

基于承载关系的合肥市土地利用碳排放效应分析

於 冉, 田思萌

(安徽农业大学经济管理学院, 合肥 230036)

摘 要: 在碳排放核算的基础上, 构建了土地利用类型与碳排放核算项目之间的承载关系, 并以合肥市为例, 从强度、贡献率和碳汇增减 3 个方面分析土地利用碳排放效应, 以揭示土地利用变化对碳排放的深刻影响。研究结果表明: (1) 1995-2012 年, 合肥市净碳排放量由 275.54 万 t 增加到 1537.33 万 t, 能源消费是第一大碳源, 且只有能源消费的碳排放占比逐年增长; (2) 陆地生态系统中的各用地类型碳吸收强度基本稳定, 城镇工矿用地的碳排放强度远高于其他建设用地类型; (3) 对合肥市碳排放贡献明显的是耕地 (为负)、城镇工矿用地 (为正) 和农村居民点 (为正); (4) 在土地利用变化过程中, 耕地转为城镇工矿用地是碳汇损失最重要的原因。因此, 在碳源控制上, 以能源消费为抓手是抑制碳排放的有效途径; 在土地管理上, 严格控制城镇工矿用地扩展, 尤其是占用耕地, 是增加碳汇、减少碳排放的关键。

关键词: 土地利用; 承载关系; 碳排放效应; 合肥市

中图分类号: F301.23

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2016)06-0939-07

An analysis of land use and carbon emission in Hefei city based on carrying relationship

YU Ran, TIAN Simeng

(School of Economics and Management, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: The relationship between land use types and carbon emission was established based on the carbon emission calculation in Hefei. The purpose of this research was to reveal the profound impact of land use change on carbon emission including emission intensity, the contribution rate and carbon sink increase or decrease. The results indicate: (1) from 1995 to 2012, Hefei's net carbon emission increased from 2.76 million tons to 15.37 million tons with the energy consumption being the largest emission source and the energy consumption's ratio was increasing year by year; (2) the carbon absorption intensity of various land use types in the terrestrial ecosystem remained stable. The cultivated land is the most important carbon sink land use type. The carbon emission intensity of urban industrial and mining land was much higher than other types of construction land; (3) the obvious contribution of land use types to carbon emission in Hefei was cultivated land (negative), urban industrial and mining land (positive) and rural residential areas (positive); (4) during the course of land use change, the conversion of cultivated land to urban industrial and mining land was the main cause of carbon sink loss. In conclusion, controlling energy consumption is an effective means of decreasing carbon emission. For land management, strictly controlling the extension of urban industrial and mining land, especially reducing the occupation of cultivated land, is the key to the increase of carbon sink and reduction of carbon emission.

Key words: land use; carrying relationship; carbon emission effect; Hefei city

低碳是全球变化和可持续发展领域研究的热点问题, 也是当前全球第 3 次绿色浪潮的主要议题之一。根据 IPCC 第五次评估报告, 人类活动是碳排放最重要的致因^[1], 而土地承载着人类各种经济社会活动, 因此, 土地利用变化是导致 CO₂ 浓度增加

的重要因素。20 世纪 90 年代就有学者在 *Science* 上撰文指出, 人类对碳循环的影响很大程度是通过土地利用过程来实现的^[2], 诸多研究也证实土地利用变化会积累大量的碳排放^[3-5]。相关文献主要是在对土地利用变化与生态系统碳循环关系^[6]、土地利用

收稿日期: 2016-09-12

基金项目: 国土资源部公益性行业专项(201411006-02)和安徽农业大学繁荣发展社科基金重点项目(2015zs05zd)共同资助。

作者简介: 於 冉, 博士, 讲师。E-mail: yuran@ahau.edu.cn

与能源消费碳排放关系^[7]、低碳土地利用模式与策略^[8]、碳氧平衡^[9]等方面研究的基础上,从国家层面^[10]、省区层面^[11]和市县层面上^[12],探索如何通过优化和调整土地利用结构来达到降低碳排放的目标。相关研究成果对于我国各级土地利用总体规划的编制具有很好的借鉴意义,也为政府制定碳减排目标提供了决策依据。

