魏秀菊，朱明，廖艳．乡村振兴背景下农业工程学科的生态农业工程创新拓展[J]．农业工程，2022，12(8)：5-14．DOI：10.19998/j.cnki.2095-1795.2022.08.001．WEI Xiuju，ZHU Ming，LIAO Yan．Innovation and expansion towards ecological agricultural engineering in agricultural engineering discipline under background of rural revitalization[J]．Agricultural Engineering，2022，12(8)：5-14．

乡村振兴背景下农业工程学科的生态农业工程创新拓展

魏秀菊，朱　明，廖　艳
（农业农村部规划设计研究院战略研究室，中国农业工程学会，北京 100125）

摘　要：我国实施乡村振兴战略，加之教育改革提出新工科、新农科建设理念，农业工程学科发展迎来重大机遇和挑战。为更好服务于乡村振兴，该文探索农业工程学科的拓展方向，寻求中国特色的学科内容创新。基于对世界农业工程学科前沿进展，以及我国农业农村发展阶段、特色和乡村振兴重大需求的分析，认为世界农业工程研究前沿为生物系统工程，但我国不能照搬国外农业工程学科的进阶模式，需在原有二级学科基础上拓展农业工程方向，包括生态农业工程、物理农业工程、生物系统工程等。该文提出生态农业工程概念与内涵，认为生态农业工程是农业工程的生态化发展，是农业工程与生态工程交叉学科，可作为农业工程的分支学科，符合新工科、新农科关于学科交叉融合发展理念。在我国乡村振兴背景下，拓展生态农业工程方向的必要性包括生态文明建设是乡村振兴的重要内容，突出的资源环境问题亟待发展生态农业工程，生态农业工程是乡村振兴的实现途径，以及乡村振兴呼唤生态农业工程几个方面。提出生态农业工程发展建议：发挥农业工程在乡村振兴中的系统作用，突出乡村振兴中农村建设工程领域，发挥农业工程学科对生态农业工程支撑作用，加强生态农业工程学科研究及人才培养等。农业工程的生态农业工程创新拓展符合中国当代乡村振兴的时代需求，将对我国农业工程学科建设、农业生产实践、农业农村现代化建设发挥重要的作用。

关键词：乡村振兴；农业工程；生态农业工程；生态农业；生态工程
中图分类号：S2　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**2095-1795(2022)08-0005-10
DOI：10.19998/j.cnki.2095-1795.2022.08.001

Innovation and Expansion towards Ecological Agricultural Engineering in Agricultural Engineering Discipline under Background of Rural Revitalization

WEI Xiuju，ZHU Ming，LIAO Yan
（*Agricultrual Engineering Strategic Research Department，Academy of Agricultural Planning and Engineering，Ministry of Agriculture and Rural Affairs，Chinese Society of Agricultural Engineering，Beijing 100125，China*）

Abstract：Currently China is implementing strategy of rural revitalization．In addition，it has put forward concept of New Engineering and New Agricultural Discipline construction in education reform．Therefore，development of agricultural engineering discipline has ushered in great opportunities and grand challenges．In order to better serve rural revitalization，expansion direction of agricultural engineering discipline was explored to seek innovation of discipline content with Chinese characteristics．Based on analysis of frontier progress of world agricultural engineering discipline，China's agricultural and rural development stage，characteristics and major needs of rural revitalization，it was considered that research frontier of world's agricultural engineering was biological system engineering，but China can't copy advanced model of foreign agricultural engineering disciplines．China needs to expand direction of agricultural engineering on basis of original secondary disciplines，including ecological agricultural engineering，physical agricultural engineering and biological system engineering，etc．Concept and connotation of ecological agricultural engineering was put forward．it was considered that ecological agricultural engineering was ecological development of agricultural engineering，it was an interdisciplinary subject of agricultural engineering and ecological engineering，and it could be regarded as a branch of agricultural engineering．It conformed to concept of interdisciplinary and integrated development of new engineering and new agricultural science．Under background of rural revitalization in China，it is also necessary to expand direction of ecological agricultural engineering，which is mainly manifested as follows：ecological civilization construction is an important part of rural revitalization，prominent resource and

收稿日期：2022-03-26　　**修回日期：**2022-08-10
基金项目：农业农村部规划设计研究院战略研究室课题（SC202106）；中国科技期刊卓越行动计划期刊（卓越计划-C-083，2019—2023，农业工程学科研究）
作者简介：魏秀菊，博士，编审，主要从事农业水土工程、土地生态工程、乡村振兴及农业工程发展战略研究
E-mail：weixj06@163.com

在线投稿
www. d1ae. com

environment problems urgently need to develop ecological agricultural projects，ecological agricultural engineering is realizing way of rural revitalization and rural revitalization calls for ecological agricultural engineering. Suggestions for development of ecological agricultural engineering were proposed，which included giving play to systematic role of agricultural engineering in rural revitalization，highlighting field of rural construction projects in rural revitalization，giving full play to supporting role of agricultural engineering discipline in ecological agricultural engineering，and strengthening discipline research and personnel training of ecological agricultural engineering etc. Innovation and expansion of ecological agricultural engineering in agricultural engineering field met internal requirements of China's contemporary rural ecological revitalization，and it would play an important role in discipline construction of agricultural engineering，agricultural production practice，agricultural and rural modernization in China.

Keywords：rural revitalization， agricultural engineering， ecological agricultural engineering， ecological agriculture， ecological engineering

0 引言

2018 年，中共中央、国务院印发的《乡村振兴战略规划（2018—2022 年）》提出，2035 年乡村振兴取得决定性进展，基本实现农业农村现代化，2050 年全面实现农业农村现代化，实现农业强、农村美、农民富的乡村全面振兴的目标[1]。农业农村部按照党中央部署，以“三农”工作为总抓手，确保国家粮食安全，保障农产品有效供给。

农业工程科技作为农业科技转化的重要组成部分，是农业生产力的重要支撑，是引领与驱动农业农村发展与社会进步的重要动力，也是实现农业农村现代化及乡村振兴的技术支撑和保障。当前，在全面推进乡村振兴的发展背景下，聚焦于农业生产及农村文明的农业工程学科，面临诸多挑战和难得机遇；同时，面对以新技术、新产业、新业态和新模式为特征的新经济形势，立足国家战略和产业需求，教育界提出了“新农科”及“新工科”等教育发展计划。“新工科”发展计划体现对工科教育的高度重视，中国要在全球新生态系统中占据战略制高点，必须培养大量的工程科技人才，要求对工程学科持续深化改革、加快建设新领域工程学科、升级改造传统工科专业，进行学科创新，为国家一系列重大战略深入实施及进一步提升国家硬实力和国际影响力发挥应有作用。

