

以沼气池为纽带的种养结合农业发展思路 ——以烟台某农场为例

栾可心¹, 张 铠¹, 卢俊宇², 周永馨¹, 陈晓峰^{1*}

(1. 中国农业大学烟台研究院, 山东 烟台 264670; 2. 烟台市中国社科院农村发展研究中心, 山东 烟台 264001)

摘 要: 我国实行农业可持续发展战略, 促进种养结合循环农业的发展, 推进农业资源循环利用和农业废弃物零排放的推广。为发掘循环农业的内涵, 促进山东省循环农业的发展, 采用实地调研和查阅资料的方式进行资料收集, 使用 PEST 模型对于国内循环农业的发展进行分析, 并对烟台市种养结合循环农业的模式、效益和应用效果进行总结, 针对其目前存在的问题提出了思考和建议, 对农场的未来发展进行合理规划。

关键词: 种养结合; 循环农业; 废物资源化; 四位一体; 沼肥

中图分类号: F323.22; S216.4 文献标志码: B 文章编号: 1000-1166(2022)06-0079-12

DOI: 10.20022/j.cnki.1000-1166.2022060079

The Agricultural Development Idea of Combination of Planting and Raising with Biogas Digester as the Link—Take Xigui Farm for Example / LUAN Kexin¹, ZHANG Kai¹, LU Junyu², ZHOU Yongxin¹, CHEN Xiaofeng^{1*} / (1. Yantai Institute of China Agricultural University, Yantai 264670, China; 2. Research Center for Rural Development, Chinese Academy of Social Sciences, Yantai 264001, China)

Abstract: China implements the strategy of sustainable agricultural development, promotes the development of agriculture combining planting and raising, and promotes the recycling of agricultural resources and zero discharge of agricultural waste. In order to explore the connotation of circular agriculture and promote the development of circular agriculture in Shandong Province, field research and access to data were used to collect data, and PEST model was used to analyze the development of circular agriculture in China. This paper summarized the model, benefit and application effect of circulating agriculture combining planting and raising in Yantai city, and put forward some thoughts and suggestions aiming at the existing problems. Finally, it made a reasonable plan for the future development of Xigui farm.

Key words: combination of planting and raising; circular agriculture; waste recycling; biogas manure

近年来, 随着畜牧业快速发展, 农业工业化趋势加快。养殖舍的大量排泄物严重污染周边环境, 化肥、农药的过度使用对土壤和水体造成了污染, 这些污染物最终将通过食物链, 危害人类健康。畜牧业产生的粪污养分丰富, 直接排放会导致资源的浪费。在农业可持续发展的要求下, 以沼气池为纽带的种养结合循环农业在全球应运而生。国外农业的种养结合发展较早, 早在 20 世纪早期, 循环农场在欧美国家开始发展。目前, 各国已根据本国国情形成了不同模式的循环农业体系, 如美国将高新技术应用于农业生产, 实行减量化的“精准农业型”循环模

式; 以色列采用先进的滴灌和喷灌技术, 实行减量化的“节水农业型”循环模式^[1-2]。我国循环农业起步晚, 但发展较为迅速, 目前主要形成了种养结合复合模式、立体复合循环、以秸秆为纽带的循环模式、以畜禽粪便为纽带的循环模式和生态农业园等模式^[3-4]。其中山东省最重要的循环农业类型是以沼气池为动力纽带的种养结合农业, 该模式既可以改善山东省农民单一化的经营体系, 又可以减少山东省畜牧业粪污对环境的污染, 实现废弃物资源化利用。山东省的畜牧业增值常年位于全国第一, 但也产生了大量废弃物, 政府颁布相关政策加快生态循

收稿日期: 2022-04-28 修回日期: 2022-06-21

项目来源: 国家重点研发计划项目“园艺作物生长发育对设施环境的响应机制与调控”(2018YFD1000800); 中国大学生创新创业计划项目“沼液和菇渣施用对设施作物生长环境的影响”(202210019065)。

作者简介: 栾可心(2001-), 女, 汉族, 山东烟台人, 在读本科生, 主要研究方向为植物生理, E-mail: 2716431253@qq.com

通信作者: 陈晓峰, E-mail: cauyi2022@126.com

环农业的发展,从1990年以来已取得了令人满意的成效。烟台市作为山东省最早发展生态农业的地区,已经建成多个省级生态循环农业示范区,覆盖面积逐年增加。以本文分析的某桂农场所在的烟台市牟平区为例,从2009年起,牟平区以原有日光温室为基础,在棚内建沼气池和猪舍,形成9个集日光温室、沼气能源、种菜和养殖为一体的四位一体大棚并投入使用。截止到2021年,牟平区的中国农业大学合作基地“某桂农场”已建造20个四位一体温室,积极探索高效的循环模式。本文以烟台某农场为例对循环农业的发展和模式进行了简要分析,针对其中存在的问题提出了思考与建议。

1 国内外循环农业发展现状

1.1 循环农业在国外的起源和发展

1911年,美国著作《四千年农夫》开始了对于中国循环农业的探究。1924年,“循环农业”作为一种通过推进农业资源循环利用,实现可持续发展的新型农业生产模式,正式出现在欧洲课程中。1930年,生态农业和有机农业在美国和欧洲的发达国家开始发展。1960年,循环农业的生产模式在欧洲大部分农场开始流行。20世纪70年代,循环农业在亚洲东南部开始发展。1990年,各国相继推出支持政策推动循环农业在世界范围内发展,形成了不同的循环模式。澳大利亚以放牧为主,大片草场可供奶牛取食,奶牛的粪便作为有机肥还田,提高草场的土壤肥力和牧草品质,再加上土壤细菌和真菌等微生物的作用,形成了奶牛、草、微生物有机结合的生态模式;德国超过80%的农场都进行循环农业模式,并建立了一系列约束粪污排放的管理办法,且重视农业和工业的融合,形成了“绿色能源”农业模式;韩国选择了“稻麦-肉牛”的循环模式,通过秸秆饲料化加工技术,将农业废弃物转化成肉牛的饲料,既避免了秸秆污染,又节约了养殖成本;日本采取“种植-沼-虾”的循环模式,采用稻虾共育的模式,沼渣则作为肥料和虾饲料投入系统。20世纪至今,国外对于农业可持续发展模式探究的重点逐步从“有机农业”、“生态农业”转化为以此为基础的“循环农业”。该模式蓬勃发展,遵循3R的特点,即“减量化”、“再利用”和“再循环”,其中“以沼气池为纽带的模式”占比相对较少^[4-8]。

