

农业绿色发展理论框架和实现路径的思考

马文奇, 马林, 张建杰, 张福锁

引用本文:

马文奇, 马林, 张建杰, 等. 农业绿色发展理论框架和实现路径的思考[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(8): 1103–1112.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200238>

(向下翻页, 阅读全文)

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

中国农业绿色发展指标体系的构建与例证

Construction of a green development index system for agriculture in China and examples

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(8): 1113–1126 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200069>

农业绿色发展系统研究思路与定量方法

Systematic research and quantitative approach for assessing agricultural green development

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(8): 1127–1140 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200241>

中国农业绿色发展相关氮素指标的时空变化特征

Spatiotemporal variation of nitrogen indicators related to agricultural green development in China

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(8): 1141–1155 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200159>

乡村振兴视角下中国生态农业发展分析

Analysis of eco-agriculture construction based on rural revitalization in China

中国生态农业学报(中英文). 2019, 27(2): 163–168 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.181009>

中国奶业全产业链绿色发展指标的时空变化特征

Spatiotemporal characteristics of green development indicators in the whole dairy industry chain in China

中国生态农业学报(中英文). 2020, 28(8): 1181–1199 <https://doi.org/10.13930/j.cnki.cjea.200471>

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200238

马文奇, 马林, 张建杰, 张福锁. 农业绿色发展理论框架和实现路径的思考[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(8): 1103-1112

MA W Q, MA L, ZHANG J J, ZHANG F S. Theoretical framework and realization pathway of agricultural green development[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, 28(8): 1103-1112

农业绿色发展理论框架和实现路径的思考*

马文奇¹, 马林², 张建杰^{1,3}, 张福锁⁴

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院 保定 071001; 2. 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心 石家庄 050022; 3. 山西省农业大学资源环境学院 太原 030031; 4. 中国农业大学资源与环境学院 北京 100193)

摘要: 农业绿色发展作为一种全新的发展理念、技术模式和系统工程, 将成为我国未来农业的发展方向, 但仍有许多理论和科学问题亟待解决与回答。本文阐述了农业绿色发展理论框架与实现路径, 认为与国际农业可持续发展相比, 我国农业绿色发展更注重绿色和发展的协同, 强调以发展带动绿色、用绿色促进发展, 因此农业绿色发展面临更为艰巨的挑战。本文提出农业绿色发展科学的10大要素, 即着眼1个食物系统, 坚持绿色和发展2个主题, 牢固社会、经济和生态环境3大支柱, 聚焦资源、生产、消费、环境等之间4个界面, 协调好政府、农民、企业、经销商和消费者5个利益主体的关系, 遵循投入控制、循环增效、综合挖潜、减排环保、融合增值、优膳减压、机制保障和区域落地8项原则, 依据食物系统物质、能量、信息和价值等流动规律, 通过绿色政策、资本、服务、技术、产品、知识、工程7种调控措施的创新, 实施基于绿色阈值的生态环境管控机制、全产业链政策激励机制和技术落地、食物供应与需求结构优化与调控的“转绿、促发、协同”3条路径及9种途径, 实现与农业相关的社会、经济、生产力、生态、环境、资源等6类目标协同提升, 促进可持续发展目标(SDGs)的实现。建议国家强化农业绿色发展理论、技术和战略研究, 尽快实施“创建一套基础数据库、创制一批技术装备、搭建一组科技平台、打造一批示范工程和凝练一系列智库成果”等五个“一”的农业绿色发展科技工程, 助推国家农业绿色发展转型。

关键词: 农业绿色发展; 减排; 生态环境; 资源; 实现路径; 政策建议

中图分类号: S19; S158.5

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



Theoretical framework and realization pathway of agricultural green development*

MA Wenqi¹, MA Lin², ZHANG Jianjie^{1,3}, ZHANG Fusuo⁴

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Agricultural University, Baoding 071001, China; 2. Center for Agricultural Resources Research, Institute of Genetics and Developmental Biology, Chinese Academy of Sciences, Shijiazhuang 050022, China; 3. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 4. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Agricultural green development, as a novel concept, technical pattern and systematic procedure, is the new direction of China's agricultural development, but many theoretical and scientific questions about agricultural green development remain unsolved. In this study, we described the theoretical framework and the realization route of agricultural green development in China. Compared with sustainable agricultural development overseas, China's agricultural green development is considered to focus

* 中国工程院咨询研究项目(2019-XZ-25)资助

马文奇, 主要研究方向为养分资源管理。E-mail: mawq@hebau.edu.cn

收稿日期: 2020-03-31 接受日期: 2020-05-13

* This study was supported by the Consulting Research Project of Chinese Academy of Engineering (2019-XZ-25).

Corresponding author, MA Wenqi, E-mail: mawq@hebau.edu.cn

Received Mar. 31, 2020; accepted May 13, 2020

more on the synergy of “green” and “development”, and emphasis the characterized as “green” led by “development” and “development” promoted by “green”, which in turn poses difficult challenges for China’s agricultural green development. Ten key points of agricultural green development are proposed in this paper, namely: focusing on food systems; persisting in the two themes, i.e., green and development; reinforcing the three pillars, i.e., society, economy and ecological environment; focusing on the four interfaces, i.e., resources, production, consumption and environment; coordinating the relationships among five stakeholders, i.e., government, farmers, companies, retailers and consumers; following the eight principles, which are input control, resource cycling for improving efficiency, potential realization through integrated management, emission reduction, integration for value appreciation, diet optimization for environmental pressure alleviation, policy mechanism guarantee, and local implementation; respecting the rules of four processes, including materials, energy, information and value flows; innovating the regulatory measures in seven sections of green development, i.e., policy, capital, services, technology, products, knowledge and engineering; taking the three paths of transforming towards, which are the ecological environmental control mechanisms based on green development checkpoints, the implementation of the whole industrial chain green policy and technology, the optimization and regulation of food supply and demand; and realizing these paths through the nine approaches. Eventually, the coordination of the six agriculture-related goals in the social, economic, productivity, ecological, environmental, and resource sectors will be achieved. We propose to enhance key researches on agricultural green development theory, technology, and strategy. We also propose to implement the “five-one” agricultural green development technical engineering projects that promote China’s agricultural green development as early as possible, namely, “one basic database, one batch of technical equipment, one set of science and technology platforms, one batch of demonstration projects and one series of think tank achievements”.

