

基于土地利用变化的东北地区碳排放效应研究

刘学荣, 杨琳, 王颖, 赵婧宇, 李志学, 王静静, 王乾鑫, 周嘉

(哈尔滨师范大学 地理科学学院 黑龙江省普通高等学校地理环境遥感监测重点实验室, 黑龙江 哈尔滨 150025)

摘要: [目的] 通过分析东北地区 2000—2014 年不同土地利用方式的碳排放效应, 为东北地区土地利用结构的优化和碳减排提供参考。[方法] 利用土地利用数据和能源消耗数据等, 采用碳排放系数法, 对东北地区 2000—2014 年不同土地利用方式的碳源/汇进行计算, 并分析其区域差异和碳排放强度。[结果] (1) 建设用地是东北地区碳排放量的主要来源, 对碳排放的贡献率超过 88%, 辽宁省的碳排放量最多。(2) 东北地区森林碳汇资源丰富, 黑龙江省是东北地区碳吸收的主要来源。(3) 东北地区人均碳排放强度呈缓慢增长态势; 地均碳排放强度先增长后降低; 单位 GDP 碳排放强度在持续稳定下降, 但是当前其下降程度还远远不足以使碳排放总量减少。(4) 东北地区是一个不均衡的区域, 黑龙江省对其他区域有贡献; 吉林省碳排放造成的生态环境影响在内部区域已经自行承担, 辽宁省则损害了其他地区的利益。[结论] 黑龙江省和吉林省面临着一定的碳减排压力, 辽宁省面临着较大的碳排放压力, 综合来看东北地区面临着较大的碳排放压力。

关键词: 土地利用; 碳排放; 东北地区; 不均衡性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2017)02-0107-08

中图分类号: F301.24, X171.1

文献参数: 刘学荣, 杨琳, 王颖, 等. 基于土地利用变化的东北地区碳排放效应研究[J]. 水土保持通报, 2017, 37(2): 107-114. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.015; Liu Xuerong, Yang Lin, Wang Ying, et al. Assessment of Carbon Emissions Based on Land Use Change in Northeast China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(2): 107-114. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.02.015

Assessment of Carbon Emissions Based on Land Use Change in Northeast China

LIU Xuerong, YANG Lin, WANG Ying, ZHAO Jingyu, LI Zhixue,

WANG Jingjing, WANG Xianxin, ZHOU Jia

(College of Geographic Science, Harbin Normal University, Key Laboratory of Remote Sensing Monitoring of Geographic Environment, College of Heilongjiang Province, Harbin, Heilongjiang 150025, China)

Abstract: [Objective] Carbon emissions under different land utilization types in Northeast China region from 2000 to 2014 were analyzed to provide references for optimization of land utilization structure and reduction of carbon emission in Northeast China. [Methods] With the method of carbon emission coefficient, data of land use and energy consumption and other information were utilized to calculate carbon source/carbon sink under different land utilization types in Northeast China from 2000 to 2014 and to analyze regional differences and intensities of carbon emissions. [Results] (1) Construction land is the major source of carbon emissions in Southeast China, contributing to above 88% of the total carbon emission; Also the amount of Liaoning Province ranks the top. (2) Northeast China is rich in forest carbon-sink resources, and Heilongjiang Province is the major source for carbon absorption in Northeast China. (3) The per capita carbon emission intensity shows a slow-growth trend in Northeast China; The carbon emission intensity per area increases before reduction; The carbon emission intensity per unit GDP keeps decreasing stably, but the decline is insufficient

收稿日期: 2016-07-17

修回日期: 2016-09-20

资助项目: 国家自然科学基金青年资助项目“城乡统筹背景下中心城市外围城乡共建新区的形成机制与发展模式研究: 以长春市长德新区为例”(41401182); 黑龙江省教育厅项目(12531208); 哈尔滨市科技局科技人才研究专项基金(2016RAXXJ037); 哈尔滨师范大学科技发展预研项目(10xyg-09)

第一作者: 刘学荣(1992—), 女(汉族), 河北省迁西县人, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用规划与管理。E-mail: 1054217869@qq.com。

通讯作者: 周嘉(1974—), 女(汉族), 黑龙江省哈尔滨市人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事环境监测评价与规划管理方面的研究。E-mail: harbin_zhoujia@163.com。

for the reduction of total carbon emission. (4) Northeast China is an unbalanced area with Heilongjiang Province making contribution to other regions with respect to carbon absorption, the impacts of carbon emission in Jilin Province on ecological environment are assumed in an equalized status by province wide itself; While Liaoning Province is over emitted at the expense of other regions. [Conclusion] Heilongjiang Province and Jilin Province are facing certain pressure of carbon emission reduction and Liaoning Province is facing relatively high pressure. Generally, Northeast China area is facing relatively high pressure for reducing carbon emission.

