

低碳视角下长江经济带土地利用碳排放的空间分异¹

苑韶峰, 唐奕钰

(浙江工商大学土地资源管理系, 中国浙江杭州 310018)

【摘要】: 以长江经济带为研究对象, 基于 2000~2015 年间四期 Landsat TM 影像解译数据, 通过构建碳排放模型, 从经济贡献力、生态承载力及二者的耦合关系探讨了土地利用碳排放的空间异质性。结果表明: ①2000~2015 年长江经济带土地利用碳排放量区域差异显著, 各地级市碳排放量均有不同程度的增加, 且从上游地区到下游地区增长量逐渐增大。②长江经济带土地利用碳排放总体呈现正相关性, 全局空间自相关 Moran's I 值先增大后减小, 碳排放强度空间正相关性增强, 集聚状态显著, 异质性空间单元增加。局部空间自相关显示高值集聚中心位于下游沿海地区, 低值集聚中心主要分布在上游及中游地区, 低值孤立点和高值孤立点分别分布在中游及中下游地区。③长江经济带碳排放经济贡献系数呈现东高西低的特征, 生态承载系数东高西低、中间最低, 两者均有不同程度上升, 且耦合协调度上游差异较小, 中游及下游地区差异相对较大。④为更好地实现土地利用可持续发展, 推动土地利用方式向低碳集约方向转变, 可以分区域进行低碳土地利用的调控。

【关键词】: 碳排放; 低碳; 土地利用; 生态承载力; 耦合协调度; 长江经济带; 全球气候变化

【中图分类号】: F301.2 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000 — 8462(2019)02 — 0190 — 09

DOI:10.15957/j.cnki.jjdl.2019.02.023

气候变暖被视作 21 世纪人类面临的重大挑战之一, 如何应对气候变化成为全球关注的焦点。联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第五次评估报告指出, 气候变暖 95%可能是由于化石燃料燃烧和土地利用变化等人类活动排放的温室气体(主要包括 CO₂、CH₄ 和 N₂O 等)导致的^[1]。据估算, 1850—1998 年全球土地利用变化引起的碳排放是人类活动影响碳排放总量的 1/3^[2], 2000—2009 年占 12.5%^[3]。1950—2005 年中国土地利用变化累计碳排放为 10.6 Pg, 占全国人为碳源排放量的 30%, 占同期全球土地利用变化碳排放量的 12%^[4], 1990—2010 年, 土地利用类型及管理方式变化共造成我国陆地生态系统 1.45PgC 的碳储量损失^[5]。根据全球碳计划(Global Carbon Project)2016 年统计结果可知, 在 1870—2015 年全球累积碳排放中, 土地利用变化产生的 CO₂ 总量累计约为 145 GtC^[6]。因此, 从人类活动综合视角开展土地利用碳排放研究有助于从基础层面评估人类活动对环境的影响程度, 是全球变化背景下推动经济社会低碳转型与土地利用可持续发展的重大战略需求^[7]。

通过网络数据库, 以“碳排放”、“carbon emission”为关键词进行检索, 分别搜索到中文文献 33 657 篇、外文文献 112 360

¹收稿时间: 2018 - 05 - 04; 修回时间: 2018 - 12 - 07

基金项目: 浙江省哲学社会科学规划基金项目(19NDJC015Z、18NDJC196YB); 国家自然科学基金面上项目(41871181); 教育部人文社会科学规划基金项目(18YJA630136)

作者简介: 苑韶峰(1975—), 男, 山西繁峙人, 博士, 教授, 博士生导师。主要研究方向为土地资源管理。
E-mail: ShaofengYuan1975@163.com

篇，以“土地’碳排放”、“Land use carbon emissions”，为关键词进行检索，共搜索到中文文献 1 661 篇、外文文献 7 740 篇，且自 2010 年以来，相关文献明显增多。有关土地利用碳排放的研究主要集中于土地利用碳收支核算^[8]、土地利用碳排放的驱动机制及影响因素^[9]、土地利用低碳优化研究^[10]、土地低碳集约利用评价模型^[11-12]等方面，这些内容通过微观—中观—宏观的研究尺度来表达，即通过微观角度的土壤碳和植被碳测算土地利用变化带来的碳通量，过渡到中观角度的土地利用碳排放机理及其影响因素研究，继而从宏观角度提出土地利用减排政策。从空间尺度看，多数研究以独立的行政单元为研究区域，从而影响到碳排放效应在经济、社会、生态影响等方面分析的整体性，有必要以跨行政区域的城市圈、流域等作为整体，对碳排放生态效应及经济发展之间耦合协同效应进行量化研究。因此，本文利用 2000, 2005, 2010 和 2015 年四期 Landsat TM 影像解译数据，通过土地利用碳排放模型及空间自相关模型对区域碳排放效应及其空间格局进行定量分析，并结合耦合协调理论，对碳排放的经济贡献及生态承载协同关系进行研究，对推动区域低碳绿色发展具有重要的理论与实践意义。

1 研究区域、数据来源和研究方法

1.1 研究区概况

长江经济带是以流域为基础，以长江为轴带、以城市为节点的带状经济区，包括 9 省 2 市，下辖 127 个地级市，面积约 205 万 km²，其人口和经济总量均超过全国的 40%，横贯我国东中西三大区域，交通便捷，是具有全球影响力的内河经济带，也是东中西互动合作的协调发展带。发展长江经济带，对中国经济的发展以及世界经济全球化态势都有着极大的意义^[13]。2014 年的《关于依托黄金水道推动长江经济带发展的指导意见》，2016 年的《长江经济带发展规划纲要》，以及习近平总书记在十九大报告中多次提到的推动长江经济带发展要求的土地管理和利用方式的创新，都体现了党中央的高度重视。