1.2 循环农业在国内的起源和发展

1978年改革开放的政策带动下,我国农村的经

济、教育和环境水平都得到了提高;家庭联产承包责任制的推行,农民的生产积极性提高,我国农村经济逐渐向可持续发展的方向转变。在这个背景下,我国农业农村的生产方式开始转变。1985年,张元浩对循环农业的具体过程做出了阐述^[9],他将循环农业定义为物质循环利用和能量转化的农业生产过程,我国的循环农业开始发展。2001年,刘刚对于我国存在的生态农业模式进行了系统的总结^[10],按照地域的经济背景和自然资源的不同,将生态农业划分为位于城镇的都市生态农业,位于条件较好地域的规模化生态农业,位于丘陵、山地的综合效益优化生态农业3类。随着我国经济发展,人们生活水平提高,畜牧业得到极大发展。高定^[11]等计算,截止到2002年,我国年畜禽粪便量已达27.5亿吨,约为全国工业固体废弃物的3倍,陈德敏^[12]等提出我国农业生产要加快向循环农业的方向转变,促进畜禽粪污资源化利用。2004年,郭铁民^[13]提出要走生产和环保两头抓的新型农业模式。2008年,李金才、尹昌斌^[14-15]等学者总结了循环农业的3个发展阶段和5个类型,指出循环从最初的“循环型农业”发展为“循环节约型农业”,再到目前的“循环农业”经历了3个发展阶段,其中包括物质多层利用型、互利共生型、资源开发利用与环境治理型、观光旅游型5个类型。国内的循环农业建立起成熟的发展体系,秸秆反应堆和沼气池发展迅速,为循环农业从理论到实践奠定了基础。2013年,我国种养结合型家庭农场快速发展,农场数量超过5万个^[16]。从2015年至今,国家加快可持续发展战略的实施,中央1号文件和循环农业示范工程建设规划政策相继出台,政府对于种养结合农业的重视程度日益提高,“种养结合”成为生态农业领域中出现频率最高的词汇,是未来农业发展趋势^[17]。我国因地制宜改进了“3R”生产原则,建立了“适量化、资源化、再利用和可控化”为特点的循环农业模式。2021年开始,在部分省市实行5年绿色循环农业试点工作,加大政策和资金支持力度,强化绿色循环农业的产业化建设。

2 基于PEST模型分析以沼气池为纽带的循环农业的发展情况

本研究从政治层面(Politics)、经济层面(Economic)、社会层面(Society)和技术层面(Technology)对山东省以沼气池为纽带的循环农业发展模式

进行可行性分析(见图1)。这4个因素对于循环农业的发展都起着决定性作用,综合分析可以客观且全面评价我国循环农业发展的现状和潜力。沈梦涵^[18]通过PEST模型分析法对于休闲农业的发展进行了系统的分析,熊春林^[19]通过PEST模型分析法对于发达国家智慧农业的发展进行了分析,王巍^[20]通过PEST模型分析法对于低碳农业的发展进行了分析,PEST模型可以应用在不同农业生产模式的分析中,能取得较为科学的结果。本文学习了前人关于PEST模型在农业生产模式分析中的应用,弥补了其在循环农业领域分析应用的空白。

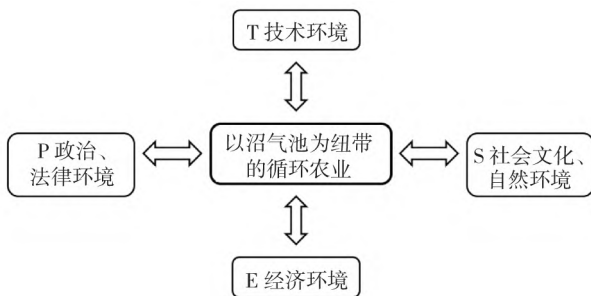


图1 PEST分析模型

2.1 政策、法律环境分析

在我国农业可持续发展的战略目标下,国家重视生态农业的发展,积极制定相关政策推进循环农业的应用和推广(见表1)。依靠国家政策和法规的支持,种养结合型农业迅速发展。农业农村部文件

表明2015年~2020年,我国300个循环农业项目建设完成,连续三年化肥用量显著降低,粪污处理水平显著提高。

以山东省为例,2015年,颁布《现代生态循环农业建设“十三五”规划》,实行生产和环保两头抓的战略;2016年为响应国家号召,颁布《关于贯彻国家加快转变农业发展方式的实施意见》,保障农业可持续发展,同年印发《山东省畜禽养殖粪污处理利用实施方案》,推进全省粪污综合利用;2017年,印发《加快推进畜禽养殖废弃物资源化利用实施方案》,加速全省畜禽废弃物全量化处理;2018年,颁布《关于创新体制机制推进农业绿色发展的实施意见》,发展循环农业,打造农业示范区。2019年《农业农村部办公厅 财政部办公厅关于做好2019年农业产业强镇示范建设工作的通知》指出支持建设绿色农业生产基地,鼓励进行绿色认证。同年,山东省“三项补贴”政策引导农民利用畜禽粪便和秸秆,防治农业污染。2021年,《共同推进现代农业强省建设方案》明确提出要加快推进农业污染的防治工作,推进畜禽粪污资源化利用。同年,山东省26个县入选全国第一批绿色种养循环农业试点县。2022年,《山东省“十四五”农业农村生态环境保护行动方案》指出要加快解决农村种植业和畜牧业的污染问题,计划到2025年,实现畜牧业粪污90%回收利用的目标。

表1 2015~2021年我国循环农业政策分析

年份	国家政策	主要内容
2015年	《全国农业可持续发展规划(2015—2030年)》	促进种养循环、农牧结合的发展。
2016年	《全国农业现代化规划(2016—2020年)》、“中央一号文件”、《农业综合开发区域生态循环农业项目指引》	建设种养结合循环农业示范工程,将循环农业正式上升至国家战略高度。
2017年	《种养结合循环农业示范工程建设规划(2017—2020年)》	明确“种养加一体”和“农牧渔结合”的发展方向。
2018年	《中共中央、国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》	推动农业废弃物的资源化利用。
2019年	《农业绿色发展先行先试支撑体系建设管理办法(试行)》	大力支持农业废弃物的循环利用。
2020年	《关于进一步明确畜禽粪污还田利用要求》、“中央一号文件”	鼓励农户建立以沼气池为纽带的种养结合家庭农场,明确推广种养结合的生产模式。
2021年	《2021年绿色种养循环农业试点技术指导意见》	打造种养循环农业试点,推进粪污综合利用,促进有机肥合理利用。

2.2 经济环境分析

2.2.1 农村经济平稳发展

近年来,我国农村经济平稳发展。种植业始终是第一产业的主要部分,对农村经济发展起着决定性作用^[21]。人民生活水平的提高,对肉、蛋等畜产

品的消费需求量增大,畜牧业有着巨大的市场潜力。在1980年至2009年,我国畜牧业在国民生产总值中的比重持续上升。畜牧养殖业快速发展,并通过饲料产业为纽带,带动了种植业的发展。养殖业生产形式日益丰富,猪、牛、羊等家禽的存栏量持续增

