



## 刍议新时期农业生态学发展中的几个问题

李凤民

Issues concerning agro-ecological development in a new era

LI Fengmin

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12357/cjea.20230394>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 东北旱作区农业生态系统协同发展与权衡分析

Synergies and trade-offs of agro-ecosystem in dry-farming areas in Northeast China

中国生态农业学报(中英文). 2018, 26(6): 892-902

#### 中国南方农业生态系统可持续发展面临的问题及对策

Problems and countermeasures of sustainable development of agricultural ecosystem in Southern China

中国生态农业学报(中英文). 2017, 25(1): 13-18

#### 系统论、信息论和控制论与我国农业生态学的发展

Influence of cybernetic theory, information theory, and system's theory on the development of agroecology in China

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(2): 340-344

#### 湘中丘陵区农业生态系统服务价值与城镇化水平弹性关系研究

Estimation of elasticity relationship between agricultural ecosystem service values and urbanization

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(8): 1453-1466

#### 农业生态效率研究进展分析

Review of methodology and application of agricultural eco-efficiency

中国生态农业学报(中英文). 2017, 25(9): 1371-1380

#### 乡村生态学: 乡村可持续发展的新学科

Rural Ecology: An emerging discipline for the rural sustainable development

中国生态农业学报(中英文). 2021, 29(12): 2116-2125



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

DOI: 10.12357/cjea.20230394

李凤民. 刍议新时期农业生态学发展中的几个问题[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(8): 1178–1183

LI F M. Issues concerning agro-ecological development in a new era[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023, 31(8): 1178–1183

# 刍议新时期农业生态学发展中的几个问题

李凤民

(南京农业大学农学院/江苏省现代作物生产协同创新中心 南京 210095)

**摘要:** 以较低的生态代价获得较高的农业生产能力是目前气候变化背景下农业发展的目标。发展“资源节约、生产高效、生态友好”的现代农业,应当成为新时期以绿色发展为主基调的农业现代化建设和发展中需要坚持的基本原则和方向。农业生态系统具生产和生态两大功能,坚持生态优先,在追求生态效益的同时,实现更加长久的生产效益,是破解可持续发展瓶颈的重要手段。基于粮食生产与生态压力转移的区域间耦合与系统优化,解析区域性生产生态潜力的变化趋势;发展生态农业,建设无废弃物乡村,对实现农业现代化和可持续发展具有重要意义。

**关键词:** 农业生态学; 农业生态系统; 粮食生产; 生态压力; 农业现代化

中图分类号: S181

开放科学码(资源服务)标识码(OSID):



## Issues concerning agro-ecological development in a new era

LI Fengmin

(College of Agriculture, Nanjing Agricultural University / Jiangsu Collaborative Innovation Center for Modern Crop Production, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** To obtain higher agricultural production capacity at a lower ecological cost, the development of modern agriculture with resource conservation, efficient production, and ecological friendliness should become a basic principle and direction to be adhered to in agricultural modernization and development, with green development as the main tone in the new era. Agricultural ecosystems have two major functions: production and ecology. Adhering to ecological priorities and achieving more longterm production benefits while pursuing ecological benefits is an important mean of overcoming bottlenecks in sustainable development. Based on interregional coupling and system optimization of grain production, analyzing ecological pressure transfer and changing trends in regional production and ecological potential are important for agricultural modernization. The development of ecological agriculture and construction of waste-free villages are of great significance for the realization of agricultural modernization and sustainable development.

