天然次生林生态系统是历史上导致生态系统碳成为大气碳源的重要原因。所以在增加森林土地利用的碳汇措施选择中,保护森林生态系统是首要的选择。而水土流失是导致土壤有机碳迁移的主要过程,退化土地土壤有机碳储量较低,通过造林或种植多年生植物可以控制水土流失,恢复退化的土地,提高土壤有机碳储量。

草地生态系统过度放牧或割草是导致生态系统生产力下降的主要原因,应采取保护措施,减少放牧或割草,能提高草地生产力、增加生态系统的碳储量。通过合理灌溉、施肥、防治病虫害和火灾,选择高产草种,对退化草地禁牧,促进其自然演替,控制水土流失,也能提高草地生态系统碳储量。

对于农田生态系统,耕作是破坏土壤有机碳稳定性的重要原因,因此合理耕作、部分实行少耕或免耕,尽可能减少收获量,实行粮草轮作,秸秆还田,冬种绿肥,提高地力,增施有机肥,提高肥料效率,调整作物布局,选择高产植物,种植越冬作物,提高作物养分利用和产量,这些都能增加土壤有机碳的稳定性而提高生态系统碳储量。

保护低承载力土地,实行轮作种植,把低产农田变成草地或森林,实行农林复合、林草复合经营方式,能够提高土地有机碳输入、增加土壤有机碳储量,提高农田有机碳稳定性。通过土地利用方式的变化提高土壤有机碳储量

和稳定性均能够实现增加土壤有机碳和生态系统碳汇功能的目标。

4.3 广东增加碳汇的主要潜力

(1) 大规模种植绿肥每年可增加吸收 CO_2 2 155 万 t。冬季由于热量不足, 种植耐寒品种的粮食作物成本高, 收效小, 因此, 很多农田在冬季处于荒芜状态。如果播上绿肥种子, 无需增加管理成本就可以生产绿肥, 春季还田后不但可以提高土壤肥力, 而且还大量的有机碳储存在了土壤中。冬种绿肥是吸收 CO_2 和减少化肥用量、改良土壤、提高地力的有效措施, 应该采取切实措施, 大力推广绿肥种植。以光叶紫花苕为例, 按 $45 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 播种, 粗放型管理鲜草产量可达 3 万 kg/hm^2 以上, 折合干物质质量约为 $7\,500 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 相当于固碳 $3\,000 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。2008 年, 广东省有水田 195.95 万 hm^2 , 如果在农闲的冬季全部种上绿肥, 每年可吸收 CO_2 2 155 万 t (或 587.8 万 t 碳)。相当于全省一年薪柴燃烧释放的 CO_2 或石灰生产过程释放的 CO_2 或全省 2/3 人口呼吸释放的 CO_2 。

(2) 增加城市园林绿地面积和改善城市绿化状况。需要全面查清全省城市建成区总面积和园林绿地面积以及植被分布结构的现状, 才能定量评估增加城市园林绿地面积和改善城市绿化状况对增加碳汇的潜力。可以通过遥感调查配合模型分析来完成, 需要设置专门课题研究。

(3) 调整森林植被结构的碳汇潜力。灌木林地的碳汇功能比较强, 通过封山育林可以增加灌木林地的面积。如果将 2008 年 $1\,741\,230 \text{ hm}^2$ 的未成林地全部实行封山育林, 约 2 年后每年可以增加碳汇 1 000 万 t (CO_2 当量)。

(4) 利用海洋的生物生产力增加碳汇。广东是沿海省份, 沿岸海域面积辽阔, 而且最近 30 年来由于大量污水排入近海, 使得主要江河入海口附近海域高度富营养化, 每年都有赤潮发生, 对沿海海洋环境和海洋生态造成巨大影响。如果通过人工干预, 引入适宜的海藻种属(如浒苔)进入特定的海域, 在适宜的条件下会迅速繁殖, 既可以消化海水中的富营养物质, 又可以吸收大量温室气体, 打捞起来后可以加工生产成为生物质饲料、燃料等。可以达到净化海洋环境、增加碳汇和提高生物生产力等多种环境功效。2008 年奥运前夕, 在青岛海域出现的浒苔爆发几乎在一夜之间, 人们看到海面铺满了绿色的浒苔。这可能是目前地球上碳汇功能最强、最快速的固碳方式。当然, 人类要利用这种方式, 则还需要开发相应的打捞和处理技术。

(编辑: 刘呈庆)

参考文献(References)

