

基于 STIRPAT 和 GM (1, 1) 模型的湖南省

农地投入碳排放增长机理及趋势预测¹

黎孔清¹, 陈俭军², 马豆豆²

(1. 南京农业大学人文与社会发展学院, 江苏 南京 210095;

2. 南京农业大学经济管理学院, 江苏 南京 210095)

【摘要】: 探索农地投入的碳排放特征、增长机理及趋势预测, 并提出减排对策对农业发展向低碳绿色转型具有重要意义。研究采用回归分析法、STIRPAT 和 GM (1, 1) 模型解析湖南省农地投入碳排放增长机理并做出趋势预测。结果表明: 2000~2014 年湖南省农地投入碳排放量呈上升趋势, 年均增长率为 3.25%, 各类碳源中化肥累计的碳排放量最大, 其次是农药; 此外翻耕、农药、农膜、柴油、灌溉、化肥累计碳排放年均增长量分别为 0.68%、3.22%、7.47%、6.42%、2.57%、3.25%。农业人口、人均农业 GDP、机械化水平、农业生产效率、农业产业结构显著影响农地碳排放, 各因素每发生 1% 的变动会相应带来农地碳排放量约 0.20%、0.95%、0.12%、0.98% 和 0.93% 的变化。通过 GM (1, 1) 模型对 2016~2020 年湖南省农地投入碳排放量进行预测, 碳排放量呈持续上升趋势, 2020 年预计达到 430.43 万 t。最后根据研究结果提出促进农地投入碳减排的政策建议。

【关键词】: 农地投入; 碳排放; STIRPAT 模型; GM (1, 1); 湖南省

【中图分类号】: F301.24

【文献标识码】: A

【文章编号】: 1004-8227 (2018) 02-0345-08

【DOI】: 10.11870/cjlyzyyhj201802013

人类活动所引起的大气中二氧化碳浓度的持续增加, 对全球气候变暖产生显著影响, 实施碳减排以应对气候变化成为国际社会的共识。农地利用既可以发挥碳源作用, 又可以发挥碳汇作用, 而且最易受到气候变化的影响, 因而农地利用碳排放越来越受到关注^[1]。据研究发现, 全球因农地利用活动产生的温室气体排放约占人为源碳排放总量的 20%, 美国 2008 年因农业活动导致的碳排放约为 4.28 亿 t, 其中半数源于农地利用活动^[2]。而我国政府已向世界承诺, 到 2020 年单位 GDP 温室气体排放较 2005 年下降 40%~45%。2017 年 10 月, 中共中央及国务院在《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》中, 要求建立农业绿色循环低碳生产制度和农业投入品减量施用制度。因农地利用碳排放效应显著, 并蕴含着巨大的减排潜力和正外部效应, 而且中国作为农业大国, 研究农地利用碳排放对于碳减排目标的实现和农业低碳绿色转型发展具有重要意义。

纵览国内外相关研究文献, 对农地利用碳排放的研究主要有以下特点: 国外关于农地利用碳排放的研究较早, 延续性好,

¹[收稿日期]: 2017-08-05; [修回日期]: 2017-10-08

【基金项目】: 国家自然科学基金青年基金 (71704081); 教育部人文社会科学研究青年项目 (14YJC630058); 江苏省自然科学基金 (BK20150681); 江苏高校哲学社会科学项目 (2014SJD072); 南京农业大学人文社科基金 (SKYC2017019、SKTS2017015)

【作者简介】: 黎孔清 (1985~), 女, 博士, 讲师, 研究方向为资源与环境管理_E-mail: likq@njau.edu.cn

国内研究起步较晚，但研究成果发展迅速。国外研究更注重碳排放产生机理、行政管控和市场调控手段的结合，国内研究则侧重碳减排工程实验技术。近年来，国内学者开始运用经济学和管理学方法探寻碳排放影响因素及减排对策，对碳排放影响因素的研究主要采用因素分解法，包括 Kaya 公式、LMDI 分解法、IPAT 模型、STIRPAT 模型、Laspeyres 指数法等。田云等^[3]对湖北省 1995~2009 年农地利用碳排放量进行测算和分析，并采用 Tapio 脱钩模型探讨了湖北省历年碳排放变化与农业经济之间的脱钩关系。李俊杰^[4]研究了 1993~2010 年我国民族地区的农地利用碳排放的特征及影响因素，利用 LMDI 分解方法发现效率因素、人口规模因素、结构因素可以抑制农地利用碳排放量，农业经济水平对农地碳排放具有较强推动作用。梁青青^[5]基于改进的 Kaya 等式与 LMDI 分解法研究了 1995~2014 年我国农地资源利用碳排放影响因素，得出化肥、农药、农膜和农用柴油与农业碳排放之间存在长期的稳定均衡关系。综上分析表明，农地利用碳排放研究视角和研究方法在逐步拓展，但农地投入碳排放影响因素的研究还没有形成统一结论，对农地投入碳排放趋势预测的文章也较少，将两者系统结合提出减排对策的文章有待进一步探索。