纵观世界各国区域经济发展状况，流域经济开发是现代化进程中的战略选择重点。据统计，2017 年长江经济带常住人口为 59 471.39 万人，占全国总人口数的 42.78%，城镇化率达到 58.16%。长江经济带 11 个省市 GDP 达 373 945.6 亿元，占同期中国经济总量的 45.21%。这一地区人口密集，居民收入水平高，对国内外投资极具吸引力。人口的大密度聚集和城市化水平的不断推进，也使得长江经济带土地利用变化程度持续增加。对长江经济带土地利用及其碳排放效应的研究对长江经济带乃至全国的可持续发展都具有重要意义。

1.2 数据来源

长江经济带土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心 Landsat TM 影像解译数据 (2000, 2005, 2010 和 2015 年，空间分辨率为 1 km)。在参考前人文献^[14]的基础上将土地利用类型划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地及未利用地 6 种类型，运用 ArcGIS 10.2 软件，对所得土地利用类型图进行分区统计和分析。

1.3 研究方法

1.3.1 碳排放测算

①碳排放模型。在长江经济带四期土地利用数据基础上，计算求得不同土地利用的碳排放量。从碳排放—吸收视角来看，净碳排放量取决于碳汇与碳源的差值^[15]，本文以建设用地和耕地为主要碳源，林地、草地、水域和未利用地为碳汇 (其中因城区园林绿化面积相对于山区森林面积积极小，再加上其需要人工管理耗费成本也排放 CO₂，因而其碳汇量可以忽略不计^[16])，因此，土地利用的碳排放估算模型公式为：

$$\begin{aligned}
 Ce &= \sum e_i = \sum_{i=1}^5 A_i \times \alpha_i + Cb \\
 &= \sum_{i=1}^5 A_i \times \alpha_i + \sum m_j \times \beta_j \times \gamma_i
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

式中： C_e 为碳排放量； e_i 为第 i 种土地利用类型产生的碳排放（吸收）量； A_i 为第 i 种土地利用类型（耕地、林地、草地、水域、未利用地）面积； α_i 为第 i 种土地利用类型的碳排放（吸收）系数； C_b 为建设用地的碳排放量； m_j 为化石能源消费量； β_j 为标准煤换算系数； γ_i 为碳排放系数。建设用地承载了大量的人类活动消耗的能量，其碳排放主要来源于土地利用过程中的工矿、交通、居民点等能源消耗间接估算。由于国家统计局年鉴中给出了全国各省份所有能源消耗转化为 t 标准煤的总额，因此本研究以煤炭的碳排放系数进行计算。

②碳排放系数的确定。由于研究区域分布较广，区域之间存在极大差异，为得到更严谨的数据结果，根据干流地理条件和水文特征差异将长江经济带划分为上、中、下游三个区域。重庆、四川、云南、贵州属于上游地区，这一区域有明显的高原山地峡谷河流特征，城市分散，人口相对较为稀少；江西、湖北、湖南属于中游地区，城市形态呈条带状，人口较为密集；上海、浙江、江苏、安徽属于下游地区，城市形态呈现团块状或组团状，人口分布密集。此外，不同年份、不同质量的地类对碳排放系数均会产生影响，但是由于其影响相对区域差异较小，故不根据年份及质量对碳排放系数进行进一步拆分。本研究在参考国内外学者所测算的不同结果基础上^[17-26]，按经纬度及地理状况进行分类，并根据长江经济带实际情况对其进行修正，最终得到不同区域土地利用碳排放系数（表 1）。

表 1 长江经济带土地利用碳排放系数

地级市所在省份		耕地	林地	草地	水域	未利用地	煤炭
上游	重庆、四川、云南、贵州	0.4689	-0.6046	-0.0206	-0.2530	-0.0028	0.7172
中游	江西、湖北、湖南	0.4970	-0.6440	-0.0200	-0.0230	-0.0050	0.7476
下游	上海、浙江、江苏、安徽	0.4220	-0.6125	-0.0210	-0.0248	-0.0005	0.7559

1.3.2 碳排放经济贡献系数

碳排放的经济贡献系数 (ECC) 可以用来衡量区域间碳排放经济贡献的公平性，是反映区域碳排放生产力的指标之一，其表达式为：

$$ECC_i = \frac{G_i}{G} \bigg/ \frac{C_i}{C}
 \tag{2}$$

式中： G_i 、 G 为 i 市和全经济带的 GDP； C_i 、 C 为 i 市和全经济带的碳排放总量。若 $ECC_i > 1$ ，则表明 i 市经济贡献率大于土地利用碳排放的贡献率，说明其碳排放的经济效率相对较高；若 $ECC_i < 1$ ，则说明该市碳排放的经济效率相对较低。

1.3.3 碳排放生态承载系数

生态承载系数(ESC)可以用来衡量各区域碳生态容量贡献的公平性，以反映区域的碳汇能力，其表达式为：

$$ESC_i = \frac{CA_i}{CA} / \frac{C_i}{C} \quad (3)$$

式中：CA、CA_i 为 i 市和全经济带主要碳汇对碳的吸收量。若 ESC>1，即 i 市主要碳汇对碳吸收的贡献率大于碳排放的贡献率，对全经济带碳排放的消纳有积极作用，对其他区域有贡献；反之，对全经济带碳排放的消纳有负面影响。

