

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20170803

• 问题研究 •

新疆农业碳排放时空特征、峰值预测及影响因素研究^{*}

冉锦成¹, 苏洋^{1*}, 胡金凤², 唐洪松¹, 汪晶晶¹, 崔盼²

(1. 新疆农业大学经济与贸易学院, 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业大学林学与园艺学院, 乌鲁木齐 830052)

摘 要 [目的] 通过研究新疆农业碳排放峰值预测和影响因素能真正为新疆低碳农业发展和减排路径选择作出科学的评判和提供借鉴。[方法] 文章基于种植业活动、牲畜养殖、农田土壤、秸秆焚烧 4 个方面 23 类碳源, 测算了新疆 1995~2014 年农业碳排放量, 并从时间、结构和空间维度分析其变化特征; 在此基础上构建 STIRPAT 模型, 并运用情景分析法对未来新疆农业碳排放峰值进行相关预测; 同时, 利用 LMDI 方法对新疆农业碳排放影响因素进行分解。[结果] 新疆农业碳排放量呈现“波动上升—持续上升”两阶段变化特征, 碳排放量由 1995 年的 1 942.7 万 t 增加到 2014 年 3 921.3 万 t, 增幅 1 978.6 万 t, 年均增长 3.77%; 各地(州、市)区域差异明显, 喀什地区属碳排放量、碳排放强度“双高”型地区, 阿勒泰等 4 地区属低碳排放量、高碳排放强度地区, 乌鲁木齐等 5 地区属碳排放量、碳排放强度“双低”型地区, 昌吉回族州等 4 地区属高碳排放量、低碳排放强度地区; 若农业碳排放影响因素保持原有增长率不变情况下, 新疆农业碳排放不会在 2050 年内达到峰值, 在基准情景和低碳情景下, 新疆农业碳排放峰值出现时间分别为 2040 年和 2029 年, 碳排量分别为 7 457.68 万 t 和 4 755.23 万 t; 与 1995 年相比, 效率因素、结构因素分别累计实现 0.33 亿 t (97.47%)、0.008 6 亿 t (2.53%) 的农业碳减排, 经济因素是农业碳排放最主要的驱动因素, 累计实现了 0.41 亿 t 的碳增加, 人口因素为农业碳排放另一重要因素, 累计实现了 0.13 亿 t 的碳增加。[结论] 秸秆焚烧是导致新疆农业碳排放量增加的最主要碳源; 碳排放量、碳排放强度和碳排放结构空间差异明显; 不同情景下新疆农业碳排放峰值出现时间差异较大; 经济因素是导致新疆农业碳排放增加的主要驱动因素。据此, 根据新疆实际合理优化调整农业产业结构, 加快推进绿色农业现代化; 加强生态环境建设, 提高农业生产资料的利用效率; 转变增长方式, 走两型农业之路。

关键词 农业碳排放 时空特征 STIRPAT 模型 峰值预测 LMDI 模型 影响因素 新疆

中图分类号: F323; X22 文献标识码: A 文章编号: 1005-9121 [2017]08016-09

0 引言

近年来气候变化所导致的高温热潮、暴雨连连、旱灾、沙尘暴频发事件的概率持续增加, CO₂ 是造成该现象的源头之一, 因此, 发展低碳经济、发展节能减排成为全球关注的热点。2014 年《中美气候变化联合声明》提出我国将于 2030 年左右达到碳排放峰值的庄严承诺, 2015 年 12 月 12 日, 195 个缔约方在巴黎达成了新的全球气候协议——《巴黎协议》, 提出努力将气温升幅限制在 1.5℃ 内的目标。农业碳排放量介于电热生产和尾气之间, 成为第二大排放源, 占我国碳排放总量的 17%。鉴于此, 国内学者分别从不同的角度对农业碳排放进行研究。黄祖辉等^[1]、田云等^[2]、冉光平等^[3]、高鸣等^[4]、李波等^[5]、苏洋等^[6]、李明贤等^[7]、张丽峰等^[8]在对农业碳排放测算的基础上, 分别从农业碳足迹、碳公平性、低碳农业发展路径及减排成本、农业碳排放绩效、碳排放影响因素分析、农业碳排放与农业经济增长、农业科技进步与碳排放、农业产出与碳排放进行研究。但目前国内对碳排放峰值预测主要根据能源消耗碳排放、废

收稿日期: 2016-10-28

作者简介: 冉锦成 (1988—), 男, 重庆人, 博士。研究方向: 农业资源利用与生态建设。

※通讯作者: 苏洋 (1987—), 男, 河南安阳人, 讲师。研究方向: 资源与环境经济。Email: 398199494@qq.com

* 资助项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金资助项目“新疆农业碳排放研究: 驱动机理、峰值预测与控制策略”(2016D01B017)

弃物排放并运用情景分析法进行研究,关于农业碳排放峰值预测方面的文献还比较少,渠慎宁等^[9]、柴麒敏等^[10]从国家层面对碳排放峰值进行预测。新疆位于亚欧大陆腹地,地处中国西北边陲,是中国面积最大、交界邻国最多、陆地边境线最长的省区,肩负着与重要世界经济资源大国沿边开放的重任。同时,新疆作为我国重要的种植业和畜牧业基地,以 8% 的绿洲面积承载了 90% 以上的人口、耕地和生产总值,绿色生态压力相当严峻。因此,对新疆地区的农业碳排放进行测算、峰值预测和影响因素研究,有利于准确把握新疆地区农业碳排放的变动轨迹,了解新疆未来农业碳减排路径,为新疆低碳农业发展方向准确定位,探索新疆低碳农业发展前景。

1 研究方法数据来源

1.1 农业碳排放测算方法

参照田云^[2]、刘华军^[11]等学者对农业碳排放研究,结合新疆地区农业实际情况,文章选取种植业活动碳排放(化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉、农业翻耕)、土壤 N₂O 排放、秸秆焚烧碳排放、牲畜养殖肠道发酵及粪便排放的 CH₄、N₂O 等四类碳源测算新疆农业碳排放。农业碳排放测算公式如下:

$$C = \sum C_{it} = \sum T_{it} \times a_i$$
 (1)

$$G = Q \times R \times W$$
 (2)

