

基于 LMDI 的兰州市农业碳排放现状及影响因素分析

何炫蕾^{1,2} 陈兴鹏^{1,2*} 庞家幸^{1,2}

(1. 兰州大学 资源环境学院,兰州 730000;

2. 兰州大学 中国西部循环经济研究中心,兰州 730000)

摘要 通过构建碳排放研究指标体系,测算各县区农业碳排放特征,并分析其演变规律;以碳排放量测算结果为基础,采用 LMDI 分析方法分析兰州市农业碳排放影响因素分析。结果表明:兰州市近 13 年的农业碳排放总量呈现明显增长趋势,碳排放强度呈逐年下降趋势;土地翻耕产生的碳排放最大,占比超过 40%;2015 年兰州市各县农业碳排放差异较大,呈现边缘增长的结构,其中榆中县、永登县、皋兰县三县农业碳排放总量占总排放量 83.55%;农业经济发展对碳排放量增加呈现正效应,是导致农业碳排放增加的关键因素,而农业碳排放强度、产业结构对碳排放量增加有负向影响。本研究建议未来兰州市在农业发展过程中应积极提倡土地轮作休耕,适当减少农药、化肥等使用量,推广种植绿肥作物;加大推进规模化发展,大力发展生态农业,加快传统农业向现代农业转变,推进兰州农业碳减排工作顺利进行。

关键词 农业碳排放; LMDI 因素分解模型; 影响因素; 空间差异

中图分类号 F329.9

文章编号 1007-4333(2018)07-0150-09

文献标志码 A

Analysis on the status and influencing factors of agricultural carbon emissions in Lanzhou based on LMDI

HE Xuanlei^{1,2}, CHEN Xingpeng^{1,2*}, PANG Jiaying^{1,2}

(1. College of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Circular Economy Simulation Laboratory, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract This study took the agricultural statistics data of Lanzhou from 2003 to 2015 as the foundation to calculate the agricultural carbon emission characteristics and evolution through the construction of index system, and used the LMDI analysis method to analysis the influence factors of agricultural carbon emissions from 5 aspects, which includes the agricultural carbon emission intensity, industrial structure, agricultural structure, economic factors and demographic factors. The results showed that: The agricultural carbon emissions of Lanzhou was significant growth trend nearly 13 years, but the intensity of carbon emissions decreased year by year; The land ploughing was the largest proportion of carbon emissions, accounting for more than 40%; The carbon emissions was produced by agricultural film, fertilizer, irrigation and the use of machinery accounted for the second; Agricultural economic development had the greatest impact on carbon emissions, while the demographic factors and agricultural structure factors took second place. The carbon emission intensity of agriculture, industrial structure had an effect on carbon emissions; The top three agricultural carbon emissions in 2015 were Yuzhong, Yongdeng and Gaolan, their total carbon emissions accounted for 83.55%. The results suggested that Lanzhou should actively promote land rotation fallow in the process of agricultural development in the future, reduce the use of pesticides, chemical fertilizers and promote the cultivation of green manure crops, large-scale development, develop ecological agriculture, accelerate the transformation of traditional agriculture to modern agriculture and promote the smooth implementation of agricultural carbon emission reduction in Lanzhou.

Keywords agricultural carbon emissions; LMDI factor decomposition model; influence factor; spatial difference

收稿日期: 2017-08-17

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41471462); 兰州大学中央高校基本科研业务费专项资金(lzujbky-2017-42)

第一作者: 何炫蕾, 硕士研究生, E-mail: hexl15@lzu.edu.cn

通讯作者: 陈兴鹏, 教授, 主要从事循环经济与区域可持续发展研究, E-mail: chenxp_lanzhou@126.com

碳排放引起的全球气候变化已经深入人类生产生活,甚至威胁到人类的生存。随着社会经济不断发展,农业碳排放源日益复杂。研究表明,随着农民生产生活水平进一步提高,农村能源、化肥和农药引起的碳排放量均呈增长态势^[1]。

回顾相关文献,目前对农业碳排放的研究热点主要集中在以下方面:1)农业碳排放测算。田云等^[2]对中国农业碳排放量进行测算,结果证实碳排放量总体呈现“上升—下降—上升”的阶段性变化特征,农业大省尤其是粮食主产区是农业碳排放的主要源头地区;何艳秋等^[3]从时间、空间纬度分析了全国农业碳排放主导因素的阶段性特征及地区农业碳排放主导因素的区域差异,可知农业经济结构对农业碳排放的主导性东部最强,中部最弱,农业经济规模对农业碳排放的主导性西部最强,中部最弱;刘治国等^[4]对山西省农业碳排放总量、时空分布特征、构成比等进行研究,结果表明山西省农业碳排放总量呈逐年递增趋势,运城、临汾、晋中碳排放总量较大,农田秸秆露天焚烧的碳排放量总量最大;高标等^[5]以白城市为例,对区域农业碳排放进行计算,分析其时序演变过程,可知白城市农业碳排放量的时序变化分低速增长、高速增长以及波动3个阶段,总体呈现先升后降的状态,其中化肥和水稻种植为其中较活跃的增长因素;闫吉^[6]基于农业物质资料投入和农业生产过程中的化肥、农药、农膜、农用柴油、翻耕和灌溉6个方面的碳源,重点测算了吉林省1990—2013年及各市州2013年的农业碳排放量以及碳排放强度,分析了吉林省农业碳排放的时空特征与驱动因素,提出了促进农业碳减排的政策与建议。2)碳排放影响因素分析。在农业碳排放驱动因素的研究方面,由于LMDI分解方法分解后无残差项、加法分解与乘法分解可以相互转化、操作简便的特点,使得近年来该模型在农业碳排放的分解中得到了广泛应用。李政通等^[7]对东北三省的农业碳排放进行测度,基于LMDI模型将其分解为碳排放强度、农业收入、就业结构与人口总量4种驱动效应。研究结果表明农用资本与农地利用带来的碳排放是东北地区的主要碳源,其次是牲畜养殖碳排放;文清等^[8]测算了中国30个省(直辖市、自治区)农业碳排放量,通过使用LMDI模型分析得到效率因素是制约农业碳排放增加的关键性因素,而经济因素导致各地区农业碳排放增加的关键性因素。

