

我国发展低碳农业的政策、法规和技术体系分析^①

金 辰^{1,2}, 孙 波^{2,3}, 赵其国^{2,3}, 李辉信^{1*}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 3 国家红壤改良工程技术研究中心, 中国科学院红壤生态实验站, 江西鹰潭 335211)

摘 要: 针对我国保障粮食安全和应对全球变化的双重目标, 分析了我国发展低碳农业存在的主要问题, 并提出了发展对策。建议基于生态农业、循环农业和生态高值农业的原则, 从政策、法规和技术 3 个方面促进我国低碳农业的发展。发展对策主要包括: 贯彻中央一号文件, 制定完善的政策法律法规体系及财政补贴; 立足各地农情, 大力发展区域低碳农业适应性体系; 推广低成本低碳农业适应性技术, 发展农村低碳农业合作组织; 优化低碳农业发展外部环境, 提高公众低碳农业认知意识。

关键词: 低碳农业; 政策; 法规; 温室气体; 限制因子

中图分类号: S-0

近一世纪, 支撑人类社会经济活动的主体能源是化石能源, 由此建立的高碳经济产业导致二氧化碳等温室气体的过量排放, 是全球气候变暖的根本原因。英国在 2003 年发表的《能源白皮书》中首次提出“低碳经济”的概念^[1-3]。我国是农业大国, 以低碳经济为基础的理念和思想在农业当中可以得到广泛的应用和普及, 可以为我国发展低碳经济, 实现可持续农业做出重要贡献。

1 我国农业发展阶段及环境问题

1.1 中国农业发展四阶段

我国农业从 1978 年改革开放至今, 先后经历 4 个发展阶段: 高产阶段(1978—1984 年)、优质阶段(1985—1991 年)、高效阶段(1992—2001 年)、安全可持续阶段(2002—)^[4-6], 每一发展阶段都有各自的目标与农业特征(表 1)。

表 1 改革开放后中国农业发展阶段与各阶段农业特征

Table 1 Main features of every agricultural development stages after reform and opening-up in China

	高产阶段	优质与高效阶段	安全可持续阶段
时段	1978—1984 年	1985—2001 年	2002—
主要发展模式	高碳农业	“两高一优”农业	生态农业
主要目标	提高产量, 解决温饱	改善农产品质量, 高产, 优质, 高效并重	保障生态环境, 大幅度提高农业生产能力、产业化水平和竞争力
农业特征	调整作物结构, 提升工业肥料投入量, 推行多熟种植, 防止病、虫、杂草危害	扩种高效作物, 大兴特种养殖, 推广高效技术, 建设高效农田	减少工业肥料投入量, 农业生物质资源、水土资源和废弃物资源生态高值化利用, 产前、产中、产后低碳化生产及加工

1.2 农业发展与环境恶化

纵观改革开放后我国农业发展史, 粮食安全和环境效益之间的矛盾一直伴随左右。中国人口基数庞大, 从最初解决温饱到现在保障 13 亿人民粮食安全, 必定要以牺牲一定环境利益为代价。1949—1998 年间, 我国粮食年总产量与化学氮肥年施用量的相关

系数高达 0.9, 但是氮肥的增产效果却随施氮量的增加而降低, 从反映氮素农业效益的收获物含氮量占总收入氮量比例来看, 已经从 1979 年的 57% 下降为 1998 年的 43%^[7], 工业氮肥的过度使用需要消耗更多的化石能源并增加水体及大气面源污染, 加速气候变化, 增加农民成本。农村每年燃烧大量作

①基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项课题项目(XDA05070305)和国家科技支撑计划项目(2011BAD41B01)资助。

* 通讯作者(huixinli@njau.edu.cn)

作者简介: 金辰(1988—), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 主要从事土壤生态学研究。E-mail: nj2008jc@163.com

物秸秆释放大量二氧化碳和悬浮颗粒物，不仅会导致更严重的温室效应并严重污染周边城市的空气质量^[8]。中国民众对肉类和奶类的需求不断上升大大提升了家禽及畜牧业的发展，据联合国粮食及农业组织(FAO)报道，牲畜产生的温室气体已经超过了汽车，同时牲畜饲养与森林争地，导致有助于调节气候的森林面积减少，从而进一步加剧了气候变暖的趋势^[9-11](表 2)。

表 2 中国发展低碳农业存在的主要问题
Table 2 Main problems of low-carbon agricultural development in China

