

doi:10.3969/j.issn.1000-7695.2017.07.013

广东省种植业能源消费温室气体排放影响因素分析

甄伟^{1, 2}, 秦全德^{3, 4, 5}, 匡耀求¹, 黄宁生¹

- (1. 中国科学院广州地球化学研究所, 广东广州 510640;
2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 深圳大学管理学院, 广东深圳 518060;
4. 北京理工大学能源与环境政策研究中心, 北京 100081;
5. 北京理工大学管理与经济学院, 北京 100081)

摘要: 分别利用能量分析法、LMDI 分解方法分析 1993—2013 年广东省种植业能源消费温室气体排放的变化特征、结构特征和主要影响因素。研究表明:1993—2013 年广东省种植业能源消费温室气体排放具有较为明显的增长; 化肥的使用是广东省种植业温室气体的主要排放源, 农业经济水平和能源强度分别是主要的增排因素和减排因素; 能源强度对广东省种植业能源消费温室气体排放的减排作用不稳定, 且具有较大提升空间。

关键词: 广东省; 种植业; 能源消费; 温室气体排放; LMDI

中图分类号: F062.1; F206; F207

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2017) 07-0078-08

Factor Analysis of Energy Consumption Related Greenhouse Gas Emissions from Crop Production System in Guangdong Province

ZHEN Wei^{1, 2}, QIN Quande^{3, 4, 5}, KUANG Yaoqi¹, HUANG Ningsheng¹

- (1. Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. College of Management, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;
4. Center for Energy and Environmental Policy Research, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;
5. School of Management and Economics, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: Energetic analysis method was used to analyze the change characteristics and structure characteristics of energy consumption related greenhouse gas emissions from crop production system in Guangdong Province during 1993–2013. Utilizing Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) method, this paper studied the main factors that affected the energy consumption related greenhouse gas emissions. The results of the study show that: (1) the energy consumption related greenhouse gas emissions have increased greatly in Guangdong's crop production system from 1993 to 2013; (2) chemical fertilizers are the main sources of energy and greenhouse gas emissions; (3) among all main factors, the level of agricultural economy is the determining factor for the growth of greenhouse gas emissions, while energy intensity is the main factor to reduce these emissions; (4) the reduction effect of energy intensity on energy consumption related greenhouse gas emissions of crop production system in Guangdong Province is not stable and has great potentials for improvement.

Key words: Guangdong Province; crop production system; energy consumption; greenhouse gas emissions; LMDI

1 研究背景及主要文献评述

控制温室气体排放、实现低碳绿色增长已成为当今世界发展潮流。在应对气候变化方面, 中国面临着巨大的国际压力。根据世界粮农组织 (FAO)

的报告^[1-2], 1961—2011 年间, 全球农业温室气体排放增长近一倍, 预计至 2050 年将增长 130%。作为世界重要农业大国, 中国农业温室气体排放以年均 2.8% 的速度增长^[3]。种植业是最为重要的农业生产部门, 种植业伴随着大量农用能源物资的投入,

以及农作物自身所拥有的自然属性，已成为农业温室气体排放的重要源头。在耕地紧缩和农业劳动力流失的双重压力下，中国种植业形成了以依靠消耗大量来自其它产业部门的能源密集型生产资料（如化肥、农药等）来推动农作物产量提高的生产模式，因此，分析中国种植业能源消费温室气体排放和影响因素已经成为合理制定农业减排政策和措施的重要问题。

目前，对中国种植业能源消费温室气体排放的研究引起了学者们的较广泛关注。Cheng等^[4]研究指出，1994—2007年间，中国种植业包括化肥、农药、农膜、柴油和灌溉电力在内的能源消费温室气体排放量从322.67Mt CO₂-eq增至595.47 Mt CO₂-eq。Lin等^[5]研究表明，在1979—2009年间，中国种植业能源消费CO₂排放总量增长了两倍。李波等^[6]⁸⁰⁻⁸⁶从化肥、农药、农膜、柴油、翻耕和农业灌溉6个方面核算了1993—2008年中国种植业温室气体排放量，结果表明1993—2008年间，中国种植业温室气体排放量以年均4.08%的速度递增。田云等^[7]基于种植业碳排放的6类主要碳源计算了1995—2010年中国农业碳排放量，进一步研究了农业碳排放与农业经济发展间的脱钩关系。以上的研究从化肥、农药、农膜、柴油和农业灌溉等几个方面对中国或区域种植业能源消费温室气体排放进行了研究。在目前全国积极推广农业现代化的背景下，种植业生产过程中对农业机械的使用量逐渐增长，农业机械的生产过程中会导致大量温室气体排放，因此，将农业机械纳入到种植业能源消费温室气体排放的研究中，有助于更加全面了解种植业能源消费温室气体排放的现状和趋势。

LMDI (logarithmic mean division index) 分解方法在研究温室气体排放影响因素方面得到广泛应用^[8-10]。近年来，一些学者将LMDI拓展到研究种植业温室气体排放的影响因素，研究表明，劳动力规模^[6]⁸⁴、生产效率和农业结构^[11]是抑制中国种植业能源消费温室气体排放的主要因素；农业经济增长是推动种植业能源消费温室气体排放增长的主要因素^[12]；降低能源强度和温室气体排放强度是降低能源消费温室气体排放的主要措施^[13-15]。但现有研究较少涉及能源强度和温室气体排放强度对区域种植业能源消费温室气体排放的影响。近年来，中国城市化速度不断加快，大量耕地转化为建设用地^[16]，农作物产量提高与耕地紧缩存在着较大的矛盾，城市化对区域种植业能源消费温室气体排放的影响越来越明显。中国不同区域间种植业生产模式、能源消费结构存在较大差异，研究区域种植

