银川市城市生态经济系统的碳吸收与碳排放*

裴银宝 刘小鹏** 李永红
(宁夏大学资源环境学院, 银川 750021)

摘 要 基于生态经济学、统计学和地理学理论,借助物质流分析法(MFA)和指数平滑法(ES),并以碳汇与碳排放计算结果等为分析数据,对2006—2012年银川市生态经济系统中的碳流动进行了分析。结果表明:(1)银川市碳吸收总量为波动增长,碳排放总量保持高速增长。经济系统的碳排放量要远高于生态系统的碳吸收量,生态经济系统碳滞留量过度膨胀。(2)农田和湿地是银川市生态系统的主要碳吸收库。玉米、水稻和小麦的固碳比重较大,人工湿地、湖泊与沼泽的碳储存较多。碳汇空间受非绿色用地挤压,碳吸收量增长缓慢。能源、交通和建筑是银川市三大碳排放源。能源碳排放主要集中在原煤、原油和天然气消耗上,公路货运和施工建筑碳排放增长迅猛。(3)未来5年,银川市碳吸收预估量每年保持3.96%的增长率;碳排放预估量年均增长1140.92×10^4 t,预估增速有所下降,碳排放量将会处于高基准、低增长阶段。银川市经济增长的生态成本较高,经济发展对生态环境的依赖较大,发展方式没有实现低碳转型。

关键词 生态经济系统; 碳吸收; 碳排放; 银川市
中图分类号 F062.2;X196 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2015)3-0853-07

Carbon sequestration and carbon emission in eco-economic systems in Yinchuan City. PEI Yin-bao, LIU Xiao-peng**, LI Yong-hong (*School of Resources and Environment*, *Ningxia University*, *Yinchuan* 750021, *China*). *Chinese Journal of Ecology*, 2015, **34**(3): 853-859.

Abstract: On the basis of the theory of eco-economics, statistics and geography, material flow analysis (MFA) model and exponential smoothing (ES) were used in this study to figure out the situations of carbon sequestrations and carbon emissions. Furthermore, the carbon flow in the eco-economic systems in Yinchuan from 2006 to 2012 was analyzed. Results showed that: (1) The total amount of carbon sequestration in ecosystems showed a trend of fluctuant growth, while the amount of carbon emission in economic systems kept rising, being far higher than the former. The detained amount of carbon in eco-economic systems was expanded excessively. (2) Farmland and wetland in the ecosystems of Yinchuan were the main carbon reservoir. The proportions of carbon sequestration in maize, rice and wheat were greater City artificial wetland, lake and swamp mainly stored carbon. However, the space of carbon sink was squeezed by the non-green space, which made the amount of carbon sequestration grow slowly. Moreover, energy, transportation and building were the three main carbon sources in Yinchuan City. Energy carbon emission concentrated on the consumptions of raw coal, crude oil and natural gas. In addition, the amount of carbon emission in highway freights and under-constructions grew rapidly in the period studied. (3) In the next five years, the amount of carbon sequestration in the city would be increased, with a growth rate of 3.96% annually. The increment of carbon emission would be up to 1140.92×10^4 t annually, which was predicted to decrease. Thus, the carbon emission would be in a phase of high benchmark and low growth rate. The results mentioned above suggest that ecological cost for economic development in Yinchuan City had been too expensive and economic development depended more on the ecological environment. Therefore, a low carbon transition during the development is imperative in the future.

Key words: eco-economic system; carbon sequestration; carbon emission; Yinchuan City.

* 国家自然科学基金项目(41261021)资助。
** 通讯作者 E-mail: nxdxlxp@163.com
收稿日期: 2014-07-02 接受日期: 2014-09-12

全球变化是目前人类面临最具挑战的环境问题,也是当今影响最为深远的全球性问题,其对生态系统的影响已经严重影响到人类生存环境与社会经济的可持续发展(周广胜等,2004)。而人类活动引起的大气碳平衡的改变正是导致全球变暖的主要原因(方精云等,2011)。有研究表明,地球温室气体排放物中 70%来自城市中心,城市是地球资源消耗和环境污染的罪魁祸首,人类和自然活动正在对全球碳循环的平衡模式进行干扰(李家洋等,2005;刘琰,2010; Biello,2014)。目前我国 CO_2 人均排放量约为 7 t,超过了世界人均的 6.4 t,面临的碳减排压力是前所未有的(赵艳,2014)。在此背景下,节能减排已经成为全球应对气候变化的共识和城市生态经济系统适应全球变化的主要途径(刘源等,2014)。陆地生态系统是主要的碳源汇系统,其研究价值越来越受到学者的重视。我国东部的河北省与山东省德州市、中部的河南省、西部的重庆市和甘肃省河西绿洲以及山西省等区域的农田生态系统的碳源汇已有学者进行了研究,得出农田生态系统碳汇量大于碳排量,农田生态系统为碳汇空间(颉鹏等,2009;王静等,2010;赵荣钦等,2010;祁兴芬,2012;袁再健等,2012;周陶等,2014);方精云等(2007)对我国 1981—2000 年陆地植被碳汇进行了量化研究,指出我国陆地生态系统的总碳汇将相当于同期我国工业 CO_2 排放量的 20.8%~26.8%;岳广阳等(2010)对青藏高原草地生态系统碳通量的研究情况进行了阐述;侯学会等(2011)运用 RS 和 GIS 对无锡市陆地生态系统的碳源汇做了估算研究,发现陆地生态系统的碳源汇受土地利用类型变化的影响较大。纵观以上研究可以发现,对碳排与碳汇的研究多集中在生态系统上,对城市生态经济系统的碳汇与碳排研究相对较少。

