基于脱钩理论的烟台市碳排放效应分析

王秋贤[1,2,3], 王登杰[1], 颜晓妹[1], 苏秋红[1]

(1. 鲁东大学 地理与规划学院, 山东 烟台 264025;
2. 中国科学院 烟台海岸带研究所, 山东 烟台 264003; 3. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘　要: [目的] 通过分析烟台市 2000—2011 年碳排放与经济发展之间的关系,为烟台市碳减排及发展低碳经济提供参考。[方法] 基于土地利用碳源/碳汇研究的理论框架和计算模型,首先对烟台市土地利用、能源消费等数据进行分析,计算了不同土地利用类型的碳源/汇。然后利用 Tapio 脱钩模型分析该区碳排放与经济发展之间的脱钩弹性关系。[结果] (1) 建设用地是主要碳源,其面积与净碳排放量成倒 U 型库兹涅茨曲线关系。(2) 林地为主要碳汇,其他用地影响较小且主要表现为碳汇。(3) 烟台市净碳排放量在 2001—2011 年持续增长,年均增长率不断降低。[结论] 烟台市碳减排工作已取得一定的成效,但减排形势依然严峻。其经济发展 3 个阶段(连接阶段、脱钩阶段Ⅰ和脱钩阶段Ⅱ)分别对应于其碳排放的高速增长、较快增长、稳定阶段这 3 阶段。

关键词: 碳排放效应; 土地利用; 脱钩理论; 烟台市

文献标识码: A　　**文章编号**: 1000-288X(2015)02-0313-06　　**中图分类号**: X24

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.059

An Analysis on Carbon Emission Effects in Yantai City Based on Decoupling Theory

WANG Qiuxian[1,2,3], WANG Dengjie[1], YAN Xiaomei[1], SU Qiuhong[1]

(1. *College of Geography and Planning, Ludong Univisity, Yantai, Shandong* 264025, *China*;
2. *Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong* 264003, *China*; 3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

Abstract: [Objective] By exploring the links between carbon emissions and economic development in Yantai City from 2000 to 2011, and to provide the reference on carbon emission reduction and developing low-carbon economy in this city. [Methods] Based on the theoretical framework and estimation model of land-use changes, carbon emissions in Yantai City were calculated through data analysis of its land use types and energy consumption. Then the relationship of them with respect to decoupling elasticity was analyzed by the use of the Tapio Decoupling model. [Results] (1) Construction land is the major carbon source in Yantai City, and the relationship between construction land area and the net carbon emissions presented an inverted U-shaped Kuznets curve. (2) Forest is the major carbon sink, and other land use types with less effect, are mainly regarded as carbon sinks. (3) Though the carbon emissions in Yantai City showed a continual increasing trend from 2000 to 2011, the increasing rate declined consistently. [Conclusion] The work of carbon emission reduction in Yantai City had achieved some success, but it is still under great pressure. The economic development in Yantai City can be divided into three stages according to the analysis of Tapio Decoupling model. The three stages are the connected phase, Decoupled stage Ⅰ and Decoupled stage Ⅱ, in corresponding to highest rate phase, higher rate phase and stabilized phase of carbon emissions in Yantai City, respectively.

Keywords: effects of carbon emission; land use; decoupling theory; Yantai City

全球气候变暖已经对自然生态系统和人类生存环境造成了严重影响,成为当今社会亟待解决的问题。解决该问题的关键在于减少碳排放,而土地利用变化是仅次于化石燃料的人为碳排放源[1]。据研究,

收稿日期:2014-09-23　　**修回日期**:2014-10-18
资助项目:鲁东大学学校基金项目"烟台市低碳经济发展途径探讨"(131096); 国家自然科学基金项目(41071334)
第一作者:王秋贤(1977—),女(汉族),山东省烟台市人,博士研究生,讲师,主要从事土地利用与碳循环方面的研究。E-mail:qxwang@yic.ac.cn。
通信作者:王登杰(1992—),男(汉族),浙江省宁波市人,本科生,研究方向为资源环境与城乡规划管理。E-mail:wangdj92@126.com。