业能源消费温室气体排放，可以更好地揭示能源消费状态和提供相应的减排政策。

广东省是中国经济发展最为繁荣区域之一，2013年人口总量达到1.06亿人，居全国各省、自治区、直辖市（简称省区市）人口总量首位。广东省作为中国商品粮生产基地之一，具有丰富的水、热能等自然资源条件，已经成为冬季中国农作物重要生产基地。近些年，由于经济快速发展、人口急剧增长以及城市化速度不断提高，广东大量农地转化为建设用地；同时，由于广东省城乡经济发展速度差距的不断加大，导致大量农业劳动力由农村转移到城市。在农地的大量流失和农业劳动力短缺以及保证粮食安全的多重压力下，广东省依靠积极发展农业现代化提高种植业产值，导致广东省种植业能源消费量逐渐上升。1993—2013年间，广东省种植业化肥、农膜和农药的消费量分别上升了47.19%、53.51%和12.47%，这初步表明广东省形成了以依靠能源投入推动种植业经济增长的生产模式。本文从广东省种植业能源消费的实际特点出发，通过分析其温室气体排放现状、排放趋势以及排放结构，并根据广东省种植业面临的实际问题，构建了一个新颖的LMDI分解模型，该分解模型将温室气体排放强度、能源强度和城市化纳入到种植业终端能源消费温室气体排放影响因素的分析框架中，为广东实现低碳农业发展提供相应的政策建议。

2 研究方法数据来源

2.1 终端能源消费测算方法

本研究采用Hülsbergen等^[17]所提出的能量分析法(energetic analysis)来核算种植业能源消费量，核算公式如下：

$$EC = \sum EC_i = \sum T_i \times ECC_i \quad (1)$$

式(1)中： EC 为能源消费总量； EC_i 为在种植业生产过程中第*i*种能源投入量； T_i 为第*i*种生产资料投入量； ECC_i 为第*i*种生产资料折能系数。

在种植业生产过程中，生产资料主要包括：化肥、农药、农膜、灌溉电力、农用柴油以及农业机械的投入。其中，农业机械生产过程中能源消费量根据如下公式进行核算：

$$EC_{AM} = \sum EC_{AM_i} = \sum AM_i \times ECC_{AM_i} \times DR \quad (2)$$

式(2)中： EC_{AM} 代表农业机械生产过程中能源总消费量； EC_{AM_i} 为第*i*种农业机械生产过程中能源消费量； AM_i 为第*i*种农业机械使用量； ECC_{AM_i} 为第*i*种农业机械折能系数； DR 为农业机械折旧率， $DR=10$ ^[18]。

2.2 温室气体排放核算方法

根据种植业能源消费的特点，本文构建广东省种植业能源消费温室气体排放核算公式如下：

$$GHG = \sum GHG_i = \sum T_i \times EF_i \quad (3)$$

式(3)中： GHG 代表广东省种植业能源消费总温室气体排放量； GHG_i 代表种植业生产过程中第*i*种能源消费导致的温室气体排放量； EF_i 代表第*i*种能源温室气体排放因子。

其中，农业机械生产过程中能源消费温室气体排放量核算公式为：

$$GHG_{AM} = \sum EC_{AM_i} \times EF_{AM} \quad (4)$$

式(4)中： GHG_{AM} 代表种植业机械生产过程中能源消费温室气体排放总量； EC_{AM_i} 为第*i*种农业机械生产过程中能源消费量； EF_{AM} 代表农业机械生产过程中能源消费温室气体排放因子。

2.3 影响因素分解方法

根据种植业的实际特点，本研究利用LMDI分解方法来研究广东省种植业能源消费温室气体排放的影响因素，构建广东省种植业能源消费温室气体排放影响因素模型如下：

$$GHG = \frac{GHG}{EC} \times \frac{EC}{VC} \times \frac{VC}{VA} \times \frac{VA}{PA} \times \frac{PA}{P} \times P \quad (5)$$

式(5)中： GHG 表示种植业能源消费温室气体排放量； EC 表示种植业能源消费量； VC 表示种植业产值； VA 表示农业总产值； PA 表示农业人口总量； P 表示人口总量。

公式(5)进一步可以表示为：

$$GHG = G \times E \times S \times A \times U \times P \quad (6)$$

式(6)中： G 表示种植业能源消费温室气体排放强度； E 表示种植业能源强度； S 表示种植业在农业中的比重； A 表示农业人口人均产值； U 表示农业人口占总人口比重； P 表示人口规模。

不同因素对广东省种植业能源消费温室气体排放影响如下：

$$\Delta GHG_{tot} = \Delta GHG_G + \Delta GHG_E + \Delta GHG_S + \Delta GHG_A + \Delta GHG_U + \Delta GHG_P \quad (7)$$

