

黑龙江省哈尔滨市不同土地利用类型的碳排放效应分析

路 昌¹, 雷国平¹, 张 慧¹, 周 浩¹, 田雅雯¹, 单凯凯¹, 朱丹彤²

(1. 东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030; 2. 哈尔滨市地产交易中心, 哈尔滨 150080)

摘 要:本研究以黑龙江省哈尔滨市为研究区,以 2000—2010 年土地利用、能源消耗等数据为主要依据对哈尔滨市各类用地进行碳排放效应分析,并在此基础上构建 Logistic 模型,预测 2011—2020 年净碳排放的变化趋势。研究结果表明:(1)从 2000—2010 年,哈尔滨市的净碳排放呈明显增加趋势,从 1023.39 万 t 增长到 3264.64 万 t,增长幅度高达 219%。(2)建设用地是主要碳源,占总碳源的 99% 以上。耕地和林地是主要碳汇,两者之和占总碳汇的 99% 以上。(3)地均碳排放强度表现为增长趋势,但单位 GDP 碳排放强度呈下降趋势。(4)在未来 10 a,哈尔滨市净碳排放预计将呈现加速增长的趋势,2020 年预计将达到 5191.83 万 t。依据相关分析结果,从碳增汇和碳减排角度提出了土地利用的相关措施建议。

关键词:碳排放; 土地利用; 哈尔滨市

中图分类号:F301.24;X21

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2014)06-0245-06

Effects of Different Land Use Patterns on Carbon Emission in Harbin City of Heilongjiang Province

LU Chang¹, LEI Guo-ping¹, ZHANG Hui¹, ZHOU Hao¹,
TIAN Ya-wen¹, SHAN Kai-kai¹, ZHU Dan-tong²

(1. College of Resources and Environment, Northeastern Agricultural University,
Harbin 150030, China; 2. Harbi Real Estate Trading Center, Harbin 150030, China)

Abstract: This research selected the land use data, energy consumption data and other data of Harbin City from 2000 to 2010, and used direct and indirect estimation method to analyze the effects of different types of land use on the carbon emissions in Harbin City, and got the carbon emissions data from 2000 to 2010. At the same time, based on this basic data, the Logistic model was constructed to predict the net carbon emissions of Harbin City from 2011 to 2020. The results are as following: (1) from 2000 to 2010, the net carbon emissions of Harbin City increased rapidly, from 10 234 thousand tons to 32 646 thousand tons and the growth rate is as much as 219%; (2) construction land is the main carbon emission source, accounting for about 99% of the overall carbon emission, cultivated land and woodland are the major carbon sink, accounting for about 99% of the overall carbon sink; (3) although the intensity of per unit carbon emission is increasing, the intensity of per GDP carbon emission is declining; (4) the net carbon emissions of Harbin City in the future ten years are expected to speedily grow, and will reach to 51 918 thousand tons in 2020. Based on relevant research results, some policies and suggestions of land use are put forward from the perspective of reducing carbon emission and increasing carbon sinks.

Key words: carbon emissions; land use; Harbin City

近些年,全球气候环境变暖问题日益突出,碳排放已经成为世界各国环境组织关注的焦点之一^[1]。土地利用方式的转变是造成气候环境变暖的重要因

素之一,有研究表明建设用地扩张、未利用地复垦以及湿地退化等变化,在很大程度上增加了 CO₂ 的排放量^[2-4]。从 1950 年至今,由不同土地利用类型之间

的转化而引起的 C 释放量为 $(136\pm 50)\sim 156\text{ Pg}$,占人类总排放量 1/3 以上^[5]。土地利用类型与碳排放之间关系也已经成为国内外学者的研究热点^[6-7]。我国学者更多的关注单一生态系统(如旱地、水田、草地和林地等)对碳排放量的影响,且研究区域多位于重庆^[8-9]、陕西^[10]、无锡^[11]及江苏^[12-13]等中南部地区,对于北部地区多种土地利用类型对碳排放的综合影响还有待深入研究。哈尔滨市作为东三省最重要的经济中心,随着城镇化、工业化进程的不断加快,土地利用方式的变化强度也不断加大,由此产生的现阶段及未来碳排放的变化对其发展将产生重大影响。本文在前人研究的基础上,分析了哈尔滨市近 10 a 由于土地利用方式的改变引起的碳排放的变化,同时对未来 10 a 哈尔滨市净碳排放量进行了预测。为通过合理调整土地利用类型减少碳排放量奠定理论基础,同时为实现区域土地生态系统健康发展提供保障。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