在乡村振兴带来的社会需求及新农科、新工科学科发展要求下，农业工程学科内容的拓展及创新迫在眉睫。培养适应农业农村建设的工程人才，满足农村现代化对工程技术的重大需求，在发展服务农业生产的工程技术基础上，重点拓展农村工程技术，是农业工程面临的重大课题。在全面推进乡村振兴的事业中，农业工程科技创新与拓展势在必行。我国农业农村处于新发展阶段，面对新发展格局，须秉持新发展理念，根据乡村振兴发展战略要求，充分审视中国农业农村特色及阶段性，研究确定中国农业工程学科发展趋势、重点方向和拓展领域，丰富和发展农业工程学科内容，使之更好适应乡村振兴发展需求，为农业工程学科发展、技术应用、科学决策及管理提供参考。

1 世界和我国农业工程的发展

1.1 世界农业工程发展概况

农业工程的定义是一个动态的概念，随着社会经济的发展及科学技术的进步而不断充实发展[2]。农业工程科学是建立在工程学、生物学、农业科学、经济及管理科学理论和技术基础上的一门综合交叉应用科学，半个世纪以来，在农业及食物生产体系的应用和发展上取得了重大成就。

20 世纪六七十年代，西方发达国家完成以农业工程基础设施高度发达完善为特征的农业现代化，主要表现在农业机械化、电气化、水利化等高度发达，后续各种高新科技在农业工程中的渗透，包括农业生物技术、信息技术等，提高劳动生产率及土地生产效率，创造出高度发达的农业产业及乡村文明，成就举世瞩目。20 世纪末，美国国家工程院组织评选出 20 世纪影响最大的 20 项工程技术，其中的第 1、4 和 7 项分别为电气化、水利化和农业机械化，这 3 项工程技术恰是农业工程科技的核心内容，反映农业工程对人类、对农业的重大贡献[3]。

20 世纪 90 年代以来，生物技术、信息技术飞速发展，农业科学生产向可持续发展方向转变，资源、环境、生态问题日益受到重视。为满足人类经济、环境、生态发展多方向需求，农业工程学科研究领域极大拓展，与生物科学技术、信息技术越来越密切地结合，集成多种现代科学理论、工程技术与研究设计方法，形成较完善的学科体系和工程技术体系。

纵观世界农业工程科技发展历程，正是依靠农业及农业工程科技的支撑，农业农村经济迅速发展，逐步完成农业现代化进程。随着世界先进农业工程学科与生物科学技术紧密结合，发展前沿演进为生物系统工程。国际农业工程学科在 20 世纪末至 21 世纪初，以美国为代表，多个发达国家的农业工程院系、学科专业

及学会名称，陆续改为农业生物系统工程、农业食品与生物系统工程、农业生物及资源工程等。美国农业生物工程师学会（American Society of Agricultural and Biological Engineers，简称 ASABE）从目的和效果要求上对生物系统工程进行解释：以高效和环境友好的方式生产食物，并利用可再生能源以满足世界人口不断增加的需要，是一门关于工程原理的科学，涉及生物、农业和环境科学，高效利用自然资源，以满足国家和高标准的食品安全及作物产量需求。欧洲农业工程学会（European Society of Agricultural Engineers，简称 EurAgEng）给生物系统工程的定义为：联合物理学和工程学科的科研教育，目的是提高技术水平，实现生物系统功能，使之达到可持续发展、粮食安全、作物及耕地管理及环境保护功能[4]。概括生物系统工程，可将其定义为综合运用工程技术、生物科学和信息技术，以生物生产及相关的环境、装备和工程设施为研究对象，为生物的生产、加工与资源的合理利用服务的工程技术学科。事实证明，20、21 世纪之交，世界农业工程学科的研究前沿，转移到了生物系统工程领域，研究对象从农业扩展到了生物界。

1.2　我国农业工程发展的必要性

世界发达国家的农业农村基本实现现代化之后，农业工程学科纷纷转向生物系统工程学科。我国农业工程界部分专家学者提出，根据国际农业工程学科发展主流趋势，我国农业工程一级学科应更名为生物系统工程学科，2002 年，浙江大学率先将农业工程学科改为生物系统工程学科[5]。但也有一些学者认为我国仍处于农业工程学科发展阶段。又经历了 20 多年的发展，当前，我国农业工程发展的阶段需进一步判定。本文从城市化水平、三产就业比例、农业机械化程度、农产品产业状况等几个方面，对我国和世界发达国家进行比较。

1940—1950 年，美国的社会经济发展进入工业化后期，产业结构中的二、三产业产值占 95% 左右，非农劳动力占 87% 左右，第三产业就业人数不断上升，超过 50%。因农业机械化程度高，农业就业人口仅占 10% 左右，并在 20 世纪 60 年代达到农业全面机械化[6]。与之相比较，我国 2021 年末的一二三产就业人数比例分别为 22.9%、29.1%、48%，全国农作物耕种收综合机械化率 72.03%[7-8]。在发达国家，农产品加工业产值与农业总产值之比在 2003 年已经达到 3.5∶1，现在为 4∶1 左右，食品加工业产值占 GDP 的比例达 20%，远远高于电子、汽车、钢铁等产业[9-10]。我国目前的农产品加工业产值与农业总产值之比仅为 2.5∶1，“十四五”农业发展规划目标为 2025 年达到 2.8∶1，说明我国农产品加工能力及创收能力与发达国家的差距较大[11-12]。美国农业工程师学会于 2005 年改名为美国农业与生物工程师学会（ASABE），可见，西方发达国家在基本实现农业农村现代化之后的 50 年内，仍然致力于农业工程学科研究[13]。

按照上述指标分析，我国当前农业农村现代化水平大致与美国 1950 年相当。我国农业发展特点及阶段表明，受农业农村发展的历史和客观现实条件限制，农业工程学科发展阶段尚未结束，还处于农业工程大力发展阶段。我国国情特色、城乡二元发展的不平衡、农业农村客观条件及发展阶段等，决定了我们不能照搬国外农业工程发展和进阶模式，一定要发展具有中国特色的农业工程学科及技术模式。随着乡村振兴战略的提出及实施，在我国农业农村资源、人口环境及生态、能源的发展瓶颈下，农业工程学科面临机遇和挑战。粮食安全战略、绿色食品目标、美丽乡村、生态文明、公共设施建设、城乡一体化发展等，不仅要求大力发展传统的农业工程学科及技术，深入融合生物、信息化、自动化、智能化技术；而且要求突破传统农业工程学科领域，开拓创新，发展颠覆性技术，结合我国新农科、新工科教育改革创新，发展完善和丰富农业工程学科。为适应中国特色、乡村振兴发展要求，本文提出可拓展的农业工程领域，包括生态农业工程、物理农业工程和生物系统工程等，其中生物系统工程是我国农业工程面向世界前沿的发展方向，本文仅就生态农业工程拓展方向进行阐述。

