

DOI: 10.11934/j.issn.1673-4831.2018.04.004

韦沁, 曲建升, 白静, 等. 我国农业碳排放的影响因素和南北区域差异分析[J]. 生态与农村环境学报, 2018, 34(4): 318-325.

WEI Qin, QU Jian-sheng, BAI Jing, et al. Influencing Factors of Agricultural Carbon Emission and Regional Differences Between South and North in China [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2018, 34(4): 318-325.

我国农业碳排放的影响因素和南北区域差异分析

韦沁¹, 曲建升^{1,2}①, 白静¹, 李恒吉^{1,2}, 刘莉娜¹, 徐丽¹ (1. 兰州大学西部环境教育部重点实验室/资源环境学院, 甘肃兰州 730000; 2. 中国科学院西北生态资源环境研究院兰州文献情报中心, 甘肃兰州 730000)

摘要: 为探究我国农业碳排放的影响因素和南北区域的差异性, 根据 1999—2014 年中国农业生产的相关数据, 基于主要农作物(小麦、水稻和玉米)、农药、化肥、农膜、农业灌溉、农业机械等主要农业投入碳源, 对除香港、澳门、台湾之外的 31 个省、自治区和直辖市的农业碳排放量进行测算, 并利用卡雅(Kaya)恒等式分析其影响因素, 利用泰尔(Theil)指数分析农业碳排放强度的区域差异。结果表明:(1)我国农业碳排放量呈逐年上升趋势, 农业产业结构优化、农业人口整体减少等因素会抑制农业碳排放量增长, 而农业经济发展会增加农业碳排放量。(2)从空间分布来看, 总体上北方农业碳排放量大于南方地区, 单位面积碳排放呈总体上升趋势, 单位产值碳排放呈总体下降趋势。从区域内部来看, Theil 指数显示我国农业碳排放强度的区域差异主要来自区域内, 其中南方农业碳排放强度差异高于北方。在南北区域中沿海地区内差异逐渐减小, 西北和西南地区内差异逐渐增大。最后, 根据上述研究结果提出相关建议。

关键词: 农业碳排放强度; Theil 指数; Kaya 恒等式; 区域差异

中图分类号: X82 文献标志码: A 文章编号: 1673-4831(2018)04-0318-08

Influencing Factors of Agricultural Carbon Emission and Regional Differences Between South and North in China. WEI Qin¹, QU Jian-sheng^{1,2}, BAI Jing¹, LI Heng-ji^{1,2}, LIU Li-na¹, XU Li¹ (1. Key Laboratory of Western China's Environmental Systems, Ministry of Education/ College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 2. Northwest Institute of Eco-Environment and Resources, Lanzhou Information Center, Chinese Academy of Science, Lanzhou 730000, China)

Abstract: In order to explore the main factors affecting agricultural carbon emission and differences between North and South China, agricultural carbon emissions in 31 provinces, autonomous regions and municipalities (Hong Kong, Macao and Taiwan not covered) were calculated based on relevant data and information available in the Agricultural Yearbooks of 1990–2014 concerning main sources of carbon input in agriculture, such as staple crops (wheat, rice and corn), pesticide, chemical fertilizer, plastic film, agricultural irrigation, farming machines and some others, for analysis of their affecting factors and regional differences in agricultural carbon emission intensity using the Kaya identical equation and Theil index, separately. Results show: (1) The agricultural carbon emission in China has been on a gradual upward trend in recent years. Some factors like the optimization of agricultural industrial structure can restrain the growth of agricultural carbon emissions. The development level of agricultural economy will promote the increase of agricultural carbon emissions. (2) In terms of spatial distribution, agricultural carbon emission is generally higher in the northern part of the country than in the southern. The intensity of agricultural carbon emission per unit of crop area is showing a rising tendency and that per unit of agricultural output a decreasing tendency. From the perspective of the regions per se, their Theil indices demonstrate that regional difference in agricultural carbon emission intensity primarily stemmed from inside of the regions. The difference in agricultural carbon emission intensity is greater in the southern part than in the northern and narrowing in the coastal areas in both parts. The differences within the northwest and southwest areas are gradually expanding. Some suggestions based on the above-listed findings are proposed.

Key words: agricultural carbon emissions; Theil index; Kaya identical equation; regional difference

收稿日期: 2017-08-02

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFA0602803)

① 通信作者 E-mail: jsqu@lzb.ac.cn

气候变暖引发的灾害性和极端气候事件逐渐增多,人类的生存环境遭到严重影响,因此遏制气候变暖、减少温室气体排放已成为全球共识。作为关乎人类生计、国民经济的基础产业,农业对气候变化反应敏感,在气候灾害事件中易受严重影响,但农业在种植等过程中也会产生碳排放,加剧全球气候变暖^[1]。因而关于农业碳排放的研究也成为人们关注的热点。

2016年世界粮食与农业组织(FAO)发布的《2016年粮食及农业状况》报告指出,全球约有1/5的温室气体来自农业排放,包括林业、渔业和畜牧生产^[2]。而中国发布的《中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报》指出2005年我国农业活动排放的温室气体为81997万吨二氧化碳当量(CO₂e),约占总量的10.98%,仅次于能源活动的排放,是我国温室气体排放的第2大来源^[3]。因此,开展农业碳排放研究对我国减少碳排放、推动低碳农业的发展具有重大意义。