发展内容	发展目的	发展现状			污染形式	已采取的应对策略
工业肥料(以工业氮肥为例) ^[12]	保障粮食安全、保障农产品供应	省份	作物	氮肥过量	①氮肥生产过程原料开采及能源燃烧排放大量温室气体 ②淋洗和径流损失导致水体富营养化 ③氮肥分解氨气导致酸雨	①根据各地土壤含氮情况及作物需求减少氮肥用量 ②采用器械适当深施肥料，采用滴管施肥代替大水大肥 ③改良肥料性能，添加抑制剂提高氮肥利用率，减缓氨气排放
		江苏	水稻	50%		
		华北	玉米	66%		
		陕西	小麦	100%		
		山东	番茄	80%		
		在过去 10 ~ 30 年间粮食作物和过去 10 ~ 15 年集约化蔬菜和水果体系中，氮肥的过量施用日趋严重				
农业废弃物(以作物秸秆焚烧为例) ^[13]	节省农民劳动成本	年份	秸秆焚烧区面积(万 km ²)		①秸秆焚烧过程排放大量温室气体 ②重金属和农药残留物污染土壤环境 ③农业污水增加面源污染 ④农业废弃物导致病毒传播，疾病蔓延	①量化我国各地区年均产生的农业废弃物，确定各种消纳和利用途径比例及具体应用情况 ②利用秸秆还田、秸秆饲用、秸秆发电使秸秆资源化利用 ③利用多技术手段相结合综合开发治理使农业废弃物高效利用
		2002	0.558			
		2003	0.612			
		2004	0.894			
		2005	1.696			
		秸秆焚烧最严重区域集中在淮河流域，河北南部、陕西中部也比较严重，青海、西藏基本无秸秆焚烧				
畜牧业、养殖业(以畜禽生产温室气体排放量为例) ^[9]	保障蛋白总摄入量与动物蛋白总摄入量	年份	CH ₄ (万 t)	N ₂ O(万 t)	①牛羊等反刍动物的肠发酵排放大量温室气体 ②动物粪便分解排放大量甲烷和氧化亚氮 ③畜牧饲料生产与饲养过程存在大量能源消耗	①选育个体生产力高的品种，减少动物饲养总数和甲烷排放量 ②在饲料中添加抑制剂改良饲料性能，规范日常喂养方式 ③对畜禽养殖场进行改造，及时贮存处理粪渣，推广干法清粪工艺，建设液体粪污大中型沼气工程
		2002	970.5	55.7		
		2004	990	56.8		
		2006	1 060.4	58.7		
		2007	911.8	54.6		
		1979—2003 年，城镇居民家庭人均消费肉类增加 1 倍，农民人均消费肉类增加 3 倍				

2 低碳农业内涵与国外低碳农业现状及发展模式

2.1 低碳农业内涵及几种农业发展模式内在联系
低碳农业以“三低三型”(低能耗、低污染、低排放、节约型、效益型、安全型)为主要特征，是一种以减少工业化肥生产及使用为核心的新型农业发展模式。区别于绿色农业、循环农业、生态高值农业，低碳农业明确以“碳”为指标，以农业产前—产中—产后的温室气体减排为目的，以实际可行技术手段为基础实现节能减排、农民增收(表 3)。

以上 4 种农业经营发展模式并不是相互独立的，它们共同强调以最少的环境代价和资源消耗获得经济、社会、生态效益的三赢局面。绿色农业和循环农业是我国已经正在发展中的农业经营模式，是实现我国未来生态高值农业的基础。低碳农业在绿色农

业和循环农业的基础上进一步明确以碳输入为指标，以温室气体减排为目的的新型农业发展模式，是低碳经济在农业方面的延伸和发展，是当下高碳农业的转变方向。

2.2 国外低碳农业发展现状及模式

发达国家低碳农业起步早、效果好，主要是因为建立起一系列科学管理方法及良好的政策扶持与推动(表 4)。虽然基于长期试验和大量调查研究已经证明，对于我国过量施肥的集约化农田体系，可以减少 25% ~ 50% 的化肥用量而不降低产量，在满足区域粮食安全的同时减少温室气体排放^[18-21]。但是，我国低碳农业仍然发展缓慢，政府和社会各层次都对降低肥料施用量是否能满足粮食安全保持怀疑，同时由于人口基数庞大，仍然需要追求高产，很难将“低碳”与“粮食安全”完美结合。

表 3 不同农业发展模式主要含义与目标
Table 3 Main meanings and targets of different agricultural development modes

