

赵先超,宋丽美,古黄玲. 基于 GIS 的湖南省农地利用碳排放时空格局研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(9):307-311.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.09.071

# 基于 GIS 的湖南省农地利用碳排放时空格局研究

赵先超, 宋丽美, 古黄玲

(湖南工业大学城市与环境学院,湖南株洲 412007)

**摘要:**基于化肥、农药、农膜、灌溉、翻耕、柴油等 6 类农地利用碳排放源,测算 1999—2014 年湖南省农地利用碳排放量和碳排放强度,分析湖南省农地利用碳排放时序特征,并基于 GIS 研究湖南省农地利用碳排放量、碳排放强度的空间格局。结果表明:(1)1999—2014 年,湖南省农地利用碳排放量和碳排放强度均呈现逐年增长趋势,碳排放量从 1999 年的 317.40 万 t 增加到 2014 年的 446.99 万 t,碳排放强度从 1999 年的 987.79 kg/hm<sup>2</sup> 增加到 2016 年的 1 076.26 kg/hm<sup>2</sup>;(2)湖南省农地利用碳排放量和碳排放强度在空间上均呈现“东高西低”的特征,且集聚效应明显,2 个年份排名前五的碳排放量总和分别占全省碳排放总量的 54.34% 和 53.64%;(3)2010 年和 2014 年,湖南省农地利用碳排放量与农业经济水平在空间格局分布上重合率达到 100%,二者有着直接的影响关系。

**关键词:**农地利用碳排放;时空格局;GIS;湖南省

**中图分类号:** S181 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)09-0307-05

近 50 年来,我国经历了与全球基本相一致的气候变暖过程,我国气温增暖要明显高于全球或北半球同期平均水平<sup>[1]</sup>。而近年来的众多研究表明,二氧化碳排放量的增加是全球气候变暖的主要根源。从我国来看,在诸多碳排放源中,农业生产产生的温室气体达到全国总量的 17%,已成为引发

收稿日期:2018-01-04

基金项目:湖南省社科基金(编号:17JD25);教育部人文社科规划基金(编号:17YJCZH258);湖南省社科评审委课题(编号:XSP17YBZZ032);湖南省教育厅重点项目(编号:17A059)。

作者简介:赵先超(1983—),男,山东郓城人,博士,副教授,主要从事资源开发与区域低碳发展方面的研究。E-mail:zhaoxianchao1983@163.com。

碳排放的主要来源之一;从湖南省来看,1961—2010 年,湖南省年平均气温增暖趋势较为显著,年平均气温存在着明显的上升趋势,年平均气温上升速率为 0.015 3 ℃/年<sup>[2]</sup>。在此背景下,削减区域碳排放、谋求区域低碳转型发展,以及从土地利用角度开展碳排放研究、全面了解人类活动对碳排放的影响机制、引导区域低碳转型发展等问题已经引起了各国政府和学术界的普遍关注。从整体上看,国内外相关研究成果主要集中在人类活动对全球碳循环的影响<sup>[3]</sup>、碳排放的构成<sup>[4-7]</sup>、碳排放与经济增长的关系<sup>[8-11]</sup>、土地利用下的碳排放效率研究<sup>[12]</sup>等方面。

农业作为关乎国计民生的重大基础性产业必须实现传统产业的转型升级,农业碳减排对于现代农业的发展具有至关

[22]侯晓娜,李慧,朱刘兵,等. 生物炭与秸秆添加对砂姜黑土团聚体组成和有机碳分布的影响[J]. 中国农业科学,2015,48(4):705-712.

[23]姜灿烂,何园球,刘晓利,等. 长期施用有机肥对旱地红壤团聚体结构与稳定性的影响[J]. 土壤学报,2010,47(4):715-722.

[24]谢祖彬,刘琦,许燕萍,等. 生物炭研究进展及其研究方向[J]. 土壤,2011,43(6):857-861.

[25]Kimetu J M,Lehmann J. Stability and stabilization of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents[J]. Australian Journal of Soil Research,2010,48(7):577-585.