- [1] IEA. CO_2 Emissions from Fuel Combustion 2010 Edition[DB/OL]. IEA Statistics, 2010. http://www.iea.org/publications/free_new_Desc.asp?PUBS_ID=1825.
- [2] 肖慧娟, 匡耀求, 黄宁生, 等. 工业化高速发展时期广州市的碳收支变化初步研究[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1209-1215. [Xiao Huijuan, Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, et al. Variation of the Carbon Budget in Guangzhou during Its Rapid Industrialization Course[J]. Ecology and Environment, 2006, 15(6): 1209-1215.]
- [3] 刘宇, 匡耀求, 黄宁生, 等. 穗港城市发展及碳排放[J]. 中国人口·资源与环境: 中国可持续发展研究会 2006 年学术年会专刊, 2006, 16: 586-589. [Liu Yu, Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, et al. Urban Development and Carbon Emission in Hong Kong and Guangzhou[J]. China Population, Resources and Environment: Proceedings of the 2006 Symposium of the National Society of Sustainable Development in China, 2006, 16: 586-589.]
- [4] 刘宇, 匡耀求, 黄宁生, 等. 水泥生产排放二氧化碳的人口经济压力分析[J]. 环境科学研究, 2007, 20, (1): 122-126. [Liu Yu, Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, et al. Analysis of the Stresses of Population and Economic Growth on CO_2 Emissions from Cement Manufacturing[J]. Research of Environmental Sciences, 2007, 20, (1): 122-126.]
- [5] 刘宇, 匡耀求, 黄宁生. 农村沼气开发与温室气体减排[J]. 中国人口·资源与环境, 2008, 18(3): 48-53. [Liu Yu, Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng. Rural Biogas Development and Greenhouse Gas Emission Mitigation[J]. China Population, Resources and Environment, 2008, 18(3): 48-53.]
- [6] 马娅, 匡耀求, 黄宁生, 等. 森林固碳释氧价值动态变化及其与区域发展水平相关分析——以广州市为例[J]. 林业经济问题, 2008, 28(5): 395-400. [Ma Ya, Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, et al. Dynamics of the Value of the Forest Ecosystem Carbon Fixation and Oxygen Release and Its Correlation Analysis with Regional Development Level: A Case Study in Guangzhou City[J]. Problems of Forestry Economics, 2008, 28(5): 395-400.]
- [7] Liu Yu, Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, et al. Popularizing Household scale Biogas Digesters for Rural Sustainable Energy Development and Greenhouse Gas Mitigation[J]. Renewable Energy, 2008, 33(9): 2027-2035.
- [8] Liu Yu, Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, et al. CO_2 Emissions from Cement Manufacturing and Its Driving Forces in China[J]. International Journal of Environment and Pollution, 2009, 37(4): 369-382.
- [9] 匡耀求, 黄宁生, 朱照宇, 等编. 广东可持续发展进程 2007[C]. 广州: 广东科技出版社, 2009: 160-212. Kuang Yaoqiu, Huang Ningsheng, Zhu Zhaoyu, et al (eds). Progress of Sustainable Development in Guangdong Province 2007[C]. Guangzhou: Guangdong Science Press, 2009: 160-212.]
- [10] Eggleston H S, Buendia L, Miwa K, et al (eds). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[M]. IGES, Japan, 2006.
- [11] Bhattacharya S C, Abdul P. Emissions from Biomass Energy Use in Some Selected Asian Countries[J]. Energy, 2000, 25(2): 169-188.
- [12] Zhang J, Smith K R. Greenhouse Gases and Other Airborne Pollutants from Household Stoves in China: A Database for Emission Factors[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34(26): 4537-4549.
- [13] 国家发展和改革委员会. 中华人民共和国气候变化初始国家信息通报[M]. 北京: 中国计划出版社, 2004: 15-20. [National