物质流分析的基本观点认为,人类活动所产生的环境影响在很大程度上取决于进入经济系统的自然资源和物质的数量与质量,以及从经济系统排入环境的废弃物质的数量与质量。前者产生对生态环境的扰动,引起生态环境的退化;后者则引起环境的污染(黄和平等,2006)。而生态经济系统的碳流动分析的基本观点是,城市生态经济系统的碳流动所产生的环境影响在很大程度上取决于生态系统固碳的数量和质量,以及从经济系统排入环境的二氧化碳的数量与质量。前者使生态经济系统趋于和谐稳定,有净化大气质量的作用;后者产生对生态经济系统扰动,引起大气污染(图 1)。

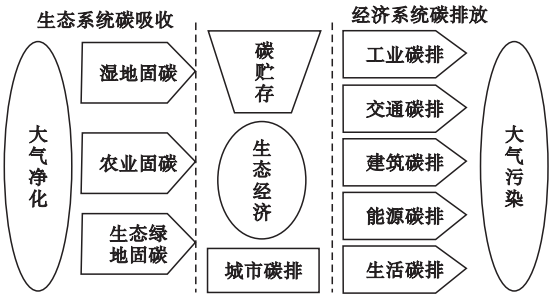


图 1 城市生态经济系统的碳吸收与排放

Fig.1 Carbon sequestration and carbon emission of city's eco-economic systems

CO_2 对全球温室效应的贡献率已高达 77%。科学证明,近 100 年来,人类打开了积存亿万年之久的地下碳库,以气体形式很快转移到大气层,构成温室气体效应,使地球大气温度不断增加(鲍云樵,2010)。而生态经济系统的良性循环必须保持其自身系统所能承受的碳吸收端与碳排放端之间的动态平衡。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

银川市位于 37°29′N—38°53′N,105°49′E—106°53′E。东与盐池县接壤;西依贺兰山与内蒙古自治区为邻;北接平罗县;南邻青铜峡市。年平均温度 8.5 ℃,年均降雨量为 200 mm 左右,属于典型的温带大陆性气候。下辖三区(兴庆区、金凤区、西夏区)、两县(贺兰县、永宁县)、一市(灵武市),总面积 9491 km^2,其中城市建成区 148.6 km^2。常住总人口 208.27 万人,比 2012 年末增长 1.8%。其中回族人口 50.11 万人,占总人口的比重为 24.1%。2013 年全市 GDP 实现 1273.49 亿元(何力涛,2014)。2012 年宁夏成为全国第一个内陆开放型经济实验区,并建立银川市综合保税区,成为深化中阿经贸交流、投资合作和友好往来的重要枢纽(李俊艳,2013)。2013 年国家主席习近平提出"丝绸之路经济带",为宁夏发展带来难得机遇。作为古丝绸之路的重要节点,宁夏具有独特的区位优势,发展潜力很大(徐云平等,2014)。内陆开放型经济实验区的设立和丝绸之路经济带国家战略的提出将会为银川市的经济腾飞带来发展契机。

1.2 指标划分与研究方法

1.2.1 碳吸收与碳排放指标划分 CO_2 是《京都议

表 1 生态经济系统的碳吸收与碳排放指标

Table 1 Indexes of carbon sequestration and carbon emission of eco-economic systems

碳吸收端(碳汇)		碳排放端(CO_2)	
类目	指标	类目	指标
湿地碳物	河流	工业碳排放	水泥消耗
	沼泽		钢铁消耗
质吸收	湖泊	交通碳排放	公路货运燃料燃耗
	人工湿地		公路客运燃料燃耗
农业碳物	小麦	建筑碳排放	竣工建筑已耗
	水稻		施工建筑在耗
质吸收	玉米	能源碳排放	工业化石(原煤、焦炭、原油、汽煤柴油及然气)燃耗
	蔬菜		电力消耗
	豆类	生活碳排放	生活用气
生态绿地碳吸收	林、绿、园、草地	农业碳排放	水稻田碳排