但是,从研究过程来看,多是基于未来多维或多元目标的范围设定,求得有利于降低碳排放的最优解,而直接跳过了对于土地承载碳排放的效应分析这一演变过程,或者说,被模型运算过程所掩盖。同时,这一类最优解作为未来某一时点的低碳优化结果,较难体现出碳排放增减的时序变化特征。对此,本研究以合肥市为例,在碳核算的基础上,通过构建土地利用与碳排放核算项目之间的承载关

系,从不同侧面分析土地利用碳排放效应,以明晰土地利用变化对于碳排放的深刻影响,为低碳减排、优化土地利用结构与布局指明方向。

1 合肥市碳排放核算

1.1 城市碳排放清单及核算方法

由于国内外对于城市的范围界定上存在一定的差异,因此在城市碳排放清单编制上也不尽相同。本文基于世界资源研究所(WRI)和世界可持续发展工商理事会(WBCSD)所划分的城市温室气体排放尺度,将尺度1和尺度2作为基本核算范围,参考《2006年IPCC国家温室气体清单指南》、《省级温室气体清单编制指南(试行)》、以及相关研究成果,对核算项目与方法进行整合,在尽可能全面的同时避免交叉核算产生的误差,如表1所示。

表1 碳排放核算项目计算公式及解释

Table 1 The formula and explanation of carbon emission accounting projects

核算项目 Accounting project	公式 Formula	解释 Explanation	参考文献 Reference
农田 Cultivated land	$C_{field} = \sum_{i=1}^n A_i \times S_i$ $A_i = \frac{D_i \times (1 - W_i) \times C_{fi}}{H_i \times S_i}$	C_{field} 为农田碳吸收量, A_i 为第 <i>i</i> 种农作物全生育期碳密度, S_i 为第 <i>i</i> 种农作物的播种面积, D_i 为第 <i>i</i> 种农作物的经济产量, W_i 为第 <i>i</i> 种农作物的含水率, C_{fi} 为第 <i>i</i> 种农作物合成单位有机质(干重)时所需要吸收的碳, H_i 为第 <i>i</i> 种农作物的经济系数。	李克让 ^[13] ; 方精云等 ^[14]
陆地生态系统碳吸收 The amount of carbon that terrestrial ecosystem absorb	林地 Forest $C_{forest} = S_{forest} \times A_{forest}$ 草地 Grassland $C_{grass} = C_{forest} \times \frac{S_{grass}}{S_{forest}} \times \varepsilon$ 园地 Garden $C_{garden} = S_{garden} \times A_{garden}$ 水域 Water area $C_{waters} = S_{waters} \times A_{waters}$	C 为各类用地的碳吸收量, S 为各类用地的面积, A 为各类用地的碳汇能力, ε 为草地与林地碳蓄积比($\varepsilon=0.2089$)。	赖力等 ^[10] 谢鸿宇等 ^[15] 张婷等 ^[16] 段晓男等 ^[17]
能源消费碳排放 Carbon dioxide from energy consumption	$C_{energy} = \sum_{i=1}^n Q_i \times NCV_i \times V_i$	C_{energy} 为能源碳排放量, Q_i 为第 <i>i</i> 种能源的消费量, NCV_i 为第 <i>i</i> 种能源的净发热值, V_i 为第 <i>i</i> 种能源的缺省碳排放因子。	IPCC ^[18]
工业生产碳排放 Carbon dioxide from industry	$C_{industry} = \sum_{i=1}^n Q_i \times V_i$	$C_{industry}$ 为工业生产碳排放量, Q_i 为第 <i>i</i> 种产品的产量, V_i 为第 <i>i</i> 种产品的碳排放系数。	赵荣钦等 ^[19] ; 揣小伟等 ^[20]
废弃物碳排放 Carbon dioxide from waste burning	$C_{burn} = Q_{burn} \times a \times \beta \times EF$	C_{burn} 为废弃物焚烧产生的碳排放量, Q_{burn} 为焚烧量, a 为碳含量比例(缺省值为50%), β 为矿物碳含量比例(缺省值为40%), EF 为完全燃烧率(缺省值为95%)。	蔡博峰等 ^[21]
呼吸作用碳排放 Carbon dioxide from respiration	$C_{respiration} = \sum_{i=1}^n Num_i \times V_i$	$C_{respiration}$ 为呼吸作用碳排放, Num_i 为第 <i>i</i> 种动物的数量, V_i 为第 <i>i</i> 种动物呼吸的碳排放系数。	匡耀求等 ^[22]
食物消费碳排放 Carbon dioxide from food consumption	$C_{food} = \sum_{i=1}^n Q_i \times V_i$	C_{food} 为食物消费碳排放, Q_i 为第 <i>i</i> 种食物的消费量, V_i 为第 <i>i</i> 种食物的碳排放系数。	罗婷文等 ^[23] ; 赵荣钦等 ^[24]