土地利用变化导致的 CO_2 排放为 124 Pg，大约为1850—1990年以来化石燃料燃烧产生 CO_2 排放量的1/2[2]。并且城市又是碳消费活动最为集中的地域，因此定量分析土地利用变化的碳排放效应、研究不同土地利用方式的碳排放量对于深入研究人类活动对区域碳循环的影响至关重要[1]。因此，基于土地利用的碳排放研究已经成为一个热点研究问题。国内外学者开展了对碳储量、生态足迹的测算[3-5]、碳排放的产生机制与碳排放因素分解模型[6-7]、碳排放与经济发展、工业生产过程以及能源结构的关系[8-10]、碳排放的预测与驱动因子分析[11-12]、区域碳排放效应研究[13-15]的研究。其中区域碳排放效应研究是这些研究成果的应用和扩展，测算不同国家、不同地区的碳排放效应可以了解相应地区的碳排放水平和碳排放结构，从而有助于制定科学、合理的碳减排计划。此前，刘冰等学者[16]已对烟台市碳排放效应进行了研究，主要是从产业结构、能源利用、排放总量等方面做了些研究，并没有更深层次的研究，此外对烟台市碳排放测算、研究的时间序列较短。为此，本研究通过综合考虑耕地、林地、园地、城市绿地碳排放系数以及能源消耗、工业生产的经验参数对烟台市2000—2011年的碳排放量进行定量测算。并分析烟台市碳排放与其经济发展之间的脱钩弹性特征，揭示烟台市土地利用碳排放与经济发展、建设用地扩张之间的变化规律，以期为烟台市碳减排及发展低碳经济提供参考。

1 研究区概况

烟台地处山东半岛东北部，东临威海，西接潍坊，南邻青岛，北濒黄、渤海，是连接辽东半岛与山东半岛的交通枢纽和面向日韩等东北亚地区的经贸基地之一，区位条件十分优越。烟台地形为低山丘陵区，山丘起伏和缓，沟壑纵横交错，东西长约214 km，南北宽约130 km，总面积约13 746 km^2。2011年烟台市的地区生产总值为4 906.83亿元，比上年增长12.6%，在山东省17个城市中位居第二，仅次于青岛市。其中，烟台市三次产业的比重依次为7.4%，57.7%，34.9%，从这个比重来看，烟台市经济发展的主体是第二产业。由于第二产业的能耗水平较高，这也直接造成了烟台市碳排放量的持续增长。不过从2007年开始，第三产业的增长率已经超过了第二产业，发展势头良好。

2 研究方法

2.1 碳排放测算理论框架及计算方法

不同土地利用方式有着不同的碳排放效应，有的土地利用方式主要表现为碳源，有的表现为碳汇。结合全国土地利用类型分类系统和已有的相关资料[1]，将建设用地（包括居民点及工矿用地、交通运输用地、水利设施用地）上能源消费造成的碳排放和耕地上农业生产活动造成的碳排放作为碳源；城市绿地（建设用地的绿化部分）、耕地、林地、园地、草地上的植被光合作用导致的碳吸收作为碳汇。至于草地、水域和未利用地，由于相关数据稀少，所以暂不考虑。具体理论框架如图1所示。

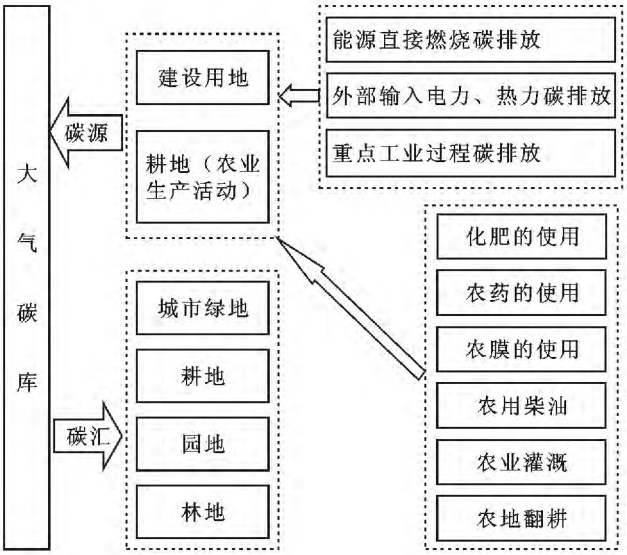


图1 土地利用碳源/汇研究的理论框架

2.1.1 耕地

（1）碳源。耕地既是碳源也是碳汇。参考王克强[17]对耕地碳排放的研究成果，耕地上农业生产活动产生的碳排放包括化肥的使用会直接或间接导致碳排放；农药的使用带来的碳排放；农膜的使用带来的碳排放；农用柴油的使用带来的碳排放；农业灌溉带来的碳排放；农地翻耕导致大量土壤有机碳挥发到空中所造成的碳排放6个方面。所以，耕地的碳排放估算公式为：