Keywords: land utilization; carbon emission; Northeast China; imbalance

随着全球变暖带来的一系列气候问题,温室气体减排已经成为国际社会的关注焦点。联合国政府气候变化专门委员会 IPCC 第 5 次报告称自前工业时代(1850—1900 年)以来,二氧化碳浓度已经增加了 40%,主要来自于化石燃料的排放量;其次,则来自土地的开发利用。在 1850—1998 年近 150 a 间,土地利用变化引起的二氧化碳排放量占人类活动影响总二氧化碳排放量的 $1/3$ ^[1],土地利用变化对温室效应的贡献大约为 24%^[2],土地利用变化对碳排放的影响已经引起广泛关注。2014 年 11 月 12 日《中美应对气候变化联合声明》确定了重大战略安排,中国承诺到 2030 年左右实现我国的碳排放峰值控制。这表达了我国发展低碳经济的决心,对于东北地区的经济发展无疑是巨大的挑战。“十三五”规划纲要表示今后 5 a 要实现生产方式和生活方式绿色、低碳水平上升;能源和水资源消耗、建设用地、碳排放总量得到有效控制,主要污染物排放总量大幅减少。因此,东北老工业基地为适应经济发展新常态,进行低碳经济转型已成为新时期发展的必然之路。国内外学者也围绕土地利用碳排放展开了深入且系统的研究。Ali G^[3]以巴基斯坦为例,评估了能源消耗、土地利用变化和碳排放之间的相互关系。方精云^[4]对 1981—2000 年森林、草地、灌草丛和农作物等陆地植被碳汇量进行了估算;朴世龙^[5]研究了我国陆地生态系统碳源/汇的时空格局及其历史演变过程;赵荣钦^[6]探讨了南京市不同土地利用方式的碳储量和碳通量状况。目前研究热点集中在区域范围内的土地利用碳排放效应研究,如湖南^[7]、湖北^[8]、江苏^[9-10]、陕西省^[11]、武汉^[12]、重庆^[13-14]、烟台^[15]等省市,主要以省市层面的研究为主。景跃军^[16]研究了东北地区一次能源消费的碳排放现状;陈珏^[17]分析了黑龙江省土地利用变化的碳排放效应和时空格局,侧重研究碳排放量的空间差异。目前国内就土地利用碳排放的影响研究主要集中在宏观和微观的层面上,对于中观区域内的土地利用碳排放的研究则少见报道。因此,本研究从不同土地利用方式所具有的碳源/汇作用入手,分析东北地区 2000—2014 年不同土地利用方式的碳排放效

应,探讨土地利用碳排放量的区域不均衡性和碳排放强度。研究结果可为东北地区的节能减排和振兴老工业基地的发展提供理论依据和实践价值,为构建低碳土地利用发展模式提供建议。

1 研究区概况

本研究所指的东北地区为黑龙江、吉林、辽宁 3 省,介于北纬 $38^{\circ}43'$ — $53^{\circ}33'$,东经 $118^{\circ}53'$ — $135^{\circ}05'$,土地总面积达 $7.88 \times 10^5 \text{ km}^2$,占全国陆地国土面积的 8.21%。土地肥沃,耕地集中连片,是中国最主要的商品粮基地。东北林区是中国最大的天然林区。2014 年该区域总人口为 10 748.5 万人,占全国总人口数的 7.86%,其中辽宁省 4 244.2 万人,吉林省 2 671.3 万人,黑龙江省 3 833 万人。东北地区 2014 年地区生产总值(GDP)达到 57 469.1 亿元,占全国的 9.03%,其中辽宁省 GDP 为 28 626.6 亿元,吉林省 GDP 达到 13 803.1 亿元,黑龙江省 GDP 为 15 039.4 亿元。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源

采用 2000—2014 年东北 3 省土地利用、能源消费、人口、GDP、农产品经济产量等统计数据,数据来源于《中国统计年鉴》、《中国能源统计年鉴》、《黑龙江统计年鉴》、《吉林统计年鉴》、《辽宁统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》和《中国农业统计资料》等,以及第二次全国土地调查(2007—2009 年)和第 9 次全国森林资源调查(2014—2018 年)。部分年度森林面积和草地面积数据存在缺失,本文采用相邻年度数据进行分析,运用相关公式估算及分析东北地区的碳排放量。

2.2 碳吸收计算方法

本研究主要对耕地、林地、草地、城市绿地和建设用地 5 种主要的土地利用类型进行研究。其中建设用地和耕地具有碳源效应。虽然耕地中的农作物可以吸收空气中的 CO_2 ,但绝大部分在短期内经分解又释放到了大气中,导致耕地的碳汇较小^[18],因此将

耕地视为碳源效应。林地、草地和城市绿地具有碳汇效应。

森林、草地和城市绿地碳吸收的计算方法为:

$$C_i = S_i \cdot \beta_i \quad (1)$$

式中: C_i ——第 i 种土地类型的碳吸收; S_i ——第 i 种土地类型的面积; β_i ——第 i 种土地类型的碳吸收率。

森林和草地碳吸收率借鉴谢鸿宇等^[19]的研究成果,考虑到建设用地绿化部分既有草地,也有乔木、灌木,因此其碳吸收率采用草地和森林二者碳吸收率的平均值。

2.3 碳排放计算方法

2.3.1 耕地碳排放 耕地在人类进行农作物耕作活动中表现为碳源,主要包括化肥施用、农药的使用、农业机械的使用、农业灌溉、农膜的耗用、翻耕导致的土壤有机碳库动态变化和农作物秸秆焚烧等 7 方面造成的碳排放。计算公式为:

$$E_i = G_f A + T_p B + (S_m C + P_m D) + F_a E + A_i F + S_m G + X_i W_i R_j Z_e H \quad (2)$$