1.2 数据来源

经济社会数据来源于历年《合肥统计年鉴》、《合肥市国民经济和社会发展统计公报》，以及历年《安徽统计年鉴》、《中国统计年鉴》中关于合肥市的数据；能源消费量来源于历年《中国能源统计年鉴》中的安徽能源平衡表（实物量）；土地利用数据来源于合肥市历年土地利用变更调查；碳排放项目的核算过程中所应用的排放系数，来源于国内外学者或研究机构已有的研究成果。

1.3 核算结果

根据上述核算方法，本文对 1995-2012 年合肥市碳排放进行了核算。需要说明的是，巢湖市在 2011 年撤销了地级市建制，因此在 2011、2012 年的相关核算中，不包括划入合肥市的庐江县和由合肥市代管的县级巢湖市。核算结果如图 1 所示，其中，陆地生态系统碳排放为负，表示碳吸收，即碳汇作用。

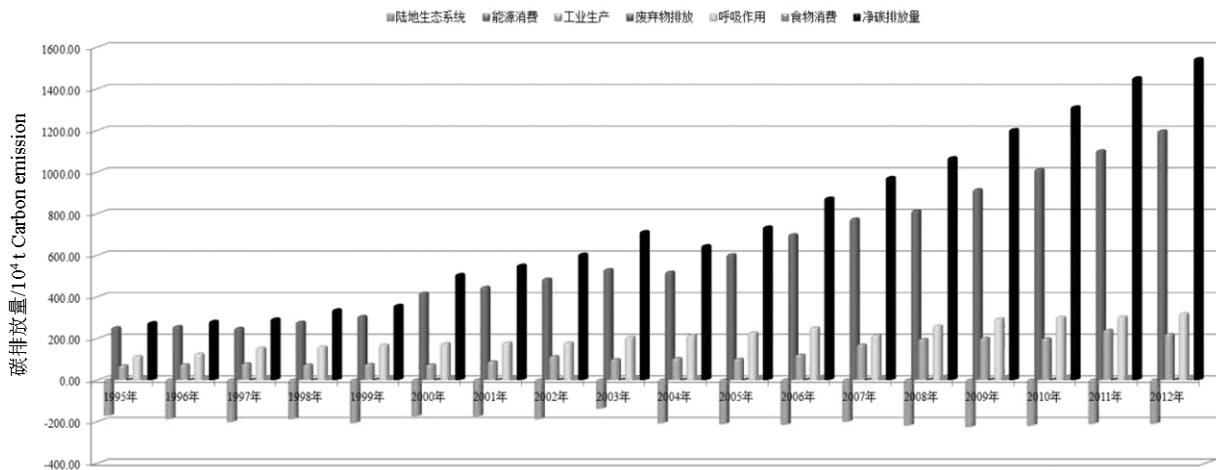


图 1 合肥市碳排放核算结果

Figure 1 The carbon emission accounting result in Hefei city

总体来看，除了 2003 年受灾导致陆地生态系统（主要是农田）碳汇能力明显下降，从而使得净碳排放量增加外，合肥市净碳排放量呈逐年增加态势，由 275.54 万 t 增加到 1537.33 万 t，年均增加 74.22 万 t，年均增长率 10.64%。陆地生态系统起着碳吸收作用，由于农田系统是最主要的碳汇，而多年来合肥市种植结构没有发生巨大变化，因此历年陆地生态系统的碳汇能力上下浮动较小。然而碳排放总量却在不断增加，从 1995 年到 2012 年由 446.21 万 t 增长到 1745.86 万 t。1995 年，陆地生态系统的碳吸收量能抵消掉 38% 的碳排放总量，2000 年之后这一比例降至 30% 以下，2006 年降至 20% 以下，到了 2012 年这一比例仅为 12%，几乎每 5 年就下降 10 个百分点，递减趋势明显。另一方面来说，每年陆地生态系统有超过 35% 的碳吸收量需要去抵消总碳排放的年均增量，减排压力可见一斑。