综上所述,目前农业碳排放研究多是对国家或

省级层面广义农业(农林牧渔业)碳排放进行测算与影响因素的宏观分析^[9-18],而在仅研究种植业碳排放这个方面研究成果较少,在地区层面,特别是对西北地区的研究成果相对较少^[19-22]。因此本研究借鉴近年来已有研究,使用LMDI因素分解法对兰州市农业(种植业)碳排放进行测算及分析,构建碳排放测算体系,考察碳排放总量的时序演变、空间差异、结构特征以及影响因素,全面分析兰州市种植业碳排放构成及影响因素,为未来兰州市农业碳减排研究、政策制定提供一定参考。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区域概况

兰州市位于中国西北部、甘肃省中部,气候类型属于北温带半干旱大陆性季风气候。截至2015年底,兰州市完成第一产业增加值56.22亿元,比上年增长5.9%。兰州市土地面积为 $139.9953 \times 10^4 \text{ hm}^2$,其中耕地面积 $20.43 \times 10^4 \text{ hm}^2$,农作物播种面积 $23.65 \times 10^4 \text{ hm}^2$;化肥折纯使用量 $4.73 \times 10^4 \text{ t}$,农膜使用量 $1.05 \times 10^4 \text{ t}$ 。

1.2 研究方法

1.2.1 农业碳排放测算指标体系构建

本研究主要研究分析2003—2015年兰州市种植业发展使用的化肥、地膜、灌溉、农用机械以及耕地翻耕过程中产生的碳排放(考虑到数据的可获取性,本研究不涉及农药使用中的碳排放),构建测算模型^[23]如下:

$$C_{\text{总}} = E_h + E_n + E_g + (E_f + E_j) = A \times G_f + B \times G_n + C \times A_i + (D \times A_m + F \times W_m) \quad (1)$$

式中: $C_{\text{总}}$ 为兰州市农业碳排放总量; E_h 、 E_n 、 E_j 分别为耕地化肥、地膜以及农用机械使用所产生的碳排放; E_g 为灌溉过程中产生的碳排放; E_f 为翻耕过程中产生的碳排放; G_f 为化肥折纯量; G_n 为地膜使用量; A_i 为有效灌溉面积; A_m 为农作物播种面积; W_m 为农业机械总动力; A 、 B 、 C 、 D 、 F 为碳排放系数,碳排放系数如表1:

本研究将碳排放总量以及碳排放强度增长速度定义为末期增长量与基期发展水平之比,即:

$$\begin{aligned} \text{增速}_{C_{\text{总}}} &= \frac{C_{\text{总}(t+1)} - C_{\text{总}t}}{C_{\text{总}t}} \times 100\% \\ \text{增速}_{C_{\text{强度}}} &= \frac{C_{\text{强度}(t+1)} - C_{\text{强度}t}}{C_{\text{强度}t}} \times 100\% \end{aligned} \quad (2)$$

表1 农业碳排放源及碳排放系数

Table 1 Agricultural carbon emission source and coefficient

| 碳排放源 Carbon source | 碳排放系数 Carbon emission coefficient | 文献来源 Reference source |
|------------------------------|--|--------------------------------------|
| 化肥 Fertilizer | 895.6 kg/t | West T O ^[24] 、美国橡树岭国家实验室 |
| 地膜 Plastic film | 0.005 18 kg/t | IREEA |
| 农业灌溉 Agricultural irrigation | 266.48 kg/hm ² | 段华平等 ^[25] |
| 农业翻耕 Agricultural plowing | 312.6 kg/hm ² ^[23] | 中国农业大学生物与技术学院 |
| 农用机械 Agricultural machine | 0.18 kg/kW | 朱巧娴等 ^[26] |

注:IREEA为南京农业大学农业资源与生态环境研究所;农业翻耕碳排放指土地翻耕过程中有机碳释放量;农用机械包括农业生产、灌溉过程中使用的所有机械。

Note:IREEA is the Agricultural Resources and Ecological Environment Research Institute of Nanjing Agricultural University;Agricultural tillage carbon emissions refers to the amount of organic carbon released during land tillage;Agricultural machinery includes all the machinery used in agricultural production and irrigation.