**Keywords:** Agro-ecology; Agricultural ecosystem; Food production; Ecological stress; Agricultural modernization

### 1 新时期对农业生态学科的要求

随着世界百年大变局的演进,广大发展中国家正在努力走出一条自立自强的发展之路,世界范围内的资源争夺与竞争已经进入新阶段,在有些地区已经发展成为激烈的地缘战略冲突。就其本质而言,这种冲突的根源就在于资源有限性与发展无限性之间的矛盾<sup>[1]</sup>。面对气候变化和发展中国家的崛起,全球范围内的资源约束、环境污染和生态退化正在对

原来的世界格局与可持续发展带来新的挑战。

在百年大变局的背景下,农业作为基础性、战略性产业正在受到各国政府的高度重视。以较低的生态代价获得较高的农业生产能力,是二战结束以来世界各国努力追求的目标。针对石油农业的诸多弊端,数十年以来,欧美澳等发达国家提出了名目繁多的替代农业发展方式,在发展中国家也做过很多尝试,但限于各国自然条件和发展阶段的巨大差异,

李凤民,主要从事耕作学与农田生态学、作物生态学和农业生态学研究。E-mail: [fmli@njau.edu.cn](mailto:fmli@njau.edu.cn)

收稿日期: 2023-07-13 接受日期: 2023-07-22

Corresponding author, LI Fengmin, E-mail: [fmli@njau.edu.cn](mailto:fmli@njau.edu.cn)

Received Jul. 13, 2023; accepted Jul. 22, 2023

<http://www.ecoagri.ac.cn>

并没有形成相近的发展模式<sup>[2-3]</sup>。

中国 2001 年加入 WTO, 快速走向全球化。在 2005 年中国共产党第十六届中央委员会第五次全体会议就明确提出, 要加快建设资源节约型、环境友好型社会; 2012 年在中国共产党第十八次全国代表大会报告中进一步提出, 要大力推进生态文明建设; 2020 年中国共产党第十九届中央委员会第五次全体会议提出, 开启全面建设社会主义现代化国家新征程。在新的历史阶段, 面对愈发尖锐的挑战, 发展“资源节约、生产高效、生态友好”的现代农业, 应当成为新时期以绿色发展为主基调的农业现代化建设和发展中需要坚持的基本原则和方向<sup>[4]</sup>。

中国幅员辽阔, 农业类型复杂多样, 多以小农户或中小农场为主要生产单元。由于中国与西方国家之间国情的差异, 不可能照搬西方的大规模经营方式和运行机制。迫于粮食安全等生产性要求, 中国农业也很难采用大范围耕地轮休或草田轮作等所谓保护性农业方式来维持或改善地力。美国积极向全

世界推行其保护性耕作体系, 而在中国却存在广泛的水土不服, 使中国的保护性耕作与美澳等国有明显的不同, 带有鲜明的中国烙印<sup>[5-7]</sup>。中国数千年农耕文明磨砺出来的传统农业经验, 例如精耕细作、种养结合等蕴含着丰富的可持续发展思想, 在现代农业发展中依然具有重要借鉴价值<sup>[8]</sup>。因此, 认准发展目标, 广泛吸纳先进理念和经验, 继承和创新适应性技术路线, 创立符合国情和区情的农业可持续发展道路对农业生态学科提出了新的任务。

## 2 农业生态系统的结构与功能

受 E. P. Odum 生态系统思想的影响, 能量流和物质流一直作为农业生态系统的功能进行分析。随着生态系统服务和多功能性等概念的提出和研究的深入, 从研究的目的性和变量属性来看, 生产和生态等服务功能应当作为农业生态系统的主要功能, 而能量流和物质流应当作为生态系统结构的组成部分 (图 1)。