加。农业农村部数据显示,2021年全国生猪出栏量6.7亿头,相比上一年度增长27.4%,其中山东生猪出栏量达0.4亿头,约占全国生猪总出栏量的5.97%。据《中华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报》数据统计,2021年我国猪肉产量为5296万吨,约占世界猪肉总产量的48.61%。传统养猪业在农业产值中占据着较大的比例,在提高农村农民经济水平上起着不可或缺的作用,其稳定发展也为“猪-沼-菜”和“猪-沼-粮”循环农业模式的发展奠定了经济基础^[22-23]。

2.2.2 食品安全的要求下,农产品高端市场发展迅速

我国经济已从高速增长阶段逐步转向高质量发展阶段,高端化成为各个产业发展重点。种养结合作为农业生产高质量发展的表现之一,对推动农业经济结构转型升级具有重大的意义^[24]。随着居民生活水平和收入水平的提高,人们更加重视食品安全,对高质量农产品的需求量逐年增大,要求种植业产出高产优质、绿色有机的农产品,要求养殖业规范养殖标准,保证饲料和水质的质量,生产均值稳定的优质的产品^[25]。截至2016年,我国的有机产品市场规模和有机产品出口价值均位于世界第四,但人均消费额较低,有机农业发展的潜力巨大^[26]。

2001年“有机食品”一词开始出现在我国中央文件中。2015年开始,我国连续颁布多项纲领文件,其中《关于加快推进生态文明建设的意见》中指出大力发展有机农业和生态农业。《中共中央国务院关于打赢脱贫攻坚战的决定》提出大力发展生态农业,结合生态进行脱贫。《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》提出利用贫困地自然资源优势,发展绿色农业、循环农业和有机农业。在政策的支持下,我国有机农业的种植面积逐年增长,在2018年种植面积同比增长230%。2018年后,我国对有机农业、绿色农业的重视程度逐渐加深。《国家质量兴农战略规划(2018~2022年)》指出国家将逐步完善农产品质量可追溯体系,提高农业安全生产,未来进行绿色农产品认证和有机产品认证的企业将逐渐增多,高质量农产品随占比例增多。《中共中央国务院关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》中提出加强绿色农产品、有机农产品的认证和追溯管理,提高其市场认可度。

在种养结合高端化生产中,养殖业的高端化生

产提高了畜禽产品的品质,间接降低了畜禽粪便中的有害物质的含量,提高了种养结合中所用有机肥的质量,提高了种植业的产品品质;种植业品质提高,间接提高了循环中投入畜牧业中的饲料的质量,最后实现农畜产业的双线高标准生产要求,有助于建立安全的农产品市场,推进农业转型升级,迈向有机、绿色农业的高端市场。

2.2.3 政府补贴力度加大

为稳定农业发展,保障粮食安全,我国积极制定农业补贴政策。我国目前的主要农业补贴政策包括价格支持政策、直接补贴政策和一般服务支持措施。价格支持政策是通过制定粮食最低收购价和临时收储措施,稳定粮食市场;直接补贴政策包括种粮直补、农资综合补助和良种补助等补助政策,形成集“粮食生产直接补贴”、“良种补贴”、“农资综合补贴”和“玉米生产者和大都生产者补贴”为一体的直接补贴体系;一般服务支持措施则提高了农业综合生产能力^[27]。同时,我国颁布《关于促进农民增加收入若干政策的意见》和《关于进一步完善对种粮农民直接补贴政策的意见》等文件,规范粮食补贴制度管理^[28]。根据中国银行保险监督管理委员会的数据显示,我国加强农业补贴力度,2020年,我国中央政府在农业保险补贴方面投入的资金总额同比增长7.6%,而地方政府的投入金额同比增长44.64%,可见政府对稳定农业生产的重视。此外,我国加快建设高标准农田,强化耕地质量,实行农业供给侧结构性改革。

“十三五”期间,我国粮食连年丰产,粮食储备充实。种植业的稳定发展为畜牧业奠定基础,国家投入大量资金促进标准化、规模化养殖的发展,支持猪牛羊标准养殖场的建设。从2018年起,我国各省对循环农业的补贴力度逐步加大。政府部门颁布重要文件,促进农业补贴向着补更环保、更有效率和食品更安全的产业转变。《建立以绿色生态为导向的农业补贴制度改革方案》文件提出到2020年基本建成以绿色生态农业为主的补贴机制。《乡村振兴战略规划(2018~2022年)》进一步促进农业补贴制度向绿色和生态方向的转化。绿色和生态成为了农业补贴的未来改革方向,这为发展种养结合循环农业提供了经济保障^[29]。山东省完善“农业支持保护补贴”,补贴目的为加强耕地和生态保护,引导农民

多施用农家肥,注重废弃物资源化利用,节约水资源。烟台市在2022年4月印发《农业产业发展激励政策十三条》,采取补贴和贷款政策鼓励农业示范园的建设,支持农业高质量发展。

2.3 社会文化、自然环境分析

2.3.1 自然环境优越 农耕文明悠久

我国大部分地区位于中低纬度,气候类型为季风气候,雨热同期,农业用地的绝对数量有保障,耕地质量较好,有利于农业生产;我国生物种类繁多,大部分地区能利用自然资源因地制宜发展农业,有利于种养结合循环农业的发展。两千年前,我国农民就形成了精耕细作的生产模式,自给自足,因地制宜进行农业生产,传统农业的人与自然和谐共处的生态观持续影响当代农业生产。

2.3.2 示范项目加快发展

我国加大循环农业项目资金的投入,加快建设和推广一批具有引领作用的循环农业示范园区和示范企业。

各省也积极响应国家号召,浙江省、河南省和山东省等农业大省均加快创建循环农业示范区、示范县和示范场,大力推广循环农业模式。浙江省在2014年作为我国第一批循环农业试点省,最早建成循环农业百个示范区和千个示范主体,创新粪污治理和节水减量等农业生产技术,对示范区和示范主体检查、验收的形式,并对内部工作人员进行培训,保证示范区工作的效率^[30]。同年,河南省投入大量资金打造兰考县在内的13个国家级示范市,以及14个省级示范县,培育一批高素质的务农人才,提高农民的务农水平和职业素质^[31]。2017年,山东省共建设有10个循环农业示范县,16个示范区,33个示范企业和105个示范基地。其中山东省嘉祥县建立科学的污染治理方案,改善耕地质量,推进减量化政策,提升废弃物再利用水平,推动秸秆合理化利用,建立生态文明的三级循环农业示范基地。烟台市福缘地生物科技有限公司建立了一套有效科学的循环农业生产体系,并对当地的生态环境和农民生活起到了积极的影响,在2021年被立项为循环农业标准化试点项目。各类示范项目对当地循环农业的发展起到了引领和教育意义,既可以促进当地农业的可持续发展,又能带动就业。