目标年份(T)与基期($T-1$)温室气体排放的差值(ΔGHG_{tot})可以被分解为6个影响因素：温室气体排放强度效应(ΔGHG_G)；能源强度效应(ΔGHG_E)；农业结构效应(ΔGHG_S)；农业经济发展水平效应(ΔGHG_A)；城市化效应(ΔGHG_U)和人口规模效应(ΔGHG_P)。各因素的量化方法分别如公式(8)—公式(13)所示：

$$\Delta GHG_G = \frac{GHG^T - GHG^{T-1}}{\ln GHG^T - \ln GHG^{T-1}} \times \ln \left(\frac{G^T}{G^{T-1}} \right) \quad (8)$$

$$\Delta GHG_E = \frac{GHG^T - GHG^{T-1}}{\ln GHG^T - \ln GHG^{T-1}} \times \ln \left(\frac{E^T}{E^{T-1}} \right) \quad (9)$$

$$\Delta GHG_S = \frac{GHG^T - GHG^{T-1}}{\ln GHG^T - \ln GHG^{T-1}} \times \ln \left(\frac{S^T}{S^{T-1}} \right) \quad (10)$$

$$\Delta GHG_A = \frac{GHG^T - GHG^{T-1}}{\ln GHG^T - \ln GHG^{T-1}} \times \ln \left(\frac{A^T}{A^{T-1}} \right) \quad (11)$$

$$\Delta GHG_U = \frac{GHG^T - GHG^{T-1}}{\ln GHG^T - \ln GHG^{T-1}} \times \ln \left(\frac{U^T}{U^{T-1}} \right) \quad (12)$$

$$\Delta GHG_P = \frac{GHG^T - GHG^{T-1}}{\ln GHG^T - \ln GHG^{T-1}} \times \ln \left(\frac{P^T}{P^{T-1}} \right) \quad (13)$$

2.4 数据来源及处理

本研究选用1993—2013年广东省经济和种植业能源消费数据进行研究。其中，化肥、农药、农膜、农用柴油消费量，农田灌溉面积以及农业机械数据来源于《广东省农村统计年鉴》(1994—2014)，并以当年实物量为准；种植业生产总值、农业生产总值数据来源于《广东省农村统计年鉴》(1994—2014)，并以1993为基期的不变价格表示；农业人口总量、人口总量数据来源于《广东统计年鉴》(1994—2014)。

表1中列出各类能源的能量转换系数。本研究中，种植业能源消费温室气体包括二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)和氧化亚氮(N_2O)，并根据IPCC第四次评估报告中的全球增温潜势(GWP)，将各类温室气体折算为二氧化碳当量($CO_2\text{-eq}$)^[19]，具体折算系数分别为：GWP(CO_2)=1，GWP(CH_4)=25，GWP(N_2O)=298。表2中列出各类能源消费温室气体量转换系数。

表1 各类能源能量折算系数

能源类型	折能系数	参考文献
柴油	43.514 MJ kg ⁻¹	[20] 2
农膜	104.700 MJ kg ⁻¹	[20] 2
农药	100.416 MJ kg ⁻¹	[21] 115-116
灌溉电力	9260 MJ hm ⁻²	[18] 264、[22]、[23]
化肥	51.670 MJ kg ⁻¹ 氮肥 12.110 MJ kg ⁻¹ 磷肥 4.220 MJ kg ⁻¹ 钾肥 28.860 MJ kg ⁻¹ 复合肥	[21] 115-116
农业机械	58 616.650 MJ 每台大中型拖拉机 29 308.320 MJ 每台小型拖拉机 7 327.081 MJ 每套大中型拖拉机配套农具 4 396.249 MJ 每套小型拖拉机配套农具 1 465.416 MJ 每台农用水泵 1 465.416 MJ 每台节水灌溉设备 58 616.650 MJ 每台联合收割机 14 654.160 MJ 每台自动式机动隔晒机 14 654.160 MJ 每台机动脱粒机	[20] 2

表 2 各类能源温室气体排放系数

排放源	温室气体排放系数	参考文献
农业机械	0.071 kg CO ₂ -eq MJ ⁻¹	[24]、[25]
柴油	2.504kg CO ₂ -eq kg ⁻¹	[21] 115-116
农膜	18.993 kg CO ₂ -eq kg ⁻¹	[26] 1395
农药	18.092 kg CO ₂ -eq kg ⁻¹	[26] 1395
灌溉电力	711.758 kg CO ₂ -eq hm ⁻²	[22] 223、[23] 4
化肥	10.183 kg CO ₂ -eq kg ⁻¹ 氮肥	[21] 115-116
	1.502 kg CO ₂ -eq kg ⁻¹ 磷肥	
	0.982 kg CO ₂ -eq kg ⁻¹ 钾肥	
	4.222 kg CO ₂ -eq kg ⁻¹ 复合肥	

3 结果分析与讨论

3.1 广东省种植业能源消费温室气体排放特征

1993—2013 年间，广东省种植业产值快速增长，增长了 908.8%，至 2013 年达到 4 051.98 亿元；

与此同时，种植业能源消费量有了较大幅度增长，1993 年的 12.95×10^4 TJ 增至 2013 年的 14.17×10^4 TJ。可以看出，能源消费成为推动广东省种植业经济增长的重要驱动力，也表明广东省种植业对能源消费的依赖程度较高。广东省种植业能源消费导致大量温室气体排放，从 1993 年的 17.81 Mt CO₂-eq 增至 2013 年的 21.90 Mt CO₂-eq。从图 1 可以看出，1993—2013 年广东省种植业能源消费及其温室气体排放量的增长呈现两阶段特征：第一阶段，在 1993—2005 年间广东省种植业能源消费温室气体排放随种植业能源消费量的变化呈现缓慢波动式上升，年均增速为 0.50%；第二阶段，在 2005—2013 年间广东省种植业能源消费温室气体排放量以年均增长 2.01% 的速度快速增长。