式中,C 为农业碳排放总量,C_{it}为第 i 类碳源 t 年的农业碳排放量,T_{it}为第 i 类碳源 t 年的量,a_i为各类碳源的排放系数;秸秆焚烧碳排放计算公式如公式(2)所示,G 为秸秆焚烧碳排放量,Q 为秸秆产量,R 为秸秆焚烧系数,W 为碳转换系数,具体碳源因子排放系数见表 1。

表 1 不同碳源排放系数

| 碳源 | 碳排放系数 | 参考来源 | 碳源 | 肠道发酵 kg CH ₄ /年 | 粪便排放 | | 参考来源 |
|------|---|-----------|----|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------|
| | | | | | kg CH ₄ /年 | kg N ₂ O/年 | |
| 化肥 | 0.895 6kg C/kg | [12] | 牛 | 47 | 1 | 1.39 | [15] |
| 农药 | 4.934 1kg C/kg | [13] | 山羊 | 5 | 0.17 | 0.33 | [15] |
| 农膜 | 5.18kg C/kg | [14] | 绵羊 | 5 | 0.15 | 1.39 | [15] |
| 农用柴油 | 0.592 7kg C/kg | [12]、[15] | 马 | 18 | 1.64 | 1.39 | [15] |
| 农业翻耕 | 312.6kg C/hm ² | [16] | 驴 | 10 | 0.9 | 1.39 | [15] |
| 农业灌溉 | 25kg C/hm ² | [12]、[17] | 骡 | 10 | 0.9 | 1.39 | [15] |
| 秸秆焚烧 | 1.247t C/t | [18-19] | 骆驼 | 46 | 1.92 | 1.39 | [15] |
| 冬小麦 | 2.05kg N ₂ O hm ² | [20-21] | 猪 | 1 | 4 | 0.53 | [15] |
| 玉米 | 2.53kg N ₂ O hm ² | [18] | 家禽 | — | 0.02 | 0.02 | [15] |
| 棉花 | 0.48kg N ₂ O hm ² | [18-20] | | | | | |

1.2 峰值预测方法

York 等为了修正 IPAT 模型的不足,建立了 STIRPAT (Stochastic Impacts by Regression on PAT) 模型对碳排放峰值进行预测。其基本模型为: $I_{\theta} = aP_{\theta}^bA_{\theta}^ce_{\theta}^d$,将等式两边进行对数化后模型变成求和模式:

$$\ln I_{\theta} = a + b \ln P_{\theta} + c \ln A_{\theta} + d \ln T_{\theta} + e_{\theta}$$
 (3)

式(3)中,I 表示农业碳排放量,P 表示农村人口,A 表示人均农业 GDP,T 表示农业碳排放强度。由于张为付等^[22]学者研究结果表明碳排放量与经济增长存在“倒 U 型”关系,并借鉴 York 等在 2003 年将产业结构变量纳入改进的模型,变形为:

$$\ln I_{\theta} = a + b \ln P_{\theta} + c \ln A_{\theta} + d (\ln A_{\theta})^2 + f \ln T_{\theta} + g \ln S_{\theta} + e_{\theta}$$
 (4)

式(4)中 S 表示产业结构(农林牧渔增加值占农林牧渔总产值的比重/%)。

1.3 农业碳排放影响因素分解方法

LMDI 模型具有消除残差项、部门效应和总效应保持一致的优势,优于 AMDI 分解法、Laspeyres 指数

分级法等,被广泛应用于资源环境方面分析。基于此该文采用 LMDI 法对新疆农业碳排放影响因素进行分解。分解模型如下:

$$C = \frac{C}{AGDP} \times \frac{AGDP}{TGDP} \times \frac{TGDP}{TL} \times TL \quad \text{令} \quad EI = \frac{C}{AGDP}, \quad SI = \frac{AGDP}{TGDP}, \quad MI = \frac{TGDP}{TL} \quad (5)$$

$$C = EI \times SI \times MI \times TL$$

式 (5) 中, C 、 $AGDP$ 、 $TGDP$ 、 TL 、 EI 、 SI 、 MI 分别表示新疆农业碳排放总量、种植业和畜牧业总产值、农林牧渔总产值、农村人口、效率因素、结构因素、经济水平因素。假设 C^t 为第 t 期农业碳排放总量, C^0 为基期农业碳排放总量, 碳排放量变化为:

$$\Delta C = C^t - C^0 = \Delta C_{EI} + \Delta C_{SI} + \Delta C_{MI} + \Delta C_{TL} \quad (6)$$

各因素贡献值分解结果如下:

$$\Delta C_{EI} = \sum_i \Phi_i \ln \frac{EI_i^t}{EI_i^0}, \quad \Delta C_{SI} = \sum_i \Phi_i \ln \frac{SI_i^t}{SI_i^0}, \quad \Delta C_{MI} = \sum_i \Phi_i \ln \frac{MI_i^t}{MI_i^0}, \quad \Delta C_{TL} = \sum_i \Phi_i \ln \frac{TL_i^t}{TL_i^0} \quad (7)$$

$$\text{其中, } \Phi_i = \frac{C_i^t - C_i^0}{\ln C_i^t - \ln C_i^0}$$

1.4 数据来源及处理

该文中化肥、农用柴油、农业翻耕、农业灌溉、牲畜年底存栏量和出栏量、农作物播种面积、农作物产量、农村人口、农林牧渔总产值数据来源于《新疆统计年鉴》(1995~2015)。农药、农膜数据来源于《中国农村统计年鉴》(1995~2015) 由于我国没有关于农作物秸秆焚烧的统计数据, 该文秸秆焚烧量采用曹国良、张小曳等人研究方法(草谷比法) 计算而来。其中, 化肥施用量用当年的折纯量表示; 农药、农膜、农用柴油用当年实际使用量表示; 农业翻耕用当年实际播种面积表示; 农业灌溉用当年实际灌溉面积; 农作物播种面积和产量用当年实际面积和产量表示。为剔除价格变动的影响, 该文以 1995 年价格为基准, 采用 GDP 可比价进行折算。