我国对农业碳排放的研究起步较晚,目前国内学者对农业碳排放的研究多集中于排放源、结构特征和地区差异等方面。如李波等^[4]通过计算农业碳排放,发现秸秆焚烧排放占碳源总排放量的比例最高,农药是年均增长最快的碳源;李国志等^[5]利用对数平均迪氏分解模型(LMDI)分解农业能源消费的碳排放因素,发现农业碳排放最主要的驱动因素是经济增长;刘乃栋等^[6]则发现江苏省水稻生产中甲烷的排放比例较大,而水稻温室气体的重要来源是农用能源和工业投入品。

我国作为人口大国,粮食安全问题一直是政府关注的重点,小麦、水稻和玉米作为我国居民的主食来源,在粮食作物的生产中占主导地位。根据我国农业部种植业管理司的统计,2016年我国小麦、水稻和玉米的总种植面积占粮食作物种植面积的81.59%,总产量占粮食作物产量的90.60%。鉴于小麦、水稻和玉米在我国农业中的重要地位,笔者利用作物自身种子来计算小麦、水稻和玉米的碳排放量^[7],同时选取较为常见的农业投入品,如化肥、农药、柴油等作为碳源来计算我国农业碳排放。由于秦岭—淮河一线是我国1月均温0℃的等温线和800mm的年降水量线,在地理上也将秦岭—淮河一线作为我国南北区域的分界线。由于自然环境和历史文化等方面的原因,我国南北地区经济的区域差异性较明显,这也体现在农业上。因此,在测算我国农业碳排放量的基础上,利用卡雅(Kaya)恒等式和泰尔(Theil)指数来分析我国农业碳排放的影

响因素以及农业碳排放强度的南北区域差异,可为将来中国发展低碳农业提供一定的参考依据。

1 研究方法

1.1 农业碳排放的测算方法

农业碳排放测算公式^[4]为

$$E = \sum e_i = \sum (T_i \times \delta_i) \quad (1)$$

式(1)中 E 为农作物生产中物质投入的碳排放用量(以CO₂计)t; e_i 为物质投入类型 i 的碳排放用量(以CO₂计)t; T_i 为第 i 种碳源的使用量,t; δ_i 为第 i 种碳源的碳排放系数。各类碳源的碳排放参数见表1。

表1 主要农业碳源及碳排放系数

Table 1 Major agricultural carbon sources and their carbon emission coefficients

碳源	排放系数	来源文献
小麦种子	0.11 kg·kg ⁻¹	[8]
水稻种子	0.86 kg·kg ⁻¹	[8]
玉米种子	1.05 kg·kg ⁻¹	[8]
农药	4.934 1 kg·kg ⁻¹	[9]
化肥	0.895 6 kg·kg ⁻¹	[9]
农膜	5.18 kg·kg ⁻¹	[10]
农业灌溉	266.48 kg·hm ⁻²	[8]
农作物种植	16.47 kg·hm ⁻²	[11]
农业机械 ¹⁾	0.18 kg·kW ⁻¹	[11]
农用柴油	0.592 7 kg·kg ⁻¹	[11]

1) 农业机械碳排放是代表在运输中使用电能所产生的碳排放量,与柴油碳排放不同。

1.2 研究方法

1.2.1 Kaya 恒等式

Kaya 恒等式最早是由日本教授茅阳一(Yoichi Kaya)在1989年提出,它用简单的数学公式将碳排放与经济、能源和人口等因素相联系,是用于分析碳排放驱动因素的主流分析方法^[12]。在引用Kaya恒等式时,借鉴李波等^[10]的研究,在考虑农业碳排放的驱动因素时,将能源因素去掉,加入农业产值和农林牧渔总产值,将公式变为

$$C = (C/A) \times (A/G) \times (G/P) \times P = h \times a \times g \times p \quad (2)$$

$$h = C/A \quad (3)$$

$$a = A/G \quad (4)$$

$$g = G/P \quad (5)$$

式(2)~(5)中, C 为二氧化碳排放量,万吨; A 为农业产值,亿元; G 为农林牧渔总产值,亿元; P 为农业人口数量,万人。通过因素分解,公式可分解为农业生产效率因素(h)、农业结构因素(a)、农业经济发

展水平因素(g)和农业人口规模因素(p)。

在因素分解方面,借鉴邢璐^[13]的研究,采用 LMDI 方法进行因素分解,将式(2)对时间 t 进行微分,再对时间从基年 0 到 t 年进行积分,得到如下公式:

$$\Delta C = \Delta h + \Delta a + \Delta g + \Delta p, \tag{6}$$

$$\Delta h = L(C_0, C_t) \times \ln \frac{h_t}{h_0}, \tag{7}$$

$$\Delta a = L(C_0, C_t) \times \ln \frac{a_t}{a_0}, \tag{8}$$

$$\Delta g = L(C_0, C_t) \times \ln \frac{g_t}{g_0}, \tag{9}$$

$$\Delta p = L(C_0, C_t) \times \ln \frac{p_t}{p_0}. \tag{10}$$

式(7)~(10)中 $L(C_0, C_t)$ 为权重,具体公式为

$$L(C_0, C_t) = \frac{C_t - C_0}{\ln(C_t/C_0)}. \tag{11}$$

1.2.2 Theil 指数

Theil 指数原是分析区域间收入水平差距(或称不平等度)的一个指标,现多被引用来分析区域差异。因此利用 Theil 指数来衡量我国农业碳排放强度的区域差异性,并将 Theil 指数分解为区域间和区域内农业碳排放强度差异,以了解它们对全国农业碳排放强度区域差异的影响^[14]。