1.2.2 农业碳排放影响因素分解模型

本研究选取 LMDI 分解法^[27]主要从农业碳排放强度、产业结构、农业结构、经济因素以及人口因素 5 个方面进行分解:

$$C_{\text{总}} = \frac{C_{\text{总}}}{\text{GDP}_{\text{zy}}} \times \frac{\text{GDP}_{\text{zy}}}{\text{GDP}_{\text{yc}}} \times \frac{\text{GDP}_{\text{yc}}}{\text{GDP}_{\text{z}}} \times \frac{\text{GDP}_{\text{z}}}{P_{\text{z}}} \times P_{\text{z}}$$

$$CI = \frac{C_{\text{总}}}{\text{GDP}_{\text{zy}}} \quad AI = \frac{\text{GDP}_{\text{zy}}}{\text{GDP}_{\text{yc}}}$$

$$SI = \frac{\text{GDP}_{\text{yc}}}{\text{GDP}_{\text{z}}} \quad EI = \frac{\text{GDP}_{\text{z}}}{P_{\text{z}}}, \quad (3)$$

式中: $C_{\text{总}}$ 为农业碳排放总量; GDP_{zy} 、 GDP_{yc} 和 GDP_{z} 分别为兰州市全年种植业、第一产业、生产总值; P_{z} 为兰州市总人口; CI 为农业碳排放强度因素; AI 为农业生产结构因素; SI 为产业结构因素; EI 为经济因素,则有:

$$C_{\text{总}} = CI \times AI \times SI \times EI \times P \quad (4)$$

对式(4)取对数并进行加和分解等处理,得到各分解因素贡献值表达式如下:

$$\Delta CI = \frac{C_{\text{总}}^T - C_{\text{总}}^0}{\text{LNC}_{\text{总}}^T - \text{LNC}_{\text{总}}^0} \times (\text{LN } CI^T - \text{LN } CI^0)$$

$$\Delta AI = \frac{C_{\text{总}}^T - C_{\text{总}}^0}{\text{LNC}_{\text{总}}^T - \text{LNC}_{\text{总}}^0} \times (\text{LN } AI^T - \text{LN } AI^0)$$

$$\Delta SI = \frac{C_{\text{总}}^T - C_{\text{总}}^0}{\text{LNC}_{\text{总}}^T - \text{LNC}_{\text{总}}^0} \times (\text{LN } SI^T - \text{LN } SI^0)$$

$$\Delta EI = \frac{C_{\text{总}}^T - C_{\text{总}}^0}{\text{LNC}_{\text{总}}^T - \text{LNC}_{\text{总}}^0} \times (\text{LN } EI^T - \text{LN } EI^0)$$

$$\Delta P = \frac{C_{\text{总}}^T - C_{\text{总}}^0}{\text{LNC}_{\text{总}}^T - \text{LNC}_{\text{总}}^0} \times (\text{LN } P_{\text{z}}^T - \text{LN } P_{\text{z}}^0) \quad (5)$$

根据处理过程可知,各因素贡献值的总效应为:

$$\Delta C_{\text{总}} = \Delta CI + \Delta AI + \Delta SI + \Delta EI + \Delta P_{\text{z}} \quad (6)$$

为了能够更好的表示各分解因素对农业碳排放总量的贡献程度,本研究对各因素的贡献率进行测算,总体贡献率测算过程以及表达式如下:

$$D = \frac{C_{\text{总}}^T}{C_{\text{总}}^0} = \frac{CI^T \times AI^T \times SI^T \times EI^T \times P_{\text{z}}^T}{CI^0 \times AI^0 \times SI^0 \times EI^0 \times P_{\text{z}}^0}$$

则各因素贡献率表达式为:

$$D_{CI} = \frac{CI^T}{CI^0} \quad D_{AI} = \frac{AI^T}{AI^0} \quad D_{SI} = \frac{SI^T}{SI^0}$$

$$D_{EI} = \frac{EI^T}{EI^0} \quad D_{P_{\text{z}}} = \frac{P_{\text{z}}^T}{P_{\text{z}}^0} \quad (7)$$

式中: D_{CI} 、 D_{AI} 、 D_{SI} 、 D_{EI} 、 $D_{P_{\text{z}}}$ 分别代表碳排放强度、农业生产结构、产业结构、经济因素以及人口因素对农业碳排放的贡献率。

1.2.3 数据来源

本研究使用的机械、化肥、农膜、灌溉、翻耕、农林牧渔总产值以及总人口等数据均来自 2003—2015 年《兰州市统计年鉴》,其中,化肥施用量为当年化肥折纯量;农膜使用数据以当年实际使用量为准;灌溉面积以当年有效灌溉面积为准;翻耕面积则以当年农作物实际播种面积为准(考虑到数据的可获取性,本研究暂不涉及研究区域内农药使用中的碳排放以及兰州新区的农业碳排放情况)。

2 测算结果及分析

根据式(1)计算出兰州市 2003—2015 年间的农业碳排放总量及其增长速度,结果见表 2:

表 2 2003—2015 年兰州市农业碳排放状况

Table 2 Status of agricultural carbon emissions in Lanzhou during 2003—2015

| 年份 Year | 机械/ 10^4 t Mechanical | 化肥/ 10^4 t Fertilizer | 农膜/ 10^4 t Plastic film | 灌溉/ 10^4 t Irrigation | 翻耕/ 10^4 t Tillage | 碳排放总量/ 10^4 t Total carbon emissions | 增速/% Growth rate |
|-------------|----------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|-------------------------|---|---------------------|
| 2003 | 0.022 2 | 3.061 2 | 2.657 3 | 2.068 9 | 6.230 7 | 14.040 3 | — |
| 2004 | 0.022 6 | 3.433 2 | 2.586 4 | 2.069 8 | 6.177 5 | 14.289 5 | 1.77 |
| 2005 | 0.023 3 | 4.034 2 | 2.645 0 | 2.074 7 | 6.370 4 | 15.147 6 | 6.01 |
| 2006 | 0.023 4 | 3.694 7 | 2.783 7 | 2.079 7 | 6.321 8 | 14.903 3 | -1.61 |
| 2007 | 0.024 4 | 3.431 8 | 3.126 1 | 2.090 0 | 6.481 4 | 15.153 7 | 1.68 |
| 2008 | 0.025 2 | 3.520 9 | 3.381 9 | 2.101 4 | 6.485 6 | 15.515 0 | 2.38 |
| 2009 | 0.024 6 | 3.640 4 | 3.639 2 | 2.118 4 | 6.699 8 | 16.122 4 | 3.91 |
| 2010 | 0.025 3 | 3.826 5 | 4.281 9 | 2.126 1 | 6.702 8 | 16.962 6 | 5.21 |
| 2011 | 0.026 1 | 3.934 5 | 4.520 1 | 2.046 3 | 6.882 9 | 17.410 0 | 2.64 |
| 2012 | 0.027 6 | 4.057 8 | 4.713 6 | 2.180 5 | 6.982 0 | 17.961 4 | 3.17 |
| 2013 | 0.028 7 | 4.316 0 | 5.796 3 | 2.173 2 | 7.229 7 | 19.544 0 | 8.81 |
| 2014 | 0.029 5 | 4.271 7 | 5.082 6 | 2.144 5 | 7.333 2 | 18.861 5 | -3.49 |
| 2015 | 0.031 2 | 4.238 5 | 5.425 0 | 2.171 4 | 7.394 2 | 19.260 4 | 2.11 |
| 平均值 Mean | 0.025 7 | 3.804 7 | 3.895 3 | 2.111 1 | 6.714 8 | 16.552 0 | 2.716 0 |

2.1 兰州市农业碳排放时序演变规律分析

2.1.1 农业碳排放总量及其变化

由表 2 可知,兰州市 2003—2015 年农业碳排放总量总体呈明显增长趋势,2015 年农业碳排放总量相较于 2003 年增加 37% 以上,年均增长 18.37%,总量增加 5.23×10^4 t。2005、2010 和 2013 年增速分别为 6.01%、5.21% 和 8.81%,其中 2005 年农业碳排放增长主要来自化肥,占增长量的 70.04%;2010 年、2013 年农业碳排放增长均来自农膜的大量使用,分别占增长量的 76.5% 和 68.42%。2003—2015 年间,2006 和 2014 年两年的农业碳排放总量增速为负值,分别为 -1.61%、-3.49%。2006 年兰州市农作物播种面积相较于 2005 年降低 1 600 hm^2 ,化肥施用量、土地翻耕量减少,导致碳排放减少;通过加快传统农业向现代农业转变,减少农药、化肥以及农膜的使用,使得 2014 年兰州市农业碳排放总量有所减少。

2.1.2 农业碳排放强度及其变化

由于受到资源总量基数的影响,本研究引入碳排放强度来对兰州市各县区农业碳排放程度进行客观的横向评价。本研究将农业碳排放强度定义为每万元种植业总产值引发的碳排放量, t/万元。根据农业碳排放总量以及种植业总产值,计算兰州市 2003—2015 年的农业碳排放强度(表 3),2003—

表 3 2003—2015 年兰州市农业碳排放强度

Table 3 Agricultural carbon emission intensity in Lanzhou during 2003—2015

| 年份 Year | 排放强度/(t/万元) Emission intensity | 增速/% Growth rate |
|-------------|-----------------------------------|---------------------|
| 2003 | 0.597 | — |
| 2004 | 0.564 | -5.388 |
| 2005 | 0.547 | -3.075 |
| 2006 | 0.526 | -3.851 |
| 2007 | 0.456 | -13.367 |
| 2008 | 0.425 | -6.652 |
| 2009 | 0.402 | -5.392 |
| 2010 | 0.403 | 0.181 |
| 2011 | 0.345 | -14.320 |
| 2012 | 0.332 | -4.004 |
| 2013 | 0.307 | -7.386 |
| 2014 | 0.271 | -11.812 |
| 2015 | 0.258 | -4.894 |
| 平均值 Mean | 0.418 | -6.663 |

2015年兰州市碳排放强度整体呈下降趋势,每万元种植业总产值所引发的碳排放量由2003年的0.597 t下降到2015年的0.258 t。

2.1.3 农业碳排放结构及其变化

从图1可知,近年来兰州市各个碳排放源引起的碳排放量均呈现增加的趋势。兰州市农作物实际播种面积较大,频繁的土地翻耕活动导致土壤有机质分解速度加快,土壤中的有机碳释放量增加,使得土地翻耕引起的碳排放成为兰州市农业碳排放的最大碳排放源,平均占比超过40%;农膜、化肥使用引起碳排放的平均占比分别为23.11%、23.05%,

2009年之后农膜使用引起的碳排放增长速度高于化肥碳排放增长速度,主要由于2009年之后兰州市大力发展设施农业,覆盖农作的迅猛发展,使得兰州市农膜使用量大幅增加,使得碳排放由2003年的 2.66×10^4 t达到2015年的 5.43×10^4 t;农田灌溉碳排放主要由灌溉设备使用过程中消耗的化石燃料引起,增速较小,平均占比为12.89%;机械使用引起的碳排放指农机设备(不包括灌溉设备)使用过程中消耗的化石燃料引起的碳排放,平均占比仅有0.16%,排放量最少,由此可知兰州市农业机械化水平相对较低。

