

中国生态循环农业发展与研究展望

尹昌斌

中国农业科学院农业资源与农业区划研究所

引言

近年来,中国农业农村发展取得了伟大成就,但以“投入品—生产—产品—废弃物”的线性经济为主导的农业发展模式导致农业发展面临着资源短缺、能源紧张、生态破坏、环境退化等问题。生态循环农业是一种遵循循环经济理念的新生产方式,以资源的高效利用和循环利用为核心,以“减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、再循环(Recycle)”为原则,通过建立“农业资源—农业产品——农业废物再利用”的循环机制,不断延伸扩展农业产业链条,实现人口、资源、环境相互协调发展,达到农业生产的“两低一高”目标,即资源消耗低、废弃物排放低、物质能量利用高(尹昌斌等,2008;高旺盛等,2007)。发展生态循环农业是农业发展方式由外延式增长向内涵式发展转变的必然要求,也是解决农业资源短缺与环境退化的现实选择,已经成为许多国家积极探索农业可持续发展的重要发展模式,对生态循环农业的研究与实践是当前中国农业领域的热点。

国外对生态循环农业的发展早于中国,比如美国的精准农业(Bongiovanni et al., 2004)、英国的永久农业(Smith, 2006)、德国的绿色能源农业(Zanden, 1991)、以色列的节水农业(Fishelson, 1994)、日本的菱镇循环农业等(King, 1911),这些发达国家都建立起完整性的生态循环农业发展模式,并获得显著的生态效益和经济效益(何琼等,2017)。中国从20世纪90年代起,开始引进生态循环农业思想(张建,2009;刘金泉,1990),并对生态循环农业理论与实践模式进行广泛的研究(孙波等,2018;赵立欣等,2017;翁伯琦等,2017)。在理论上,先后提出了“3R”原则、“4R”原则(高旺盛,2010;Xuan et al., 2011;尹昌斌等,2013)。在实践中,总结出了庭院式循环经济模式(徐文辉等,2010)、南方的稻鸭、稻鱼(虾)共作模式(曹凑贵等,2017;胡亮亮等,2015)、北方的“四位一体”农业模式(王晓荣等,2009)、以沼气为纽带的“畜禽—沼气—种植”生态循环农业模式(段娜等,2015)、以有机肥加工为纽带的“畜禽—有机肥—种植”生态循环农业模式(吕娜等,2018)等,构建了以企业(农户)为核心的内部小循环、企业间链条中循环和区域内大循环。随着人们认识水平的提高,生态循环农业不仅是一种农业经济发展的新理念,在实践上更是一种发展模式或技术范式。因此,本研究重点梳理当前中国关于生态循环农业发展的相关政策措施,总结归纳当前可复制、可推广、可续持的生态循环农业典型区域技术模式,展望未来生态循环农业研究的重点领域与方向,以期为将来中国生态循环农业的发展乃至世界生态循环农业的发展提供参考和借鉴。

1. 现代农业与生态循环农业认知

1) 现代农业发展趋势——农业绿色生态化

农业绿色生态化是未来现代农业发展趋势,主要体现在四个方面上。一是生产效益型的

集约农业，即采用集约经营方式进行生产，通过发展农田基础设施建设，加大农田机械化高投入，推广应用农业新技术和优良品种，获得规模效应、经济效益；二是资源节约型的生态循环农业，即以节约、减排和农民增收为目的，通过农牧结合、种养循环等，实现废弃物多次循环利用，推进农业生产技术范式的改革和创新，形成“无废农业”的物质循环利用模式；三是环境友好型的生态农业，即利用传统农业精华，农业一、二、三产融合，通过工程措施、解决发展与环境资源的矛盾，获得较高经济、生态、社会效应，形成“无害农业”的生产新方式、新理念；四是产品安全型的绿色农业，即应用现代化设施和绿色生产技术，关注农业环境保护和农产品质量安全，严把质量监控环节，形成高效安全的“无毒农产品”供给模式。