2 实证结果分析

2.1 农业碳排放时空特征分析

2.1.1 农业碳排放时序特征变化

根据公式 (1) (2) 测算新疆农业碳排放, 结果见表 2。结果显示, 新疆农业碳排放总量呈“波动上升—持续上升”两阶段变化趋势, 1995~2006 年为“波动上升”阶段, 碳排放量由 1 924.7 万 t 增加到 2 938.6 万 t, 增幅 995.9 万 t, 年均增长 3.84%。主要归因于种植业结构进一步优化调整, 以特色林果业、棉花、小麦、玉米为代表的经济作物种植规模波动扩张导致农药、化肥等农用物资投入波动增加, 推动种植业和农田土壤碳排放波动增加; 以山羊、绵羊为代表的牲畜养殖数量持续增加导致牲畜养殖碳排放持续增加; 秸秆焚烧产生的碳排放先增加后减少, 三者共同作用导致农业碳排放波动上升。2007~2014 年为“持续上升”阶段, 碳排放量由 2 902.1 万 t 增加到 3 921.3 万 t, 增幅 0.35 倍, 年均增长 4.38%。主要归因于现代农业化学化、机械化生产方式导致的化肥施用量、机械总动力、农作物播种面积等持续

表 2 新疆农业碳排放总量及碳排放强度变化

| 年份 | 碳排放总量 (万 t) | 环比增速 (%) | 碳排放强度 (t/万元农业 GDP) | 环比增速 (%) |
|------|----------------|-------------|-----------------------|-------------|
| 1995 | 1 942.7 | — | 4.79 | — |
| 1996 | 2 086.7 | 7.41 | 4.84 | 1.04 |
| 1997 | 2 193.5 | 5.12 | 4.60 | -4.96 |
| 1998 | 2 285.1 | 4.18 | 4.58 | -0.43 |
| 1999 | 2 270.1 | -0.66 | 4.92 | 7.42 |
| 2000 | 2 278.6 | 0.37 | 4.68 | -4.88 |
| 2001 | 2 312.0 | 1.47 | 4.65 | -0.64 |
| 2002 | 2 403.1 | 3.94 | 4.58 | -1.51 |
| 2003 | 2 398.7 | -0.18 | 3.48 | -24.02 |
| 2004 | 2 535.2 | 5.69 | 3.38 | -2.87 |
| 2005 | 2 704.0 | 6.66 | 3.25 | -3.85 |
| 2006 | 2 938.6 | 8.68 | 3.31 | 1.85 |
| 2007 | 2 902.1 | -1.24 | 2.73 | -17.52 |
| 2008 | 2 916.3 | 0.49 | 2.48 | -9.16 |
| 2009 | 3 048.0 | 4.52 | 2.35 | -5.24 |
| 2010 | 3 074.9 | 0.88 | 1.67 | -28.94 |
| 2011 | 3 280.0 | 6.67 | 1.68 | 0.60 |
| 2012 | 3 533.7 | 7.73 | 1.55 | -7.74 |
| 2013 | 3 769.8 | 6.68 | 1.48 | -4.52 |
| 2014 | 3 921.3 | 4.02 | 1.43 | -3.38 |

增加。

从碳排放强度看,单位农业产值的碳排放强度由 1995 年的 4.79t/万元下降到 2014 年的 1.43t/万元,年均下降 6.57%,2010 年环比增速最小,为 -28.94%。原因可能是新疆将荒地开垦为耕地,耕地开垦为草地,以及政府“惠农政策”的实施,都会加快降低单位农业产值的碳排放量。

2.1.2 农业碳排放结构差异分析

由表 3 可见:秸秆焚烧作为新疆农业碳排放最主要的碳源,约占新疆农业碳排放总量的 60% 左右,由 1995 年的 1 185.4 万 t 增加到 2014 年的 2 717.7 万 t,增幅为 1.29 倍,年均增长 4.46%。新疆作为我国重要的种植业基地,大量种植产生的秸秆资源未充分利用,而是将其直接露天焚烧或遗弃,进而造成秸秆焚烧碳排放量最多;畜牧养殖碳排放为新疆农业碳排放的第二大碳源,占新疆农业碳排放总量的比重超过 19%,由 1995 年的 670.97 万 t 下降到 2011 年的最低点 611.22 万 t,2012 年开始增加,增加至 2014 年 747.33 万 t,主要是随着 2012 年中央一号文件加强“支农惠农”政策,极大地刺激了牧民养殖热情,大量牧民回归牲畜养殖,使得山羊、绵羊等牲畜养殖数量增加,从而促进牲畜养殖碳排放增加;种植业活动和农田土壤碳排放相对较少,分别占新疆农业碳排放总量的 8% 和 1.30% 左右。