2.3.3 绿色发展理念普及

国家重视农民素质水平的提高,习近平主席强调要形成一支强大的乡村振兴人才队伍。农民素质的提升推动着农业现代化和农业可持续发展进程。2006年,《关于推进社会主义新农村建设的若干意见》文件中明确提出新农村的建设必须要培养一批高素质的新型农民队伍;党的十九大进一步阐述了农民对于农村未来的重要性;2021年《关于加快推进乡村人才振兴的意见》文件指出要加快推进高素质务农队伍的建设。我国目前主要通过健全农民教育培训体系,提高师资队伍水平,加强资金支持,建立有效的成果评价体系等措施,提高农民职业素质和务农能力^[32]。随着农民素质水平提高,其对生态农业、绿色农业的认知逐渐加深,这为循环农业的大范围推广提供了条件。

山东省于2021年全面开展职业农民职称评定,实施农民技能提升计划,旨在强化务农人口科学素质和知识文化水平。随着农户受教育水平的提高,对绿色发展理念的认识逐渐深入,循环农业在农村发展过程中存在的阻碍逐渐减小。调查得知我国大部分农民都具有生态自觉性,绝大多数农户对绿色发展理念持积极态度,环境保护政策也得到农村居民的高度认可^[33]。绿色发展理念在农村社会中的普及,也为循环农业的发展奠定了思想基础。

2.4 技术环境分析

2.4.1 沼气技术显著提高

20世纪初期,我国台湾开始发展沼气工程,推广天然瓦斯技术,利用水压式储气法和水泥砂浆密封解决了储气和沼气池的密封问题。70年代,我国农村开始对沼气工程进行大规模探索,但因技术落后,建成的沼气池的效益普遍偏低。80年代初期,我国的沼气工程研究所建成,在产甲烷菌分离方面实现突破,在发酵工艺方面进行了创新,对于沼肥的使用进行了规范。同时,我国开始引入国外先进的设备和沼气池建造工艺,推出自动搅拌、塞流式等新型池型,形成了中国特色的水压式沼气发酵池,出版了《中国农村沼气技术》等一系列教材和说明书,指导技术的推广和使用。沼气池不仅使用粪便作为原料,还引入工业产生的有机废水,原料种类的增加也增强了沼气技术与社会发展的联系。90年代,在国家政策的支持下,沼气技术不断进步,在产气、有机物去除和负荷等方面都实现了较大的突破,其与种

养结合循环农业的联系日益密切^[34-35]。近十年来,我国大量企业投入到了沼气技术的研发行列,设施设备生产能力逐渐提高。2008年,在资金支持下,大量科研院所和高校投入到沼气新技术研发中来。太阳能与沼气一体化技术和沼气发电技术等新技术得到推广,新材料沼气池和抽排设备等新型设备开始投入应用。2009年,政策支持范围持续扩大,主要应用在完善发酵工艺和体系、设计新型设施设备、提升管理运营能力等方面^[36]。截止到2018年,我国的沼气厌氧发酵技术和微生物强化技术均得到了一定程度的普及^[37]。

2.4.2 不断探索因地制宜的循环模式

循环农业的模式应用了农业生态学、可持续发

展和“3R”的经济学的原理,结合当地的地域特点,不断在实践中更新和发展。近年来,世界各国均不断探索适合本国国情的循环农业发展模式。如美国的精准农业,德国的绿色农业和英国的永久农业等。我国的国土面积广阔,各地的自然和经济条件不同,因此因地制宜是我国循环农业发展的最佳选择^[38]。经过调研,我国各省份均已形成了适合当地农业发展的循环模式(见表2)。其中,烟台艾维农场、北京蟹岛园区、四川圣源生态示范园等循环观光农场,均在农畜产品生产的基础功能上加入了观光旅游的新功能,优化和创新了传统的循环农业生产和经营模式,使农业生产与观光旅游互补,既提高了农业园的经济效益,又改善了农业园的生态环境。

表2 我国各省份循环农业生产模式分析

省份	模式选择	参考文献
天津	立体复合型、有机废弃物资源化循环利用型、改善生态环境型、种养加相结合农工贸一体化型、观光生态型。	[39]
甘肃	农业生态循环种养模式、农业废弃物循环利用发展模式、生态保护行发展模式。	[40]
湖北	立体高效降耗、种养结合、农产品加工产业链耦合和农村生态家园。	[41]
山东	农林牧复合型发展模式、有机废弃物资源化循环利用模式、以防治自然灾害、改善生态环境为重点的循环农业模式、种养加相结合、农工贸一体化的循环农业模式。	[42]
福建	生态整合模式、生态链链接与转换模式、生态农业园模式、区域型循环经济模式、家庭型循环经济模式。	[13]
安徽	农业种养结合、立体复合型发展、农业副产物再利用、农村庭院型发展、休闲观光型。	[43]
浙江	减量化模式、生态链连接和转换模式、农业废弃物循环利用模式、农产品质量提升型模式、和生态循环农业园区模式。	[44]
海南	物质循环利用模式、产业立体复合循环模式、生产清洁节约模式。	[45]
江苏	农业生态恢复整治型发展模式、农业废弃物再利用模式、立体复合型农业模式。	[46]
河南	再资源化模式、减量型模式、再使用型模式。	[47]
四川	以沼气为核心的循环农业模式、以农业内部资源综合利用为核心的循环农业模式、以农业资源的非农化利用和非农业资源农业化利用为核心的循环农业模式。	[48]
重庆	种养轮作-原位消纳循环模式、种养废弃物集中处置-分区利用模式、区域种养大循环模式、典型种-养-加循环模式。	[49]
江西	种植业内部循环生产模式、种养殖业循环利用模式、资源加工利用型模式。	[50]

3 研究区发展情况概述

3.1 烟台的基本情况

烟台市(119°34'~121°57'E、36°16'~38°23')地处山东东北部,属于低山丘陵地貌。该地年平均气温为12.7℃,年平均降水量为651.9mm,年平均相对湿度为68%,平均无霜期为210天,属于温带季风气候,气候湿润,雨热同期,有利于农业生产。

第七次人口普查结果显示,烟台市农村常住人口持续减少。烟台市土地面积为13745.95km²,其中山地约占36%,丘陵占40%,平原占21%。

2021年,烟台市的粮食种植面积达450万亩,粮食总产量突破180万吨,但人均耕地面积较小。

烟台是目前国内规模最大的苹果经济栽培区,也是国内主要的育苗基地和最大的小麦和玉米的育种基地。此外,烟台的海产品种类丰富,全市重要经济鱼类60多种^[51-52]。