Theil 指数的计算公式为

$$T_p = \sum_j \left(\frac{Y_j}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_j/Y}{D_j/D} \right). \tag{12}$$

式(12)中, T_p 为我国农业碳排放强度区域差异的总差异指数; Y, D 分别为全国农业碳排放量(以 CO_2 计)和农林牧渔总产值中农业产值,单位分别为万 t CO_2 和亿元; j 代表省份。 T_p 值越大,表示我国农业碳排放强度的区域差异越大; T_p 值越小,表示我国农业碳排放强度的区域差异越小。

T_p 可分解为区域内不同省份农业碳排放强度差异(T_w)和不同区域间农业碳排放强度差异(T_b)。对 T_p 进行详细分解,可得到:

$$T_p = T_w + T_b = \sum_i \left(\frac{Y_i}{Y} \right) T_{Pi} + T_B, \tag{13}$$

$$T_p = \sum_i \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \sum_j \left(\frac{Y_{ij}}{Y_i} \right) \ln \left(\frac{Y_{ij}/Y_i}{D_{ij}/D_i} \right) + \sum_i \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_i/Y}{D_i/D} \right). \tag{14}$$

式(13)~(14)中, i 代表区域; $\sum_i \left(\frac{Y_i}{Y} \right) T_{Pi}$ 代表 T_w ;

$\sum_i \left(\frac{Y_i}{Y} \right) \ln \left(\frac{Y_i/Y}{D_i/D} \right)$ 代表 T_b ; T_{Pi} 代表第 i 个区域内不同省份之间农业碳排放强度差异。

Theil 指数还可对区域之间贡献率和区域内贡献率进行分析,公式如下:

$$W_B = T_B/T_p, \tag{15}$$

$$W_w = T_w/T_p, \tag{16}$$

$$W_{Pi} = (Y_i/Y) \times T_{wi}/T_p. \tag{17}$$

式(15)~(17)中, W_B 为区域间贡献率; W_w 为区域内贡献率; W_{Pi} 为区域内部各子区域的贡献率^[15]。

在区域的划分上,采用地理上通用的秦岭—淮河分界线,将我国分为南方区域和北方区域。其中,南方区域主要包括江苏、浙江、安徽等共 16 个省、自治区、直辖市。北方区域主要包括北京、天津、内蒙古等共 15 个省、自治区、直辖市(不包括台湾、香港和澳门特区)^[16]。结合东中西 3 大经济地带的划分格局,在南北区域的基础上将南方区域和北方区域各自划分为 3 个区域。南方区域分为沿海地区(沪、苏、浙、闽、粤、桂、琼)、中部地区(皖、赣、鄂、湘)、西南地区(渝、川、云、贵、藏);北方区域分为沿海地区(辽、京、津、鲁、冀)、中部地区(黑、吉、蒙、晋、豫)、西北地区(陕、甘、青、宁、新)^[17]。

1.3 数据来源

该研究的数据主要来自 2006—2015 年《中国农业年鉴》、2011—2012 年《全国农产品成本收益资料》、中国种植业信息网 (<http://www.zzys.moa.gov.cn/>) 和中国国家统计局官网 (<http://www.stats.gov.cn/>)。其中,化肥施用量(折纯)、农药使用量、农膜用量、农用柴油用量、灌溉面积、农业产值、农林牧渔总产值等数据来自《中国农业年鉴》,部分年份数据来自中国种植业信息网和中国国家统计局官网。主要粮食作物种子用量的相关数据来自《全国农产品成本收益资料》,由于相关数据的缺失,各省作物种子用量均采用当年统计的全国单位面积种子用量的平均值乘以各省相应作物种植面积求得。

2 结果与讨论

2.1 我国农业碳排放总量趋势分析

将历年相关数据代入公式中,计算得到我国农业碳排放量及环比增长速度,如图 1 所示。结果表明,1999 年我国农业碳排放总量(以 CO_2 计)为 7 864.56 万 t,到 2014 年增长为 11 363.02 万 t,年均增长率为 2.48%,并呈逐年递增趋势,造成该变化趋势的主要原因是 2000 年后国家颁布一系列强农惠农政策,农业得以迅速发展,农业碳排放也不