从数量上看，能源消费是第一大碳排放源，其次是呼吸作用，再次是工业生产。从增幅来看，2000 年后，由于能源碳排放的增长较快，导致净碳排放增长速率加快。从碳源排放比例来看，能源消费碳排放占碳排放总量比例最高，从 1995 年的 56.16% 增

至 2012 年的 68.52%，呼吸作用碳排放占比由 25.22% 降至 18.21%，工业生产碳排放占比在 10%~15% 之间浮动，食物消费碳排放占比由 2.92% 降至 1.04%，废弃物碳排放占比由 0.48% 降至 0.19%。可见，在能源、工业生产、废弃物、呼吸作用和食物消费中，只有能源消费所产生的碳排放占比是逐年增长的。因此，直观来说，开发碳源作用弱的新能源、改善能源利用结构、提高能源利用率是抑制合肥市碳排放的有效途径。

2 土地利用类型与碳排放核算项目的承载关系

本文以过渡时期全国土地分类二级地类为基础进行归并调整，将合肥市土地利用类型分为耕地、园地、林草、草地、水域、城镇工矿用地、交通运输用地和农村居民点 8 种类型，以此构建不同土地利用类型对应各碳排放核算项目的承载关系，如图 2 所示。

在计算过程中，对以下几点作具体说明：

(1) 在中国能源统计年鉴中，安徽省能源平衡表（实物量）给出了全省各行业能源的终端消费量，

分别核算各行业的能源消费碳排放量，再按照各行业合肥市与全省的产值比进行折算。

(2) 根据实际情况，牧业能源消费和动物呼吸作用所产生的碳排放归入农村居民点，是因为合肥市畜牧养殖主要是在农村居民点中完成，而草地的

主要用途并不是进行放牧养殖。

(3) 在食物消费量统计中，仅给出了城镇居民家庭人均消费量，农村居民的食物消费根据城乡居民收入和城乡居民家庭恩格尔系数进行计算。

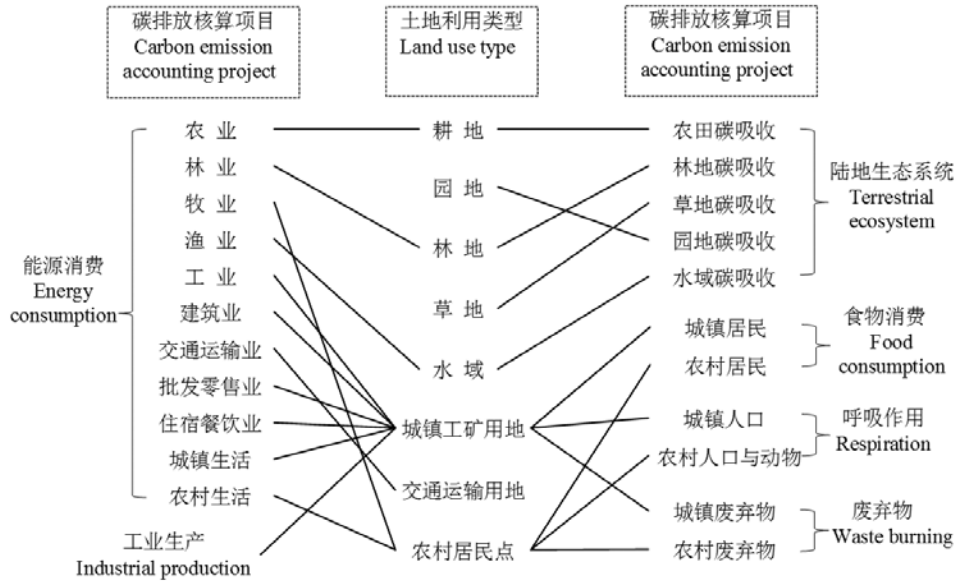


图 2 土地利用类型与各碳排放细化核算项目承载关系

Figure 2 The carrying relationship between land use types and carbon emission accounting projects