2　生态农业工程的内涵及作用

2.1　生态农业工程的概念及内涵

生态农业工程是农业工程的生态化发展，是为了满足生态化社会及农业农村发展需求，在农业农村建设领域，在农业工程学科基础上，融入生态学、系统工程学理论，采用生态工程技术方法，在农业工程技术体系中综合农业、农村、自然、资源及环境因素，遵循整体、系统、循环和协调发展理念，提升农业工程学科的理论和方法，保障社会的粮食安全、食品安全和生态安全，并综合提高经济、社会和生态效益，实现农业可持续发展的学科[13]。

基于农业工程学科的二级学科内容，生态农业工程的内容包括生态农村能源工程、生态农业机械化工程、生态农业水土工程、生态农业土地利用工程、生态农业生物环境工程和生态农产品加工工程等。

我国传统农耕文化已经融入生态文明的思想，我国农业生态工程亦有 50 多年的发展历史。农业生态工程是将生态工程原理应用于农业生产的工艺体系和技术，其实质是应用生态学原理，结合系统工程方法和现代技术手段，进行农业资源高效、综合利用的生产方式，

是实施农业可持续发展的技术体系[14]。本文所提出的生态农业工程，不同于已有的农业生态工程。农业生态工程是基于生态工程而发展的，具有普遍性，生态工程在农业中的应用工艺、方法及措施都是农业生态工程的范畴。而生态农业工程是基于农业工程而提出，农业工程具有 120 年左右的发展历史，具有较成熟的多学科理论基础、学科体系，创造了现代化、规模化、信息化农业成就。生态工程与农业工程的交叉融合，即农业工程的生态化发展是生态农业工程的内涵，生态农业工程属于农业工程的范畴及拓展。

2.2 生态农业工程与农业工程的关系

纵观农业工程的发展，一方面，早在 20 世纪四五十年代，农业工程就开始关注环境污染问题，现代农业工程的各个分支和二级学科多包含一定的生态保护理念。如农业机械化发展一直致力于信息化、智能化、节能环保的机械系统开发，保护性耕作及精准农业的发展，农业水土工程内容之一是实施水土保持工程，农业生物环境工程是推动新型工业化畜禽养殖的绿色发展，农村能源工程旨在通过沼气、农业废弃物资源化利用等生物质能源技术建立可持续的能源供应体系等，均体现为资源节约、环境保护、生态可持续发展的一系列工程措施[13]。另一方面，长期以来，生态农业工程却并未进入我国农业工程学科的主流，仅仅是相对分散、孤立地渗透在分支（二级）学科中，难以充分发挥其在农业领域的应用潜力，是农业工程学科发展的一种不平衡且难以满足现代生态保护需求的问题[15]。

以生态文明建设为重点的乡村振兴，为拓展新的农业工程分支（二级）学科带来了难得的机遇，农业工程应融合农业生物科学与生态、工程、经济、人文社会科学等，积极拓展和建设生态农业工程二级学科，突出农业工程技术中的生态因子，以更契合乡村振兴对生态文明建设的需求，在服务于我国农业经济社会建设中创新发展。为更好地适应当前农业农村发展需求，服务于乡村振兴，在农业工程二级学科基础上，提出农业工程拓展生态农业工程、物理农业工程、生物系统工程等创新二级学科方向（图 1）[16]。其中，生物系统工程是农业工程学科的世界前沿研究方向；其他几个创新二级学科方向将另文讨论；生态农业工程是本研究的重点，为农业工程和生态工程交叉边缘学科，是农业工程的生态化发展方向。

2.3 生态农业工程的作用

生态农业工程立足于农业工程，直接目标是发展生态农业，根本目标是实现农业的可持续发展。当代农业投入大量的化肥、农药，农业机械的使用消耗大量能源，这种高度依赖“石化”的农业，虽然带来了农业的高效高产，但环境资源代价较大。

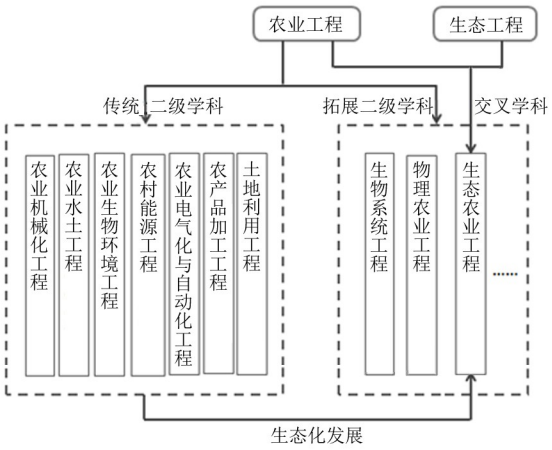

图 1 农业工程学科体系、拓展方向及与生态农业工程的关系
Fig. 1 Disciplinary system and development direction of agricultural engineering and its relationship with ecological agricultural engineering

生态农业工程能够弥补农业工程的不足，对生态学原理、现代农业工程技术进行集成，使二者有机融合，通过应用生态学理论，保护生态环境，保障农业生态系统的持久生产力，使农业向绿色、可持续的方向发展。生态农业工程尊重自然生态规律，推动“生产、生活、生态”的“三生”农业健康，促进“共存、共生、共享”的“三共”农村地区环境的改善、农民生活质量的提高。在乡村振兴时代，生态农业工程的发展，能够更好推进乡村振兴 5 大要求的实现，最终实现中国农业农村现代化，实现社会可持续发展。

3 乡村振兴视角下发展生态农业工程的必要性

3.1 生态文明建设是乡村振兴的重要内容

乡村振兴的总要求是“产业兴旺、生态宜居、乡风文明、治理有效、生活富裕”，涵盖了政治、经济、文化和生态等多个方面[17]。其中，“产业兴旺”提升我国农业实力，离不开农业的绿色发展；“生态宜居”建设美丽乡村，需提升农村环境质量；“乡风文明”推动乡村人文环境建设，包含农村居民环保意识的培养；“治理有效”要求实现乡村的科学管理，包括生态环境保护水平的提升；“生活富裕”包括社会效益、经济效益与生态效益的共同提高。

2017 年党的十九大报告提出我国生态文明建设目标，到 2035 年，生态环境根本好转，美丽中国目标基本实现；为实现这一目标，明确要求加强农业面源污染防治，开展农村人居环境整治行动[18]。在生态文明建设的背景下，走低碳、环保、安全之路是中国现代化农业的新目标、新定位。作为符合生态文明建设、乡村振兴国家战略要求的中国生态、有机农业，重建人与自然共生、经济与发展的和谐关系，生态农业是乡

