

# 不同碳减排目标下长三角地区 碳固持服务供需演变分析

陶芹<sup>1</sup> 陶宇<sup>1,2</sup> 欧维新<sup>1,21</sup>

(1. 南京农业大学 土地管理学院, 江苏 南京 210095;

2. 农村土地资源利用与整治国家地方联合工程研究中心, 江苏 南京 210095)

**【摘要】:** 碳固持服务能够捕获并固定大气中的 CO<sub>2</sub>, 有效地调节气候, 随着区域经济社会的发展, 其碳排放量与减排压力持续增加, 研究区域碳固持服务供需时空动态关系, 对合理制定或优化减排目标, 指导区域可持续发展等具有重要理论和现实意义。以长三角地区为例, 首先明确区域碳固持供给与需求的内涵及测度方法, 在评估 2000、2015 年碳固持服务供给量的基础上, 测度不考虑减排目标、减排 30%、60% 目标下的需求, 利用供需比系数, 评价长三角整体、省际间的供需关系。结果显示: 不考虑减排目标下, 15a 间长三角地区碳固持服务供需关系趋于紧张, 供需比由 50.86% 下降到 16.36%, 空间上中东部地区供需关系紧张化明显; 减排 30% 目标下与减排 60% 目标下, 2015 年碳固持供需比分别为 40.17%、31.59%, 赤字区均主要分布在中东部地区。供需关系趋于紧张的主要原因是碳排放, 尤其是工业碳排放量大幅增加。研究结果表明, 缓解碳固持服务供需矛盾, 除了增加碳汇空间外, 应重点加快供需赤字区的产业转型发展; 同时, 也应从省内和省际等层面上建立基于碳固持服务的区域补偿机制和政策, 以服务长三角一体化发展目标。

**【关键词】:** 碳固持服务 生态系统服务供需关系 碳减排目标 长三角

**【中图分类号】:** X826 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)01-0191-11

生态系统服务与人类福祉密切相关, 主要反映为生态系统服务的供给与人类对于生态系统服务的需求<sup>[1]</sup>。碳固持服务是生态系统服务的重要组成部分, 陆地生态系统在全球碳循环中扮演着“碳源”和“碳汇”的双重角色, 自然植被可以捕获并固定大气中的 CO<sub>2</sub>, 有效地调节气候<sup>[2]</sup>。随着区域经济社会的发展, 其碳排放量持续增加, 同时, 城市扩张占用了大量的自然植被, 碳固持服务的供给受到影响, 碳收支严重不平衡, 温室效应不断累积, 对人类的可持续发展造成了严重威胁<sup>[3,4]</sup>。实现区域碳固持服务供需平衡是一个长久的过程, 为有计划、有目标性地缓解碳固持服务供需失衡带来的影响, 1992 年 5 月联合国大会通过了《联合国气候变化框架公约》, 要求发达国家限制碳排放量; 1997 年 12 月通过了《京都议定书》, 规定发达、发展中国家分别于 2005、2012 年开始承担减排任务; 2009 年哥本哈根世界气候大会上, 中国承诺到 2020 年单位 GDP 碳排放量比 2005 年下降 40%~45%, 并于 2015 年 6 月再次提出到 2030 年单位 GDP 碳排放量比 2005 年下降 60%~65%。尽管国家制定了明确的碳减排目标, 但当前全国各省市尤其是对重要的减排区域(如长三角地区)内部碳汇分布、减排压力的时空差异巨大。因此, 针对不同减排目标, 结合碳源、碳汇的变化, 研究碳固持服务供需关系及其变化特征, 识别其关键影响因素, 对实现当前和未来国家碳减排承诺, 促进国家

**作者简介:** 陶芹(1995~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为土地利用规划及管理. E-mail: 1531264323@qq.com; 欧维新 E-mail: owx@njau.edu.cn

**基金项目:** 中国科学院“美丽中国生态文明建设科技工程”专项(XDA23020201); 国家自然科学基金项目(41971230); 中央高校基本科研业务费青年项目(KJQN201847)

和重要经济区产业结构转型和生态文明建设等方面有着重要的理论和现实价值。

现有关于碳固持服务供需关系的空间量化研究中,使用较为广泛的是由 Burkhard 提出的基于 LUCC 的供需矩阵量化方法,该方法是一种半定量方法,其基于专家知识,对每一种土地利用类型的每一种生态系统服务进行供需打分,最终得到区域不同类型生态系统服务的供需值,但供给与需求值之间无法比较,在空间上无法匹配<sup>[7,8]</sup>。许多学者通过不同方法,如城市碳收支平衡分析模型(UCOB)<sup>[9,10,11]</sup>、结合环境质量标准与政策<sup>[12]</sup>等研究了城市或区县尺度的碳固持服务供需关系,但区域内部供需关系没有被量化。近年来,大量学者以空间显式的方法量化碳固持服务供需关系,而不再拘泥于区域总体的供需平衡状况。碳固持服务的供给量化主要以 InVEST 模型碳固持模块<sup>[13,14]</sup>、NPP 表征等为主<sup>[15]</sup>,碳固持服务的需求量则主要以实际的碳排放量量化。综上所述,现有碳固持服务供需关系研究中,半定量方法较为主观且供需无法匹配,区域总体供需关系的评价难以体现区域内部的差异,而空间显式的量化方法仅考虑以实际碳排放量作为需求,即认为实际排放的碳需要全部被固定才能达到碳固持服务的供需平衡,但出于目前经济发展等的需求,需要将所有碳排放固定是无法实现的,对区域中短期的发展不具有现实指导意义。