[26]战秀梅,彭靖,王月,等. 生物炭及炭基肥改良棕壤理化性状及提高花生产量的作用[J]. 植物营养与肥料学报,2015,21(6):1633-1641.

[27]Cheng C H,Lehmann J,Thies J E et al. Oxidation of blackcarbon by biotic and abiotic processes[J]. Organic Geochemistry,2006,37(11):1477-1488.

[28]Lee J W,Hawkins B,Li X N,et al. Biochar fertilizer for soil amendment and carbon sequestration[M]//Lee J W. Advanced biofuels & bioproducts. New York:Springer,2013:57-68.

[29]Fischer D,Glaser B. Synergisms between compost and biochar for

sustainable soil amelioration[M/OL]//Kumar S. Management of organic waste. [2019-01-01]. <https://www.intechopen.com/books/management-of-organic-waste/synergism-between-biochar-and-compost-for-sustainable-soil-amelioration>.

[30]刘国伟. 长期施用生物有机肥对土壤理化性质影响的研究[D]. 北京:中国农业大学,2004.

[31]张哈芝,黄云,刘钢,等. 生物炭对玉米苗期生长、养分吸收及土壤化学性状的影响[J]. 生态环境学报,2010,19(11):2713-2717.

[32]Celik I,Ortas I,Kilic S. Effects of compost,mycorrhiza,manure and fertilizer on some physical properties of a Chromoxerert soil[J]. Soil & Tillage Research,2004,78(1):59-67.

[33]周志红,李心清,邢英,等. 生物炭对土壤氮素淋失的抑制作用[J]. 地球与环境,2011,39(2):278-284.

[34]Mia S,Groenigen J W,Voorde T F,et al. Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability[J]. Agriculture Ecosystems & Environment,2014,191:83-91.

[35]刘赛男. 生物炭影响土壤磷素、钾素有效性的微生态机制[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2016.

重要的作用,因此研究农业碳排放的时空演变特征,增强对区域农业碳排放空间格局的认识,有利于准确把握各地区农业碳排放状况,进而有利于针对性地提出农业碳减排策略。与此同时,当前学术界对于农业碳排放的相关研究虽然逐渐增多,但现有成果对于中西部广大省份的农业碳排放研究涉足较少。本研究即以此为切入点,以中部典型省份湖南省为例,分析湖南省农地利用碳排放时序特征,基于 GIS 研究湖南省农地利用碳排放量、碳排放强度的空间格局,对准确把握区域农业碳排放的空间分布特征及变化趋势,引导低碳农业发展具有较为重要的战略意义。

1 研究区概况

湖南省位于我国中南部,长江中游以南,东临江西,西接重庆、贵州,南毗广东、广西,北连湖北,地处 108°47′~114°15′E,24°38′~30°08′N 之间,东西宽 667 km,南北长 774 km,土地总面积 211 829 km<sup>2</sup>,占全国土地总面积的 2.21%。湖南省是全国重要的粮食生产基地,主要农副产品产量如粮食、棉花、油料、苕麻、烤烟以及猪肉等均位居全国前列。2014 年,湖南省农林牧渔业总产值为 5 304.82 亿元,其中农业总产值 2 884.73 亿元,全省粮食总产量 292.55 亿 kg,农业机械总动力 5 680.34 万 kW。

2 研究方法与数据来源

2.1 农地利用碳排放量的测算方法

本研究主要采用碳排放系数法来测算湖南省农地利用碳排放,即以农业生产中主要的人为农田经营生产投入行为所导致的直接或间接的碳排放为主要碳源类型,主要包括化肥、农膜、农药、农业机械、农业灌溉、农业翻耕等。农地利用碳排放估算公式如下:

$$E = E_f + E_p + E_m + E_i + E_t + E_s。$$
 (1)