表 3 2005 ~ 2014 年新疆农业碳排放量及构成

| 年份 | 种植业活动 | | 畜牧养殖 | | 土壤排放 | | 秸秆焚烧 | | 合计 | |
|------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| | 碳排放量 (万 t) | 增速 (%) | 碳排放量 (万 t) | 增速 (%) | 碳排放量 (万 t) | 增速 (%) | 碳排放量 (万 t) | 增速 (%) | 碳排放量 (万 t) | 增速 (%) |
| 1995 | 123.4 | — | 607.97 | — | 25.95 | — | 1 185.4 | — | 1 942.7 | — |
| 1996 | 140.28 | 13.68 | 628.01 | 3.30 | 27.51 | 6.01 | 1 290.9 | 8.90 | 2 086.7 | 7.41 |
| 1997 | 156.14 | 11.31 | 649.71 | 3.46 | 27.47 | -0.15 | 1 360.1 | 5.36 | 2 193.5 | 5.12 |
| 1998 | 165.11 | 5.74 | 675.99 | 4.04 | 26.68 | -2.88 | 1 417.4 | 4.21 | 2 285.1 | 4.18 |
| 1999 | 156.3 | -5.34 | 701.92 | 3.84 | 27.15 | 1.76 | 1 384.7 | -2.31 | 2 270.1 | -0.66 |
| 2000 | 158.14 | 1.18 | 720.08 | 2.59 | 27.10 | -0.18 | 1 373.3 | -0.82 | 2 278.6 | 0.37 |
| 2001 | 173.8 | 9.90 | 735.32 | 2.12 | 31.04 | 14.54 | 1 371.8 | -0.11 | 2 312.0 | 1.47 |
| 2002 | 176.95 | 4.11 | 757.15 | 2.97 | 29.49 | -4.99 | 1 449.8 | 5.69 | 2 403.1 | 3.94 |
| 2003 | 176.85 | -6.12 | 796.15 | 5.15 | 28.72 | -2.61 | 1 397.0 | -3.64 | 2 398.7 | -0.18 |
| 2004 | 188.7 | 6.70 | 838.05 | 5.26 | 29.82 | 3.83 | 1 478.7 | 5.85 | 2 535.2 | 5.69 |
| 2005 | 204.96 | 8.62 | 870.91 | 3.92 | 31.05 | 4.12 | 1 597.1 | 8.01 | 2 704.0 | 6.66 |
| 2006 | 224.7 | 9.63 | 874.42 | 0.40 | 33.38 | 7.50 | 1 806.1 | 13.09 | 2 938.6 | 8.68 |
| 2007 | 243.13 | 8.20 | 850.25 | -2.76 | 34.11 | 2.19 | 1 774.6 | -1.74 | 2 902.1 | -1.24 |
| 2008 | 278.85 | 14.69 | 722.27 | -15.05 | 36.39 | 6.68 | 1 878.8 | 5.87 | 2 916.3 | 0.49 |
| 2009 | 280.55 | 0.61 | 621.81 | -13.91 | 41.19 | 13.19 | 2 104.4 | 12.01 | 3 048.0 | 4.52 |
| 2010 | 300.21 | 7.01 | 616.77 | -0.81 | 44.53 | 8.11 | 2 113.4 | 0.43 | 3 074.9 | 0.88 |
| 2011 | 325.44 | 8.40 | 611.22 | -0.90 | 46.91 | 5.34 | 2 296.4 | 8.66 | 3 280.0 | 6.67 |
| 2012 | 339.37 | 4.28 | 655.71 | 7.28 | 48.43 | 3.24 | 2 490.2 | 8.44 | 3 533.7 | 7.73 |
| 2013 | 362.93 | 6.94 | 714.5 | 8.97 | 50.11 | 3.47 | 2 642.3 | 6.11 | 3 769.8 | 6.68 |
| 2014 | 404.25 | 11.39 | 747.33 | 4.59 | 52.00 | 3.77 | 2 717.7 | 2.85 | 3 921.3 | 4.02 |

2.1.3 农业碳排放空间差异分析

2014 年新疆各地(州、市)农业碳排放总量差异显著,结果见表 4。位居前 3 的有喀什地区、塔城地区和伊犁州直属县,3 个地区碳排放量之和占新疆农业碳排放总量的 43.26%。后 3 位为克拉玛依市、吐鲁番地区和哈密地区,3 个地区碳排放量之和占新疆农业碳排放总量的 2.19%。克拉玛依市仅为喀什地区的 1/86,原因可能受资源禀赋、耕地总量和农业种植结构等因素的影响。碳排放强度因不受资源总量、农业种植规模和生产规模影响,更能反映新疆各地(州、市)的农业碳排放水平,便于不同地区横向比较。位居前 3 的有克孜勒自治州、喀什地区和和田地区,单位农业产值的碳排放强度分别为 5.09t/万元、3.68t/万元和 3.56t/万元,吐鲁番地区最低,单位农业产值的碳排放强度为 0.86t/万元。克孜勒自治州碳

排放强度为吐鲁番地区的 5.92 倍。

表 4 2014 年新疆各地（州、市）农业碳排放量及构成

| 地（州、市） | 种植业 （万 t） | 畜牧养殖 （万 t） | 土壤碳排放 （万 t） | 秸秆焚烧 （万 t） | 碳排放总量 （万 t） | 碳排放强度 （t/万元农业 GDP） |
|--------|--------------|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------------|
| 乌鲁木齐市 | 3.02 | 11.56 | 0.66 | 40.47 | 48.76 | 1.78 |
| 克拉玛依市 | 1.45 | 1.62 | 0.12 | 6.75 | 8.80 | 1.71 |
| 吐鲁番地区 | 6.18 | 30.97 | 0.38 | 9.33 | 36.35 | 0.86 |
| 哈密地区 | 6.74 | 18.15 | 0.59 | 35.17 | 48.66 | 1.28 |
| 昌吉州 | 39.17 | 71.68 | 6.89 | 406.75 | 479.68 | 1.99 |
| 伊犁州直属 | 30.67 | 126.96 | 6.92 | 435.49 | 530.31 | 2.99 |
| 塔城地区 | 42.69 | 76.15 | 6.85 | 487.55 | 565.09 | 2.73 |
| 阿勒泰地区 | 13.41 | 53.42 | 1.49 | 106.95 | 145.90 | 3.36 |
| 博尔塔拉自 | 13.64 | 17.76 | 1.73 | 146.07 | 167.70 | 2.70 |
| 巴音郭楞自 | 38.84 | 53.53 | 4.03 | 169.92 | 231.00 | 1.25 |
| 阿克苏地区 | 62.20 | 80.68 | 6.52 | 408.32 | 505.41 | 2.29 |
| 克孜勒自治 | 4.57 | 29.13 | 1.00 | 48.87 | 66.66 | 5.09 |
| 喀什地区 | 71.71 | 139.27 | 11.54 | 628.23 | 759.18 | 3.68 |
| 和田地区 | 16.78 | 74.81 | 3.47 | 168.53 | 208.89 | 3.56 |
| 合计 | 351.08 | 785.69 | 52.18 | 3 098.39 | 4 287.34 | — |
| 均值 | 25.08 | 56.12 | 3.73 | 221.31 | 306.24 | 2.52 |