$$E_n=\sum e_i=\sum T_i\cdot\mu_i \quad (1)$$

式中：E_n——耕地农业生产活动产生的碳排放量；e_i——各类农业生产活动类型所产生的碳排放量；T_i——各类农业生产活动的消费量；μ_i——耕地所对应的碳排放系数。

（2）碳汇。耕地上的农作物通过光合作用同化空气中的 CO_2，合成有机物质供其生长。所以农作物产生的干物质积累量能侧面反映出作物的同化能力。参考李克让[18]对农作物碳吸收量的研究结果，采用不同种类作物经济系数和碳吸收率来估算农作物的

生育期内的碳吸收量,加和值就是耕地的碳汇能力,具体的碳估算公式为:

$$C_d = C_f \cdot D_w = C_f \cdot \frac{Y_w}{H_i} \quad (2)$$

式中:C_d——某种作物全生育期对碳的吸收量;C_f——其对应的碳吸收率;D_w——某种作物的生物产量,Y_w——某种作物的经济产量;H_i——某种作物对应的经济系数。

2.1.2　建设用地

(1)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,主要包括能源直接燃烧碳排放;外部输入电力、热力碳排放;重点工业过程碳排放 3 个方面。非能源燃烧的重点碳排放行业主要包括水泥、钢铁、石灰工业,其中水泥行业碳排放最高[19-20]。加之钢铁、石灰行业的相关研究较少,外购热力的数据较为缺乏,所以本研究并未考虑。

建设用地的碳排放估算公式为:

$$E_t = E_b + E_c + E_d = \sum N_f \cdot \mu_f + N_s \cdot \mu_s + N_d \cdot \mu_d \quad (3)$$

式中:E_t——碳排放总量;E_b——各主要能源利用产生的碳总排放量;E_c——水泥工业的碳排放量;E_d——外购电力间接产生的碳排放量;N_f——各主要能源对应的消耗量;μ_f——各主要能源对应的碳排放转换系数;N_s——水泥产量;μ_s——水泥对应的碳排放转换系数,数值为 718.35 kg/t;N_d——外购电力耗电量,由于烟台外购电力多数来自华北区域电网,故 μ_d 取华北区域电网碳排放系数,数值为 1.12×10^{-3} t/(kW·h)[20]。

(2)碳汇。城市绿地是建设用地上唯一具有植被的部分,其光合作用导致的碳吸收就是建设用地产生的碳汇。为了方便研究,将城市绿地单独列出,具体测算公式参照公式(4),碳吸收系数为 −1.661 t/(hm²·a)[21]。

2.1.3　其他用地　其他用地如林地、园地的碳排放测算公式为:

$$E_i = A_i \cdot \mu_i \quad (4)$$

式中:E_i——各土地利用方式对应的碳排放量;A_i——各土地利用方式对应的土地面积;μ_i——各土地利用方式的碳排放/吸收系数。

根据已有的研究成果[2,4],林地的碳吸收系数为 −5.706 t/(hm²·a);由于目前对园地固碳能力的研究比较匮乏,且烟台市的园地类型主要是果园,相对林地来说比较稀疏,可以粗略的认为其系数是林地的 1/3[22],为 −1.902 t/(hm²·a),主要参考了李克让,张秀梅等人[18,23]提出的计算公式。

2.2　脱钩理论

脱钩理论是经济合作和发展组织(OECD)提出的形容阻断经济增长与资源消耗或环境污染之间联系的基本理论[24]。Tapio 在脱钩理论的基础上,于 2005 提出了"脱钩弹性"的概念,"脱钩弹性"又被称为"碳排放弹性",用来分析经济发展变化幅度与 CO_2 排放总量变化幅度的比值,主要反映 CO_2 变化对于经济变化的敏感程度。

