

农业温室气体排放现状及低碳农业发展模式研究

姚延婷^{1,2}, 陈万明¹

(1.南京航空航天大学 经济与管理学院, 江苏 南京 210016; 2.西北政法大学 经济与管理学院, 陕西 西安 710063)

摘要: 农业生产活动是温室气体排放的重要来源之一。通过分析影响农业生产总值的因素及这些因素对温室气体排放的贡献程度, 发现农业机械总动力、农业柴油量、化肥施用量是农业温室气体排放的主要原因。结合农业生态系统特征, 提出了基于农业温室气体减排和增加农业碳汇的低碳农业发展模式。

关键词: 农业; 温室气体; 灰色关联度; 低碳农业; 土壤固碳

DOI: 10.3969/j.issn.1001-7348.2010.22.012

中图分类号: F303

文献标识码: A

文章编号: 1001-7348(2010)22-0048-04

0 引言

随着我国经济的持续增长, 能源需求和能源消费也持续增加, 我国的温室气体排放总量将在一个比较长的时期内保持持续增长的趋势。面对气候变化的现实压力和国际社会的严峻挑战, 在2009年9月22日的联合国气候变化峰会上, 我国已正式承诺到2020年单位国内生产总值CO₂排放比2005年下降40%~45%。实现这一目标的根本措施是减少人为温室气体排放和增加对大气中温室气体的吸收。

目前, 国内外对碳减排的关注主要集中在工业化、城市化过程中, 主要解决工业高排放、高能耗引发的环境问题, 而忽视了国民经济基础产业——农业低碳化的必要性和紧迫性。农业是与自然环境关系最为密切的产业, 伴随着化学农业、石油农业、机械农业的发展和农民生活水平的提高, 农业和农村的能源消费迅速增长, 农业已成为重要的温室气体来源。政府间气候变化专业委员会第4次评估报告表明, 农业生产活动排放的CO₂、CH₄、N₂O等温室气体总量介于电热生产和尾气之间, 成为全球温室气体的第二大重要来源^[1]。减少农业温室气体的排放量、改善农业生态环境, 应当成为各国的当务之急。

有关农业减排的相关研究, 国内外正处于初级阶段, 迄今世界上还没有一个国家的农业现代化是建立在低碳经济的发展模式上。国内方面, 兰希平等^[2]总结了农业生产和气候变化间的相互关系及相互影响, 认为目前必须通过技术创新和制度创新, 尽可能地减缓温室气体排放; 李晓燕等^[3]提出, 我国发展低碳农业是应对气候变化的必然选择, 并指出低碳农业应具备农业生产、安全保障、气候调节、生态涵养、农业金融等多元化功能; 而漆雁斌等^[4]运用多元回归模型对农业能源消耗总量及其构成进行了分

析, 用实证方法证明了发展低碳农业是实现农业减排、促进能源可持续发展的有效途径; 在低碳农业具体实施策略的探索方面, 翁伯琦^[5]从秸秆菌业循环利用模式的角度探索了低碳农业发展模式; 赵其国^[6]认为应该通过垄作免耕技术、灌溉节水技术、施肥技术、病虫害防治技术、新型农作物育种技术等途径, 实现农业由高碳经济向低碳经济的转变。以上文献从理论角度对农业低碳化进行了探索, 但从实证的角度探索农业低碳化发展的研究并不多。本文试图通过分析我国农业温室气体排放的历史特征, 寻找探索出农业产值与温室气体排放之间的关系, 并在此基础上探讨我国农业低碳化的有效方式, 从而实现以节能减排为基础的农业可持续发展。

1 农业温室气体排放现状分析

农业是国民经济的基础产业, 一方面, 在农业追求农作物的高产、稳产、高效的生产目标下, 农业机械、化肥、能源等的大量使用是确保农业总产值提升的基础; 另一方面, 农业机械、化肥、能源等的使用使得农田土壤受到严重的污染, 湿地遭到严重的破坏, 农业固碳的生态功能不断减弱, 土壤、湿地中的碳逐渐被氧化分解, 从而大大加速了全球气候变暖的进程。