鉴于此,本文以长三角为例,将碳固持服务的需求量定义为实际碳排放量与国家允许的碳排放量之间的缺口,即假设允许国家规定范围内的碳排放暂时不被固定,仅仅将超出部分的碳排放量作为需要固定的需求,研究 2000~2015 年不考虑减排目标下碳固持服务供需关系时空演变特征,同时为进一步明确长三角地区现阶段及短期内的对策,研究减排 30%、60%两个减排目标下 2015 年长三角碳固持供需关系,并结合供需关系的影响因素,提出相应地应对措施,以期区域可持续发展及规划提供依据。

## 1 研究区与研究数据

### 1.1 研究区概况

长三角地区是我国经济和城市化发展速度最快的地区之一,包括江苏省、安徽省、浙江省、上海市全域,面积  $35.91 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,约占全国的 3.7%<sup>[16]</sup>。目前,长三角区域一体化发展已成为国家战略,实现生态环境保护一体化,是长三角生态文明建设与区域一体化发展的重点内容<sup>[17]</sup>。

近年来,长三角地区社会经济、城市化和工业化快速发展的同时,出现了建设用地急剧扩张、区域生态环境恶化问题,碳固持服务的供需关系发生巨大变化。从供给侧来看,2000~2015 年间,快速的城市扩张挤占了大量的耕地与林地,耕地、林地分别减少了  $1.08 \times 10^7$ 、 $4.53 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,碳固持服务的供给量持续削减<sup>[17]</sup>。从需求侧来看,15a 间长三角地区经济快速发展,人口增加了 12%,能源消费增加了 1.9 倍,碳排放量增加了 2.7 倍,碳固持服务的需求量急剧增多<sup>[19]</sup>。长三角地区碳固持服务的供需关系日趋失衡,同时,由于区域内部经济社会发展水平不一,其碳固持服务的空间异质性也逐渐加大。

### 1.2 研究数据

本文所使用的主要数据包括土地利用数据,植被净初级生产力(NPP)数据,GDP 空间数据,地级市  $\text{CO}_2$  排放数据,夜间灯光数据。

#### (1) 土地利用数据:

来自中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)<sup>[20]</sup>的长三角地区 2000、2015 年 30m 土地利用栅格数据。土地利用分类参考刘纪远等在建设“中国 20 世纪 LUCC 时空平台”建立的 LUCC 分类系统<sup>[21]</sup>,并结合研究区实际情况,将土地利用分为水田、旱地、园地、林地、草地、灌丛、水体、湿地、城镇建设用地、农村居民点、裸地共 11 种地类。

(2) 植被净初级生产力(NPP)数据:

来自美国 NASA EOS/MODIS 的 MOD17A3 数据,空间分辨率为 1km,单位为  $\text{gC}/\text{m}^2$  (<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod17.php>)。经预处理后得到研究区 2000 与 2015 年的 NPP 数据<sup>[22, 23]</sup>。

(3) GDP 空间数据:

来自中科院科学与环境数据中心的 1km 网格数据 (<http://www.resdc.cn/>)。

(4) CO<sub>2</sub>排放数据:

2005 和 2015 年的全国地级市 CO<sub>2</sub>排放数据来源于中国高空间分辨率网格数据(CHRED),采用统一数据源和规范化、标准化数据处理方法而建立的中国城市 CO<sub>2</sub>排放数据集<sup>[24]</sup>;2000 年各地级市 CO<sub>2</sub>排放数据是根据 2005 年 CO<sub>2</sub>排放数据按照 GDP 权重赋权修正得到。

(5) 夜间灯光数据:

2000 年夜间灯光数据来自中科院科学与环境数据中心 (<http://www.resdc.cn/>);2015 年夜间灯光数据来自美国国家地球物理数据中心网站 (<https://www.noaa.gov/>)。

## 2 研究方法

### 2.1 量化碳固持服务的供给

植被净初级净生产力(NPP)是生态系统过程的关键调控因子,在全球的碳循环、碳截获以及碳储存中具有重要作用。根据光合作用方程式,植被每累积 1 个单位的干物质,可以固定 1.63 个单位的 CO<sub>2</sub><sup>[25]</sup>。因此,本文定义碳固持的供给量公式为:

$$S_c = 1.63 * NPP \quad (1)$$

式中:  $S_c$  表示每个格网的碳固持服务的供给量(gC);NPP 表示每个格网的植被净初级净生产力(gC)。

### 2.2 量化碳固持服务的需求

本文将碳固持服务的需求定义为实际碳排放量与目标碳排放之差。根据国家制定的到 2020、2030 年单位 GDP 碳排放量比 2005 年减少 40%~45%、60%~65%,本文确定的碳减排目标如下<sup>[26, 27]</sup>:

$$D_c = \begin{cases} C_{\text{总排放}} - C_{\text{目标排放}} & \text{当 } C_{\text{总排放}} - C_{\text{目标排放}} > 0 \\ 0 & \text{当 } C_{\text{总排放}} - C_{\text{目标排放}} \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$C_{\text{目标排放}} = C_{2000} / \text{GDP}_{2000} * (1 - 0.3) * \text{GDP}_i \quad (3)$$

式中： $C_{\text{总排放}}$ 表示该格网实际碳排放量； $C_{\text{目标排放}}$ 表示该格网的目标碳排放量； $GDP_i$ 表示该格网  $i$  年份的 GDP 值。

(2) 目标 2: 减排 60%, 即到 2030 年单位 GDP 碳排放比 2000 年降低 60%<sup>[29]</sup>。

$$D_c = \begin{cases} C_{\text{总排放}} - C_{\text{目标排放}} & \text{当 } C_{\text{总排放}} - C_{\text{目标排放}} > 0 \\ 0 & \text{当 } C_{\text{总排放}} - C_{\text{目标排放}} \leq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$C_{\text{目标排放}} = C_{2005} / GDP_{2005} * (1 - 0.6) * GDP_i \quad (5)$$