根据脱钩数值的大小,Tapio 将脱钩弹性分为连接、脱钩和负脱钩 3 种类别。根据碳排放弹性值的大小,又将脱钩弹性进一步细分为 8 大类:强脱钩、弱脱钩、衰退脱钩、扩张负脱钩、强负脱钩、弱负脱钩、衰退连接与扩张连接等,具体类型详见表 1。

表 1　脱钩弹性的 8 种类型[25]

状态		环境压力 CE_n	经济增长 GE_n	弹性值 DE_n
连接	扩张连接	+	+	$0.8 \leqslant DE_n \leqslant 1.2$
	衰退连接	−	−	$0.8 \leqslant DE_n \leqslant 1.2$
脱钩	弱脱钩	+	+	$0 \leqslant DE_n < 0.8$
	强脱钩	−	+	$DE_n < 0$
	衰退脱钩	−	−	$DE_n > 1.2$
负脱钩	扩张负脱钩	+	+	$DE_n > 1.2$
	强负脱钩	+	−	$DE_n < 0$
	弱负脱钩	−	−	$0 \leqslant DE_n < 0.8$

注:+表示区域碳排放量或 GDP 较上年增长,−表示区域碳排放量或 GDP 较上年下降。

脱钩弹性指数为:

$$DE_n = \frac{CE_n}{GE_n} = \frac{\Delta CO_2}{CO_2} / \frac{\Delta GDP}{GDP}$$

式中:DE_n——第 n 年的区域经济增长与区域土地利用碳排放量的脱钩弹性指数;CE_n——第 n 年区域土地利用碳排放量的增长变化速度;GE_n——第 n 年区域经济增长变化速度。

2.3　数据来源

林地、园地、耕地、园林绿地面积、能源消耗量与水泥产量等数据均来自于《烟台统计年鉴(2000—2011 年)》,烟台市建设用地面积来自于《山东统计年鉴(2000—2011 年)》,且地区生产总值采用以 2000 年为基准的可比价格。

3　结果分析

3.1　土地利用碳排放/碳吸收量

3.1.1　土地利用的碳源/碳汇构成分析　根据上述的计算方法和数据资料计算烟台市各种土地利用方式的碳排放量(表 2),可以发现建设用地是烟台市的主要碳源,建设用地的碳排放量占总碳排放量的比例从 2000 年的 90.81%上升到 2011 年的 95.33%;耕

地、林地、园地是构成烟台市碳吸收的3大主体，城市绿地虽然有一定的碳吸收能力，但是贡献率不大。林地是最主要的碳汇，林地的碳吸收量占总碳吸收量的比例从2000年的69.46%上升到2011年的72.07%。

3.1.2 土地利用的碳源/碳汇变化分析 根据表2可知，烟台市土地利用净碳排放量呈快速上升态势，2000—2011年增长了3.41倍，年均增长率高达11.79%，碳排放增长过快问题十分突出。根据净碳排放量，将其分为3个阶段：第一阶段(2000—2005年)：高速增长阶段，年均增长率高达17.99%。2000年为该阶段最低值3.86×10^6 t，2005年为最高值8.82×10^6 t，年均净碳排放量为5.90×10^6 t，该阶段的净碳排放总量较低；第二阶段(2006—2007年)：较快增长阶段，2006年为该阶段最低值9.87×10^6 t，2007年净碳排放量突破千万，达到1.09×10^7 t，年均净碳排放量为1.04×10^7 t。该阶段的年均增长率达到10.17%，虽然增长速率较之第一阶段已有大幅下降，但净碳排放总量却进一步上升；第三阶段(2008—2011年)：稳定高居阶段，年均增长率为5.07%。2008年为该阶段最低值1.13×10^7 t，2011年为最高值1.31×10^7 t，年均净碳排放量为1.20×10^7 t，该阶段的净碳排放量呈现稳定增长的态势，而且年均净碳排放增量依然较大，达到6.04×10^5 t/a。