3.2 烟台发展沼气循环农业的意义

3.2.1 沼气沼液沼渣的应用价值

畜禽排泄物中有丰富的养分,实验表明猪粪80%的干物质为有机物,氮和磷元素的含量较高,70%的养分可以被作物重新利用^[53]。传统做法为直接

排除,不仅对环境造成污染,还导致了资源的浪费。在一定的含水量、适宜的温度和甲烷细菌的共同作用下,密闭沼气池中经厌氧发酵得到沼气、沼液和沼渣三种产物,其中残留在废液池底的固体成分为沼渣,中间的液体部分为沼液^[54-55]。沼气主要由甲烷和二氧化碳混合组成,是一种清洁环保的气体燃料,有供热、发电等用途。沼液中含有氮、磷、钾和有机质等营养成分,含植物生长发育的必需养分,在提高农产品品质,优化土壤理化性质和提高作物的抗病能力等方面有显著的作用^[56]。沼渣中存在粪便发酵中形成的微生物、纤维素、腐殖酸和有机质等物质,可以作为肥料施用^[57]。

3.2.2 对环境的保护作用

2016年烟台市畜禽业平均1天产生2797万t粪污,给环境治理造成了很大的压力^[58]。烟台市积极倡导“种养结合”的发展,鼓励畜禽粪便资源化利用,截至2020年,全市3700余个养殖场的粪污回收处理设备的配套率达到100%,粪污回收利用率达到96%,政策得到了有效的落实。相关研究证实,沼肥代替化肥能显著减少化学药物对环境的影响^[59]。因此,烟台市积极推进循环农业的发展,既减少养殖业废弃物的排放,又减少化肥对环境的污染。

3.3 烟台市循环农业的模式类型

目前烟台市较为普及的循环农业生产模式主要包括以下3种。

3.3.1 猪-沼-果循环农业模式

该模式主要包括果园、猪场和沼气池3部分,通过沼气池为纽带将果园和猪场紧密结合,猪场的排泄物进行发酵产生沼渣沼液供给果园的日常施肥,果园的残次果用来作为猪场的饲料来源,组成一个开环的互补系统(见图2)。该模式通过果园面积、果树的需肥量以及土壤承载能力等确定总体需肥情况,再确定猪场的规模,最终确定沼气池的规模。猪舍通常在整个园区的海拔最高处,有利于通风和透光,并增大了沼液的自流灌溉面积。沼气池通常在猪舍下或猪舍外,前者布局方式对该地区的地质条件有要求,后者则需要充分考虑污道的走向和沼液的流向^[60]。该模式依据生态学原理,集合了一系列生化反应,本质是适宜条件下,沼气池内的菌群将粪便中的有机物分解,产生沼气、沼液和沼渣,强化了分解者的还原作用,使系统中的物质和能量充分利用。

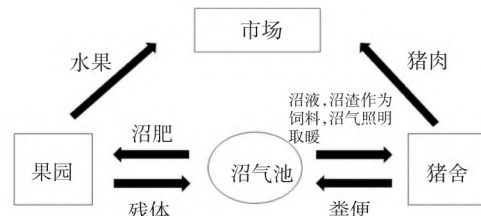


图2 猪-沼-果循环模式流程图

3.3.2 猪-沼-菜循环农业模式

该模式通过沼气池作为动力纽带,将大棚内的蔬菜生产与养猪场的粪污有机连接,粪污发酵产生的沼肥和气肥供给菜园,菜园无法进入市场售卖的蔬菜可供猪场作为饲料,由此组成一个有机的循环系统(见图3)。目前,烟台市主要的“猪-沼-菜”模式为大型企业基地和家庭农场。前者主要由大棚、养猪场和沼气池三部分组成,后者将猪舍、厕所、沼液池和日光温室组合成密闭的循环系统。该模式利用生态学、工程学和经济学等原理,集种植、养殖和沼气发酵为一体,高效利用现有资源。

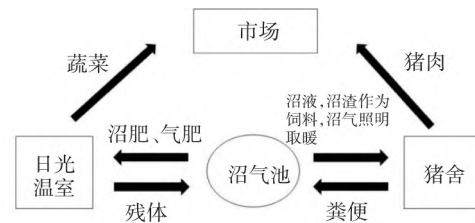


图3 猪-沼-菜循环模式流程图

3.3.3 猪-沼-粮循环农业模式

该循环中,大田的秸秆可以加工后作为饲料进入养殖舍,养殖舍的粪污排泄物进入沼气池发酵,既可以为生产提供能量动力,又可以作为有机肥进入大田栽培,提高粮食作物的品质。该循环以沼气池为纽带,粮食作物为循环的基础条件,将粪污、秸秆等废弃物重新利用,使动物、植物和微生物形成了一个和谐的生态环境(见图4)。相比“猪-沼-菜”和“猪-沼-果”两种模式,它改善了秸秆焚烧和农场草堆影响村貌的问题。

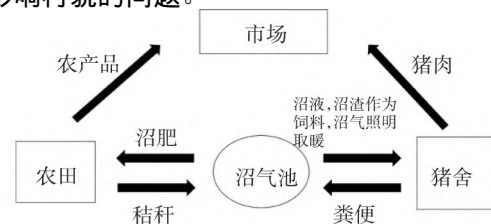


图4 猪-沼-粮循环模式流程图

4 某农场循环农业效益分析

4.1 经济效益分析

4.1.1 循环农业对比传统农业增加的农产品收益

烟台市传统家庭农业通常养猪 2 头,而在“猪-沼-菜”家庭农场的模式中,平均每个四位一体生态温室可以饲养 20 头猪。沼气池的建造减少了粪污随地排泄造成的猪发病率和死亡率较高的问题,为农户减少了风险,增加了收入^[61]。沼肥及猪舍提供的 CO₂ 气肥提升了蔬菜的产量和品质,提高了农作物的售价。在“猪-沼-果”循环模式中,施用沼液可以增加果树的产量,提高果树的抗病性,使果树的成熟期提前,使水果提前上市从而提高水果的售价,增加果农的经济收入。

4.1.2 循环农业减少农业生产资料的成本

在“猪-沼-菜”生态模式中,以烟台某桂农场为例,该农场共有 20 个四位一体温室,每 1 个温室占地面积约为 667 m²,饲养 20 头肉猪。由相关数据得知 1 头肉猪平均每天产生 4 kg 的粪便排泄物,则 1 个温室大棚每天向沼气池提供约 80 kg 的粪便,以每吨猪粪产生 10~21 m³ 的沼气计算,则 10 头猪每天可产生 0.4~0.8 m³ 的沼气。沼气能提升温室的温度,节约煤炭的消耗,沼气能源可供农户家庭使用,减少了液化气的用量,为农户节省了能源方面的消耗。每头猪每天平均呼出 1032 LCO₂,则 1 个温室内每天将增加 2.1 万 LCO₂,减少温室在补充气肥方面的支出^[62]。该农场产生的沼液和沼渣可供作物整个生长时期的基肥和追肥。对某桂农场沼气池生产的沼液进行成分测定,如表 3 所示。采用张昌爱^[63]提出的养分含量定价法对沼液进行定价,得到的价格为 78.43 元·m⁻³。按照平均每年两茬的最低生产数计算,每年施用沼肥可以节约化肥开销约 600 元。