1.3.4 耦合协调度

碳排放经济贡献和生态承载耦合协调度//的计算公式^[27]为：

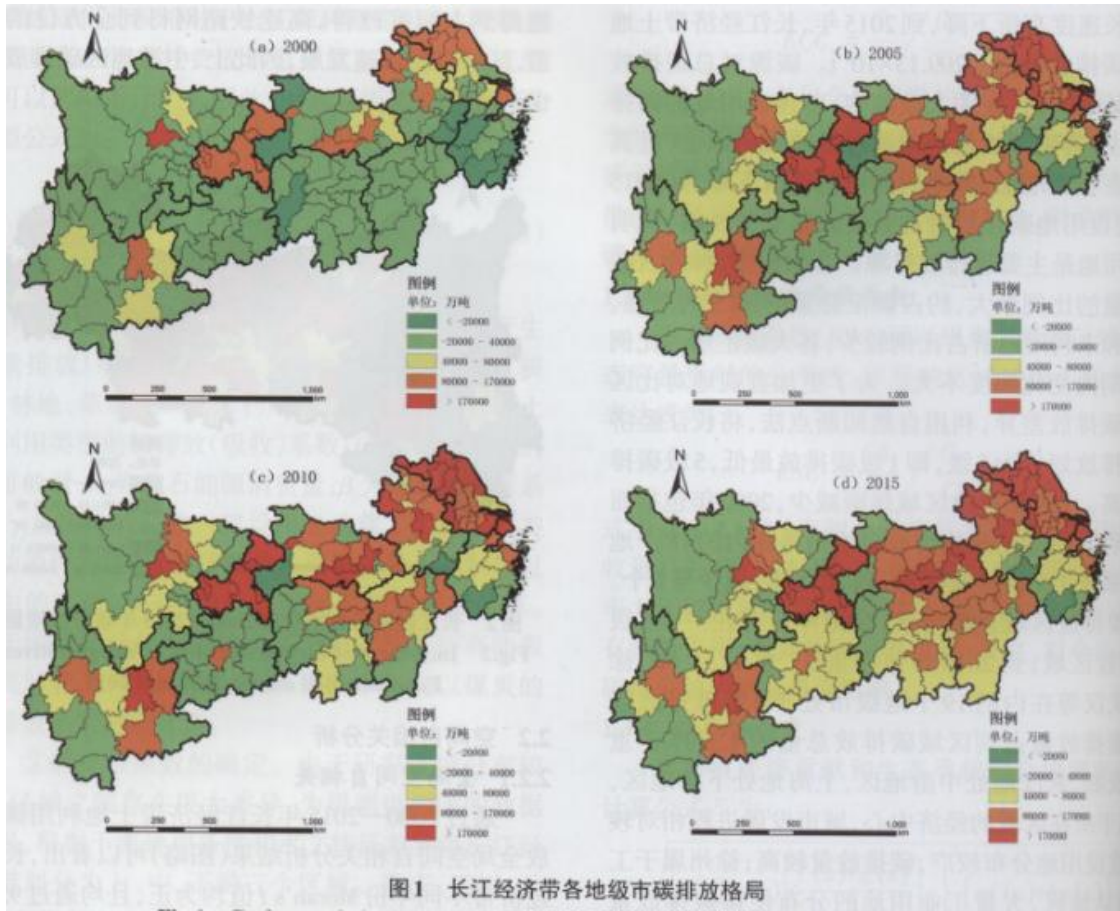
$$H = \sqrt{\left\{ f(x)g(x) \left[\frac{f(x)+g(x)}{2} \right]^{-2} \right\}^k [af(x)+bg(x)]} \quad (4)$$

式中：f(x)、g(x) 分别表示标准化的碳排放经济贡献和生态承载；a、b 为待定系数，且 a+b=1，由于碳排放经济贡献和生态承载的协调发展过程中，两者之间的相互促进程度差异不大，因此 a、b 均取值为 0.5；k 为调节系数，由于本文存在经济贡献和生态承载两个子系统，故取值为 2；0≤H≤1，值越大表示耦合协调度越高。

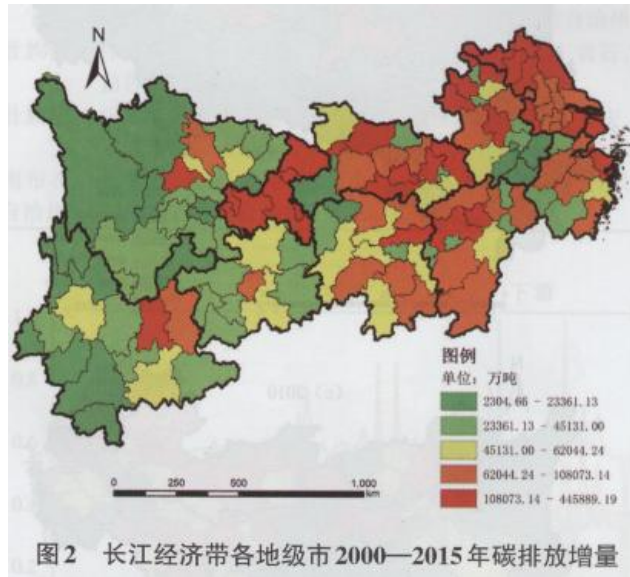
2 结果与分析

2.1 土地利用碳排放的时空格局

通过计算，得到长江经济带 2000-2015 年 127 个地级市的碳排放空间格局（图 1）。结果表明，2000-2015 年，长江经济带土地利用碳排放量呈现持续增长的趋势，2000-2010 年，碳排放量从 325.35×10⁸ t 增长到 984.40×10⁸ t，增长较快，2010 年后增长速度有所下降，到 2015 年，长江经济带土地利用碳排放量为 1 209.13×10⁸ t。碳源对总碳排放量贡献最大，且在两大碳源中，以建设用地的碳排放为主，其碳排放量占碳源总量的 93%以上，且其比例在不断增加，耕地所占比例逐渐下降，到 2015 年，建设用地碳排放量占到碳源总量 97 力 4%，说明建设用地是主要碳排放来源。在碳汇中，林地占碳汇总量的比例最大，约占碳汇总量的 99.5%，草地、水域和未利用地所占比例较少，各大碳汇所占比例研究期内变化幅度不大。为了更加直观地对比区域间碳排放差异，利用自然间断点法，将长江经济带碳排放划分为 5 级，BP 1 级碳排放最低，5 级碳排放最高。1 级碳排放区域逐渐减少，2000 年包括丽水、黄山、恩施土家族苗族自治州等在内的 18 个地级市属于 1 级碳排放区域，到 2015 年，减少至 4 个。5 级碳排放区域逐渐增多，2000 年只存在一个 5 级碳排放区域，到 2015 年包括重庆、成都、上海、徐州、武汉等在内的 19 个地级市处于 5 级碳排放区域，碳排放量占到区域碳排放总量的 42.89%。重庆、成都、武汉地处中游地区，上海地处下游地区，均属于所在区域的经济中心，城市发展进程相对较快，建设用地分布较广，碳排放量较高；徐州属于工业发达地区，大量工业用地的分布使得碳排放量较高。