本文基于近年的农业生产总值, 寻找出影响农业总产值的主要因素, 并且分析这些因素对农业温室气体排放的贡献程度, 通过对农业温室气体排放情况的掌握, 为准确有效地实现农业低碳化发展提供有效途径。

1.1 模型的选取及指标选择

本文采用灰色关联度分析法对影响农业生产总值的因素进行分析。灰色关联度分析法是一种多因素统计分析法, 其基本思想是根据序列曲线的几何形状的相似程度来判断

收稿日期: 2010-07-13

作者简介: 姚延婷(1982-), 女, 陕西泾阳人, 南京航空航天大学经济与管理学院博士研究生, 西北政法大学经济与管理学院讲师, 研究方向为农业区域经济、绿色营销; 陈万明(1956-), 男, 四川泸州人, 南京航空航天大学经济与管理学院教授、博士生导师, 研究方向为农业区域经济、公共政策、人力资源管理。

其联系是否紧密, 曲线越接近, 则相应序列之间的关联程度就越大, 反之就越小^[7]。

在指标选取上, 农业生产过程中的温室气体来源于土地利用的变化、能源利用、化肥的施用等。因此, 在对影响农业生产总值的因素进行分析时, 本文选取农林牧渔业总产值(X_0)、农用机械总动力(X_1)、化肥施用量(X_2)、农村用电量(X_3)、农用柴油使用量(X_4)、有效灌溉面积(X_5)这 6 个序列, 其中, 农林牧渔业总产值(X_0)作为原始序列, 其它 5 项作为比较序列, 通过定量计算农业总产值与其影响因子

的关联度, 确定主要影响因子。

1.2 数据来源

本文采用的数据为 2009 年中国统计年鉴中“农林牧渔业总产值及指数”、“主要农业机械拥有量(年底数)”、“农业生产条件”、“有效灌溉面积、农用化肥施用量、农村水电及用电量”所记载的相关宏观数据, 以及 2009 年新中国农业 60 年统计资料中“全国农村电力、水利建设及能源消耗情况”所记载的相关数据(见表 1)。

表 1 农业生产总值及影响因素数据

年份	X_0 农林牧渔业总产值(亿元)	X_1 农用机械总动力(万千瓦)	X_2 化肥施用量(万吨)	X_3 农村用电量(亿kWh)	X_4 农用柴油使用量(万吨)	X_5 有效灌溉面积(千ha)
1993	10 995.5	31 816.6	3 151.9	1 244.9	938.3	48 727.9
1994	15 750.5	33 802.5	3 317.9	1 473.9	966.6	48 759.1
1995	20 340.9	36 118.1	3 593.7	1 655.7	1 087.8	49 281.2
1996	22 353.7	38 546.9	3 827.9	1 812.7	1 076.1	50 381.6
1997	23 788.4	42 015.6	3 980.7	1 980.1	1 229.5	51 238.5
1998	24 541.9	45 207.7	4 083.7	2 042.2	1 314.7	52 295.6
1999	24 519.1	48 996.1	4 124.3	2 173.4	1 354.3	53 158.4
2000	24 915.8	52 573.6	4 146.4	2 412.3	1 405.0	53 820.3
2001	26 179.6	55 172.1	4 253.8	2 610.8	1 485.3	54 249.4
2002	27 390.8	57 929.9	4 339.4	2 993.4	1 507.5	54 354.9
2003	29 691.8	60 386.5	4 411.6	3 432.9	1 574.6	54 014.2
2004	36 239.0	64 027.9	4 636.6	3 933.0	1 819.5	54 478.4
2005	39 450.9	68 397.8	4 766.2	4 375.7	1 902.7	55 029.3
2006	40 810.8	72 522.1	4 927.7	4 895.8	1 922.8	55 750.5
2007	48 893.0	76 589.6	5 107.8	5 509.9	2 020.8	56 518.3
2008	58 002.2	82 190.4	5 239.0	5 713.2	1 887.9	58 471.7

数据来源: 2009 年《中国统计年鉴》(1990-2008); 2009 年《新中国农业 60 年统计资料》。

1.3 数据处理

1.3.1 无量纲化处理

为了使表 1 中所列的不同序列具有可比性, 首先对参考序列和比较序列组成的序列矩阵进行无量纲归一化处理。本文采用均值标准化的方法, 其公式为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij}}{\bar{x}_j} \quad (i=1, 2, \dots, 16; j=1, 2, \dots, 6) \quad (1)$$