表 3 沼液的基本理化性质 (kg·m⁻³)

有机质	全氮	全磷	全钾
29.60	4.11	0.05	0.35

在“猪-沼-果”模式中,施用沼肥可以减少果树的农药和化肥的用量。相关数据表明,与施用化肥相比,施用沼肥能提高果树的抗病性,减少一次农药的使用,施用沼液可以使每株果树的化肥用量减少

4 kg。该模式既减少了农药和化肥的投入成本,又减少了对环境的污染治理成本^[64-65]。

无法进入市场售卖的农产品、沼气池产生的沼液和沼渣可以作为饲料返回猪舍^[66],其中,沼液沼渣使每头猪(100 kg 为标准)的饲料投入量减少约 50 kg,节约了养猪的饲料投入成本^[67]。

4.2 生态效益

沼气池的建造显著改善了养殖舍的周边环境,减少了废弃物对环境造成的污染。粪污收集发酵模式减少了传统水冲粪产生的污水对周围水域的污染,节约了水资源;减少了粪污堆积产生的恶臭对大气的污染;减少饲料中未被吸收的元素随粪便排出对土壤和水体的污染^[63]。粪污发酵再利用模式减少了化肥中氮素富集造成的危害;减少了化肥挥发出来的有毒有害气体对人体和作物生长的危害。气体循环重吸收模式将 CO₂ 转化为温室内的气体肥料,变废为宝,减少温室气体的排放^[68-71]。

4.3 社会效益

循环农业带动了烟台市农业可持续发展,促进三产融合的发展,推动农业结构转型升级,有助于乡村振兴战略的实施。该模式改善了传统养殖舍周边的生态环境,提高了农村的生产生活条件,有利于打造“生态宜居”型乡村。其绿色的生产模式和高品质的农产品不仅为农民带来了额外的收益,还为消费者提供了更安全的食品市场^[72-74]。

5 循环农业存在的问题及解决方案

5.1 主要问题

5.1.1 对循环农业的认知不够

农民对于循环农业的接受意愿的高低是其应用和推广的关键。大部分拒绝接受该模式的农户认为其运营复杂,操作的成本和风险都较高,且增收效果并不明显^[75]。造成这种观念的原因一方面是农村的人口老龄化严重,大部分务农人口的文化水平不高,农民的思想仍停留在小农经济意识,对于新技术和新模式的接受程度较低,循环农业在农村的推动较难。不仅农户,部分地方政府没有站在改变农业模式的角度思考种养结合,仅将其当作粪污治理的新模式^[76]。另一方面,中国人多地少,分散化的农业模式导致种养结合实际给农民带来的收益较难达到预期,无法激励其改变思想认知,接受新模式^[77]。

5.1.2 技术发展受阻

粪污收集、储存、发酵到还田的整个循环过程都需要新技术的支撑,山东省的部分家庭农场的技术效率较低,严重阻碍了其经营效率的提高^[78]。技术研发中的阻碍主要是对于新技术需求的割裂以及资金的缺乏。对于新技术的研发,政府强调标准性,而企业却更关注成本,目前技术的创新依赖行政而非市场,这导致新技术无法落地^[79-81]。我国部分地区的城乡发展仍较不平衡,一些区域的经济水平不高,导致农业技术研发、推广和运行的经费不足。除了资金支持外,政策的不足加重了新技术应用的难度。

5.1.3 沼肥的推广难度和施用问题

有机肥的推广面临着核心竞争力不强、设备基础不完善和安全标准不明晰等问题。相对比化肥,有机肥的成本较高,且施用较为不便,市场竞争力小^[82]。部分新建的沼气池缺少专业人员指导和维护,或因为运行和维护的成本过高而没有有效使用。粪污中残留的重金属、病菌和抗生素若没有完全处理,最终将会沿食物链危害人类身体健康。目前对于沼肥的质量和安全性没有较为明确的标准,还田过程存在着一定风险。粪污的主要成分,粪污还田所需的农田面积等数据没有详细的测定,沼肥施用技术和风险评估技术并不完善,阻碍了循环农业的进一步发展^[76]。

5.2 思考与建议

5.2.1 发挥政府的作用,提高农户的积极性

针对农户对于采用循环农业生产模式的顾虑,要充分发挥政府的调控作用。烟台市应加快建立循环农业示范基地,鼓励农户参观学习,培养农户的务农意识,提高农户的技能和本领,引入有专业知识的人才助力循环农业的发展。并发挥市场的作用,加大农村对发展循环农业的金融支持力度,完善补贴政策,减轻农户的生产负担,为其提供资金保障^[75]。此外,由于初期循环农业的收益相较传统模式可能会降低,政府要加强危险防范和保障机制,为农户保驾护航^[77]。

5.2.2 强化农业技术创新,加大宣传力度

发展循环农业必须全方面进行技术资源整合,从种植业、畜牧业和工程技术等方面进行创新和合作。不仅要建立核心技术,还要设计和开发新设备。当地政府和企业应推动新技术和设施设备的研发和

应用,按照当地的需求进行集成与衔接,形成最优组合后,建立示范基地进行宣传和推广,并对农户进行技术培训。新技术的研发和推广都离不开人才的支撑,政府应积极与高校合作,为循环农业培育更多的专业人才,建立人才吸引和就业补助政策,全面促进循环农业的快速发展^[83-84]。

5.2.3 完善粪污还田标准,加强污染防治力度

制定养殖舍饲料标准,从源头控制粪污中抗生素和有害物质的含量。加强立法,通过法律法规管控污染,防止粪污发酵后还田所产生的二次污染。针对不同地区的特点,帮助当地循环农场建立成熟的粪污收集和发酵技术,协助农户因地制宜开展废物资源化循环利用。

6 某农场未来发展规划

农场目前已形成了拥有20个四位一体温室,存栏量为200余头肉猪的种养结合生态农场。在未来,该农场可以从技术和模式的创新、规模的扩大和销售渠道的扩展等方面进行改善。

6.1 技术和模式创新

农场目前使用沼气池进行厌氧发酵,发酵后的沼液经过稀释后通过管道进行灌溉,建议引入滴灌和喷灌技术,既可以节约水资源和沼液的用量,又有利于作物增产。该农场在未来应提高循环农业“4R”核心技术的应用和创新,如提高营养元素循环技术,提高农田水转化效率,引入低消耗的耕种技术实现“减量化”;提高资源循环加工利用还田技术实现“再利用”;提高光能热能等资源的循环效率,创新种养结合技术实现“再循环”;提高病虫害绿色防控技术实现“控制化”^[85]。此外,农场可以对目前的四位一体温室和猪舍的结构参数和建筑材料进行优化,主要包括温室的保温材料的优化和采光角的设计,以及猪舍的通风换气的优化、地板材料的升级等,逐步改善四位一体温室内的生产环境。