	绿色农业 ^[14-15]	循环农业 ^[16]	生态高值农业 ^[17]	低碳农业
含义	以生产无公害农产品、绿色食品和有机食品为目的的无毒无害无污染的农业发展模式	以推进各种农业资源往复多层与高效流动为目的,从而实现节能减排与增收的农业发展模式	以市场为导向,按照生态学原理和经济学原理,运用现代科学技术和管理手段,实现经济、社会、生态效益最佳的农业生产经营模式	以低能耗、低污染、低排放,利用节约型技术,减少各种资源的消耗,减少人力、物力、财力投入,将农业产前、产中、产后对社会带来的不良影响降到最低限度的农业发展模式
目标	①形成绿色农产品结构 ②形成绿色农业指标体系(生产环境、生产资料、生产环节、收获、储运、加工、包装、销售)	①形成废弃物交换循环利用要素耦合等农业产业化网络体系 ②形成清洁生产 and 节约消费	①形成以农产品安全为基础,以可持续农业、智能农业和高值农业为内容的农业产业体系 ②建立集休闲、观光、教育、文化于一体的高值化服务型农业产业	①形成肥料高效利用体系(如改善氮管理目标) ②形成生物质能源(如农业废弃物)优化利用体系 ③形成农林畜牧多位一体的立体低碳模式 ④提升土壤固碳效率 ⑤形成政府-农民-消费者自上而下的低碳发展理念

表 4 发达国家低碳农业进展与主要措施
Table 4 Main measures for developing low-carbon agriculture in some developed countries

美国	加拿大	法国	澳大利亚
①保护性耕作及休耕(减少化石能源投入及作业成本) ②改进农艺做法(减少对化肥、杀虫剂及其他投入物的依赖性)	①执行农地造林制度(发挥森林系统抵消温室气体排放量的功效) ②农作物与豆科作物适度轮作(减少对氮肥投入物的依赖性)	①种植需氮作物并施以适量的无机氮肥(提高土壤有机碳的吸存量) ②长期施用动物性堆肥(提升土壤有机碳储存效果)	①采用浓缩饲料、替代饲料(减少牲畜肠发酵所产生的甲烷等温室气体)

3 我国低碳农业发展对策

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,中国正在走出一条低碳农业的发展之路,这将是国家农业发展方式的重大创新^[1]。由于现阶段农业持续的高碳输入将对我国未来环境安全及粮食生产产生不容忽视的影响,为了加速我国高碳农业向低碳农业转型,实现农业现代化可持续发展提出如下建议。

3.1 贯彻农业发展低碳理念,完善低碳农业政策法规支持体系

3.1.1 贯彻中央一号文件,夯实低碳农业观念 2004—2013 年,中央一号文件连续 10 年关注“三农”问题,已成为聚焦当下农业问题的专属名词(表 5)。虽没有专门提及低碳农业,但部分内容与“低碳农业”的发展目标与理念不谋而合,是当下高碳农业的转变方向与未来低碳农业及生态高值农业实现的基础^[22]。

表 5 2004—2013 年中央一号文件关于低碳农业理念表述
Table 5 Main concepts about low-carbon agriculture in No.1 Central Document from 2004 to 2013

年份	文件	低碳农业理念表述
2004	中央一号文件	加强良种繁育,病虫害防治,扩大有效灌溉面积
2005	中央一号文件	加强良种补贴、测土配方、开展节水设备补助
2006	中央一号文件	推进技术支持,节水、节肥、节药,控制农业面源污染
2007	中央一号文件	完善补贴政策,加快发展农村清洁能源,提高可持续发展能力
2008	中央一号文件	大力发展节水灌溉,加强耕地保护,土壤改良,继续加强生态建设
2009	中央一号文件	加快畜牧标准化养殖,推进生态重点工程建设,扶持农民专业合作社
2010	中央一号文件	建设高标准农田,构建生态安全屏障,推进农林废弃物资源化、清洁化
2011	中央一号文件	大兴农田水利建设,加强水资源配置,完善水资源管理体制
2012	中央一号文件	提升农村金融服务,依靠科技创新驱动,振兴农业教育,发展农业人才
2013	中央一号文件	东北四省节水增粮,推行最严格耕地保护制度,继续完善农村配套金融服务

3.1.2 完善低碳农业法律政策支持体系 低碳农业法制建设不局限于立一部低碳农业基本法和相关单行法的范畴,它涉及整个法律观念的更新。在制

定和修改涉及农业法律时要始终贯穿低碳农业的理念,把这种理念融入整个法律体系之中^[23]。中央和地方政府决策者必须全面思考当前中国低碳农

业发展现状，制定相关政策法规规范低碳农业稳步进行。

十多年来，中国相继出台《基本农田保护条例》，修订了《土地管理法》等一系列有关农业生态环境保护的法律法规^[24]。但随着高碳农业带来诸多环境问题，必须有针对性尽快制定并完善农业投入品对生态环境影响等相关标准，加强农产品标准的制定，控制过量化学品投入引起的食品安全和环境安全问题，规范低碳农业发展。如应修订《固体废物污染环境防治法》、《水污染防治法》、《节约能源法》、《清洁生产法》等法律，对农业资源的节约、废弃物的回收、有害物