式中, x'_{ij} 为无量纲化数据, x_{ij} 为原始数据, \bar{x}_j 为第 j 序列数据的均值。利用式(1)对表 1 中的数据进行无量纲化处理, 得到无量纲化数据矩阵:

$$R = \begin{bmatrix} 0.37130 & 0.58760 & 0.74260 & 0.41270 & 0.6390 & 0.9167 \\ 0.53180 & 0.62430 & 0.78170 & 0.48870 & 0.65830 & 0.9172 \\ 0.68680 & 0.66710 & 0.84670 & 0.54890 & 0.74080 & 0.9271 \\ 0.75480 & 0.71190 & 0.90190 & 0.6010 & 0.73290 & 0.9478 \\ 0.80320 & 0.7760 & 0.93790 & 0.65650 & 0.83730 & 0.9639 \\ 0.82870 & 0.8350 & 0.96220 & 0.67710 & 0.89540 & 0.9838 \\ 0.82790 & 0.90490 & 0.97170 & 0.72060 & 0.92231 & 1.0000 \\ 0.84130 & 0.9710 & 0.97690 & 0.79980 & 0.95691 & 1.0125 \\ 0.88410 & 1.0191 & 1.00220 & 0.86561 & 1.01161 & 1.0205 \\ 0.92481 & 1.06991 & 1.02240 & 0.99241 & 1.02671 & 1.0225 \\ 1.00251 & 1.11531 & 1.03941 & 1.13811 & 1.07241 & 1.0161 \\ 1.22361 & 1.18261 & 1.09241 & 1.30391 & 1.23921 & 1.0248 \\ 1.33211 & 1.26331 & 1.23145 & 0.71295 & 1.0352 \\ 1.3781 & 1.33941 & 1.1611 & 1.62311 & 1.30951 & 1.0488 \\ 1.65091 & 1.41461 & 1.20351 & 1.82671 & 1.37631 & 1.063 \\ 2.19584 & 1.5181 & 1.23441 & 1.89411 & 1.28571 & 1.0000 \end{bmatrix}$$

1.3.2 计算灰色综合关联度

灰色综合关联度既体现了原始序列与对比序列之间的相似程度, 又反映出原始序列与对比序列相对于始点的变

化速率的接近程度, 是较为全面地表征序列之间是否关系紧密的一个数量指标, 其计算公式为:

$$r_{oi} = qe_{oi} + (1 - q) g_{oi} \quad (2)$$

其中, r_{oi} 为 X_0 与 X_i 的灰色综合关联度, e_{oi} 为灰色绝对关联度, g_{oi} 为灰色相对关联度, 一般地, q 取常数值 0.5。

利用式(2)计算得出灰色综合关联度:

$$R = [r_{01}, r_{02}, r_{03}, r_{04}, r_{05}] \\ = [0.777 2, 0.668 1, 0.945 3, 0.741 1, 0.562 8]$$

1.4 结果分析

由 $r_{03} > r_{01} > r_{04} > r_{02} > r_{05}$ 可知, 对农业生产总值影响最大的因素是“农村用电量”, 其次分别是“农业机械总动力”、“农用柴油量”和“化肥施用量”, 影响最小的因素是“有效灌溉面积”。

随着农业生产能力和农产品加工能力的增强, 农业产业化经营不断提高, 农村用电量逐年提高, 已经成为现代农村经济运行的基础; 农用机械化得到普及, 淘汰了传统耕作方式, 提高了农业经济活动效率, 大大提升了农作物产量, 农业总产值呈现上升态势; 农用柴油施用量保障农用机械化顺利运行, 作为能源消费之一, 农用柴油使用量成为影响农业经济的重要因素; 农用化肥的使用, 提高了土壤肥力, 改善了土壤性状, 创造了最佳的植物营养环境, 从而提高了农产品的质量和产量, 为提高农业产值作出了较大的贡献; 而有效灌溉面积与农业生产总值的灰色综合关联度最低, 说明农业生产条件的水利化水平对农业生产影响不大。