哈尔滨市是黑龙江省省会,位于黑龙江省南部,松花江南岸,东经 $125^{\circ}42'\sim 130^{\circ}10'$ 、北纬 $44^{\circ}04'\sim 46^{\circ}40'$ 之间。夏季高温多雨,冬季寒冷干燥,属于中温带大陆性季风气候。年降雨量约 523 mm,年平均气温 4.2°C 左右,极端最高气温 38°C ,最低气温 -37.7°C ,无霜期 142 d。本研究区为哈尔滨市市域,包括所辖 8 区 7 县 3 市,分别为南岗区、道里区、道外区、香坊区、松北区、平房区、呼兰区、阿城区和宾县、方正县、依兰县、巴彦县、木兰县、延寿县、通河县,代管县级双城市、尚志市、五常市^[13]。总面积为 $53\,067.88\text{ km}^2$,主要土地利用类型为林地和耕地,2010 年总人口 992.02 万人。

1.2 数据来源

本文土地利用变化的基础数据来源于哈尔滨市国土局 2000—2010 年的土地利用变更统计资料;社会经济数据主要来自相关年份的统计年鉴,包

括 2001—2011 年《哈尔滨市统计年鉴》、《黑龙江省统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》以及其它资料和数据等。

2 研究方法

本研究对碳排放和碳吸收采用分别估算的方法。其中,碳排放分为建设用地碳排放和农用地碳排放;碳吸收分为耕地碳吸收和其它土地(包括林地、草地、水域和未利用土地)碳吸收。建设用地碳排放、农用地碳排放和耕地碳吸收均采用间接估算法,其他土地碳吸收采用直接估算法。需要说明的是:(1) 哈尔滨市水域类型主要为湿地,因此在计算水域碳吸收时,采用的碳吸收率为中国湿地的平均碳吸收率。(2) 哈尔滨市的园地以乔木为主,为了计算方便,因此在计算碳排放过程中将其归入林地。(3) 未利用土地主要包括荒草地、沙地和裸地,具有微弱的碳吸收能力,因此本研究把未利用土地的碳吸收考虑在内。

基于 Logistic 回归模型对哈尔滨市未来碳排放进行预测。Logistic 回归模型是一种对二分类或者多分类因变量进行回归分析时经常采用的非线性分类统计方法。建立 Logistic 回归模型方程,运用回归分析方法确定相关指标进行预测,并验证预测结果的精确性。

2.1 碳排放的计算

(1) 建设用地碳排放。建设用地碳排放的计算采用间接估算法,通过其利用过程中各种化石能源消耗的碳排放系数进行间接估算,包括生产和生活的碳排放量^[14],计算公式如下:

$$E_C = \sum e_{ci} = \sum E_{mi} \cdot \theta_i \cdot f_i \quad (1)$$

式中: E_C ——建设用地碳排放量; e_{ci} ——各种化石能源碳排放量; E_{mi} ——各种化石能源的消耗量; θ_i ——各种化石能源转换——标准煤的系数; f_i ——各种化石能源的碳排放系数,其中标准煤转换系数来自于《中国能源统计年鉴》,碳排放系数来自于 IPCC《国家温室气体排放清单指南》(2006),见表 1。

表 1 各种能源的标准煤转换系数和碳排放系数

能源类型	标准煤转换系数	碳排放系数	能源类型	标准煤转换系数	碳排放系数
原煤	0.7143 kg/kg	0.7559	煤油	1.4714 kg/kg	0.5714
焦炭	0.9714 kg/kg	0.855	柴油	1.4571 kg/kg	0.5921
汽油	1.4714 kg/kg	0.5538	燃料油	1.4286 kg/kg	0.6185
原油	1.4286 kg/kg	0.5857	天然气	1.33 kg/m ³	0.4483