2) 对生态循环农业的认识

生态循环农业是一种遵循循环经济理念的新生产方式，是一种资源节约与高效利用型的农业经济增长方式，是一种产业链延伸型的农业空间拓展路径，是一种环境友好型宜居乡村建设的新理念。生态循环农业同样遵循“3R”原则，即减量化（Reduce）、再利用（Reuse）、再循环（Recycle）。其中，“减量化”指农业资源节约投入，发展精准农业；“再利用”指农业物质多级利用，直到吃干榨尽；“再循环”指农业废水、营养物质的循环再利用。生态循环农业体现了绿色发展、循环发展与低碳的理念来发展现代农业，实施农业清洁生产，资源化利用农村废弃物，推进了农业资源的循环利用。生态循环农业本质特征是资源节约与产业链延伸，种植业、养殖业、加工业、农产品消费及生物质产业，通过物质循环、能量交换与价值增值，形成农业一、二、三产的联接和融合。

发展生态循环农业，优先是发展现代农业，即用现代工业装备农业、用现代科学技术改造农业、用现代管理方式管理农业、用现代科学文化知识提高农民素质的过程。同时，顺应日益增长的环境保护需求，建立高产优质高效农业生产体系，把农业建成具有显著效益、社会效益和生态效益的可持续发展农业，实现环境友好与生态安全。

2. 中国生态循环农业发展的政策措施与行动

近年来，国务院、农业农村部等相关部门都出台了与推进生态循环农业相关的政策措施。在2004年，循环经济首次被写进中国国民经济和社会发展规划报告中，并在2005年出台《关于加快发展循环经济的若干意见》（国发〔2005〕22号），提出“大力发展循环经济，建设资源节约型和环境友好型社会”。在2013年，国务院发布了《循环经济发展战略及近期行动计划》（国发〔2013〕5号），要求在农业领域加快推动资源利用节约化、生产过程清洁化、产业链接循环化、废物处理资源化，努力构建循环型农业体系。2016年发改委发布了《关于加快发展农业循环经济的指导意见》（发改环资〔2016〕203号），提出以提高农业资源利用效率和改善农村生态环境为目标，加快发展农业循环经济。此外，近十年来中央一号文件一直都关注生态循环农业。2006年，中央一号文件首次提出要大力开发节约资源和保护环境的农业技术，加快发展生态循环农业。随后在2007年至2016年的中央一号文件均强调鼓励发展生态循环农业。在2017年的中央一号文件中指出，要大力推广高效生态循环的种养结合模式，加快对畜禽粪便进行集中处理，积极推广有机肥替代化肥试点工作，推进农业清洁生产，促进农业节本增效。

同时，为了更好的配合政策措施，各部门也制定了相应的规划指导方案和行动指南。2015年农业农村部发布了《全国农业可持续发展规划（2015—2030年）》，要求到2020年基本实现

区域内农业资源循环利用,到2030年基本实现农业废弃物趋零排放。在2016年国务院发布了《全国农业现代化规划(2016-2020年)》,计划到2020年,全国粮经饲统筹、农林牧渔结合、种养加一体、一二三产业融合的现代农业产业体系基本构建,畜禽粪便、农作物秸秆、农膜资源化利用目标基本实现。2017年农业农村部印发了《种养结合循环农业示范工程建设规划(2017-2020)》,计划到2020年,建成300个种养结合生态循环农业发展示范县,基本实现作物秸秆、畜禽粪便的综合利用。近年来,国家发展改革委员会设立了一批生态循环农业示范项目与农业清洁生产项目。环保部门、财政部门也出台了“以奖促治”的方案,促进生态循环农业发展。2007年以来,科技部先后启动实施了“农田循环高效生产模式关键技术研究集成示范”和“生态循环农业科技工程”科技支撑项目。农业农村部在2007年提出“生态循环农业促进行动”,开展生态循环农业试点市工作,从2015年开始在全国100个县试点“粮改饲”,推进种养结合、农牧融合,从2015年开始实施农业综合开发区域生态循环农业项目,计划到2020年建成区域生态循环农业项目300个,2017开展畜禽粪污资源化利用行动、东北地区秸秆处理行动、果菜茶有机肥替代化肥行动、农膜回收行动、以长江为重点的水生生物保护行动等。