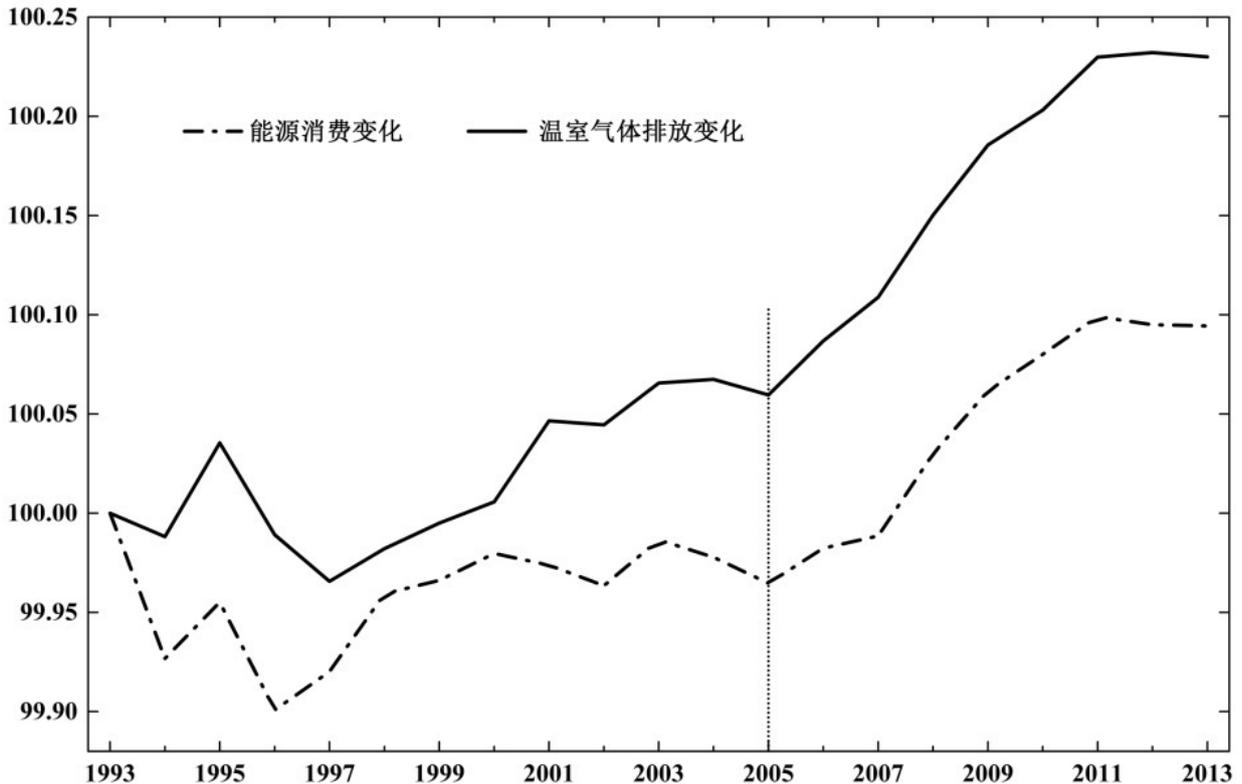


图 1 1993—2013 年广东省种植业终端能源消费及其温室气体排放累积增长率

3.2 广东省种植业能源消费温室气体排放结构特征

从各种能源消费类型来看（如图 2），化肥在种植业能源消费温室气体排放总量中所占比例最高，平均占温室气体总排放量的 64.83%；农膜温室气体排放所占比例最低，平均占温室气体总排放量的 3.57%；其它各类种植业能源温室气体排放比例由高到低依次为：柴油（8.62%）>农药（8.62%）>灌溉电力（7.22%）>农业机械（7.14%）。广东省种植业

各类能源消费温室气体排放的这种结构特征主要是源自于其能源消费结构，如图 3 所示。图 3 表明，在各类能源消费中，化肥所占比重为最高，平均占总能源消费量的 38.70%；其次为柴油（22.27%）>农机（15.01%）>灌溉电力（13.96%）>农药（7.12%）>农膜（2.94%）。由此可知，化肥是广东省种植业的主要能源消费类型和温室气体排放源。