为了更好地分析研究期内长江经济带不同地区碳排放变化程度，对碳排放增量进行计算得到图 2。各地碳排放量均存在不同程度的增长，且从上游地区到下游地区增长量逐渐增大。重庆碳排放量增加最多，2015 年比 2000 年增加了 445 889.19 万 t；其次是成都，共增加 329 381.81 万 t。怒江傈僳族自治州增量最小，仅为 2 304.67 万 t；其次为迪庆藏族自治州（7 993.58 万 t）和铜陵（11 333.58 万 t）。有研究证明，经济增长、城镇化及产业结构这三个因素对长江下游地区碳排放影响显著^[28]，区域内基础设施建设发展较快，同时还承载了大量人类生产生活，消耗大量能源，进而引起碳排放大量增加。上游地区城市化进程相对较慢，建设用地分布相对较少，林地、草地分布较多，对 CO₂ 吸收能力较强，因而碳排放量比下游地区要小得多。但这一区域仍存在碳排放量大幅度增加的现象，下游地区的传统制造业不断向上游及中游转移，导致上、中游地区碳排放急速增加。这与西部大开发、一带一路等建设推动也有关联，在此背景下，上游经济发展进程加快，各项建设的发展不断促进其发展速度，基础设施得到大幅度改善，高速铁路网得到全方位的覆盖，区域经济快速发展，因此上、中游地区碳排放量也迅速增加^[29]。



2.2 空间自相关分析

2.2.1 全局空间自相关

通过 2000—2015 年长江经济带土地利用碳排放全局空间自相关分析结果(图略)可以看出, 长江经济带不同年份 $Momn's I$ / 值均为正, 且均通过 95% 的显著水平检验, 这表明长江经济带不同地级市土地利用碳排放具有空间正相关性。2000、2005、2010 和 2015 年长江经济带土地利用碳排放的 $Moran's I$ / 值分别为 0.0124、0.0273、0.0236、0.0188; 2000—2015 年, $Momn's I$ / 值呈现先增大后减小的趋势, 说明长江经济带土地利用碳排放相似的地级市在空间上的集聚程度先有一定程度的上升, 后有一定程度的下降, 但总体上在空间上处于集聚状态^[30]。从长江经济带 2000、2005、2010 和 2015 年的 $Moran's I$ 图来看, 各年份中位于第一、三象限的地级市数分别占全经济带的 50.53%、55.69%、56.99% 和 57.24%, 位于第二、四象限的地级市数比例分别为 49.47%、44.31%、43.01% 和 42.76%。表明研究期内碳排放强度空间正相关性增强, 集聚状态显著, 异质性空间单元增加。

2.2.2 局部空间自相关

虽然全局空间自相关指数可以反映长江经济带不同地级市土地利用碳排放之间有良好的空间关联性, 但是不能掌握不同地级市之间的具体空间关系。因此本研究利用局部空间自相关分析研究长江经济带不同地级市土地利用碳排放的局部显著性空间关联关系。通过 GeoDa 软件计算得到长江经济带不同地级市土地利用碳排放局部空间自相关指数后, 利用 ArcGIS 平台绘制出图(图 3), 并得到碳排放集聚中心和孤立点的空间转移路径(表 2)。2000 年高值集聚中心为上海和南昌, 2005 年转移到上海和扬州, 2010、2015 年均仅有上海为长江经济带碳排放高值集聚中心, 可以看出长江经济带碳排放高值集聚中心始终出现在下游沿海地区。2000 年不存在低值集聚中心, 2005 年出现了湖州、安庆、十堰、邵通等 7 个低值集聚中心, 2010 年淮南出现新的低值集聚中心, 2015 年邵阳、达州、西双版纳傣族自治州出现新的集聚中心, 可以看出低—低(LL)关联类型主要分布在上游及中游地区。永州始终为低值孤立点, 除永州以外, 2000 年台州、湘西土家族苗族自治州出现低值孤立点, 2005 年转移至张家界、黔东南苗族侗族自治州, 2015 年娄底出现新的低值孤立点, 低值孤立点主要分布在中游地区。研究期内眉山始终为高值孤立点, 2000 年高值孤立点为淮安、徐州、文山壮族苗族自治州、西双版纳傣族自治州, 2005 年宿迁、合肥、黄石、重庆、贵阳出现新的高值孤立点, 2010 年安庆出现新的高值孤立点, 2015 年转移至南通, 高值孤立点主要集中在长江经济带中游及下游地区, 且逐渐趋于集聚状态。