定书》中列出的 6 种温室气体的主要成员之一。CO_2排放源和吸收库分类以《省级温室气体清单编制指南(试行)》与《把脉中国低碳城市发展-策略与方法》(雷红鹏等,2011)为划分依据,并根据地区实际将碳排放源分为工业生产过程、交通、建筑、能源活动、生活消费以及农业生产;碳吸收库分为湿地固碳、农业固碳以及生态绿地固碳。本文将碳吸收库与碳排放源作为吸收端和排放端形成城市碳的流动系统(表 1)。

1.2.2 碳吸收与碳排放研究方法 原始计算数据来源于宁夏统计年鉴、银川市统计年鉴、资料查阅、数据搜集等。碳计算所需参数及来源见表 2。

2 结果与分析

2.1 碳吸收与碳排放总量的动态分析

银川市生态经济系统的碳吸收总量受农业碳吸入量的影响,总体呈现波动微增长的趋势,从 2006 年的 130.36×10^4 t 稳定增长至 2009 年的 149.47×10^4 t,年平均增长6.37×10^4 t,年均增长率4.67%。

表 2 碳吸收/碳排放估算参数及来源

Table 2 Estimated parameters and sources of carbon sequestration and carbon emission

碳汇/源	类型	碳吸收/碳排放参数			数据来源
		平均生物量(干重)	平均土壤碳密度	生物量(干重)的碳储量系数	
湿地生态系统	河流	0.22(kg.m^{-2})	–	0.5	IPCC,2006;
	湖泊	0.51(kg.m^{-2})	14.6(kg·m^{-2})	0.5	米楠等,2013
	沼泽	0.68(kg.m^{-2})	14.6(kg·m^{-2})	0.5	
	人工湿地	0.22(kg.m^{-2})	14.6(kg·m^{-2})	0.5	
碳汇/源	类型	经济系数	含水率(%)	碳吸收率(%)	
农田生态系统	水稻	0.45	12	0.414	田云和张俊飚,2013
	小麦	0.4	12	0.485	
	玉米	0.4	13	0.471	
	豆类	0.34	13	0.45	
	蔬菜	0.6	90	0.45	
碳汇/源	类型	碳吸收系数	碳排放系数	单位	
城市绿地	林地	2.515(0.95~4.08)	–	t C·hm^{-2}·a^{-1}	叶祖达,2011
生态系统	园地	2.1	–	t C·hm^{-2}·a^{-1}	方精云等,2006
	草地	0.021	–	t C·hm^{-2}·a^{-1}	(IPCC,2006)
	水稻田	–	0.422	t C·hm^{-2}·a^{-1}	张秀梅等,2010
	城市绿地	1.66	–	t C·hm^{-2}·a^{-1}	Zhao *et al.*,2010
碳汇/源	类型	平均低位发热量	碳排放系数	碳氧化因子/单位间换算系数	
能源生产	原煤	20.934(GJ·t^{-1})	26.37(Tc/TJ)	0.94	
活动碳排	焦炭	28.470(GJ·t^{-1})	29.5(Tc/TJ)	0.93	吴宜珊,2013
	原油	41.868(GJ·t^{-1})	20.1(Tc/TJ)	0.98	
	汽油	43.124(GJ·t^{-1})	18.9(Tc/TJ)	0.98	
	煤油	43.124(GJ·t^{-1})	19.6(Tc/TJ)	0.98	
	柴油	42.705(GJ·t^{-1})	20.2(Tc/TJ)	0.98	
	天然气	389.31(GJ·10^{4}m^{-3})	15.3	0.99	吴宜珊,2013;
	电力	–	0.977(kg·kW^{-1}·h^{-1})	0.001	杨制国,2013
碳汇/源	类型	碳排放系数	水泥熟料占水泥生产比例(%)	单位	
工业碳排	水泥	0.538	75	tC·t^{-1}	吴宜珊,2013
	钢铁	1.946(均值)	–	tC·t^{-1}	董坤涛,2011
建筑碳排	施工建筑	408.37	–	kg·m^{-2}	网上搜集
	竣工建筑	81.16	–	kg·m^{-2}	
交通碳排	公路客运	0.81	–	kg·km^{-1}	
	公路货运	0.69	–	kg·km^{-1}	
碳汇/源	类型	净发热量(TJ/Gg)	碳排放因子(T/GJ)	转换系数	
生活碳排	生活然气	0.0153	56.1	0.0037	IPCC,2006;冯蕊等,2011