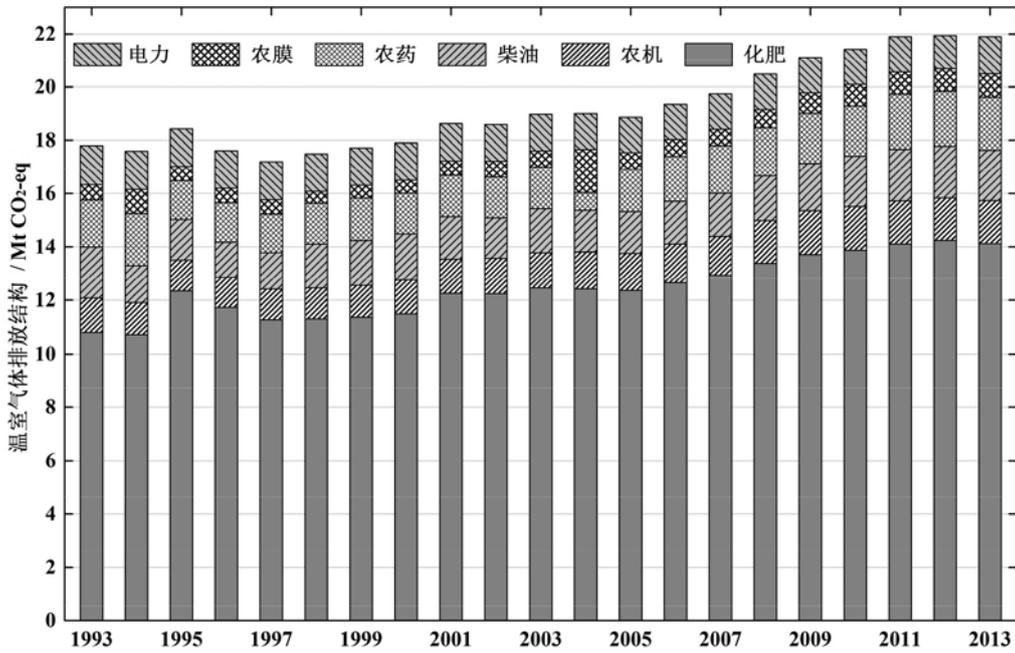


图2 1993—2013年广东省种植业能源消费温室气体排放结构

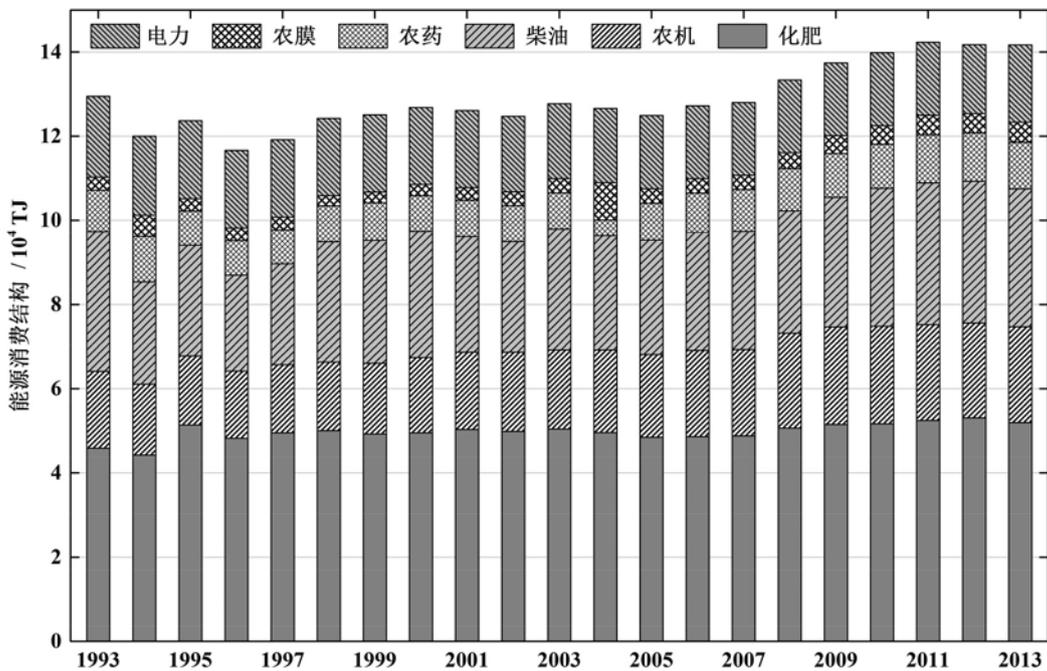


图3 1993—2013年广东省种植业能源消费结构

1993—2013年间，广东省种植业能源消费总量上升了 1.22×10^4 TJ，导致其种植业能源消费温室气体排放量上升了 $4.10 \text{ Mt CO}_2\text{-eq}$ 。从各类能源消费及温室气体排放变化来看（如表3），1993—2013年间，广东省种植业化肥、农机、农药、农膜能源消费及温室气体排放量均有所提高，而柴油和电力能源消费及温室气体排放量有所下降。其中，化肥能源消费增长量最大，为 0.61×10^4 TJ，同时其导致的能源

消费温室气体排放量增长最高，为 $3.34 \text{ Mt CO}_2\text{-eq}$ ；各能源类型中，能源消费量的变化由大到小依次为：化肥（ 0.61×10^4 TJ）>农机（ 0.45×10^4 TJ）>农膜（ 0.17×10^4 TJ）>农药（ 0.12×10^4 TJ）>柴油（ -0.04×10^4 TJ）>灌溉电力（ -0.08×10^4 TJ），各类能源消费量的变化导致各类能源温室气体排放量的变化由大到小依次为：化肥（ $3.34 \text{ Mt CO}_2\text{-eq}$ ）>农机（ $0.32 \text{ Mt CO}_2\text{-eq}$ ）>农膜（ $0.30 \text{ Mt CO}_2\text{-eq}$ ）>农药（ 0.22 Mt

$\text{CO}_2\text{-eq}$) > 柴油 (-0.04 Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$) > 灌溉电力 (-0.06 Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$)。