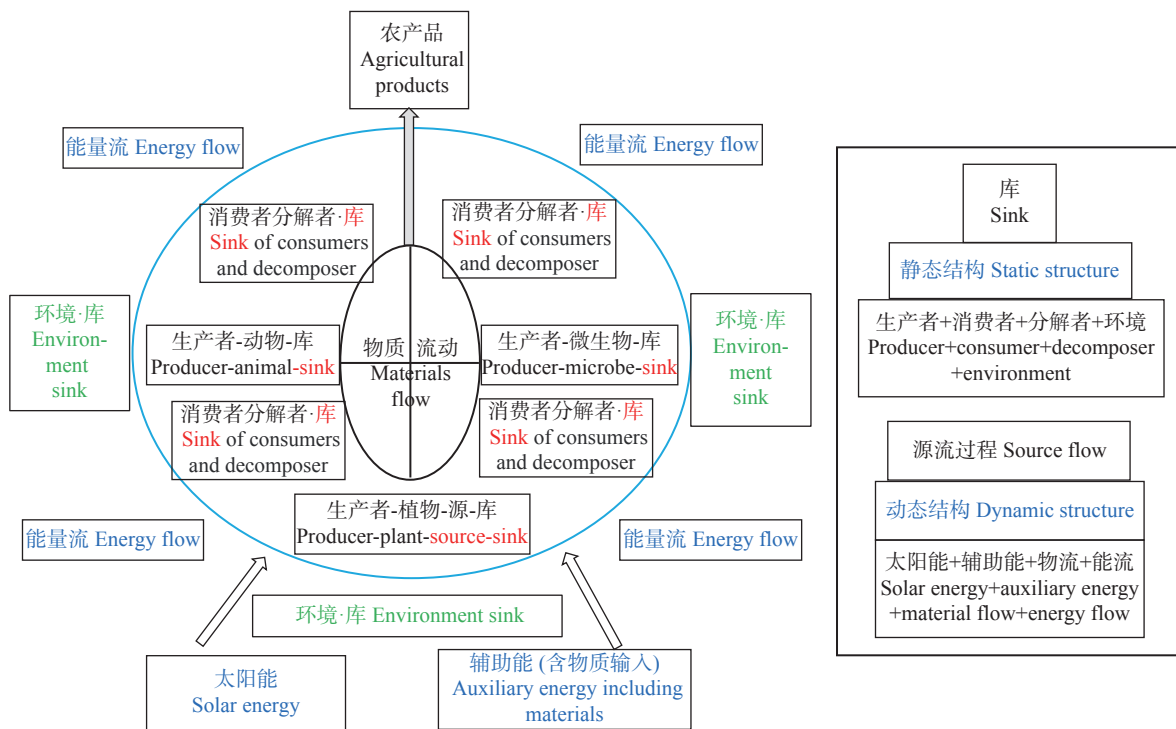


图 1 农业生态系统的结构示意图

Fig. 1 Sketch maps of structure of agro-ecosystem

农业生态系统的组成包括农产品的生产者 (植物、动物和微生物都可以是生产者)、生产与生态环境, 以及用于辅助作用的外来投入品。一个地区的生产者组成可以很复杂, 可以包括多类植物: 粮食作物、经济作物、特种作物 (例如中药材等), 以及各类养殖业、各类食用菌等; 也可以很简单, 只包括很少

的几种生产者, 例如工厂化生产等。生产与生态环境同样也可以很复杂, 或者很简单。生产环境主要是指连接生产者之间的环境, 生产环境和生产主体构成产业链。生态环境是指除生产者之外的环境, 包括生物的和非生物的环境。生产和生态环境之间会通过物质流和能量流等方式形成一定的结构, 把

不同的生产者与环境连接到一起,形成农业生态系统的结构。在外来投入品的辅助作用下,生产者和环境相互作用,获得农产品。在农业生产过程中,物质流和能量流以及由此产生的信息流、价值流等,可以视为联结生产者内部或生产环境内部,以及生产者和环境之间的纽带,借以将各组成部分连接成为整体,它们共同构成农业生态系统的网状结构(图 1)。

农业生态系统是典型的多功能系统<sup>[9]</sup>,受关注最多的是生产和生态两大功能,二者相互支持,相得益彰,成为人类社会发展的基础。在粮食生产能力不足,成为限制社会发展主要因素的情况下,生产功能自然就会居于优先地位,解决温饱 and 摆脱贫困就会成为政府制定社会发展战略的优先选项;当生产能力达到一定水平,不再成为社会发展的主要限制因素的情况下,生态功能才会有条件得到充分尊重,并发挥重要作用<sup>[10-11]</sup>。

农业生态系统具备多功能性,生产功能和生态功能是人们最熟悉的两大功能。前者包括各类农产品的产出功能,后者是指农业生产过程对生态环境的影响,包括对农业区域内部和外部的影响。