- Development and Reform Commission. The People's Republic of China Initial National Communications on Climate Change[M]. Beijing: China Planning Press, 2004: 15- 20.]
- [14] IPCC. IPCC Second Assessment on Climate Change[R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.
- [15] 方精云, 刘国华, 徐嵩龄, 等. 我国森林植被的生物量和净生产量[J]. 生态学报, 1996, 16(5): 497- 508. [Fang Jingyun, Liu Guohua, Xu Songling, et al. Biomass and Net Production of Forest Vegetation in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 1996, 16(5): 497- 508.
- [16] Raich J W, Schlesinger W H. The Global Carbon Dioxide Flux in Soil Respiration and Its Relationship to Vegetation and Climate[J]. Tellus, 1992, 44B: 81- 99.
- [17] 李陵浩, 陈佐忠. 草地生态系统碳循环及其对全球变化的响应 I. 碳循环的分室模型、碳输入与贮量[J]. 植物学通报, 1998, 15(2): 14- 22. [Li Linghao, Chen Zuozhong. The Carbon Cycle of Grassland Ecosystem and Its Response to Global Change[J]. Chinese Bulletin of Botany, 1998, 15(2): 14- 22.
- [18] 陶在朴. 生态包袱与生态足迹: 可持续发展的重量及面积观念[M]. 北京: 经济科学出版社, 2003. [Tao Zaipo. Ecological Burden and Ecological Footprint: The Concept of Weight and Area for Sustainable Development[M]. Beijing: Economic Science Press, 2003.]
- [19] 丁惠萍, 张社奇, 冯秀绒. 太阳辐射与温室效应[J]. 物理, 2003, 32(2): 94- 97. [Ding Hui ping, Zhang Sheqi, Feng Xiuying. Solar Radiation and Green House Effect. [J]. Physics, 2003, 32(2): 94- 97.
- [20] 邓春朗. 植树造林对减缓 CO₂ 排放的效应及对策[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 1996, 32(4): 551- 554. [Deng Chunlang. Effects of Afforestation on CO₂ Reduction in China[J]. Acta Beijing Normal University: Natural science Edition, 1996, 32(4): 551- 554.]
- [21] 吴建国, 张小全, 徐德应. 土地利用变化对生态系统碳汇功能影响的综合评价[J]. 中国工程科学, 2003, 5(9): 65- 77. [Wu Jianguo Zhang Xiaoquan Yu Deying. The Assessment of the Impacts of Land Use Change on the Ecosystem Carbon Sink [J]. Engineering Science, 2003, 5(9): 65- 77.]
- [22] Kem J S, Johnson M G. Consequences of Tillage Impacts on National Soil and Atmospheric C Levels [J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57: 200- 210.

Present Situation of Carbon Source and Sink and Potential for Increase of Carbon Sink in Guangdong Province

KUANG Yao-qiu¹ OUYANG Ting-ping¹ ZOU Yi¹ LIU Yu² LI Chao¹ WANG De-hui¹
 (1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Guangdong 510640, China;
 2. China Development Institute, Shenzhen Guangdong 518029, China)

Abstract The annual CO₂ emission from the main sources in Guangdong Province during the period from 2005- 2008 has been estimated, through the examination of various greenhouse gas emission sources in the ecological system within the border of Guangdong Province, which was 6.19×10^8 t for 2005, and reached 7.4×10^8 t in 2008. The primary source of emission is fossil fuel combustion; next is soil respiration. Emission from both accounts for 77% - 79% of the total. Among them, emission from soil respiration is relatively stable, almost kept at around 2.27×10^8 t (or 6.200×10^4 t C) every year, while that from fuel combustion shows an obvious increasing trend from 2.57×10^8 t CO₂ (or 7.021×10^4 t C) in 2005 to 3.44×10^8 t CO₂ (or 9.375×10^4 t C) in 2008, an increase of 33.52% in 4 years. Other emission sources are as follows in the decreasing order: biomass transformation, industrial process and human and livestock respiration. The total annual carbon sequestration by the main carbon sinks in the whole province during the period from 2005- 2008 varies from $2.53- 2.56 \times 10^8$ t (CO₂). The biggest carbon sink in 2008 is the forest land, with an annual carbon sequestration of 4.831×10^4 t C, equivalent to 17.715×10^4 t CO₂; next is the farmland, with an annual carbon sequestration of 1.418×10^4 t C, equivalent to 5.201×10^4 t CO₂. The CO₂ uptaken by these two types of carbon sinks accounts for 90% of all the carbon sinks in the province. The net emission of the whole province increased from 3.63×10^8 t in 2005 to 4.86×10^8 t in 2008 after balancing the sources and sinks. Per capita CO₂ emission increased from 3.95 t/capita in 2005 to 5.09 t/capita in 2008, while per unit GDP CO₂ emission decreased from 1.625 kg/10⁴ yuan (RMB) in 2005 to 1.361 kg/10⁴ yuan (RMB) in 2008. Potentials for the increase of carbon sinks are then discussed. To popularize growing green manure during winter may increase carbon sequestration at about 2.155×10^4 t CO₂ every year. If all the newly established open forests in the whole province are fenced for forest conservation, an annual carbon sequestration of 1.000×10^4 t CO₂ may be expected in two years. Meantime, it is suggested that the biological productivity of the near shore sea can be exploited to increase carbon sink.

Key words greenhouse gas; carbon source; carbon sink; Guangdong Province