



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

长江经济带农业碳补偿修正测算及分析

曹俊文, 陶强强

引用本文:

曹俊文, 陶强强. 长江经济带农业碳补偿修正测算及分析[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 693–698.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0738>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析

方永丽, 曾小龙

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 135–142 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0148>

北京市农田生态系统碳足迹及碳生态效率的年际变化研究

田志会, 马晓燕, 刘瑞涵

农业资源与环境学报. 2015(6): 603–612 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0101>

基于京津冀一体化的农田生态系统碳足迹年际变化规律研究

田志会, 刘瑞涵

农业资源与环境学报. 2018, 35(2): 167–173 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0222>

基于减排潜力与减排成本的水稻种植模式综合评价——以湖北省为例

周杏, 李晶, 于书霞, 刘微, 胡荣桂

农业资源与环境学报. 2017, 34(6): 568–575 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0115>

农业高质量发展的空间分异与影响因素——以广东省为例

黄修杰

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 699–708 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0454>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

曹俊文, 陶强强. 长江经济带农业碳补偿修正测算及分析[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(4): 693–698.

CAO Jun-wen, TAO Qiang-qiang. Calculation and analysis of agricultural carbon compensation in the Yangtze River economic belt[J].

Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, 38(4): 693–698.



开放科学 OSID

长江经济带农业碳补偿修正测算及分析

曹俊文, 陶强强

(江西财经大学统计学院, 南昌 330013)

摘要:为研究农业技术水平和自然禀赋对农业碳排放和碳汇的影响,通过修正后的农业碳补偿测算方法,计算得到2007—2016年长江经济带各省(市)的农业碳补偿额并进行对比分析。结果表明:江西和湖南的农业碳排放冗余量均为零值,农业技术水平较高,浙江和云南的农业碳排放冗余量较高,均值分别达到237.18万t和175.13万t,农业技术水平落后;浙江、江西、四川和云南的年均调整系数小于1,农业自然资源禀赋高于长江经济带的整体水平;修正后浙江和云南的碳补偿额由正数变为负数,表明这两个省从碳受偿地区变为碳支付地区,上海、江苏、安徽、湖北、湖南、重庆、贵州农业碳补偿额比修正前有所增加,江西和四川农业碳补偿额则比修正前减少。长江经济带各省域应加强农业自然禀赋的建设,提高生态背景值,增强其农业生态系统的碳汇功能,加快实现长江经济带生态补偿公平价值,并提升生态资源利用的地区公平性。

关键词:长江经济带;农业技术水平;自然禀赋;农业碳补偿;碳排放

中图分类号:X322;F327 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2021)04-0693-06 doi: 10.13254/j.jare.2020.0738

Calculation and analysis of agricultural carbon compensation in the Yangtze River economic belt

CAO Jun-wen, TAO Qiang-qiang

(School of Statistics, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China)

Abstract: In order to consider the impact of agricultural technology levels and natural endowment on agricultural carbon emissions and carbon sinks, this paper revised the method for calculating agricultural carbon compensation, obtaining the agricultural carbon compensation of each province(cities) in the Yangtze River economic belt from 2007 to 2016 and conducted a comparative analysis. The results showed: both Jiangxi and Hunan's agricultural carbon emission redundancy were zero, and their agricultural technology level was relatively high, while Zhejiang and Yunnan had high agricultural carbon emission redundancy, with average values reaching 2.371 8 and 1.751 3 million tons respectively, and their levels of agricultural technology were low. The average annual adjustment coefficient of Zhejiang, Jiangxi, Sichuan and Yunnan was less than 1; the endowment of agricultural natural resources in these areas was higher than the overall level in the Yangtze River economic belt. After revision, the carbon offsets of Zhejiang and Yunnan changed from positive to negative, indicating that these two provinces had changed from carbon compensation areas to carbon payment areas. The amount of agricultural carbon compensation in Shanghai, Jiangsu, Anhui, Hubei, Hunan, Chongqing and Guizhou increased compared with that before revision, while the amount of agricultural carbon compensation in Jiangxi and Sichuan decreased compared with that before revision. The provinces of the Yangtze River economic belt should strengthen the construction of agricultural natural endowment, strengthen the value of the ecological background, enhance the carbon sink function of agricultural ecosystems, and improve the fairness of agricultural carbon compensation standards.