村振兴的重点任务，是中国可持续农业发展之路，是美丽中国建设及最终实现伟大复兴的乡村发展途径。当代集约化农业对石化能源的高强度依赖带来不可持续发展问题，我国资源、能源、生态环境等问题日益严峻，农业工程科学在农业农村发展过程中，已经在资源节约、环境友好方面做了较大努力，但在系统化、规范化生态农业发展方面尚有欠缺，面对新形势下乡村发展振兴之路，农业工程学科为与乡村振兴的重大发展需求相适应，结合新农科、新工科改革，需要建立系统的农业工程生态化发展学科体系，为更好服务于乡村振兴作出更大贡献。

进入“十四五”时期，“三农”工作的重心历史性地转向全面推进乡村振兴。以绿色发展引领乡村振兴是一场深刻革命。《“十四五”全国农业绿色发展规划》指出，聚焦绿色发展关键领域和薄弱环节，重点是“三加强、一打造”，即加强农业资源保护利用，加强农业面源污染防治，加强农业生态保护修复，打造绿色低碳农业产业链[19]。本着“生态产业化、产业生态化”的原则，谋划产业、发展产业。我国一系列相关发展规划及政策都强调可持续农业、绿色发展、生态发展。

3.2　突出的资源环境问题亟待发展生态农业工程

工业文明及化学农业的发展带来了现代经济社会及农业的快速、繁荣发展，但也加速了资源的枯竭、生态环境的严重破坏[20-21]。我国的耕地、农业用水、能源等存在明显不足，农村生态环境也远未达到清洁宜居的标准。

在资源方面，我国耕地资源不足，人均耕地不足世界平均水平的40%，仅为美国的1/7，印度的1/2；而耕地退化问题却很突出，20%左右的耕地受到污染，800万 hm^2（1.2亿亩）耕地次生盐渍化；农业源的化学需氧量、总氮和总磷3类污染物排放量占整体贡献率的50%以上[22-26]。我国水资源不足，是全球13个人均水资源占有量较低的国家之一，但经济发展导致用水量还在持续增加，而且降水分布不均，淮河以北水资源仅为自然总水量的17%，农业用水更为短缺，同时由乡镇企业排污、农药化肥残留导致的水污染也十分严重[27]。我国能源紧缺，进口依存度较高；能源结构不合理，煤炭仍是消耗能源的主体。2021年煤炭占能源消耗总量的56.0%，天然气、水电、核电等清洁能源消耗占比仅为25.5%[28]。我国农村地区虽有58.6%的农户生活能源主要使用电力，煤气、天然气、液化石油气也是农村主要生活能源，但柴草等低等能源在我国东北等地区使用仍较多，沼气、太阳能的占比均不到1%[29]。

在生态环境方面，我国农村人居环境质量有待提高，如生活垃圾无害化处理率低于50%，远低于城市和县城，生活垃圾已是农村人居环境的“顽疾”[30-31]。开展厕所革命后，全国农村卫生厕所普及率2020年年底达68%以上，但仍有近1/3的农村地区有待完成改厕任务[32]。“双碳”目标需要农业固碳减排，与农业相关的生产活动是温室气体（greenhouse gas，简称GHG）的重要排放源，2018年农业源GHG占全球人为GHG排放总量的11%[33-35]；畜牧业、化肥使用和稻田 CH_4 排放，分别占农业源GHG排放量的54.5%、11.8%和10.1%[33]；作物秸秆燃烧、农田土壤扰动也会导致 CO_2 排放。生态农业工程如畜禽粪便、秸秆等农业废弃物的资源化利用，减少氮肥用量等，均能有效减少GHG排放，有助于“双碳”目标的实现[36-37]。

资源和环境问题使粮食安全压力加剧，粮食安全问题不可忽视。粮食是战略性商品，粮食安全关系国计民生[38-39]。近年来，世界范围内的粮食危机逐渐升级，2021年全球粮食价格上涨近1/3，化肥价格飙升50%，世界严重缺乏食物人数增加100%[40]。粮食安全是社会稳定的压舱石，中国粮食安全、重要农产品的有效供给及食品安全生产等问题是乡村振兴首先要解决的问题。“藏粮于地，藏粮于技”是粮食安全的重要举措，“藏粮于地”强调了耕地资源对粮食生产的重要性，“藏粮于技”体现了科技保障粮食安全、土地耕作潜力的重要性[41-43]。

在保障国家粮食安全及主要农产品供应的前提下，农业资源高效利用、循环经济及生态环境保护技术具有重要价值；在能源需求持续增加，生物质能源、废弃物能源化必须快速发展的形势下，农业工程实施生态化任务艰巨。创建生态农业工程学科，在资源利用、环境保护、生态安全工程技术的系统化、标准化、体系化和全过程实施具有重要意义。

农业是生态产品的重要供给者，乡村是生态涵养的主体区，生态是乡村最大的发展优势。推进生态宜居美丽乡村建设，提升农村生态系统、生产系统及农村人居环境健康水平，既可满足消费者对绿水青山的生态需要，也可为生产优质安全农产品提供良好的生态资源基础。我国农业农村现代化建设目标是2035年农业绿色发展取得显著成效，农村生态环境根本好转，绿色生产生活方式广泛形成，农业生产与资源环境承载力基本匹配，生产生活生态相协调的农业发展格局基本建立，美丽宜人、业兴人和的社会主义新乡村基本建成。

我国农业工程在解决资源紧缺、粮食安全的问题上做了不懈努力，规划提出农业工程的发展目标，2025年前解决农业发展中的关键问题，形成节水增效、绿色、智能、可持续的农业生产技术体系，大幅度提高

农业领域工程科技创新水平。“十四五”农业发展规划目标中，粮食安全科技贡献率达到64%，粮食综合生产能力不低于6.5亿t，农作物耕种收综合机械化率达到75%，畜禽粪污综合利用率达到80%以上，农作物秸秆综合利用率达到86%以上[44]。在中国制造重点领域，2025年国产农业机械目标是市场占有率达到95%以上[45]。这些发展目标中生态安全几乎贯穿所有内容，对农业工程提出了更艰巨的任务，拓展生态农业工程势在必行。

3.3 生态农业工程是乡村振兴的实现途径

将生态和社会效益融合到农业发展道路上是国家乡村振兴战略的核心之一。以生态化为龙头的发展模式，会带动能源创新、水资源保护、土壤改良等一大批产业的发展，形成生态保护的良性循环，这是具有巨大社会效益的发展模式。因建立在生态循环原理基础上，这样的模式也具有抵抗各种风险的强大能力。生态农业工程赋予农业工程在农业生产和农村生活建设的生态理念，可在生产、生活中建立统一的生态系统，实现生态化发展。

在乡村建设及生活方面，如农业建筑环境与能源工程实施生态化建设，生态化农业水土工程治理污水、改善乡村环境、提升生态保护水平；在能源创新上，发展生物质能、太阳能光伏发电，以及小水电、风能等农村能源环境工程，可充分利用农业，对粪污进行资源化处理，治理生态环境，发掘利用农村地区的可再生能源，满足农村地区的能源需求，并减少常规石化能源带来的环境污染，推动农村能源转型，构建清洁低碳、生态环保的农村现代能源体系，具有广阔的发展前景[46-47]。