式中: $E$  为农田系统利用的碳排放量,t; $E_f$  为化肥生产和使用过程中导致的碳排放量,t; $E_p$  为农药生产和使用过程中导致

的碳排放量,t; $E_m$  为农膜生产和使用过程中产生的碳排放量,t; $E_i$  为农业灌溉过程中间接消耗能源所引致的碳排放量,t; $E_t$  为农业翻耕破坏土壤有机碳库所引致的碳排放量,t; $E_s$  为农业机械使用柴油直接或间接产生的碳排放量,t。各类别农地利用碳排放量计算公式如下:

$$E_f = G_f \times a;$$
 (2)

$$E_p = G_p \times b;$$
 (3)

$$E_m = G_m \times c;$$
 (4)

$$E_i = A_i \times d;$$
 (5)

$$E_t = A_t \times e;$$
 (6)

$$E_s = G_s \times f。$$
 (7)

式中: $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$  分别为各碳源的碳排放系数,主要参考 IPCC 和国内外现有文献成果<sup>[13-16]</sup> 确定( $a=0.895$  6 kg/kg<sup>2</sup>, $b=4.934$  1 kg/kg, $c=5.18$  kg/kg, $d=266.48$  kg/hm<sup>2</sup>, $e=312.6$  kg/hm<sup>2</sup>, $f=0.592$  7 kg/kg)。 $G_f$  为化肥施用量,t; $G_p$  为农药使用量,t; $G_m$  为农膜使用量,t; $A_i$  为灌溉面积,hm<sup>2</sup>; $A_t$  为农业翻耕面积,hm<sup>2</sup>; $G_s$  为农业柴油用量,t。

2.2 数据来源

本研究涉及到的湖南省农地利用碳排放测算和分析相关数据资料主要来源于《湖南省统计年鉴》(2000—2015 年)、《湖南省农村统计年鉴》(2015 年)和最新的湖南省矢量数据。其中,14 个地州市的农地利用碳排放测算选取各市 2010 年以及 2014 年的化肥、农药、农膜、农业灌溉、农业翻耕、柴油 6 类农资投入数据。

3 结果与分析

3.1 湖南省农业碳排放时序特征分析

根据上述农地利用碳排放测算公式(1)及碳排放系数值测算出 1999—2014 年湖南省各类农资投入的碳排放量、碳排放总量、碳排放量环比增速、碳排放强度(耕种 1 hm<sup>2</sup> 农地所投入的生产要素产生的碳排放量)、碳排放强度环比增速(表 1)。

表 1 1999—2014 年湖南省农地利用碳排放数据

年份	化肥 (万 t)	农药 (万 t)	农膜 (万 t)	灌溉 (万 t)	翻耕 (万 t)	柴油 (万 t)	总量 (万 t)	碳排放量环比 增速(%)	碳排放强度 (kg/km <sup>2</sup> )	碳排放强度环比 增速(%)
1999	161.99	41.17	20.29	71.03	10.04	12.88	317.40		987.79	
2000	163.13	42.24	20.95	71.35	12.26	13.30	323.23	1.84	824.23	-16.56
2001	165.01	42.23	22.28	71.32	12.23	14.67	327.74	1.40	837.65	1.63
2002	165.08	42.91	24.64	71.30	12.16	15.12	331.21	1.06	851.22	1.62
2003	168.67	47.05	26.22	71.29	11.98	16.41	341.62	3.14	891.10	4.68
2004	181.98	54.02	30.42	71.50	11.93	17.90	367.75	7.65	963.59	8.13
2005	187.99	55.88	30.72	71.69	11.93	19.35	377.55	2.67	989.40	2.68
2006	189.99	5.54	32.87	71.87	11.84	19.75	331.86	-12.10	876.17	-11.44
2007	196.66	53.85	35.25	72.03	11.84	19.88	389.50	17.37	1 027.98	17.33
2008	200.06	55.63	35.98	72.19	11.85	21.13	396.84	1.88	1 047.24	1.87
2009	207.42	56.92	36.96	72.50	12.93	22.21	408.94	3.05	988.96	-5.57
2010	211.87	58.60	37.90	72.66	12.93	22.39	416.36	1.82	1 006.31	1.75
2011	217.17	59.42	39.33	73.61	12.93	23.41	425.89	2.29	1 029.29	2.28
2012	223.10	60.68	41.20	81.83	12.96	24.07	443.85	4.22	1 070.49	4.00
2013	222.28	61.33	42.69	73.76	12.97	24.73	437.77	-1.37	1 054.94	-1.45
2014	221.93	61.32	42.86	82.65	12.98	25.24	446.99	2.11	1 076.26	2.02
合计	3 084.33	798.79	520.56	1 172.58	195.76	312.44	6 084.50			
年均增速(%)	2.12	2.69	5.11	1.02	1.73	4.59	2.25		0.52	