总体来看, 农村用电量、农业机械总动力、农用柴油量、化肥施用量是影响农业生产总值的几个主要重要因素。然而, 农业生产活动本身就是温室气体排放的过程, 农村

用电量、农业机械总动力、农用柴油量、化肥施用量等是温室气体的主要来源(见图1)。

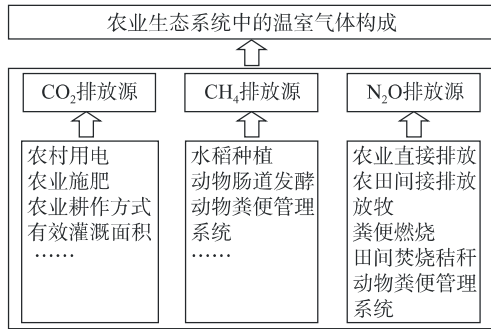


图1 农业生态系统温室气体构成

具体分析来看,农村用电量、农用柴油使用量等逐年提升,使得大气中CO₂含量呈现上升态势,如图2所示;化肥对大气环境的影响主要集中在氮肥上,而农业温室气体70%来自氮肥,氮肥的使用使得CH₄、CO₂等温室气体在大气中的含量不断增加,不仅引起温室效应,而且还导致臭氧层的破坏^[8];农用机械总动力代表我国农业现代化程度,但我国农业机械总体的性能差、能耗高,30%以上的农用拖拉机使用年限超过10年,单位能耗超过标准的20%~30%,农业机械节能减排也有着巨大的潜力^[9]。

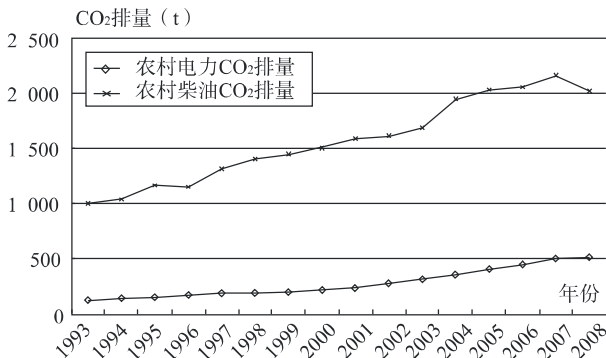


图2 历年农村用电及农用柴油引起的碳排放总量

2 低碳农业的提出及其发展模式

基于以上分析,农业生产经营中对农村用电、农业机械、柴油、化肥等投入,增加了温室气体的排放,使得农业成为温室气体的来源之一,加重了全球气候变化的严峻性。农业温室气体排放过多带来的气候变化将使未来农业生产面临诸多问题,如农业生产的不稳定性增加、作物种植制度发生较大的变化、农业生产条件改变而导致农业成本和投资大幅度增加等。因此,在不影响农业经济发展的前提下发展低碳农业,通过有效的技术创新和制度模式,减缓温室气体排放,成为目前农业可持续发展的必然道路。

2.1 低碳农业的含义

结合农业生态系统的特征,本文认为低碳农业是指以减缓农业温室气体排放为目标,将现代节能减排技术与传统农业技术有机结合,通过加强基础设施建设、产业结构调整、提高土壤有机质含量、做好病虫害防治、发展农村

可再生能源等转变农业生产和农民生活方式,实现高效率、低能耗、低排放、高碳汇的新型综合农业体系^[10,11]。

2.2 低碳农业的发展模式

低碳农业是低碳经济在农业的延伸,它要求转变农业生产方式,发展农业生物质能源,减缓农业温室气体排放,既保证农作物高产稳产,又不对气候变暖增加压力。同时,农业是天生具有固碳这一生态功能的产业,比如森林系统具有强大的碳吸收能力,草地与农田土壤有机碳库在固碳方面的作用十分显著,湿地也具有巨大的固碳和调节气候的功能。因此,发展低碳农业应该从减缓农业温室气体排放和有效增加农业碳汇两个方面入手。