Keywords: Yangtze River economic belt; agricultural technology level; natural endowment; agricultural carbon compensation; carbon emission

收稿日期:2020-12-12 录用日期:2021-02-22

作者简介:曹俊文(1962—),男,江西湖口人,博士,教授,从事资源环境经济统计研究。E-mail: cjlw6207@163.com

基金项目:国家社会科学基金项目(19BTJ009)

Project supported: The National Social Science Foundation of China(19BTJ009)

<http://www.aed.org.cn>

全球气候变暖是人类面临的主要生态问题之一,低碳行动作为全球范围内应对气候变化的发展战略,逐渐深入到各个国家、部门、行业中,然而不同于能源工业领域,农业碳减排行动在实际的农业生产中推行效率低下,主要是由于自然资源条件对农业生产严格制约,其作用机理复杂、关键来源繁琐,且碳源和碳汇的双重效应和核证成本较高^[1]。而为了实现农业生产过程中生态保护,生态补偿已被认为是调整农业生态环境与各利益主体之间关系的一种有效措施^[2]。低碳农业为实现农业生态补偿提供了良好的契机,成为关键的前沿研究领域。农业碳补偿作为农业领域生态补偿的一种政策体制,遵循“谁保护、谁受益,谁污染、谁付费”的补偿原则,其本质是通过经济激励方式对农业生产活动中提供生产效益和保护生态环境的群体所产生的成本或损失进行补偿,将农业生产活动相关环境外部性内部化^[3-4]。目前,中国农业生态补偿在农业生产层面尚未形成很全面成熟的方案^[5],且现有关于农业碳汇功能生态补偿的研究较少,主要集中在补偿金额的量化方面,李颖等^[6]通过对山东省小麦-玉米轮作农田生态系统中粮食作物生长过程碳排放和碳汇的计算,确定了粮食作物净碳汇功能生态补偿额。宋博等^[7]通过核算中国各省(市)设施蔬菜生产系统农田单位面积产生的净碳汇量,并结合我国碳交易市场的碳汇价格,得到设施蔬菜碳汇功能的生态补偿额。陈儒等^[8]考虑了中国各地区间农业自然禀赋差异对碳汇功能的影响,修正农业碳补偿额的计量方法,从而确定更加公平的农业碳补偿测算方法。周嘉等^[9]采用碳排放系数法,以净碳排放量作为基准值,通过生态补偿系数和经济贡献系数对中国省域土地利用进行碳补偿价值研究。吴昊玥等^[10]认为农业碳源、碳汇具有空间关联效应,各省份农业活动会对邻近地区的农业碳总量产生影响,从而引入空间计量方法进行分析,得到碳补偿率的空间关联特征和溢出效应。在此背景下,制定公平的农业碳补偿测算标准对调动农业生产积极性和实现低碳减排目标具有重要意义。

长江经济带对我国具有战略意义,但近年来,长江经济带农产品产量占全国比例持续下降,粮食供需平衡难度加大,除安徽、江西两个传统农业大省外,其他省域地区人均粮食产量均低于全国平均水平,长江经济带农业生产积极性不高^[11]。另一方面,长江经济带的碳排放量高达全国的44.6%,农业已经成为继工

业之后碳排放第二大行业^[12]。目前相关研究证实农业生产具有较强的净碳汇效益,对生态环境具有一定的正外部性^[13],然而人们却往往重视其经济价值而忽略其巨大的生态价值,以致长江经济带出现许多“产粮大省,财政穷省”,在现行的农业直接补贴难以大幅提高的情况下,亟需寻求其他的农业补贴途径来提高农业生产积极性。