(2) 农用地碳排放。农用地碳排放的计算采用间接估算法,主要分为农业化肥施用、农业机械使用和灌溉过程带来的碳排放,计算公式如下:

$$E_a = E_f + E_m + E_i \quad (2)$$

式中: E_a ——农用地碳排放量; E_f, E_m, E_i ——农田化肥生产、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见赵荣钦等^[15],其中的碳排放转化系数来自于美国橡树岭国家实验室^[16]。

2.2 碳吸收的计算

(1) 耕地碳吸收。耕地碳吸收的计算采用间接估算法,依据农作物产量数据、经济系数和碳吸收率,主要估算农作物生育期光合作用过程中合成的碳。在计算过程中,本研究针对哈尔滨市的实际情况,选取的主要农作物为水稻、玉米、大豆、薯类、高粱、谷子、油料、甜菜和烟叶,计算公式如下:

$$C_d=C_f\times D_w=C_f\times Y_w/H_i\tag{3}$$

式中: C_d ——耕地碳吸收量; C_f ——农作物碳吸收率; Y_w ——经济产量; D_w ——生物产量; H_i ——第*i*种作物的经济系数,其中农作物经济系数和碳吸收率^[17]见表 2。

表 2 哈尔滨市主要农作物经济系数(H)和碳吸收率(C_f)

农作物	H	C _f	农作物	H	C _f
水稻	0.45	0.4144	谷子	0.40	0.4500
玉米	0.40	0.4709	其他粮食作物	0.40	0.4500
大豆	0.34	0.4500	油料	0.25	0.4500
薯类	0.70	0.4226	甜菜	0.70	0.4072
高粱	0.35	0.4500	烟草	0.55	0.4500

(2) 其它土地碳吸收。其它土地碳吸收的计算采用直接碳排放系数法,计算公式如下:

$$C_i=S_i\times V_i\tag{4}$$

式中: C_i ——第*i*种土地类型碳吸收,其中, $i=1,2,3,4$,表示林地、草地、水域、未利用土地; S_i ——第*i*种土

地类型面积; V_i ——第*i*种土地类型的碳吸收率,其中林地吸收率为 3.809 6 t/hm²,草地碳吸收率为 0.948 2 t/hm²,水域吸收率为 0.024 8 kg/(m²·a),未利用土地的吸收率为 0.000 5 kg/(m²·a)^[18-20]。

3 结果与分析

3.1 哈尔滨市不同土地利用类型的变化状况

依据统计年鉴,对哈尔滨市 2000—2010 年各土地利用类型变化量进行分析(表 3)。10 a 间哈尔滨市变化率最大的是未利用土地,面积持续减少,从 2000 年的 2.36×10⁵ hm² 减少到 2010 年的 9.88×10⁴ hm²,10 a 变化率高达-58.12%;其次是牧草地,牧草地面积减少迅速,从 2000 年的 8.73×10⁴ hm² 减少到 2010 年的 6.85×10⁴ hm²,10 a 变化率为-21.54%;由于城市化进程的加快,哈尔滨市建设用地面积持续快速增加,从 2000 年的 2.34×10⁵ hm² 增加到 2010 年的 2.69×10⁵ hm²,10 a 变化率为 14.77%;在退耕还林政策以及三北防护林和城市绿地的建设影响下,林地面积持续增长,但幅度不大,从 2000 年的 2.34×10⁵ hm² 增加到 2010 年的 2.69×10⁵ hm²;耕地面积有所减少,但幅度较小,基本维持在 1.80×10⁶ hm²;水域面积变化最小,10 a 间基本保持在 2.02×10⁵ hm²。

表 3 2000—2010 年哈尔滨市土地利用类型面积变化

年份	耕地	林地	建设用地	牧草地	水域	未利用土地
2000	181.33	261.32	23.42	8.73	20.19	23.59
2002	179.77	264.02	24.85	7.86	20.19	22.28
2004	178.97	264.74	25.52	7.53	20.19	21.80
2006	179.36	264.44	25.79	7.53	20.19	21.54
2008	179.83	269.65	26.06	7.15	20.19	15.91
2010	180.27	274.68	26.88	6.85	20.19	9.88
10 a 变化量	-1.06	13.36	3.46	-1.88	0.00	-13.71
10 a 变化率/%	-0.58	5.11	14.77	-21.54	0.00	-58.12