Keywords: Agricultural green development; Emission reduction; Ecological environment; Resources; Realization pathways; Policy advice

过去几十年,随着“绿色革命”的兴起,农业生产得到极大提升,粮食大幅增产,为解决全球的粮食安全问题发挥了重要作用,但也带来了收入不平衡、环境污染、高产作物品质降低等一系列问题^[1]。同时,以食物生产和消费为主体的全球食物系统也成为引起气候变化、土地退化、淡水资源耗竭和生态系统退化的主要驱动因素^[2]。在联合国 2015 年提出的可持续发展议程中,农业和食物系统可持续发展成为核心,在 17 个可持续发展目标(SDGs)中占居 8 个^[3-4]。中国农业取得了巨大成就,不但以世界 9% 的耕地养活了 22% 的人口,为全球粮食安全做出了重要贡献,还实现了农村经济的快速发展^[5],但同样也产生了大气氮沉降增加、水体富营养化、土壤酸化等生态环境问题^[4-8]。与此同时,农产品安全问题也日益突出,表现为农产品品质不能满足营养健康需求^[9]和食物过度加工导致的营养成分流失^[10]。因此,迫切需要转变农业发展方式,在确保农产品产量的同时提高农产品品质,保证生态环境安全,实现农业由资源消耗型向资源高效型的转变^[11]。为此,党的十八届五中全会把绿色发展上升到五大发展理念之一,政府也陆续出台文件,将推进农业绿色发展作为农业工作重点和未来发展方向^[12]。目前,农业绿色发展和农业可持续发展已经成为我国与国际社会倡导的新理念和新模式^[3,11-12],但仍有很多需要解决的理论问题和实践难题^[13-14]。为此,本文

针对农业绿色发展的内涵、理论框架、实现路径和急需解决的科学技术问题等方面进行阐述,以期对农业绿色发展的实现提供科学依据。

1 农业绿色发展的背景与内涵

1.1 农业可持续发展的背景

早在 1981 年,美国学者 Brown 出版《建设一个可持续发展的社会》,提出以控制人口增长、保护资源和开发再生能源来实现可持续发展^[15]。1987 年,世界环境与发展委员会出版《我们共同的未来》,将可持续发展概念定义为“既满足当代人需要,又不危害后代所需资源的发展模式”。可持续发展主要包含 2 个关键点,一是要关注世界贫穷地区的生存必需,二是考虑在技术和环境限制下满足现代和未来的需要。之后可持续发展的概念被陆续应用到社会经济发展的各个领域,主旨是解决由于发展带来的资源环境问题^[16-17]。1992 年 6 月,联合国在里约热内卢召开的“环境与发展大会”,通过了以可持续发展为核心的《里约环境与发展宣言》《21 世纪议程》等文件。自此,可持续发展逐渐成为国际社会的共识,2015 年联合国把可持续发展作为未来重要的全球行动计划^[3,16]。

农业作为社会发展的基础,其可持续发展也成为关注热点。特别是进入 21 世纪以来,全球农业发展仍然面临着日益严重的粮食数量和质量安全问题^[2,18]、

土地、水和养分等资源日益紧缺^[19-20]、生态环境日趋恶化^[2,21]、农村人口脱贫困难^[3]等严峻挑战。为了应对这些挑战,可持续发展的概念在农业领域得到了广泛重视^[22],出现了“可持续农业”“可持续集约化农业”等不同概念和理论^[23-24]。近年来,农业除了生产食物之外,又被赋予更多的使命和功能,逐渐影响到整个食物系统,被认为是实现可持续发展目标的关键环节^[25-27]。因此,从优化食物系统的角度出发,进而实现农业可持续发展成为了国际社会共识,也是亟待解决的重大科学命题。

1.2 农业绿色发展及其与农业可持续发展的异同

为了应对日益严峻的资源环境问题,国际上相继出现了“低碳经济”“循环经济”“可持续发展”等不同的社会经济发展模式^[28]。与此同时,也有人提出了绿色发展的概念,其重点强调 2 点:一是经济发展中要关注减少温室气体排放和保护资源环境;二是将绿色新兴工业作为新的经济增长点和清洁经济增长的引擎,最终实现经济增长繁荣的目标^[17,28]。作为一种新的模式,绿色发展核心是转变传统的“黑色”发展模式,聚焦在发展经济的同时保护生态环境,期望通过技术进步和制度创新实现经济发展和环境保护的协同^[17,28],特别适用于发展中国家。因此,我国也比较早地提出了绿色发展理念^[28],并逐渐应用于社会经济各领域,在 2015 年就提出农业要优先实现绿色发展^[12-13,29]。

利用 DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)理论,比较我国农业绿色发展和国际上农业可持续发展的异同发现,两者之间存在很多的相同点,例如两者

都强调以改善民生为基本方向的科学发展,同时也强调农业经济和社会发展不能以牺牲资源和生态环境为代价。但是,两者也存在不同:1)在针对资源、生态环境等自然约束条件时,可持续发展更强调被动适应,而绿色发展则强调通过科技创新去主动解决;2)在为后代预留发展条件方面,可持续发展强调可以通过放慢当代发展步伐以免牺牲后代的资源环境,而绿色发展则强调通过建立绿色发展的技术和模式,产生更多的生态资产,为后代发展奠定绿色基础;3)从全球化角度考虑,在农业可持续发展模式下,发达国家为了区域生态环境系统迅速好转,农业发展变缓,食物需求更依赖进口,但是也可能造成污染转移。而在农业绿色发展模式下,区域农业稳步发展,食物需求以区域自给为主,生态环境逐步改善,追求全球共同实现绿色发展。简言之,两者的不同主要体现在绿色和发展能否协调实现的理念上,农业绿色发展更强调不能因为保护资源环境而牺牲发展,更不是短期污染转移的权宜之计,需要绿色技术与模式促进发展,通过发展进一步带动绿色,最终实现绿色和发展的同步提升和全球共赢(表 1)。

1.3 农业绿色发展内涵的再认识

自我国提出农业绿色发展的理念以来,国家先后出台了多项重要文件和行动纲要^[29-34],为农业绿色发展的实现提供了重要的顶层设计和规划,为农业绿色发展的落地指明了方向。但是,就农业绿色发展的科学内涵而言,目前还没有形成共识。多数学者从不同角度对其进行阐述,较为一致地认为农

表 1 基于 DPSIR(驱动力-压力-状态-影响-响应)的农业绿色发展与农业可持续发展的比较
Table 1 Comparison of agricultural green development and agricultural sustainable development based on DPSIR (driving force-pressure-state-impact-response)