现有的文献鲜有针对长江经济带农业碳补偿进行的研究,部分文献考虑了农业自然禀赋对碳汇功能的影响,但未考虑农业技术水平对农业碳排放的影响。鉴于此,本研究以长江经济带为研究对象,考虑农业技术水平和自然禀赋对农业碳排放和碳汇的影响,修正农业碳补偿测算方法,得到2007—2016年长江经济带各省(市)的农业碳补偿额并进行对比分析,旨在提高农业碳补偿标准的公平性。

1 研究方法 with 测算

1.1 研究方法

1.1.1 农业碳汇测算

农业的碳汇功能主要来自农作物生长过程中对大气中温室气体的吸收,是指农作物进行光合作用形成有机物的过程中对大气中碳的固定。考虑到不同地区农业生态系统自然禀赋存在差异,处于恶劣农业生态环境的地区农业碳汇功能低下,不利于碳的吸收和积累。为了体现农业碳补偿标准的公平性,农业自然禀赋低的地区在测算农业碳补偿额时应适量放大,反之适量缩小。计算表达式^[14]如下:

$$C_s = \sum C_{si} = \sum c_i Y_i (1 - w_i) / H_i \quad (1)$$

式中: C_s 为农业碳汇总量; C_{si} 为第*i*种农作物的吸收总量; Y_i 为第*i*种农作物的产量; c_i 为第*i*种农作物碳吸收率,即农作物光合作用合成单位有机物所吸收的碳; w_i 为第*i*种农作物的含水量; H_i 为第*i*种农作物的经济系数。碳吸收率、含水量、经济系数来源于韩召迎等^[14]和王修兰等^[15]的研究成果。

$$\varepsilon_i = 1 + (\text{ESV}_{i-\text{pua}} - \text{ESV}_{T-\text{pua}}) / \text{ESV}_{T-\text{pua}} \quad (2)$$

$$C_s' = \varepsilon_i \times C_s$$

式中: ε_i 为第*i*个省域农业自然禀赋差异的农业碳汇调整系数; $\text{ESV}_{T-\text{pua}}$ 为全国单位面积农田生态系统服务价值; $\text{ESV}_{i-\text{pua}}$ 为第*i*个省域单位面积农田生态系统服务价值; C_s' 为修正后的农业碳汇总量。

1.1.2 农业碳排放测算

农业碳排放主要来源于农业生产过程的两个方

面:一是农业物资投入(包括化肥、农药、农业薄膜、柴油等);二是农业土地利用方式(包括灌溉、机耕、农机等)引发的碳排放,据此构建农业碳排放计算公式^[14]:

$$C_f = \sum C_{fi} = \sum U_i \times \Omega_i \quad (3)$$

式中: C_f 为农业碳排放总量; C_{fi} 为第*i*种农业投入物产生的碳排放量; U_i 为第*i*种农业投入物的使用量; Ω_i 为第*i*种农业投入物的碳排放系数。相关碳排放系数来自曹俊文等^[16]的研究成果。

1.2 农业技术水平差异量化方法

运用以农业碳排放为非期望产出指标的超效率SBM模型测算长江经济带农业碳排放冗余,以量化农业技术水平差异,超效率SBM模型是一个非径向、非角度的线性规划模型^[17],不仅可对未处于有效生产前沿面上的决策单元进行投影分析,而且可对处于有效生产前沿面上的决策单元进行比较,得到更加精确的非期望产出冗余量,模型的表达式如下:

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{rk}^g} + \sum_{t=1}^{s_2} \frac{s_t^b}{y_{tk}^b} \right)} \quad (4)$$

$$s.t. \quad x_{ik} \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{0j} \lambda_j - s_i^-, \quad y_{tk}^b \geq \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{0j}^b \lambda_j - s_t^b,$$

$$1 - \frac{1}{s_1 + s_2} \left(\sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{rk}^g} + \sum_{t=1}^{s_2} \frac{s_t^b}{y_{tk}^b} \right) > 0$$

$$s_i^-, s_r^g, s_t^b, \lambda_j \geq 0, i=1, 2, \dots, m; r=1, 2, \dots, s_1; t=1, 2, \dots, s_2; j=1, 2, \dots, n (j \neq k)$$