农业生产方面，如生态化农业水土工程在节水灌溉方面，喷灌、微灌等节水灌溉技术能实现精准灌溉，具有节水、增产、适应性强等优点，可在一定程度上解决农业发展和水资源短缺的矛盾[27,48]；结合物联网、大数据、人工智能等信息技术，节水灌溉技术向智能化方向发展，灌溉用水能得到更有效的利用，有效推动农业绿色、生态化发展。生态化的土地治理工程，实施路田规划整治、土壤改良，可改善土壤理化性质、提高土壤肥力，发挥明显的增产作用；提高水肥利用率，减少资源浪费；降低土壤中有毒有害物质含量，保护土壤的生态环境状况，保障农产品质量安全[49-50]。土壤改良技术为我国的盐碱土改良、土壤重金属污染治理等提供了可靠的技术支持。土地整治实现耕地质量提升、削减污染，提高粮食单产及保障质量。重建种植业与养殖业之间的内在生态联系，以种植业的发展来消纳养殖业的废弃物，由后者提供有机肥、减少化肥施用量，是打赢农业面源污染攻坚战的有效途径与措施，更可以提高农产品质量，实现农业高质量发展[51]。此外，种养结合、种植多样化，还可丰富物种多样性，提高系统稳定性和抗风险能力。笔者认为，生态农业工程创新方向之一，应考虑适应生态农业的多种需求的各种农业工程技术，如适宜种养结合的土地整理工程技术、农田水利工程措施，以及适合种植多样化的农业机械装备的开发设计等。

3.4 乡村振兴呼唤生态农业工程

农业工程学科已经成熟但存在生态理论系统性不足问题。农业工程为多专业、多学科交叉综合边缘学科，经过100多年的发展历程，其内容在生产实践中不断丰富完善，下设农业机械化工程、农业水土工程、农业生物环境工程、农村能源工程、农业电气化与自动化工程、农产品加工工程和土地利用工程7个二级学科[16]。

生产中的农业工程重点主要包括农田基础设施工程、种养业生产装备与设施工程、农产品产地加工储藏装备与设施工程、农产品流通装备与设施工程、农产品生产环境保护装备与设施工程、现代农业公共服务装备与设施工程等[52]。总体而言，农业工程专业领域发展充分，研究深入且较成熟，但综合集成技术发展不足且较薄弱。针对我国农业农村发展的特殊阶段、乡村振兴战略，有关生态文明建设、有机农业、可持续农业的发展要求，农业工程各专业领域都赋予了生态保护、资源节约及人与自然和谐的内容，在一定程度上遵循了生态保护和可持续发展的理念，如农业机械的节能减排、节水灌溉、农业废弃物循环利用、精准智能化施肥、播种和施药等，但是缺少系统的生态农业工程理念、设计、规划及管理措施。已有农业工程环保措施处于局部的、阶段性的和不完全的过程中，难以满足乡村振兴全局性、全链条及整体系统协调性理论技术需求。发展生态农业工程，推动农业工程向生态化方向发展，可以更好地适应当前农业农村发展需求，为农业生产、农村生态环境保护、农民生活质量提升提供农业工程科技支撑，乡村振兴时代命题呼唤生态农业工程的发展。

4 生态农业工程服务乡村振兴的发展建议

4.1 发挥农业工程在乡村振兴中的系统作用

农业工程是多专业综合交叉边缘学科；农业工程科技作为农业科技转化的重要组成部分，是农业生产力的重要支撑，是引领与驱动农业农村社会进步的重要动力，也是实现农业现代化及乡村振兴的技术支撑和保障。乡村振兴是解决“三农”问题的关键，涉及诸多方面，是围绕农业产业发展、农村环境改善和农民生活水平提高的系统工程。乡村振兴要求的环境和生态方面，体现农业工程多领域多技术的系统应用。为

实现生态宜居目标，利用3S技术对人居环境的适宜性进行评价，指导进一步改进，是信息农业技术的典型应用。农村生活垃圾的收集、处理和资源化利用过程，涉及基础设施道路建设、装备机械工程技术及系统规划优化技术等多专业协同应用。通过多种方式包括堆肥、厌氧发酵产沼气、裂解生产燃气、焚烧等进行生活垃圾处理，兼顾了环境改善及废弃物资源化和农业资源的循环利用。在农村生活污水处理方面，有生物滤池、人工湿地、稳定塘、生物膜及综合处理工艺等，还有生物质能源、环境和生态等多项技术。另外，大力发展农产品深加工业，农产品冷链物流体系建设，建立农产品加工、仓储物流、产地批发市场完善的系统；产品市场可发展农产品电子商务，充分利用互联网等现代信息技术，对大田种植、畜禽养殖、渔业生产等进行信息管控，采用大数据、云计算等技术，改进监测统计、分析预警、信息发布等手段，健全农业信息监测预警体系。该系统涉及农产品加工技术、加工设备、储运设备、信息技术及统筹管理和系统设计规划等多项农业工程技术的联合应用。可见，农业工程集成技术和系统管理、科学规划，满足乡村振兴的多技术、融合发展的要求并可为其提供强有力的支撑，乡村战略的实施也为农业工程科学和技术的发展、实践带来前所未有的舞台和机遇。另一方面，全面推进乡村振兴对重点为服务于农业生产的传统农业工程提出很大的挑战，农业工程必须及时进行学科内容的拓展及创新，适应和满足农村现代化对工程技术的重大需求，在发展服务农业生产的工程技术基础上，注重农业工程生态化发展，重点拓展农村工程技术、生态工程技术，是农业工程面临的重大任务。

4.2　突出乡村振兴中农村建设工程领域

我国农业工程学科是在借鉴美国农业工程学科发展的基础上创建的，与西方农业工程相比，我国的农业工程早期实践首先重视农业生产工程技术，也对农民生活和农村经济相关的工程技术给予了重视，而且在农民生活的改善、生态环境的保护和农村经济的发展方面取得了重大成绩。如改革开放之初，由当时的中国农业工程研究设计院（农业农村部规划设计研究院）引领的农业农村能源工程等成功实施，薪炭林、省柴灶、沼气、风电、小水电及太阳能的应用等，有效解决了农民生活和农村经济、环境问题的实际问题。因此，我国农业工程科技实践早期就重视“三农”发展的需要。我国农业工程学科创始人之一陶鼎来曾经指出：“农业工程学科广泛性是由农业生产、农民生活和农村经济的发展需要决定的，农业工程所服务的农业是广义的农业，即包括农业生产、农民生活和农村经济[53]。”可见，我国的农业工程学科及其应用在创立之始确立的农业工程学科服务对象就是为农业生产和农村生活方面服务的。