从 2009 年的 149.47×10⁴ t 快速下降至 2010 年的谷值 101.77×10⁴ t,之后快速增长至 2012 年研究期间的峰值 162.10×10⁴ t(图 2)。

2006—2012 年,银川市生态经济系统碳排放总量保持快速增长的态势,其受能源活动碳排放量的影响较大。期间,碳排放总量从 2006 年的 1899.69×10⁴ t 快速上升至 2012 年的 10711.95×10⁴ t,平均每年增加 1468.71×10⁴ t,年均增长率保持在 33.41%。碳排放净总量从 2006 年的 1769.33×10⁴ t 增加到 2012 年的 10549.85×10⁴ t,年均增加 1463.42×10⁴ t,年均增长率为 34.66%(图 2)。碳排放净总量年均增长率大于碳排放总量年均增长率,说明银川市生态系统的碳汇功能被经济系统快速排放的碳所抵消,其原因在于碳排放量与碳排放速度要远高于碳储量和固碳速度。

2.2 碳吸收与碳排放量的结构

为了更清晰地显示银川市碳吸收库与碳排放源,揭示碳吸收与碳排放机制,下面分别对银川市碳吸收与碳排放的内部结构进行宏观与微观地分析。

2.2.1 碳吸收与碳排放的宏结构 在生态系统的碳吸收过程中,农田碳吸入量在银川市碳吸收总量结构中所占比例最大。农田碳吸入量自 2006—2012 年虽有波动,但整体保持 1.15%的年均增长率,从 2006 年的 87.11×10⁴ t 上升至 2009 年的 94.22×10⁴ t,年均增速达到 2.6%;2009 年后碳吸入量明显下降到 2010 年的 42.42×10⁴ t;之后碳吸入量快速上升至 2012 年的峰值 93.29×10⁴ t。湿地碳吸入量在银川市碳吸收总量中也占有很大的比重。2006 年湿地碳吸入量为 38.86×10⁴ t,2012 年为 64.36×10⁴ t,年均递增4.25×10⁴ t,保持8.77%的年均增长速率。生态绿地碳吸收量所占比例偏小,碳吸入量在研究期间保持稳定增长,年均增长速率为 7.76%(图 3a)。从以上分析得出,农田和湿地是银川市生态系统的主要碳吸收库,其碳储量的大小受自身面积和产量的制约。随着银川城市经济的快速发展,银川市其他非绿色用地的增加挤占了湿地、农田等生态用地空间,导致生态系统碳汇空间受到挤压,碳吸收总量增长缓慢。

在经济系统的碳排放过程中,能源活动碳排放量保持强劲的稳增长态势,从 2006 年的 1143.26×10⁴ t 增长到 2012 年的 7349.69×10⁴ t,年均保持 36.36%的增长速率,其占碳排放总量的比例稳定在 60%~70%,是银川市第一大碳源。建筑碳排放量虽从 2006 年的 360.12×10⁴ t 上升至 2012 年的 1043.49×10⁴ t,年均增长速率 19.4%,其占经济系统碳排放总量的比重却从 2006 年的 18.96%下降到 2012 年的 14.20%。交通碳在 2008 年之前排放量较小,所占比重约为 3%,比重最高为 2009 年的 19.12%,超过建筑成为银川市的第二大碳源。工业、生活与农业碳排放所占比例较小(图3b)。以上

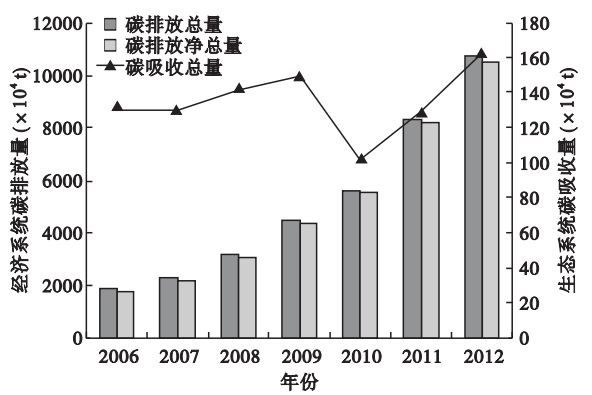


图 2 银川市生态经济系统的碳吸收与碳排放总量

Fig.2 Total amount of carbon sequestration and carbon emission of eco-economic systems in Yinchuan