生产功能是农业生态系统的第一功能<sup>[1]</sup>。一个相对完整的农业生态系统,其生产系统包括丰富的产业链种类和物尽其用的产业链长度。一般而言,产业链丰富,产业链较长,会有更多的机会把更多的物质流或能量流转化为农产品,减少废弃物的排放量,这是循环农业的基本原理<sup>[12]</sup>。然而,随着产业链的延长,产品内含的物质流密度会迅速降低,为了实现物质流向农产品的转化,必须增加更多外来辅助品的投入,以便实现产业链的延长。增加外来品的投入会增加生态成本,增加的生态成本与获得的生态效益之间存在着此消彼长的权衡关系。产业链的延长在产出更多农产品、减少废弃物排放量和增加更多投入品之间存在着权衡。在不同的发展阶段或社会发展水平,应该存在不同的权衡。发展循环农业需要根据实际,根据资源禀赋和成本效益原则,优化产业链结构,使循环农业发挥更好的生产和生态效益。

生态功能是农业生态系统天然的第二功能。除了具备与自然生态系统相似的生态功能之外,农业生态系统还具有自身特有的生态功能,那就是在农业生产作用于自然生态系统基础上产生的、或被农业过程强化或弱化的生态功能,包括在系统之外和系统之内的生态功能。例如,把自然生态系统开发为农田,由于管理不善而造成水土流失,就会降低土

壤碳库功能,增加土壤养分流失,导致农田退化<sup>[1]</sup>,其结果就是农田生产力变得低而不稳;对农田以外的环境而言,由于出现新的泥沙或粉尘来源,对农田周边环境输入粉尘或泥沙,带来新的环境风险;如果农田管理完善,开垦之后的农田,通过合理补充外来输入的资源,强化了农田生产能力,在产出更多农产品的同时,保持或提高了农田肥力水平,增加了水土涵养功能,更有利于保护周边环境,并有机会为周边环境提供更多生态资源<sup>[1]</sup>。

在农业生产能力不足、生产需求处于主导地位的情况下,农业生态系统的生产功能必将处于优先地位<sup>[1]</sup>,对生态功能的关注度一般难以提高。尽管政府或者专家可能一再呼吁<sup>[13]</sup>,生态功能的破坏会恶化并削弱生产功能,使生产功能遭遇更大风险,但是,限于人们对当前生产功能的执着追求,这些呼吁往往会被忽视。在温饱都无法解决的情况下,谁都不能苛求当地干部和群众舍去农业生产功能而去关注所谓的生态功能。在这种情况下,政府制定合适的政策或者指导意见,应是以较低的、人们可以接受的成本,通过改善生态功能,加强生产功能,改善人们的生活状况,建立示范样本,才有可能引导群众走向政府或专家设计的可持续发展之路。在这方面中国积累了丰富的经验,走出了一条自力更生、艰苦奋斗、丰衣足食的农业发展之路<sup>[14]</sup>。

### 3 坚持生态优先,破解可持续发展瓶颈

21 世纪 20 年代中国农村摆脱绝对贫困进入新的发展时期,人们的生活已经从“吃得饱”转向“吃得好”,农业必须承担起“吃得好”与可持续并重的历史重任,并已具备了落实生态优先原则的基本条件。

所谓生态优先,一般是指权威部门和利益攸关方在制定政策或规划时,将生态改善的内容放到优先执行的地位,在追求生态效益的同时,实现更加长久的生产效益。

即使当生产功能有了较大改善,人们生态意识的提高也有一定的滞后,需要持续加强引导与示范,生态功能才能逐渐得到重视。这是由农户作为农业生产主体地位所决定的,背离这一主体地位的产业结构调整或生态保护措施一般难以产生理想的效果<sup>[5]</sup>,需要花费较高的成本或代价。只有在提高生产能力、稳定解决温饱,社会生活达到一定水准的基础上,生态功能才有可能与生产功能一样得到重视,在更长时间尺度上重视生态功能,生态优先原则才能落到实处。