断增长。但受政策、灾害等因素的影响,农业碳源投入量的增幅变化使农业碳排放环比增速也呈波动升降的变化趋势。2000—2003 年为我国受灾较为严重的年份,尤其在 2000 年我国旱灾较为严重^[18],且农业发展仍在起步阶段,因此该年我国农业碳排放增速在整个阶段中最低,为 0.57%;尽管 2001 年增速有所上升,但 2002—2003 年继续呈下降趋势,受干旱和“非典”影响,2003 年我国农业碳排放增速跌至 1.31%;2004—2007 年由于气象灾害的减少,我国农业发展较为稳定,其中 2004 年由于国家在全国范围内面向农民实行粮食直补政策,极大地鼓舞了农民种粮的热情^[19],因此该年农业碳排放增速最高,为 5.08%;尽管 2005—2007 年农业碳排放增速低于 2004 年,但该阶段增速整体要大于上一阶段;在 2008 年,受雪灾影响,我国农业碳排放增速跌至 1.29%;尽管到 2009 年增速有所上涨,但在 2009—2012 年依然呈下降趋势;到 2013 年由于我国气象灾害较为严重^[20],农业受到严重影响,增速跌至 1.46%。到 2014 年,随着农业生产的恢复我国农业碳排放较上年有所增加,并达到我国农业碳排放的最大值。

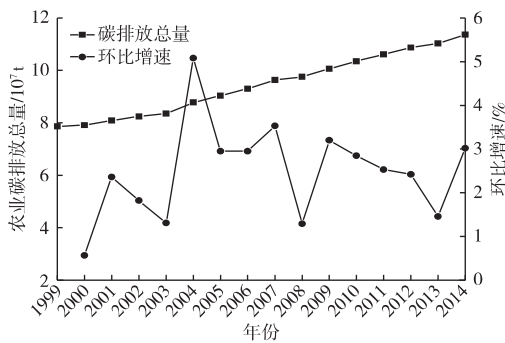


图 1 1999—2014 年我国农业碳排放量变化趋势及环比增速
Fig. 1 Variation trend and chain ratio increase rate of the agricultural carbon emission of the country during the period from 1999 to 2014

2.2 我国农业碳排放的影响因素分解

根据 Kaya 恒等式计算得出我国农业碳排放影响因素分解结果(图 2)。从图 2 可知,农业生产效率因素在 1999—2001 年和 2003 年对我国农业碳排放的增长有正向影响,但 2004—2014 年对农业碳排放的抑制作用不断增强,且与农业结构因素和人口因素相比其负面影响最大;农业结构因素在整体上对农业碳排放的增长有负面影响,但与其他因素相比影响效果最小,尤其在 2011—2014 年,抑制影响逐渐减弱;农业经济发展因素对农业碳排放的增长

有重要的正面影响,2002—2014 年对农业碳排放的增长呈逐年递增趋势,且其影响程度远大于其他因素;人口因素在 2001—2004 年对农业碳排放有正面影响,但 2005—2014 年则呈现逐渐递增的抑制影响,但其负面影响低于农业生产效率。

相比基年 1999 年,从 2000 到 2014 年,农业生产效率累计贡献 56 733.45 万 t 的碳减排,农业结构因素累计贡献 12 399.69 万 t 碳减排,人口规模因素贡献 28 676.00 万 t 碳减排,而农业经济发展水平贡献 12 3235.84 万 t 碳排放。在我国农业碳排放的影响因素中,农业生产效率的提高、农业产业结构的优化和农业人口的减少会对我国农业碳排放的增长有减缓作用,受市场需求的逐年增加及外贸出口等因素的影响,农业经济发展水平成为我国农业碳排放增长的主要驱动因素。

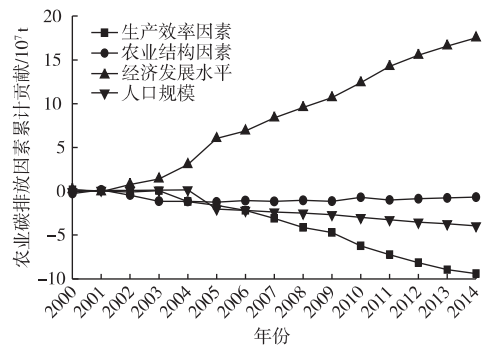


图 2 2000—2014 年我国农业各碳排放影响因素累计贡献
Fig. 2 Affecting factors of the agricultural carbon emission in China during the period from 2000 to 2014

2.3 我国农业碳排放的南北区域差异

从图 3 可知,我国南方和北方区域农业碳排放量整体均呈上升趋势。1999—2001 年南方区域的农业碳排放量略高于北方地区;但 2002—2014 年北方农业碳排放量超过南方,且区域间的差距逐渐扩大。经计算,在农业碳排放的年均增长率方面,我国南、北方地区农业碳排放年均增长率分别为 1.94% 和 2.92%,全国农业碳排放年均增长率为 2.48%,北方地区农业碳排放年均增长率不仅高于全国水平,也大于南方地区。

从图 4 可知,在农业碳排放强度方面,1999—2014 年我国南、北方单位面积碳排放强度总体均呈上升趋势,其中北方单位面积碳排放强度明显大于南方,且其变化波动较小,年均增长率为 2.99%;而南方单位面积碳排放强度有较为明显的变化波动,尤其在 2007 年,由于农业播种面积锐减,南方单位

面积碳排放强度较上年增长 9.23%。造成我国南、北方单位面积碳排放强度变化的主要原因可能是为追求农业产量和效益,大量化肥、农业等碳源的投入导致农业碳排放增加,而南、北区域农作物播种面积增长速度小于碳排放增长速度,因此南、北方单位面积碳排放强度总体呈上升趋势。尽管我国南方区域农作物播种面积的年均增长率小于北方区域,但在碳排放方面,我国北方区域自 2002 年就超过南方区域,且北方区域农业碳排放的年均增长率约是南方区域的 1.5 倍,因此北方单位面积碳排放强度大于南方区域。