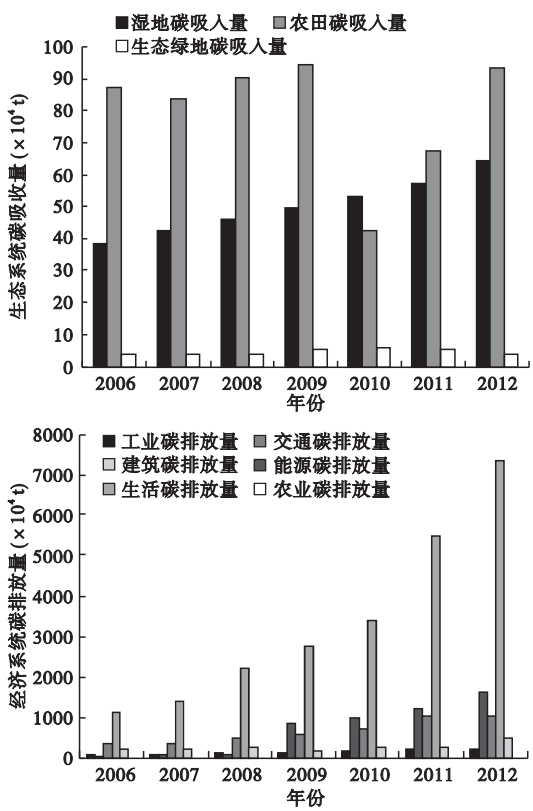


图 3 银川市生态经济系统的碳吸收与碳排放宏结构

Fig.3 Macroscopic structure of carbon sequestration and carbon emission of eco-economic systems in Yinchuan

分析可以得出,能源碳排放是银川市经济系统碳排放量迅猛增加的始作俑者,交通与建筑碳是银川市CO_2的主要排放源。

2.2.2 碳吸收库与碳排放源的微结构 陆地生态系统是由湿地、农田、生态绿地等多个子系统组成的,湿地和农田是银川市生态系统的主要碳吸收库。在湿地生态系统中,人工湿地、湖泊与沼泽是主要的固碳湿地类型。人工湿地和湖泊 2006 年固碳量分别为 22.7×10^4 t 和 12.78×10^4 t,2012 年分别为 37.6×10^4 t 和 21.17×10^4 t,保持年均 8.77% 的增长速率。由于受湿地和植被覆盖面积、平均生物量与平均土壤碳密度等多因子的影响,各湿地类型的固碳量差别较大;河床淤泥在水流下,固碳功能无法发挥,河流碳吸收量小。在农田生态系统中,玉米、水稻与小麦是主要的固碳农作物类型。研究期间,小麦碳吸收量年均下降 7.7%;水稻、玉米与蔬菜碳吸收量分别保持 1.16%、3.06%和 12.8%的年均增长速率。由于 2010 和 2011 年受重度干热风、低温与降水少的影响(张学艺,2010;李红英,2011),农作物减产严重,碳吸收量减少较多。林地碳吸收量在银川市生态绿地碳汇生产中贡献最大,而林地碳吸收量受林地面积的影响较大,研究期间林地碳汇总体呈现稳定-增长-下降的趋势(图 4a)。

城市经济系统由城市的各种经济活动组成,银川市碳排放源分为工业、交通、建筑、能源、生活与农业六大部门。银川市成具规模的钢铁企业很少,钢铁碳排占工业碳排比重小,水泥是工业主要的碳排产业。2009 年金融危机的经济影响得到缓解,公路货运碳排放的急剧增加使交通碳排放成为银川市的第二大碳源,从 2008 年的 44.23×10^4 t 迅速上升至 2009 年的 818.72×10^4 t,研究期间年均增长率 87.7%(图 4b)。能源活动碳排放为工业化石燃料与电力消费碳排放(银川市发电量小于用电量,碳排放故为负值)之和,化石燃料碳排放主要集中在原煤、原油和天然气消耗上,2012 年碳排放量分别为 6970.98×10^4 t、1268.28×10^4 t 和 276.11×10^4 t,研究期间年均增长率分别为 35.48%、15.94% 和 13.43%(图 4b、c)。生活消费碳排放主要是生活用气消耗产生的 CO_2,从 2006 年的 228.54×10^4t 上升到 2012 年的 467.97×10^4 t。因碳排量按生产端核算,农业地膜、化肥、农药、机械燃池等的碳排放入了工业生产碳核算,农业碳排只对水稻 CO_2 进行核算,所占比重较很小(图 4b)。