实际上,生态功能是长久时间尺度上的生产功能。随着社会生活水平的提高,人们对生态服务的需求将会不断升级,生态服务的内涵也将不断拓展。在这种情况下,生态优先关注的是除了生产功能之外的、以生态功能为基础的其他服务类型。随着经济社会的发展,将会不断创造条件,从政府行为变为人们的自觉行为,尽管仍然需要政府或规划者的引导,在不断创新土地利用制度的同时,生态优先将有望成为发展的主流。

从期待达成的目标而言,生态优先原则旨在通过调控生态系统的结构与功能,改善农业系统的生态服务,使其不低于同一地区自然生态系统的服务价值。并且,作为农业生态系统主体功能的生产功能还必须具备可持续发展能力。亦即,除了其生产价值以外,如果其生态服务功能与当地稳定的自然生态系统大致相当,就应当认定该农业系统已经达到了生态优先的目标,在持续保持生态功能的前提下实现了农业生产。基于这样的原则,为了使生态优先原则落到实处,生态服务功能和生态优先原则必须具有可观测、可计量、可对比的属性。因此,农业生态系统的生产功能与生态功能的辨析及生态优先原则的科学实施将是基于农业发展实际的重要科学需求。

#### 4 基于粮食生产与生态压力转移的区域间耦合与系统优化

我国陆地气候总体上受东南季风控制,东部和南部水热资源丰富,粮食生产水平高。西部和北部水热资源不足,旱涝盐渍化等自然灾害频繁,土地荒漠化严重,农业生产水平较低,长期形成了南粮北运的局面。新中国成立以来,北方地区大规模整理土地,修建梯田,治理荒漠化,土地质量渐趋好转。改革开放以来,东南部地区位于全球经济活跃地带,工业化与城镇化快速发展,优良农田和粮食生产受到挤压,人口数量和粮食需求快速增长。同时,北方地区经过数十年的新土地开垦、中低产田改造,粮食生产能力大幅度提高,形成了北粮南运的新格局,为东南部地区经济社会发展提供了重要保障<sup>[15-18]</sup>。

进入 21 世纪以来,随着全国人口向东南经济发达地区迁移,西部和北部的粮食生产能力逐渐提升,形成人口迁移方向和粮食生产能力提升的区域性错位。以浙江省和甘肃省 1980 年和 2021 年粮食生产变化为例。根据国家统计局数据,浙江粮食种植面积从 1980 年的 342.47 万  $\text{hm}^2$  减少到 100.67 万  $\text{hm}^2$ ,

降幅达到 70.6%; 粮食生产总量从 144 亿  $\text{kg}$  减少到 62 亿  $\text{kg}$ , 降幅达到 56.7%; 人均粮食生产量从 375  $\text{kg}$  下降到 73  $\text{kg}$ , 降幅达到 80.5%。甘肃省粮食种植面积从 1980 年的 294.00 万  $\text{hm}^2$  减少到 2021 年的 267.67 万  $\text{hm}^2$ , 减少 9.0%, 主要由于经济作物种植面积有所增加所致; 粮食生产总量从 49 亿  $\text{kg}$  增加到 123 亿  $\text{kg}$ , 增加 1.51 倍; 人均粮食生产量从 256  $\text{kg}$  增加到 491  $\text{kg}$ , 增幅 91.6%, 甘肃人均粮食生产量超过全国平均水平。甘肃与浙江的粮食单产之比从 1980 年的 39.9% 增加到 2021 年的 74.5%, 提高了 34.6 个百分点。近年来甘肃的粮食生产能力还在持续增加, 继玉米单产已经与全国平均水平接近之后, 近年来旱地小麦新品种多地屡创单产新高, 小麦示范田跨越亩产 500  $\text{kg}$  已经习以为常<sup>[14]</sup>。