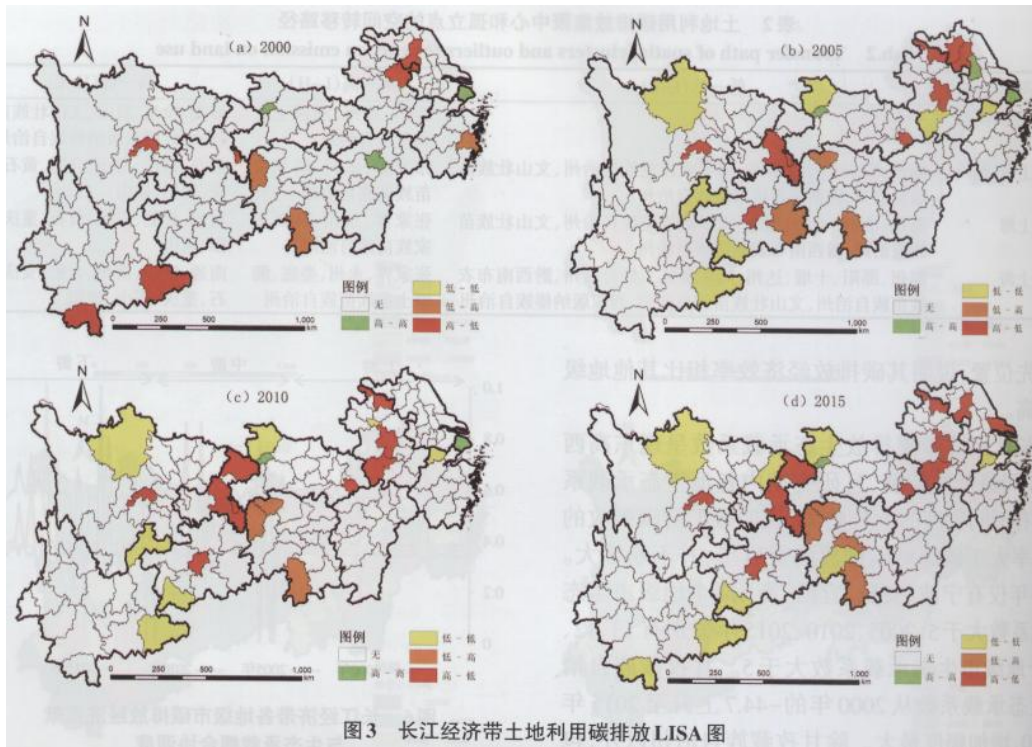
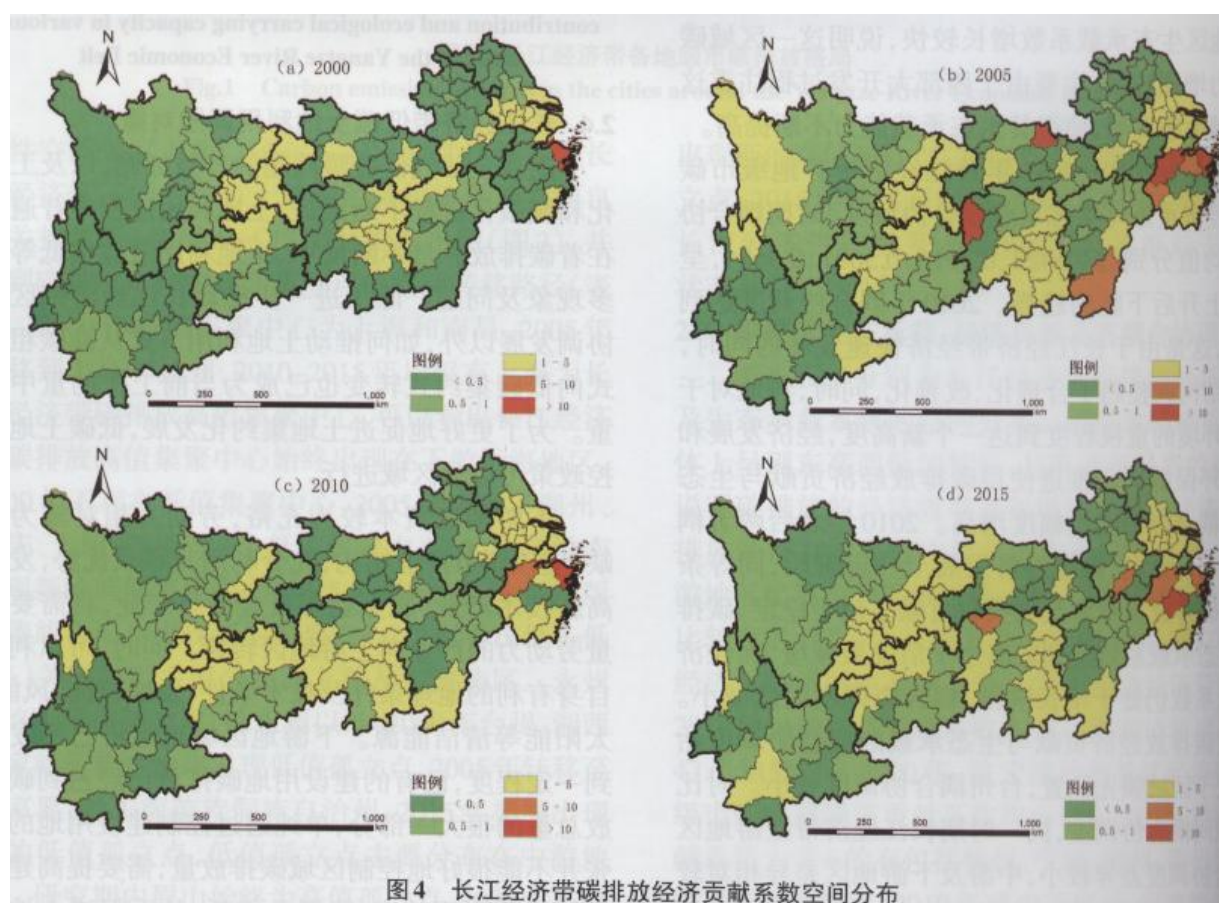