湖南省作为我国粮食主产区之一，具有特定的区位优势条件和农业生产特征，每年因农地利用活动引起的直接和间接碳排放量较为显著，在“两型社会”和“绿色湖南”建设中，探索一条适合湖南省农地投入碳减排的路径具有重要作用。目前，IPAT 模型及其衍生的 STIRPAT 模型及变形进行碳排放影响因素分析成为主流研究手段^[6~13]，但目前未见用于农地利用碳排放增长机理解析。本研究从农地投入视角，科学构建农地投入碳排放测算体系，对湖南省 2000~2014 年农地投入碳排放效应进行测算，简要解析其阶段特征，并应用 STIRPAT 模型对影响因素进行分析，同时基于 GM(1, 1) 模型预测湖南省 2016~2020 年农业投入碳排放趋势，并根据研究结果提出相关减排建议。

1、研究方法和数据来源

1.1 农地投入碳排放测算方法

结合相关文献和专家建议，本研究将农地投入碳排放定义为人类在农地利用过程中所投入的各种物资所引起的直接或间接的碳排放^[14]。农地投入碳排放来源主要是在农地利用活动中农用物质的投入和农业生产行为所产生的碳排放，主要有六大类碳源：①化肥、②农药、③农膜、④农用柴油、⑤翻耕、⑥灌溉。其中，化肥、农药、农膜在直接使用或者生产过程中会导致碳排放。农用柴油是因为机械化使用过程利用柴油导致消耗化石燃料引起碳排放。灌溉因需要电力带动，继而会消耗化石燃料，也能形成碳排放。根据以上分析，构建湖南省农地投入碳排放测算公式：

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \delta_i \quad (\text{式 1})$$

式中：E 表示农地投入的碳排放总量；E_i 表示各类碳源产生碳排放量；T_i 表示为各类碳排放源的量；δ_i 表示为各碳排放源的系数。不同碳源碳排放源的系数如表 1。

表 1 农地投入碳排放系数及参考来源

碳源	碳排放系数	参考来源
农药	4.9341kgC/kg	美国橡树岭国家实验室 ^[15]
化肥	0.8956kgC/kg	West ^[16] 、美国橡树岭国家实验室
农膜	5.18kgC/kg	南京农业大学农业资源与生态环境研究所 (IREEA)
柴油	0.5927kgC/kg	政府间气候专门委员会 (IPCC)
翻耕	312.6kgC/km ²	中国农业大学生物技术学院
农地灌溉	25kgC/hm ²	Dubey ^[17]

注：农业灌溉的碳排放系数是 25kgC/hm²，然而实际过程，仅仅是火力发电间接引起碳排放，所以对于农业灌溉碳排放是 25 kg*

火电系数（用于火力发电比上我国总发电量）。据 2004~2008 年中国年鉴的数据，得出火电系数为 0.819。因此，对农业灌溉系数最后用值为 20.476kgC/hm²。

1.2 农地投入碳排放影响因素模型构建

本研究选取 York 等^[18]提出的 STIRPAT 模型（Stochastic Impacts by Regression on Population, Affluence, and Technology），即环境影响随机模型。它是在研究人文因素对环境压力影响的恒等式 IPAT 模型的基础上改进而来的，该模型能够克服 KAYA 恒等式和 IPAT 模型在假设检验方面的局限，同时能够得到影响因子对环境的非比例影响。该模型用来分析 P（人口）、A（富裕度）、T（技术）与 I（环境影响）之间的关系，被广泛的应用于各学科领域。其形式如下：

$$I = aP^b A^c T^d e \quad (式 2)$$

式中：I、P、A、T 分别表示环境影响、人口、富裕度和技术水平；a 是常数项，b、c、d 是需要估计的指数；e 为误差项。

该模型是一个多自变量的非线性模型，模型两边分别取对数后，可以得到：

$$\ln I = \ln a + b \ln P + c \ln A + d \ln T + \ln e \quad (式 3)$$

以 $\ln I$ 作为因变量， $\ln P$ 、 $\ln A$ 、 $\ln T$ 作为自变量， $\ln a$ 作为常数项， $\ln e$ 作为误差项，对经过处理后的模型进行多元线性拟合。根据弹性系数概念，P、A、T 每发生 1% 的变化，将分别引起 I 发生 b%、c% 和 d% 的变化。