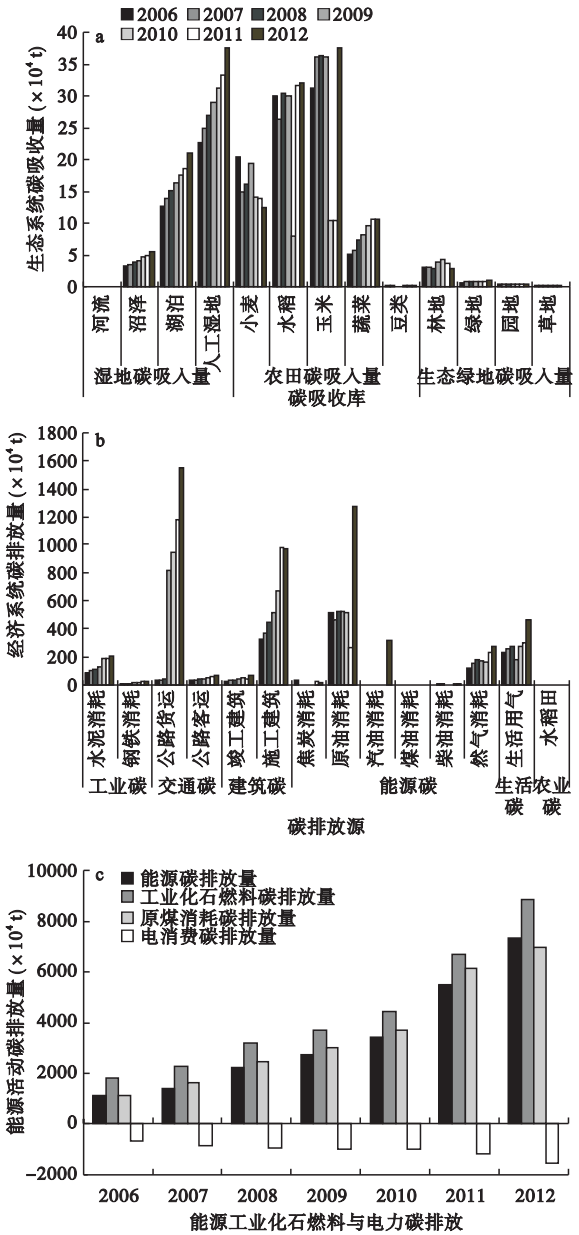


图 4 银川市生态经济系统的碳吸收与碳排放微结构

Fig.4 Microcosmic structure of carbon sequestration and carbon emission in eco-economic systems in Yinchuan

2.3 碳吸收与碳排放总量预估

地理过程的时间序列分析,就是通过分析地理要素(变量)随时间变化的历史过程,揭示其发展变化规律,并对其未来状态进行预估(徐建华,2002)。指数平滑法为时间序列分析方法的一种,是对某一预估模型的估计系统进行修正的一种预估方法,1960 年由美国人布郎首先提出(胡江红等,2010)。平滑系数 α 的确定是应用指数平滑法的关键。选择 α 一个总的原则是,使预测值与实际观察值之间的误差最小(张德南等,2004)。

经过数据图的线性分析和多次试算,碳排放量的平滑系数 $\alpha=0.3$;由于 2010 和 2011 年引黄灌区受重度干热风、低温等影响(张学艺,2010;李红英,2011),银川市农作物减产明显。为避免预估结果受偶发因素的影响,故对 2010 与 2011 年不予考虑,取碳吸收量的平滑系数 $\alpha=0.4$,经过二次平滑得出碳吸收量与碳排放量预估方程:

$$\hat{y}_{2012+T(\text{输入})} = 154.57+6.80T \quad (1)$$

$$\hat{y}_{2012+T(\text{输出})} = 10007.12+1140.92T \quad (2)$$

式中,T 为从基期 2012 年到预估期的期数。银川市未来 5 年的碳吸收与碳排放预估量见图 5。

2013—2017 年的未来 5 年,银川市碳吸收预估量呈现上升趋势,从 2013 年的 161.34×10^4 t 增至 2017 年的 188.47×10^4 t,年均增加 6.78×10^4 t,年均增长率为 3.96%。由此可见,银川市未来 5 年碳吸收潜力较大(图 5a)。研究期间,银川市碳吸收总量年均增加 5.29×10^4 t,按此增长速度预估,2017 年碳吸收总量将达到 188.55×10^4 t,与预估结果较吻合。由于干旱区生态系统具有敏感性、脆弱性和不稳定性,导致碳吸收库具有易波动性,预估结果不排除有出入的可能性。