表2 土地利用碳排放集聚中心和孤立点的空间转移路径

高一高 (H-H)	低一低 (L-L)	低一高 (L-H)	高一低 (H-L)
2000 上海、南昌		台州、永州、湘西土家族苗族自治州	淮安、徐州、眉山、文山壮族苗族自治州、西双版纳傣族自治州
2005 上海、扬州	湖州、安庆、十堰、邵通、阿坝藏族羌族自治州、文山壮族苗族自治州、黔西南布依族苗族自治州	张家界、永州、黔东南苗族侗族自治州	淮安、宿迁、宿州、合肥、黄石、重庆、贵阳、眉山
2010 上海	湖州、淮南、十堰、邵通、阿坝藏族羌族自治州、文山壮族苗族自治州、黔西南布依族苗族自治州	张家界、永州、湘西土家族苗族自治州	宿州、合肥、安庆、黄石、重庆、贵阳、眉山
2015 上海	湖州、邵阳、十堰、达州、阿坝藏族羌族自治州、黔西南布依族苗族自治州、文山壮族苗族自治州、西双版纳傣族自治州	张家界、永州、娄底、湘西土家族苗族自治州	南通、淮安、宿州、合肥、安庆、黄石、重庆、眉山、贵阳

2.3 碳排放生态承载、经济贡献及其耦合协调度

图4、图5分别为长江经济带碳排放经济贡献及生态承载系数的空间分布。碳排放经济贡献总体上呈现东高西低的特征，且有逐年升高的趋势，说明碳排放的经济效率逐年增加。长江经济带碳排放经济贡献系数主要集中在0.5~5.0之间，且上游地区经济贡献系数较低，这一区域经济发展相对比较落后，但由于政策及经济发展影响，研究期内经济贡献系数也有所上升。2000年全经济带仅有29个地级市经济贡献系数大于1，到2015年增加至47个地级市。2000年，除宁波外的长江经济带地级市碳排放经济贡献系数均小于5，2005年经济贡献系数大于5的有包括杭州、宁波、随州、衢州等在内的7个地级市，2010年减少至杭州、宁波两个地级市，2015年经济贡献系数大于5的地级市增加至5个。杭州、宁波经济贡献系数始终处于长江经济带领先地位，说明其碳排放经济效率相比其他地级市较高。



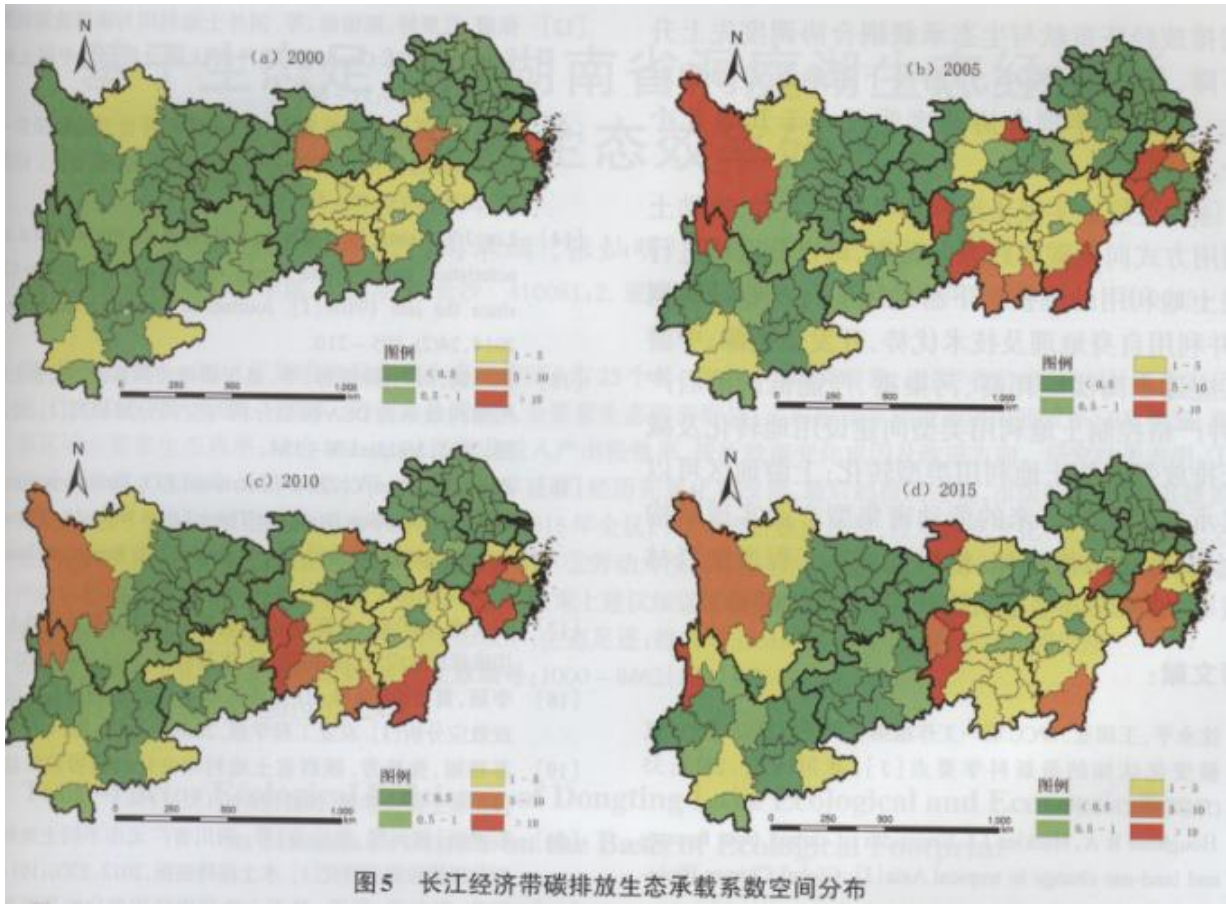


图5 长江经济带碳排放生态承载系数空间分布

长江

长江经济带碳排放生态承载系数呈现东高西低、中间最低的特征，且研究期内各地生态承载系数均有不同程度的上升趋势，说明碳汇对碳吸收的贡献率大于碳源对碳排放的贡献率，并不断增大。2000 年仅有宁波、安庆、宜昌、衡阳 4 个地级市生态承载系数大于 5，2005, 2010, 2015 年分别有 13、12、12 个地级市生态承载系数大于 5。甘孜藏族自治州生态承载系数从 2000 年的 -44.7 上升至 2015 年的 6.0，增加幅度最大。除甘孜藏族自治州以外，包括阿坝藏族羌族自治州、凉山彝族自治州等在内的上游地区生态承载系数增长较快，说明这一区域碳汇能力增强较多，主要由于西部大开发过程注重这一区域生态发展，使得其生态承载能力不断提高。