质的使用及排放等做出特殊的规定。

3.1.3 取消相关财政补贴，建立合理财政补贴供应系统 中国的农业补贴起始于 20 世纪 50 年代末的“机耕定额亏损补贴”，之后扩展到农用生产资料的价格补贴、农业生产用电补贴、贷款贴息补贴等方面^[25]。但目前部分补贴已成为氮肥过量生产、过量施用及环境污染加重的推手。2013 年中央一号文件强调完善农业补贴政策，进一步推广农民直接补贴、良种补贴、农机具购置补贴及农机以旧换新试点。新的补贴政策旨在提高农户集约经营水平，寻找发展可持续农业与相应金融支持体系的完美契合点。

表 6 涉及低碳农业理念部分法律法规与农业补贴
Table 6 Main laws and subsidies relate to low-carbon agriculture concepts

年份	法律法规	年份	农业补贴
1989	环境保护法	2005(中央)	奶牛良种繁育补贴
1993	农业法	2008(中央)	秸秆能源化利用专项补贴
2001	农药管理条例	2009(中央)	太阳能光电建筑应用实施意见
2001(修订版)	畜禽养殖污染防治管理办法	2009(中央)	提高农村沼气建设补助标准
2003	农村沼气建设国债项目管理办法	2010(四川广元)	温室气体减排交易项目补贴
2005	草畜平衡管理办法	2004—2012(地方)	各省市有机肥专项补贴
2012(修正版)	清洁生产促进法	2012(中央)	农业机械购置补贴实施指导意见

3.2 立足各地农情，大力发展区域低碳农业适应技术体系

我国各地区光、热、水等自然条件及低碳农业发展区位优势与限制因子存在巨大差异^[26]。长江流域及长江以南耕地只占全国总耕地的 37.8%，拥有的径流量却占全国的 82.5%；黄淮海三大流域径流量只占全国的 6.6%，而耕地却占全国的 38.4%。全国有相当大的农业面积易受洪、涝、旱、渍等自然灾害的侵扰。低碳农业的发展必须因地制宜，各地政府应立足本地农情，通过政策推动、制度保障、技术创新

等手段聚集各方力量和各类要素资源，充分挖掘开发本农区碳资源，大力发展低碳农业，加快农村经济发展方式转变，提升现代农业发展水平和农业生态文明水平(图1~图3)。

3.2.1 东北低碳农业发展及限制因子 东北作为北国粮仓，是中国贡献商品粮最多的地区，土地面积无论是人均还是总面积都占全国首位，拥有全国最多的后备耕地和丰沃的黑土地带^[31-32]。温度是东北低碳农业发展的主要限制因子。东北农区年均秸秆总产量约为 1.13×10^4 万 t，但冬季气温较低，达不到沼

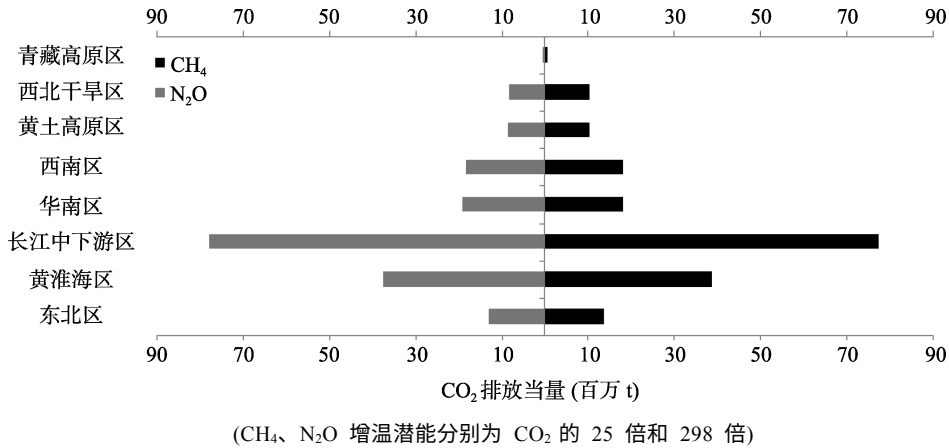


图 1 2008 年各农区氮肥施用温室气体折合 CO₂ 当量排放总量^[27-28]
Fig. 1 Contribution of N fertilizer use to GHG emissions in different agricultural region in 2008