3.2 哈尔滨市 2000—2010 年碳排放/吸收构成分析

通过对各年份耕地、林地、草地、水域和未利用地

等地类的碳吸收和碳排放的估算,汇总 2000—2010 年间的净碳排放量(表 4)。

表 4 哈尔滨市 2000—2010 年主要土地利用类型碳排放/吸收情况

年份	碳源			碳汇						净碳排放
	建设用地	农用地	总碳排放	耕地	林地	草地	水域	未利用土地	总碳吸收	
2000	2763.93	29.04	2792.97	760.65	995.52	8.28	5.01	0.12	1769.58	1023.39
2002	3191.84	29.92	3221.76	747.01	1005.81	7.45	5.01	0.11	1765.39	1456.37
2004	3530.94	30.94	3561.88	771.52	1008.55	7.14	5.01	0.11	1792.33	1769.55
2006	4167.76	38.73	4206.49	1098.89	1007.41	7.14	5.01	0.11	2118.55	2087.94
2008	4815.78	45.28	4861.06	1162.65	1027.26	6.78	5.01	0.08	2201.77	2659.29
2010	5663.98	50.03	5714.01	1391.4	1046.42	6.5	5.01	0.05	2449.37	3264.64

分析表明,碳排放方面,建设用地上人类活动造成的碳排放是最主要碳源,占总碳源的 99% 以上,而

农用地上的农业生产活动形成的碳排放只占不到 1%。

碳吸收方面,耕地和林地对碳吸收贡献率最大,两者之和占总碳汇的 99% 以上,各自占总碳汇的 40% 以上,哈尔滨市森林覆盖率达 45%,远远高于全国其它省市,林地的碳吸收作用非常明显;草地、水域、未利用土地碳吸收量很小,三者总和占总碳汇的比例不到 1%。

3.3 哈尔滨市 2000—2010 年碳排放/吸收变化分析

研究区 2000—2010 年碳排放/吸收变化图表明(图 1),哈尔滨市的碳排放总量持续增长,从 2000 年的 2 792.97 万 t 增长到 2010 年的 5 714.01 万 t,增加 2 921.04 万 t,增长率高达 104.59%。建设用地碳排放快速增长,从 2000 年的 2 763.93 万 t 增长到 2010 年的 5 663.98 万 t,但增长速度呈先放缓后加快的趋势,从 2000—2002 年间的 8% 降低到 2002—2004 年间的 5% 又升高到 2004—2010 年间的 7% 以上,由于哈尔滨市城市化进程加快,建设用地面积加速增长,石油、煤炭、天然气等化石能源消耗大量增加。10 a 间,农用地碳排放总体呈现快速增长趋势,增长速度呈现先加快后放缓的趋势,2004 年之前增长率为 2%,2004—2006 年间,上升到 13%,2006 年后,年增长率逐渐降低到 5%。主要原因是在粮食种植过程中化肥施用量的不断增加,2010 年哈尔滨市农用地化肥施用量为 4.36×10^5 t,比 2000 年增长 93.55%。