乡村振兴发展规划将解决“三农”问题重点从农业生产扩展到乡村全产业链条，扩展到乡村生产、生活、生态的全方位和全过程，把乡村国土空间作为资源依托与产业开发对象，推动一二三产业融合，城乡一体化可持续发展，推进乡村全面振兴[54]。面对乡村振兴庞大的系统工程发展需要，农业工程学科发展必须与乡村振兴的总体规划和部署有效对接，并在广阔的国土空间上，分区域、分阶段、有针对性地面向丰富多样的现实需求和具体的发展环境条件，遵循学科创新内在的发展规律进行调整、改革和完善[55]。综合考虑中国农业工程科技实践发展的内涵和乡村振兴的现实需求，在原来重点发展农业生产服务的农业工程基础上，为了强调农村工程发展重点，为了适应乡村振兴重大任务的需要，有专家学者提出，在乡村振兴背景下农业工程可战略性地改为农业农村工程，作为重要发展阶段性和重大发展战略的调整，将具有深远和重大意义。生态农业工程内涵中的“系统工程”及“关于整体、循环、协调及再生”的生态理念，具有典型的区域整体系统性，在乡村发展中推动农业生产与农民生活协调发展，将是生态农业工程的重点发展方向。

4.3　发挥农业工程学科对生态农业工程的支撑作用

作为农业工程领域的创新和拓展，生态农业工程强调生态学理念，结合生态学原理，以实现经济效益、生态效益和社会效益兼顾的复合性目标。生态农业工程的创新拓展了农业工程学科的内涵，同时其发展也离不开已有农业工程理论和技术的支撑，需要充分利用农业工程的学科基础，促进自身的发展和建设。农业工程是一门交叉科学，综合了农学、生物学、工程学、经济学和管理学等多学科、多领域的原理与技术，如系统理论、工程技术等，并吸收和引入了无人机、遥感技术等尖端科技。生态农业工程也需在多学科、多领域原理与技术的融合和协同中，实现学科的长足发展。农业有其特殊性，具有与自然资源要素天然共生的属性，因此生态农业工程需基于生态科学、农学本身的特性开展学科研究，探索农业生产的内在规律、农业要素与各环境因子之间的复杂关系等，后者正是生态学的精髓所在[56]。生态农业工程的发展，还要通过制订生态农业发展系列标准，推动生态农业工程的标准化。应制定符合国情的生态农业发展标准、生态农业推动乡村振兴的标准，包括生态农业门类、体系和可以区分的次生产业种类标准、生态农业价值核算标准，生态农业推动乡村振兴的目标框架、核算框架、组织框架标准等；此外也需追踪世界生态农业发展前沿，制定生态农业发展的国际合作规划；加强生态农

业推动乡村振兴的高层研究、战略规划和方案设计；并要加大公共投入，进行典型示范引领。此外，推动生态农业工程发展，需要以农业农村发展为统领，整合农业工程各个二级学科专业领域的生态化发展技术，进行整体、系统的工程规划、设计及实施，实现整体协调发展。

4.4 加强生态农业工程学科研究及人才培养

站在乡村振兴社会需求的角度，提出生态农业工程的拓展方向，其发展壮大需要根据学科特点，合理规划系统和完善的学科体系是后续重要研究内容，使人才培养与学科发展相匹配，培养专业基础深厚并具有良好实践经验的生态农业工程复合型人才至关重要。

（1）进行学科规划及设计。根据生态农业工程的服务对象、基础知识、理论和实践能力要求，科学规划和设计人才培养的知识结构，合理设置并统筹完善学科体系。加强生态农业工程学科研究，强化具有支撑作用的基础学科、有优势的重点学科的地位。学科注重需求导向，围绕乡村振兴国家战略下的农业农村发展重大需求进行设置；注重创新，追踪国际农业工程学科发展前沿，设置具有创新性的学科方向。通过系统而科学的学科规划与设计，使生态农业工程二级学科在农业工程框架下得到发展，为我国农业农村建设和乡村振兴作出贡献。

（2）重视农业工程专业基础。生态农业工程立足于农业工程，是农业工程的创新拓展。人才培养应重视整体宏观的农业工程专业基础知识，如农业机械化及其自动化、农业电气化、农业建筑环境与能源工程、农业水利工程等分支学科的基本知识；注重生态农业工程的学科基础，深刻把握学科内涵、范畴、体系等相关专业知识；此外，还需了解学科发展趋势和方向，如生物系统工程是农业工程未来的发展方向和趋势之一。

（3）培养复合型人才。生态农业工程是交叉学科，融合了生态学、系统工程、生物学、农学、农业经济学等多门学科知识和技能，因此需要培养复合型人才。为此，在学科专业设置上要全面，既覆盖所有与生态农业工程有直接关系的重要学科，同时又能紧跟学科前沿，设置有特色、有学科价值的专业方向，培养具有广阔视野的复合型人才。

（4）强调实践经验。生态农业工程是基于服务乡村振兴提出的，生态农业工程人才既要有理论知识，还需要具备良好的实践经验，能够将相关技能与知识综合应用，在农业生产、农村环境改善、农村经济发展等方面切实发挥高素质人才的作用。为此，应设立生态农业工程相关实习基地或者站点，使专业人员获得尽可能多的实践机会。

5 结论

（1）分析了世界及我国农业工程学科发展概况。世界发达国家在20世纪60年代实现了农业农村现代化，并在20世纪末将农业工程学科转变为生物系统工程，其教育体系和研究内容均做了相应转换。根据我国农业农村特色、发展阶段及乡村振兴战略重大需求，我国农业工程学科尚未达到完全转向生物系统工程学科的时机，需在原有二级学科的基础上拓展创新学科方向——生态农业工程。

（2）提出生态农业工程的概念、内涵及其在乡村振兴中的作用。生态农业工程是农业工程的生态化发展，是在农业农村建设领域融入生态学、系统工程学理论，采用生态工程技术，在农业工程技术体系中综合农业、农村、自然、资源及环境因素，遵循整体、系统、循环和协调发展理念，提升农业工程学科的理论和方法，保障粮食、食品和生态安全，并综合提高经济、社会和生态效益，实现农业可持续发展的学科。生态农业工程可对农业生产进行整体设计和管理，促进农业绿色、可持续发展，并促进农村地区环境改善、农民生活质量提高。

（3）论述了拓展生态农业工程方向的必要性。从生态文明是乡村振兴的重要内容、我国资源环境能源粮食问题突出、生态农业工程是乡村振兴的实现途径，以及乡村振兴呼唤生态农业工程等几方面，论述拓展生态农业工程方向是农业工程学科为适应乡村振兴发展的创新拓展领域。

（4）提出生态农业工程发展建议。发挥农业工程在乡村振兴中的系统作用、突出乡村振兴中农村建设工程领域、发挥农业工程学科对生态农业工程的支撑作用，以及加强生态农业工程学科研究及人才培养。

农业工程的生态农业工程创新适应我国当代绿色发展、生态振兴的内在要求，将对我国农业生产实践、农业工程学科建设、农业农村现代化建设发挥重要的作用。

参考文献

[1] 中共中央 国务院印发《乡村振兴战略规划（2018-2022年）》[EB/OL]．（2018-09-26）．http://www.gov.cn/zhengce/2018-09/26/content_5325534.htm.