(3) 不考虑减排目标，以实际碳排放量表征需求。

$$D_c = C_{\text{总排放}} = C_{\text{工业排放}} + C_{\text{农业排放}} + C_{\text{服务业排放}} + C_{\text{生活排放}} \quad (6)$$

式中： $C_{\text{总排放}}$ 表示各个格网的实际碳排放总量。

本文获取的是各个地级市的实际碳排放数据，每个格网的实际碳排放量计算方法如下：(1) 各地级市农业碳排放量平均分配给水田、旱地栅格；(2) 夜间灯光可以很好的反应人类的社会经济活动，而人类的碳排放和社会经济活动是紧密相关的，众多国内外学者的研究证明夜间灯光数据可以比较准确的进行碳排放估算<sup>[30,31]</sup>，因此，本文将工业、生活、交通、服务业碳排放量按照夜间灯光强度权重分配给建设用地栅格，即每个建设用地夜间灯光强度占其地级市建设用地夜间灯光总强度的比重，再乘以该地级市的碳排放量；(3) 统计每个格网单元内水田、旱地碳排放与建设用地碳排放的和，作为格网的实际碳排放量。

### 2.3 评价碳固持服务的供需关系

本文以供需差( $R_1$ )来反应长三角地区 1km 格网尺度上碳固持服务的供需平衡状态， $R_1$  大于 0 时，该格网为供需盈余，小于 0 该格网为供需赤字，等于 0 为供需平衡<sup>[32]</sup>。

$$R_1 = \frac{S - D}{(S_{\max} + D_{\max})/2} \quad (7)$$

式中： $S$  表示该格网的碳固持服务供给； $D$  表示该格网的碳固持服务需求； $S_{\max}$  表示碳固持服务供给最大值； $D_{\max}$  表示碳固持服务需求最大值。

根据行政边界，统计各个省、市的碳固持服务总供给量和需求量，以供需比( $R_2$ )<sup>[33]</sup>来反映整个长三角区域、各个省、市的碳固持服务的供需平衡状态。当  $R_2$  大于 1 时，该地区供需盈余，碳固持服务供需关系良好；当  $R_2$  等于 1 时，该地区供需平衡，供给等于需求；当  $R_2$  小于 1 时，该地区供需赤字，需求大于供给，碳固持服务供需关系较差。

$$R_2 = S/D * 100\% \quad (8)$$

### 3 结果与分析

#### 3.1 不考虑减排目标下长三角 2000~2015 年碳固持服务供需关系演变分析

##### 3.1.1 碳固持服务的供给

2000 年长三角地区碳固持服务的供应量为 295.33MtC, 空间上呈南高北低的特征(图 1)。南部山林地的碳固持能力最强, 碳固持的单位密度最高达到 2612.89gC/m<sup>2</sup>, 西北部分布有大量旱地, 且降雨量较少<sup>[34]</sup>, 碳固持能力较差, 东部地区(上海市)建设用地碳固持能力最差。各省(市)中, 提供碳固持服务最多的是浙江省, 占长三角总供应量的 38.69%, 最少的是上海市, 占比仅为 1.62%。

15a 间, 长三角地区碳固持服务的供应量有少量增加, 增加了 18.78%。空间上, 南部林地的碳固持能力提高明显, 西北部地区碳固持能力虽有所提升, 但仍为低供给区。各省(市)碳固持供应量均有提高, 安徽省增加量最多, 上海市增加最少。浙江省碳固持供应量占长三角总供应量比重下降了 3.6%, 而安徽省上升了 3.5%(表 1)。

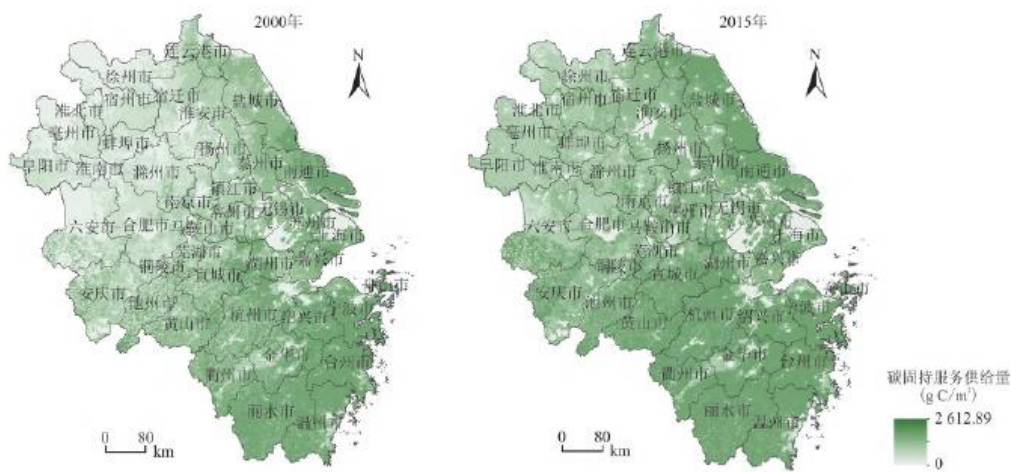


图 1 长三角 2000、2015 年碳固持服务供给量

表 1 长三角 2000~2015 年碳固持服务供给量变化表(MtC)

| 地区  | 2000 年 | 2015 年 | 变化量   |
|-----|--------|--------|-------|
| 浙江  | 114.25 | 123.18 | 8.93  |
| 安徽  | 99.95  | 130.88 | 30.93 |
| 江苏  | 76.35  | 91.89  | 15.54 |
| 上海市 | 4.78   | 4.84   | 0.06  |
| 长三角 | 295.33 | 350.79 | 55.46 |