式中: E_i ——耕地碳排放; G_f , T_p , S_m , P_m , F_a , A_i , X_i , W_i , R_j , Z_e ——化肥使用量,农药使用量,农作物种植面积,农业机械总动力,灌溉面积,农膜使用量,农作物经济产量,草谷比,秸秆焚烧效率,秸秆焚烧比例,其中翻耕面积使用当年农作物种植面积数据。秸秆焚烧造成的碳排放主要考虑水稻、小麦、玉米、高粱、谷子、豆类、薯类、麻类、甜菜、烟叶等农作物,甜菜和烟叶的草谷比系数分别取 0.1, 1^[20],其他系数主要来自农业技术经济手册;秸秆焚烧效率为 88.9%,秸秆焚烧比例黑龙江和吉林为 30%,辽宁为 20%,中国为 18.59%^[21]。 A , B , C , D , E , F , G 和 H 为转换系数, A , B 值来自美国橡树岭实验室,分别为 0.895 6 和 4.934 1 kg/kg; C , D , E 分别为 16.47 kg/hm², 0.18 kg/kW, 266.48 kg/hm²^[22]; F 为 5.18 kg/hm²,来自南京农业大学农业资源与生态环境研究所 (IREEA); G 为翻耕土地的碳排放系数,数值为 3.126 kg/hm²,来自中国农业大学农学与生物技术学院; H 参考王革华^[23]的研究,数值为 1.247 t/t。

2.3.2 建设用地碳排放 建设用地承载的人类生产和生活活动消耗了大量能源,因此建设用地的碳排放量采用间接估算法,即利用生产和生活过程中的煤炭、石油和天然气等能源消耗量,将各种化石能源转换为标准煤,再根据各类能源的碳排放系数计算得出建设用地的碳排放量。本文根据实际情况,选取原煤、焦炭、原油、燃料油、汽油、煤油、柴油、天然气等 8 种主要能源进行计算,公式为:

$$E_p = \sum e_i = \sum E_i \cdot \theta_i \cdot \beta_i \quad (3)$$

式中: E_p ——建设用地碳排放量; e_i ——各种化石能源的碳排放量; E_i ——各种化石能源消耗量; θ_i ——各种化石能源转化为标准煤的转换系数; β_i ——各种化石能源的碳排放系数。采用《中国能源统计年鉴》附录中的各种能源折算标准煤参考系数,碳排放系数来自于 IPCC《国家温室气体排放清单指南》^[24]。

2.4 土地利用碳排放的经济贡献系数

经济贡献系数用于衡量区域间碳排放经济贡献的公平性,是反映区域碳生产力的指标之一。经济贡献系数 (ECC) = 经济贡献率 / 土地利用碳排放占全国的比例。

$$ECC = \frac{G_i}{G} / \frac{C_i}{C} \quad (4)$$

式中: G_i ——各区域的 GDP; G ——全国的 GDP; C_i ——各区域的土地利用碳排放量; C ——全国的土地利用碳排放量^[25]。

由以上分析可知,若 $ECC > 1$,即某一区域经济贡献率大于碳排放的贡献率,说明其具有较高的经济效率和能源利用效率,区域碳生产力强;反之,若 $ECC < 1$,区域碳生产力弱。

2.5 土地利用碳排放的生态承载系数

生态承载系数用于衡量各区域碳生态容量贡献的公平性,反映了区域的碳汇能力。生态承载系数 (ESC) = 主要碳汇对碳吸收量的比例 / 碳排放比例。

$$ESC = \frac{CA_i}{CA} / \frac{C_i}{C} \quad (5)$$

式中: CA_i ——各区域主要碳汇对碳的吸收量; CA ——全国主要碳汇对碳的吸收量。

若 $ESC > 1$,即某一区域主要碳汇对碳的吸收的贡献率大于碳排放的贡献率,说明其具有相对较高的碳的生态容量,对其他区域有贡献;反之则具有较低的碳的生态容量。

3 结果与分析

3.1 东北地区土地利用碳源/汇分析

3.1.1 东北地区碳排放分析 土地利用碳排放包括建设用地和耕地碳排放两大类。建设用地碳排放量包括工业生产、生活等能源消耗所产生的碳排放量。研究期内东北地区碳排放量不断增加,2012 年为拐点,以后有所减少。碳吸收呈现稳中有升的趋势,因此净碳排放量逐渐增加,直至 2012 年以后有所下降。从总体情况来看,2012 年之前东北地区建设用地碳排放量呈现不断增加的趋势,耕地碳排放量呈现稳定增加的趋势。