总体来看,中国这几年出台的政策规划多以指导性和引导性为主,缺乏强制执行力。农业农村部、发改委等部门有大量的生态循环农业项目,如生态循环农业示范、种养结合、农牧融合、有机肥无机肥替代、乡村环境治理、农膜回收利用项目等。在项目实施期间,能够发挥作用,但部分项目在结束后,可持续运行就存在问题。而有些项目通过科技驱动和工作机制保障了项目的可持续运行,总结这些可复制、可推广、可续持的生态循环农业典型区域技术模式,有利于将这些生态循环农业项目因地制宜地在全国范围内进行推广应用。

3. 中国生态循环农业典型区域技术模式

1) 西北旱作区模式—甘肃省金昌市金川区古城村

这一区域是我国典型的旱作区,气候干旱、降雨量稀少,农业水资源匮乏、白色污染严重已经成为制约该区域农业可持续发展的瓶颈问题。在甘肃省的大部分农作区年降水量在200—450毫米之间,亩均水资源量不到450立方米,不足全国亩均水量的1/4,过度超采地下水,造成下水位已经由80年代的10米降至现在的60米左右,水资源利用程度已远远超过自然承受力。近20年来,在甘肃金川区的地膜使用量在1.2万吨左右,累计约有3600吨地膜残留在农田中,平均每亩农田残留地膜17.1公斤,造成土壤板结,土壤通透性降低,种子发芽率下降,严重影响农作物产量及品质的提升。

古城村按照节水环保型生态循环农业模式的发展要求,重点开展农田节水及废旧农膜回收两个方面的工作,推进种养结合、种养加一体化发展策略,提高资源利用率,减轻环境污染,实现农业可持续发展。该模式核心是运用农田节水技术、地膜回收再利用技术、种养结合清洁生产技术。在循环模式中,形成生态林果区、设施农业示范区、高标准农田示范区、规模养殖区、收购加工区等五大功能区,将种植区的农作物秸秆加工成饲料,供应给规模养殖区,规模养殖区畜粪经沼气发酵无害化处理后,再为种植业提供有机肥料,种植区、养殖区生产的玉米、食葵、辣椒、肉制品等通过加工、储藏直接与销售市场对接,形成“种植—秸秆加工—养殖—有机肥加工—种植”的生态循环农业产业链。

古城村通过发展该模式,水资源利用率显著提高,地膜残留量明显减少,种养循环取得

显著效益。累计示范设施农业水肥一体化技术2400亩，共节水50万方，节水率36.4%；示范生态林果膜下滴灌技术12000亩，共节水300万方，节水率23.1%；示范大田农业微喷灌技术400亩，共节水3.2万方，节水率12.5%；示范大田农业全膜垄沟灌技术2.4万亩，累计节水240万立，节水率12.1%。完成低压管灌建设5000亩，累计节水40万立方米。共引进小型残膜回收机12台，大型残膜联合作业机1台，示范“一膜两用”技术100亩，废旧地膜的回收率提高到75%以上。通过“五位一体”沼气池的建设，养殖业节约饲料10%至15%之间，节水70%以上，节省化肥、农药85%以上。

2) 南方水网区模式—湖北省鄂州长港镇峒村

该区域是我国典型的水网区，地区水资源丰沛，长期以来形成的粗放农业生产方式，造成水体富营养化和面源污染严重，已成为制约南方地区经济社会可持续发展的重要瓶颈。2014年，湖北农业源COD排放量为44.8万吨，农业源氨氮排放量4.4万吨。全省播种面积亩均化肥用量26.8公斤，比全国亩均用量多4.9公斤。全省有机肥资源总养分约150万吨，而实际利用不足40%，其中，畜禽粪便养分还田率仅为50%左右。据估算，鄂州市常年各类农作物秸秆、残果尾菜产生量58万吨，直接还田约22.3万吨，占38.5%，随意丢弃量1.2万吨，占2.1%，鄂州市氮肥当季利用率仅为35%左右，磷肥当季利用率不到20%，与发达国家化肥60%的高利用率相差甚远。

峒山村按照“一控两减三基本”的要求，推广节地、节水、节肥、节药等资源节约型技术，发展以稻田综合种养、水循环养殖、生态沟渠等水资源循环利用型利用技术，推进绿色种养业结合，形成“资源—产品—废弃物—再生资源”的生态循环农业方式。该循环模式以水田稻作为基础，通过在水田中全年养殖克氏原螯虾（俗称小龙虾，下同），充分利用稻田光、热、水及生物资源，实现水稻与小龙虾互利共生，将水田生态系统的种植业与养殖业有机结合起来，在稻田有限的生态空间里生产出无公害、安全、优质的大米和虾产品，是一项种养结合、降本增效的生态农业技术，最大限度地提高稻田产出率，达到了虾稻同步增产、品质同步提升的目的，是我国南方稻作区提高水稻栽培产量和生态系统效益的一种重要种养循环技术模式。