(4) 城镇人口和农村人口的呼吸作用、以及城镇废弃物与农村废弃物产生的碳排放，根据城乡人口比例进行分配。

3 合肥市土地利用碳排放效应

3.1 合肥市土地利用碳排放强度

碳排放强度一般是指单位 GDP 碳排放量，此处土地利用碳排放强度的概念是指，单位土地面积上所承载的碳排放量，以考察不同土地利用类型的碳源/汇能力，公式如下：

$$I_i = C_i / S_i \tag{1}$$

其中， I_i 表示第 i 类用地的土地利用碳排放强度， C_i 表示第 i 类用地所承载的碳排放量， S_i 表示第 i 类用地的面积。计算结果如表 2 所示。

在陆地生态系统中，各土地利用类型的碳吸收强度基本保持稳定，农田是合肥市最重要的碳汇用地类型。在建设用地上，城镇工矿用地的碳源作用极其明显，其碳排放强度远高于交通运输用地和农村居民点，因此，严格控制城镇工矿用地扩展对于抑制合肥市碳排放尤为重要。从增长幅度来看，城镇工矿用地的年均碳排放强度增长为 3.06%，相对于建设用地碳排放强度年均增长率 6.90%，合肥市

对于城镇工矿用地的碳减排控制还是较为有效的。

3.2 合肥市土地利用碳排放贡献率

土地利用碳排放强度反映的是土地利用类型的碳源/汇能力，为了进一步了解不同土地利用类型变化对碳排放的影响程度，借鉴经济学中的贡献率概念，提出土地利用碳排放贡献率。经济学中的贡献率是用来分析经济效益的指标，一般是指有用成果与资源消耗及占用量之比，在此，定义土地利用碳排放贡献率是指各土地利用类型所承载的碳排放量占净碳排放量的比例，公式如下：

$$ROC_i = C_i / C \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^n ROC_i = 1, \text{ 且 } -1 < ROC_i < 1 \tag{3}$$

其中， ROC_i 为第 i 种土地利用类型的碳排放贡献率， C_i 为第 i 种土地利用类型所承载的碳排放量， C 为全市净碳排放量， n 为土地利用类型种类，本文中 $n = 8$ 。计算结果如图 3 所示。

由图 3 可知，对合肥市碳排放贡献明显的主要是耕地、城镇工矿用地和农村居民点，其中耕地的贡献率为负，城镇工矿用地和农村居民点的贡献率为正。耕地碳吸收贡献率的下降趋势也反映出合肥市碳排放总量的上升趋势，因为耕地的碳汇能力比