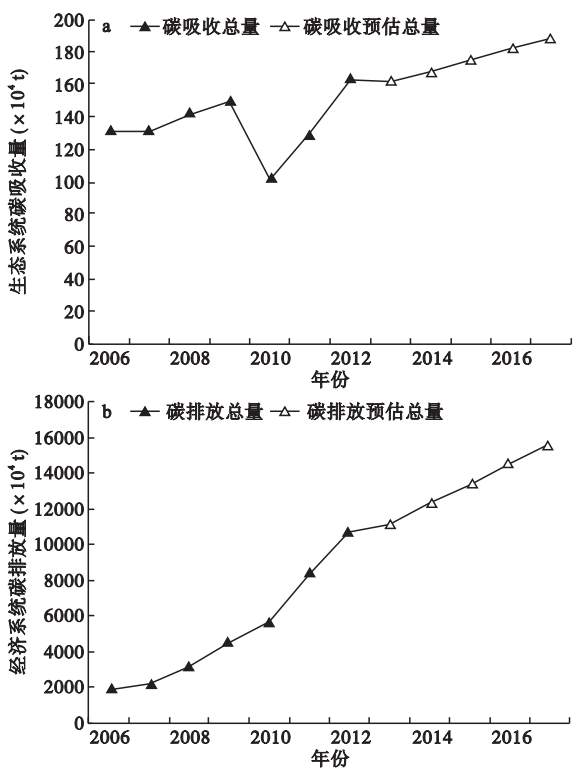


图 5 银川市未来 5 年的碳吸收与碳排放预估量

Fig.5 Estimates of carbon sequestration and carbon emission in Yinchuan from 2013 to 2017

碳排放预估量从 2013 年的 11148.04×10^4 t 增长到 2017 年的 15711.72×10^4 t,年均增长 1140.92×10^4 t,年均增长速率 8.96%,年均预估增速比研究期间实际增速有所下降。银川市未来 5 年的碳排放量将会处于高基准、低增长阶段(图 5b)。研究期间,银川市碳排放总量年均增加 1468.71×10^4 t,按此增长速度预估,2017 年碳排放总量将达到 18055.5×10^4 t,预估总量少了 2434.78×10^4 t。2006—2012 年期间,银川市经济年均增长率达 13%,银川市“十二五”规划末期经济年增长率为 12%,比研究期间下降 1 个百分点。经济增长放缓,能源消耗与碳排强度下降,碳排放总量理应随之下降。

3 结 论

本研究借助物质流分析模型,探索了 CO_2 在银川市生态经济系统中的流动情况,并运用指数平滑法对银川市未来 5 年碳源/汇进行了非预测性的估计,得到以下主要结论:

(1)近几年,银川市城市经济获得了快速发展,经济系统与生态系统间出现了不和谐。碳吸收总量增长不稳定,碳排放总量持续高速增长,经济系统的碳排放量要远高于生态系统的碳吸收量,整个生态经济系统碳滞留量过度膨胀,增汇减排任务亟待解决。

(2)湿地和农田是银川市生态系统的主要碳吸收库,碳汇空间受非绿色用地挤压,碳吸收量增长缓慢。在湿地、农田生态系统中,人工湿地、湖泊与沼泽是主要的碳吸收湿地;玉米、水稻和小麦是主要的固碳农作物。湿地和农田是银川市未来主要的增汇空间。由于银川市位于西北内陆干旱区,农田生态系统对自然条件敏感,农作物产量极不稳定,碳吸收量波动较大。

(3)能源、交通和建筑是银川市经济系统的三大碳源,碳排放量增长迅速。原煤、原油和天然气消耗是主要的碳排放能源,其中原煤消耗的碳排放量要高于原油和天然气,银川市煤化工、小片域煤发电、煤供暖系统是原煤消耗碳排放量迅速增加的主要原因。银川市物流业的快速发展,使公路货运成为主要的碳排放交通方式。人口数量的增长,住房需求的加大,施工建筑碳排放量较多。工业、交通和建筑是银川市未来一段时期内减排的重点领域。

(4)未来 5 年,银川市碳吸收预估量呈上升势头,年均保持 3.96%的增长率,碳吸收潜力与前景较

好。碳排放预估量增加速度比较快,预估年均增长1140.92×10^4 t,年均预估增速比实际增速有所下降,银川市碳排放量将会处于高基准、低增长的阶段。

参考文献

鲍云樵. 2010. 发展低碳经济应对全球气候变暖. 中外能源, **15**(3): 9-18.

董坤涛. 2011. 基于钢筋混凝土结构的建筑物二氧化碳排放研究(硕士学位论文). 青岛: 青岛理工大学.

方精云, 郭兆迪, 朴世龙, 等. 2007. 1981—2000 年中国陆地植被碳汇的估算. 中国科学: 地球科学, **37**(6): 804-812.

方精云, 刘国华, 朱 彪, 等. 2006. 北京东灵山三种温带森林生态系统的碳循环. 中国科学: 地球科学, **36**(6): 533-543.

方精云, 朱江玲, 王少鹏, 等. 2011. 全球变暖、碳排放及不确定性. 中国科学: 地球科学, **41**(10): 1385-1395.

冯 蕊, 朱 坦, 陈胜男, 等. 2011. 天津市居民生活消费CO_2排放估算分析. 中国环境科学, **31**(1): 163-169.

何力涛. 2014. 银川市 2013 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. [2014-4-28]. http://www.ycen.com.cn/xwzx/ycxw/szxw/201403/t20140331_47512.html.