3.1.1 总量演变特征 由表 1 和图 1 可知,一方面,湖南省农地利用碳排放总量由 1999 年的 317.40 万 t 增加到 2014 年的 446.99 万 t,增长率 40.83%,年平均增速 2.25%,农地利用碳排放量整体呈现不断上升趋势。另一方面,湖南省农地

利用碳排放的年际变化具有较大的波动性,尤其是 2002 年到 2008 年间,波动最大。其中,2004—2007 年环比增速回升的原因可能来自于中央以及湖南省自 2004 年连续颁布的惠农型文件,使得省域农业生产规模得到复苏与较大提升。

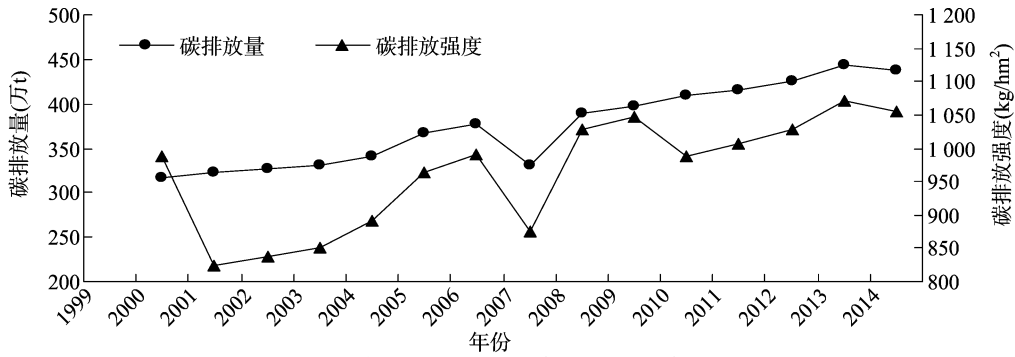


图1 1999—2014 年湖南省农地利用碳排放总量和碳排放强度变化

3.1.2 强度演变特征 由表 1 和图 1 可知,1999—2014 年,湖南省农地利用碳排放强度变化与其碳排放总量的变化保持一致,除 2000 年和 2006 年外,碳排放强度呈现整体上升的趋势,由 1999 年的 987.79 kg/hm² 增加到 2014 年的 1 076.26 kg/hm²,15 年间碳排放强度增幅为 8.22%。湖南省农地利用碳排放强度环比增速波动较大,增速最大的年份