该区域通过稻虾共作、水环境治理，取得了明显成效，减少化肥、农药使用，改善土壤和水体质量，实现农业增效、农村美化和农民增收。该循环模式结合绿色防控、秸秆还田等技术措施，能够大幅减少农药和化肥用量，可以使稻田化肥使用量下降30%以上，农药使用量下降70%以上。同时，小龙虾能够为稻田疏松土壤、清除杂草和害虫幼卵，其排泄物又可为水稻生长提供营养，稻田可为小龙虾提供充足的水，适量的食物以及活动、栖息的场所，从而有效地实现稻虾的互利共生，可使稻田平均亩产达624.7公斤、小龙虾亩产量达124.5公斤，亩产值5546.6元，亩纯收入2978.2元，相比单一种植水稻平均每亩纯收入提高2000元以上。

3) 西南生态脆弱区模式—贵州省贵阳市花溪区久安乡

这一区域是我国喀斯特地区，是典型的生态脆弱区，山高坡陡，耕地土层浅薄，水土流失及地质灾害频发、农业面源污染严重，已经成为制约该地区农业可持续发展的瓶颈问题。92.5%的土地面积为山地和丘陵，从空间分布来看，全省水土流失状况西北重、东南轻，从不同流域来看，境内长江流域水土流失仍然比珠江流域严重，2013年贵州省境内长江流域水土流失面积占流域面积的比例为31.2%，珠江流域分别为30.3%。2013年贵州省化肥施肥量99.5

万吨,比2005年增加28.6%,农药使用量为1.4万吨,比2008年增加5.2%,在一些中小规模的养殖场和集中连片养殖小区,由于载畜量过大,排泄物过多,未进行有效处理,部分畜禽粪便随意堆置或排放到附近水沟或田土,在雨水冲淋下,流入河流和湖泊,农业面源污染严重。

久安乡按照“一控、二减、二基本”的要求,注重水土保持,运用测土配方施肥技术、水肥一体化技术、地膜覆盖与回收技术、病虫害绿色防控技术、轮套作绿肥技术、坡耕地水土流失防控技术和种养结合沼气工程技术,实施节水节肥的管理措施,控制面源污染和农药残留。在循环模式上,利用规模化养殖场粪便进行沼气发酵,同时生产沼渣沼液,开发优质有机肥,用于生态茶园、果园、农田作物生产,同时在果树(茶树)株行距中间开阔地带种植粮食、经济植物、蔬菜、瓜类、药材、绿肥等作物,增加覆盖度,拦截水土流失,将作物秸秆进行青储、氨化和干堆发酵,开发秸秆饲料用于养殖,形成“畜禽—沼气—种植(粮食林果茶)”的复合生态循环模式,实现种植业由传统的粮食生产一元结构向粮食作物、经济作物、饲料饲草作物三元结构转变。

通过该区域模式,久安乡农业生态环境显著改善,农民收入得到提高。通过横坡等高种植模式种植果树(茶树),来减少水土流失。沼液、沼渣的使用降低化肥的施用,改善土壤质量,提升农产品品质。通过物理、生物、化学、农艺四种防治措施,降低果(茶)的农残各项指标,实现农产品质量安全,由于生态项目的顺利实施,2013年久安乡生态茶园生产的“绿宝石”茶出口德国,2014年出口美国进驻星巴克旗下Teavana茶吧,再到2015年拓展俄罗斯等海外市场。同时生态茶园邀请茶叶、生态、植保、环境等方面专家对茶农进行培训,提升农民的茶园清洁管理的技术水平,促进了茶农增收。