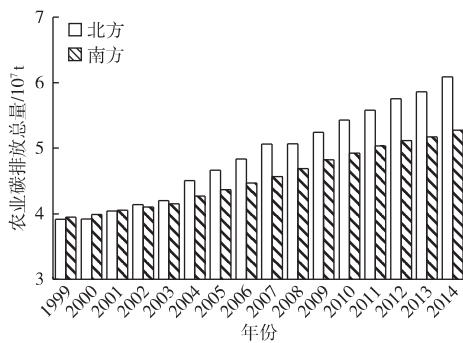


图 3 1999—2014 年我国南方区域和北方区域农业碳排放总量

Fig. 3 Variation of the total agricultural carbon emissions in South and North China during the period from 1999 to 2014

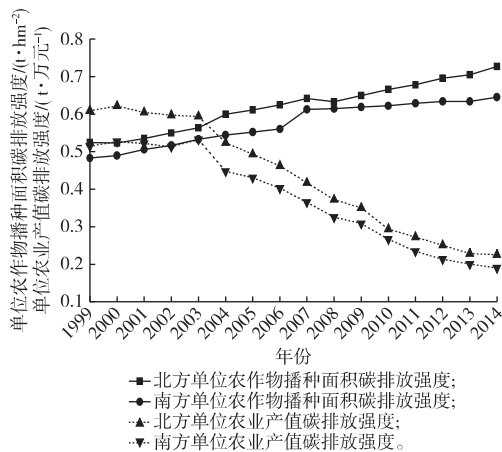


图 4 1999—2014 年我国北方和南方区域单位面积碳排放强度和单位产值碳排放强度

Fig. 4 The intensity of agricultural carbon emission intensity per unit area and per unit agricultural output during the period from 1999 to 2014 in South and North China

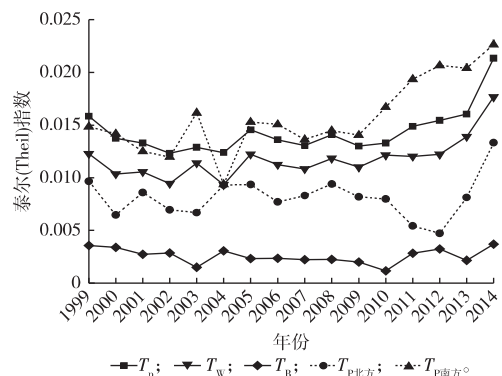
我国南北地区产值碳排放强度总体呈下降趋势,其中北方单位产值碳排放强度大于南方。1999—2003 年南北区域单位产值碳排放强度变化

趋势较稳定,下降幅度较小;2004—2014 年南北区域均表现出明显下降趋势,其中南方年均降幅为 8.95%,北方为 8.43%。造成该变化的主要原因可能是随着农业的发展,农业碳排放量不断增加的同时,农业产值的增长速度更快,而农业产值的增长除了来自传统的高碳农业外,还有的来自低碳、生态农业等。低碳、生态农业的发展和生态农业措施的应用等在提高农业产值的同时,还能减少农业碳排放,从而降低了单位产值碳排放强度。由于我国北方区域拥有东三省和黄淮海 2 大粮食主产区,作物种子、化肥、农药等农业投入品要高于南方地区,而南方地区除了传统农业发展外,经济作物发展趋势良好,因此南方的农业产值高于北方,且随着南方农业碳排放量与北方的差距变大,我国南方单位产值碳排放强度小于北方。

2.4 基于 Theil 指数的我国农业碳排放强度区域差异

2.4.1 Theil 指数的计算及分析

为了更好地分析我国农业碳排放强度的南北区域差异,运用 Theil 指数计算分析我国农业碳排放强度的区域差异,对区域进行分解并计算其贡献率,结果如图 5 所示。



T_p —农业碳排放强度区域差异总指数; T_w —农业碳排放强度区域内差异水平; T_b —农业碳排放强度区域间差异水平; $T_{p_{北方}}$ —北方区域内农业碳排放强度差异; $T_{p_{南方}}$ —南方区域内农业碳排放强度差异。

图 5 1999—2014 年我国各省市农业碳排放强度差异性、区域间和区域内差异变化

Fig. 5 Variation of the differentiation between the provinces, autonomous regions and municipals, between the regions and inside the regions in agricultural carbon emission intensity in China during the period from 1999 to 2014

我国农业碳排放强度的总体区域差异水平 T_p 值整体呈上升趋势,其中 1999—2010 年 T_p 值变化波动较小,表示该阶段我国农业碳排放强度的总体

区域差异变化较为稳定;但2011—2014年 T_p 值呈逐年上升的变化趋势,并在2014年达到最大值,为0.02,表示2011—2014年我国农业碳排放强度的总体区域差异变大。我国农业碳排放强度区域内差异水平 T_w 值的变化趋势与总体区域差异水平 T_p 值的变化趋势相似。我国农业碳排放强度区域间差异水平 T_b 值一直处于较低水平,变化波动较小,但在近年也有增大趋势。