项目 Item	农业绿色发展 Agriculture green development	农业可持续发展 Agriculture sustainable development
驱动力 Driving force	以改善民生为基本方向的科学发展,同时强调农业经济和社会的发展不能以牺牲资源和生态环境为代价 Scientific development oriented by the improvement of peoples' wellbeing with the emphasis on the development of agro-economy and society being not at the cost of resources and ecological environment	
压力 Pressure	通过科技创新主动解决资源、生态环境等瓶颈问题 Proactively solve resources and ecological environment related bottle-neck problems through scientific and technological innovation	被动适应资源、生态环境等自然约束 Passively adapt to natural constraints of resources and ecological environment
状态 State	建立绿色的技术和模式,产生更多的生态资产,为后代奠定基础 Establish green technology and patterns, generate more biological assets and build foundation for later generations	放慢当代发展步伐以免牺牲后代的资源环境 Slow down contemporary development in avoidance of sacrificing later generations' resources and ecological environment
影响 Impact	区域生态环境系统逐步改善,全球共同实现绿色发展 Gradual improvement of regional ecological environment systems and global realization of green development	区域生态环境系统迅速好转,可能造成污染转移 Rapid improvement of regional ecological environment systems and possible pollution transfer
响应 Response	区域农业稳步发展,食物需求以区域自给为主 Steady development of regional agriculture and regional self-supply to meet food requirements	区域农业发展变缓,食物需求更依赖于贸易 Decelerated development of regional agriculture and larger dependence on global import to meet food requirements

业绿色发展既是一种理念和发展观的革命^[12,35-37],也是一种综合多种目标的切实可行的农业发展模式。因此,农业绿色发展不但要转变发展方式,更要转变思想观念,牢固树立农业发展与生态环境协调的发展观,还要转变价值导向,要由单一追求生产和经济发展转向农业经济与生态环境协调发展转变;要强调在发挥农业生产功能的同时,兼顾多功能农业的发展。因此,农业绿色发展应该包括以下 10 个要素(图 1):

1)着眼 1 个系统:农业绿色发展关注的对象不仅局限于农业生产系统,而且涉及到整个农业和食物系统,包括资源供应、生产(植物生产、动物生产、食品加工和供应等)、消费及其相关的生态环境等亚系统。农业绿色发展不仅仅要关注农业的生产与资源环境代价的问题,还应该关注社会发展、经济增长和人体健康。从消费端进行引导、合理改善饮食结构是降低资源环境代价的更为有效的途径^[2,38],因此农业绿色发展的研究对象应着眼于“生产-加工-消费”整个食物系统。

2)坚持 2 个主题:农业绿色发展要坚持绿色和发展这两个主题,以绿色促进发展,以发展保障绿色是农业绿色发展的基本要素。

3)牢固 3 大支柱:农业绿色发展不能局限于农业本身,更要强调农业发展在社会经济、资源和生产、生态环境方面的支柱作用。

4)聚焦 4 个界面:农业绿色发展不能只停留在理念层面,要落实到行动,其中非常重要的一环是解决好农业和食物系统中各个亚系统之间的关系,也就是资源、生产、消费、环境等之间界面的活动,重点应聚焦资源与动植物生产、动植物生产与加工、动植物生产/加工与消费、整个生产消费与环境之间 4 个界面。

5)协调 5 个利益主体:农业绿色发展不只是农业生产者的问题,也是全社会多个利益主体的责任。因此,必须解决好包括政府、农民、企业、经销商和消费者 5 个利益主体的关系。只有全社会动员起来,才可能将农业绿色发展落到实处。

6)实现 6 类目标:随着农业的发展,农业的功能逐渐多样化,已经由单纯的食物生产扩展到人类生存和福祉的各个方面,包括脱贫、人类健康等可持续发展目标。因此,农业绿色发展的目标必须包含社会、经济、生产力、生态、环境、资源等 6 个方面,每一类指标中,不仅要考虑农业和食物系统的直接目标,还要与可持续发展目标(SDGs)^[3]紧密相

连,如社会发展目标既要考虑食物数量和质量安全,更要把人类营养健康放到重要地位^[13]。

7)采用 7 种调控措施:农业绿色发展的实现,不能依赖于某一种措施,而是需要政策、资本、服务、技术、产品、知识、工程等 7 种措施的综合运用。

8)遵循 8 项基本原则(见 2.1)。

9)实施 3 条路径和 9 种途径(见 2.2)。

10)调控 10 个过程:农业绿色发展的实现离不开农业和食物系统各个组分之间物质、信息、价值、能量等的流动,因此,把握这些过程的流动规律及其调控途径是实现农业绿色发展的基础。这些过程包括:作物生产与资源的交换;畜牧生产的资源输入和粪尿的资源化利用;作物产品直接用作饲料;作物产品与食物和饲料加工的交换;动物产品与加工的交换;作物生产与家庭消费的交换;食品加工与家庭消费的交换;动物生产与家庭消费的交换;农产品加工和食物损失浪费;食物系统环境排放。

总之,农业绿色发展是以食物系统为对象,以绿色和发展为主题,围绕社会经济、资源与生产、生态环境 3 大支柱,依据农业和食物系统物质、信息、价值和能量流动规律,通过绿色政策、资本、服务、技术、产品、知识、工程等创新和实施,实现农业相关的社会、经济、生产力、生态、环境、资源等目标协同提升的一种农业发展新模式。

2 农业绿色发展的基本原则与实现路径

2.1 农业绿色发展的基本原则

如上所述,农业绿色发展既是一种理念和发展观的革命,也是一种综合多种目标的切实可行的农业发展模式。农业绿色发展的实现,不仅需要动植物生产环节中抓好绿色生产技术,还需要从整个食物系统出发,进行区域系统设计和全产业链融合,以绿色增值促进绿色发展。同时,还要进行供给侧的创新,推动多样化食物供给;并且重视食物需求端的引导,促进健康膳食并减少食物浪费。因此,农业绿色发展要遵循下列 8 个基本原则(图 2)。

1)投入控制。资源投入不但关系到食物系统植物产品、动物产品和食物等必需品的产出数量,也关系到氮、磷、农药的环境排放及其生态环境效应,还关系到资源的可持续利用。所以,控制养分、农药、地膜、饲料添加剂等投入数量是实现农业绿色发展的重要原则。投入过量和不足都不能实现高产、优质、资源高效和环境友好的协调。因此,控制食