较稳定, 如果视其保持不变, 则可知碳排放总量是在不断增长的。虽然耕地的碳吸收贡献率略低于农村居民点的碳排放贡献率, 但两者的贡献率以及变

化趋势近乎关于横轴对称, 说明耕地的碳吸收量能够近乎抵消农村居民点的碳排放量, 因此, 控制城镇工矿用地碳排放尤为关键。

表 2 合肥市土地利用碳排放强度

Table 2 Land use carbon emission intensity in Hefei city

 $t \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$

年份 Year	耕地 Cultivated land	园地 Garden	林地 Forest land	草地 Grass land	水域 Water area	城镇工矿用地 Urban industrial and mining land	交通运输用地 Traffic and transportation land	农村居民点 Rural residential land	建设用地均值 Construction land mean
1995	-4.01	-0.03	-0.38	-0.09	-0.55	205.83	30.83	17.63	51.98
1996	-4.43	-0.03	-0.38	-0.09	-0.54	203.80	30.28	19.38	53.85
1997	-4.81	-0.03	-0.37	-0.09	-0.54	200.86	31.02	23.92	57.59
1998	-4.45	-0.03	-0.36	-0.09	-0.53	206.61	33.53	24.77	59.45
1999	-4.96	-0.03	-0.37	-0.09	-0.53	221.34	33.07	25.58	63.62
2000	-4.12	-0.03	-0.35	-0.09	-0.53	247.05	33.33	26.89	70.33
2001	-4.14	-0.03	-0.36	-0.09	-0.53	258.66	34.23	27.70	74.06
2002	-4.51	-0.03	-0.36	-0.09	-0.53	263.64	32.36	28.12	77.85
2003	-3.35	-0.03	-0.39	-0.09	-0.53	286.32	31.87	33.06	93.07
2004	-5.20	-0.03	-0.41	-0.09	-0.53	266.79	34.08	34.33	91.90
2005	-5.33	-0.03	-0.41	-0.09	-0.53	274.54	45.90	36.51	100.76
2006	-5.40	-0.03	-0.40	-0.09	-0.53	298.18	49.05	40.73	113.23
2007	-5.04	-0.03	-0.40	-0.09	-0.53	313.30	59.17	34.86	119.42
2008	-5.50	-0.03	-0.39	-0.09	-0.52	311.79	69.89	42.73	128.91
2009	-5.72	-0.03	-0.44	-0.09	-0.51	334.52	76.95	48.22	141.29
2010	-5.55	-0.03	-0.44	-0.09	-0.49	340.30	83.75	49.68	147.86
2011	-5.32	-0.03	-0.44	-0.09	-0.46	349.97	92.17	50.47	156.78
2012	-5.32	-0.03	-0.44	-0.09	-0.46	343.35	120.79	53.28	161.68

注: 负表示碳吸收, 正表示碳排放。

Note: negative means carbon absorption, positive means carbon emission.

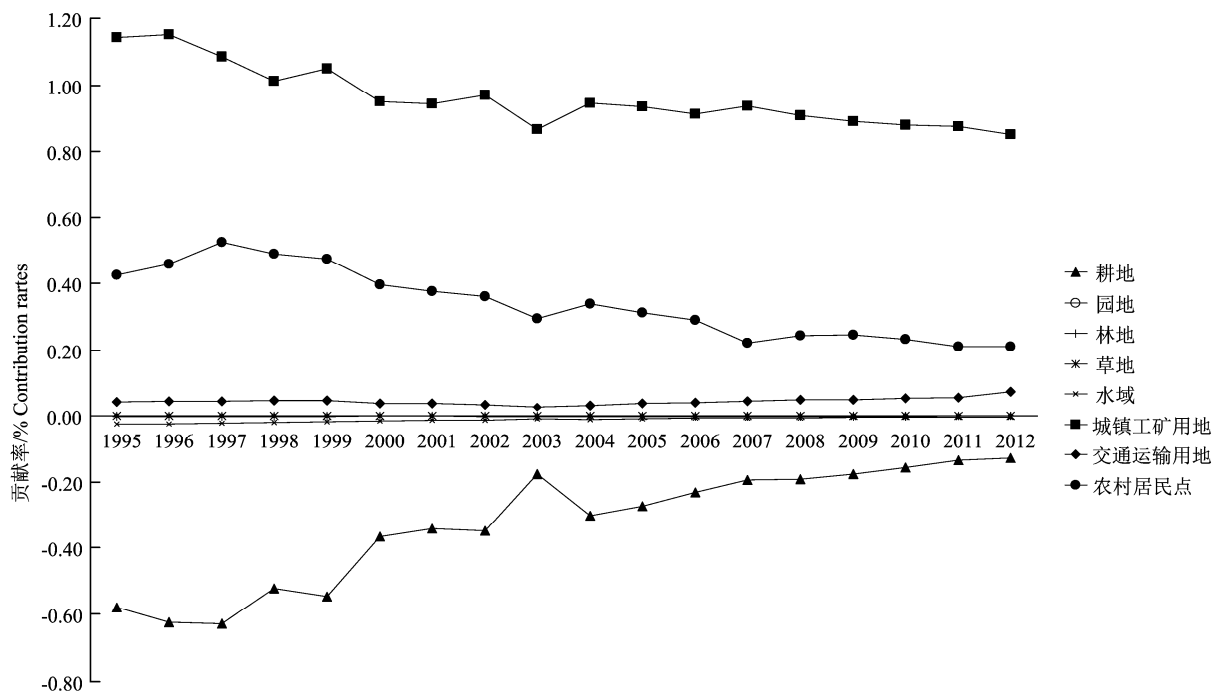


图 3 合肥市各土地利用类型碳排放贡献率

Figure 3 The carbon emission contribution rates of various land use types in Hefei