表2 烟台市2000－2011年碳排放量测算结果 10^4 t

年份	碳源		碳汇				净碳排放量
	耕地(碳源部分)	建设用地	耕地(碳汇部分)	林地	城市绿地	园地	
2000	67.699	669.081	－82.578	－243.911	－1.326	－23.337	385.628
2001	67.754	678.254	－77.659	－218.328	－1.361	－23.109	425.552
2002	67.693	786.469	－71.261	－260.258	－1.502	－23.764	497.377
2003	71.306	879.686	－73.499	－262.958	－1.772	－24.351	588.412
2004	70.641	1 056.337	－74.479	－264.935	－1.954	－27.536	758.075
2005	75.626	1 183.556	－81.237	－266.466	－2.191	－27.535	881.754
2006	80.378	1 301.760	－87.214	－277.893	－2.274	－27.923	986.834
2007	83.928	1 413.538	－86.790	－292.228	－2.396	－28.822	1 087.230
2008	85.227	1 467.025	－90.036	－299.152	－2.549	－28.140	1 132.374
2009	82.271	1 491.877	－94.360	－305.034	－2.755	－27.806	1 144.194
2010	82.750	1 585.896	－94.805	－315.697	－3.148	－28.350	1 226.647
2011	82.875	1 691.002	－95.774	－331.733	－3.263	－29.542	1 313.564

3.2 土地利用碳排放强度

为了进一步分析烟台市土地利用碳排放的强度特征，经过计算得出碳源/碳汇比值、单位产值碳排放、人均碳排放强度和地均碳排放强度(表3)。从表3可以看出，烟台市碳源/碳汇比值、人均碳排放强度、地均碳排放强度均呈上升态势。其中碳源/碳汇比值从2000年的2.098上升到2011年的3.854，增长了1.837倍，年均增长率为5.68%；人均碳排放强度从2000年的0.597 t/人上升到2011年的2.015 t/人，增长了3.375倍，年均增长率为11.69%；地均碳排放强度从2000年的2.805 t/hm^{2}上升到2011年的9.556 t/hm^2，增长了3.406倍，年均增长率为11.79%。人均碳排放强度和地均碳排放强度的快速增长主要是因为人口和土地面积的增长率远远低于土地利用净碳排放量的增长率。而烟台市单位产值碳排放呈下降态势，从2000年的0.838 t/万元下降到2011年的0.437 t/万元，是2000年的52.13%，年均增长率为－5.75%。这主要是由于烟台市国内生产总值的增长率要高于土地利用净碳排放量的增长率。

表3 烟台市2000－2011年碳排放强度测算结果

年份	碳源/碳汇比值	单位产值碳排放(t/万元)	人均碳排放强度(t/人)	地均碳排放强度/(t·hm^{-2})
2000	2.098	0.838	0.597	2.805
2001	2.328	0.764	0.659	3.096
2002	2.394	0.767	0.769	3.618
2003	2.623	0.728	0.911	4.280
2004	3.055	0.734	1.172	5.515
2005	3.336	0.697	1.361	6.414
2006	3.496	0.654	1.518	7.179
2007	3.650	0.608	1.669	7.909
2008	3.697	0.555	1.738	8.238
2009	3.661	0.496	1.755	8.324
2010	3.775	0.460	1.884	8.923
2011	3.854	0.437	2.015	9.556

3.3　土地利用碳排放与经济发展的脱钩分析

通过碳排放弹性计算公式得出烟台市 2000—2011 年土地利用碳排放与经济发展的脱钩关系(表 4)。由表 4 可知,2000—2011 年,烟台市净碳排放量和国内生产总值均呈持续增长态势,但由于各自增长速度的不同,产生了 3 种不同类型的净碳排放弹性特征:扩张连接、扩张负脱钩和弱脱钩。总体上以弱脱钩为主。根据净碳排放弹性特征,可以其划分为 3 个阶段:第一阶段(2000—2005 年)为连接阶段,该阶段以粗放发展为特征。虽然烟台市经济在这个阶段得到快速发展,年均增长率达到 15.47%,但由于主要依托高耗能行业的发展,能源利用率低,导致碳排放量急剧增长,年均增长率更是高达 17.99%,碳排放量的增加速度高于经济发展的速度。第二阶段(2006—2007 年)为脱钩阶段Ⅰ。该阶段以国内生产总值(GDP)快速发展,土地利用净碳排放量高速发展为特征。期间,烟台市经济实现了跨越式发展,年均增长率高达 16.60%。虽然碳排放量的年均增长率依旧不低,为 10.17%,但较第一阶段已有明显下降。说明烟台市经济发展已逐步向低耗能产业和低碳产业进行转型。第三阶段(2008—2011 年)为脱钩阶段Ⅱ。该阶段以国内生产总值较快速发展、土地利用净碳排放量低速发展为特征。较之第二阶段,该阶段的弱脱钩特征愈加明显,碳排放量增长速度放缓,年均增长率进一步下降,为 5.07%。与此同时,烟台市经济发展势头依然良好,年均增长率可以达到 13.23%。这主要是因为烟台市政府加强了节能减排工作,鼓励和促进低耗能产业、低碳产业的发展,并于 2007 年成立了节约能源办公室,采取了节能减排准入,超标准耗能加价和差别电价等减排措施,取得了积极的效果。