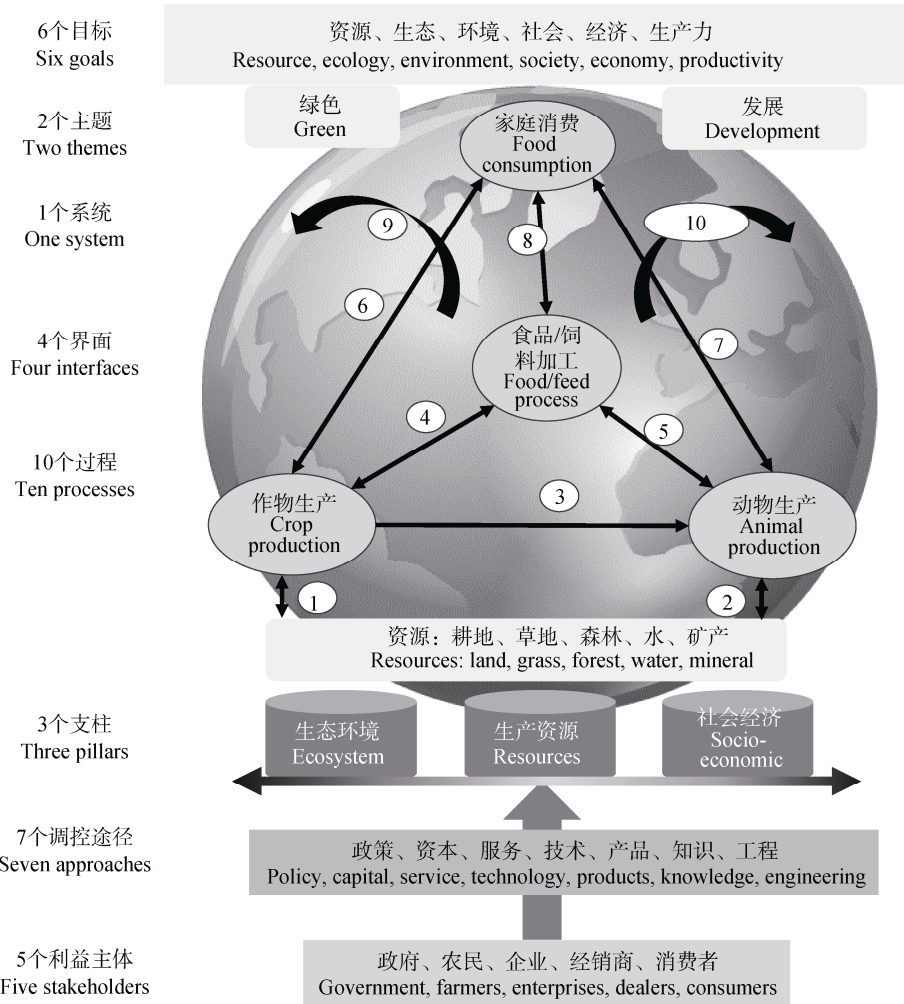


图 1 农业绿色发展的内涵示意图

Fig. 1 Schematic diagram of agriculture green development

4个界面为资源与生产之间、生产与消费之间、生产环节之间、生产消费与环境之间的界面；~指10个调控过程，分别为作物生产与资源的交换、②畜牧生产的资源输入和粪尿的资源化利用、③作物产品直接用作饲料、④作物产品与食物和饲料加工之间的交换、⑤动物产品与加工之间的交换、⑥作物生产与家庭消费之间的交换、⑦食品加工与家庭消费之间的交换、⑧动物生产与家庭消费之间的交换、⑨农产品加工和食物损失浪费和⑩食物系统环境排放。Four interfaces are the interface between resource input and production, the interface between production and consumption, the interface between different production links, the interface between consumption and environment. ~ represent ten regulation processes, respectively, which are resource input and crop production, feed input, livestock production and manure utilization, crop product as feed, crop product to food or feed, livestock product process, crop production and human consumption, food process and human consumption, livestock production and human consumption, product process, food loss and food waste, environmental emission from food system.

物系统中各种资源的投入数量是实现农业绿色发展的重要保障。

2)循环增效。在控制资源投入的情况下，提高资源循环效率是进一步增加产品产量、减少氮磷等资源环境排放、提高资源利用效率的重要途径，所以，循环增效应作为农业绿色发展的基本原则。随着我国农业集约化发展和城镇化水平提高，氮、磷等养分循环利用效率大幅度下降，不但增加了对外部资源投入的依赖，还造成严重的生态环境问题。因此，加强秸秆、动物粪尿等废弃资源在食物系统内的循环利用，对促进农业绿色发展的实现具有重要作用。

3)综合挖潜。在控制投入、加强循环、限制排

放等多种约束下，如何进一步提高产品产量和质量是满足食物安全的重要挑战。通过系统综合管理，挖掘系统自身潜力，能够同时实现高产高效和环保的协调^[39]。因此，综合挖潜是实现农业绿色发展的重要原则之一。

4)融合增值。农业绿色发展提倡绿色与发展的协调，其中发展与经济密切相关，受市场影响大；而绿色生态环境属于公共资源范畴，常常市场失灵，需要政策调控和良好的市场机制设计。而食物系统涉及动植物生产、加工、销售和消费多个环节和多个利益主体，目前在资源环境问题上往往生产端贡献较大，而在经济利益分配上后端加工和销售主导

性强。因此，做好全产业链融合设计，需要建立全链条资源环境保护和利益分配的市场驱动和政策调控机制。这种良性机制也是农业绿色发展中实现发展带动绿色、绿色促进发展的重要保障。所以，融合增值是农业绿色发展需要采取的基本原则。

5)减排环保。食物生产和消费过程中，由于不合理的资源投入和粗放管理，对大气、水体和土壤等造成了严重的污染问题。因此，控制并减少污染物排放、保护生态环境是农业绿色发展必须遵循的原则。

6)优膳减压。食物需求是食物系统运行的重要驱动力，其微小变化会对生产端产生巨大影响。研究表明，膳食结构的调整对食物系统的资源环境效应存在显著影响，不同食物具有不同的资源环境代价^[2,38]。因此，优化膳食结构，减少高资源环境代价食物的食用，将大幅度降低农业面临的食物安全和资源环境压力，由此可见，优膳减压是农业绿色发展不容忽视的原则。

7)机制保障。农业绿色发展一方面要发挥农业在食品安全、人体健康和经济发展中的作用，另一方面还要保证资源高效、环境友好、生态文明等的实现。因此，仅靠传统农业现有的政策措施是不完备的，需要创新政策、组织、市场、推广等机制，来保障农业绿色发展的实现。

8)区域落地。农业绿色发展是要整个食物系统实现多目标协调，因而需要在区域真正落地。因为食物系统包括动植物生产、加工、销售和消费等多个环节和多个产业，需要在适宜的空间尺度内来全面落实。县域是国家行政调控的基本单元，具有地域特色和完备的政治经济功能，在国民经济发展中极具代表性，因此，县域是农业绿色发展落地的最佳单元。