4) 黄土高原果园清洁型模式—山西省临汾市吉县东城乡

这一区域位于我国黄土高原,存在的突出环境问题主要为农业水资源缺乏、农业环境恶化生态功能退化,已经成为制约本地区农业可持续发展的瓶颈问题。西北黄土高原地区降雨量少,严重缺乏灌溉水,对苹果的品质和产量有直接影响。为了增加果树产量,过量增施化肥,但有机肥得不到及时足量的补充,导致部分果园呈现衰退趋势,农药和化肥的滥用、畜禽粪便随意排放、果木秸秆焚烧等导致土壤板结、河流和地下水污染、大气污染、资源利用率低等问题较为突出。

东城乡近几年来以户为单位,以果园为依托,构建由户用沼气池、生态养殖、果园生草、集雨水窖及果园滴灌设施组成的户用农村生态工程。形成以太阳能为动力,以新型高效沼气为纽带,种植养殖有机结合协调发展的良性循环生态果园系统。同时,实行黑膜保墒、行间生草、集雨水窖、高架微喷,达到节水保墒,改良土壤,解决干旱缺水的问题。以生态果园清洁生产和果树废弃物资源化利用为目标,构建“果树废弃物—生物质干馏—炭气液油转化—干馏产品农用”的生态农业模式。利用生物质干馏技术,将果树废弃枝条一次性转换为木醋液、木焦油两种天然的农用化学品替代物和生物炭、干馏气两种清洁可再生能源。木醋液、木焦油作为无公害纯生物制剂,具有促进果树生长、杀菌、驱虫、改良土壤的功效,可有效减少化肥和农药的施用量,以此形成林果业废弃生物质资源综合循环利用的现代农业清洁生产新模式。

通过该模式,有效提高了东城乡苹果一村一品专业村农民的科技应用水平,加快新技术的推广应用,提高科技对经济增长的贡献率,苹果产量普遍提高了10%以上。对全县果农起到了树立典型,建立样板和辐射带动作用,辐射带动全县30万亩苹果进行有机化、标准化生产,

有力地推动了全县苹果产业的发展。同时,利用了农村的畜禽粪便和生产生活垃圾,使其发酵,产生沼气、既减少农村能源的投资,又净化生态环境,改善农民生活条件,产生的沼渣、沼液,作为果树的有机肥来源,减少农药、化肥的施用,减轻对果实和土壤的污染,生态效益明显。

通过以上四个区域的生态循环农业模式介绍,可以说明要发展生态农业、循环农业,我们一定抓住问题导向,要解决区域性的突出环境问题,以科技为支撑,这样产业才有生命力,也才能解决产业发展和资源环境冲突的矛盾。未来生态循环农业应更多依靠科技进步,研发资源节约型农业生产新技术、新产品,推广利用节肥、节药、节水、节地、节能等节约型农业技术,不断提高资源利用效率和改善生态环境。

4. 中国生态循环农业研究展望

我国农业资源底数不清,尤其是耕地质量与农田污染、畜禽粪便污染、秸秆资源化利用、地膜白色污染等领域研究进展慢,农业环境有机污染防治刚刚起步,区域性农业面源污染防治缺乏有针对性的技术措施,农业资源环境保护技术研究亟待强化。同时,农业资源市场化配置机制尚未建立,激励机制不完善,种养业发展不协调,农业废弃物资源化程度低;农业生态补偿机制尚不健全,农业污染责任主体不明确,监管机制缺失,污染成本过低;全面反映经济社会价值的农业资源定价机制、利益补偿机制和奖惩机制的缺失和不健全,生态循环农业发展制度体系亟待健全。

1) 生态循环农业发展的技术研发

(1) 农业资源高效利用

首先,种养业节水节料技术需要提升。主要研发作物节水生理调控技术、新型集雨设施设备及高效利用技术、水肥一体化技术与关键设备、测墒灌溉技术及设备、分区域规模化高效节水灌溉及农业水管理决策技术等。其次,肥料减施增效技术需要完善。重点研发水溶肥、液体肥、生物肥、高效缓(控)释肥、同步营养肥等新型肥料,达到肥料减施增效的目标。最后,农业废弃物循环利用技术需要创新。研发有机肥、粪肥、沼肥高效利用技术与关键设备,提升放牧家畜营养改进、草原健康与人工草地建设、草原恢复生态与放牧利用技术,农牧区资源共济动植物高效生产技术等。