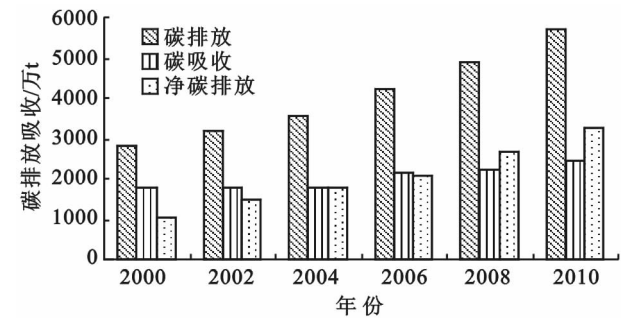


图 1 2000—2010 年哈尔滨市碳排放/吸收变化

2000—2010 年间,哈尔滨市碳吸收总量呈现缓慢增长趋势,10 a 间,增加 679.79 万 t,增长率为 38.42%。其中,耕地和林地的碳吸收量均在逐年增加,但占总碳吸收的比例却呈现相反的变化趋势,耕地占总碳吸收的比例逐年增加,由 2000 年的 42.98% 增加到 2010 年的 56.81%;而林地占总碳吸收的比例却逐年减少,由 2000 年的 56.26% 减少到 42.72%。在 2004 年之后,耕地取代林地成为碳吸收贡献率最大的地类,主要原因是随着社会的发展,科学技术的进步,农作物单位面积产量不断提高,农作物的固碳作用日益显著。草地和未利用土地的碳吸收量呈现逐渐减少趋势,水域的碳吸收量基本保持不变,由于三者所占

碳吸收比例较小,对总碳排放量的变化影响不大。

2000—2010 年间,由于碳排放增长远远高于碳吸收的增长,哈尔滨市净碳排放量快速增长,而且增长速度呈逐渐加快的趋势。2010 年,净碳排放量为 3 264.64 万 t,10 a 间,增长 2 241.25 万 t,增长率高达 219.00%,平均年增长率为 13.19%。

3.4 哈尔滨市土地利用碳排放强度分析

研究区 2000—2010 年地均碳排放强度变化图表明(图 2),10 a 间,地均碳排放强度一直保持增长趋势,从 2000 年的 5.26 t/hm² 增长到 2010 年的 10.77 t/hm²。而地均碳排放强度的增长速度则呈逐渐加快的趋势,年增长率从 5% 上升到 8%。反映出随着经济的快速发展,哈尔滨市每 1 hm² 土地的碳排放量在快速增加。

2000—2010 年间,哈尔滨市地均建设用地碳排放强度一直保持增长趋势,从 2000 年的 118 t/hm² 增长到 2010 年的 210.74 t/hm²,增长趋势呈加速增长,年增长率从 3% 上升到 7%。主要原因是哈尔滨市作为传统的工业城市,工业碳排放量较大,造成地均建设用地碳排放强度偏高。

研究区 2000—2010 年碳排放强度变化图表明(图 3),10 a 间,哈尔滨市单位 GDP 碳排放强度呈下降趋势,2000 年为 2.79 t/万元,到 2010 年已减少到 1.56 t/万元。主要原因是哈尔滨市的总碳排放量在不断增加,但哈尔滨市 GDP 增长幅度明显大于总碳排放的增长。“十一五”期间哈尔滨市对经济结构进行调整的力度加大,社会经济发展和人民生活向低碳方式转变进程加快。由此可以得出,在 2010 年之后的“十二五”期间,哈尔滨市单位 GDP 碳排放强度可能会呈现持续降低的变化趋势。

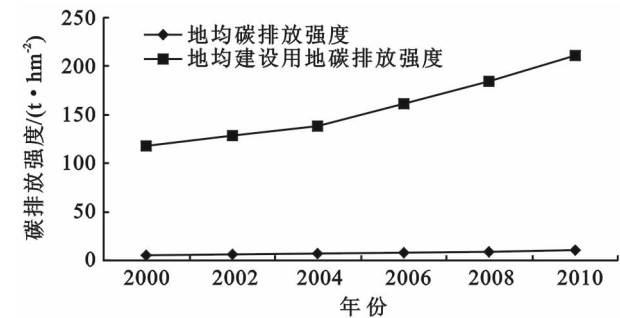


图 2 2000—2010 年哈尔滨市地均碳排放强度变化

3.5 哈尔滨市 2011—2020 年碳排放预测分析

(1) Logistic 模型的建立。Logistic 模型广泛应用于生物、经济、环境科学等领域,是一种精确描述研究对象“S”形增长的数学模型。选用 Logistic 模型进行预测分析,能较好的反映出碳排放未来的变化趋势,建立的模型方程为^[21]:

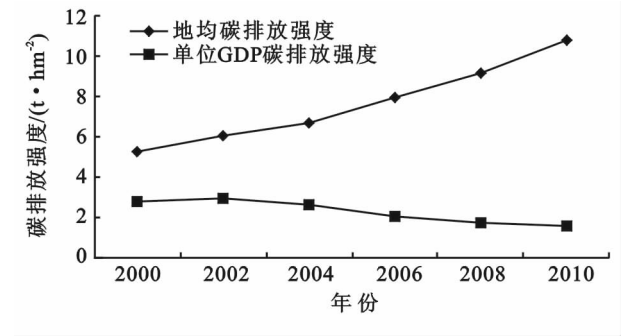


图 3 2000—2010 年哈尔滨市碳排放强度变化

$$\frac{dx}{dt}=rx\left(1-\frac{x}{K}\right) \tag{1}$$

初始条件为：

$$x|_{t=0}=x_0 \tag{2}$$

式中： x ——碳排放增量； t ——时间； K ——碳排放最大容量； r ——不定常数。对模型方程进行积分运算并将初始条件公式(2)代入公式(1)中，求解得到：

$$x=\frac{K}{1+\left(\frac{K}{x_0}-1\right)e^{-r}} \tag{3}$$

设 $\frac{K}{x_0}-1=e^a$ ， a 为常数，代入公式(3)得到：

表 5 哈尔滨市碳排放量统计检验估计

K	5000	5200	5400	5600	5800	6000
R^2	0.9726	0.9747	0.9851	0.9741	0.9721	0.9694
r	-0.1605	-0.1414	-0.1226	-0.115	-0.1072	-0.0962
a	1.3573	1.4064	1.4532	1.4978	1.5406	1.5816

从表 5 可以看出当 K 取 5 400 时， $R^2=0.9851$ ，拟合优度最高。此时，再将 a 和 r 代入公式(4)得到：

$$x=\frac{K}{1+e^{1.4532+0.1226t}} \tag{5}$$

把时间序列代入公式(5)，得到哈尔滨市净碳排放量预测数值，见表 6。

表 6 哈尔滨市 2011—2020 年净碳排放量预测

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
时间序列	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Y	2.8018	2.9244	3.047	3.1696	3.2922	3.4148	3.5374	3.6600	3.7826	3.9052
净碳排放	3573.67	3848.85	4093.73	4311.49	4505.02	4676.94	4829.58	4965.05	5085.23	5191.83

经过预测，结果如表 5 所示，2020 年哈尔滨市净碳排放量将达到 5 191.83 万 t。

(3) 预测验证。利用构建的 Logistic 模型对哈尔滨市 2000—2010 年净碳排放进行预测。预测结果见

表 7，表 7 与表 4 进行对比分析，分析结果表明，哈尔滨市净碳排放的预测值与实际值误差的平均值为 8%。结果表明，哈尔滨市 2011—2020 年净碳排放的预测结果精度较高。

表 7 Logistic 模型预测的哈尔滨市 2000—2010 年净碳排放量

年份	2000	2002	2004	2006	2008	2010
净碳排放	1275.6	1535.6	1855.6	2260.6	2746.6	3311.6

4 结论与建议

4.1 结论

(1) 进入 21 世纪以来，哈尔滨市碳排放迅速增加，碳吸收增长缓慢，碳排放明显高于碳吸收，并形成了碳赤字。净碳排放总量呈现加速增加趋势，10 a 间，从 2000 年的 1 023.39 万 t 增长到 2010 年的 3 264.64 万 t，增长幅度高达 219.00%，平均年增长量为 224.13 万 t。

(2) 建设用地是最主要的碳源，占碳排放总量的 99% 以上，而农用地上的农业生产活动形成的碳排放占比不到 1%。碳源总量从 2000 年的 2 792.97 万 t 迅速增长到 2010 年的 5 714.01 万 t，增长幅度高达 104.59%，平均年增长量为 292.10 万 t。

(3) 耕地和林地是最主要的碳汇，两者之和占碳吸收总量的 99% 以上。草地、水域和未利用土地的碳吸收作用微弱，占比不到 1%，对碳汇总量的变化影响不大。碳汇总量从 2000 年的 1 769.58 万 t 增长到 2010 年的 2 449.37 万 t，增长幅度仅为 38.42%，平均年增长量为 67.98 万 t。