为了研究湖南省农地投入碳排放的影响因素，结合湖南省的实际情况，对模型进行扩展，构建如下模型：

$$\ln I = \ln a + \mu_1 \ln P + \mu_2 \ln A + \mu_3 \ln T + \mu_4 \ln S + \mu_5 \ln E + \ln e \quad (式 4)$$

式中：I 是湖南省农地投入产生的碳排放量（万吨）；P 为农业人口数（万人）；A 为富裕度，以人均农业 GDP 表示（元/人）；T 为农业技术水平，以农业机械动力表示；S 为农业产业结构，以种植业总产值占农林牧副渔比例表示；E 为农业生产能源效率，以农地投入能源消费量与农业 GDP 比值表示（吨标煤/万元）； μ_1 、 μ_2 、 μ_3 、 μ_4 、 μ_5 为弹性系数，表示当 P、A、T、S、E：每变化 1%，将会引起碳排放量 $\mu_1\%$ 、 $\mu_2\%$ 、 $\mu_3\%$ 、 $\mu_4\%$ 、 $\mu_5\%$ 的变化。

1.3 农地投入碳排放趋势预测

灰色模型（Grey Model）是揭示 7K 系统内部事物连续发展变化过程的预测模型，简称 GM（1，1）模型^[19]。该模型通过少量、不完全的信息，建立灰色微分预测模型，对事物发展规律作出模糊性的长期描述。GM（1，1）模型不需要大量样本，计算工作量小，预测准确度高。本文根据湖南省 2000~2014 年的农业碳排放量预测 2016~2020 年 5a 的农业碳排放量发展趋势，GM（1，1）模型的基本形式为：

$$x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b \quad (式 5)$$

其中 a 为发展系数，b 为灰作用量，经过演变计算可变为白化方程：

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (\text{式 6})$$

模型通过检验的标准为：精度等级越小越好，其中 4 级为不合格，精度等级的标准见表 2。

表 2 GM (1, 1) 模型精度等级

精度等级	后验差比值 C	误差概率 P
1 级（好）	<0.35	>0.95
2 级（合格）	<0.50	>0.80
3 级（勉强）	<0.65	>0.70
4 级（不合格）	≥0.65	≤0.70

1.4 数据来源

本研究中的碳排放源原始数据和社会经济数据来自《湖南统计年鉴》（2000-2015）和《中国农村统计年鉴》（2000-2015）整理得出，选取 2000~2014 年的数据作为研究数据。其中化肥、农药、农膜和柴油数据均以当年实际使用量为准；翻耕数据以当年实际播种面积为准，农业灌溉以各年实际灌溉面积为准。考虑到经济发展中，价格的不断变化，以实际价格计算的产值不能进行纵向对比，故 GDP 采用 GDP 指数折算成 2010 年可比价。

2、研究结果及分析

2.1 湖南省农地投入碳排放效应分析

根据前文碳排放测算公式，得出 2000~2014 年湖南省农地投入碳排放的变化特征如表 3 所示，结果表明，碳排放总量总体呈上升态势，从 2000 年的 247.75 万 t 增加到 2014 年的 360.41 万 t，年均增长率为 3.25%。然而随着湖南省农业经济的快速发展，单位 GDP 碳排放强度由 2000 年的 0.39t/万元下降到 2014 年的 0.12t/万元，近几年均保持稳定态势。从各类碳排放源来看，化肥占碳排放总量的比例最高，其次是农药和农膜。从 2000 年到 2014 年，翻耕、农药、农膜、柴油、灌溉、化肥的年均增长率分别为 0.68%、3.22%、7.47%、6.42%、2.57%、3.25%。其中农膜和柴油的增速较快，其次是化肥和农膜。

表 3 2000~2014 年湖南省农地投入碳排放量情况 (10⁴t)