3.1.2 碳固持服务的需求

不考虑碳排放目标下，2000 年长三角地区碳固持服务需求量为 580.63MtC, 空间上呈中东部高、南北部低的特征(图 2)。中东部地区经济发达，人口集聚，需求量最高；西南地区分布有大面积山林地，人口稀少，需求量最低。各省(市)中，碳固持服务需求量最高的是江苏省，为 218.23MtC, 占长三角总需求量的 37.59%, 浙江和安徽次之，分别占比 24.85%、20.45%。

15a 间，长三角地区碳固持服务需求量大幅上升，增加了 3 倍。空间上，东部地区需求量增加最为明显，由上海、苏州等城市向周边地区蔓延。各省(市)中，碳固持服务需求量增加最多的是江苏省，为 590.04MtC。安徽省需求量占长三角需求总量的比重上升了 4.71%, 上海下降了 4.53%。

表 2 长三角 2000~2015 年不考虑碳减排目标下碳固持服务需求量变化表 (MtC)

| 地区  | 2000 年 | 2015 年  | 变化量     |
|-----|--------|---------|---------|
| 浙江  | 144.28 | 526.33  | 382.05  |
| 安徽  | 116.39 | 530.70  | 414.31  |
| 江苏  | 218.23 | 808.27  | 590.04  |
| 上海  | 101.73 | 278.61  | 176.88  |
| 长三角 | 580.63 | 2143.91 | 1563.28 |

3.1.3 碳固持服务的供需关系

不考虑碳排放目标下，2000 年长三角地区碳固持服务的供需比为 50.86%, 供需关系总体不平衡。空间上中东部及其他城市中心供需失衡严重，西南、中西、东北地区供需关系较好。各省(市)中，碳固持服务供需关系最为紧张的是上海市，供需比仅为 4.67%, 其次为江苏省，供需比为 34.98%, 浙江与安徽省供需关系相对较好。

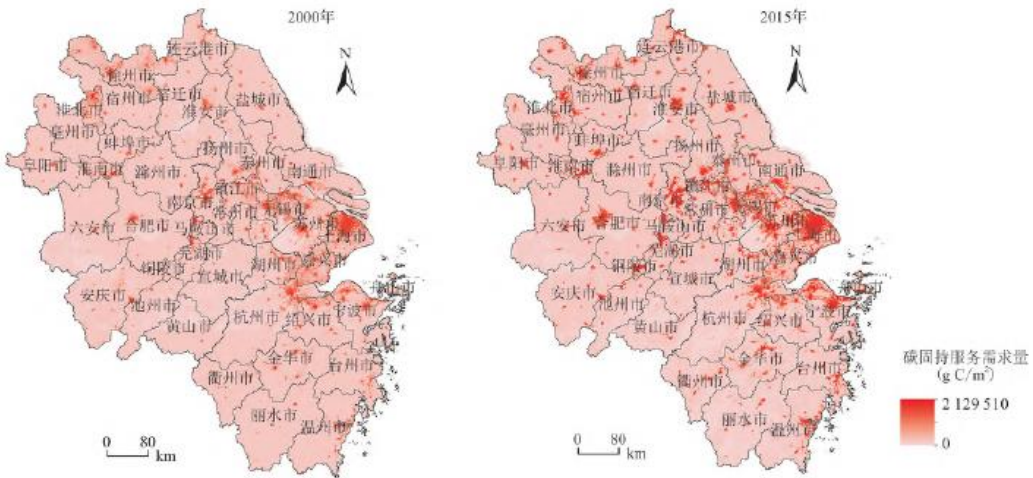


图 2 长三角不考虑碳减排目标下 2000、2015 年碳固持服务



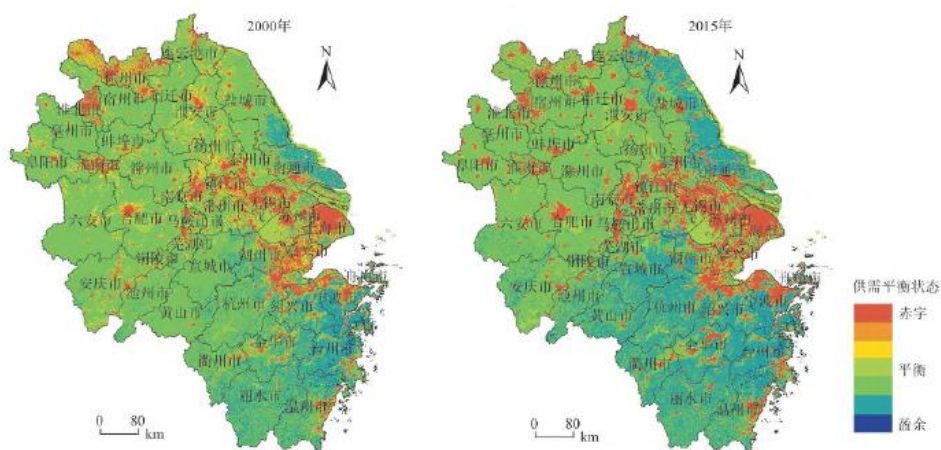


图 3 长三角不考虑碳减排目标下 2000、2015 年碳固持服务供需关系

表 3 长三角零碳减排目标下 2000-2015 年碳固持服务供需比变化表 (%)

| 地区  | 2000 年 | 2015 年 | 变化量    |
|-----|--------|--------|--------|
| 浙江  | 79.19  | 23.40  | -55.79 |
| 安徽  | 85.88  | 24.66  | -61.22 |
| 江苏  | 34.98  | 11.37  | -23.61 |
| 上海  | 4.67   | 1.74   | -2.93  |
| 长三角 | 50.86  | 16.36  | -34.49 |