达到 17.33%,但有 4 个年份的碳排放强度呈现逆增长,分别为 -16.56%、-11.44%、-5.57% 和 -1.45%。

3.2 湖南省农地利用碳排放空间差异分析

根据农业碳排放测算公式(1)测算 2010 年、2014 年 2 个年份湖南省 14 个地州市农地利用碳排放量和碳排放强度结果如表 2 所示。

表 2 2000 年与 2014 年湖南省农地利用碳排放量和碳排放强度

地区	2010 年		2014 年	
	碳排放总量(万 t)	碳排放强度(kg/hm²)	碳排放总量(万 t)	碳排放强度(kg/hm²)
株洲	19.745 3	796.694 1	20.452 8	977.295 0
长沙	35.049 4	1 266.283 1	36.454 8	1 333.581 4
湘潭	18.569 2	758.234 6	18.226 6	1 541.233 8
衡阳	42.703 7	738.205 6	46.919 6	1 230.323 8
益阳	40.589 5	1 533.183 7	39.990 4	1 380.501 1
邵阳	34.141 8	888.160 3	36.527 8	830.536 8
岳阳	51.728 0	1 001.587 3	54.401 8	1 606.905 0
常德	56.199 3	743.081 6	59.775 2	1 193.285 5
张家界	8.748 1	2 050.647 6	10.276 3	857.215 2
郴州	28.206 7	1 259.169 9	33.368 4	1 492.327 5
永州	34.901 9	1 173.648 2	38.681 2	1 077.769 6
怀化	22.461 9	1 204.391 6	24.083 0	711.356 8
娄底	15.084 3	1 044.906 4	15.424 8	422.320 7
湘西州	11.795 0	1 844.406 0	15.720 5	802.801 5

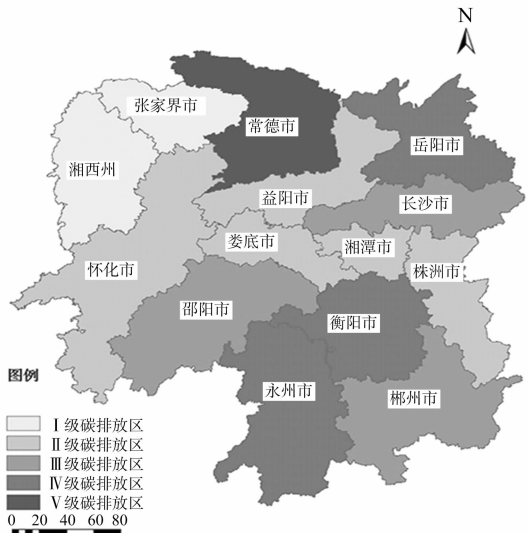
3.2.1 碳排放总量的空间差异分析 为更好地展示湖南省各地区之间农地利用碳排放量的差异和空间分布特征的演变,运用 ArcGIS 软件,把各地市的农地利用碳排放量划分为 5 个不同等级,得出 2 个年份湖南省农地利用碳排放量的空间分布(图 2-a 和图 2-b)。基于 ArcGIS 的湖南省农地利用碳排放总量空间差异分析表明,2010 年湖南省农地利用碳排放量排名前五的地区为常德、岳阳、衡阳、益阳、长沙,它们的农地利用碳排放总量为 226.269 9 万 t,占全省碳排放总量的 54.34%;2014 年湖南省农地利用碳排放量排名前五的地区为常德、岳阳、衡阳、益阳、永州,它们的农地利用碳排放总量为 239.768 2 万 t,占全省碳排放总量的 53.64%。一方面,湖南省各地区农地利用碳排放量差异明显,碳排放水平与地区产业结构相一致,以第一产业为主的岳阳、常德、衡阳地区

农地利用碳排放量也较大,而以工业为主的株洲和以旅游业为主的张家界、湘西州等城市,农业生产规模较小,故农地利用碳排放量较低;另一方面,从 2010 年、2014 年 2 个年份农地利用碳排放量的空间分布演变来看,湖南省农地利用高碳排放区始终分布在东北部和东南部,而且 2 个年份排名靠前的地区也大致相同,这些地区是农业碳减排的重点区域。

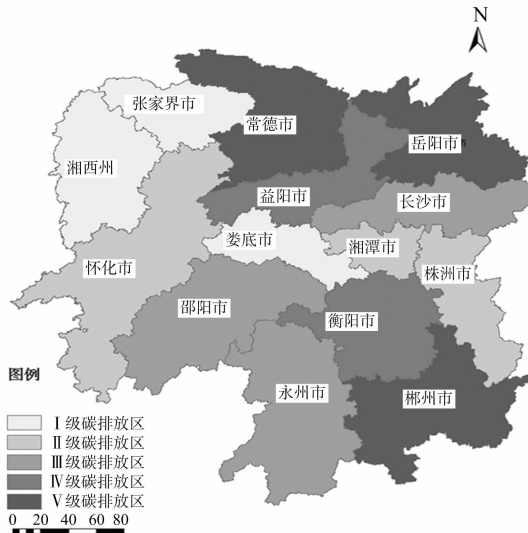
3.2.2 碳排放强度的空间差异分析 农地利用碳排放强度是单位种植面积产生的碳排放量,能够有效反映地区农地利用的碳排放水平,便于地区之间进行横向比较。为进一步清晰地展示湖南省各地区之间农地利用碳排放强度的空间差异和空间分布特征的演变,也运用 ArcGIS 软件,把各地州市的农地利用碳排放强度划分为 5 个不同等级,2 个年份湖南省农地利用碳排放强度的空间分布如图 2-c 和图 2-d 所示。