[2] 蒋亦元．面向21世纪的美国农业工程教育[J]．农业工程学报，1997，13(2)：12-17.
JIANG Yiyuan．Facing the 21st century development of agricultural engineering education in U. S.[J]．Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，1997，13(2)：12-17.

[3] SCOTT N R．Engineering for the world's agricultural，food and

environmental needs for the next century[C]//Proceedings of International Conference on Agricultural Engineering Education and Rural Development. Beijing：BeijingAgriculturalEngineeringUniversity，1992：1-7. .

[4] EIRINIPANTAZI X，MOSHOU D，BOCHTIS D. Intelligent data mining and fusion systems in agriculture[M/OL]. New York：Academic Press，2020. https://www.sciencedirect.com/book/9780128143919.

[5] 应义斌，赵文波，何勇，等. 建立生物系统工程学科的探索[J]. 农业工程学报，2003，19(3)：23-26.
YING Yibin，ZHAO Wenbo，HE Yong，et al. Establishment of biosystems engineering program[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2003，19(3)：23-26.

[6] 盛慧，杜为公. 欧美主要国家农村发展经验研究[J]. 现代营销，2019(3)：10-12.

[7] 农业机械化管理司. 2021年全国农业机械化发展统计公报[EB/OL].(2022-08-17). http://www.njhs.moa.gov.cn/nyjxhqk/202208/t20220817_6407161.htm.

[8] 人力资源和社会保障部. 2021年度人力资源和社会保障事业发展统计公报[EB/OL].(2022-06-07). http://www.mohrss.gov.cn/xxgk2020/fdzdgknr/ghtj/tj/ndtj/202206/t20220607_452104.html.

[9] 朱明. 关于我国农产品初加工的思考[J]. 农业科技与装备，2011(11)：12-13，15.

[10] 王凤霞，江雪梅. 国外农产品加工业发展的经验及启示[J]. 哈尔滨商业大学学报(社会科学版)，2002(1)：19-21.
WANG Fengxia，GANG Xuemei. The experiences and enlightenments of foreign agricultural product deeply processing enterprises[J]. Journal of Harbin University of Commerce(Social Science Edition)，2002(1)：19-21.

[11] 十年来我国乡村产业发展取得明显成效[EB/OL].(2022-06-27). https://baijiahao.baidu.com/s?id=1736787818114290256&wfr=spider&for=pc.

[12] 农业农村部关于印发《全国乡村产业发展规划(2020—2025年)》的通知[EB/OL].(2020-07-16). http://www.moa.gov.cn/xw/bmdt/202007/t20200716_6348795. htm.

[13] 魏秀菊. 服务于乡村振兴的农业工程发展战略研究[R]. 北京：农业农村部规划设计院，2022.

[14] 李维炯，李季，许艇. 农业生态工程基础[M]. 北京：中国环境科学出版社，2004.

[15] 程序. 西部大开发中的农业工程问题[J]. 农业工程学报，2000，16(3)：1-3.
CHENG Xu. How does agro-engineering discipline to better serve the development of western China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2000，16(3)：1-3.

[16] 中国科学技术协会. 农业工程学科发展报告(2014—2015)[M]. 北京：中国科学技术出版社，2015.

[17] 朱沁夫. 基于绿色发展理念的乡村振兴路径分析[J]. 环境与可持续发展，2019，44(5)：73-77.
ZHU Qinfu. Path analysis of rural revitalization based on the concept of green development[J]. Environment and Sustainable Development，2019，44(5)：73-77.

[18] 决胜全面建成小康社会　夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利：在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[EB/OL].(2017-10-27). http://www.gov.cn/zhuanti/2017-10/27/content_5234876.htm.

[19] 农业农村部　国家发展改革委　科技部　自然资源部　生态环境部　国家林草局关于印发《“十四五”全国农业绿色发展规划》的通知[EB/OL].(2021-09-07). http://www.moa.gov.cn/govpublic/FZJHS/202109/t20210907_6375844.htm.

[20] 隋斌，董姗姗，孟海波，等. 农业工程科技创新推进农业绿色发展[J]. 农业工程学报，2020，36(2)：1-6.
SUI Bin，DONG Shanshan，MENG Haibo，et al. Innovation in agricultural engineering and technology to accelerate green development of agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2020，36(2)：1-6.

[21] 周红民. 我国绿色农业发展存在的问题与对策研究[J]. 地方治理研究，2017(1)：23-30.

[22] 生态环境部　国家统计局　农业农村部关于发布《第二次全国污染源普查公报》的公告[EB/OL].(2020-06-09). https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk01/202006/t20200610_783547.html.

[23] 成杰民，张英，王岩. 中国污染农地整理工程的环境问题及解决途径[J]. 农业工程学报，2016，32(16)：1-6.
CHENG Jiemin，ZHANG Ying，WANG Yan. Potential environmental problems resulted from contaminated farmland and solution for land consolidation in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2016，32(16)：1-6.

[24] 石彦琴，高旺盛，陈源泉，等. 耕层厚度对华北高产灌溉农田土壤有机碳储量的影响[J]. 农业工程学报，2010，26(11)：85-90.
SHI Yanqin，GAO Wangsheng，CHEN Yuanquan，et al. Effect of topsoil thickness on soil organic carbon in high-yield and irrigated farmland in north China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering，2010，26(11)：85-90.

[25] 徐明岗，张文菊，黄绍敏. 中国土壤肥力演变[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2015.

[26] 何李花. 我国耕地污染的现状及治理对策[J]. 农村经济与科技，2017，28(21)：8-10.

[27] 杨立凡，马泽宇，佘思，等. 农业节水灌溉技术及应用[J]. 农业工程，2018，8(1)：78-80.
YANG Lifan，MA Zeyu，SHE Si，et al. Technology and application of agricultural water-saving irrigation[J]. Agricultural Engineering，2018，8(1)：78-80.

[28] 国家统计局. 中华人民共和国2021年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL].(2022-02-28). http://www.stats.gov.cn/xxgk/sjfb/zxfb2020/202202/t20220228_1827971.html.

[29] 国家统计局. 第三次全国农业普查主要数据公报(第四号)[EB/OL].(2017-12-16). http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/201712/t20171215_1563634.html.

[30] 童琳，刘畅，宋薇. 农村生活垃圾处理现状及问题浅析[J]. 建设科技，2021(7)：50-55.
TONG Lin，LIU Chang，SONG Wei. Current situation and problems of rural domestic waste treatment[J]. Construction Science and Technology，2021(7)：50-55.