农场的循环模式较为局限,在未来可以将林业和渔业有机融合进现有的循环体系中,探索更多的适宜当地发展的循环模式,增加收益。

6.2 规模和销售渠道的扩大

农场应适当扩大农场规模,加入农业观光、农业休闲和教育基地等新经营模式,增加采摘、观光等功能。同时,农场应逐步扩大销售渠道,走绿色发展道

路 打造品牌。顺应国家发展有机农业的趋势,进行农业有机认证,提高农产品的品质,增加产品的核心竞争力。

参考文献:

- [1] 白金明. 我国循环农业理论与发展模式研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2008.
- [2] 刘渝, 杜江. 国外循环农业发展模式及启示[J]. 环境保护, 2010(08): 74-76.
- [3] 唐华俊. 我国循环农业发展模式与战略对策[J]. 中国农业科技导报, 2008(01): 6-11.
- [4] 张锡金, 刘炳福, 李爱海, 等. 我国发展循环农业的主要模式及对策建议[J]. 山东农业科学, 2007(04): 130-132.
- [5] 陈红兵, 卢进登, 赵丽娅, 等. 循环农业的由来及发展现状[J]. 中国农业资源与区划, 2007(06): 65-69.
- [6] 苟在坪. 国外农业循环经济的发展[J]. 再生资源与循环经济, 2008, 1(11): 41-44.
- [7] 周应恒, 张晓恒, 严斌剑. 韩国秸秆焚烧与牛肉短缺问题解困探究[J]. 世界农业, 2015(04): 152-154.
- [8] 李文斌. 建水县西山村种养结合循环农业模式构建及推广研究[D]. 昆明: 云南师范大学, 2019.
- [9] 张元浩. 农业的循环过程和“循环农业”[J]. 中国农村经济, 1985(11): 49-27.
- [10] 刘刚, 张春艳. 我国生态农业发展模式初探[J]. 生态经济, 2011(10): 117-120.
- [11] 高定, 陈同斌, 刘斌, 等. 我国畜禽养殖业粪便污染风险与控制策略[J]. 地理研究, 2006(02): 311-319.
- [12] 陈德敏, 王文献. 循环农业——中国未来农业的发展模式[J]. 经济师, 2002(11): 8-9.
- [13] 郭铁民, 王永龙. 福建发展循环农业的战略规划思路与模式选择[J]. 福建论坛(人文社会科学版), 2004(11): 83-87.
- [14] 李金才, 张士功, 邱建军, 等. 我国生态农业模式分类研究[J]. 中国生态农业学报, 2008(05): 1275-1278.
- [15] 尹昌斌, 周颖. 发展循环农业, 拓展农业空间和功能[J]. 中国农业资源与区划, 2008(01): 70-75.
- [16] 高书凝, 胡丹, 苏春硕, 等. 发展种养结合生态农业模式的可行性分析[J]. 湖南畜牧兽医, 2021(06): 12-14.
- [17] 唐佳丽, 金书秦. 中国种养结合研究热点与前沿——基于1998年以来的文献分析[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(11): 24-31.
- [18] 沈梦涵, 张建国. 基于PEST模型的德清休闲农业发展战略研究[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(10): 99-106.
- [19] 熊春林, 周雅婷, 刘芬, 等. 发达国家智慧农业发展的PEST分析及启示[J]. 农业科技管理, 2021, 40(01): 5-9.
- [20] 王巍. 甘肃省低碳农业发展PEST分析[J]. 中国集体经济, 2014(36): 19-20.
- [21] 冻巧丽. 种植业结构调整在农业结构中的重要作用与途径[J]. 科技传播, 2012(04): 157.
- [22] 张东洋, 辛兴, 赵万博, 等. 我国畜牧经济发展现状分析[J]. 南方农业, 2016, 10(18): 126+128.
- [23] 张绪美, 王霞, 郭宗祥. 我国畜禽养殖业的发展趋势及制约因子初探[J]. 上海农业科技, 2013(06): 92-93.
- [24] 杨志坚. 种养结合型农业生产结构调整的实证分析[J]. 贵州农业科学, 2008(01): 147-148+153.
- [25] 彭艳霞. 畜禽养殖业的污染治理及清洁生产对策[J]. 畜牧与饲料科学, 2010, 31(05): 101-102.
- [26] 刘晓惠. 我国有机农业的发展潜力研究——基于波特的钻石模型[J]. 现代经济信息, 2018(18): 352-353.
- [27] 许晶. 现阶段我国农业补贴政策的实效性分析[J]. 农业经济, 2012(12): 53-54.
- [28] 王茜. 我国粮食生产直接补贴政策的现状、存在问题与改革方向[J]. 管理现代化, 2021, 41(06): 9-11.
- [29] 陈辰. 2018年农业补贴项目新变化[J]. 植物医生, 2018, 31(01): 10-12.
- [30] 张明生. 浙江发展生态农业的实践、问题与对策[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(07): 957-961.
- [31] 徐屹晖. 河南省循环农业发展现状及对策[J]. 乡村科技, 2020, 11(30): 56-58.
- [32] 夏凤鹏. 乡村振兴战略下对高素质农民队伍培养的措施探讨[J]. 现代化农业, 2022(04): 65-66.
- [33] 梁伟军, 胡世文. 农民理性视角下的农村生态文明建设研究——基于荆门市X镇农民的调查[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018(04): 117-127+171-172.
- [34] 王锡吾. 中国沼气技术发展及展望[J]. 农村能源, 2000(06): 17-20.
- [35] 史纪安, 杨改河, 郭永新, 等. 中国户用沼气技术转化制约因素分析及对策[J]. 中国农学通报, 2005(06): 433-436+469.
- [36] 李景明, 薛梅. 中国沼气产业发展的回顾与展望[J]. 可再生能源, 2010, 28(03): 1-5.
- [37] 徐慧, 韩智勇, 吴进, 等. 中德沼气工程发展过程比较分析[J]. 中国沼气, 2018, 36(04): 101-108.
- [38] 何琼, 杨敏丽. 基于国外循环农业理念对发展中国特色生态农业经济的启示[J]. 世界农业, 2017(02): 21