表 1 东北地区 2000—2014 年土地利用碳源/汇状况

10⁴ t

年份	碳源			碳汇				净碳排放
	建设用地	耕地	总碳排放	森林	草地	城市绿地	总碳吸收	
2000	18 951.03	2 491.22	21 442.25	-11 118.68	-357.49	-26.77	-11 502.94	9 939.31
2001	18 881.89	2 769.95	21 651.84	-11 118.68	-355.97	-28.87	-11 503.52	10 148.32
2002	19 582.69	3 062.91	22 645.60	-11 118.68	-354.58	-28.70	-11 501.96	11 143.64
2003	21 421.27	2 906.99	24 328.26	-11 118.88	-350.58	-30.41	-11 499.87	12 828.39
2004	23 908.24	3 425.08	27 333.32	-11 422.95	-345.54	-34.81	-11 803.30	15 530.02
2005	27 131.12	3 654.91	30 786.03	-11 422.95	-343.36	-36.36	-11 802.67	18 983.36
2006	28 958.85	3 877.63	32 836.48	-11 422.95	-341.19	-30.36	-11 794.50	21 041.98
2007	30 907.04	3 693.81	34 600.85	-11 422.95	-340.71	-77.55	-11 841.21	22 759.64
2008	32 366.53	4 001.40	36 367.93	-11 422.95	-341.33	-40.40	-11 804.68	24 563.25
2009	34 076.50	3 860.04	37 936.54	-12 098.73	-341.33	-43.57	-12 483.63	25 452.91
2010	37 849.08	4 342.90	42 191.98	-12 098.73	-341.33	-47.64	-12 487.70	29 704.28
2011	41 306.57	4 787.02	46 093.59	-12 098.73	-341.33	-49.22	-12 489.28	33 604.31
2012	42 559.45	4 980.66	47 540.11	-12 098.73	-341.33	-54.93	-12 494.99	35 045.12
2013	40 599.13	5 210.90	45 810.03	-12 509.41	-127.03	-55.66	-12 692.10	33 117.93
2014	38 820.80	5 197.27	44 018.07	-12 589.92	-127.03	-57.95	-12 774.90	31 243.17

注:正值代表碳源效应;排放二氧化碳;负值代表碳汇效应,吸收二氧化碳。

东北地区是全国的“大粮仓”,随着农业经济的发展,农业耕作活动导致的碳排放与日俱增。其中耕地碳排放主要来自秸秆焚烧和化肥的施用,秸秆焚烧导致的碳排放量占研究期间农业碳排放总量的 78.56%。黑龙江省的耕地碳排放量最多,吉林省次之,辽宁省最少。东北地区耕地碳排放量呈现不断增长的态势,耕地的碳减排控制依旧任重道远,首要任务是解决秸秆的焚烧问题。研究期间的东北地区建设用地碳排放量为 4.57×10^9 t,占碳排放总量的 88.70%。因此建设用地碳排放是土地利用碳排放量的主要来源。根源在于东北地区以工业发展为主导的经济增长方式和城镇化建设,消耗大量的煤炭和石油等能源导致高碳排放量。煤炭消费量、能源消费量与碳排放量的变化趋势基本一致,说明煤炭作为东北地区的主要能源,其消费量的变化是导致能源消费总量和碳排放总量变化的主要原因。研究期间煤炭燃烧造成的碳排放比例维持在 62.26%~70.19%,呈现波动增长的趋势。石油比例呈现缓慢下降趋势,天然气占据比例在缓慢增加。说明煤炭消费导致的碳排放量在东北地区总碳排放量中占有主要地位,从侧面反映了东北地区的能源消费结构不合理,亟待调整。从图 1—2 可以看出,在地区生产总值不断增加的前提下,东北地区的土地利用碳排放量呈现明显的先增后减趋势,年变化趋势明显,可分为 3 个阶段。(1) 缓慢增长阶段(2000—2003 年)。处于研究期的低水平阶段,增长趋势较为平缓。这一时期的碳排放水平远

低于研究期间的平均水平 3.44×10^8 t,该时期不仅耕地碳排放量少,且能源的消耗量相对较少,所以碳排放量相对较低。(2) 快速增长阶段(2004—2012 年)。上涨趋势尤为明显,此阶段城市化进程和经济发展速度加快,能源需求量大,2012 年碳排放达 4.75×10^8 t,碳排放量为研究期间的顶峰时期,年平均增长率为 7.16%。(3) 平稳下降阶段(2012—2014 年)。碳排放量出现负增长现象。东北地区实施较严格的节能减排措施,淘汰高耗能产业,对能源消费的快速增加起到了抑制作用。随着化石能源尤其是煤炭消耗量的减少,碳排放量快速降低。随着国家在“十二五”期间碳减排力度的加大和科学技术的进步,减排工作已初见成效,东北地区的碳排放量将逐渐呈现平稳下降的趋势。