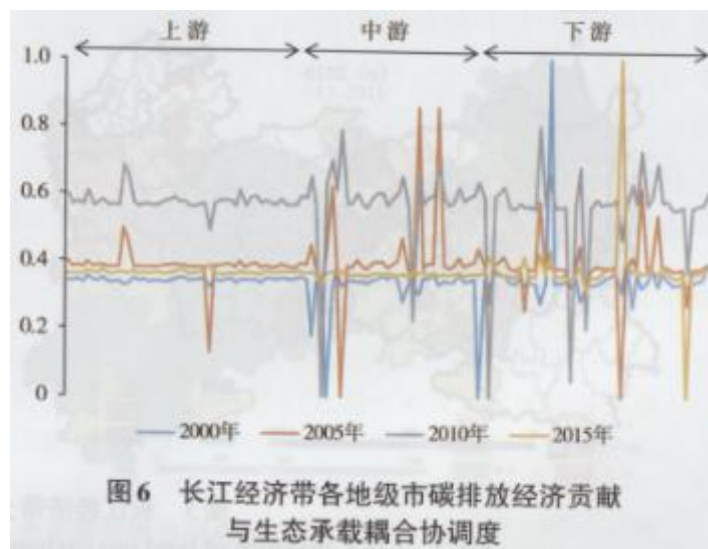


图6 长江经济带各地级市碳排放经济贡献与生态承载耦合协调度

图 6 为 2000-2015 年长江经济带各地级市碳排放经济贡献与生态承载耦合协调度，四期耦合协调度均值分别为 0.3422、0.3916、0.5691、0.3684，呈现先上升后下降的趋势。2010 年耦合协调度达到峰值，这是由于长江经济带经济快速发展的同时，经济结构调整趋于合理化、改善化，同时，各地对于生态环境的重视程度到达一个新高度，经济发展和生态环保的同步推进使得碳排放经济贡献与生态承载耦合协调度大幅度增高。2010 年之后两者耦合协调度减弱，区域经济发展至一定阶段，同等条件下碳排放贡献率及碳吸收贡献率趋于稳定，碳排放生态承载系数达到较高水平后发展减缓，而经济贡献系数仍处于增长阶段，耦合协调度因此减小。宁波碳排放经济贡献与生态承载的耦合协调度始终处于区域领先地位，台州耦合协调度较小。对比区域间耦合协调度，同一时期长江经济带上游地区耦合协调度差异较小，中游及下游地区差异相对较大，这与上游地区各地级市经济及生态发展差异不大而中、下游地区经济及生态差异较大密切相关。

2.4 长江经济带低碳土地利用调控对策

随着全球气候变暖问题的日益加剧，以及工业化和城镇化进程不断推进，土地利用过程中普遍存在着碳排放总量不断增加、土地利用效益偏低等诸多现象及问题。除了进一步推动长江经济带区域协调发展以外，如何推动土地利用方式从高碳粗放式向低碳集约式转变也已成为当前工作的重中之重。为了更好地促进土地集约化发展，低碳土地调控政策可以分区域进行。

下游地区资本较为充裕，劳动力相对较为短缺，应该调节产业结构，充分利用其禀赋优势，发展高新技术产业、服务业等资金密集产业，将需要大量劳动力的产业向上游地区转移。同时，可以利用自身有利的地理条件及技术条件，发展核能、风能、太阳能等清洁能源。下游地区城市经济已经发展到一定程度，已有的建设用地碳排放已经占到碳排放总量的很大一部分，单纯通过控制建设用地的扩张并不能很好地控制区域碳排放量，需要提高建设用地能源利用效率，降低总能耗，从而促进土地利用集约化。

中游地区重工业发展短期内无法摆脱对煤炭的依赖，可以通过“以气换煤”和加大煤炭清洁处理来实现碳减排，并逐步淘汰高能耗、重污染、低产能的落后产业。在促进经济发展的同时，严格控制土地利用类型向建设用地转变，严禁无节制地牺牲农用地以扩张建设用地的行为。减少低排放强度的土地利用类型转换，避免对林地、草地、水域的过度开发利用，同时减少耕地使用过程中肥料使用和机械动力等间接碳排放，从而实现低碳调控的目的。

上游地区资本较为短缺，劳动力充足，可以通过承接沿海转移来的劳动密集型产业，实现产业结构优化，一方面实现经济增长，另一方面还能控制碳排放大量增长，经济充分发展有利于能源强度的下降，也有利于低碳技术的研发与引进。同时可以通过增加森林覆盖率来增加碳汇量，在不适合耕作的地区推进退耕还林、荒山造林等工程。加强农业生态系统管理，采取有效的农业生态系统管理措施如保护性耕作。

3 结论

通过对长江经济带 127 个地级市土地利用碳排放空间格局演变进行分析，得出以下主要结论：

①2000-2015 年长江经济带区域碳排放差异较为显著。2000-2015 年，长江经济带土地利用碳排放量呈现持续增长的趋势，2000-2010 年，碳排放量从 $325.35 \times 10^8 \text{t}$ 增长到 $984.40 \times 10^8 \text{t}$ ，增长较快，2010 年后增长速度有所下降。两大碳源中，以建设用地的碳排放为主，碳汇中，以林地为主。重庆、成都、上海、徐州、武汉等地碳排放量较高，丽水、黄山等地较低。各地碳排放量均存在不同程度的增长，且从上游地区到下游地区增长量逐渐增大。