[31] 张萍. 协同治理理论视角下农村生活垃圾处理面临的问题与对策研究[D]. 曲阜：曲阜师范大学，2021.

[32] 农村厕所革命取得积极进展 全国农村卫生厕所普及率超68%[EB/OL].(2021-04-08)https://henan.china.com/caijing/cj/2021/0408/2530165919.html.

[33] 傅伟军，徐向瑞，魏玲玲，等. 生物炭农田应用的固碳减排研究进展[J/OL]. 南京信息工程大学学报(自然科学版). http://kns.cnki.net/kcms/detail/32.1801.N.20220712.1155.002.html.

[34] REAY D S, DAVIDSON E A, SMITH K A, et al. Global agriculture and nitrous oxide emissions[J]. Nature Climate Change, 2012, 2(6): 410-416.

[35] MONTZKA S A, DLUGOKENCKY E J, BUTLER J H. Non-CO_2 greenhouse gases and climate change[J]. Nature, 2011, 476(7358): 43-50.

[36] 严圣吉，邓艾兴，尚子吟，等. 我国作物生产碳排放特征及助力碳中和的减排固碳途径[J]. 作物学报，2022，48(4)：930-941.
YAN Shengji, DENG Aixing, SHANG Ziyin, et al. Characteristics of carbon emission and approaches of carbon mitigation and sequestration for carbon neutrality in China's crop production[J]. Acta Agronomica Sinica, 2022, 48(4): 930-941.

[37] 柴如山. 我国农田化学氮肥减量与替代的温室气体减排潜力估算[D]. 杭州：浙江大学，2015.
CHAI Rushan. Estimation of greenhouse gases mitigation potential under reduction and substitution[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.

[38] 仇焕广，雷馨圆，冷淦潇，等. 新时期中国粮食安全的理论辨析[J]. 中国农村经济，2022(7)：2-17.
QIU Huanguang, LEI Xinyuan, LENG Ganxiao, et al. A comprehensive theoretical analysis of grain security in the new era[J]. Chinese Rural Economy, 2022(7): 2-17.

[39] 卫志民，于松浩. 我国粮食安全保障体系构建研究：结构特征、潜在挑战与路径优化[J]. 理论学刊，2021(4)：70-78.

[40] 国际组织呼吁多边合作应对粮食安全[EB/OL]. (2022-05-20). https://m.gmw.cn/baijia/2022-05/20/1302955660.html.

[41] 梁鑫源，金晓斌，韩博，等. 新时期“藏粮于地、藏粮于技”战略解析与路径探索[J]. 中国农业资源与区划，2022，43(4)：1-12.
LIANG Xinyuan, JIN Xiaobin, HAN Bo, et al. Strategic analysis and path exploration of "grain storage in land and technology" in the new era[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planing, 2022, 43(4): 1-12.

[42] 赵和楠，侯石安. 乡村振兴战略下土地治理投入对粮食生产的影响：“藏粮于地”“藏粮于技”一体推进的经验证据[J]. 贵州社会科学，2021(5)：153-160.

[43] 沈仁芳，王超，孙波. “藏粮于地、藏粮于技”战略实施中的土壤科学与技术问题[J]. 中国科学院院刊，2018，33(2)：135-144.
SHEN Renfang, WANG Chao, SUN Bo. Soil related scientific and technological problems in implementing strategy of "storing grain in land and technology"[J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2018, 33(2): 135-144.

[44] 中国工程科技2035发展战略研究项目组. 中国工程科技2035发展战略丛书(综合报告)[M]. 北京：科学出版社，2019.

[45] 《中国制造2025》重点领域技术路线图[R]. 北京：国家制造强国建设战略咨询委员会，2015.

[46] 冯凯辉，李琼慧，黄碧斌，等. 中国农村能源发展关键问题[J]. 中国电力，2022，55(6)：1-8.
FENG Kaihui, LI Qionghui, HUANG Bibin, et al. Key issues on rural energy development in China[J]. Electric Power, 2022, 55(6): 1-8.

[47] 陈坤，李建忠，张佳. 农村可再生能源发展利用现状与对策[J]. 农业工程，2019，9(9)：67-69.
CHEN Kun, LI Jianzhong, ZHANG Jia. Current situation and countermeasure of development and utilization of renewable energy in rural areas[J]. Agricultural Engineering, 2019, 9(9): 67-69.

[48] 侯书林，刘英超. 国内外节水灌溉技术装备与自控技术综述[J]. 中国农村水利水电，2011(6)：49-51，54.

[49] 史磊，郭朝晖，彭驰，等. 石灰组配土壤改良剂抑制污染农田水稻镉吸收[J]. 农业工程学报，2018，34(11)：209-216.
SHI Lei, GUO Zhaohui, PENG Chi, et al. Lime based amendments inhibiting uptake of cadmium in rice planted in contaminated soils[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(11): 209-216.

[50] HUSSAIN L A, ZHANG Z, GUO Z, et al. Potential use of lime combined with additives on (im) mobilization and phytoavailability of heavy metals from Pb/Zn smelter contaminated soils[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2017, 145: 313-323.

[51] 赵立欣，孟海波，沈玉君，等. 中国北方平原地区种养循环农业现状调研与发展分析[J]. 农业工程学报，2017，33(18)：1-10.
ZHAO Lixin, MENG Haibo, SHEN Yujun, et al. Investigation and development analysis of planting-breeding circulating agriculture ecosystem system in northern plains in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(18): 1-10.

[52] 朱明，郭红宇，周新群. 现代农业产业工程体系建设方案研究[J]. 农业工程学报，2010，26(1)：1-5.
ZHU Ming, GUO Hongyu, ZHOU Xinqun. Implementing scheme for establishment of modern agricultural engineering system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26(1): 1-5.

[53] 陶鼎来. 中国农业工程事业方兴未艾、任重道远：纪念中国农业工程学会成立十五周年[J]. 农业工程学报，1995，11(1)：1-8.
TAO Dinglai. Agricultural engineering in China is developing with magnificent prospects: a speech on the 15th anniversary of the Chinese Society of Agricultural Engineering[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 1995, 11(1): 1-8.

[54] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报，2018，73(4)：637-650.
LIU Yansui. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(4): 637-650.

[55] 隋斌，张庆东，张正尧. 论乡村振兴战略背景下农业工程科技创新[J]. 农业工程学报，2019，35(4)：1-10.
SUI Bin, ZHANG Qingdong, ZHANG Zhengyao. Science and technology innovation in agricultural engineering under background of rural revitalization strategy[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(4): 1-10.

[56] 温铁军，唐正花，刘亚慧. 从农业1.0到农业4.0：生态转型与农业可持续[M]. 上海：东方出版社，2021.