近 40 年来,华北和东北已经替代江南,成为全国主要粮食生产基地。进入 21 世纪以来,西北地区粮食生产能力快速增长,显示出巨大增产潜力<sup>[14]</sup>。而东南地区粮食单产增加已经趋缓,粮食种植面积逐渐下降,粮食生产能力走低,人口压力增长,农业面源污染形势严峻,面临更大的生态压力。在 20 世纪,西北地区面临气候变化和人口压力双重挑战,生态压力较大; 进入 21 世纪以来,西北地区粮食生产水平大幅度提高,人口压力减轻,生态压力趋缓。全国区域农业生产格局和区域生态压力同 20 世纪相比,已经发生了根本性的变化<sup>[15-16]</sup>,这种改变还会持续较长时间。虽然依旧存在严峻挑战,但东西部区域性生产和生态关系已经发生了历史性转折。深入理解新形势下生产和生态关系的转变过程和影响,解析区域性生产生态潜力的变化趋势,对优化不同区域农业生产和生态保护空间格局,促进东南部地区率先实现农业现代化和西部地区促进生态保护与高质量发展都具有十分重要的意义。

#### 5 发展生态农业,建设无废弃物乡村

中国农业历史悠久,在数千年的历史长河中,农业生产和农村生活中的有机废弃物完全实现了循环利用,几乎不存在农业废弃物污染问题。所有生产与生活的有机废弃物全部返还农业系统,既降低了生产生活成本,也维持了系统的可持续性。进入 21 世纪以来,随着农业生产的规模化发展和人口的聚集性迁移,规模化畜禽养殖和作物秸秆使大量农业废弃物集中出现,分散腐解渠道被阻塞,形成严重的面源污染。农业部报告指出,农业面源污染超过其他类别污染,成为我国最大的污染物来源<sup>[19]</sup>。农业本

来是清洁生产的标杆产业,而在 10 多年的时间却变为了最大的污染源。农业农村的污染源主要是有机物成分,在新的发展时期,重回无废农业不仅是必要的,而且是可行的,经过努力是可以做到的。

作物秸秆和养殖业粪污是农业的主要废弃物来源。在生态与环保政策的约束下,目前的主要做法是秸秆还田,粪污发酵做成有机肥进入市场或还田,或利用废弃物作沼气化处理或发电,有的地区做成生物炭进入市场或将生物炭还田。目前这些措施要么处理成本较高,难以真正惠及所有农田;要么就是转化效率较低,造成有机物料资源的浪费。秸秆直接还田除了普遍存在的影响后茬出苗、病虫害和杂草较多等问题外,还存在还田越多,秸秆资源浪费就越多多的窘境。虽然农业废弃物处理已经取得了显著成效,但实现绿色低碳农业发展还有很远的路要走。从建立无废农业的角度看,开拓农业废弃物的利用方向、提高利用和转化效率、降低利用和转化成本将是未来一段时期需要研究的重要科技领域。

## 6 生态视角下区域农业现代化愿景

随着广大发展中国家的崛起,世界范围内的资源争夺与竞争已经进入新阶段,能不能跨越这样的历史阶段,走向高质量可持续发展,发展方式在其中发挥着重要作用,而农业的发展方式占据重要地位。走出一条资源节约、生产高效、生态友好的农业发展道路,是我国农业现代化发展需要解决的方向性问题。

经历数十年的发展,我国经济社会和农业发展格局正在发生着深刻变化,区域间生态资源分布格局和农业发展的比较优势正在发生着调整,东北、华北和西北地区生态安全改善趋势和粮食生产能力的提高正在对全国区域间农业发展格局产生着缓慢但坚定的影响。一个东西部、南北方相对均衡与互补的、与生态资源相匹配的农业发展格局正在形成<sup>[20-21]</sup>。

面源污染是限制农业健康发展的重要障碍。在世界主要农业大国,几乎都曾经受面源污染所困,随着时间的推移,基本上都找到了控制面源污染之策,收获了较好的效果。中国地域辽阔,生态类型复杂,绝大多数地区以小农户或中小型农场为主,有机废弃物将通过不同途径归还农田的方式得到解决;过量施用化肥引起的面源污染可以通过有组织地强化科学施肥加以控制;连作障碍和病虫害将通过生态措施与绿色化学措施相结合的方式得到控制。2022