注：由于各地（州、市）数据统计差异，可能对农业碳排放总量产生影响

基于农业碳排放总量和碳排放强度空间差异，运用 SPSS20.0 进行聚类分析，可将新疆 14 个地区划分为四种类型（见图 1）：“高－高”型，即高碳排放量和高碳排放强度，包括喀什地区；“低－高”型，即低碳排放量和 high 碳排放强度，包括阿勒泰地区、博尔塔拉自治州、克孜勒自治州和和田地区。这两种类型的地区由于农业碳排放强度较大，农业碳减排压力较大。“低－低”型，即低碳排放量和低碳排放强度，包括乌鲁木齐市、克拉玛依市、吐鲁番地区、哈密地区和巴音郭楞自治州；“高－低”型，即高碳排放量和低碳排放强度，包括昌吉州、伊犁州直属县、塔城地区和阿阿克苏地区。这两种类型的地区由于农业碳排放强度较小，农业碳减排压力较小，但也不容小视。

2.2 农业碳排放峰值预测

该文采用新疆 1995～2014 年农业碳排放量、农村人口、人均农业 GDP、农业碳排放强度、产业结构等数据对公式（4）进行回归，得出回归方程如下：

$$\ln I_{\theta} = -10.173 + 0.955 \ln P_{\theta} + 1.133 \ln A_{\theta} - 0.005 (\ln A_{\theta})^2 + 1.032 \ln T_{\theta} + 0.075 \ln S_{\theta} + e_{\theta} \quad (8)$$

模型中可决系数 $R^2 = 0.999$ ，拟合优度较高，且各变量标准回归系数的 t 检验也较为合理，符合经济学意义，拟合结果见表 5。

可以看出，对农业碳排放量影响最大的为人均农业 GDP，其次为农业碳排放强度，再次为农村人口，由于农村人口波动较小，因此影响农业碳排放主要因素为人均农业 GDP 和农业碳排放强度。假定 2015～

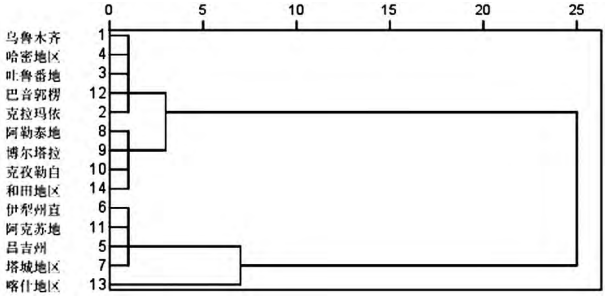


图 1 新疆 14 个地（州、市）聚类分析

表 5 方程变量检验结果

| 变量 | B | SE (B) | Beta | T | sig. |
|----------------------|---------|--------|----------|---------|-------|
| c | -10.173 | 0.656 | 0.000 | -15.520 | 0.000 |
| $\ln P_{\theta}$ | 0.955 | 0.038 | 0.620 | 25.466 | 0.000 |
| $\ln A_{\theta}$ | 1.133 | 0.155 | 2.940 | 7.311 | 0.000 |
| $(\ln A_{\theta})^2$ | -0.005 | 0.009 | -0.241 | -0.513 | 0.016 |
| $\ln T_{\theta}$ | 1.032 | 0.048 | 2.334 | 21.443 | 0.000 |
| $\ln S_{\theta}$ | 0.075 | 0.062 | 0.009 | 1.209 | 0.007 |
| R^2 | | | 0.999 | | |
| F | | | 7 547.20 | | |

2050 年间人均农业 GDP、农业碳排放强度、农村人口保持年均增长率不变, 农林牧渔增加值占农林牧渔总产值的比重恒定不变, 以此推算 2015 ~ 2050 年新疆农业碳排放量估计值 (图 2)。

图 2 表明: 若维持目前年均增长率不变条件, 新疆农业碳排放不能在 2050 年内达到峰值目标。因此, 要实现新疆农业碳排放于 2050 年内达到峰值目标, 参照渠慎宁^[9]、冯宗宪^[23]等情景模式设置方法, 结合 2009 年政府提出的减排目标, 对各变量的变化率进行参数设置, 并设计出低碳情景和基准情景两种模式 (表 6)。基准情景是根据新疆 1995 ~ 2014 年农业碳排放情况, 结合发达国家经济社会发展规律和新疆未来社会发展状况, 将农村人口、人均农业 GDP、农业碳排放强度的年均增长率进行设定得到的结果; 低碳情景是在基准情景设定基础上对各影响因素做出的进一步调整, 以期能够全面分析可能出现的情况。

根据设置的基准情景和低碳情景模式, 运用 STIRPAT 模型对新疆农业碳排放峰值进行拟合, 得出两种情景下农业碳排放出现峰值的时间和大小 (图 3)。结果表明: 基准情境下, 新疆农业碳排放量的峰值出现在 2040 年, 碳排放量为 7 457.68 万 t; 低碳情景下, 新疆农业碳排放峰值出现在 2029 年, 碳排放量为 4 755.23 万 t, 分别为 1995 年的 3.84 倍和 2.45 倍, 相比基准情景下农业碳排放峰值, 低碳情景下降了 2 702.45 万 t, 降幅为 36.24%。表明低碳情景发展模式下, 新疆农业碳减排潜力较大。