表 4　烟台市 2000－2011 年土地利用净碳排放弹性特征

年份	净碳排放量/10^4 t	GDP/亿元	$\triangle CO_2/CO_2$	△GDP/GDP	DE_m	碳排放特征
2000	385.628	879.590				
2001	425.552	976.002	0.104	0.110	0.945	扩张连接
2002	497.377	1 113.130	0.169	0.141	1.201	扩张负脱钩
2003	588.412	1 306.815	0.183	0.174	1.052	扩张连接
2004	758.075	1 535.246	0.288	0.175	1.650	扩张负脱钩
2005	881.754	1 805.449	0.163	0.176	0.927	扩张连接
2006	986.834	2 112.375	0.119	0.170	0.701	弱脱钩
2007	1 087.230	2 463.030	0.102	0.166	0.613	弱脱钩
2008	1 132.374	2 798.002	0.042	0.136	0.305	弱脱钩
2009	1 144.194	3 175.952	0.010	0.135	0.077	弱脱钩
2010	1 226.647	3 623.673	0.072	0.141	0.511	弱脱钩
2011	1 313.564	4 062.137	0.071	0.121	0.586	弱脱钩

3.4　土地利用碳排放与建设用地扩张的关系

为了探究烟台市碳排放量与建设用地扩张的关系,对烟台市 2000—2011 年建设用地面积与碳排放量进行拟合,并通过 SPSS 20 对建设用地面积与年份进行曲线拟合(图 2)。由图 2 可知,建设用地面积与净碳排放量呈倒 U 型库兹涅茨曲线关系(R^2 = 0.983),也就是说随着烟台市建设用地面积增加至拐点后,净碳排放量会逐渐下降,且曲线的拐点在651.1 km^2。建设用地面积与年份可用对数函数很好的拟合(R^2 = 0.993),库兹涅茨曲线拐点出现时间约为 2017 年。烟台市 2000—2011 年建设用地面积与净碳排放量的倒 U 形曲线仅仅刚开始有出现拐点的迹象,还依然处于不断上升的阶段,而且净碳排放量在 2010—2011 年有较大幅度的上升,说明烟台市的碳减排机制还不是十分稳定,碳减排工作任重而道远。

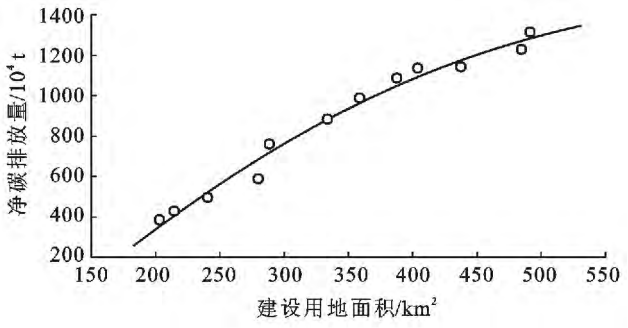


图 2　建设用地面积与净碳排放量库兹涅茨曲线拟合

4　实现经济的低碳绿色增长的相关建议

(1) 优化土地利用结构,限制建设用地无序扩张。建设用地是烟台市最主要的碳源。因此,严格限制建设用地的无序扩张是实现碳减排的有效措施之

一。具体可采取的措施如将分散的农村居住点向集镇集中，工业企业尤其是高污染高耗能企业向工业园区进行其中。通过对建设用地的集约化利用，可以有效降低碳排放量。与此同时，应确保林地、耕地等碳汇能力较强的土地面积处在一个较高的水平上。