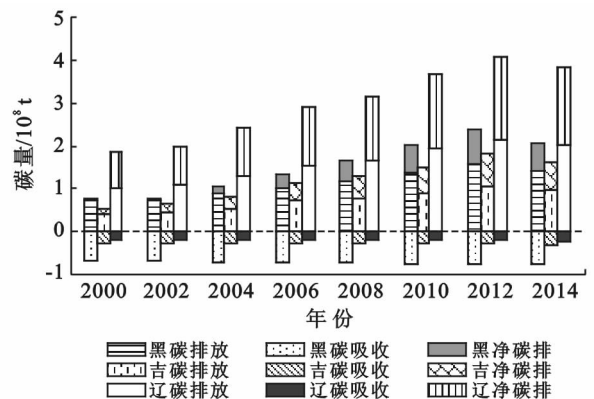


图 1 黑吉辽 3 省碳源/汇及净碳排放量

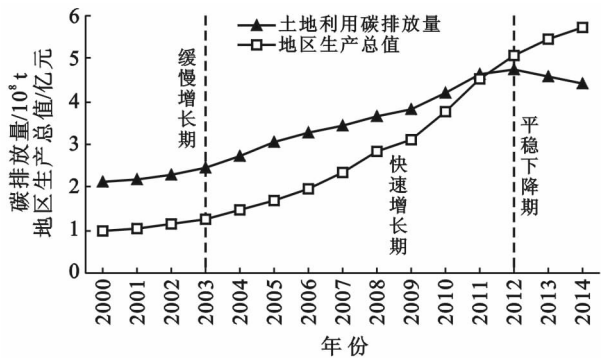


图 2 东北地区土地利用碳排放变化及 GDP 时间序列曲线

3.1.2 东北地区碳吸收分析 东北地区森林碳汇资源丰富,带来的碳汇效益不容小觑,城市绿地和草地碳汇量较小,且草地面积仍在持续减少。东北地区仅占国土面积的 8.21%,研究期间碳吸收量占全国碳吸收量的平均比例为 12.63%,表明东北地区为全国的碳汇储量做出重要贡献,其中以黑龙江省的碳汇资源最为丰富。黑龙江省森林碳吸收量丰富,黑龙江省森林碳吸收占东北地区森林碳吸收比例大约维持在 60%,森林碳汇量稳中有升,研究期内总碳吸收量占东北地区碳吸收量平均比例为 60.17%。因此,黑龙江省是东北地区碳吸收的主要来源(图 3)。

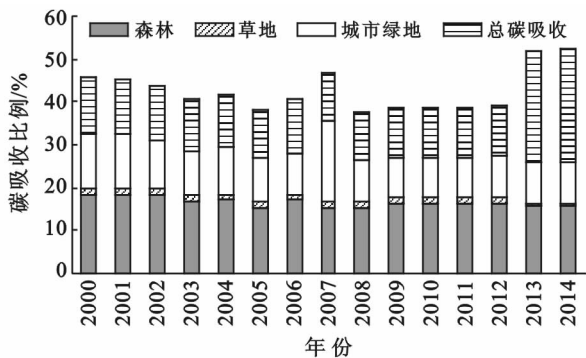


图 3 东北地区碳吸收构成及占全国比例

3.1.3 土地利用碳排放量的区域差异分析 以 2014 年为例,辽宁省碳排放总量占东北地区碳排放总量的 46.03%,碳排放量远高于黑龙江省和吉林省。主要原因是辽宁省城市化进程加速,对能源的需求量大,因此土地利用碳排放量始终高于黑龙江和吉林省。尽管黑龙江省碳汇资源丰富,但因为碳排放量远高于吉林省,因此净碳排放量与吉林省数量相当,且处于先增加后降低的趋势。吉林省碳排放量相对较低。辽宁省的碳吸收量较小,土地利用碳排放量大增加,因此净碳排放量不断增加直至 2014 年有回落现象。其中黑龙江省碳汇资源最丰富,辽宁省碳排放量最多。如图 4 所示,东北 3 省和东北地区土地利用碳排放经济贡献系数均小于 1,说明东北地区的能源利

用效率和经济效率低下,其消耗了一定比例的能源,排放了一定比例的碳排放量,但其并没有贡献与碳排放量相匹配的经济发展量。总体趋势是经济贡献系数上升,特别是在 2012 年碳排放量下降以后,经济贡献系数有明显提高,也表明东北地区在提高利用能源效率和开发利用新能源加大了力度,使得经济贡献系数有明显增加趋势。

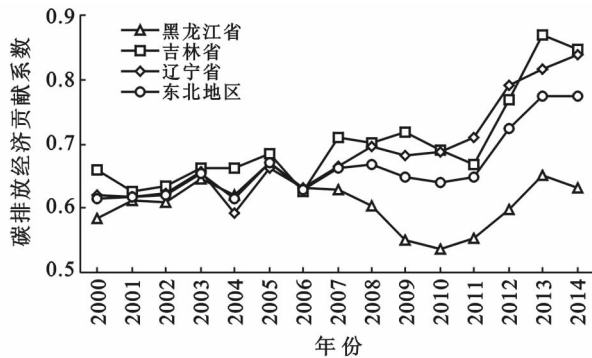


图 4 土地利用碳排放的经济贡献系数

从计算得到的生态承载系数看(图 5),东北地区内部存在一定的区域不均衡性。东北地区的生态承载系数尽管在 2012 年以后上升速度较快,但在研究期间几乎始终低于 1,说明其本身具有相对较低的碳的生态容量。黑龙江生态承载系数一直较高,对其他区域有贡献;吉林省生态承载系数徘徊在 1 左右,表明其碳排放造成的生态环境影响在内部区域已经自行承担。辽宁省的生态承载系数虽然在波动增长,但是始终低于 0.4,表明辽宁省本身碳汇能力较低,碳排放比例远超碳汇比例,损害了其他地区的利益,使得其他地区承担了与碳排放量不成比例的温室效应带来的生态环境问题。因此辽宁省要提高碳汇量,降低碳排放量。