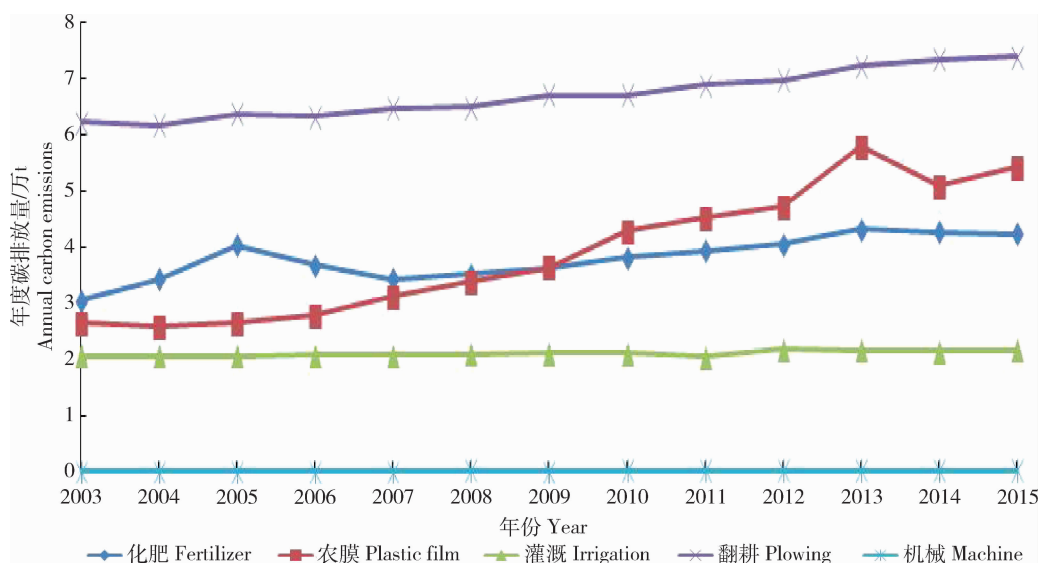


图1 兰州市2003—2015年碳排放结构及变化情况

Fig. 1 Carbon emission structure and its change in Lanzhou during 2003—2015

2.2 兰州市农业碳排放影响因素分析

从碳排放强度、农业生产结构、农业产业结构、经济因素以及人口因素共5方面对兰州市农业碳排放进行影响因素分解分析,分解测算结果见表4。

分析测算结果中各影响因素变化所引起的碳排放变化量为正值,表示该因素对碳排放的变化呈现正效应;反之,则为负效应。由表4可知,经济、人口以及农业结构的测算值为正值,呈正效应,其中由于经济发展累计增加的碳排放量为 25.52×10^4 t,农业结构改善以及人口规模扩大引起的累计碳排放增加量分别为 0.98×10^4 t和 0.87×10^4 t,经济发展是引发碳排放增量增长的主要因素;碳排放强度和产业结构的测算值为负值,对农业碳排放的增长呈抑制作用。碳排放强度及产业结构的调整分别使兰

州市农业碳排放的累积量减少 13.18×10^4 t和 7.70×10^4 t,主要抑制因素为碳排放强度因素,各因素碳排放变化量见图2。

经济发展因素对农业碳排放总量的贡献值高于整体变化值,平均贡献率为1.14;人口及农业结构引起的碳排放量变化值除2006、2007和2014年高于整体变化情况,其余年份均低于整体的变化情况。因此,如何实现农业经济发展与碳排放总量的脱钩,将成为未来兰州市农业可持续发展的关键。

抑制作用较大的为农业碳排放强度因素,从2004年开始其对碳排放的抑制作用逐渐增加,但抑制作用波动较大。产业结构对碳排放的抑制从2012年起逐渐减弱。因此,要减少农业碳排放,主要从产业结构转型升级开始。

表 4 兰州市农业碳排放影响因素贡献值

Table 4 Contribution of agricultural carbon emission factors in Lanzhou

t

| 年份 Year | 碳排放强度 ΔCI Carbon emission intensity | 农业结构 ΔAI Agricultural structure | 产业结构 ΔSI Industrial structure | 人口 ΔP_z Population | 经济 ΔEI Economics | 整体 $\Delta C_{总}$ Overall |
|--------------------------|---|---|---|-------------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| 2004 | 2 491.71 | -5 344.90 | -4 555.41 | 1 734.54 | 18 502.38 | 12 828.33 |
| 2005 | -5 929.31 | 3 283.43 | -10 076.33 | 2 223.89 | 21 571.06 | 11 072.73 |
| 2006 | -5 901.05 | -1 028.37 | -13 340.24 | 912.97 | 16 913.55 | -2 443.13 |
| 2007 | -21 563.18 | 4 774.24 | -1 407.40 | 2 678.41 | 18 021.88 | 2 503.96 |
| 2008 | -10 555.13 | 3 672.12 | -11 804.37 | 1 434.04 | 20 866.79 | 3 613.45 |
| 2009 | -8 767.33 | 2 353.17 | -1 525.36 | 641.62 | 13 371.60 | 6 073.70 |
| 2010 | 298.29 | -230.42 | -20 207.11 | -25.56 | 28 566.33 | 8 401.53 |
| 2011 | -26 559.65 | -1 215.24 | -4 156.74 | -127.53 | 36 533.20 | 4 474.04 |
| 2012 | -7 225.71 | 826.95 | -12 844.99 | -976.34 | 25 734.65 | 5 514.57 |
| 2013 | -14 379.62 | 1 662.54 | -740.69 | -52.47 | 29 336.12 | 15 825.89 |
| 2014 | -24 135.63 | 474.42 | -417.31 | 125.40 | 17 128.12 | -6 825.00 |
| 2015 | -9 564.95 | 641.90 | 4 066.22 | 154.01 | 8 691.65 | 3 988.83 |
| 总计 Total | -131 791.57 | 9 869.85 | -77 009.72 | 8 723.00 | 255 237.34 | 65 028.91 |
| 贡献率 Contribution rate | 0.94 | 1.00 | 0.96 | 1.00 | 1.14 | 1.03 |