基于 ArcGIS 的湖南省农地利用碳排放强度空间差异分析表明,2010 年湖南省农地利用碳排放强度排名前五的地区分别为张家界、湘西州、益阳、长沙、郴州,它们的农地利用碳排放

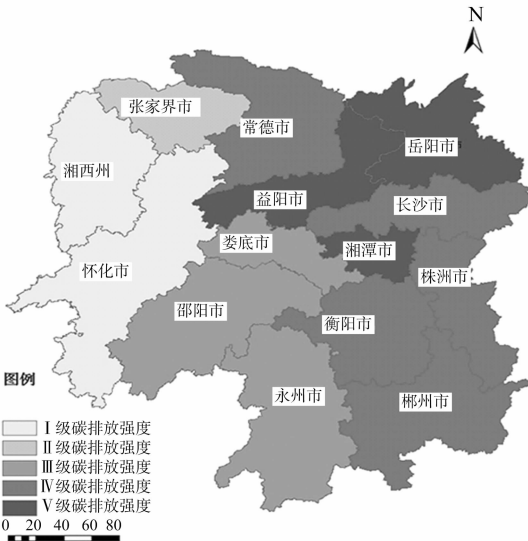
总强度为 7 953.690 2 kg/hm<sup>2</sup>, 占全省农地利用碳排放总强度的 48.79%;2014 年湖南省农地利用碳排放强度排名前五的地区分别为岳阳、湘潭、郴州、益阳、长沙,它们的农地利用碳