2.2 区域农业绿色发展的实现路径

农业绿色发展虽然包含多个目标和利益主体，并且涉及食物系统多个环节，但实质上是要实现“绿色”和“发展”两个主题的协调。因此，调控“绿色”和“发展”两者之间关系是农业发展的关键，需要建立在对两者关系深入理解的基础上。研究表明，“经济”和“环境”之间关系符合环境库兹涅茨曲线(Environmental Kuznets Curve, EKC)，即随着经济收入增加，环境状况先是恶化，但当经济发展达到一定程度后，环境问题达到顶峰，发生转折，之后则随着经济收入增加，环境会越来越越好^[40]。产生这种状况的原因是在经济发展早期，人们可以接受经济增长带来的环境污染，但当经济发展到一定程度，人们生活水平提高到一定高度，人们更加关注环境问题，会出台一些环境保护政策、法规、体制等促进环境转好^[41]。这种转型可以看作是经济发展的阶段性，其转型动力要依赖于环境保护技术的进步和通过政策法规带来的环境保护行为的转变^[40]。这种现象也在农业领域如氮素利用和化学品投入方面得到证实^[42-43]。由此，农业绿色发展中“绿色”和“发展”的关系也应该符合这个趋势(图 3)，而我国农业尚处于第一阶段，需要尽快达到转折点，进而走向两者之间的协同。据此，农业绿色发展的实现途径需围绕这个曲线的转折来设计。根据此思路，我们提出“转绿、促发和协同”3 条路径及其 9 种措施。基本思路是：设置绿色阈值，遏制资源与生态环境的恶化，实现转绿；在保持资源与生态环境绿色的同时，通过绿色政策和技术创新，促进发展；通过优化食物供需结构，在推动健康饮食的同时，减少食物浪费和损失，降低对农业和食物生产的压力，进而实现绿色和发展的协同增长。

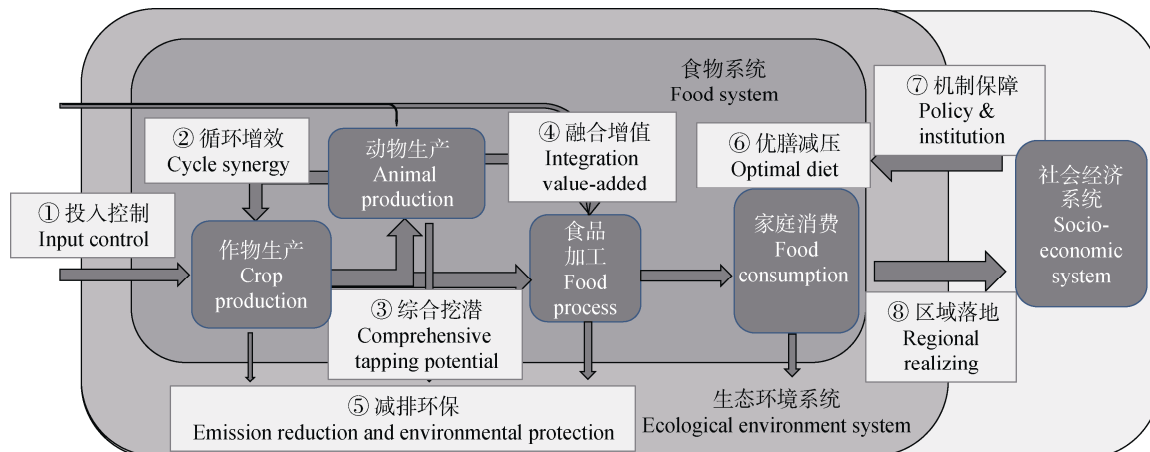


图 2 农业绿色发展遵循的 8 项基本原则
Fig. 2 Eight basic principles for agriculture green development

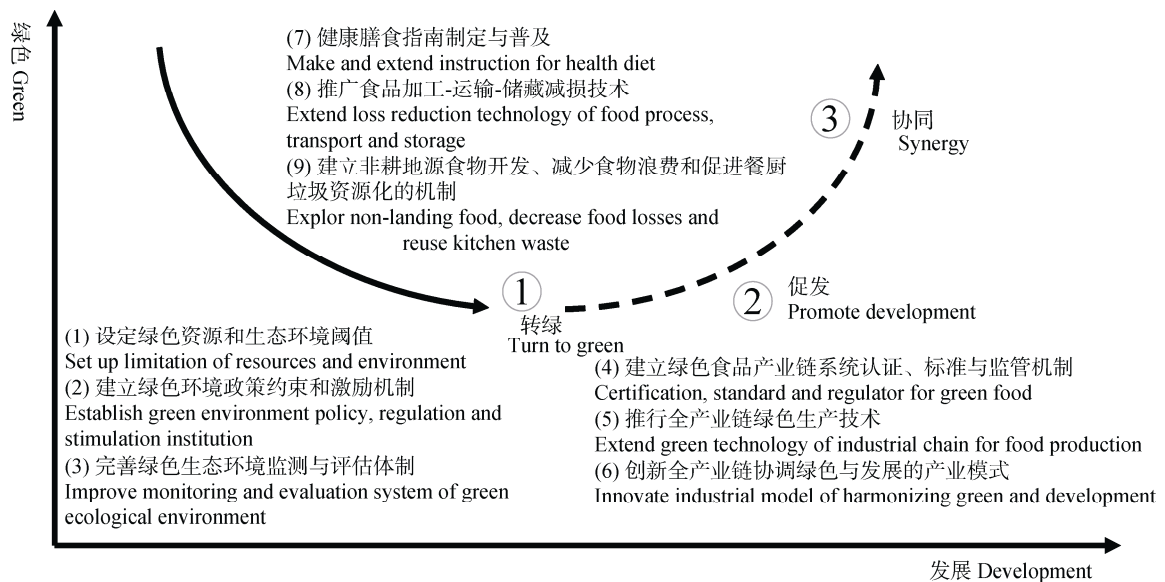


图 3 农业绿色发展的实现路径

Fig. 3 Pathways of agriculture green development

2.2.1 设置绿色阈值, 构建绿色生态环境优化和资源高效利用的新机制, 实现转绿

近年来, 随着我国农业发展, 所带来的资源环境代价一直处于比较高的水平^[4-8]。因此, 设置绿色阈值, 推行绿色技术和政策, 遏制资源、环境、生态指标的进一步恶化就成为农业绿色发展第一要务, 重点应采取下列 3 种途径。