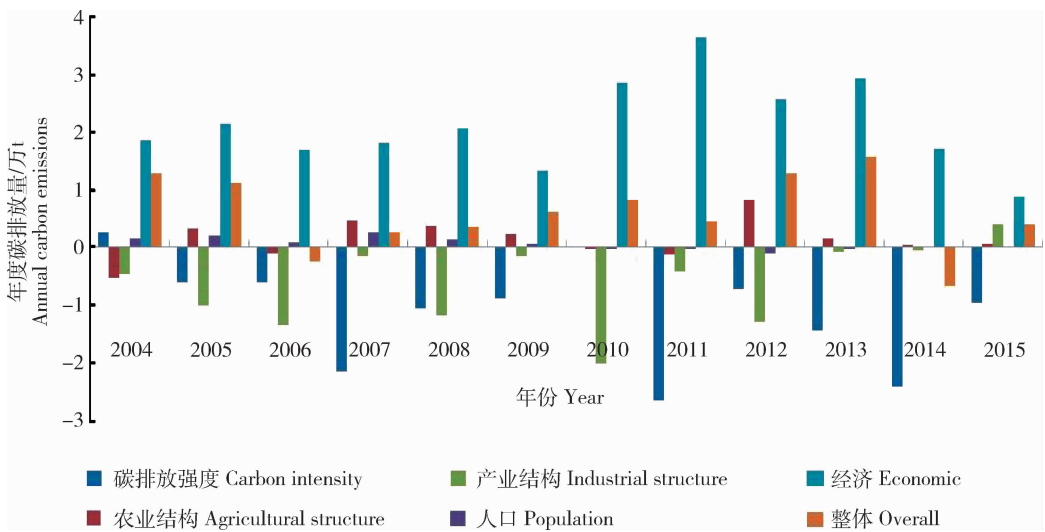


图 2 兰州市各因素农业碳排放变化量
Fig. 2 Changes of agricultural carbon emissions in Lanzhou

2.3 兰州市农业碳排放空间差异分析

以2015年农业碳排放为基础,分析不同县区农业碳排放总量、强度以及结构方面的差异,因缺失农膜使用量,本研究仅从化肥、机械、翻耕和灌溉4个方面进行测算,测算结果见表5。

从表5可知,2015年兰州市农业碳排放呈边缘化分布,榆中、永登、皋兰农业发展势头强,是兰州市农业大县,其碳排放总量占兰州市总量的83.55%。由于三县耕地面积、灌溉面积以及播种面积均排在

全市前三位,且设施农业以及覆盖农业的大力发展,化肥、农药等生产资料使用量以及土地翻耕面积、翻耕灌溉机械使用量均大于其余各县,使得碳排放量增加。各县农业碳排放来源均存在差异,其中红古区及西固区农业碳排放主要由化肥碳排放引起,碳排放占比分别为51%、42%,其余县区农业碳排放主要来源均为翻耕引发的有机碳流失。因此加快农业传统发展模式向现代化农业的转变,是减少农业碳排放的主要途径之一。

表5 2015年兰州市农业碳排放总量及结构

Table 5 Total amount, structure of China agricultural carbon emissions in 2015

| 地区 Region | 化肥碳排放量 Fertilizer | | 机械碳排放量 Mechanical | | 翻耕碳排放量 Tillage | | 灌溉碳排放量 Irrigation | | 合计/t Total |
|------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|-------------------|------------|----------------------|------------|---------------|
| | 总量/t | 比重/% | 总量/t | 比重/% | 总量/t | 比重/% | 总量/t | 比重/% | |
| | Total | Proportion | Total | Proportion | Total | Proportion | Total | Proportion | |
| 榆中县 Yuzhong | 19 093 | 37 | 77 | 0 | 27 755 | 53 | 5 279 | 10 | 52 205 |
| 永登县 Yongdeng | 8 044 | 21 | 81 | 0 | 24 450 | 64 | 5 872 | 15 | 38 448 |
| 皋兰县 Gaolan | 4 269 | 31 | 58 | 0 | 6 685 | 49 | 2 739 | 20 | 13 752 |
| 七里河区 Qilihe | 2 316 | 33 | 29 | 0 | 3 435 | 49 | 1 114 | 17 | 6 953 |
| 红古区 Honggu | 3 912 | 51 | 33 | 0 | 2 672 | 35 | 1 169 | 14 | 7 728 |
| 西固区 Xigu | 1 857 | 42 | 26 | 1 | 1 833 | 41 | 714 | 16 | 4 430 |
| 城关区 Chengguan | 324 | 25 | 7 | 1 | 635 | 50 | 307 | 24 | 1 273 |
| 安宁区 Anning | 35 | 20 | 0.27 | 0 | 90 | 51 | 52 | 29 | 177 |