年份	翻耕	农药	农膜	柴油	灌溉	化肥	总量	增速 (%)	碳排放强度 (t/万元)
2000	2.5	42.24	20.95	13.29	5.48	163.13	247.75	—	0.39
2001	2.48	42.23	20.88	14.66	5.48	165.01	250.74	1.27	0.38
2002	2.43	42.91	24.64	15.11	5.47	165.07	255.63	1.95	0.38
2003	2.42	47.05	26.21	16.4	5.47	168.66	266.21	4.13	0.3
2004	2.56	54.02	30.41	17.9	5.49	181.98	292.36	9.81	0.31
2005	2.61	55.87	30.72	19.34	5.5	187.98	302.02	3.31	0.3

2006	2.67	54.86	32.98	19.61	5.52	189.99	305.63	1.19	0.25
2007	2.67	53.85	35.24	19.87	5.53	196.65	313.81	2.67	0.22
2008	2.48	55.63	35.98	21.12	5.54	200.05	320.8	2.22	0.2
2009	2.5	56.91	36.96	22.22	5.57	207.42	331.58	3.35	0.16
2010	2.56	58.59	37.9	22.39	5.58	211.87	338.89	2.2	0.14
2011	2.62	59.42	39.33	23.41	5.65	217.17	347.6	2.56	0.13
2012	2.66	60.68	41.19	24.07	6.28	223.1	357.98	2.98	0.13
2013	2.7	61.33	42.68	24.73	5.66	222.27	359.37	0.39	0.12
2014	2.73	61.31	42.86	25.24	6.35	221.92	360.41	0.29	0.12
年均增速 (%)	0.68	3.22	7.47	6.42	1.13	2.57	3.25	—	—

从图 1 可以看出, 2000 年到 2014 年湖南省农地投入碳排放总量呈不断上升态势, 但不同阶段碳排放增速具有差异, 总体上可以分为 3 个阶段。

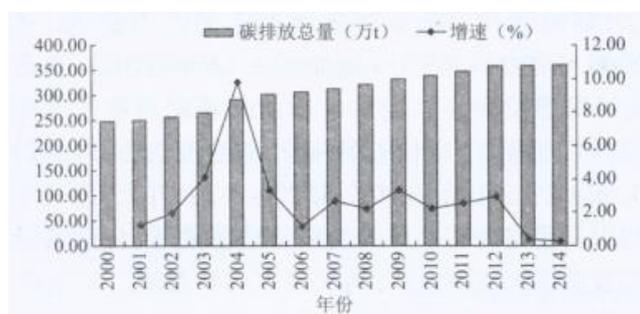


图 1 2000~2014 年湖南省农地投入碳排放总量及增速

(1) 第一阶段 2000~2004 年, 增长趋势特别明显, 为湖南省农地投入碳排放高速增长阶段。2000~2001 年增速为 1.27%, 2004 年高达 9.81%。湖南省为我国粮食种植的主要大省之一, 随着农业现代化的加快, 为了提高单位面积产量和农业经济效益, 农民不断加大使用化肥、农药和农膜等农用物质。温室气体主要由 CO_2 、 N_2O 、 CH_4 等构成, 化肥产生大量 N_2O , 作为农地投入碳排放的主要来源, 湖南省化肥使用量从 2000 年的 182.15 万 t 上升到 2004 年的 203.19 万 t, 4a 时间内增长了 11.55%。农用柴油使用量从 2000 年的 22.43 万 t 上升到 2004 年的 32.64 万 t, 增长率高达 45.51%。

(2) 第二阶段 2005~2010 年, 增长趋势波动性较大, 为湖南省农地投入碳排放的波动增长阶段。2005 年增速较 2004 年明显放缓, 2006 年增速降至 1.19%, 主要由于农民负担过重, “三农” 问题逐步凸显, 越来越多的农民选择外出务工增加收入, 对农业生产物质的投入降低, 一定程度上抑制了农地投入碳排放的过快增长。2007~2010 年增速反弹回升, 年际增速介于 2.20%~3.35% 之间。主要原因是中央自 2004 年以来连续颁布推动农业发展和农业资源环境保护的“一号文件”, 受政策影响, 农民种田的积极性增加, 农用物质投入增加, 从而使农地投入碳排放量增加。