1) 设定绿色资源和生态环境阈值。根据各个区域资源和生态环境现状, 以星球界限理论、全国资源与生态环境的发展目标等为依据, 设定区域农业绿色发展的资源环境目标值和调控阈值, 并以此为卡口, 进行区域农业和食物系统结构的优化设计, 进而推进本区域农业向绿色方向发展。

2) 建立绿色环境政策约束和激励机制。国内外研究表明, 资源和环境的改善离不开政策的约束和激励^[2,41]。因此, 围绕农业绿色发展的资源和生态环境阈值的管控, 需要建立完善的绿色环境政策约束和激励机制。

3) 完善绿色生态环境监测与评估体制。绿色资源和生态环境阈值的设定和管控, 都离不开相关指标的监测和评估。因此, 建立完善的绿色生态环境监测与评估体制, 并且与奖惩措施挂钩, 是农业绿色发展实现的重要保障。

2.2.2 通过全产业链融合与全区域绿色技术和政策的落地, 在保绿的同时促进发展

在遏制资源与环境恶化的同时, 进一步推动农业经济发展是农业绿色发展的重要目标。然而, 目前农产品生产与加工、消费各个环节结合不紧密,

绿色和发展中的利益分配不合理, 制约了绿色生产技术的应用。研究表明, 在小麦生产、加工和消费链条中, 资源环境代价则主要发生在生产端^[44], 而主要经济收入被销售端获得, 生产端获利很少, 也就失去采用绿色生产技术的动力。因此, 通过农产品的全产业链融合, 创新全产业链协调绿色与发展的模式, 以绿色产品消费倒逼绿色生产, 以发展带动绿色, 以绿色促进发展。重点应采取下列 3 种途径。

4) 建立绿色食品全产业链系统认证、标准与监管机制。发展绿色食品是推动农业绿色发展的重要措施, 应加强绿色食品全产业链系统认证、标准与监管机制, 以保证绿色食品产业的健康发展。

5) 推行全产业链绿色生产技术。通过全产业链实施绿色生产技术, 在降低资源环境影响的同时, 促进绿色优质高产高效生产。

6) 实现全产业链协调绿色与发展的模式创新。长期以来, 在高经济价值农产品生产过程中, 往往为了追求高产而大量投入农业生产资料, 付出巨大的资源环境代价^[45]。因此, 要协调绿色和发展的关系, 就必须解决经济与环境的矛盾, 非常有必要进行全产业链协调绿色与发展的模式创新。

2.2.3 优化与调控食物供应与需求结构, 实现绿色和发展的协同增长

人口增长和食物结构变化一直是农业和食物系统产生资源环境问题的主要驱动力, 也是影响农业绿色发展的重要因素。因此, 优化食物供需结构, 减少食物损失和浪费, 降低对农业和土地的压力, 是促进发展和绿色协调的重要途径。

7)健康膳食指南制定与普及。饮食结构的改善被认为是应对全球人口增长并缓解食物系统资源环境代价的重要举措^[38]。因此,优化膳食结构并通过膳食指南等进行健康饮食教育和科普,是降低食物需求压力、促进农业绿色发展的有效措施。

8)推广食品加工-运输-储藏减损技术。目前,农产品加工-运输-储藏过程中损失巨大,已经成为农业绿色发展的重要限制因素,因此,创新农产品加工-运输-储藏减损技术和循环利用副产物也是农业绿色发展的重要途径。

9)建立非耕地源食物开发、减少食物浪费和促进餐厨垃圾资源化的机制。通过非耕地源食物开发,增加食物供应多样性,可以减少对耕地资源和农业生产的压力,进而减少资源环境代价。食物浪费一方面增加了食物需求,另一方面产生了严重的资源环境影响。据估计,每年浪费的食物比例高达 30%以上,相当于 3~5 亿 hm^2 耕地产量。随着食物的精细化,大量餐厨垃圾得不到处理和利用,造成资源浪费和环境问题^[46]。因此,建立非耕地源食物开发、减少食物浪费和促进餐厨垃圾无害化及资源化利用的激励政策是推动农业绿色发展的必要手段。

3 农业绿色发展的研究重点与政策建议

在我国大力倡导绿色发展的大背景下,紧紧围绕新时代居民营养健康和优美生态环境需求,来满足人民对美好生活的向往,推进我国农业绿色发展的科学研究,发挥科技支撑作用,不仅是农业科学理论研究的升华、绿色技术的飞跃和产业模式的创新,更是国家发展战略的革命。

3.1 研究重点

3.1.1 农业绿色发展的理论、思路和系统研究方法

农业绿色发展是在国际农业可持续发展潮流基础上提出的,具有中国等发展中国家的特色,需要理论的拓展和定量表征方法的突破。因此,重点应针对我国典型农业生态区域资源环境特征,在“自上而下”设计和“自下而上”落实的农业绿色理念指导下,从农户、流域、区域、国家和全球多尺度下建立系统研究方法理论^[47],理解食物系统各环节之间的互馈关系,开展农业绿色发展理论研究并重点揭示食物系统调控机制;同时,构建农业绿色发展指标体系,定量表征农业绿色发展,定量分析农业绿色发展的目标、指标、解决途径和系统评价^[48],阐明各种优化措施对全产业链的影响,为推动农业绿色发展实现路径提供依据。

3.1.2 农业绿色发展的产品研发和技术创新与应用

以协同实现农业绿色发展的 6 类目标为核心任务,围绕投入控制、循环增效、综合增值和减排环保等原则,针对“两减三基本”(化肥减施、农药减量,畜禽粪便、农膜和农作物秸秆得到基本的资源化利用和无害化处理)、绿色投入品创制(肥料、生物降解膜、杀虫剂、除草剂等)、产地环境修复治理等关键环节,研发核心关键技术和产品,并促进其产业化落地。基于上述研发的技术,探索农业绿色发展的关键技术标准化、产品化、机械化、信息化、集成化等技术应用模式,发展更高效的技术扩散工具、方法和组织模式,破解技术推动的信息渠道限制、信任限制、服务力量不足限制等难题。

3.1.3 农业绿色发展全产业链解决方案和县域落地模式

采用全产业链设计新理念,创新农业绿色发展技术与产品,构建全产业链解决方案,突破种植业系统、种养结合系统、食品加工系统、绿色环境治理中存在的制约我国农业绿色发展的科技瓶颈,打造农业绿色发展全产业链技术与绿色发展模式,并带动我国绿色农业政策的发展,为我国农业供给侧结构性改革与农业政策调整提供科技支撑。