②长江经济带土地利用碳排放总体呈现正相关性。全局空间自相关 Moran' s I 值呈现先增大后减小的趋势，碳排放强度空间正相关性增强，集聚状态显著，异质性空间单元增加。局部空间自相关显示高一高(HH)关联类型减少，分布在下游沿海地区；低一低(LL)关联类型增多，主要分布在上游及中游地区；低一高(LH)关联类型主要分布在中游地区；高一低(HL)关联类型主要集

中在长江经济带中游及下游地区，且逐渐趋于集聚状态。

③长江经济带碳排放经济贡献总体上呈现东高西低的特征，碳排放生态承载系数呈现东高西低、中间最低的特征，且两者研究期内均有不同程度的上升趋势。2000-2015年长江经济带各地级市碳排放经济贡献与生态承载耦合协调度先上升后下降，上游差异较小，中游及下游地区差异相对较大，且2000年耦合协调度明显大于其他几个年份。

④为更好地实现土地利用可持续发展，推动土地利用方式向低碳集约方向转变，可以分区域进行低碳土地利用的调控。下游地区实行产业结构调整，并利用自身地理及技术优势，开发新能源；中游地区应逐步淘汰能耗高、污染重、产能低的落后产业，并严格控制土地利用类型向建设用地转化及减少低排放强度的土地利用类型转化；上游地区可以通过承接沿海转移来的劳动密集型产业实现结构优化，并通过退耕造林、植树造林等工程增加森林覆盖率，加强农业生态系统管理，以减少碳排放。

参考文献:

- [1]沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5) : 1068 - 1076.
- [2]Houghton R A, Hackler J L. Emissions of carbon from forestry and land-use change in tropical Asia [J]. Global Change Biology, 1999, 5(4):481 - 492.
- [3]Friedlingstein P, Houghton R A, Marland G, et al. Update on CO₂ emissions [J]. Nature Geoscience ' 2010, 3(12) :811-812.
- [4]Houghton R A. Carbon flux to the atmosphere from land use changes: 1850-2005[R]. U.S: Department of Energy, 2008: 1 - 75.
- [5]Lai L, Huang X, Yang H, et al. Carbon emissions from land-use change and management in China between 1990 and 2010 [J]. Science Advances, 2016, 2(11) : 1-8.
- [6]Corinne Le Quere, Andrew R M, Friedlingstein P, et al. Global Carbon Budget 2018 [J]. Earth System Science Data, 2018, 10(4):2141 -2194.
- [7]赵荣钦, 黄贤金, 揣小伟. 中国土地利用碳排放和研究误区和未来趋向[J]. 中国土地科学, 2016, 30(12). 83-92.
- [8]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: 地球科学, 2007, 37(6) :804-812.
- [9]王喜, 张艳, 秦耀辰, 等. 我国碳排放变化影响因素的时空分异与调控[J]. 经济地理, 2016, 36(8) : 158 - 165.
- [10]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.
- [11]黎孔清, 陈银蓉, 陈家荣. 基于 ANP 的城市土地低碳集约利用评价模型研究——以南京市为例[J]. 经济地理, 2013, 33(2) :156-161.

-
- [12]张苗, 兰梦婷, 陈银蓉, 等. 国外土地利用与碳排放知识图谱分析——基于 CiteSpace 软件的计量分析[J]. 中国土地科学, 2017, 31(3):51-60.
- [13]姚姿臣. 区域经济发展方式转变进程评价及路径探索——基于长江经济带 11 省 2003—2015 年的经验数据[J]. 经济地理, 2018, 38(3):46-52.
- [14]Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, et al. Spatio-temporal characteristics, patterns and causes of land-use changes in China since the late 1980s [J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(2):195-210.
- [15]朱巧娴, 梅均, 陈银蓉, 等. 基于碳排放测算的湖北省土地利用结构效率的 DEA 模型分析与空间分异研究[J]. 经济地理, 2015, 35(12):176-184.
- [16]Zhang W, Shen Y, Zhou Y. Increased CO₂ Emissions from Energy Consumption Based on Three-Level Nested 1-0 Structural Decomposition Analysis for Beijing [J]. Resources Science, 2014, 5(2):275-283.
- [17]彭文甫, 周介铭, 徐新良, 等. 成都平原及其周边区域土地利用碳排放效应及空间格局[J]. 生态科学, 2017, 36(3):105-114.
- [18]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(S2):102-107.
- [19]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.
- [20]石洪昕, 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.
- [21]郑欣, 程久苗, 郑硕. 基于土地利用结构变化的芜湖市碳排放及其影响因素研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3):259-262, 268.
- [22]赖力, 黄贤金, 刘伟良, 等. 基于投入产出技术的区域生态足迹调整分析——以 2002 年江苏省经济为例[J]. 生态学报, 2006(4):1285-1292.
- [23]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, 2006, 28(2):463-469.
- [24]Cai Z C, Kang G D, Tsuruta H, et al. Estimate of CH₄ emissions from year-round flooded rice fields during rice growing season in China[J]. Pedosphere, 2005, 15(1):66-71.
- [25]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.
- [26]冯杰, 王涛. 中国土地利用碳排放演变与影响因素分析[J]. 软科学, 2016, 30(5):87-90.
- [27]王刚, 张华兵, 薛菲, 等. 成都市县域土地利用碳收支与经济发展关系研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(7):1170-1182.
- [28]佟昕. 中国区域碳排放差异分析及减排路径研究[D]. 沈阳: 东北大学, 2015.

[29]崔维军, 李宗锴. 中国东、中、西地区碳排放空间差异测度及成因研究[J]. 工业技术经济, 2015, 34(6): 51 - 58.

[30]孙赫, 梁红梅, 常学礼, 等. 中国土地利用碳排放及其空间关联[J]. 经济地理, 2015, 35(3): 154 - 162.