- 25 + 36.
- [39] 陈鹏,孙国兴.天津市循环农业发展模式分析与对策建议[J].农业科技管理,2009,28(03):54-56.
- [40] 姬永莲,吴丽岗.甘肃省发展生态循环农业的思考[J].发展,2009(07):54.
- [41] 李兆华,马清欣,涂建华,等.湖北省循环农业模式[J].中国生态农业学报,2008(06):1572-1575.
- [42] 郭德明,刘金爱,邹润东.关于农业循环经济模式及发展——以山东省为例[J].东岳论丛,2011,32(03):183-186.
- [43] 孔令聪,胡永年,王光宇,等.安徽省循环农业模式研究[J].中国农业资源与区划,2008(04):65-69.
- [44] 张棋,郑水明,叶雪珠,等.浙江省生态循环农业发展实践模式和对策[J].安徽农业科学,2011,39(08):4900-4901+4904.
- [45] 李军.大力发展生态循环农业 推动海南农业转型升级[J].今日海南,2016(04):8-15.
- [46] 张晓辛,姚萍,朱小静,等.江苏现代循环农业再探讨[J].绿色科技,2012(03):1-3.
- [47] 朱品文.河南省循环农业发展的实践模式及借鉴[J].中国农业资源与区划,2016,37(07):135-139.
- [48] 李富田.四川发展循环农业的模式选择及对策[J].农村经济,2007(05):98-100.
- [49] 韦秀丽,蒋滔,徐进,等.重庆市生态循环农业发展研究[J].湖北农业科学,2019,58(13):169-172+176.
- [50] 王萍,李瑶,夏文建,等.江西省循环农业发展现状及建议[J].现代农业科技,2017(02):258-261.
- [51] 颜旭飞,刘守贞.烟台市现代农业发展的资源优势及策略研究[J].安徽农业科学,2013,41(18):8016-8019.
- [52] 潘仕梅,任大鹏.烟台市农业生态环境保护与可持续发展对策[J].中国农业科技导报,2005(06):31-36.
- [53] 张总平,牛培培,王文祥,等.生猪养殖场排泄物资源化利用技术[J].中国猪业,2016,11(03):69-74.
- [54] 韩敏,刘克锋,王顺利,等.沼液的概念、成分和再利用途径及风险[J].农学学报,2014,4(10):54-57.
- [55] 李淑红,朱传宏,龙艳,等.以沼气为纽带发展循环农业的思考与建议——以湖南省常德市为例[J].湖北农业科学,2011,50(07):1509-1512.
- [56] 符艳辉.沼肥的潜在价值和应用现状以及发展趋势[J].农业与技术,2015,35(03):148-149.
- [57] 李金香.沼液沼渣在蔬菜施肥中应用[J].农业与技术,2018,38(18):40.
- [58] 于晓云,原志伟.烟台市畜禽养殖粪污及病死畜禽无害化处理现状[J].山东畜牧兽医,2016,37(10):41-43.
- [59] 衣瑞建,张万钦,周捷,等.基于LCA方法沼渣沼液生产利用过程的环境影响分析[J].可再生能源,2015,33(02):301-307.
- [60] 张建平.浅谈猪沼果循环农业生产模式[J].农业与技术,2016,36(12):28.
- [61] 王占伟,刘茂军,冯志新,等.种养结合养猪新模式的研究[J].江西农业学报,2013,25(03):93-95+106.
- [62] 李金才,邱建军,任天志,等.北方“四位一体”生态农业模式功能与效益分析研究[J].中国农业资源与区划,2009,30(03):46-50.
- [63] 张昌爱,刘英,曹曼,等.沼液的定价方法及其应用效果[J].生态学报,2011,31(06):1735-1741.
- [64] 胡振鹏,胡松涛.“猪—沼—果”生态农业模式[J].自然资源学报,2006(04):638-644.
- [65] 王立刚,屈锋,尹显智,等.南方“猪—沼—果”生态农业模式标准化建设与效益分析[J].中国生态农业学报,2008(05):1283-1286.
- [66] 郭强,牛冬杰,程海静,赵由才.沼渣的综合利用[J].中国资源综合利用,2005(12):11-15.
- [67] 王立刚,屈锋,尹显智,等.南方“猪—沼—果”生态农业模式标准化建设与效益分析[J].中国生态农业学报,2008(05):1283-1286.
- [68] 刑廷铤.畜牧业生产对生态环境的污染及其防治[J].云南环境科学,2001(01):39-43.
- [69] 孙彭力,王慧君.氮素化肥的环境污染[J].环境污染与防治,1995(01):38-41.
- [70] 李宝刚,谭超,何容信.化肥对环境的污染及其防治[J].现代农业科技,2009(04):193-194.
- [71] 高小朋,贺晓龙,任桂梅,等.化肥不合理施用带来的危害探析[J].农技服务,2011,28(09):1289-1290+1366.
- [72] 李文斌,胡涵,王昌梅,等.种养结合生态农业模式探析[J].现代农业科技,2019(13):189-190.
- [73] 欧艳萍.农牧配套种养结合型生态循环农业技术模式[J].农业与技术,2014,34(11):1-2.
- [74] 胡乐奇,孙树凯,张志范,等.“四位一体”种养生态模式研究与应用[C]//.全国立体农业与庭院经济学术讨论会文集,2004:119-121.
- [75] 李俊利.基于农户参与视角下的循环农业发展问题的研究——以山东省为例[J].新疆农垦经济,2008(06):36-39.
- [76] 魏秀芬,王宗晨.种养结合治理畜禽粪污的对策研究——以天津市为例[J].黑龙江畜牧兽医,2017(04):4-7.

- [77] 席建峰,高飞,房苏清,等.我国生态循环农业发展现状 & 对策研究[J].中国西部科技,2012,11(09):47-48+16.
- [78] 李绍亭,周霞,周玉玺.家庭农场经营效率及其差异分析——基于山东234个示范家庭农场的调查[J].中国农业资源与区划,2019,40(06):191-198.
- [79] 侯鹏程,俞平高,莫成伟.上海松江区种养结合家庭农场存在的问题 & 对策[J].浙江农业科学,2012(12):1723-1725.
- [80] 李红娜,吴华山,耿兵,等.我国畜禽养殖污染防治瓶颈问题 & 对策建议[J].环境工程技术学报,2020,10(02):167-172.
- [81] 楚云菲,李娜.生态循环农业的发展现状 & 问题探析[J].创新科技,2015(03):20-22.
- [82] 董红敏,左玲玲,魏莎,等.建立畜禽废弃物养分管理制度 促进种养结合绿色发展[J].中国科学院院刊,2019,34(02):180-189.
- [83] 亓鑫.我国生态循环农业发展模式探究[J].南方农业,2021,15(32):221-223.
- [84] 白清敏.南阳市沼气生态循环农业发展现状·存在问题 & 对策[J].安徽农业科学,2021,49(01):214-217.
- [85] 高旺盛,陈源泉,梁龙.论发展循环农业的基本原理 & 技术体系[J].农业现代化研究,2007(06):731-734.