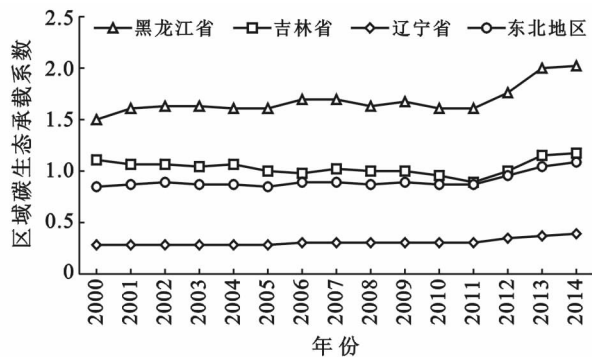


图 5 土地利用碳排放的生态承载系数

黑龙江省和吉林省由于碳汇量不能完全抵消工业生产过程的碳排放,导致其面临着一定的碳排放压力;辽宁省碳吸收量明显低于黑龙江省和吉林省,能

源消费造成的碳排放量历年来居高不下,说明 15 a 来,辽宁省由于能源结构的不合理以及高耗能工业的大量存在,导致其始终面临着较大的碳排放压力;总体来看,东北地区的碳排放量远高于碳汇量,面临着较大的碳排放压力。

3.2 碳排放强度分析

碳排放量仍然是一个绝对数指标,只有与 GDP、人口等指标相关联才具有横向比较的意义^[7]。对东北 3 省和中国历年的地均碳排放强度、单位 GDP 碳排放强度和人均碳排放强度的变化进行了分析。地均碳排放强度是指单位土地面积的碳排放量。黑龙江省碳排放强度低于全国水平,辽宁省、吉林省和东北地区均高于全国水平,其中辽宁省强度最高,辽宁省强度大约是黑龙江省的 4 倍。并且东北地区和东北 3 省均呈现先增长后降低的趋势。人均碳排放强度呈缓慢增长态势。人均碳排放受碳排放量和人口总量的影响。东北地区 2000—2012 年人均碳排放强度不断上升,2013 年开始下降,与整个研究期的碳排放量的变化趋势一致。其中辽宁省强度较高,黑龙江省和吉林省水平基本相当,东北地区强度高于全国水平(图 6)。

单位 GDP 碳排放强度是指单位国内生产总值的碳排放量,是反映和衡量碳排放量与经济发展之间的关系。从理论上讲,单位 GDP 碳排放量越小越好,它从侧面反映了经济结构的合理性和经济发展中的科

学技术水平^[26]。由表 2 可知,东北 3 省和东北地区的强度略高于全国水平,差距在不断缩小。同期,单位 GDP 的能源消耗强度呈现下降态势。单位 GDP 碳排放强度在持续稳定下降,年均下降率为 7.24%。主要原因是随着工业化和城市化的发展,国家加大产业结构的调整力度,逐步淘汰落后的高耗能、高污染、高排放的产业。根据何建坤^[26]等的研究,如果要实现二氧化碳的绝对量减排,碳排放强度的下降率必须大于地区生产总值的增长率。2000—2014 年东北地区生产总值从 9 772.01 亿元增加至 57 469.14 亿元,年均增长速度为 13.49%,明显大于碳排放强度的下降率,因此当前碳排放强度的下降程度还远远不足以使碳排放总量减少。优化能源消费结构,提高能源利用效率,可以使能源消耗强度和单位 GDP 碳排放强度大幅下降。