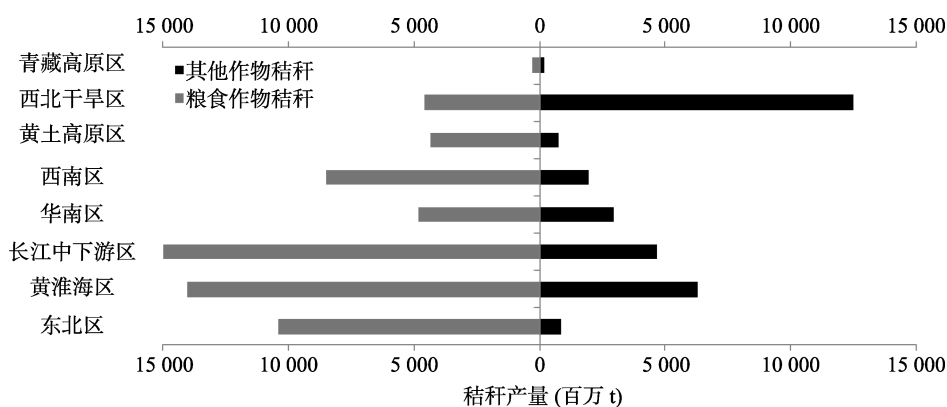
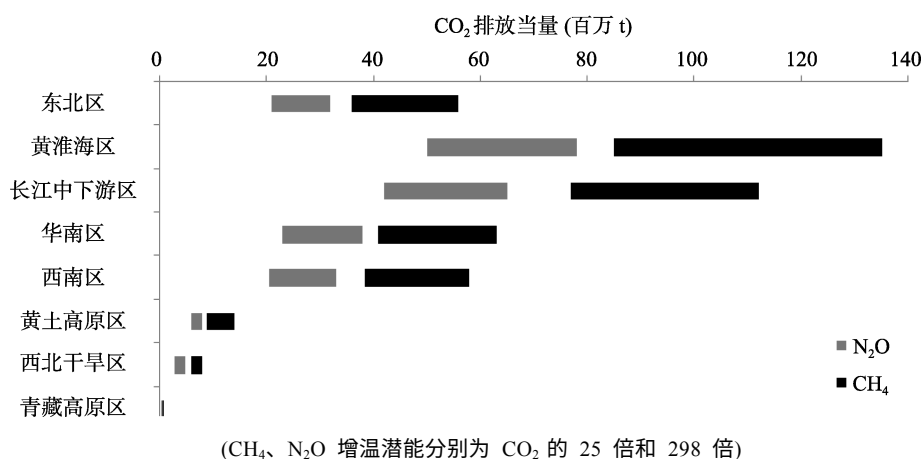


图 2 2008 年各农区粮食作物秸秆及其他秸秆总产量^[29-30]
Fig. 2 Straw resource and their total yield of different agricultural region in 2008



(CH₄、N₂O 增温潜能分别为 CO₂ 的 25 倍和 298 倍)
图 3 2008 年各农区家畜肠道发酵及粪肥折合 CO₂ 当量排放范围^[19, 28]
Fig. 3 Contribution of livestock enteric fermentation and manure to GHG emissions in 2008

气发酵的最低要求，需花费大量财力物力提升沼气发酵装备与技术，虽有利于低碳农业发展，但经济效益却是负值。同时，东北农区黑土是土壤有机碳含量最高的土壤之一，氮肥施用折合温室气体排放当量较低，但由于近几年养分的投入不足及过度垦殖造成的水土流失，导致作物每年从土壤中带走的养分得不到有效补充，造成土壤养分平衡失调、理化性质恶化、土壤有机碳含量下降，增施化肥虽然可以使大部分农田土壤有机碳库呈稳定上升趋势，但肥料生产、运输、投入过程中也会产生大量温室气体。因此，必须根据东北地区实际情况，进一步推广测土配方施肥，进一步推广秸秆还田、平衡施肥、少耕免耕等保护性耕作措施，构建满足东北地区需要的低碳农业发展模式。

3.2.2 黄淮海及长江中下游低碳农业发展及限制因子 黄淮海及长江中下游农区氮肥施用及家畜肠道发酵折合温室气体排放当量、秸秆资源都位居全国前列，发展低碳农业潜力巨大。农业产业结构转型及市场需求是该农区发展低碳农业主要限制因子。以黄淮海区为例，在高度发达市场经济驱动下，该农区原有的“粮食作物-经济作物”二元结构迅速向“粮