(2) 优化产业结构。产业结构不合理是烟台市平均能耗水平偏高的一个重要原因。2011 年烟台市第二产业占 GDP 的比重高达 57.7%，虽然烟台市第三产业的比重在不断上升，但比重仍偏低，仅为 34.9%。此外，在第二产业内部，产业结构也不尽合理，重工业占比大，能耗高。所以为实现低碳经济的发展，必须对产业结构进行调整。

(3) 科学管理耕地。通过对烟台市耕地碳排放量的分析可知，化肥和农药是其主要的贡献者，其贡献率稳定在 60%，所以可以通过提高化肥和农药的使用效率，采取深施化肥、平衡施肥、长效施肥等措施，以达到减少碳排放的目的。

(4) 优化能源利用结构。目前，烟台市的能源结构依然是以煤炭为主。2011 年烟台市火力发电占总发电量的 97.38%，虽然较之 2000 年的 99.87%有所下降，但火力发电的占比仍然过高，需要大力提高清洁能源的使用比例。

[参 考 文 献]

[1] 刘英，赵荣钦，焦士兴. 河南省土地利用碳源/汇及其变化分析[J]水土保持研究，2010，17(5)：154-157.

[2] 赵荣钦. 城市系统碳循环及土地调控研究[M]. 江苏 南京：南京大学出版社，2010.

[3] 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)：地球科学，2007，37(6)：804-812.

[4] 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)：1729-1735.

[5] 周涛，史培军，王绍强. 气候变化及人类活动对中国土壤有机碳储量的影响]J]. 地理学报，2003，58(5)：727-734.

[6] 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.

[7] 孙建卫，赵荣钦，黄贤金，等. 1995—2005 年中国碳排放核算及其因素分解研究[J]. 自然资源学报，2010，25(8)：1284-1295.

[8] 赵建安，魏丹青. 中国水泥生产碳排放系数测算典型研究[J]. 资源科学，2013，35(4)：800-808.

[9] 赵敏，张卫国，俞立中. 上海市能源消费碳排放分析[J]. 环境科学研究，2009，22(8)：984-989.

[10] 李旭. 经济快速发展区域碳排放机制与低碳发展策略：以福建省为例[D]. 福建 福州：福建师范大学，2013.

[11] 栾绍朔. 山东省碳排放预测及其减排路径分析[D]. 山东 青岛：中国海洋大学，2012.

[12] 张乐勤，李荣富，陈素平，等. 安徽省 1995—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.

[13] 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 (9)：102-107.

[14] 邹秀萍，陈劭锋，宁淼，等. 中国省级区域碳排放影响因素的实证分析[J]. 生态经济，2009(3)：34-37.

[15] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[D]. 江苏 南京：南京大学，2010.

[16] 刘冰. 烟台市经济发展报告：低碳经济(2011)[M]. 北京：经济科学出版社，2011.

[17] 王克强. 土地利用变化的碳排放效应研究：兼沂水县实证分析[D]. 四川 雅安：四川农业大学，2012.

[18] 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.

[19] 李新，石建屏，吕淑珍，等. 中国水泥工业 CO_2 产生机理及减排途径研究[J]. 环境科学学报，2011，31(5)：1115-1120.

[20] 张雁飞，王晓菲，于斐，等. 工业园区碳排放核算方法及实证研究[J]. 生态经济，2013(9)：155-157.

[21] Zhao Min, Kong Zhenghong, Escobedo F J, et al. Impacts of urban forests on offsetting carbon emissions from industrial energy use in Hangzhou, China[J]. Journal of Environment Management, 2010, 91(4): 807-813.

[22] 肖玲，赵先贵，许华兴. 山东省碳源与碳汇的动态变化及驱动因子分析[J]. 陕西师范大学：自然科学版，2013，41(2)：82-87.

[23] 张秀梅，李升峰，黄贤金，等. 江苏省 1996—2007 年碳排放效应及时空格局分析[J]. 资源科学，2010，32(4)：768-775.

[24] OECD. Indicators to measure decoupling of environmental pressures from economic growth[R]. Paris: OECD, 2002.

[25] 李波，张俊飚. 基于投入视角的我国农业碳排放与经济发展脱钩研究[J]. 经济经纬，2012(4)：33-37.