对于低碳农业的实施,我国近些年已经展开了一些探索,主要是从生态农业、绿色农业、循环经济等领域出发。结合低碳农业的特征和我国农业发展现状,本文构建了低碳农业的发展模式,如图3所示^[12]。

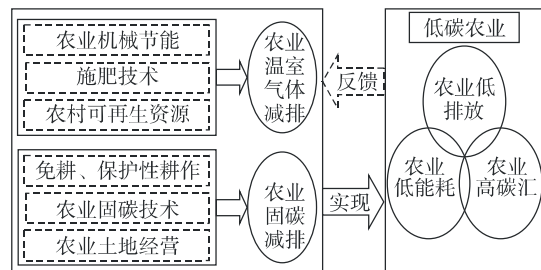


图3 低碳农业发展模式

3 低碳农业发展对策

3.1 农业温室气体减排

3.1.1 推进农业机械节能

农业机械主要是依靠柴油、电力等来提供动力,农业机械动力的不断增加,必然带来农业机械对能源需求的不断增大,过高的能源消耗导致大量温室气体排放,最终引起资源不可持续和环境污染问题。因此,减少农业机械能源消耗是发展低碳农业的重要途径。

农业机械节能,首先要改革耕作技术与制度^[13],通过减少作业工序、提高作业效率等减少能源消耗,如保护性耕作相比传统耕作可节油33%,综合考虑各地差异及其它耕作技术等,可降低油耗25%~30%。其次,要提高农业机械利用率和经济效率以减少能耗,建立和发展农机行业协会,组织分散的农机户,采用多渠道、多区域、多层次的合作方式,提高农机户的组织化程度、扩大农机跨区作业规模,使农机户形成利益同盟。最后,加强节油、节电、节煤等节能型农业机械的研发与推广,努力提高农机装备和作业水平。

3.1.2 改进农业施肥技术

在农业生产活动中,化肥的使用不但会改变地上植被的生物量,影响土壤碳源的供应量,而且还会影响土壤微生物活性,改变土壤的呼吸强度;因此,化肥的使用必然会引起土壤碳库的变化。通过对土壤增施有机肥,减缓土壤有机质腐烂,缩短有机粪肥的田间暴露时间,减少土地耕作活动,改善土壤水分管理,减少CO₂的排放量^[6]。

3.1.3 开发利用农村可再生资源

农村可再生能源的利用,一方面能够增加能源供给、改善农村能源结构,另一方面能够节能减排实现农业经济的可持续发展。相对于煤、油、电等常规能源来说,农村可再生能源包括沼气、农作物秸秆、风能、太阳能等。

通过农村沼气工程的实施,可以减少对薪柴及化石燃料和电能的消耗,减少温室气体的排放,发酵产生的沼渣可以代替常规化肥,减少化肥中 N_2O (其温室效力相当于 CO_2 的 300 倍左右)的排放。推广秸秆综合利用,即秸秆能源化、饲料化和肥料化利用,推广固化成型燃料和秸秆气化石能源化技术,替代农村居民的炊事和取暖用化石燃料,从而减少秸秆就地燃烧产生的 CH_4 、 N_2O 的排放。

3.2 农业固碳减排

通过农业固碳可以达到减排的目的。农业固碳主要指土壤固碳,即通过管理措施提高土壤的有机和无机碳含量,将大气中的 CO_2 固持在土壤碳库中。土壤碳库作为地表生态系统中活跃碳库之一,是 CH_4 、 CO_2 、 N_2O 等温室气体重要释放源,也是重要的吸收汇。

土壤固碳是《京都议定书》认可的固碳减排的途径之一,拥有巨大的固碳潜力^[14]。我国已经认识到土壤固碳在全球碳预算中的重要性以及对全球变暖的影响。

3.2.1 免耕和保护性耕作

从历史的角度看,土壤有机碳损失是由低水平的农业生产、频繁翻耕、肥料施用不当、清除和焚烧作物残余物(地上和地下的生物残余物)、缺乏抵御土壤侵蚀和防治土壤退化的保持措施造成的^[15]。与传统耕作方式相比,免少耕技术是一项集保护性耕作与轻型简约栽培于一体的先进适用技术,通过少耕、免耕,减少对土壤的扰动,增加土壤团聚体数量,改善土壤结构,增加秸秆还田量和降低土壤表层有机质的矿化率。免耕、少耕因减少耕作中农业机械操作的次数和消耗的燃料,而降低相关的碳排放。