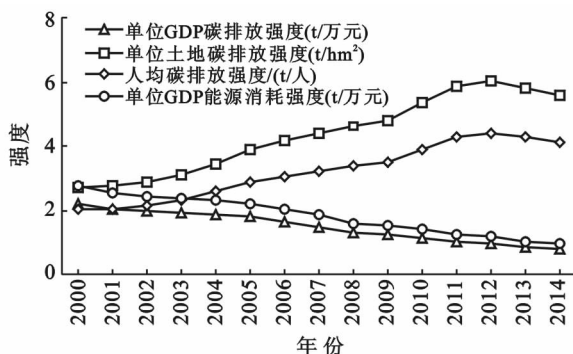


图 6 东北地区碳排放强度变化

表 2 东北地区与全国 2000—2014 年碳排放强度变化

年份	单位土地碳排放强度/(t·hm ⁻²)					人均碳排放强度(t/人)					单位 GDP 碳排放强度(t/万元)				
	黑龙江	吉林	辽宁	东北	全国	黑龙江	吉林	辽宁	东北	全国	黑龙江	吉林	辽宁	东北	全国
2000	1.60	2.13	6.97	2.72	1.40	1.91	1.52	2.46	2.03	1.06	2.57	2.04	2.28	2.19	1.35
2001	1.55	2.29	7.02	2.75	1.46	1.85	1.63	2.49	2.04	1.10	2.33	2.02	2.18	2.05	1.27
2002	1.62	2.43	7.27	2.87	1.55	1.92	1.72	2.59	2.13	1.16	2.28	1.94	2.09	1.98	1.23
2003	1.73	2.69	7.74	3.08	1.78	2.06	1.89	2.75	2.29	1.32	2.14	1.89	2.02	1.91	1.25
2004	1.95	2.91	8.81	3.46	1.93	2.32	2.04	3.12	2.57	1.43	2.08	1.74	2.08	1.88	1.15
2005	2.17	3.39	9.86	3.90	2.32	2.58	2.38	3.48	2.88	1.71	2.00	1.75	1.92	1.79	1.20
2006	2.27	3.82	10.41	4.16	2.37	2.69	2.67	3.66	3.07	1.73	1.85	1.67	1.74	1.66	1.04
2007	2.42	3.88	11.06	4.39	2.72	2.87	2.69	3.87	3.22	1.98	1.72	1.37	1.54	1.47	0.97
2008	2.59	4.18	11.34	4.61	2.82	3.08	2.88	3.95	3.37	2.04	1.58	1.22	1.29	1.28	0.85
2009	2.71	4.27	11.91	4.81	2.84	3.22	2.94	4.14	3.51	2.05	1.59	1.10	1.20	1.22	0.79
2010	3.06	4.83	13.04	5.35	3.06	3.62	3.31	4.54	3.90	2.19	1.49	1.04	1.09	1.13	0.72
2011	3.32	5.59	13.89	5.85	3.33	3.92	3.83	4.85	4.26	2.37	1.33	0.99	0.97	1.02	0.66
2012	3.45	5.65	14.39	6.03	3.79	4.07	3.91	5.03	4.41	2.69	1.27	0.89	0.90	0.94	0.68
2013	3.19	5.21	14.59	5.81	3.97	3.76	3.64	5.11	4.26	2.80	1.13	0.75	0.83	0.84	0.65
2014	3.12	5.16	13.65	5.59	3.93	3.68	3.61	4.77	4.10	2.76	1.07	0.70	0.73	0.77	0.59

3.3 碳排放量的估算误差分析

本文在计算秸秆焚烧造成的碳排放时使用的谷

草比、燃烧效率、燃烧比例等都来自他人研究结果,有的是试验结果,有的是估计值,并不能完全反映东北

地区的实际情况,很可能会造成碳排放计算的一定误差。翻耕土地面积数据难以获取,暂用农作物种植面积代替也导致一定程度的误差。在计算建设用地碳排放时,受到相关数据的限制,本文只考虑了生产和生活过程中的煤炭、石油和天然气等能源消耗量,未将生产建设导致的土地利用变化考虑进去,生产建设用地显著的改变了植被,即改变了固碳;改变了地表,影响土壤碳矿化。因此本文数据可能存在一定误差。

4 结论

(1) 研究期间,东北地区建设用地是碳排放量的主要来源。煤炭消费量的变化是导致能源消费总量和碳排放总量变化的主要原因。土地利用碳排放量呈现明显的先增后减趋势,年变化趋势明显,可以分为缓慢增长阶段、迅速增长阶段、平稳下降阶段。

(2) 碳吸收量呈现稳中有升的趋势,东北地区森林碳汇资源丰富,黑龙江省是东北地区碳吸收的主要来源。

(3) 辽宁省地均碳排放强度最高,大约是黑龙江省的 4 倍。东北地区和东北 3 省均呈现先增长后降低的趋势。东北地区人均碳排放强度呈缓慢增长态势。其中辽宁省强度较高,黑龙江省和吉林省水平基本相当,东北地区强度高于全国水平。东北 3 省和东北地区单位 GDP 碳排放强度略高于全国水平,但在持续稳定下降,差距在不断缩小,但是当前碳排放强度的下降程度还远远不足以使碳排放总量减少。

(4) 东北地区内部存在一定的区域不均衡性。黑龙江生态承载系数一直较高,对其他区域有贡献;吉林省碳排放造成的生态环境影响在内部区域已经自行承担;辽宁省则损害了其他地区的利益,使得其他地区承担了与碳排放量不成比例的温室效应带来的生态环境问题。因此,黑龙江省和吉林省面临着一定的碳排放压力;辽宁省碳排放量最多,其始终面临着较大的碳排放压力;综合来看东北地区面临着较大的碳排放压力。

5 对策

土地利用变化仅次于化石燃料燃烧成为使全球大气二氧化碳含量增加的重要原因。土地利用要顺应低碳发展的要求,实现环境、社会、经济的和谐发展共赢,就必须采用低碳经济型土地利用模式,从“减排”和“增汇”两个方面着手,确保土地利用的“低排放,高效率,高效益”^[27]。从以下几个方面针对东北地区低碳土地利用的策略问题进行探讨。

(1) 优化能源结构,提高能源利用效率。东北地

区目前的能源结构依然以煤炭为主要类型,与东北地区产业结构发展和冬季取暖有重要关系。减少传统化石能源的消耗,减少煤炭和石油在能源结构的比例,要提升煤炭的利用效率,加快东北老工业基地的升级改造。应在鼓励高能耗产业低碳转化与清洁利用的同时,加大技术创新,改进高耗能设备,将以煤炭为主的污染性能源结构转变为以可再生能源为主的消费结构,积极实施节能减排政策。通过多种措施减少秸秆焚烧现象,运用科技手段对秸秆资源进行利用,如进行秸秆生物质发电、秸秆饲料深加工等。