3.3 合肥市土地利用变化的碳汇增减计算

基于承载关系的建立, 本文对土地利用变化导致的碳汇量增减进行计算, 以直观了解土地利用变化对碳排放的影响。计算公式如下:

$$D_{i-j} = \Delta S_{i-j} \times (I_i - I_j) \quad (4)$$

其中, D_{i-j} 表示第 i 类土地利用类型转变为第 j 类土地利用类型后的碳汇损失或增加量, ΔS_{i-j} 表示第 i 类土地利用类型转入第 j 类土地利用类型的面积, I_i 为第 i 类用地的土地利用碳排放强度, I_j 为第 j 类用地的土地利用碳排放强度。计算结果如表 3 所示。

本文对 8 种用地类型的转入转出所导致的碳汇增减逐一进行了详细计算, 由于篇幅所限, 仅列出

碳汇与碳源用地之间的转换导致的碳汇量增减。表 3 计算结果清晰的表明, 1995-2012 年, 总体上碳汇损失呈现波动上升趋势, 主要原因在于碳汇用地面积的大量流失。耕地的转出是造成碳汇损失的最主要原因, 相对于碳汇用地转为碳源用地造成的总体碳汇损失, 耕地转出部分的碳汇损失占到 80%, 其中, 耕地转为城镇工矿用地又占到耕地转出碳汇损失的 90%。此外, 由于碳排放强度不同, 在碳汇用地内部以及碳源用地内部发生转入转出时, 也会造成碳汇的增减。例如, 耕地转为园地时会造成碳汇损失, 城镇工矿用地转为交通运输用地时反而会降低碳源作用, 相当于变相增加了碳汇。

表 3 合肥市碳汇/源用地的转出与碳汇量增减

Table 3 The transfer of carbon sink/source land use types and the increase or decrease of carbon sequestration in Hefei city

年份 Year	碳汇用地转为碳源 用地面积/hm ²	碳汇用地转出损失碳汇量/t Decrease of carbon sequestration caused by rolling out of carbon sink land	碳源用地转为碳汇 用地面积/hm ²	碳源用地转出增加碳汇量/t Increase of carbon sequestration caused by rolling out of carbon source land
	Carbon sink land translated to carbon source land		Carbon source land translated to carbon sink land	
1996	1124.45	122869.30	37.51	903.25
1997	751.68	105255.83	131.86	4447.98
1998	369.58	23560.27	28.37	1079.43
1999	869.92	121061.63	127.61	4363.45
2000	--	--	--	--
2001	839.68	125144.95	349.11	22728.25
2002	1065.76	258510.14	254.12	11786.86
2003	3516.35	854587.72	1026.11	119254.76
2004	1416.57	312440.73	234.65	12569.27
2005	994.37	172474.93	146.99	8202.74
2006	2439.59	483811.82	523.29	28182.06
2007	2115.75	617503.19	153.75	9248.91
2008	1470.17	455563.74	146.51	9994.32
2009	1564.29	309802.47	262.05	15983.87
2010	2308.84	618878.42	81.53	6590.55
2011	2554.68	769517.02	565.84	50205.63
2012	2347.41	669819.80	156.41	27859.91

注: ① 碳汇用地指耕地、园地、林地、草地和水域; 碳源用地指城镇工矿、交通运输用地和农村居民点。② 由于 2000 年缺少转入转出数据, 故该年未纳入计算。

Note: ① Carbon sink land includes cultivated land, garden, forest land, grassland and water; Carbon source land includes urban industrial and mining land, traffic and transportation land and rural residential land. ② Lack of the data in 2000.