2.3 农业碳排放影响因素分解

新疆农业碳排放影响因素分解结果见表 7。可以看出, 效率因素、结构因素分别促进了新疆不同程度的农业碳减排, 1995 年以来两大因素累计实现了 0.34 亿 t 的碳减排。其中, 效率因素、结构因素分别累计实现了 0.33 亿 t (97.47%)、0.008 6 亿 t (2.53%) 的碳减排。表明随着农业生产效率的提高、农业产业结构的调整优化, 均相应降低新疆农业碳排放。

经济因素是促进新疆农业碳排放增加的主导因素, 1995 年以来经济因素累计实现了 0.41 亿 t 的碳增加。新疆作为“丝绸之路经济带”的核心区和我国重要的种植业、畜牧业基地, 农业发展对新疆 GDP 的增长、农民增收有着举足轻重的作用, 在未

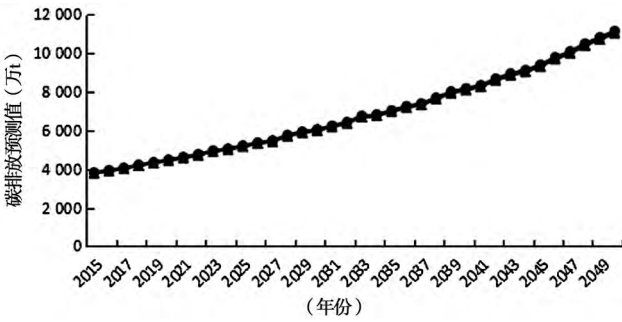


图 2 维持现状下 2015 ~ 2050 年碳排放预测

表 6 不同情景模式下各参数增长率设定

| 情景 | 年份 | 农村人口 | 增长率设定 (%) 人均农业 GDP | 农业碳 排放强度 |
|----------|-------------|------|-----------------------|-------------|
| 基准 情景 | 2015 ~ 2020 | 0.7 | 8.0 | -3.5 |
| | 2021 ~ 2025 | 0.5 | 6.0 | -3.0 |
| | 2026 ~ 2030 | 0.3 | 5.0 | -2.6 |
| | 2031 ~ 2035 | 0.2 | 4.0 | -2.3 |
| | 2036 ~ 2040 | 0.1 | 3.0 | -2.1 |
| | 2041 ~ 2050 | 0 | 2.0 | -2.0 |
| 低碳 情景 | 2015 ~ 2020 | 0.6 | 6.0 | -4.0 |
| | 2021 ~ 2025 | 0.4 | 5.0 | -3.5 |
| | 2026 ~ 2030 | 0.2 | 4.0 | -3.1 |
| | 2031 ~ 2035 | 0.1 | 2.0 | -2.8 |
| | 2036 ~ 2040 | 0 | 1.0 | -2.6 |
| | 2041 ~ 2050 | -0.1 | 1.0 | -2.5 |

注: 农村人口设定参照吐热尼古丽·阿木提^[24]、阿里木江·阿不来提^[25]等对新疆农村人口未来发展趋势的研究, 即新疆农村人口增长比较缓慢, 每年以 0.7% 速度增长; 人均农业 GDP 设定参照新疆“十三五”规划中的规定, 农村居民人均纯收入年均增长 8%; 农业碳排放强度设定参照新疆“十二五”规划中的规定, 到 2015 年单位生产总值 CO₂ 排放降低 13.4%, 年均下降 3.58%

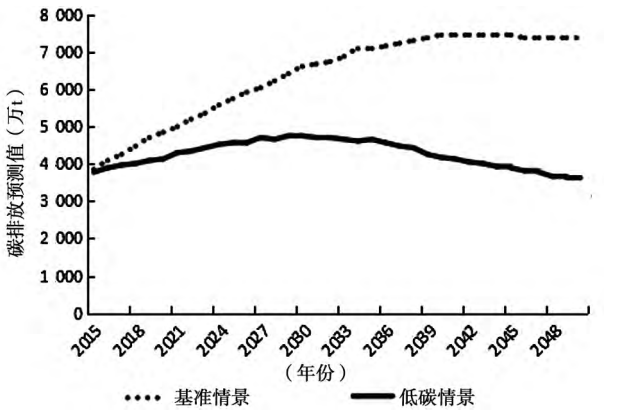


图 3 2015 ~ 2050 年不同情景下新疆农业碳排放量预测

来的一定时间段, 农业经济因素仍将是导致新疆农业碳排放增长最主要的因素; 人口因素是促进新疆农业碳排放增加的另一重要因素, 累计实现了 0.13 亿 t 的碳排放, 人口因素通过改变土地利用方式、增加能源需求等对农业碳排放产生影响。

表 7 新疆农业碳排放影响因素分解结果

| 年份 | 效率因素 (万 t) | 结构因素 (万 t) | 经济因素 (万 t) | 人口因素 (万 t) | 总效应 (万 t) |
|------|------------|------------|------------|------------|-----------|
| 1995 | — | — | — | — | — |
| 1996 | -24.57 | -1.81 | 87.21 | 34.64 | 95.47 |
| 1997 | -80.30 | -0.62 | 196.31 | 135.41 | 250.8 |
| 1998 | -91.93 | -2.74 | 244.99 | 192.49 | 342.81 |
| 1999 | -65.35 | -7.14 | 102.97 | 166.22 | 196.7 |
| 2000 | -40.22 | -9.06 | 167.84 | 217.55 | 336.11 |
| 2001 | -44.33 | -16.12 | 166.73 | 263.03 | 369.31 |
| 2002 | -83.34 | -14.07 | 256.50 | 301.52 | 460.61 |
| 2003 | -590.49 | -96.22 | 809.73 | 333.19 | 456.21 |
| 2004 | -675.52 | -101.05 | 969.77 | 399.97 | 593.17 |
| 2005 | -789.85 | -99.68 | 1 205.83 | 444.99 | 761.29 |
| 2006 | -568.33 | -320.50 | 1 384.25 | 500.72 | 996.14 |
| 2007 | -1 242.87 | -100.86 | 1 771.09 | 532.28 | 959.64 |
| 2008 | -1 471.78 | -106.15 | 1 990.81 | 560.72 | 973.6 |
| 2009 | -1 641.26 | -106.01 | 2 225.82 | 627.25 | 1 105.8 |
| 2010 | -2 527.23 | -76.43 | 3 040.32 | 695.54 | 1 132.2 |
| 2011 | -2 593.41 | -84.00 | 3 121.90 | 893.32 | 1 337.81 |
| 2012 | -2 911.29 | -82.70 | 3 543.12 | 1 042.14 | 1 591.27 |
| 2013 | -3 140.79 | -85.43 | 3 899.19 | 1 154.68 | 1 827.65 |
| 2014 | -3 320.01 | -86.20 | 4 120.58 | 1 263.95 | 1 978.32 |