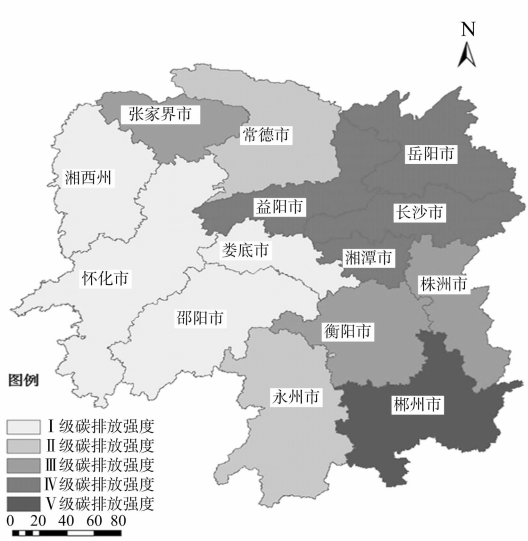
a. 2010年湖南省各市农地利用碳排放量空间分布



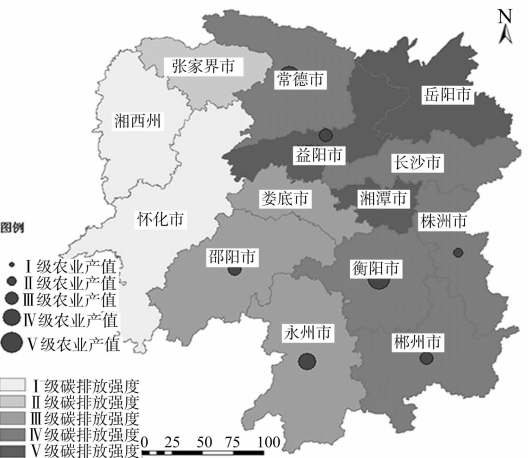
b. 2014年湖南省各市农地利用碳排放量空间分布



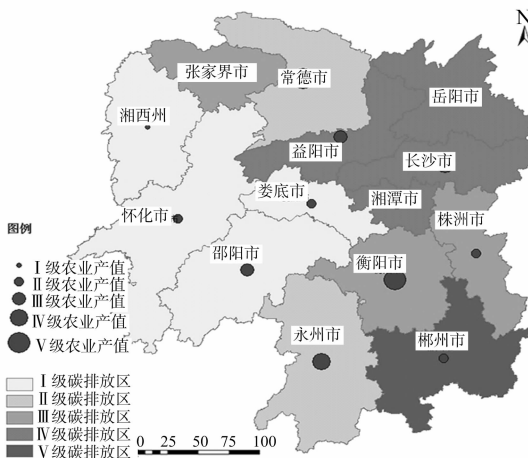
c. 2010年湖南省各市农地利用碳排放强度空间分布



d. 2014年湖南省各市农地利用碳排放强度空间分布



e. 2010年湖南省各市农地利用碳排放强度与农业经济水平



f. 2014年湖南省各市农地利用碳排放强度与农业经济水平

图2 湖南省农地利用碳排放空间分布

排放总强度为  $7\,354.548\,8\text{ kg/hm}^2$ , 占全省农地利用碳排放总强度的 47.58%, 其中岳阳的农地利用碳排放强度最大, 为  $1\,606.9\text{ kg/hm}^2$ 。

进一步分析, 2010 年碳排放强度最大的地区为张家界和湘西州, 是因为这 2 个地区的耕地面积都较少, 虽然总的碳排放量较低, 但是碳排放强度增加了。所以控制总的碳排放量才是降低农地利用碳排放的关键。湖南省农地利用碳排放强度在区域的空间分布集聚效应明显, 在地理位置上相邻的岳阳、益阳、长沙、湘潭均为农地利用高碳排放强度地区。由此可知, 湖南省农业碳减排战略可以重点考虑加强地区间合作, 实现产业互补, 进而提高区域整体农业生产效率, 以减少农业碳排放量。

**3.2.3 碳排放量与农业产值的组合空间格局分析** 为进一步探究影响湖南省农地利用碳排放空间格局的相关因素, 基于 GIS 的图层叠加功能, 将 2010 年、2014 年 2 个年份的湖南省农地利用碳排放量的空间分布图分别与各地州市的农业产值数据叠加, 其结果如图 2-e 和图 2-f 所示。可以看出, 如果把各地区碳排放量与农业经济水平进行排名, 并将二者排名顺序都进入前十的地区个数与总的地区个数比进行重合率分析, 则 2 个年份的重合率均可达到 100%。一方面, 湖南省农地利用碳排放量较高的区域, 其区域农业经济水平级别也较高, 进一步验证了地区农地利用碳排放水平与农业生产资料的投入和运用有着直接的关系。由此可知, 下一步, 湖南省农业碳减排可以重点从调整产业结构和改善提高农业生产资料使用效率入手。另一方面, 从 2010—2014 年湖南省农地利用碳排放量和农业产值的年均增长率来看, 农地利用碳排放水平是相对减弱的。因为农地利用碳排放量年均增长率为 1.76%, 而农业产值年均增长率为 11.22%。这主要是由于湖南省近年来农业生产技术的进步和生态文明意识的提高, 特别是现代农业的大力推广, 有效降低了区域农地利用碳排放量。