15a 间, 长三角地区碳固持服务的供需关系趋于紧张, 供需比下降至 16.36%, 供需关系严重不平衡。空间上, 东部地区供需失衡加重明显, 严重赤字区域由城市中心向周边地区蔓延, 区域面积扩大。各省(市)中, 安徽、浙江省供需关系紧张化最明显, 供需比分别由 85.88%、79.49%减少到 24.66%、23.40%, 上海市供需比虽仅下降了 2.93%, 但 2015 年供需比为 1.74%, 需求远大于供给, 供需矛盾突出。

### 3.2 不同碳减排目标下长三角 2015 年碳固持服务供需关系分析

#### 3.2.1 不同碳减排目标下长三角 2015 年碳固持服务需求

减排 30%目标下, 2015 年长三角地区碳固持需求量为 758.00MtC, 总体需求较低(图 4)。空间上呈现出北高南低的特征, 高需求区主要集中在中东部地区及城市中心, 低需求区主要分布在南部区域。各省(市)中, 江苏省碳固持服务的需求量最高, 占长三角地区总需求量的 35.86%, 安徽、浙江次之, 分别占比 33.80%、22.04%, 上海市需求量仅占 8.30%。

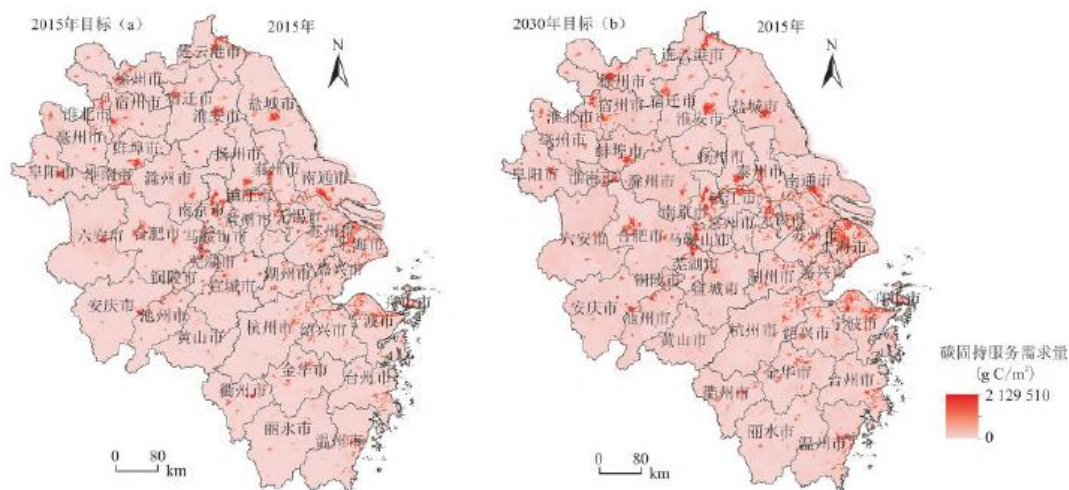


图 4 不同碳减排目标下 2015 年长三角碳固持服务需求量

与减排 30%目标相比,减排 60%目标下 2015 年长三角地区碳固持需求量增加了 27.18%。空间上,高需求区向周边区域蔓延,中东部地区需求增加明显。各省(市)中,江苏省需求量增加最多,增加了 74.49MtC,上海市增加最少,增加了 27.06MtC。安徽省需求量占总需求量的比重下降了 1.51%,浙江、上海、江苏分别上升了 27.26%、18.76%、0.06%。

### 3.2.2 不同碳减排目标下长三角 2015 年碳固持服务供需关系

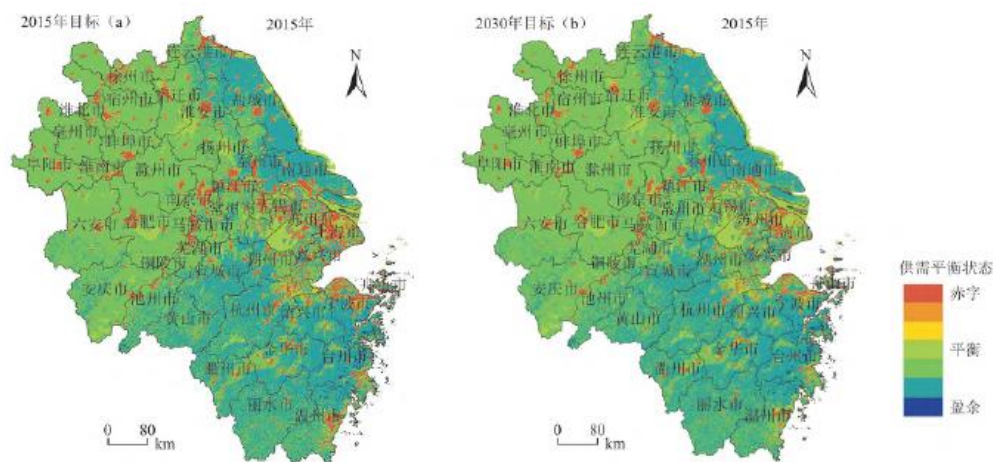


图 5 不同碳减排目标下 2015 年长三角碳固持服务供需关系

减排 30%目标下,2015 年长三角地区碳固持服务供需比为 40.17%,供需关系总体较差。空间上,长三角整体以平衡区与盈余区为主,赤字区主要分布于部分城市中心,赤字区面积虽小,但供需缺口过大。各省(市)中,上海市市中心以赤字区为主,外围区域为盈余区,碳固持服务供需关系最紧张,供需比仅为 7.72%。碳固持服务供需关系最好的是浙江省,供需比为 74.12%,尤其是浙江省南部地区以高度盈余区为主。