从区域内差异水平来看,我国南方区域内农业碳排放强度差异远大于北方,且变化波动较大。1999—2002年我国南方区域内农业碳排放强度呈逐年缩小趋势;2003年有所上升后又在2004年降至最小值;2005—2009年南方区域内差异变化较为稳定;但2010—2012年区域内差异突然逐年增大,尽管2013年由于南方受灾严重,农业生产受到影响,导致该年区域内差异减小,但到2014年南方区域内差异继续恢复扩大趋势,并达到最大值。

我国北方区域在1999—2010年区域内农业碳排放强度差异水平变化趋势较为稳定,上下波动不超过0.003;2011—2012年北方区域内差异呈逐年缩小的趋势,在2012年受雪灾和低温、阴雨天气的影响区域内差异也降至最低^[21],为0.004,但在2013—2014年北方区域内差异呈逐年增大趋势。

2.4.2 区域间及区域内差异对我国农业碳排放强度差异的贡献率比较

如表2所示,通过计算区域间及区域内差异对我国农业碳排放强度差异的贡献率,可知区域内的贡献率大于区域间的贡献率,其贡献率基本在75%以上,是我国农业碳排放强度总体差异的主要贡献者。区域内贡献率在2000年达到最小值,75.29%,2010年达到最大值,91.32%。除个别年份波动明显外,其总体变化趋势较为平稳,并在近年有下降趋势;而区域间贡献率基本在8%~25%之间,其变化趋势与区域内贡献率相反。

在我国南北区域内的贡献率中,南方区域贡献率大于北方,是区域内贡献率的主要贡献者。南方区域贡献率在1999—2003年呈波动增长趋势,在2004年达到最低值36.80%后,逐渐恢复增长趋势,并在2012年达到最大值62.91%后呈下降趋势。北方区域贡献率在2004年达到最大值38.53%,2012年降至最低值16.20%,随即恢复上升趋势。

2.4.3 南北区域内的地区内差异分析

从图6可知,在我国北方区域内,沿海、中部以及西北地区内农业碳排放强度差异变化波动都较为显著,其中中部和西北地区内差异变化整体有扩

大趋势,沿海地区内差异变化总体有缩小趋势。1999—2001年沿海、中部、西北地区内差异较小;2002—2007年除了在2003年沿海地区内差异小于西北地区外,其余年份均大于其他地区。沿海区域内差异在2004年达到最大值,这与河北省在2003—2007年农业的快速增长有关;2008年西北超过沿海地区,成为区域内差异最大的地区;到2009年,沿海仍是区域内差异最大的地区;2010年中部超过西北地区,沿海地区内差异最小;2011—2014年西北地区内差异一直大于其他地区,总体呈上升趋势,并在2014年达到最大值。中部仅次于西北地区,而沿海地区内差异最低,差异值在0~0.002以内,并在2013年降至最低,仅为0.0007。

表2 1999—2014年我国南北区域内、区域间农业碳排放强度差异对全国农业碳排放强度差异的贡献率

Table 2 Contribution rate of the differences between North or South and between regions in agricultural carbon emission intensity to the country's during the period from 1999 to 2014 %

年份	区域内			区域间
	北方	南方	合计	
1999	30.38	47.10	77.48	22.52
1999	30.38	47.10	77.48	22.52
2000	23.31	51.99	75.29	24.71
2001	32.29	47.16	79.45	20.55
2002	28.41	48.31	76.72	23.28
2003	26.09	62.31	88.40	11.60
2004	38.53	36.80	75.33	24.67
2005	33.23	50.83	84.06	15.94
2006	29.43	53.19	82.63	17.37
2007	33.41	49.51	82.92	17.08
2008	34.63	49.41	84.04	15.96
2009	32.78	51.77	84.55	15.45
2010	31.52	59.81	91.30	8.68
2011	19.19	61.69	80.88	19.12
2012	16.20	62.91	79.11	20.89
2013	26.09	59.61	86.53	13.47
2014	33.46	49.25	82.69	17.31

而在我国南方区域内,3个地区内农业碳排放强度差异变化波动都较为显著。1999—2006年沿海地区内差异最大,其中1999—2002年西南地区内差异除了在2001年稍低于中部,其余年份均大于中部地区,但2003—2006年中部除了在2004年稍低于西南地区外,其余年份均大于西南地区;2007—2008年中部地区内差异超过沿海,成为区域内差异最大的地区,西南地区内差异逐渐增大,并在2008年超过沿海地区;2009—2011年西南和中部地区内差异迅速扩大,但西南地区内差异要大于中部地

区,并在 2011 年达到最大值,沿海地区内差异最小;中部在 2012—2013 年超过西南地区,成为地区内差异最大地区,2013 年西南由于受灾害影响,地区内差异有所下降,但在 2014 年超过中部地区,沿海地区内差异仍最小。造成该变化的主要原因是我国南北区域的沿海地区由于农业发展已较稳定,且区域发展更偏向工业、服务业和新兴产业等,因此地区内农业碳排放强度差异逐渐小于其他地区,并趋

于稳定;其中南方沿海地区由于江苏等农业大省的发展,区域内农业碳排放强度差异有扩大迹象;北方中部、西北地区和南方中部、西南地区虽然部分省份农业迅速发展,但个别省份农业发展较缓,区域内农业发展不平衡,导致这些地区内农业碳排放强度差异变大,由于西北和西南个别省份的农业碳排放增长速率远大于南北区域的中部地区,因此西北和西南地区内差异变化幅度要大于中部地区。