## 4 结论

本研究基于化肥、农药、农膜、灌溉、翻耕、柴油 6 类农业碳排放源, 测算了 1999—2014 年湖南省农地利用碳排放量和碳排放强度, 分析了湖南省农地利用碳排放时序特征, 基于 GIS 研究了湖南省农地利用碳排放量、碳排放强度的空间格局, 主要研究结论如下: (1) 1999—2014 年, 湖南省农地利用碳排放量与碳排放强度均呈现逐年增长趋势, 其中农地利用碳排放量由 1999 年的 317.40 万 t 增加到 2014 年的 446.99 万 t, 年均增长率为 2.25%, 农地利用碳排放强度由 1999 年的  $987.79\text{ kg/hm}^2$  增加到 2014 年的  $1\,076.26\text{ kg/hm}^2$ , 农地利用碳排放量与农地利用碳排放强度年均增长率分别为 2.25% 和 0.52%。对于湖南省来说仍然要注意农业碳排放量不断增长的态势, 湖南省农业碳减排压力仍然存在。(2) 湖南省各地州市的农地利用碳排放量在空间上呈现“东高西低”的特征, 农地利用碳排放总量排名前五的地区分别为常德、岳阳、衡阳、益阳、长沙, 与地区产业结构相一致, 农业比重大的地区农地利用碳排放量也较大; 农地利用碳排放强度排名前五的地区分别为岳阳、湘潭、郴州、益阳、长沙, 集聚效应

明显; 湖南省农地利用高碳排放区始终分布在东北部和东南部, 是未来农业碳减排的重点区域。(3) 基于 GIS 图层叠加功能的湖南省农地利用碳排放与农业经济水平空间格局演变特征表明, 湖南省农地利用碳排放量水平与农业生产资料的投入和运用有着直接的关系。从 2010 年到 2014 年农地利用碳排放量和农业产值的年均增长率可以看出, 湖南省农地利用碳排放水平是相对减弱的。

## 参考文献:

- [1] 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近 50 年中国地面气候变化基本特征[J]. 气象学报, 2005, 63(6): 942–956.
- [2] 廖玉芳, 彭嘉栋, 崔巍. 湖南农业气候资源对全球气候变化的响应分析[J]. 中国农学通报, 2012, 28(8): 287–293.
- [3] Falkowski P, Scholes R J, Boyle E, et al. The global carbon cycle: a test of our knowledge of earth as a system[J]. Science, 2000, 290(5490): 291–296.
- [4] Juan A D, Emilio P. International inequalities in per capital CO<sub>2</sub> emissions: a decomposition methodology by Kaya factors[J]. Energy Economics, 2006, 57(2): 229–238.
- [5] Peeters P, Szirmai E, Duijnsveld M. Major environmental impacts of European tourist transport[J]. Journal of Transport Geography, 2007, 15(2): 83–93.
- [6] Panda M, Parikh J. CO<sub>2</sub> emissions structure of Indian economy[J]. Energy, 2009, 34(8): 1024–1031.
- [7] 赵先超, 朱翔, 周跃云. 基于碳均衡视角的湖南省碳排放与碳吸收时空差异分析[J]. 水土保持学报, 2012, 26(6): 158–163, 170.
- [8] Richmond A K, Kaufmann R K. Is there a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions? [J]. Ecological Economics, 2006, 56(2): 176–189.
- [9] Soytas U, Sari R. Energy consumption, economic growth, and carbon emissions: challenges faced by an EU candidate member [J]. Ecological Economics, 2009, 68(6): 1667–1675.
- [10] 吴贤荣, 张俊飏, 朱烨, 等. 中国省域低碳农业绩效评估及边际减排成本分析[J]. 中国人口资源与环境, 2014, 24(10): 57–63.
- [11] 张艳芳, 林亚辉. 陕西省农业投资活动碳排放时空变化与脱钩弹性[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2016, 44(3): 118–124.
- [12] 赵先超, 朱翔, 周跃云. 湖南省不同土地利用方式的碳排放效应及时空格局分析[J]. 环境科学学报, 2013, 33(3): 941–949.
- [13] 尧波, 郑艳明, 胡丹, 等. 江西省县域农业碳排放的时空动态及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(3): 311–318.
- [14] 揣小伟, 黄贤金, 郑泽庆, 等. 江苏省土地利用变化对陆地生态系统碳储量的影响[J]. 资源科学, 2011, 33(10): 1932–1939.
- [15] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2002, 91(1/2/3): 217–232.
- [16] 齐志勇, 王宏燕, 王江丽, 等. 陆地生态系统土壤呼吸的研究进展[J]. 农业系统科学与综合研究, 2003, 5(2): 116–119.