3.2.2 推广农业固碳技术

通过把严重退化的土地恢复为草地和森林、施用有机物料、轮作、改善机耕以及灌溉等方式,可以增加土壤有机碳含量、恢复土壤肥力,从而减少温室气体排放。总结起来包括 3 个方面: 保护现有碳库,即通过生态系统管理技术,加强农、牧、林、渔业的管理,从而保持生态系统的长期固碳能力; 扩大碳库来增加固碳,主要指改变土地利用方式,通过提升选种、育种和种植技术,增加植物的生产力,增加固碳能力; 可持续地生产生物品种,如用生物质能替代化石能源等^[3]。

3.2.3 合理规划土地经营

尽管通过土壤吸收来控制 CO_2 排放量的方法具有较大的潜力,但是我国目前正处于高速工业化、城市化和现代化的进程中,土地要素的投入量极大,土地经营是一种粗放式经营,造成了土地的极大浪费和地力的破坏。因此,必须合理规划土地经营,严格控制工业用地,保证生态农业用地的合理规模。一方面,巩固退耕还林、天然林保护等生态建设的成果,通过增加森林、恢复农村湿地等途径

和措施来增加碳汇;另一方面,严格控制土地用途,加大土地的复垦力度,实行计划性的封山育林,加强草地管理,实施草原保护制度及退牧还草工程。

4 结语

低碳农业通过在农业领域推广节能减排技术、开发生物质能源和可再生能源,维护全球生态安全、改善全球气候条件以及实现农业自身的可持续发展。在“低能耗、低排放、高碳汇”的全球发展目标下,低碳农业将是农业经济发展的必然趋势。目前,我国对低碳农业的探索正处于起步阶段,以农业温室气体减排和农业固碳减排为并行途径的低碳农业发展模式,将成为低碳农业未来发展的主要探索领域。

参考文献:

- [1] 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]. Cambridge United Kingdom Cambridge University Press 2007: 63 - 67.
- [2] 兰希平,高明和,梁成华. 发展低碳农业减缓温室气体排放[J]. 农业环境与发展, 2010(2): 29-31.
- [3] 李晓燕,王彬彬. 低碳农业:应对气候变化下的农业发展之路[J]. 农村经济, 2010(3): 10-12.
- [4] 漆雁斌,毛婷婷,殷凌霄. 能源紧张情况下的低碳农业发展问题分析[J]. 农业技术经济, 2010(3): 106-115.
- [5] 翁伯琦,雷锦桂,等. 秸秆菌业循环利用模式与低碳农业的发展对策[J]. 福建农林大学学报:哲学社会科学版, 2010(1): 1-6.
- [6] 赵其国,钱海燕. 低碳经济与农业发展思考[J]. 生态环境学报, 2009(5): 1609-1614.
- [7] 刘思峰,谢乃明. 灰色系统理论及其应用(4版)[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [8] 黄国勤,王兴祥,等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境, 2004(4): 656-660.
- [9] 中国农业部. 中国农业年鉴 2009 [M]. 北京:中国农业出版社, 2009.
- [10] 中国农业部. 低碳农业——应对气候变化农业行动[M]. 北京:中国农业出版社, 2009.
- [11] 孙鸿良. 生态农业的理论与方法[M]. 济南:山东科学技术出版社, 1993.
- [12] MICHAEL C. APPLEBY. Sustainable agriculture is humane, humane agriculture is sustainable [J]. Journal of Agricultural and Environmental Ethics, 2005(18): 293-303.
- [13] 张睿. 中国农业机械化柴油消耗趋势分析与节能的战略措施[J]. 农业工程学报, 2007(12): 280-283.
- [14] 逯非,王效科,等. 农田土壤固碳措施的温室气体泄漏和净减排潜力[J]. 生态学报, 2009(9): 4994-5004.
- [15] 杨学明,张晓平,方华军. 农业土壤固碳对缓解全球变暖的意义[J]. 地理科学, 2003(1): 101-106.

(责任编辑:万贤贤)