(3) 第三阶段 2011~2014 年, 增长平稳中持续回落, 为湖南省农地投入碳排放的低速增长阶段。2014 年增速仅为 0.29%, 2013~2014 年单位 GDP 碳排放强度均保持为 0.12t/万元。伴随着国家惠农政策的落实, 湖南省现代农业不断发展, 大力发展资源节约型和环境友好型农业, 机械化水平和农业生产效率显著提高, 农业产业结构得到调整, 农地投入方式得到转变, 退耕还林和退耕还湖增加了碳汇能力, 同时促进秸秆等副产品和生活废弃物的资源化利用, 综合提高农业生产效益。

2.2 湖南省农地投入碳排放影响因素分析

根据所构建的模型公式(4),运用EViews7的线性回归分析对模型进行拟合,由于变量之间存在多重共线性,采用了逐步回归法修正多重共线性,具体结果见表4所示。通过表4可以得出,自变量的F检验结果说明因变量农地投入碳排放量和自变量农业产业结构之间的线性关系十分显著,回归方程有意义。其中, R^2 为0.99,说明拟合度符合标准,F统计量为3393.355,P值都少于0.05,共同说明了回归方程通过了很好的显著性检验。

表4 回归分析拟合结果

变量	回归系数	标准误差	T	P
常数	-2.793	0.88	-3.175	0.011
lnP	0.202	0.084	2.395	0.040
lnA	0.953	0.061	15.553	0.000
lnT	0.122	0.041	2.973	0.016
lnS	0.98	0.078	12.564	0.000
lnE	0.926	0.058	15.969	0.000

从回归分析拟合结果来看,农业产业结构的回归系数为0.98,与其他变量对农地投入碳排放的解析程度相比较,湖南农地投入碳排放影响因素最大的是农业产业结构,其余依次为人均农业GDP、农业生产能源效率、农业人口和农业机械化水平。在其他条件不变的情况下,农业产业结构每增加1%会增加0.98%的碳排放量。湖南省是农业大省,也是13个粮食主产省份之一,农地仍以种植粮食作物为主。种植业依靠农药、化肥等农业物质的投入增产,进而引发碳排放的上升。相对种植业来说,湖南省林牧渔业发展不足,林地和草地具有一定的碳汇功能。伴随着农业供给侧结构性改革,农业结构调整,种植业比重的下降及农地投入品减少必然会推动农地利用碳减排目标的实现。

其次,人均GDP每变动1%会引起0.95%的农地投入碳排放量变化,湖南省人多地少,人均占有耕地不足,目前湖南省正处于发展现代农业的转型过程中。一方面,对稀缺农地高度投入和集约利用,以致超过土地承载阈值引起农地利用碳排放增加,另一方面,对农业基础设施大量的投资和其他生产资料的投入,也引起碳排放的剧增。农业生产能源效率每变动1%,会引起约0.92%的农地投入碳排放变化。农业生产能源效率与农地投入单位GDP碳排放强度基本保持一致。近年来,湖南省农地投入能源效率虽然有所提高,但是农业生产方式整体还较为落后,总体上保持较低水平的增长态势。所以,进一步提高能源使用效率能有效促进农地投入碳减排。

农业人口和农业机械化水平对农地投入碳排放也较为显著,农业人口和农业机械化水平每增加1%,分别增加农地碳排放总量0.20%和0.12%。随着农业人口的增加,人地矛盾更加突出,为提高粮食产量,必然加大农地投入。但随着湖南省新型城镇化的不断推进,农业人口规模会逐渐减少,一定程度上会抑制农地投入碳排放。农业机械化水平对农地投入碳排放的影响主要源于农业经济发展和转型升级,使用农业机械服务农业生产量增加,必然导致能源消耗增加,从而间接引发农地投入碳排放量的增加。

2.3 湖南省农地投入碳排放预测

根据2000~2014年湖南省农业碳排放量测算结果,得到基于GM(1,1)模型的农业碳排放量预测方程(见表5),运用Matlab软件对湖南省2015~2020年农业碳排放量进行预测,如表6所示。通过计算可以得出它的后验差检验值分别为小概率误差 $p=1$,方差比 $c=0.200111$,预测精度为一级,预测的平均相对误差为0.0226,说明预测有效。

表 5 预测方程及 a, u 值

	GM(1, 1) 模型方程	预测方程	a 值	u 值
农地碳排放量	$\hat{x}^{(1)}(t+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-at} + \frac{u}{a}$	$\hat{x}^{(1)}(t+1) = 9251.1204e^{0.027812258t} - 9003.3704$	-0.0278	250.4041