食作物-经济作物-饲料作物”三元结构转型。畜牧业、林果业、水产业不断壮大，但传统农业改造难度大，配套设施与技术落后等一系列问题随之隐现。在集约化蔬菜和水果生产体系中，该农区氮肥施用通常过量30%，部分地区已经超过50%甚至更多。大部分农业从业者没有认识到充分利用土壤中来自上季作物、有机肥、灌溉水、粉尘和降雨的有效氮，也包括因缺乏学习途径而缺少氮肥管理最佳技术。该农区必须在保持农业高度集约化生产的同时，控水控肥，在向畜牧业、林果业、水产业转型同时构建农业废弃物资源利用化技术，形成包括“猪、沼、果”及其与农业配合“四位一体”在内的生态农业工程模式，合理利用大量秸秆和畜粪资源，实现低碳农业经济、社会、环境的三赢。

3.2.3 华南低碳农业发展及限制因子 华南沿海农区以双季稻为主要粮食作物，是我国双季稻种植的典范地区，其稻田单位面积温室气体排放量普遍较高，因此，传统双季稻种植管理方式是该农区低碳农业发展主要限制因子。众多研究表明：CH₄ 和 N₂O 是稻田在不同阶段排放的温室气体，CH₄ 排放受气

温、降水等自然因素影响较大, N_2O 更依赖于水肥管理措施等人为因素^[33-35], 因此, 应注重二者整体的温室效益。华南大部分地区稻田水分管理方式由传统的淹水灌溉转向中期晒田和湿润灌溉的方法, 在高氮投入背景下, 虽减少 CH_4 排放, 但不可避免增加了 N_2O 排放, 抵消部分 CH_4 减排效果。因此, 以低碳农业为出发点, 以低氮投入为主要手段, 通过优化华南地区双季稻田水肥管理措施, 根据区域双季稻需肥特性针对性追肥, 改进种植方式, 优化育种, 可提高氮肥利用率, 降低晒田期土壤速效氮含量, 从而减缓因晒田提高 N_2O 排放的负面作用。稻田 CH_4 排放量占整个中国排放总量的 17.93%, 除华南双季稻地区外, 长江中下游稻作区、西南稻作区也是农业温室气体贡献大户, 因此, 各区域稻田温室气体减排是发展中国低碳农业极为重要的组成部分。

3.2.4 西部地区低碳农业发展及限制因子 西北及青藏高原地区属于我国高海拔农业区域, 自古以来具有极为浓厚的农业色彩, 农业资源与生态环境的约束是该地区低碳农业发展的主要限制因子。西部内陆地区水资源极为短缺, 年均降水量不足 200 mm, 单位耕地面积可利用水量仅为全国平均的 1/10, 水土流失面积占其土地总面积的 60% 以上, 土地荒漠化, 盐碱化, 草地退化等现象十分严重, 与其他农区大水大肥形成鲜明对比^[36-37]。既要发展该地区低碳农业, 又要保证农民收入, 改变农业粗放经营的现状, 难度非常大。未来该地区低碳农业发展应立足于特色农业, 结合退耕还林、退牧还草、生态家园工程建设, 在中央政府支持改善农业生产条件和生态环境的大方针下, 进一步发展以专用玉米、糖料、制种、棉花、苹果、肉羊、牛奶为优势品种的低碳农业支柱产业。

3.3 发展农村低碳农业劳动合作社, 优化低成本低碳农业适应性技术体系

3.3.1 根据区域特点, 推广适应性技术 建立一个跨部委的国家领导小组, 各地农业科技部门和农业推广部门在各级行政部门支持下, 积极推行低成本的低碳农业生产新技术。

传统高碳农业向低碳农业的转化关系到农民的切身利益, 农民最关心的是这些温室气体减排方法的可行性和盈利性, 我国现阶段低碳农业在农民群体中普及较低, 大多还只停留在文字宣传和小区实验阶段, 离大田推广和运用还有一定距离, 如何提升农民参与低碳农业的积极性是首要解决的问题, 因而, 要首先推广使用低成本的低碳农业生产适应技术。

在水资源匮乏的西北、华北等地区研发各种器械

及低成本的水溶肥, 加强技术培训和市场管理, 加强对相关设备进行补贴, 积极推广滴管施肥技术, 一般可节水 30%, 节肥 20%, 首年投资成本约为 500 ~ 800 元/亩; 在畜牧业较发达的青藏高原区、蒙新高原区、黄土高原区等地区加强有机无机肥配施培训, 开展减少有机肥生产中氮素损失的研究, 扩大商品有机肥的补贴政策, 有效利用粪肥及其他有机资源中的氮素; 在低纬度光热充足地区积极利用太阳能等新型绿色能源替代化石能; 在农业发达的东北、黄淮海、长江中下游地区可适当借助现代生物技术改良, 设计培育高产优质的新品种, 借助多学科综合原理和工程技术, 提高农产品品质, 提高化肥使用效率。在各农区采用合理的间套作体系, 如豆科植物间作、农林复合间作等, 从而替代合成氮肥的使用, 积极帮助农民调整农业种植结构, 推广农民用得起、用得上的生产技术, 促进和保障各区域粮食生产的稳定发展。