(2) 农业生态环境

首先,加强污染农田生态修复与安全生产技术研发。研发高效、低毒、低残留农药、生物农药和先进施药机械化技术。其次,提升面源污染控制技术,包括农作物秸秆高效资源化利用技术,废旧地膜机械化捡拾和回收利用以及可降解地膜技术,畜禽粪便与病死畜禽收集处理与利用的机械化、减量化、无害化、资源化处理技术。最后,要改善宜居乡村环境综合治理技术,包括农村环境综合整治和农田生态景观构建技术。

(3) 农作物耕作栽培管理

首先,要优化种植制度与结构模式。开展主要农作物优质高产品种配套栽培技术,农作物光、热、水、养分等资源优化配置与绿色高产高效种植模式,“间套作”与“轮作休耕”等养地型生态种植模式与技术、粮饲兼顾型种植模式与耕作技术。其次,完善作物可持续高产高效耕作栽培理论。农作物生长监测与精确栽培技术,主产区土壤培肥与耕作技术,农作物灾变过程及其减损增效调控技术,周年均衡增产技术,节本环保丰产技术等研究及相应产

品研制。最后,提升集约化、精准化、轻简化生产管理技术。加快适应机械化、信息化生产管理的高产、高效、可持续的作物耕作栽培技术体系构建。

(4) 畜禽水产养殖

首先,发展规模化健康养殖技术。研发畜禽与水产健康养殖模式、新型加工工艺及其成套养殖装备。其次,提升新型饲料与制备技术。研制高效安全环保饲料和饲料添加剂,完善饲料、兽药质量安全监管体系。最后,提升养殖智能化管理技术。开发高效局部环境精准调控、空气(水体)质量调控与污染物减排、场区环境净化、生理与环境信息智能采集、工程防疫、病死畜禽水产无害化处理、粪便资源化利用等关键技术的工程装备及其智能化产品。

2) 生态循环农业发展的制度创新

(1) 法律规程与标准规范建设

首先,要健全生态循环农业的法律体系。制订完善农药、肥料、饲料、兽药等农业投入品管理和废弃物处理的法律法规,增强其可操作性;完善中华人民共和国循环经济促进法、秸秆禁烧和综合利用管理办法、畜禽养殖污染防治管理办法等。推进生态循环农业技术标准、规程等建设。其次,要推进生态循环农业技术标准、规程等建设。加快制订种植业、畜禽养殖业、水产养殖业污染物排放控制标准,对现有的生态循环农业成熟技术进行标准化、规范化,扩大推广应用规模和范围。

(2) 补偿机制创新

一要建立终端产品补贴制度。加大对秸秆还田、高效低毒低残留农药、现代施药机械、绿色防控产品、增施有机肥和高标准农膜使用补贴力度;围绕资源保护、生态治理、可持续发展的目标,完善现行的补贴制度,实现终端产品补贴制度。改项目制为普惠制,过程管理为效果评价。二要建立政府推动、市场主导、多方参与的产业化发展机制。加大投入,完善财政调节手段,鼓励金融机构对农林循环经济重点项目和示范工程给予多元化信贷支持,拓宽抵押担保范围,创新融资方式,加大对农业污染第三方治理机构的扶持力度,引入PPP模式。

(3) 监管管理探索

其一,落实管护责任。建立农业循环经济工作责任制,明确任务分工,将生态循环农业基础设施管护责任落实到经营主体,督促和指导经营主体加强设施管护,为生态循环农业发展提供保障。其二,强化监督考核。建立农业循环经济评价指标体系和评价考核制度,对生态循环农业工作进行评价考核,评价考核结果与扶持政策相挂钩,要切实抓好生态循环农业的监督检查,将相关工作作为地方政府绩效考评的重要内容,并建立绩效考核和责任追究制度,推动农业循环经济规范化、标准化发展。

“绿水青山就是金山银山”这是我国生态循环农业发展的最终目标。然而对于经营者来说,如果把这个“绿山青山”变成自己的“金山银山”,即把环境效益变成经济效益则要从制度、机制和技术创新等方面加强探索。未来,生态循环农业的主要发展方向应是运用清洁化、绿色化理念推动农业产业链条的延伸,依靠新的农业技术革命、新的生态循环农业发展制度体系,解决当前现代农业发展进程中所面临的资源环境问题,推进农业的绿色生态化,致力使农业成为生产效益型的集约农业、资源节约型的生态循环农业、环境友好型的生态农业和食品安全型的绿色农业。