3 结论

通过计算可知:1)兰州市近13年的农业碳排放总量总体呈明显增长趋势,2015年相较于2003年的碳排放总量增长率超过37%,碳排放强度呈逐年下降趋势;2)兰州市碳排放总量中,土地翻耕>农膜>化肥>灌溉>农业机械使用;3)农业经济发展对

兰州市农业碳排放总量影响最大,平均贡献率为1.14,人口因素以及农业结构因素的影响次之,农业碳排放强度以及产业结构对农业碳排放量增加有减缓的作用,主要表现在农业碳排放强度方面,其对碳排放量的平均贡献率为0.94(<1),产业结构的减排效率相对较小;4)兰州市8个县(区)2015年农业碳排放量主要集中在榆中县、永登县和皋兰县,三县碳排

放总量占兰州市总量的 83.55%, 其余县区排名依次为红古区、七里河区、西固区、城关区、安宁区, 农业碳排放总量仅占兰州市总量的 16.45%; 其中红古区、西固区农业碳排放主要由化肥大量使用引起, 其余县区农业碳排放主要来源均为翻耕引发的有机碳流失。

4 讨论

本研究通过计算兰州市农业生产过程中的化肥、农膜、农业机械、土地翻耕以及灌溉用电引发的碳排放, 对其县域层面 2004—2015 年农业碳排放总量、碳排放强度、碳排放构成、空间差异以及碳排放影响因素进行了分析, 所得研究结论可为兰州市农业碳减排提供政策依据。在兰州市农业未来发展中, 应根据各县区不同的农业碳排主导因素, 因地制宜地采取具有差异化的农业减排手段, 针对碳排放总量较大的榆中县、永登县、皋兰县和红古区, 应进一步减少传统农业比重, 加大推进农业规模化发展, 积极推广现代化农业种植、灌溉技术, 大力发展生态农业、休闲观光农业以及都市农业等现代化农业, 积极提倡土地轮作休耕, 在保证农业产出不降低的前提下, 适当减少农药、化肥等使用量, 增施有机肥, 推广种植绿肥作物; 针对其余碳排放较少区域, 未来应努力提高农业生产效率, 提升农业发展质量, 助推兰州市农业碳减排工作顺利进行。

参考文献 References

[1] 董红敏, 李玉娥, 陶秀萍, 彭小培, 李娜, 朱志平. 中国农业温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报, 2008, 133(10): 269-273
Dong H M, Li Y E, Tao X P, Peng X P, Li N, Zhu Z P. China greenhouse gas emissions from agricultural activities and its mitigation strategy[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 133(10): 269-273 (in Chinese)

[2] 田云, 张俊飏, 李波. 中国农业碳排放研究: 测算、时空比较及脱钩效应[J]. 资源科学, 2012, 34(11): 2097-2105
Tian Y, Zhang J B, Li B. Agricultural carbon emissions in China: Calculation, spatial-temporal comparison and decoupling effects[J]. *Resources Science*, 2012, 34(11): 2097-2105 (in Chinese)

[3] 何艳秋, 戴小文. 中国农业碳排放驱动因素的时空特征研究[J]. 资源科学, 2016, 38(9): 1780-1790
He Y Q, Dai X W. Phase characteristics and regional differences in agriculture carbon emissions in China [J]. *Resources Science*, 2016, 38(9): 1780-1790 (in Chinese)

[4] 刘治国, 张红, 李炜, 阎寒冰. 山西省农业碳排放总量及时空特

征研究[J]. 中国农学通报, 2017, 33(8): 124-129
Liu Z G, Zhang H, Li W, Yan H B. Agricultural carbon emission and spatiotemporal distribution in Shanxi Province [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2017, 33(8): 124-129 (in Chinese)

[5] 高标, 房骄, 卢晓玲, 李玉波. 区域农业碳排放与经济增长演进关系及其减排潜力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 13-18
Gao B, Fang J, Lu X L, Li Y B. Evolution relationship between agricultural carbon emissions and economic growth and its reduction potential[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(1): 13-18 (in Chinese)

[6] 闫吉. 吉林省农业碳排放特征及影响因素分析[D]. 长春: 吉林农业大学, 2016
Yan J. Impact and features on agricultural carbon emission of Jilin Province [D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2016 (in Chinese)

[7] 李政通, 白彩全, 肖薇薇. 基于 LMDI 模型的东北地区农业碳排放测度与分解[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(4): 145-152
Li Z T, Bai C Q, Xiao W W. The measurement and decomposition of agricultural carbon emissions in Northeast China based on LMDI model[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2017, 35(4): 145-152 (in Chinese)

[8] 文清, 田云, 王雅鹏. 中国农业碳排放省域差异与驱动机理研究: 基于 30 个省(市、区) 1993—2012 年的面板数据分析[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(11): 1-6
Wen Q, Tian Y, Wang Y P. Provincial differences and driving mechanism of agricultural carbon emission in China: Based on 30 provinces (cities, districts) 1993—2012 panel data analysis [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2015, 29(11): 1-6 (in Chinese)