3 结论与启示

3.1 结论

该文首先对 1995~2014 年新疆农业碳排放及其 14 个地 (州、市) 2014 年农业碳排放进行测算, 在此基础上构建农业碳排放峰值预测 (STIRPAT) 模型, 并运用情景分析法对未来新疆农业碳排放峰值进行相关预测, 最后利用 LMDI 方法分析新疆农业碳排放影响因素, 结论如下。

(1) 纵向来看, 新疆农业碳排放总量呈“波动上升—持续上升”两阶段变化趋势, 从 1995 年 1 942.7 万 t 增加到 2014 年 3 921.3 万 t, 年均增长 3.77%; 单位农业产值的碳排放强度由 1995 年的 4.79 t/万元下降到 2014 年的 1.43 t/万元, 年均下降 6.57%。

(2) 横向来看, 2014 年新疆 14 个地 (州、市) 农业碳排放空间差异明显。喀什地区碳排放量最高, 占全疆碳排放的 17.71%, 是克拉玛依市的 86 倍; 在秸秆焚烧、畜牧养殖主要碳源占全部碳源比例上, 南疆高于北疆和东疆。

(3) 从碳源结构来看, 秸秆焚烧、牲畜养殖以及农业生产活动排放占碳排放源的 98.55% 以上。在秸秆焚烧中, 小麦、玉米、棉花的碳排放增速最快, 且所占比例最大; 在牲畜养殖中, 牛、马的碳排放基本持平, 绵羊碳排放增速较大; 在农业生产活动中, 农药、农用柴油碳排放增长缓慢, 农膜增速较快, 而化肥作为大的碳排放源且增速最快。

(4) 从农业碳排放驱动机理来看, 经济因素、人口因素是新疆农业碳排放增加的主要原因。其中, 经济因素贡献最大, 累计实现了 0.41 亿 t 的碳增加, 成为农业碳减排的难点; 人口因素累计实现了 0.13

亿 t 的碳增量。而效率因素在较大程度上抑制了农业碳排放, 累计实现 0.33 亿 t (97.47%) 的碳减排; 结构因素也相应实现 0.0086 亿 t (2.53%) 的碳减排。

3.2 启示

针对新疆农业发展现状以及该文实证部分结果, 该文提出的建议有: (1) 对农作物秸秆循环化利用, 降低碳排放。一是加强秸秆还田技术的推广与运用。通过采用催腐堆肥技术、速腐堆肥技术等将秸秆进行生化腐熟快速还田; 二是将秸秆通过化学、生物等手段加工成有机肥、复合肥等进行还田; 三是利用生物技术将农作物秸秆作为轻工、纺织及建材等工业的原材料, 制成工业加工品。(2) 对畜牧养殖业废弃物资源化利用, 降低畜牧养殖碳排放。一是利用微生物通过代谢过程分解畜禽粪便中的有机物, 代替化肥直接入田; 二是通过将畜禽粪便干燥化后用作饲料加工原材料; 三是将畜禽粪便经发酵成为清洁能源, 用于发电, 并将最终剩下的沼渣和沼液作为饲料的添加剂。(3) 增强碳汇, 降低农业碳排放。一是通过植树造林增强碳汇; 二是发挥草原在生态系统的碳汇功能; 三是发挥耕地的固碳功能。(4) 转变农业增长方式, 走两型农业之路。应逐步摒弃传统的“重数量、轻质量, 重规模、轻效益”的不可持续发展模式, 走“资源节约型”和“环境友好型”两型之路。(5) 加大低碳农业技术的投入和推广, 调整产业结构, 提高效率, 降低碳排放。一是利用国家、地方财政投入、社会民营资本等多种渠道促进低碳技术的研发; 二是通过建设综合交流信息平台 and 相应的培训教育对低碳农业技术进行示范和推广; 三是结合新疆农业低碳发展实际情况, 建立以公益性组织为主导、经营性为发展方向的推广体系。