与减排 30%目标相比,减排 60%目标下 2015 年长三角地区碳固持服务供需比下降至 31.59,供需关系失衡严重。空间上,中部、东部区域供需关系紧张化明显,城市中心供需关系失衡加重,赤字区域面积扩大。各省(市)中,上海市供需关系最差,供需



比仅为 5.40%, 整个上海市基本为赤字区, 城市中心为严重赤字区; 江苏省与安徽省供需关系相对较好。

3 种情景下, 2015 年长三角地区碳固持服务供需关系均表现出强烈的空间异质性, 区域在生态环境建设上有着迫切的协作需求, 明确区域主要的碳源、碳汇区, 建立并完善区域碳减排生态补偿机制, 对促进长三角一体化发展至关重要。从长期发展来看, 长三角地区碳固持服务供需赤字区主要分布在中东部、北部区域, 是其主要碳源地。盈余区主要分布在南部及中西部地区, 是其主要碳汇地。从现阶段发展来看, 中东部地区是最主要的碳源地, 江苏省东部、浙江省南部是主要的碳汇地。长三角地区必须在省内和省际等层面上建立基于碳固持服务的区域补偿机制和政策, 尤其是短期内迫切需要建立中东部地区与江苏省东部、浙江省南部的补偿政策。

### 3.3 碳固持服务供需关系趋于紧张的原因分析

研究发现, 2000~2015 年间长三角地区碳固持服务的供需关系趋于紧张, 其主要原因是碳排放量, 尤其是工业碳排放大幅度增加(图 6a)。15 年间, 长三角地区碳固持服务供给量增加了 55.46MtC, 碳排放量增加了 1563.28MtC, 少量增加的供给量难以抵消大幅增加的需求。从碳排放来源看, 长三角地区以工业碳排放(占比 87%)和交通碳排放(占比 7%~9%)为主, 且 15a 间持续增长, 而其他碳排放虽占比较小, 但总量均有所增加, 其中服务业碳排放量占区域总碳排放量比重上升了 1.1%, 生活、工业、农业碳排放量比重则分别下降了 0.5%~2%左右。分区域来看, 15a 间各省(市)的不同来源碳排放量均有所增加, 且以工业、服务业碳排放为主。其中, 上海、江苏工业碳排放占比有所下降, 交通与服务业有所上升, 浙江省与安徽省生活碳排放占比减少明显。(图 6c~图 6f)。

2000~2015 年间, 长三角地区及各省(市)的单位 GDP 碳排放量大幅减少, 2015 时均实现了 2015 年的碳减排目标, 但与 2030 年的碳减排目标有很大差距(图 6g)。在 2030 年碳减排目标下, 长三角地区碳固持服务的供需比仅为 31.59%, 供需缺口过大, 实际碳排放量与目标碳排放量间的缺口严重影响了人类福祉, 实现 2030 年碳减排目标压力较大, 必须要推动低碳产业发展, 发展经济的同时, 降低单位 GDP 碳排放量。

林地是碳固持服务供给的主要来源, 林地面积较少是碳固持供给不足的主要原因。从不同土地利用类型的单位面积固碳量来看(图 6h), 林地、草地、园地碳固持能力最强, 尤其是林地, 2015 年时单位面积固碳量高达 1246gC/m<sup>2</sup>。2000~2015 年间, 各土地利用类型的固碳能力有所提升, 但是固碳能力较高的林地、草地等面积有所减少, 而固碳能力最低的城市建设用地面积大幅上升, 导致长三角地区碳固持能力仅有少量增加, 碳固持供给量不足。

## 4 研究结论与讨论

### 4.1 研究结论

研究发现, 不考虑碳减排目标下, 2000~2015 年间长三角地区碳固持服务的供需关系趋于紧张, 供需比由 50.86%下降到 16.36%, 其中碳固持服务供给量有少量增加, 增加了 55.46MtC, 碳固持服务需求量大幅增加, 增加了 1563.28MtC。空间上, 东部地区供需紧张化明显, 赤字区由上海、苏州等城市向周边地区蔓延。减排 30%目标下, 2015 年长三角地区碳固持服务供需比为 40.17%, 供需关系总体较差。空间上, 赤字区主要分布于部分城市中心。减排 60%目标下, 2015 年长三角地区碳固持服务供需比为 31.59%, 供需关系严重失衡。空间上, 中部、东部区域供需关系紧张化明显, 城市中心供需关系失衡加重。