式中: λ 为权重向量; k 表示被评价单元; x 、 y^g 和 y^b 分别表示生产投入要素、期望产出变量和非期望产出变量; m 、 s_1 和 s_2 分别表示生产投入要素、期望产出变量和非期望产出变量的个数; s_i^- 表示投入冗余; s_r^g 表示期望产出不足; s_t^b 表示非期望产出冗余,即农业碳排放冗余量; $\min \rho$ 表达式的分子与分母分别表示生产决策单元实际投入与产出相对于生产前沿的平均可缩减比例与平均可扩张比例,代表投入无效率与产出无效率。

1.3 农业碳补偿修正测算

基于前述农业碳汇、碳排放的测算结果,农业碳排放冗余量和碳汇调整系数,调整农业碳补偿额计算公式如下:

$$ACC_i = (C_i \times \varepsilon_i - C_f) \times P_c \quad (5)$$

式中: ACC_i 表示农业碳补偿价值; $C_i \times \varepsilon_i$ 表示修正后的农业碳汇总量; C_f 为农业碳排放总量; P_c 为碳交易市场价格,通过查阅中国碳交易网(www.tanjiaoyi.com)

的资料,2007—2016年中国8个二级碳交易点的碳平均价格为22元·t⁻¹。

2 指标选取与数据处理

运用含非期望产出的超效率SBM模型测算农业碳排放冗余量前需构建农业生产投入产出指标体系,在查阅相关研究成果的基础上,根据可得的数据资料选取农业综合投入得分为投入指标,农业碳汇量为期望产出指标,农业碳排放量为非期望产出指标。农业投入综合得分由农业固定资产投资、农业劳动力投入、农业土地面积、化肥施用量、农药使用量、农膜使用量、农业柴油使用量、农业机械总动力、翻耕面积、有效灌溉面积提取主成分得到,其中农业劳动力用第一产业从业人员衡量,农业土地面积用农作物播种面积衡量。考虑到提取结果存在负值和零值,运用极大值标准化法^[18]对农业综合投入得分值进行无量纲处理。公式如下:

$$F_{ij}' = 0.1 + 0.9 \frac{F_{ij} - \min F_{ij}}{\max F_{ij} - \min F_{ij}} \quad (6)$$

式中: F_{ij} 和 F_{ij}' 为变换前后的主成分值; $\max F_{ij}$ 和 $\min F_{ij}$ 分别为每个变量对应主成分得分的最大值和最小值。对主成分得分进行无量纲处理后,所得数据全部处于区间[0.1, 1],既未改变原有指标之间的相关性,又符合超效率SBM模型指标的条件,使测算的结果更合理。运用MaxDEA软件进行数据处理,采用2007—2016年的长江经济带各省域面板数据为研究样本,所需数据均来源于2008—2017年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》和长江经济带各省域的统计年鉴。

3 结果与分析

3.1 农业碳汇、碳排放省际差异分析

运用公式(1)和公式(2)计算2007—2016年长江经济带各省域农业年均碳汇量、年均碳排放量和年均净碳汇量,测算结果如图1所示。由图1可知,2007—2016年长江经济带各省域的农业年均净碳汇值均为正值,且净碳汇值大幅高于碳排放值,说明农业生产过程对生态环境具有强大的正向影响。其中江苏、安徽的年均净碳汇量较高,分别达到3 141.29万t和3 163.45万t,上海、浙江的年均净碳汇量较低,分别为92.68万t和473.71万t。