表 3 1993—2013 年广东省种植业各类能源消费及其温室气体排放变化

能源类型	化肥	农机	柴油	农药	农膜	电力
温室气体 / Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$	3.34	0.32	-0.03	0.22	0.30	-0.06
能源消费 / 10^4 TJ	0.61	0.45	-0.04	0.12	0.17	-0.08

3.3 广东省种植业能源消费温室气体排放影响因素分析

利用 LMDI 分解方法, 本文研究了排放强度、能源强度、农业结构、农业经济水平、城市化和人口规模 6 个因素对 1993—2013 年间广东省种植业能源消费温室气体排放的影响 (如图 4)。从图 4 可

以得到如下结论: (1) 排放强度、农业结构、农业经济水平和人口规模对广东省种植业能源消费温室气体排放变化起到增排作用, 其中农业经济水平是主要增排影响因素。(2) 能源强度和城市化对广东省种植业能源消费温室气体排放变化起到减排作用, 其中能源强度是主要减排影响因素。(3) 1993—2013 年间, 各增排影响因素累积效用由大到小依次为: 农业经济水平 (47.22 Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$)、人口规模 (5.41 Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$)、排放强度 (2.20 Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$) 和能源强度 (1.56 Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$)。(4) 1993—2013 年间, 各减排影响因素累积效用由大到小依次为: 能源强度 (-42.14 Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$) 和城市化 (-8.60 Mt $\text{CO}_2\text{-eq}$)。

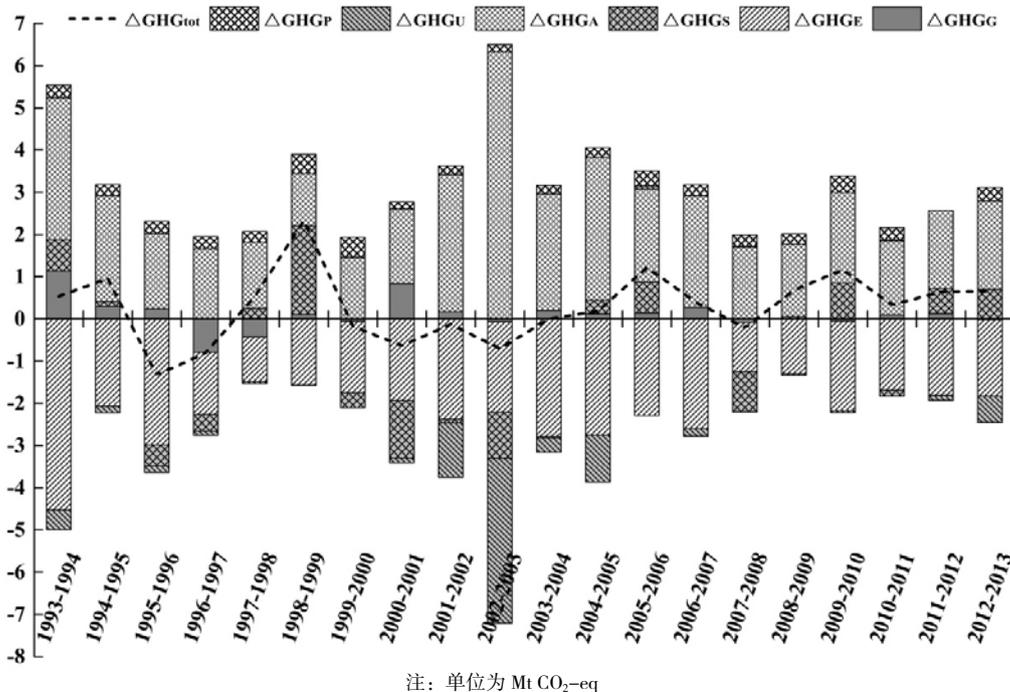


图 4 1993—2013 年广东省种植业能源消费温室气体排放影响因素分解结果

总体而言, 经济发展和人口增长会增加对环境的影响, 技术进步可以降低对环境的影响^[27]。在本研究中, 农业经济水平对广东省种植业能源消费温室气体排放起到主要增排作用。1993—2013 年间, 广东省农业经济水平显著提高, 农业人均产值从 0.19 万元提高到 2.25 万元, 农业经济水平的发展使得农民在种植业生产过程中大量使用如化肥、农药等能源密集型生产资料, 从而导致广东省种植业能源消费温室气体排放量不断上升。人口规模是第二大促进广东省种植业能源消费温室气体排放的关键因素。1993—2013 年间, 广东省人口总量上升了 33.09%, 人口规模的不断扩大导致对农作物的需求不断扩大, 从而导致种植业能源消费温

室气体排放不断提高; 同时, 人口规模的快速增长导致大量农地转换为建设用地, 并导致一系列如土壤侵蚀、土壤肥力退化等环境影响, 这些都会对农作物产量产生严重影响^[28]。

本研究中, 温室气体排放强度因素对广东省种植业能源消费温室气体排放的促进作用主要体现在两个方面: 首先, 广东省种植业能源消费主要是依靠以化肥等能源密集型和排放密集型生产资料投入推动种植业产出不断提高 (如图 2、图 3), 而在中国种植业生产过程中, 过量施肥 (尤其是氮肥) 现象十分普遍^[29], 优化种植业能源消费结构, 如降低化肥施用率, 不仅对维持农作物产量具有重要作