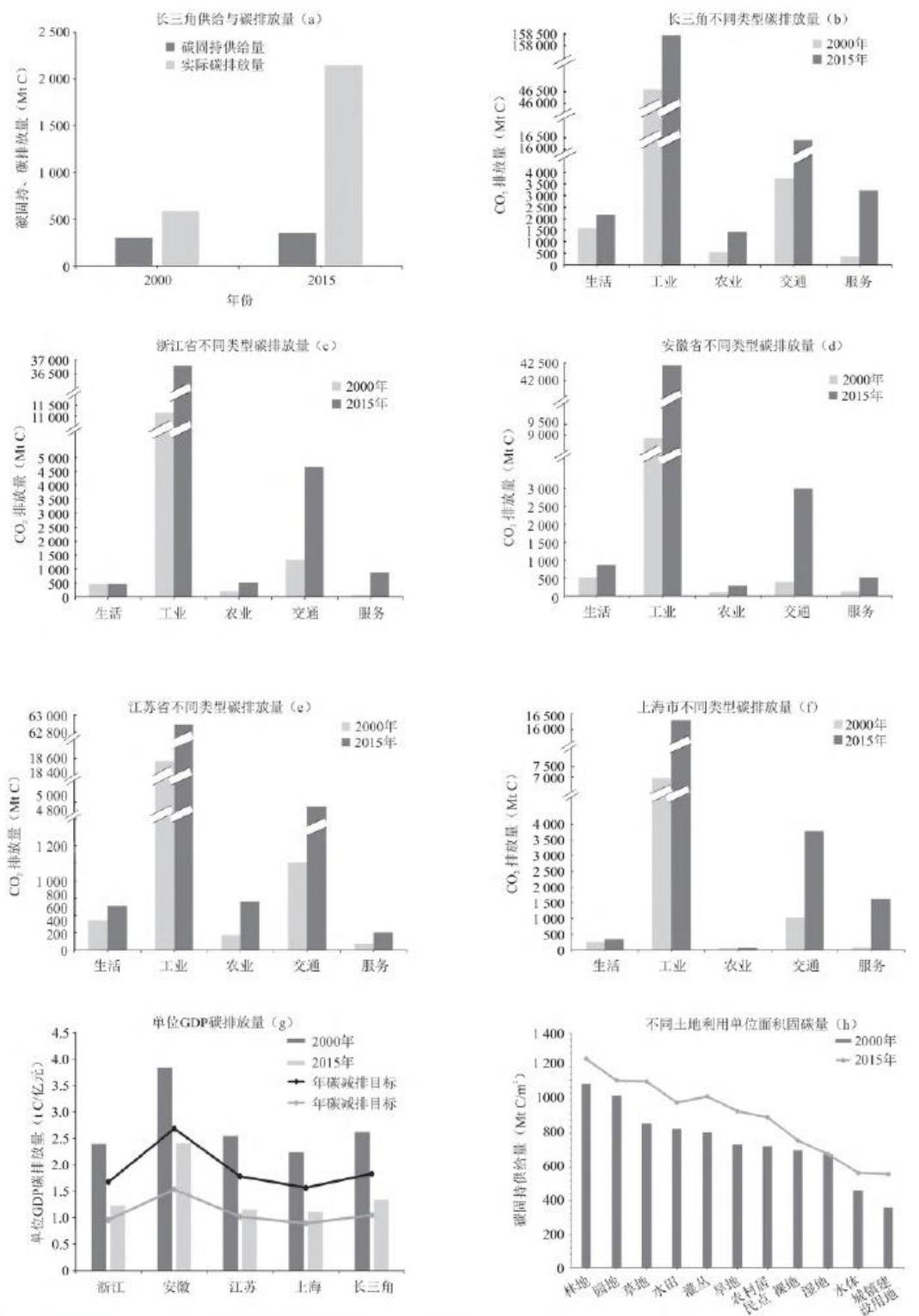


图 6 碳固持服务供需变化的原因

长三角地区碳固持服务供需关系趋于紧张的主要原因是碳排放量，尤其是工业碳排放量的大幅增加，同时，城市扩张挤占了大量固碳能力最强的林地，少量增加的供给难以平衡大幅度增长的需求。因此，长三角地区长期发展进程中，区域内部应从供需

两侧来缓解趋于紧张的碳固持服务供需关系,在供给侧,应着重保护生态环境,增加林地面积,城市内部大力发展垂直绿地,同时提升林地的碳固持能力,增加碳汇;在需求侧需积极推动产业结构转优化,大力发展低碳经济,宣传低碳生活,适当采取碳排放交易税等方法控制碳排放量,降低碳源,尤其是在 2015、2030 年碳减排目标下碳固持服务供需赤字的区域,迫切需要加快产业转型步伐,清算减排任务,制定碳减排计划,明确减排目标,注重经济与生态的协调发展。其次,长三角地区必须在省内和省际等层面上建立基于碳固持服务的区域补偿机制和政策,尤其是短期内迫切需要建立中东部地区与江苏省东部、浙江省南部的补偿政策,以服务长三角一体化发展目标。

#### 4.2 讨论

碳固持服务的供给与自然环境本身相关,而碳固持服务的需求与人类活动、社会发展有着很大关联,以往的研究中,学者们尝试了不同的方法测定碳固持服务的供给量,而如何更加准确地测算碳固持服务的需求量,并将供给与需求在空间上匹配起来是目前研究的热点。

本研究仍存在一些不足。首先,由于数据获取的限制,只获取了各地级市 2005、2015 年的 CO<sub>2</sub> 排放数据,2000 年各地级市 CO<sub>2</sub> 排放数据是根据 2005 年 CO<sub>2</sub> 排放数据按照 GDP 权重赋权修正得到,这对 2000 年碳固持服务需求的量化结果会产生一定的误差。其次,本文以 NPP 数据量化碳固持服务的供给量,仅考虑了植被的固碳量,忽略了土壤的固碳量,这对碳固持服务供给的量化结果会产生一定的误差<sup>[35,36]</sup>。在未来的研究中,应该将土壤固碳纳入到碳固持服务供给的量化中,更加准确地测算碳固持服务的供给量。

#### 参考文献:

- [1]MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT.Ecosystems and human well-being:Biodiversity synthesis[M].Washington DC:Island Press,2005.
- [2]丛文翠,孙小银.基于 GIS 和 InVEST 模型的日照市固碳能力研究[J].水土保持通报,2018,38(5):200-205.
- [3]周自翔,李晶,冯雪铭.基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价[J].生态学报,2013,33(9):2907-2918.
- [4]刘宪锋,任志远,林志慧.青藏高原生态系统固碳释氧价值动态测评[J].地理研究,2013,32(4):663-670.
- [5]张岩,韦振锋,黄毅.1999-2012 年三江源区植被净初级生产力及固碳释氧量测评[J].水土保持通报,2016,36(1):100-105+2.
- [6]李双成,张才玉,刘金龙,等.生态系统服务权衡与协同研究进展及地理学研究议题[J].地理研究,2013,32(8):1379-1390.
- [7]WU X,LIU S L,ZHAO S,et al.Quantification and driving force analysis of ecosystem services supply,demand and balance in China[J].Science of the Total Environment,2019,652.
- [8]BURKHARD B,KROLL F,NEDKOV S,et al.Mapping ecosystem service supply,demand and budgets[J].Ecological Indicators,2012,21.