侯学会, 牛 铮, 黄 妮, 等. 2011. 基于 RS 和 GIS 的无锡市陆地生态系统的碳源汇估算. 遥感技术与应用, **26**(5): 605-612.

胡江红, 於 香. 2010. 指数平滑法的研究和应用. 中国商界, **20**(8): 280.

黄和平, 毕 军, 李祥妹, 等. 2006. 区域生态经济系统的物质输入与输出吸收与排放分析. 生态学报, **26**(8): 2578-2586.

颉 鹏, 蔺海明, 黄高宝, 等. 2009. 河西绿洲农田生态系统碳源/汇的时空差异研究. 草业学报, **18**(4): 224-229.

雷红鹏, 庄贵阳, 张 楚. 2011. 把脉中国低碳城市发展-策略与方法. 北京: 中国环境科学出版社.

李红英. 2011. 2011 年小麦全生育期农业气象条件分析[EB/OL]. [2014-7-8]. http://www.nxnw.com.cn/Item/63563.aspx.

李家洋, 陈泮勤, 葛全胜, 等. 2005. 全球变化与人类活动的相互作用: 我国下阶段全球变化研究工作的重点. 地球科学进展, **20**(4): 371-377.

李俊艳. 2013. 宁夏内陆开放型经济实验区建设发展研究. 时代金融, (2): 202-203.

刘 琰. 2010. 低碳生态城市——全球气候变化影响下的未来城市可持续发展的战略选择. 城市发展研究, **17**(5): 35-41.

刘 源, 李向阳, 林剑艺, 等. 2014. 基于 LMDI 分解的厦门市碳排放强度影响因素分析. 生态学报, **34**(9): 2378-2387.

米 楠, 卜晓燕, 米文宝. 2013. 宁夏旱区湿地生态系统碳汇功能研究. 干旱区资源与环境, **27**(7): 52-55.

祁兴芬. 2012. 低碳背景下德州市农田生态系统碳源汇变化及其影响因素分析. 农业现代化研究, **33**(2): 253-256.

田 云, 张俊飚. 2013. 中国农业生产净碳效应分异研究. 自然资源学报, **28**(8): 1298-1309.

王 静, 冯永忠, 杨改河, 等. 2010. 山西省农田生态系统碳源/汇时空差异分析. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, **38**(1): 195-200.

吴宜珊. 2013. 宁夏回族自治区温室气体排放清单及核算研究(硕士学位论文). 西安: 陕西师范大学.

徐建华. 2002. 现代地理学中的数学方法. 北京: 高等教育出版社.

徐云平, 朱 磊, 周志忠. 2014. 宁夏: 打造"丝绸之路经济带"战略支点. 新西部: 74.

杨制国. 2013. 内蒙古自治区温室气体排放清单及核算研究(硕士学位论文). 西安: 陕西师范大学.

叶祖达. 2011. 建立低碳城市规划工具——城乡生态绿地空间碳汇功能评估模型. 城市规划, **35**(2): 32-37.

袁再健, 张京京, 付亚男. 2012. 河北省农田生态系统碳源/汇时空变化及其影响因素. 水土保持通报, **32**(6): 206-210.

岳广阳, 赵 林, 赵拥华, 等. 2010. 青藏高原草地生态系统碳通量研究进展. 冰川冻土, **32**(1): 166-174.

张德南, 张心艳. 2004. 指数平滑预测法中平滑系数的确定. 大连铁道学院学报, **25**(1): 79-80.

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

张学艺. 2010. 小麦干热风监测[EB/OL]. [2014-7-8]. http://www.nxnw.com.cn/Item/1822.aspx.

赵 艳. 2014. 中国人均二氧化碳排放超世界平均值[EB/OL]. [2014-5-11]. http://www.tanpaifang.com/tanjiliang/2014/0510/32099.html.

赵荣钦, 刘 英, 丁明磊, 等. 2010. 河南省农田生态系统碳源/汇研究. 河南农业科学, (7): 40-44.

周 陶, 高 明, 谢德体, 等. 2014. 重庆市农田生态系统碳源/汇特征及碳足迹分析. 西南大学学报: 自然科学版, **36**(1): 96-102.

周广胜, 王玉辉, 白莉萍, 等. 2004. 陆地生态系统与全球变化相互作用的研究进展. 气象学报, **62**(5): 692-707.

Biello D(陈铎译). 2014. Can cities solve global warming? 英语文摘: 34-37.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National GHG Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Zhao M, Kong ZH, Escobedo FJ, *et al*. 2010. Impacts of urban forests offsetting use in Hangzhou, China. *Journal of Environmental Management*, **91**: 807-813.

作者简介 裴银宝, 男,1989 年生,硕士研究生。从事生态经济与生态评估。E-mail: nxdxpeino@163.com

责任编辑 王 伟