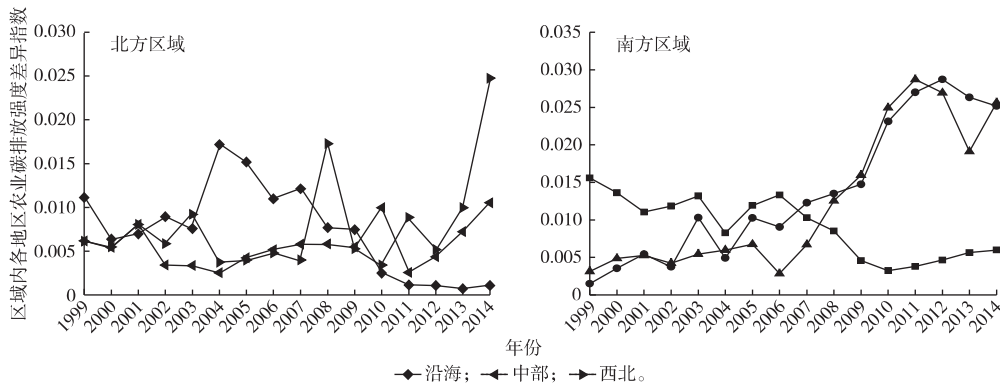


图 6 1999—2014 年我国南北区域内农业碳排放强度差异

Fig. 6 Difference between South and North China in agricultural carbon emission intensity during the period from 1999 to 2014

3 结论与建议

通过研究得出以下结论:(1)近年我国农业碳排放呈逐渐增长态势,但受气候、灾害等因素影响,农业碳排放环比增速变化起伏较大。(2)在影响因素方面,农业产业结构、生产效率等因素会抑制农业碳排放的增长,农业经济发展则促进农业碳排放增长。(3)在农业碳排放量上,我国北方区域整体上大于南方,区域间的差距也逐渐扩大。南北区域单位面积碳排放强度总体呈上升趋势,而单位产值碳排放强度总体呈下降趋势。(3)我国农业碳排放强度的总体区域差异主要来自区域内差异,其中南方区域内农业碳排放强度的差异较大;(4)我国南北区域地区内农业碳排放差异总体表现为沿海地区缩小,西北和西南地区扩大。尽管我国农业碳排放目前呈增长态势,但该研究仅针对农业碳源,农业作为碳汇的部分尚未计算,对于农业碳汇作用的研究将在后续研究中进行。

针对农业碳排放的现状,政策建议如下:(1)在保证粮食安全的前提下,提高农业抵抗气候风险的能力,加大对农业科学技术的研究和作物品种的改良,提高粮食生产能力,促进农业现代化发展。

(2)当地政府应引导农民减少农业对于化肥农药的依赖,并对农业生产种植给予科学指导,发展生物质能产业,逐步实现绿色低碳农业。(3)针对农业碳排放高的省份,有关部门因考虑实际情况,采取政策引导等措施控制、减缓其农业温室气体排放。(4)根据区域不同的特点,政府在保证农业生产的同时,要科学规划农业产业结构,因地制宜,发展经济产值高的特色农业、生态农业,在取得经济效益的同时也获得生态效益。

参考文献:

[1] 高海莹.中国农村应对全球气候变化:发展低碳农业[J].广东化工,2013,40(16):99-100,91. [GAO Hai-ying. Rural China Meets Climate Change Challenge: Developing Low-Carbon Agriculture [J]. Guangdong Chemical Industry, 2013, 40 (16): 99 - 100, 91.]

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture 2016: Climate Change, Agriculture and Food Security [R]. Roman, Italy: FAO, 2016.

[3] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报 [M]. 北京: 中国经济出版社, 2013: 57 - 86. [Department of Climate Change. National Development and Reform Commission, P. R. China. Second National Communication on Climate Change [M]. Beijing: China Economic Publishing House, 2013: 57-86.]