用, 同时还会对降低种植业温室气体排放产生协同效应^[30]。另一方面, 当前我国农业生产资料的生产技术水平还处在较低阶段^[31]。提高农业生产资料的生产技术水平对提高能源利用效率和降低温室气体排放具有双重意义。

1993—2013年间, 广东省种植业在农业中的比重较为稳定, 一直维持在44%~52%之间, 说明在此期间, 随着农业生产规模的扩大, 广东省种植业生产规模也在不断扩大, 种植业生产规模的扩大导致能源需求总量不断提高, 这是农业结构因素对广东省种植业能源消费温室气体排放起到促进作用的主要原因。在种植业生产规模不断扩大的同时, 优化种植业结构, 如推广种植经济效益高、能源消耗和排放强度低的作物种类, 成为增加农民收入、降低温室气体排放的主要措施。

本研究中能源强度因素是广东省种植业能源消费温室气体排放的主要减排因素。1993—2013年间, 广东省种植业能源消费强度不断降低, 从1993年的31 464.84 MJ每万元降低至2013年的3 413.27 MJ每万元, 说明广东省种植业技术水平有了显著提高。从图4中可以看出, 尽管能源强度因素对降低种植业温室气体排放具有减排效用, 但其在各年份的减排效果并不稳定, 主要原因是当前广东省种植业发展的主要目标是依靠科技提高农作物产量来增加农民收入, 许多生产技术的创新在于促进农作物生产率而非降低种植业能源强度。因此, 从降低种植业能源强度的角度来说, 广东省种植业技术水平还有很大提升空间。

城市化对广东省种植业能源消费温室气体排放具有一定的减排作用(如图4)。1993—2013年是广东省快速城市化发展阶段, 其城市化率从1993年的22.47%快速上升到2013年的53.97%。快速城市化除了导致大量农地转换为建设用地外^[32], 还导致大量农业劳动力由乡村转移到城市, 农地流失和农业劳动力的缺乏导致种植业倾向于小规模生产模式^[33], 进而导致广东省种植业能源消费温室气体排放量降低。从另一方面来说, 近些年在城市化率不断提高的背景下, 广东省积极开展农地流转。2011年, 广东省土地流转率达到33.2%^[34], 高于全国平均水平。土地流转有利于提高土地集中度, 从而降低农业生产资料浪费, 进而降低温室气体排放。

4 结论与建议

本文利用能量分析法核算了1993—2013年间广东省种植业能源消费温室气体排放量, 并分析其排放现状和结构特征; 基于LMDI分解模型, 分析了

排放强度、能源强度、农业结构、农业经济水平、城市化和人口规模6个因素对广东省种植业能源消费温室气体排放的影响。本文的研究得到以下主要结论: (1) 1993—2013年广东省种植业能源消费温室气体排放总量从17.81 Mt CO₂-eq增至21.90 Mt CO₂-eq, 其中1993—2005年间呈现波动缓慢上升态势, 2005—2013年间呈快速上升态势。(2) 在各类能源消费温室气体排放量中, 由化肥消费导致的温室气体排放量最高, 平均占温室气体总排放量的64.83%; 农膜温室气体排放量所占比例最低, 平均占温室气体总排放量的3.57%。(3) 排放强度、农业结构、农业经济水平和人口规模4个因素对广东省种植业能源消费温室气体排放变化起到增排作用, 其中农业经济水平是主要增排影响因素, 其累积增排效用为42.14 Mt CO₂-eq。(4) 能源强度和城市化对广东省种植业能源消费温室气体排放变化起到减排作用, 其中能源强度是主要减排影响因素, 其累积减排效用为47.22 Mt CO₂-eq。(5) 能源强度因素对广东省种植业能源消费温室气体排放的减排作用不稳定, 且存在较大提升空间。未来依托以提升能源利用效率的先进技术的开发和应用是降低广东省种植业能源消费温室气体排放的主要因素。

根据上述结论, 本文研究提出以下建议:

(1) 加大科技投入, 提高能源利用效率。广东省需要加大科技投入来提高种植业节能生产技术水平。从生产端角度来看, 加大农业生产物资生产过程中有助于能源效率提高的新技术的投入、研发能源消耗低的农业生产物资、培育新的作物品种等; 从消费端角度来看, 提高种植业农作物产量以及能源效率的科技投入, 如包括测土配肥、节水灌溉、保护性耕作方式等田间管理技术创新投入。

(2) 优化生产结构。从生产端角度来看, 在农业物资生产过程中, 调整其能源消费结构、淘汰落后农业物资生产设备等措施; 从消费端角度来看, 调整种植业生产过程中的农业物资消费结构和作物种植结构, 如调整化肥消费结构、合理利用作物残茬和牲畜粪便等; 此外, 根据广东省实际资源禀赋和农业经济发展水平优化种植结构, 如推广种植经济效益高、资源消耗低的农作物作物类型等。

参考文献:

- [1] FAO. Agriculture's greenhouse gas emissions on the rise [EB/OL]. (2014-04-11) [2016-05-16]. <http://www.fao.org/news/story/item/216137/icode/>
- [2] FAO. Emissions of methane and nitrous oxide produced from agricultural activities [EB/OL]. (2012-06-13) [2016-05-16].