4 讨论与结论

通过承载关系的建立, 将碳排放对应到土地利用类型上, 并以合肥市为例进行了实证研究, 分析土地利用碳排放强度、土地利用碳排放贡献率、以及土地利用变化导致的碳汇增减等效应, 更为深刻

地认识土地利用变化对于碳排放的影响, 有利于挖掘出碳减排工作的有形抓手, 在土地利用结构与布局的优化过程中找到重点与方向。主要结论如下:

(1) 除了 2003 年受灾导致净碳排放量忽高, 合肥市 1995 至 2012 年净碳排放量呈逐年增加态势。其中, 能源消费是第一大碳排放源, 并且只有能源

消费碳排放占比逐年增长, 因此, 以能源消费为抓手, 开发新能源、改善能源结构、提高能源利用率等是抑制碳排放的有效途径。

(2) 合肥市陆地生态系统的土地利用碳排放吸收强度基本保持稳定, 农田是最重要的碳汇。建设用地类型中, 城镇工矿用地的碳源作用极其明显, 因此, 严格控制城镇工矿用地扩展对于抑制碳排放尤为重要。

(3) 耕地、城镇工矿用地和农村居民点对合肥市碳排放贡献明显, 耕地的贡献率为负, 城镇工矿用地和农村居民点的贡献率为正。其中, 耕地的碳吸收贡献率与农村居民点的碳排放贡献率近乎抵消, 同样凸显了控制城镇工矿用地碳排放的重要性。

(4) 由于碳汇用地面积的大量流失, 合肥市碳汇损失总体上呈现上升趋势。其中, 耕地转为城镇工矿用地是导致碳汇损失最重要的原因, 因此, 在控制城镇工矿用地扩展的过程中, 严格控制对耕地的占用是增加碳汇、减少碳排放的关键。

参考文献:

- [1] IPCC. Working group I contribution to the IPCC fifth assessment report, climate change 2013: The Physical Science Basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [2] QUAY P D, TILBROOK B, WONG C S. Oceanic Uptake of Fossil Fuel CO₂: Carbon-13 Evidence[J]. Science, 1992, 256(5053): 74-79.
- [3] HOUGHTON R A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000[J]. Tellus B, 2003, 55(2): 378-390.
- [4] FRIEDLINGSTEIN P, HOUGHTON R A, MARLAND G, et al. Update on CO₂ emissions[J]. Nat Geosci, 2010, 3(12): 811-812.
- [5] 董祚继. 低碳概念下的国土规划[J]. 城市发展研究, 2010, 17(7): 1-5.
- [6] POEPLAU C, DON A. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe[J]. Geoderma, 2013, 192: 189-201.
- [7] 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]. Renew Sust Energ Rev, 2012(1): 775-786.
- [8] DILLING L, FAILEY E. Managing carbon in a multiple use world: The implications of land-use decision context for carbon management[J]. Glob Environ Change, 2013, 23(1): 291-300.
- [9] 张颖, 王群, 李边疆, 等. 应用碳氧平衡法测算生态用地需求量实证研究[J]. 中国土地科学, 2007, 21(6): 23-28.
- [10] 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.
- [11] 游和远, 吴次芳. 土地利用的碳排放效率及其低碳优化—基于能源消耗的视角[J]. 自然资源学报, 2010, 25(11): 1875-1886.
- [12] CHUAI X, HUANG X, WANG W, et al. Spatial simulation of land use based on terrestrial ecosystem carbon storage in coastal Jiangsu, China[J]. Sci Rep, 2014, 4: 5667.
- [13] 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, 2002.
- [14] 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), 2007, 37(6): 804-812.
- [15] 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.
- [16] 张婷, 蔡海生, 钟根佐. 南昌市土地利用碳排放效应及其低碳优化对策[J]. 江西农业大学学报(社会科学版), 2013, 12(2): 170-177.
- [17] 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.
- [18] IPCC. 2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南[R]. 2006.
- [19] 赵荣钦, 黄贤金, 彭补拙. 南京城市系统碳循环与碳平衡分析[J]. 地理学报, 2012, 67(6): 758-770.
- [20] 揣小伟. 沿海土地利用变化的碳效应及土地调控研究—以江苏沿海为例[D]. 南京: 南京大学, 2013.
- [21] 蔡博峰, 刘春兰, 陈操操. 城市温室气体清单研究[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [22] 匡耀求, 欧阳婷萍, 邹毅, 等. 广东省碳源碳汇现状评估及增加碳汇潜力分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(12): 56-61.
- [23] 罗婷文, 欧阳志云, 王效科, 等. 北京城市化进程中家庭食物碳消费动态[J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3252-3258.
- [24] 赵荣钦, 黄贤金, 钟太洋, 等. 区域土地利用结构的碳效应评估及低碳优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(17): 220-229.