年 1 月农业农村部发布信息,全国化肥和农药使用量 2017 年以后连续实现负增长,2021 年农作物秸秆综合利用率、农膜回收率、畜禽粪污综合利用率预计分别超过 88%、80% 和 76%。农业面源污染是发展中的一个插曲,是农牧业发展中由于过快集约化、过快发展、对发展质量有所忽视造成的问题。随着对各地实际情况认识的不断深入,假以时日,将有希望从根本上解决农业面源污染问题。

根据《人口与劳动绿皮书:中国人口与劳动问题报告 No.19》的预测,中国总人口将在 2028 年左右开始出现负增长,预计 2029 年达到峰值 14.42 亿,从 2030 年开始进入持续的负增长。中国农业发展将会在人口峰值到来之后持续增长,土壤有机质和粮食生产能力都将进一步提高,农业生态关系持续优化,将对农业现代化目标提供强有力的支持。

## 参考文献 References

- [1] 李凤民, 徐进章, 孙国钧. 半干旱黄土高原退化生态系统的修复与生态农业发展[J]. *生态学报*, 2003, 23(9): 1901-1909  
LI F M, XU J Z, SUN G J. Restoration of degraded ecosystems and development of water-harvesting ecological agriculture in the semi-arid Loess Plateau of China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1901-1909
- [2] 杨潜. 大变局下推进我国农业农村现代化的战略价值[J]. *农村经济与科技*, 2022, 33(13): 157-160  
YANG Q. The strategic value of promoting China's agricultural and rural modernization under the great changes[J]. *Rural Economy and Science-Technology*, 2022, 33(13): 157-160
- [3] 姚萍, 张晓辛. 现代农业发展模式梳理研究[J]. *现代农业科技*, 2016(16): 251-253  
YAO P, ZHANG X X. Study on modern agriculture development models[J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2016(16): 251-253
- [4] 农业农村部新闻办公室. 农业农村部印发 2023 年东北黑土地保护性耕作行动计划技术指引[J]. *中国农业综合开发*, 2022(11): 11  
Information Office of Ministry of Agriculture and Rural Affairs. The Ministry of Agriculture and Rural Affairs issued the technical guidelines for the 2023 Northeast Black Land Conservation Tillage Action Plan[J]. *Agricultural Comprehensive Development in China*, 2022(11): 11
- [5] 王金霞, 张丽娟, 黄季焜, 等. 黄河流域保护性耕作技术的采用: 影响因素的实证研究[J]. *资源科学*, 2009, 31(4): 641-647  
WANG J X, ZHANG L J, HUANG J K, et al. The adoption of conservation agricultural technology in the Yellow River Basin: empirical research on the influential factors[J]. *Resources Science*, 2009, 31(4): 641-647
- [6] 严火其. 中国传统农业的特点及其现代价值[J]. *中国农史*, 2015, 34(4): 12-28  
YAN H Q. On the characteristics of Chinese traditional