表 6 2016~2020 年湖南省农地投入碳排放量预测结果 (10⁴t)

年份	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
预测值 (10 ⁴ t)	385.1109	395.9721	407.1395	418.6220	430.4282

通过 GM(1, 1) 预测方程可以得到湖南省 2000~2020 年碳排放量的实际值与预测值的拟合线。如图 2 所示, 从预测值与实际值的拟合线来看, 总体偏离度较小, 在绘图刻度比较精细的情况下, 只有部分年份偏离较大, 大部分年份碳排放量的实际值与预测值接近, 说明预测值相对比较准确, 预测有效。由 GM(1, 1) 模型预测出湖南省 2016~2020 年的农地投入碳排放数据, 从预测结果来看, 湖南省农地投入碳排放从 2016 年的 385.11 万 t 增长到 2020 年的 430.43 万 t, 增加了 45.32 万 t, 年均增长率 2.25%。碳排放强度将由 2016 年的 0.12t/万元降至 2020 年的 0.111/万元。若以 2005 年为基准, 湖南省 2020 年农地投入碳排放量将是 2005 年的 1.43 倍, 碳排放强度为 2005 年的 35.14%, 降幅为 64.86%, 表明湖南省农地投入碳排放如果按照目前的碳排放强度持续增长, 到 2020 年能够完成国家设定的单位 GDP 碳排放较 2005 年下降 40%~45% 的目标。但是未来农地投入碳排放总量呈稳步上升趋势, 且增长幅度较大。说明湖南省在未来农地投入碳减排方面仍有很大的潜力, 需投入更多的精力从农业产业结构调整、人均农业 GDP、农业生产能源效率等方面来促进农业发展向低碳绿色转型。

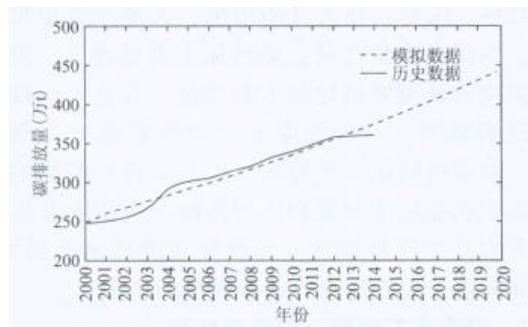


图 2 2000~2020 年碳排放量实际值和预测值拟合曲线

3、主要结论与政策建议

3.1 主要结论

(1) 2000~2014 年湖南省农地投入碳排放量呈上升趋势, 年均增长率为 3.25%, 各类碳源中化肥累计的碳排放量最大, 其次是农药; 此外翻耕、农药、农膜、柴油、灌溉、化肥累计碳排放年均增长量分别为 0.68%、3.22%、7.47%、6.42%、2.57%、3.25%。可见化肥和农药减量化施用是湖南省农地投入碳减排的重中之重, 要改变农户过量施用化肥和农药的行为, 对农户进行科学的教育与引导。

(2) 影响湖南省农地投入碳排放的因素中, 农业人口、人均农业 GDP、机械化水平、农业生产效率、农业产业结构显著影响农地投入碳排放, 各因素每发生 1% 的变动会相应带来农地碳排放量约 a20%、0.95%、0.12%、0.98% 和 0.93% 的变化。影响最大的是农业产业结构, 其次是人均农业 GDP 和农业生产能源效率, 农业人口和农业机械化水平影响较小。湖南省农业发展中应合理调整农业产业结构, 促进农业可持续发展。

(3) 根据湖南省 2000~2014 年农地投入碳排放量测算结果, 可以得到基于 GM(1, 1) 模型的农地投入碳排放量预测方程, 根据测算结果显示, 湖南省农地投入碳排放从 2016 年的 385.11 万 t 增长到 2020 年的 430.43 万 t, 年均增长率 2.25%。未来农地碳排放量呈上升趋势, 且增长幅度较大。表明湖南省在今后的农地投入上碳减排潜力较大, 需探索农业低碳绿色转型发展道路。

3.2 政策建议

结合以上研究结论及湖南省农业发展特点, 提出以下几点建议:

(1) 深化农业产业结构调整、探索现代农业发展新模式。

湖南省农业结构由长期单一种植业为主向农林牧渔的多元化转变迫在眉睫, 可以有效减少农地投入碳排放。在农业供给侧结构性改革引领下, 湖南省应积极优化农业产业结构, 增加林业和渔业等低碳行业比重, 挖掘其广阔的开发潜力, 同时林业也是重要的碳汇行业, 并能够有效改善生态环境。在确保粮食安全的前提下, 优化种植业结构, 加大低碳、高产和抗逆优良新品种的推广和规模, 走资源节约、环境友好、生态安全的低碳绿色农业发展之路。

(2) 提升农业生产资料效率、降低农地投入能源消耗。

根据预测结果湖南省农地投入碳排放呈上升趋势, 预计到 2020 年增长到 430.43 万 t, 其中最重要的部分归因于农业生产资料的过量投入。国务院提出到 2020 年化肥、农药使用量力争零增长, 农业部也制定了低碳农业行动方案。湖南省未来农业发展应不断研发和推广低碳高效型施肥、施药、灌溉和耕作等新技术, 提升农业生产资料效率、降低农地投入能源消耗, 可将农地投入碳排放总量控制在预测值之下。

(3) 加大低碳政策扶持力度、确保农地利用持续发展。

湖南省作为中部粮食种植大省, 要想实现农地的低碳利用, 国家的财政投入和相关政策支持必不可少。首先, 加大对农业和农民的财政投入, 加强农田水利设施建设, 定期给农民进行针对性的培训。其次, 加大政策导向力度, 对于新型低碳绿色农业生产技术给予政策鼓励, 提高农田生态补偿, 激励农民参与休耕及植树造林。最后, 制定和完善低碳绿色农业发展保障制度, 实行涉农生产节能减排的管理考核责任制度, 逐步完善农业能源效率标准。

[参考文献]:

[1] 黎孔清, 陈银蓉, 陈家荣. 基于 ANP 的城市土地低碳集约利用评价模型研究——以南京市为例[J]. 经济地理, 2013(02): 156-161.

[2] 李波. 我国农地资源利用的碳排放及减排政策研究[D]. 华中农业大学, 2011.

[3] 田云, 张俊飏, 李波. 湖北省农地利用碳排放时空特征与脱钩弹性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(12):

1514-1519.

[4]李俊杰. 民族地区农地利用碳排放测算及影响因素研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 09: 42-47.

[5]梁青青. 我国农地资源利用的碳排放测算及驱动因素实证分析[J]. 软科学, 2017, 31 (01) : 81-84.

[6]张勇, 张乐勤, 包婷婷. 安徽省城市化进程中的碳排放影响因素研究——基于 STIRPAT 模型[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23 (04) : 512-517.

[7]王永刚, 王旭, 孙长虹, 等. IPAT 及其扩展模型的应用研究进展[J]. 应用生态学报, 2015, 26 (3) : 949-957.

[8]刘满芝, 刘贤贤. 基于 STIRPAT 模型的中国城镇生活能源消费影响因素研究[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26 (08) : 1111-1122.

[10]EHRlich P R, HOLDEN J P. One dimensional economy[J]. Bulletin of atomic scientists, 1972, 28 (5) : 18-27.

[11]YORK R, ROSA E A, DIETZ T. Footprints on the earth : The environmental consequences of modernity[J]. American Sociological Review, 2003, 68 (2) : 279-300.

[12]YORK R, ROSA E A, DIETZ T. STIRPAT, IPAT and Impact : analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 2003, 46 (3) : 351-365.

[13]WAGGONER P E, AUSUBEL J H. A framework for sustainability science : A renovated IPAT identity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2002 , 99 (12) : 7860-7885.

[14]杨果, 尚杰. 农地利用碳排放的特征及趋势[J]. 经济纵横, 2014, 12: 108-111.

[15]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[J]. 生态学杂志, 2007, 12: 2035-2039.

[16]WEST T O, MARLAND G A. Synthesis of carbon sequestration , carbon missions , and net carbon flux in agriculture : comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2002 (91) : 17-232.

[17]程琨. 农田减缓气候变化潜力的统计计量与模型模拟[D]. 南京农业大学. 2013.

[18]YORK R, ROSA E A, DIETZ T. STIRPAT, IPAT and Impact : analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts[J]. Ecological Economics, 2003, 46 (3) : 351-365.

[19]吴振信, 石佳. 基于 STIRPAT 和 GM (1, 1) 模型的北京能源碳排放影响因素分析及趋势预测[J]. 中国管理科学, 2012 (S2) : 803-809.