参考文献:

- 1 曹凑贵, 江洋, 汪金平, 袁鹏丽, 陈松文, 2017:《稻虾共作模式的“双刃性”及可持续发展策略》,《中国生态农业学报》,第09期,第1245-1253页。
- 2 段娜, 林聪, 刘晓东, 闻世常, 张晓军, 2015:《以沼气为纽带的生态村循环系统能值分析》,《农业工程学报》,第S1期,第261-268页。
- 3 高旺盛, 2010:《坚持走中国特色的循环农业科技创新之路》,《农业现代化研究》,第02期,第129-133页。
- 4 高旺盛, 陈源泉, 梁龙, 2007:《论发展循环农业的基本原理与技术体系》,《农业现代化研究》,第06期,第731-734页。
- 5 何琼, 杨敏丽, 2017:《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》,《世界农业》,第02期,第21-25页。
- 6 胡亮亮, 唐建军, 张剑, 任伟征, 郭梁, Matthias Halwart, 李可心, 朱泽闻, 钱银龙, 吴敏芳, 陈欣, 2015:《稻-鱼系统的发展与未来思考》,《中国生态农业学报》,第03期,第268-275页。
- 7 刘金泉, 1990:《保农促工 兴工富县 聚财建农——良性循环经济发展战略初探》,《国土与自然资源研究》,第01期,第17-19页。
- 8 吕娜, 朱立志, 2018:《生态循环农业的发展模式及利益联结研究——基于河南省漯河市案例分析》,《中国农业资源与区划》,第04期,第83-89页。
- 9 孙波, 梁音, 徐仁扣, 彭新华, 王兴祥, 周静, 李忠佩, 赵学强, 2018:《红壤退化与修复长期研究促进东南丘陵区生态循环农业发展》,《中国科学院院刊》,第07期,第746-757页。
- 10 王晓荣, 郭文娟, 张琪, 2009:《陕北农户“四位一体”生态农业循环经济模式实例分析》,《水土保持通报》,第03期,第37-39页。
- 11 翁伯琦, 王义祥, 王煌平, 罗涛, 廖剑华, 林代炎, 2017:《福建省农业废弃物多级循环模式优化与集成应用研究进展》,《中国农业科技导报》,第12期,第91-103页。
- 12 徐文辉, 赵维娅, 2010:《浙江新农村庭院经济发展模式和树种选择》,《江苏农业科学》,第01期,第388-390页。
- 13 尹昌斌, 周颖, 2008:《循环农业发展的基本理论及展望》,《中国生态农业学报》,第06期,第1552-1556页。
- 14 尹昌斌, 周颖, 刘利花, 2013:《我国循环农业发展理论与实践》,《中国生态农业学报》,第01期,第47-53页。
- 15 张建, 2009:《农业循环经济理论的探讨》,《贵州农业科学》,第02期,第141-144页。
- 16 赵立欣, 孟海波, 沈玉君, 丁京涛, 张曦, 2017:《中国北方平原地区种养循环农业现状调研与发展分析》,《农业工程学报》,第18期,第1-10页。
- 17 Bongiovanni R., Lowenberg-Deboer J., 2004, "Precision agriculture and sustainability.", *Precision Agriculture*, Vol. 5, No. 4, PP 359-387.
- 18 Fishelson G., 1994, "The allocation and marginal value product of water in Israeli agriculture.", In: Isaac J., Shuval H. eds. PP 427-440.

- 19 King, F. H. (1911). *Farmers of forty centuries; or, permanent agriculture in China, Korea and Japan*. Harcourt.
- 20 Smith, A. (2006). Green niches in sustainable development: the case of organic food in the United Kingdom. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 24(3), 439-458.
- 21 Xuan, L. I., Baotong, D. E. N. G., & Hua, Y. E. (2011). The research based on the 3-R principle of agro-circular economy model-the Erhai lake basin as an example. *Energy Procedia*, 5, 1399-1404.
- 22 Zanden, J. V. (1991). The first green revolution: the growth of production and productivity in European agriculture, 1870 - 1914. *The Economic History Review*, 44(2), 215-239.