- agriculture and its contemporary values[J]. *Agricultural History of China*, 2015, 34(4): 12–28
- [7] 钱家乘, 师诺, 赵华甫, 等. 中国耕地弹性管控的理论解析与研究框架: 从单一目标权衡到多目标协同[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(3): 38–47
- QIAN J C, SHI N, ZHAO H F, et al. Theoretical analysis and research framework of resilience management of cultivated land in China: from single-objective trade-offs to multi-objective synergy[J]. *China Land Science*, 2023, 37(3): 38–47
- [8] 尹昌斌, 赵俊伟, 尤飞, 等. 基于生态文明的农业现代化发展策略研究[J]. *中国工程科学*, 2015, 17(8): 97–102
- YIN C B, ZHAO J W, YOU F, et al. Research on the development strategy of agricultural modernization based on eco-civilization[J]. *Engineering Sciences*, 2015, 17(8): 97–102
- [9] 叶小梅, 王莉, 张曼秋. 种养循环模式的评价方法及优缺点分析[J]. *江苏农业科学*, 2022, 50(16): 1–5
- YE X M, WANG L, ZHANG M Q. Evaluation methods and advantages and disadvantages of planting and breeding cycle models[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2022, 50(16): 1–5
- [10] 李贵春, 邱建军, 尹昌斌. 中国农田退化价值损失计量研究[J]. *中国农学通报*, 2009, 25(3): 230–235
- LI G C, QIU J J, YIN C B. Study on calculating losses of cropland degradation[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2009, 25(3): 230–235
- [11] 罗海平, 潘柳欣, 胡学英, 等. 我国粮食主产区粮食安全保障的生态代价评估: 2000—2018年[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(1): 1–7
- LUO H P, PAN L X, HU X Y, et al. Assessment of ecological cost of food security in major grain producing areas in China: 2000–2018[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(1): 1–7
- [12] 尉吉乾, 李丹, 王京文, 等. 农林废弃物的资源化利用研究进展[J]. *中国农学通报*, 2023, 39(6): 77–81
- WEI J Q, LI D, WANG J W, et al. Resource utilization of agricultural and forestry wastes: research progress[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2023, 39(6): 77–81
- [13] 刘景发, 张绒君, 冉大川. 以生态优先的观点搞好黄土高原水土保持生态建设[J]. *水土保持研究*, 2003, 10(2): 137–139
- LIU J F, ZHANG R J, RAN D C. Soil and water conservation and ecological construction on the Loess Plateau in terms of the ecological idea first[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2003, 10(2): 137–139
- [14] 李凤民, 张峰, 杜彦磊, 等. 甘肃旱地农业发展与研究前沿[J]. *干旱地区农业研究*, 2023, 41(3): 25–30
- LI F M, ZHANG F, DU Y L, et al. Development and cutting-edge research of dryland agriculture in Gansu Province[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2023, 41(3): 25–30
- [15] 张欢欢, 王国刚, 张勇翔, 等. 我国粮食生产能力区域变化特征与成因分析[J]. *中国农业科技导报*, 2023, 25(1): 6–15
- ZHANG H H, WANG G G, ZHANG Y X, et al. Characteristics and causes of regional variation of grain production capacity in China[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2023, 25(1): 6–15
- [16] 刘正佳, 钟会民, 李裕瑞, 等. 近20年中国粮食生产变化特征及其对区域粮食供需格局的影响[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1413–1425
- LIU Z J, ZHONG H M, LI Y R, et al. Change in grain production in China and its impacts on spatial supply and demand distributions in recent two decades[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1413–1425
- [17] ZHENG K, WEI J Z, PEI J Y, et al. Impacts of climate change and human activities on grassland vegetation variation in the Chinese Loess Plateau[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 660: 236–244
- [18] 廖佳佳, 赵耀, 陈甜倩, 等. 基于生态系统服务改进的中国各地农业生态效率研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(7): 200–209
- LIAO J J, ZHAO Y, CHEN T Q, et al. Study on agroecological efficiency of Chinese regions based on improvement of ecosystem services[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(7): 200–209
- [19] 农业已超过工业成中国最大面源污染产业[N/OL]. 北京: 环球网, (2015-04-14). <https://m.huanqiu.com/article/9CaKrnJJXMB>
- Agriculture has overtaken industry to become the largest non-point source polluter in China[N/OL]. Beijing: Huanqiu, (2015-04-14). <https://m.huanqiu.com/article/9CaKrnJJXMB>
- [20] 李凤民. 黄土高原旱作农业生态化与高质量发展[J]. *科技导报*, 2020, 38(17): 52–59
- LI F M. Ecologicalization and high-quality development of dryland farming in the Loess Plateau of NW China[J]. *Science & Technology Review*, 2020, 38(17): 52–59
- [21] 李凤民. 西部旱地生态农业与政策框架[J]. *民主与科学*, 2018(4): 27–29
- LI F M. Ecological agriculture and policy framework in dry land of Western China[J]. *Democracy & Science*, 2018(4): 27–29