县域是国家行政管理的基本单元,也是农业绿色发展研究和技术应用的基本单位,探索县域农业绿色发展的实现路径,对于推进农业绿色发展战略意义重大。重点应结合农业绿色发展指标体系,协同国家农业绿色发展的总体目标,分析县域农业绿色发展关键指标,定量设计农业绿色发展系统解决方案,阐明县域农业绿色发展的瓶颈问题与限制因素,探明县域农业绿色发展政策创新、制度创新和科技创新的路径,以绿色环境与资源为卡口提出县域农业绿色发展全产业链的系统解决方案。

3.2 政策建议

目前农业绿色发展已经成为我国国家发展战略,也开展了一系列实际行动^[12-14],但仍然缺乏系统的科技支撑。建议国家设立农业绿色发展理论、技术和战略重点研发专项,从理论、技术和县域示范模式开展系列研究,重点开展“五个一”工程的建设:

1)建立一套基础数据库:建立农业绿色发展区划、农业生态区与特色农产品区划、资源、生态、环境指标等系列基础数据库,支撑区域农业绿色发展的监测和评估;

2)创制一批技术装备:创新农业农村水土大气环境污染监测、生态环境友好的农业新技术与设备、

绿色农产品加工技术与模式, 突破农业绿色发展关键技术和“卡脖子”难题;

3) 搭建一组科技平台: 开展绿色种植业、绿色种养一体化、绿色产品与食品、绿色环境系统创新科技平台建设, 支撑农业绿色发展多学科交叉的科技创新和人才培养;

4) 打造一批示范工程: 实施主粮绿色集约化区、小杂粮高值特色区、果蔬绿色提质区、牧区生态草牧业带、农区种养一体化带、边际土地生态养殖带等重点区域农业绿色发展科技示范工程, 带动农业绿色发展的区域落地;

5) 凝练一系列智库成果: 开展“农业绿色发展 2030 目标和 2050 愿景”发展路线图、面源污染阻控与修复技术与模式展望、“绿水青山”实现途径、土地优化开发及区域可持续发展方案等战略研究, 推动农业绿色发展政策和机制创新。

参考文献 References

- [1] PINGALI P L. Green revolution: Impacts, limits, and the path ahead[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(31): 12302–12308
- [2] SPRINGMANN M, CLARK M, MASON-D'CROZ D, et al. Options for keeping the food system within environmental limits[J]. Nature, 2018, 562(7728): 519–525
- [3] TOLLEFSON J. UN sets out next development goals[J]. Nature, 2015, 525(7570): 434–435
- [4] MA L, BAI Z H, MA W Q, et al. Exploring future food provision scenarios for China[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 53(3): 1385–1393
- [5] FAN M S, SHEN J B, YUAN L X, et al. Improving crop productivity and resource use efficiency to ensure food security and environmental quality in China[J]. Journal of Experimental Botany, 2012, 63(1): 13–24
- [6] LIU X J, ZHANG Y, HAN W X, et al. Enhanced nitrogen deposition over China[J]. Nature, 2013, 494(7438): 459–462
- [7] CONLEY D J, PAERL H W, HOWARTH R W, et al. Controlling eutrophication: Nitrogen and phosphorus[J]. Science, 2009, 323(5917): 1014–1015
- [8] GUO J H, LIU X J, ZHANG Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science, 2010, 327(5968): 1008–1010
- [9] YANG G H, WANG Y, ZENG Y X, et al. Rapid health transition in China, 1990–2010: Findings from the global burden of disease study 2010[J]. The Lancet, 2013, 381(9882): 1987–2015
- [10] LU L, TIAN S, LIAO H, et al. Analysis of metal element distributions in rice (*Oryza sativa* L.) seeds and relocation during germination based on X-ray fluorescence imaging of Zn, Fe, K, Ca, and Mn[J]. PLoS One, 2013, 8(2): e57360
- [11] SHEN J B, ZHU Q C, JIAO X Q, et al. Agriculture green development: A model for China and the world[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2020, 7(1): 5–13
- [12] 金书秦, 牛坤玉, 韩冬梅. 农业绿色发展路径及其“十四五”取向[J]. 改革, 2020, (2): 30–39
- [13] JIN S Q, NIU K Y, HAN D M. The path of agricultural green development and its policy orientation in the 14th five-year plan period[J]. Reform, 2020, (2): 30–39
- [14] YU X R. Promoting Agriculture Green Development to realize the great rejuvenation of the Chinese nation[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2020, 7(1): 112–113
- [15] ZHANG F S, DONG W C, LI J Q. Creating a new university-education system to promote Agriculture Green Development[J]. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, 2020, 7(1): 114–116
- [16] BROWN L R. Building a Sustainable Society[M]. New York: Norton, 1981: 15–19
- [17] MATSON P, CLARK W C, ANDERSSON K. Pursuing Sustainability: A Guide to the Science and Practice[M]. Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016
- [18] ADAMS W M. Green Development: Environment and Sustainability in a Developing World[M]. 3rd ed. London: Routledge, 2008
- [19] SPIERTZ J H J. Nitrogen, sustainable agriculture and food security. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30(1): 43–55
- [20] TILMAN D, CASSMAN K G, MATSON P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices[J]. Nature, 2002, 418(6898): 671–677
- [21] BREN D'AMOUR C, REITSMA F, BAIOCCHI G, et al. Future urban land expansion and implications for global croplands[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(34): 8939–8944
- [22] STEFFEN W, RICHARDSON K, ROCKSTRÖM J, et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet[J]. Science, 2015, 347(6223): 1259855
- [23] VELTEN S, LEVENTON J, JAGER N, et al. What is sustainable agriculture? A systematic review[J]. Sustainability, 2015, 7(6): 7833–7865
- [24] Global Strategy Improving Agricultural & Rural Statistics. A Literature Review on Frameworks and Methods for Measuring and Monitoring Sustainable Agriculture[R]. Technical Report GO 22. Global Strategy Technical Report, Rome, Italy, 2017
- [25] WELTIN M, ZASADA I, PIORR A, et al. Conceptualising fields of action for sustainable intensification — A systematic literature review and application to regional case studies[J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2018, 257: 68–80
- [26] CAMPBELL B M, HANSEN J, RIOUX J, et al. Urgent action to combat climate change and its impacts (SDG 13): Transforming agriculture and food systems[J]. Current Opinion in Environmental Sustainability, 2018, 34: 13–20
- [27] LIU J G, HULL V, GODFRAY H C J, et al. Nexus approaches to global sustainable development[J]. Nature Sustainability, 2018, 1(9): 466–476
- [28] CHAUDHARY A, GUSTAFSON D, MATHYS A. Multi-indicator sustainability assessment of global food systems[J]. Nature Communications, 2018, 9(1): 848
- [29] China-ASEAN Environmental Cooperation Center. China-ASEAN Environment Outlook 1 (CAEO-1): Towards Green Development[M]. Singapore: Springer, 2018
- [30] 中华人民共和国农业部. 《全国农业可持续发展规划 (2015—2030 年)》发布[EB/OL]. [2015-05-28]. <http://www.>