(4) 2000—2010 年间，哈尔滨市的地均碳排放强度和地均建设用地碳排放强度一直保持快速增长趋势，与此同时，单位 GDP 碳排放强度则呈现下降趋势。

(5) 经过预测，哈尔滨市未来 10 a 净碳排放呈现增长趋势，到 2020 年哈尔滨市净碳排放量将达到 5 191.83 万 t。

4.2 建议

(1) 土地利用方面，应从土地利用总体规划的角

度合理规划未来土地利用布局 and 方式,对土地利用结构进行优化,建立低碳可持续的土地利用方式。

(2) 碳减排方面,建设用地是最主要的碳源,到2015年,哈尔滨市城镇化率将达65%以上,哈尔滨市已进入快速城镇化发展时期,必须严格控制建设用地数量,提高建设用地的集约利用率,避免城市的盲目扩张,减缓建设用地碳排放的增长速度;农业方面,要减少工业化肥的使用,加大农家肥的推广力度,并构建土地生态补偿机制。

(3) 碳增汇方面,哈尔滨市的耕地和林地的碳吸收作用至关重要,在重点保护耕地的同时,应大力推进退耕还林还草政策的实施,植树造林,增大城市的碳吸收能力。加强草地和湿地的管理、水土保持和生态保护。

(4) 能源结构方面,哈尔滨市应优化能源消费结构。一是逐步减少传统化石能源的消耗,开发并应用提高传统能源利用的新技术;二是发展低碳能源和清洁能源,加强太阳能、风能、生物质能等新兴能源的研发和利用;三是加强耗能结构设备的研发力度,提高设备的能源利用效率,减缓碳排放的增长。

参考文献:

- [1] 赵先超,朱翔,周跃云. 湖南省不同土地利用方式的碳排放效应及时空格局分析[J]. 环境科学学报,2013,33(3): 941-949.
- [2] 张梅,赖力,黄贤金,等. 中国区域土地利用类型转变的碳排放强度研究[J]. 资源科学,2013,35(4):792-799.
- [3] 陈红敏. 包含工业生产过程碳排放的产业部门隐含碳研究[J]. 中国人口·资源与环境,2009,19(3):25-30.
- [4] Watson R T, Noble I R, Bolin B, et al. Land Use, Land-use Change and Forestry: A Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge University Press, 2000.
- [5] 石洪听,穆兴民,张应龙,等. 四川省广元市不同土地利用类型的碳排放效应研究[J]. 水土保持通报,2012,32(3):101-106.
- [6] 曲福田,卢娜,冯淑怡. 土地利用变化对碳排放的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(10):76-83.
- [7] 葛全胜,戴君虎,何凡能,等. 过去300年中国土地利用,土地覆被变化与碳循环研究[J]. 中国科学:D辑,2008,38(2):197-210.
- [8] 蓝家程,傅瓦利,袁波,等. 重庆市不同土地利用碳排放及碳足迹分析[J]. 水土保持学报,2012,26(1):146-150.
- [9] 肖红艳,袁兴中,李波,等. 土地利用变化碳排放效应研究:以重庆市为例[J]. 重庆师范大学学报:自然科学版,2012,29(1):38-42.
- [10] 苏雅丽,张艳芳. 陕西省土地利用变化的碳排放效益研究[J]. 水土保持学报,2011,25(1):152-156.
- [11] 王海鲲,张荣荣,毕军. 中国城市碳排放核算研究:以无锡市为例[J]. 中国环境科学,2011,31(6):1029-1038.
- [12] 张秀梅,李升峰,黄贤金,等. 江苏省1996年至2007年碳排放效应及时空格局分析[J]. 资源科学,2010,32(4):768-775.
- [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(2):102-107.
- [14] 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.
- [15] 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):1-6,11.
- [16] 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 & Environment, 2002, 91(1): 217-232.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 段晓男,王效科,逯非,等. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力[J]. 生态学报,2008,28(2):463-469.
- [20] 赖力. 中国土地利用的碳排放效应研究[M]. 南京:南京大学出版社,2011.
- [21] 杜强,陈乔,杨锐. 基于 Logistic 模型的中国各省碳排放预测[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(2):143-151.