[9] 高标, 房骄, 李玉波. 基于 STIRPAT 模型的区域农业碳排放影响因素分析[J]. 环境科学与技术, 2016, 39(10): 190-197.
Gao B, Fang J, Li Y B. Analysis on influence factors of regional agricultural carbon emissions based on STIRPAT model[J]. *Environmental Science & Technology*, 2016, 39(10): 190-197 (in Chinese)

[10] 戴小文, 何艳秋, 钟秋波. 基于扩展的 Kaya 恒等式的中国农业碳排放驱动因素分析[J]. 中国科学院大学学报, 2015, 32(6): 751-759
Dai X W, He Y Q, Zhong Q B. Analysis of CO₂ emission driving factors in China's agriculture based on expanded Kaya identity[J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2015, 32(6): 751-759 (in Chinese)

[11] 张广胜, 王珊珊. 中国农业碳排放的结构、效率及其决定机制[J]. 农业经济问题, 2014, 35(7): 18-26, 110
Zhang G S, Wang S S. Chinese agricultural carbon emission: Structure, efficiency and its determinants [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014, 35(7): 18-26, 110 (in Chinese)

[12] 李波, 张俊飏. 基于投入视角的我国农业碳排放与经济发展脱钩研究[J]. 经济经纬, 2012, 149(4): 27-31

- Li B, Zhang J B. Decoupling of Chinese agriculture carbon emissions and economic development based on the input perspective[J]. *Economic Survey*, 2012, 149(4): 27-31 (in Chinese)
- [13] Wang F, Wu L H, Yang C. Driving factors for growth of carbon dioxide emissions during economic development in China[J]. *Economic Research Journal*, 2010, 45(2): 123-136
- [14] 杨钧. 中国农业碳排放的地区差异和影响因素分析[J]. 河南农业大学学报, 2012, 46(3): 336-342
Yang J. Analysis on regional difference and affecting factors of agriculture carbon emission in China[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2012, 46(3): 336-342 (in Chinese)
- [15] Tian Y, Zhang J B, Li B. Intensities of agricultural carbon emissions and their causes in the major grain producing areas in China[J]. *Progress in Geography*, 2012, 31(11): 1546-1551
- [16] Huang Z H, Mi S H. Agri-cultural carbon footprint research in Zhejiang Province[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2011, 32(11): 40-47
- [17] 田云, 张俊飏, 李波. 基于投入角度的农业碳排放时空特征及因素分解研究: 以湖北省为例[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(6): 752-755
Tian Y, Zhang J B, Li B. Research on spatial-temporal characteristics and factor decomposition of agricultural carbon emission based on input angle: Taking Hubei Province as an example[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2011, 32(6): 752-755 (in Chinese)
- [18] 王才军, 孙德亮, 张凤太. 基于农业投入的重庆农业碳排放时序特征及减排措施研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(5): 206-209
Wang C J, Sun D L, Zhang F T. Research on Temporal characteristics and reduction policy based on input in Chongqing Municipality [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(5): 206-209 (in Chinese)
- [19] 方蓉. 甘肃农业碳排放与经济增长关系研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2014
Fang R. Analysis study on Gansu Province agriculture carbon emissions and economic development[D]. Lanzhou, Northwest Normal University, 2014 (in Chinese)
- [20] 冉锦成, 马惠兰, 苏洋. 西北五省农业碳排放测算及碳减排潜力研究[J]. 江西农业大学学报, 2017, 39(3): 623-632
Ran J C, Ma H L, Su Y. A study on agricultural carbon emission and carbon emission reduction potential in five provinces in Northwest China[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2017, 39(3): 623-632 (in Chinese)
- [21] 张小平, 王龙飞. 甘肃省农业碳排放变化及影响因素分析[J]. 干旱区地理, 2014, 37(5): 1029-1035
Zhang X P, Wang L F. Variations and influential factors of agricultural carbon emissions in Gansu Province[J]. *Arid Land Geography*, 2014, 37(5): 1029-1035 (in Chinese)
- [22] 斯子骏. 甘肃省碳排放特征与动因分析[D]. 兰州: 兰州大学, 2015
Si Z J. Carbon emissions characteristics and dynamics analysis in Gansu Province[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2015 (in Chinese)
- [23] 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 B, Zhang J B, Li H P. 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 (in Chinese)
- [24] West T O, Marland G. Net carbon flux from agricultural ecosystems: methodology for full carbon cycle analyses[J]. *Environmental Pollution*, 2002, 116(3): 439-444
- [25] 段华平, 张悦, 赵建波, 卞新民. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 203-208
Duan H P, Zhang Y, Zhao J B, Bian X M. Carbon footprint analysis of farmland ecosystem in China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(5): 203-208 (in Chinese)
- [26] 朱巧娴, 梅均, 陈银蓉, 韩啸. 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
Zhu Q X, Mei Y, Chen Y R, Han X. Regional differentiation characteristics and optimization of the structural efficiency of land use in Hubei Province based on the carbon emissions[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(12): 176-184 (in Chinese)
- [27] 刘源, 李向阳, 林剑艺, 崔胜辉, 赵胜男. 基于LMDI分解的厦门市碳排放强度影响因素分析[J]. 生态学报, 2014, 34(9): 2378-2387
Liu Y, Li X Y, Lin J Y, Cui S H, Zhao S N. Factor decomposition of carbon intensity in Xiamen City based on LMDI Method[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(9): 2378-2387 (in Chinese)

责任编辑: 王岩