3.3.2 农业劳动合作社是发展低碳农业的必然选择 农村基本生产单位是农户, 极为分散和孤立, 缺乏普遍的组织与领导, 直接影响低碳农业规模化、集约化、标准化发展。例如, 一户农户或一片种植园实行低碳农业模式, 而周围耕地仍采用高碳模式的石化农业, 该生态模式下的土壤、空气和水源仍会受到影响和污染, 从而影响低碳农业发展、增加其发展成本。低碳农业有集群发展的先天优势, 集群发展不仅是农业发展的内在需要, 更是低碳经济发展的必然要求。农民分散生产难以推动低碳农业发展, 而农民专业合作社以同类农产品为对象基于“民办、民管、自愿”的原则在组织分散农民提高商品率、改善农民独自决策效率、延长产业链等方面有积极的作用, 是适合低碳农业集群发展的有效组织形式。

3.4 优化低碳农业发展外部环境, 完善全民认知意识推广体系

3.4.1 藉由消费者驱动低碳农业发展 低碳农业的发展与进步并不局限于政府与农民本身, 还需要整个社会的参与, 其中包含市场、科研等多部门的合作, 因此提高全社会公众的低碳农业意识, 是共同适应低碳农业的必然选择。

消费者可由其食品选择影响决策调整, 形成市场驱动力量, 来改变农产品产销结构, 对环境生态做出具体贡献, 藉由食品消费变革, 促使农业朝向低碳产业的道路前进^[38]。

3.4.2 藉由金融信贷市场调控低碳农业结构 加大对低碳农业投入, 以市场经济引领低碳农业发展。调整银行金融信贷服务结构, 加大对低碳农业的支

持。银行可根据农业项目内容有针对性发放贷款,鼓励绿色信贷,鼓励投资低碳生产领域,鼓励碳金融和绿色农业金融产品的创新,使资金流入与低碳农业相关的各个农业角落。同时,可以尝试以温室气体减排额作为抵押物,为低碳农业项目做融资。再次,低碳农业的发展需要一个传递信息、构建企业与农民良性循环的低碳农业中介服务体系,因此发展低碳农业中介组织与低碳农业环保服务组织是低碳农业市场发育的重要内容。

3.4.3 藉由媒体提升低碳农业全民认知 充分利用网络、广播、电视、报刊等传播媒介,通过多种途径和方式,广泛开展宣传教育,使全社会提高低碳农业的意识,开展自觉的低碳农业适应和减排行为。通过开展针对性培训,可使小范围运用的具体技术迅速辐射整个地区,促进区域低碳农业的持续发展。

参考文献:

- [1] 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, 18(5): 1 609-1 614
- [2] 赵其国, 黄国勤, 钱海燕. 低碳农业[J]. 土壤, 2011, 43(1): 1-5
- [3] 张厚瑄. 农业减排温室气体的技术措施[J]. 农业环境与发展, 1998(1): 17-22
- [4] 黄国勤. 改革开放 30 年中国农业的发展——I. 成就[J]. 中国农学通报, 2009 (10): 296-299
- [5] 黄国勤. 改革开放 30 年中国农业的发展——II. 历程[J]. 中国农学通报, 2009(15): 285-290
- [6] 黄国勤. 改革开放 30 年中国农业的发展——III. 经验[J]. 中国农学通报, 2009(16): 353-356
- [7] 朱兆良, 孙波. 中国农业面源污染控制对策研究[J]. 环境保护, 2008(8): 4-6
- [8] David N. Low carbon agriculture: Objectives and policy pathways[J]. Environmental Development, 2012, 1(1): 25-39
- [9] 胡向东, 王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 247-252
- [10] 廖新悌, 曹珍. 家畜肠道甲烷减排技术进展[J]. 家畜生态学报, 2011, 32(4): 1-8
- [11] 王亚杰, 卢星辰, 曹姝慧, 曹勇宏, 袁星. 从健康、低碳角度看农业畜牧业的发展[J]. 农业环境与发展, 2011, 28(1): 29-32
- [12] David P. Greater food security and a better environment through improved nitrogen fertilizer management[OL]. <http://www.sainoline.org>
- [13] 何立明, 王文杰, 王桥, 魏斌, 厉青, 王昌佐, 刘晓曼. 中国秸秆焚烧的遥感监测与分析[J]. 中国环境监测, 2007, 23(1): 42-50
- [14] 龚勋. 我国绿色农业发展基本路径探析[J]. 农业经济, 2012(7): 53-54
- [15] 张正斌, 王大生, 徐萍. 中国绿色农业指标体系建设指导原则和构架[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1 461-1 467
- [16] 高旺盛, 陈源泉, 梁龙. 论发展循环农业的基本原理与技术体系[J]. 农业现代化研究, 2007, 28(6): 731-734
- [17] 赵其国. 生态高值农业是我国农业发展的战略方向[J]. 土壤, 2010, 42(6): 857-862
- [18] Jörg R, Marco R. The N-cycle as determined by intensive agriculture—examples from central Europe and China[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 57(1): 33-46
- [19] 刘学军, 巨晓棠, 张福锁. 减量施氮对冬小麦-夏玉米种植体系中氮利用与平衡的影响[J]. 应用生态学报, 2004, 15(3): 458-462
- [20] 马兴华, 于振文, 梁晓芳, 颜红, 史桂萍. 施氮量和底施追施比例对土壤硝态氮和铵态氮含量时空变化的影响[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 630-634
- [21] 赵营, 同延安, 赵护兵. 不同施氮量对夏玉米产量、氮肥利用率及氮平衡的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2006(2): 30-33
- [22] 中国共产党中央委员会. 2004—2013 年中央一号文件[OL]. <http://www.aohan.gov.cn/article/list944-1>
- [23] 张燕, 庞标丹. 低碳农业: SWOT 分析及法律发展措施探析[J]. 金融与经济, 2010(12): 10-14
- [24] 郭辉, 张术环. 政府在低碳农业技术创新中的角色探析[J]. 前沿, 2011(9): 100-102
- [25] 余滢. 关于我国农业补贴法律制度的构建策略研究[J]. 农业经济, 2012, 9(8): 69-70
- [26] 《区域农业发展战略研究》课题组. 区域农业发展战略研究[J]. 中国农业资源与区划, 2007, 28(2): 1-6
- [27] Zhang FS, Zhang WF. The Chemical Fertilizer Industry in China—A Review and its Outlook[R]. Paris, France: International Fertilizer Industry Association, 2009
- [28] 中华人民共和国农业部编. 新中国农业 60 年统计资料[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009
- [29] 刘刚, 沈镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报, 2007, 22(1): 9-19
- [30] 毕于运, 王亚静, 高春雨. 中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J]. 农机化研究, 2010, 32(3): 1-7
- [31] 佟国光, 李景龙. 东北三省农业发展区位优势综合分析[J]. 中国农村经济, 2003(9): 38-42
- [32] 王淑华, 洪岩, 杨柳河. 东北农业发展的自然区位优势[J]. 黑龙江农业科学, 2008(5): 136-138
- [33] Wassmann R, Neue HU, Bueno C. Methane production capacities of different rice soils derived from inherent and exogenous substrates[J]. Plant and Soil, 1998, 203(2): 227-237
- [34] Husin YA, Murdiyarso D. Methane flux from Indonesian wetland rice: The effect of water management and rice variety[J]. Chemosphere, 1995, 31(4): 3 153-3 180
- [35] 上官行健, 王明星. 稻田土壤中的 CH_4 产生[J]. 地球科学进展, 1993, 8(5): 1-12
- [36] 李全武. 加入 WTO 与西北农业发展[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2002, 2(1): 12-16
- [37] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁. 东中西部区域农业差异及其特征分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2003, 13(6): 97-100
- [38] 李皇照. 消费者驱动低碳农业发展——食品配销与消费策略之探讨[J]. 台湾农业探索, 2010(4): 12-18

Analysis of Policies, Regulations and Technological Systems to Develop Low-carbon Agriculture in China

JIN Chen^{1,2}, SUN Bo^{2,3}, ZHAO Qi-guo^{2,3}, LI Hui-xin^{1*}

(1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China; 3 National Engineering Research and Technology Center for Red Soil Improvement, Red Soil Ecological Experiment Station, Chinese Academy of Sciences, Yingtan, Jiangxi 335211, China)

Abstract: In order to achieve the dual goals for safeguarding food security and meeting the challenge of global change, the main problems in developing low-carbon agriculture in China were analyzed and strategies were put forward. The development of low-carbon agriculture should conform to the principles of ecological agriculture, circular agriculture and ecological high-value agriculture, and integrated policies, regulations and technologies should be taken to scale up low-carbon agriculture practices. The main strategies include: 1) understand the spirit of No.1 Central Document and develop a sound legal system as well as an advanced financial subsidy frame, 2) expand the regional low-carbon agriculture system according to the local agricultural situations, 3) extend the low-cost technologies and establish the farmer cooperative organizations of low-carbon agriculture, and 4) raise public awareness and optimize the external environment for low-carbon agriculture.

Key words: Low-carbon agriculture, Policy, Regulations, Green house gas, Limiting factor