参考文献

- [1] 黄祖辉, 米松华. 农业碳足迹研究——以浙江省为例. 农业经济问题, 2011, (11): 40~47
- [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. 资源科学, 2012, 34 (11): 2097~2105
- [3] 冉光和, 鲁钊阳, 王建洪. 中国低碳农业发展的基本理论与可行路径. 科技进步与对策, 2011, 28 (20): 157~160
- [4] 高鸣, 宋洪远. 中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异——基于 Malmquist-Luenberger 指数与空间计量的实证分析. 经济地理, 2015, (4): 142~148
- [5] 李波. 经济增长与农业碳排放关系的实证研究. 生态环境, 2012, 21 (2): 220~224
- [6] 苏洋, 马惠兰, 李凤. 新疆农牧业碳排放及其与农业经济增长的脱钩关系研究. 干旱区地理, 2014, (5): 1047~1054
- [7] 李明贤, 刘娟. 中国碳排放与经济增长关系的实证研究. 技术经济, 2010, 29 (9): 33~36
- [8] 张丽峰. 我国产业结构、能源结构和碳排放关系研究. 干旱区资源与环境, 2011, (5): 1~7
- [9] 渠慎宁, 郭朝先. 基于 STIRPAT 模型的中国碳排放峰值预测研究. 中国人口·资源与环境, 2010, (12): 10~15
- [10] 柴麒麟, 徐华清. 基于 IAMC 模型的中国碳排放峰值目标实现路径研究. 中国人口·资源与环境, 2015, (6): 37~46
- [11] 刘华军, 鲍振, 杨骞. 中国二氧化碳排放的分布动态与演进趋势. 资源科学, 2013, 35 (10): 1925~1932
- [12] WEST T O, MARLAND G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emission, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, 91 (1-3): 217~232
- [13] 鲁钊阳. 省域视角下农业科技进步对农业碳排放的影响研究. 科学学研究, 2013, 31 (5): 674~683
- [14] 田云, 李波, 张俊飏. 我国农地利用碳排放的阶段特征及因素分解研究. 中国地质大学学报 (社会科学版), 2011, 11 (1): 59~63
- [15] IPCC. WGI fifth assessment report: climate change 2013: the Physical Science Basis. 2013
- [16] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响. 生态学杂志, 2007, 26 (12): 2035~2039
- [17] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析. 水土保持学报, 2011, 25 (1): 203~208
- [18] 闵继胜, 胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算. 中国人口·资源与环境, 2012, 22 (7): 21~27
- [19] WANG M X, DAI A G, SHEN R X. CH₄ emission from a chinese rice paddy field. Acta Meteorologica Sinica, 1990, 4 (3): 265~275
- [20] 曹国良, 张小曳, 王丹, 等. 秸秆露天焚烧排放的 TSP 等污染物清单. 农业环境科学学报, 2005, 24 (4): 800~804
- [21] 赵建宁, 张贵龙, 杨殿林. 中国粮食作物秸秆焚烧碳排放量的估算. 农业环境科学学报, 2011, 30 (4): 812~816
- [22] 张为付, 周长富. 我国碳排放轨迹呈现库兹涅茨倒 U 型吗? ——基于不同区域经济发展与碳排放关系分析. 经济管理, 2011, (6): 14~23
- [23] 冯宗宪, 王安静. 陕西省碳排放因素分解与碳峰值预测研究. 西南民族大学学报 (人文社科版), 2016, (80): 112~119
- [24] 吐热尼古丽·阿木提, 阿里木江·阿不来提. 新疆未来人口发展趋势研究. 干旱区资源与环境, 2011, (4): 9~15
- [25] 阿里木江·阿不来提, 古丽皮亚·阿比提, 刘晖. 新疆农村人口未来发展趋势研究. 干旱区资源与环境, 2012, (12): 33~40

- [26] 董红敏,李玉娥,陶秀萍,等. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策. 农业工程学报,2008,24 (10): 269~273
- [27] 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. 中国人口、资源与环境,2011,21 (8): 80~87
- [28] Perkins Richard ,Neumayer Eric. Fostering environment efficiency through transnational linkages? Trajectories of CO₂ and SO₂: 1980 - 2000. Environment and Planning ,2008 ,40 (12): 2970~2989
- [29] Sauerbeck D R. CO₂ emissions and C sequestration by agriculture-perspectives and limitations. Nutrient Cycling in Agro ecosystems ,2001 ,60 (1-3): 253~266
- [30] 张志力. 山西省效益农业可持续发展模式确定与技术选择. 中国农业资源与区划,2007,28 (4): 26~29
- [31] 杨文健,陈丽萍. 农业可持续发展的经济效益评价指标体系研究——以重庆市为例. 中国农业资源与区划,2016,37 (5): 1~7
- [32] 马丁,陈文颖. 中国 2030 年碳排放峰值水平及达峰路径研究. 中国人口·资源与环境,2016,S1: 1~4

TEMPORAL AND SPATIAL CHARACTERISTICS ,PEAK VALUE FORECAST AND INFLUENCING FACTORS OF AGRICULTURAL CARBON EMISSIONS IN XINJIANG*

Ran Jincheng¹ ,Su Yang^{1*} ,Hu Jinfeng² ,Tang Hongsong¹ ,Wang Jingjing¹ ,Cui Pan²

(1. School of Management ,Xinjiang Agricultural University ,Urumqi 830052 ,China;

2. School of Forestry and Horticulture ,Xinjiang Agricultural University ,Urumqi 830052 ,China)

Abstract The study on Xinjiang agricultural carbon emission peak forecast and influence factors can make a scientific evaluation and reference for the development of low - carbon agriculture in Xinjiang. This paper estimated agricultural carbon emissions in 1995 - 2014 based on 23 carbon sources from 4 aspects , i. e. , the planting , livestock farming , farmland soil , and straw burning , analyzed its characteristic from time and space dimensions and structure using STIRPAT model , forecasted the peak value of agricultural carbon emissions in Xinjiang in the future , and analyzed the factors affecting Xinjiang agricultural carbon emission by LMDI method. The results showed that , firstly , Xinjiang agricultural carbon emissions showed " rising volatility to continues rise " characteristics , carbon emissions increased from $142.7 \times 10^4 \text{t}$ in 1995 to $3921.3 \times 10^4 \text{t}$ in 2014 , with an average annual growth rate of 3.77% . Secondly , there were significant regional differences. Kashi area was carbon emission intensity of " double high " area; Aletai and other 4 regions were low carbon and high carbon emission intensity areas; Urumqi and other 5 regions were " double low " areas; Changji Hui nationality and other 4 regions were high carbon emissions and low carbon emission intensity areas. Thirdly , Xinjiang agricultural carbon emission peak time was respectively in 2040 and 2029 , the carbon emissions were $7457.68 \times 10^4 \text{t}$ and $4755.23 \times 10^4 \text{t}$. Fourth , economic factors were the main driving factors of agricultural carbon emissions. Finally , it put forward that it should adjust agricultural structure , accelerate green agricultural modernization , strengthen the construction of the ecological environment , improve the utilization efficiency of agricultural means of production , and change the mode of growth.

Keywords agriculture carbon emission; difference of time and space; STIRPAT model; peak forecast; LMDI model; influence factor; Xinjiang