- 
- [9]孙伟, 乌日汗. 长三角核心区碳收支平衡及其空间分异[J]. 地理研究, 2012, 31(12):2220-2228.
- [10]YIN K, ZHAO Q J, LI X Q, et al. A new carbon and oxygen balance model based on ecological service of urban vegetation[J]. Chinese Geographical Science, 2010, 20(2):144-151.
- [11]马巾英, 尹锴, 吝涛. 城市复合生态系统碳氧平衡分析——以沿海城市厦门为例[J]. 环境科学学报, 2011, 31(8):1808-1816.
- [12]BARÓ F, HAASE D, GÓMEZ-BAGGETHUN E, et al. Mismatches between ecosystem services supply and demand in urban areas: A quantitative assessment in five European cities[J]. Ecological Indicators, 2015, 55:146-158.
- [13]LI T, LI J, WANG Y Z. Carbon sequestration service flow in the Guanzhong-Tianshui economic region of China: How it flows, what drives it, and where could be optimized?[J]. Ecological Indicators, 2019, 96:548-558.
- [14]ZHAO C, SANDER H A. Quantifying and Mapping the Supply of and Demand for Carbon Storage and Sequestration Service from Urban Trees. [J]. PloS one, 2015, 10(8):11-16.
- [15]孟士婷, 黄庆旭, 何春阳, 等. 区域碳固持服务供需关系动态分析——以北京为例[J]. 自然资源学报, 2018, 33(7):1191-1203.
- [16]欧维新, 张伦嘉, 陶宇, 等. 基于土地利用变化的长三角生态系统健康时空动态研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5):84-92.
- [17]贺震. 构建长三角区域生态环保共同体[N]. 中国环境报, 2019-05-31(3).
- [18]欧维新, 王宏宁, 陶宇. 基于土地利用与土地覆被的长三角生态系统服务供需空间格局及热点区变化[J]. 生态学报, 2018, 38(17):6337-6347.
- [19]郭杰, 丁冠乔, 刘晓曼, 等. 城镇景观格局对区域碳排放影响及其差别化管控研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(10):55-61.
- [20]徐新良, 刘纪远, 张树文, 等. 中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC) [DS]//中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统(<http://www.resdc.cn/DOI>), 2018.
- [21]刘纪远, 刘明亮, 庄大方, 等. 中国近期土地利用变化的空间格局分析[J]. 中国科学(D辑: 地球科学), 2002(12):1031-1040, 1058-1060.
- [22]刘琳, 李月臣, 朱翠霞, 等. 2001年~2010年重庆地区植被 NPP 时空变化特征及其与气候因子的关系[J]. 遥感信息, 2013, 28(5):99-108.
- [23]许玉凤, 张永雷, 潘网生. 云贵高原植被净初级生产力(NPP)时空格局动态变化[J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(1):96-99.

- 
- [24]蔡博峰,王金南,杨姝影,等.中国城市 CO<sub>2</sub> 排放数据集研究——基于中国高空间分辨率网格数据[J].中国人口·资源与环境,2017,27(2):1-4.
- [25]白杨,欧阳志云,郑华,等.海河流域森林生态系统服务功能评估[J].生态学报,2011,31(7):2029-2039.
- [26]NEELE LARONDELLE,STEFFEN LAUF.Balancing demand and supply of multiple urban ecosystem services on different spatial scales[J].Ecosystem Services,2016,22.
- [27]CHEN JUNYU,JIANG BO,BAI YANG,XU XIBAO,ALATALO JUHA M.Quantifying ecosystem services supply and demand shortfalls and mismatches for management optimisation[J].Science of the Total Environment,2019,650:1426-1439.
- [28]韩文科,康艳兵,刘强.中国 2020 年温室气体控制目标的实现路径与对策[M].中国发展出版社,2012.
- [29]陈俊武.中国中长期碳减排战略目标研究[M].中国石化出版社,2012.
- [30]ZHAO N Z,SAMSON E L,CURRIT N A.Nighttime-lights-derived fossil fuel carbon dioxide emission maps and their limitations[J].Photogrammetric Engineering & Remote Sensing,2015,81(12).
- [31]施开放.多尺度视角下的中国碳排放时空格局动态及影响因素研究[D].华东师范大学,2017.
- [32]LI J H,JIANG H W,BAI Y,et al.Indicators for spatial-temporal comparisons of ecosystem service status between regions:A case study of the Taihu River Basin,China[J].Ecological Indicators,2016,60:1008-1016.
- [33]ZHAO C,SANDER HEATHER A.Quantifying and mapping the supply of and demand for carbon storage and sequestration service from urban trees[J].PloS One,2015,10(8).
- [34]李洁,张远东,顾峰雪,等.中国东北地区近 50 年净生态系统生产力的时空动态[J].生态学报,2014,34(6):1490-1502.
- [35]巩杰,张影,钱彩云.甘肃白龙江流域净生态系统生产力时空变化[J].生态学报,2017,37(15):5121-5128.
- [36]王军邦.中国陆地净生态系统生产力遥感模型研究[D].杭州:浙江大学,2004.