- http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/browse/G1/*E
- [3] LIN B Q, XIE X. CO₂ emissions of China's food industry: an input - output approach [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016 (112): 1410-1421
- [4] CHENG K, PAN G X, SMITH P, et al. Carbon footprint of China's crop production—an estimation using agro-statistics data over 1993—2007 [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 142 (3-4): 231-237
- [5] LIN J Y, HU Y C, CUI S H, et al. Carbon footprints of food production in China (1979—2009) [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015 (90): 97-103
- [6] 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
- [7] 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
- [8] 秦翊, 侯莉. 广东能源消费碳排放影响因素分解分析——基于LMDI方法 [J]. *科技管理研究*, 2013 (12): 224-227
- [9] 李从欣, 李国柱, 刘文艳. 河北省碳排放因素分解及实证分析 [J]. *科技管理研究*, 2014 (16): 238-241
- [10] 孙建. 东北老工业基地工业行业碳排放影响因素研究 [J]. *科技管理研究*, 2015 (11): 225-234
- [11] 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
- [12] 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
- [13] FAN Y, LIU L C, WU G, et al. Changes in carbon intensity in China: empirical findings from 1980—2003 [J]. *Ecological Economics*, 62 (3-4): 683-691
- [14] LIU Z, GENG Y, LINDNER S, et al. Embodied energy use in China's industrial sectors [J]. *Energy Policy*, 2012 (49): 751-758
- [15] ZHU B Z, WANG K F, CHEVALLIER J, et al. Can China achieve its carbon intensity target by 2020 while sustaining economic growth? [J]. *Ecological Economics*, 2015 (119): 209-216
- [16] TAN M H, LI X B, XIE H, et al. Urban land expansion and arable land loss in China — a case study of Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *Land Use Policy*, 2005, 22 (3): 187-196
- [17] HÜLSBERGEN K J, FEIL B, BIERMANN S, et al. A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2001, 86 (3): 303-321
- [18] 陈阜. 农业生态学 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002
- [19] IPCC. Climate change 2007: mitigation of climate change. contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. United Kingdom: Cambridge University Press, 2007
- [20] 胡莉莉, 牛叔文, 马莉, 等. 基于面板数据模型的中国农业生产用能与农业经济增长关系 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27 (6): 1-6
- [21] ZHANG X H, PAN H Y, CAO J, et al. Energy consumption of China's crop production system and the related emissions [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015 (43): 111-125
- [22] 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 and Environment*, 2002, 91 (1-3): 217-232
- [23] WANG J X, ROTHAUSEN S, CONWAY D, et al. China's water-energy nexus: greenhouse-gas emissions from groundwater use for agriculture [J]. *Environmental Research Letters*, 2012, 7 (1): 014035
- [24] DYER J A, DESJARDINS R L. Carbon dioxide emissions associated with the manufacturing of tractors and farm machinery in Canada [J]. *Biosystems Engineering*, 2006, 93 (1): 107-118
- [25] TAGHAVIFAR H, MARDANI A. Prognostication of energy consumption and greenhouse gas (GHG) emissions analysis of apple production in West Azarbayjan of Iran using artificial neural network [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015 (87): 159-167
- [26] TIAN Y, ZHANG J B, HE Y Y. Research on spatial-temporal characteristics and driving factor of agricultural carbon emissions in China [J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2014, 13 (6): 1393-1403
- [27] GENG Y, WANG M L, SARKIS J, et al. Spatial-temporal patterns and driving factors for industrial waste-water emission in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2014 (76): 116-124
- [28] WANG Z H, YANG L. Delinking indicators on regional industry development and carbon emissions: Beijing-Tianjin-Hebei economic band case [J]. *Ecological Indicators*, 2015 (48): 41-48
- [29] NAYAK D, SAETNAN E, CHENG K, et al. Management opportunities to mitigate greenhouse gas emissions from Chinese agriculture [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2015 (209): 108-124
- [30] DONG G, MAO X Q, ZHOU J, et al. Carbon footprint accounting and dynamics and the driving forces of agricultural production in Zhejiang Province, China [J]. *Ecological Economics*, 2013 (91): 38-47
- [31] CAO S Y, XIE G D, ZHEN L. Total embodied energy requirements and its decomposition in China's agricultural sector [J]. *Ecological Economics*, 69 (7): 1396-1404
- [32] IRWIN E G, BOCKSTAEEL N E. The evolution of urban sprawl: evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104 (52): 20672-20677
- [33] XU Y J, HUANG K, YU Y J, et al. Changes in water footprint of crop production in Beijing from 1978 to 2012: a logarithmic mean division index decomposition analysis [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015 (87): 180-187
- [34] 钟晓兰, 李江涛, 冯艳芬, 等. 农户认知视角下广东省农村土地流转意愿与流转行为研究 [J]. *资源科学*, 2013, 35 (10): 2082-2093

作者简介: 甄伟 (1987—), 男, 辽宁朝阳人, 博士生, 主要研究方向为资源、环境与区域可持续发展。秦全德 (1979—), 通信作者, 男, 湖南衡阳人, 博士 (后), 主要研究方向为管理决策和能源经济。匡耀求 (1963—), 男, 湖南娄底人, 研究员, 博士, 主要研究方向为资源、环境与区域可持续发展。黄宁生 (1962—), 男, 山东济宁人, 研究员, 博士, 主要研究方向为资源、环境与区域可持续发展。