3.2 农业技术水平省际差异分析

运用MaxDEA软件和非期望产出的超效率SBM

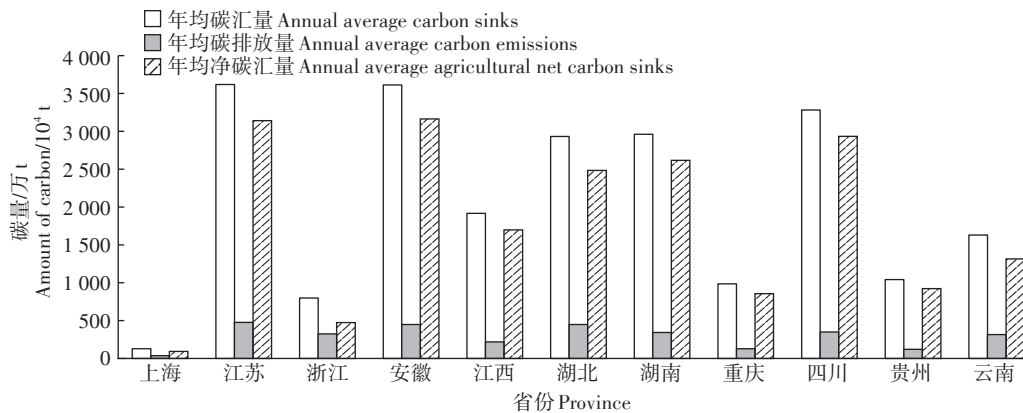


图1 长江经济带各省域年均农业碳汇量、碳排放量、净碳汇量

Figure 1 Annual average agricultural carbon sinks, carbon emissions, and net carbon sinks of each province in the Yangtze River economic belt

模型,测算出2007—2016年长江经济带各省域农业碳排放冗余量,结果见表1。由表1可知,2007—2016年长江经济带各省域中仅江西和湖南的农业碳排放冗余量为零值,说明江西和湖南农业技术水平较高,在发展农业经济的同时合理地考虑了农业资源投入和碳排放。四川在部分年份出现碳排放冗余量,且冗余量较小,年均仅为2.01万t,说明四川的低碳农业经济也得到较好的发展。浙江和云南的农业碳排放冗余量较高,均值分别高达237.18万t和175.13万t,说明这两个省域的农业技术水平相对落后,农业生产过程中存在严重的资源投入浪费和碳的超额排放。

3.3 农业自然禀赋省际差异分析

图2为长江经济带各省域农业自然禀赋差异的碳汇调整系数。由图2可知,上海、江苏、安徽、湖北、湖南、重庆、贵州的年均调整系数大于1,说明该七个省域农业自然资源禀赋低于长江经济带整体水平,为了体现碳补偿标准的公平性,计算碳补偿额时应放

大,其中安徽、上海、江苏放大幅度较高,碳汇调整系数分别高达1.58、1.54和1.53。浙江、江西、四川、云南年均调整系数小于1,说明该四个省域农业自然资源禀赋高于长江经济带整体水平,计算碳补偿额时应缩小,其中浙江和云南缩小幅度较大,碳汇调整系数仅为0.13和0.11。

3.4 修正前后农业碳补偿额对比分析

以农业净碳汇量乘以碳交易市场价格得到修正前农业碳补偿额,根据公式(5)测算得到修正后的农业碳补偿额,结果如图3所示。由图3可知,修正前长江经济带所有省域均为碳受偿地区,其中安徽和江苏受偿额较高,分别高达69 596万元和69 108万元,上海碳补偿额最低,仅为2 039万元。修正后浙江和云南从碳受偿地区变为碳支付地区,原因在于两省因农业技术水平低而产生较高的农业碳排放冗余量,并且其农业自然禀赋较高,测算时农业碳补偿额被缩小。修正后上海、江苏、安徽、湖北、湖南、重庆、贵州农业

表1 2007—2016年长江经济带农业碳排放冗余量(万t·a⁻¹)Table 1 Redundant agricultural carbon emissions in the Yangtze River economic belt from 2007 to 2016(10⁴ t·a⁻¹)

省份 Province	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	均值 Mean
上海	14.82	13.30	9.59	11.09	8.83	6.13	8.33	7.71	7.91	9.57	9.73
江苏	95.56	87.57	100.25	101.82	80.44	58.08	34.13	25.22	0	40.94	62.40
浙江	230.27	223.31	223.15	232.08	232.71	242.66	249.49	247.62	248.84	241.67	237.18
安徽	32.16	4.32	4.60	42.37	52.13	29.06	54.41	39.47	26.03	27.68	31.22
江西	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
湖北	71.02	91.96	94.28	110.45	103.02	94.21	83.28	77.99	53.75	66.35	84.63
湖南	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
重庆	27.12	23.76	28.95	27.62	22.44	33.92	35.39	36.34	34.28	30.78	30.06
四川	0	0	6.59	7.02	0	6.38	0.15	0.01	0	0	2.01
贵州	3.72	10.36	8.98	12.39	32.87	28.63	35.72	30.64	29.21	25.90	21.84
云南	121.50	131.25	134.15	169.08	166.01	191.65	202.00	210.45	213.66	211.55	175.13