(2) 优化土地利用结构,控制建设用地过快增长。从土地利用的角度看,碳排放量的增长与土地利用结构存在密切的联系。当前东北地区正处于工业化和城市化快速发展时期,建设用地承载了工业、建筑业、交通部门等行业,是能源消耗和碳排放强度最高的土地利用类型。因此减少碳排放首先应从土地利用方面着手,尽量抑制碳源性用地面积的扩张。要对建设用地的总量进行控制,减少低水平的重复性建设所造成的用地浪费现象,对建设用地进行合理规划,抑制建设用地过快增长。

(3) 转变土地利用方式,促进土地节约集约利用。提高土地利用效率,实现节约化和集约化的土地利用方式。积极构建低碳土地利用体系,加强对土地利用的管理,引导区域低碳土地利用发展。在土地利用规划阶段贯彻低碳发展的理念,合理规划土地利用功能分区,加强对未利用地的开发和废弃地的修复,如对哈大齐地区的盐碱地治理就已经取得了一定的效果。

(4) 加强对耕地、林地和草地的保护,增加碳汇储量。辽宁省应该积极贯彻植树造林政策,植树造林,提高森林覆盖率。黑龙江省应继续加大对林地的保护力度,合理利用丰富的森林资源。同时借鉴其他地区的经验,加强草地的管理和生态保护。坚持和完善土地管理制度,建立农田保护机制,确保东北地区的耕地的数量和质量,严格控制新增建设用地占用耕地和林地^[28]。

[参 考 文 献]

- [1] Houghton R A. The annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use 1850—1990[J]. *Tellus B: Chemical & Physical Meteorology*, 1999, 51(2): 298-313.
- [2] Goldewijk K K, Ramankutty N. Land cover change over the last three centuries due to human activities: The availability of new global data sets [J]. *GeoJournal*, 2004, 61(4):335-344.

- [3] Ali G, Nitivattananon V. Exercising multidisciplinary approach to assess interrelationship between energy use, carbon emission and land use change in a metropolitan city of Pakistan[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012,16(1):775-786.
- [4] 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):地球科学*, 2007, 37(6):804-812.
- [5] 朴世龙,方精云,黄耀. 中国陆地生态系统碳收支[J]. *中国基础科学*, 2010(2):20-22,65.
- [6] 赵荣钦,黄贤金,钟太洋,等. 南京市不同土地利用方式的碳储量与碳通量[J]. *水土保持学报*, 2012,26(6):164-170.
- [7] 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.
- [8] 俞超,张丽琴,唐殿明. 基于清单算法的湖北省土地利用碳排放效应和趋势分析[J]. *水土保持研究*, 2014,21(4):168-172.
- [9] 李颖,黄贤金,甄锋. 江苏省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(S2):102-107.
- [10] 赵荣钦,黄贤金. 基于能源消费的江苏省土地利用碳排放与碳足迹[J]. *地理研究*, 2010,29(9):1639-1649.
- [11] 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.
- [12] 余雪振,梅昀. 武汉市不同土地利用结构碳排放效应[J]. *湖北农业科学*, 2013,52(12):2751-2756.
- [13] 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):146-150,155.
- [14] 吴仕海. 重庆市土地利用碳排放效应及低碳优化调控研究[D]. 重庆:西南大学,2013.
- [15] 王秋贤,王登杰,颜晓妹,等. 基于脱钩理论的烟台市碳排放效应分析[J]. *水土保持通报*, 2015, 35(2):313-318.
- [16] 景跃军,刁巍杨. 东北地区一次能源消费的碳排放及低碳经济发展路径研究[J]. *管理评论*, 2010,22(8):109-113.
- [17] 陈珏,袁洪英,杨洋. 黑龙江省不同土地利用方式的碳排放效应及时空格局[J]. *中国农学通报*, 2015,31(35):158-163.
- [18] Guo Liping, Lin Erda. Carbon sink in cropland soils and the emission of greenhouse gases from paddy soils: A review of work in China[J]. *Chemosphere-Global Change Science*, 2001,3(4):413-418.
- [19] 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.
- [20] 高利伟,马林,张卫峰,等. 中国作物秸秆养分资源量估算及其利用状况[J]. *农业工程学报*, 2009,25(7):173-179.
- [21] 田贺忠,赵丹,王艳. 中国生物质燃烧大气污染物排放清单[J]. *环境科学学报*, 2011,31(2):349-357.
- [22] 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(1/3):217-232.
- [23] 王革华. 农村能源建设对减排 SO₂ 和 CO₂ 贡献分析方法[J]. *农业工程学报*, 1999,15(1):169-172.
- [24] IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories[R]. Kanagawa: IGES, 2006.
- [25] 卢俊宇,黄贤金,戴靓,等. 基于时空尺度的中国省级区域能源消费碳排放公平性分析[J]. *自然资源学报*, 2012,27(12):2006-2017.
- [26] 何建坤,刘滨. 作为温室气体排放衡量指标的碳排放强度分析[J]. *清华大学学报:自然科学版*, 2004,44(6):740-743.
- [27] 肖主安,彭欢. 我国低碳经济型土地利用模式的路径选择[J]. *求索*, 2010(4):81-82.
- [28] 郑福云,罗春雨,梁雪石,等. 黑龙江省不同土地利用方式与碳排放规律分析[J]. *国土与自然资源研究*, 2015(2):59-62.