- gov.cn/xinwen/2015-05/28/content_2869902.htm
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. "National Agricultural Sustainable Development Plan (2015–2030)" publish[EB/OL]. [2015-05-28]. http://www.gov.cn/xinwen/2015-05/28/content_2869902.htm
- [30] 中华人民共和国农业农村部. 农业部关于实施农业绿色发展五大行动的通知[EB/OL]. [2017-04-26]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/BGT/201704/t20170426_5584189.htm
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. Circular of the Ministry of Agriculture of the People's Republic of China on the implementation of the five major actions of agricultural green development[EB/OL]. [2017-04-26]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/BGT/201704/t20170426_5584189.htm
- [31] 新华社. 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于创新体制机制推进农业绿色发展的意见》[EB/OL]. 北京: 新华社, [2017-09-30]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/30/content_5228960.htm
Xinhua News Agency. General Office of the Communist Party of China Central Committee General Office of the State Council printed and distributed "Opinions on Innovative System Mechanisms to Promote Green Development of Agriculture"[EB/OL]. Beijing: Xinhua News Agency, [2017-09-30]. http://www.gov.cn/zhengce/2017-09/30/content_5228960.htm
- [32] 中华人民共和国农业农村部. 农业农村部关于印发《农业绿色发展技术导则(2018—2030年)》的通知[EB/OL]. [2018-07-06]. http://www.moa.gov.cn/gk/ghjh_1/201807/t20180706_6153629.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Circular of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China on printing and distributing "The Technical Guidelines of Agriculture Green Development (2018–2030)"[EB/OL]. [2018-07-06]. http://www.moa.gov.cn/gk/ghjh_1/201807/t20180706_6153629.htm
- [33] 中华人民共和国农业农村部办公厅. 关于印发《国家农业可持续发展试验示范区(农业绿色发展先行区)管理办法(试行)》的通知[EB/OL]. [2018-12-20]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2018/201812/201901/t20190106_6166194.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Circular of printing and distributing "Measures for the Administration of the National Agricultural Sustainable Development Pilot and Demonstration Area (Agricultural Green Development Pilot Area) (for Trial Implementation)"[EB/OL]. [2018-12-20]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2018/201812/201901/t20190106_6166194.htm
- [34] 中华人民共和国农业农村部办公厅. 关于印发《2019年农业农村绿色发展工作要点》的通知[EB/OL]. [2019-04-11]. http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tfw/201904/t20190411_6178807.htm
General Office of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Circular of the General Office of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China on printing and distributing "Key Points of Green Development of Agricultural and Rural Areas in 2019"[EB/OL]. [2019-04-11]. http://www.moa.gov.cn/gk/tzgg_1/tfw/201904/t20190411_6178807.htm
- [35] 魏琦, 张斌, 金书秦. 中国农业绿色发展指数构建及区域比较研究[J]. 农业经济问题, 2018, (11): 11–20
WEI Q, ZHANG B, JIN S Q. A study on construction and regional comparison of agricultural green development index in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2018, (11): 11–20
- [36] 孙炜琳, 王瑞波, 姜茜, 等. 农业绿色发展的内涵与评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(4): 14–21
SUN W L, WANG R B, JIANG Q, et al. Study on connotation and evaluation of the agricultural green development[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(4): 14–21
- [37] 缪建明, 王宏, 李滋睿, 等. 深入推进我国农业绿色发展的思考[J]. 农业农村部管理干部学院学报, 2019, 34(1): 1–6
MIAO J M, WANG H, LI Z R, et al. Thoughts on promoting the green development of agriculture in China[J]. Journal of Agricultural Management Institute of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2019, 34(1): 1–6
- [38] PARODI A, LEIP A, DE BOER I J M, et al. The potential of future foods for sustainable and healthy diets[J]. Nature Sustainability, 2019, 1(12): 782–789
- [39] CHEN X P, CUI Z L, FAN M S, et al. Producing more grain with lower environmental costs[J]. Nature, 2014, 514(7523): 486–489
- [40] EVERETT T, ISHWARAN M, ANSALONI G P, et al. Economic Growth and the Environment[R]. Department of Environment Food and Rural Affairs. Munich, German: 2010
- [41] ARROW K, BOLIN B, COSTANZA R, et al. Economic growth, carrying capacity, and the environment[J]. Science, 1995, 268(5210): 520–521
- [42] ZHANG X, DAVIDSON E A, MAUZERALL D L, et al. Managing nitrogen for sustainable development[J]. Nature, 2015, 528(7580): 51–59
- [43] LI F, DONG S C, LI F J, et al. Is there an inverted U-shaped curve? Empirical analysis of the Environmental Kuznets Curve in agrochemicals[J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2016, 10(2): 276–287
- [44] GOUCHER L, BRUCE R, CAMERON D D, et al. The environmental impact of fertilizer embodied in a wheat-to-bread supply chain[J]. Nature Plants, 2017, 3: 17012
- [45] 马文奇, 毛达如, 张福锁. 种植结构调整对化肥消费的影响[J]. 磷肥与复肥, 2001, 16(4): 1–3
MA W Q, MAO D R, ZHANG F S. Effect of adjusting cropping system on the fertilizer consumption in China[J]. Phosphate & Compound Fertilizer, 2001, 16(4): 1–3
- [46] SONG G B, LI M J, SEMAKULA H M, et al. Food consumption and waste and the embedded carbon, water and ecological footprints of households in China[J]. Science of the Total Environment, 2015, 529: 191–197
- [47] 金欣鹏, 马林, 张建杰, 等. 农业绿色发展系统研究思路与定量方法[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200241
JIN X P, MA L, ZHANG J J, et al. Systematic research and quantitative approach for assessing agricultural green development[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200241
- [48] 张建杰, 崔石磊, 马林, 等. 中国农业绿色发展指标体系的构建与例证[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200069
ZHANG J J, CUI S L, MA L, et al. Construction of a green development index system for agriculture in China and examples[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2020, DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.200069