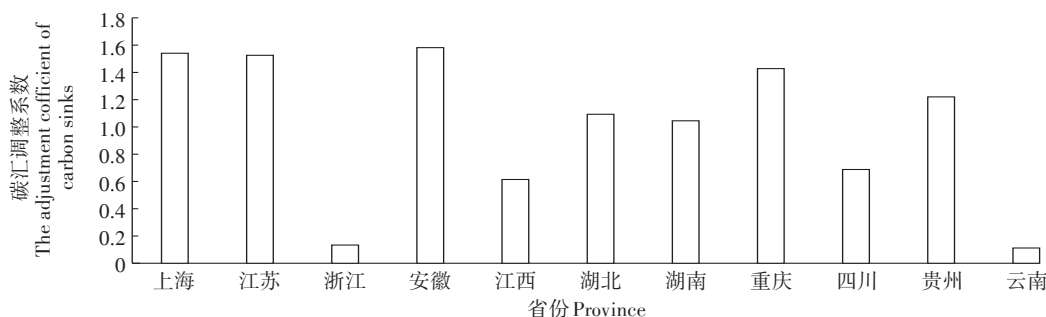


图2 长江经济带各省域农业碳汇调整系数

Figure 2 The adjustment coefficient of agricultural carbon sinks in the Yangtze River economic belt

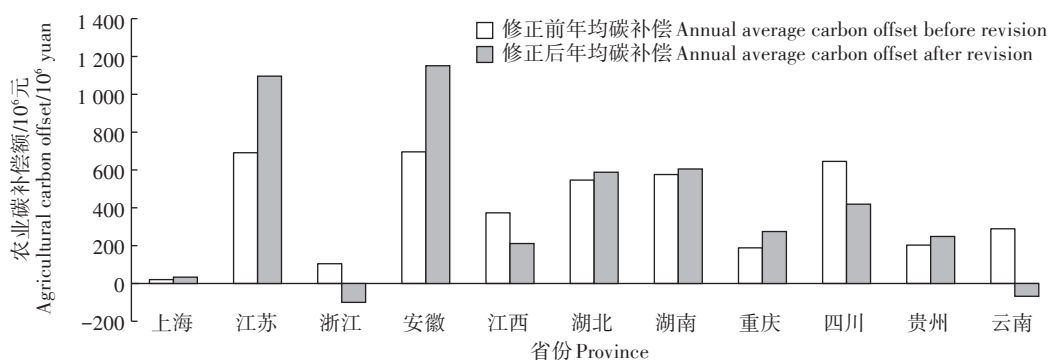


图3 修正前后农业碳补偿额

Figure 3 Agricultural carbon offset before and after revision

碳补偿额相比修正前有所增加,其中安徽和江苏增加量最大,分别增加45 521万元和40 469万元,原因在于其农业自然禀赋低,在测算时农业碳补偿额被放大。江西和四川农业碳补偿额则比修正前减少,分别减少22 529万元和16 249万元,原因在于其农业自然禀赋高,在测算时农业碳补偿额被缩小。

4 讨论

碳补偿作为实现农业领域内生态补偿的一种方法,其本质在于将农业生产活动相关环境外部性内部化。以往研究仅考虑农业自然禀赋对碳汇的影响,长江经济带全域均为碳支付地区,且碳支付额与修正前差异较大^[8]。本研究同时考虑了农业技术水平对农业碳排放的影响,只有浙江和云南为碳支付地区,其他省域碳补偿额变化相对不显著。由此可知修正后的农业碳补偿测算方法极大地减轻了地方财政转移支付的压力,其测算方式更为科学、合理。本研究主要揭示了3点:

(1)长江经济带各省域的农业生产过程对生态环境具有强大的正向影响。

(2)江西和湖南农业技术水平较高,在发展农业经济的同时考虑了农业资源的投入和碳排放;浙江和

云南农业技术水平相对落后,农业生产过程中存在严重的资源投入浪费和碳的超额排放。

(3)修正后浙江和云南因农业技术水平低,从碳受偿地区变为碳支付地区;安徽和江苏因农业自然禀赋低,碳补偿额增加量最大。江西和四川因农业自然禀赋高,碳补偿额减少。

当然,限于数据的可得性以及笔者自身水平的不足,该研究还需要进一步深入,如农业生产碳排、碳汇指标体系构建时仍需进一步细化,农业生产净碳效应与农业经济效益仍需有效衔接等。因而开展更有价值的系统分析是下一阶段需要讨论和解决的问题。

5 结论

本研究在测算农业碳汇、碳排放量的基础上通过修正碳补偿计算方法测算出2007—2016年长江经济带各省域农业碳补偿额并进行对比分析,得出以下结论:

(1)2007—2016年,长江经济带各省域的农业净碳汇值均为正值,农业生产过程对生态环境具有强大的正向影响。其中江西、湖南的农业技术水平较高,发展农业经济时合理地控制了碳排放,而浙江和云南的农业技术水平相对较低,存在严重的资源浪费和额

外碳排放现象。

(2)修正后浙江和云南从碳受偿地区变为碳支付地区,原因在于两省因农业技术水平低而产生较高的农业碳排放冗余量,并且其农业自然禀赋较高,测算时农业碳补偿额被缩小。上海、江苏、安徽、湖北、湖南、重庆、贵州农业碳补偿额比修正前有所增加,江西和四川农业碳补偿额则比修正前减少。

参考文献:

- [1] 陈儒,邓悦,姜志德.基于修正碳计量的区域农业碳补偿时空格局[J].经济地理,2018,38(6):168-177. CHEN Ru, DENG Yue, JIANG Zhi-de. Temporal and spatial pattern of regional agricultural carbon compensation based on modified carbon measurement[J]. *Economic Geography*, 2018, 38(6):168-177.
- [2] 赵海霞,徐颂军.基于污染足迹的区域生态补偿标准研究——以广州市为例[J].华南师范大学学报(自然科学版),2015,47(4):116-121. ZHAO Hai-xia, XU Song-jun. Discussion on compensation standards at the regional level based on pollution footprint: A case study of Guangzhou[J]. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 2015, 47(4):116-121.
- [3] 梁丹,金书秦.农业生态补偿:理论、国际经验与中国实践[J].南京工业大学学报(社会科学版),2015,14(3):53-62. LIANG Dan, JIN Shu-qin. Agricultural eco-compensation: Theories, international experience and China's practices[J]. *Journal of Nanjing Tech University (Social Science Edition)*, 2015, 14(3):53-62.
- [4] 陈儒,姜志德.中国低碳农业发展绩效与政策评价[J].华南农业大学学报(社会科学版),2017,16(5):28-40. CHEN Ru, JIANG Zhi-de. Evaluation on the low carbon agricultural development performance and policy in China[J]. *Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition)*, 2017, 16(5):28-40.
- [5] 田云,张俊飏.中国农业碳排放、低碳农业生产率及其协调性研究[J].中国农业大学学报,2017,22(5):208-213,215-218. TIAN Yun, ZHANG Jun-biao. Agricultural carbon emission, low carbon agricultural productivity and their coordinated relation in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(5):208-213, 215-218.
- [6] 李颖,葛颜祥,刘爱华,等.基于粮食作物碳汇功能的农业生态补偿机制研究[J].农业经济问题,2014,10(5):33-40. LI Ying, GE Yan-xiang, LIU Ai-hua, et al. Research on agricultural ecological compensation mechanism based on the function of food crop carbon sink[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014, 10(5):33-40.
- [7] 宋博,穆月英.碳汇功能的设施蔬菜生态补偿机制[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2016,16(2):79-86. SONG Bo, MU Yue-ying. Study on agricultural ecological compensation mechanism of facility vegetable based on carbon sink[J]. *Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition)*, 2016, 16(2):79-86.
- [8] 陈儒,姜志德.中国省域低碳农业横向空间生态补偿研究[J].中国人口·资源与环境,2018,28(4):87-97. CHEN Ru, JIANG Zhi-de. Transverse space ecological compensation of low-carbon agriculture in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(4):87-97.
- [9] 周嘉,王钰莹,刘学荣,等.基于土地利用变化的中国省域碳排放时空差异及碳补偿研究[J].地理科学,2019,39(12):1955-1961. ZHOU Jia, WANG Yu-xuan, LIU Xue-rong, et al. Spatial temporal differences of carbon emissions and carbon compensation in China based on land use change[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2019, 39(12):1955-1961.
- [10] 吴昊玥,何艳秋,陈文宽,等.中国农业碳补偿率空间效应及影响因素研究——基于空间Durbin模型[J].农业技术经济,2020(3):110-123. WU Hao-yue, HE Yan-qiu, CHEN Wen-kuan, et al. Spatial effect and influencing factors of China's agricultural carbon compensation rate based on spatial Durbin model[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2020(3):110-123.
- [11] 李裕瑞,杨乾龙,曹智.长江经济带农业发展的现状特征与模式转型[J].地理科学进展,2015,34(11):1458-1469. LI Yu-rui, YANG Qian-long, CAO Zhi. Current status and pattern transformation of agricultural development in the Yangtze River economic belt[J]. *Progress in Geography*, 2015, 34(11):1458-1469.
- [12] 黄国华,刘传江,赵晓梦.长江经济带碳排放现状及未来碳减排[J].长江流域资源与环境,2016,25(4):638-644. HUANG Guo-hua, LIU Chuan-jiang, ZHAO Xiao-meng. Status quo of carbon emission and future carbon emission reduction for the Yangtze River economic zone[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2016, 25(4):638-644.
- [13] 田云,张俊飏.中国农业生产净碳效应分异研究[J].自然资源学报,2013,28(8):1289-1309. TIAN Yun, ZHANG Jun-biao. Regional differentiation research on net carbon effect of agricultural production in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(8):1289-1309.
- [14] 韩召迎,孟亚利,徐娇,等.区域农田生态系统碳足迹时空差异分析——以江苏省为案例[J].农业环境科学学报,2012,31(5):1034-1041. HAN Zhao-ying, MENG Ya-li, XU Jiao, et al. Temporal and spatial difference in carbon footprint of regional farmland ecosystem: Taking Jiangsu Province as a case[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(5):1034-1041.
- [15] 王修兰.全球农作物对大气CO₂及其倍增的吸收量估算[J].气象学报,1996,54(4):466-472. WANG Xiu-lan. The estimation on crop absorbing CO₂ under current and double CO₂ conditions in the world[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1996, 54(4):466-472.
- [16] 曹俊文,曹玲娟.江西省农业碳排放测算及其影响因素分析[J].生态经济,2016,32(7):66-68. CAO Jun-wen, CAO Ling-juan. Research on measurement and effecting factors of agricultural carbon emission in Jiangxi Province[J]. *Ecological Economy*, 2016, 32(7):66-68.
- [17] 郭炳南,曹国勇.中国各省份碳排放效率与减排潜力测度研究——基于Undesirable-SBM超效率模型的实证分析[J].生态经济,2017,33(8):20-24. GUO Bing-nan, CAO Guo-yong. Study on the measurement of carbon emission efficiency and emission reduction potential in China: An empirical analysis based on the undesirable SBM super efficiency model[J]. *Ecological Economy*, 2017, 33(8):20-24.
- [18] 谢高地,张彩霞,张昌顺,等.中国生态系统服务的价值[J].资源科学,2015,37(9):1740-1746. XIE Gao-di, ZHANG Cai-xia, ZHANG Chang-shun, et al. The value of ecosystem services in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(9):1740-1746.