- [4] 李波,张俊飏,李海鹏.中国农业碳排放与经济发 展的实证研究[J].干旱区资源与环境,2011,25(12):8-13. [LI Bo, ZHANG Jun-biao, LI Hai-peng. Empirical Study on China's Agriculture Carbon Emissions and Economic Development [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(12):8-13.]
- [5] 李国志,李宗植.中国农业能源消费碳排放因素分解实证分析:基于LMDI模型[J].农业技术经济,2010(10):66-72. [LI Guo-zhi, LI Zong-zhi. Decomposition Empirical Study of Energy Consumption Carbon Emission From Agricultural in China: Based on LMDI Model [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2010(10):66-72.]
- [6] 刘乃栋,胡浩,胡中应.江苏省水稻生产的碳排放结构特征和影响因素研究:基于农户生产投入和规模的视角[J].安徽农业科学,2014,42(13):4121-4124. [LIU Nai-dong, HU Hao, HU Zhong-ying. Research on Structural Characteristics and Affecting Factors of Carbon Emission of Rice Production in Jiangsu Province: Based on Farmers' Production Inputs and Scale [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2014, 42(13):4121-4124.]
- [7] 柯水发,董雪,赵铁蕊,等.黑龙江省农业生产碳足迹测算分析及启示[C].长沙:中国林业技术经济理论与实践论坛,2013. [KE Shui-fa, DONG Xue, ZHAO Tie-rui, et al. Analysis and Enlightenment of the Carbon Footprint Calculation on Agricultural Production in Heilongjiang [C]. Changsha: China Forestry Technology and Economy Theory and Practice Forum, 2013.]
- [8] WEST T O, MARLAND G. A Synthesis of Carbon Sequestration, Carbon Emission and Net Carbon Flux in Agricultural: Comparing Tillage Practices in the United States [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 91(1/2/3):217-232.
- [9] 智静,高吉喜.中国城乡居民食品消费碳排放对比分析[J].地理科学进展,2009,28(3):429-434. [ZHI Jing, GAO Ji-xi. Analysis of Carbon Emission Caused by Food Consumption in Urban and Rural Inhabitants in China [J]. Progress in Geography, 2009, 28(3):429-434.]
- [10] 李波,张俊飏,李海鹏.中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J].中国人口·资源与环境,2011,21(8):80-86. [LI Bo, ZHANG Jun-biao, LI Hai-peng. Research on Spatial-Temporal Characteristics and Affecting Factors Decomposition of Agricultural Carbon Emission in China [J]. China Population, Resources And Environment, 2011, 21(8):80-86.]
- [11] 周陶,高明,谢德体,等.重庆市农田系统碳源/汇特征及碳足迹分析[J].西南大学学报:自然科学版,2014,36(1):96-102. [ZHOU Tao, GAO Ming, XIE De-ti, et al. Research on Carbon Source/Sink and Carbon Footprint of Cropland Ecosystem in Chongqing [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2014, 36(1):96-102.]
- [12] 袁路,潘家华. Kaya 恒等式的碳排放驱动因素分解及其政策含义的局限性[J].气候变化研究进展,2013,9(3):210-215. [YUAN Lu, PAN Jia-hua. Disaggregation of Carbon Emission Drivers in Kaya Identity and Its Limitations With Regard to Policy Implications [J]. Advances in Climate Change Research, 2013, 9(3):210-215.]
- [13] 邢璐,单葆国.基于 Kaya 公式的中国 CO₂ 排放影响因素分解[J].能源技术经济,2011,23(10):46-50. [XING Lu, SHAN Bao-guo. Empirical Analysis of China's Carbon Emission Based on Kaya Identity and Decomposition Model [J]. Energy Technology and Economics, 2011, 23(10):46-50.]
- [14] 万文玉,赵雪雁,王伟军.中国城市居民生活能源碳排放的时空格局及影响因素分析[J].环境科学学报,2016,36(9):3445-3455. [WAN Wen-yu, ZHAO Xue-yan, WANG Wei-jun. Spatial-Temporal Patterns and Impact Factors Analysis on Carbon Emissions From Energy Consumption of Urban Residents in China [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, 36(9):3445-3455.]
- [15] 张艳东,赵涛.基于泰尔指数的能源消费区域差异研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(6):14-19. [ZHANG Yan-dong, ZHAO Tao. The Differences of Regional Energy Consumption Based on Theil Index [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(6):14-19.]
- [16] 陈龙.我国南北地区经济差距扩大化研究[J].重庆大学学报(社会科学版),2002,8(2):7-10. [CHEN Long. A Study on the Magnifying of Economic Gap Between Southern Region and Northern Region in China [J]. Journal of Chongqing University (Social Sciences Edition), 2002, 8(2):7-10.]
- [17] 李二玲,覃成林.中国南北区域经济差异研究[J].地理与地理信息科学,2002,18(4):76-78. [LI Er-ling, QIN Cheng-lin. A Positive Study of Regional Economic Diversities Between the South and the North in China [J]. Geography and Geo-Information Science, 2002, 18(4):76-78.]
- [18] 钟子英,陈德萍,官华平,等.我国农业灾害情况的统计及其风险估测[J].现代农业科技,2011(12):14-16. [ZHONG Zi-ying, CHEN De-ping, GUAN Hua-ping, et al. Statistics and Risk Estimation of Agricultural Disasters in China [J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2011(12):14-16.]
- [19] 张慧琴.粮食生产补贴政策评价研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2016:35-39. [ZHANG Hui-qin. Research on Evaluation of Grain Production Subsidy Policy [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016:35-39.]
- [20] 侯威,陈峪,李莹,等.2013年中国气候概况[J].气象,2014,40(4):482-493. [HOU Wei, CHEN Yu, LI Ying, et al. Climatic Characteristics Over China in 2013 [J]. Meteorological Monthly, 2014, 40(4):482-493.]
- [21] 中央政府门户网站.气象局公布2012年全国主要农业气象灾害及其影响[EB/OL]. [2013-01-04]. http://www.gov.cn/gzdt/2013-01/04/content_2304381.htm. [The State Council the People's Republic of China. The Meteorological Bureau Announced the Major Agrometeorological Disasters and Impacts in 2012 [EB/OL]. [2013-01-04]. http://www.gov.cn/gzdt/2013-01/04/content_2304381.htm.]

作者简介: 韦沁(1991—),女,江苏淮安人,硕士生,主要研究方向为农业碳排放。E-mail: weiq2015@lzu.edu.cn

(责任编辑:陈昕)