

推动农业工程发展 保障我国粮食安全

魏秀菊, 朱明, 廖艳

农业农村部规划设计研究院战略研究室, 北京 100125

摘要 为更好地发挥农业工程对保障粮食安全的作用,分析了农业工程各分支的不同贡献,并结合我国粮食生产面临的资源、环境和生态约束条件,提出了我国农业工程发展的重点方向。农业工程各分支对保障粮食安全的贡献分别体现在农业机械化提高劳动生产效率,保障粮食种植面积;农业水土工程保障水土资源安全;土地整理工程保障耕地数量和质量;农业生物环境工程实施集约化生产,不与粮争地;农村能源与环境工程减轻环境污染;农产品加工工程减少粮食损耗、种子加工促进粮食增产。农业工程科技在推进高标准农田建设中发挥综合协同左右,其重点研究方向为提高农业机械化、信息化水平,提升农产品加工技术、推进种业工程,发展生态农业工程,完善农田基础设施建设等。粮食安全是综合性工程,统筹实施农业工程技术,可为我国粮食安全提供技术支撑和必要保障。

关键词 农业工程;粮食安全;农业机械化;农业水土工程;土地整理工程;农产品加工工程;高标准农田;生态农业工程

农业文明与以农业机具创新、农业机械革命和农业机械化突出标志的农业工程技术发展息息相关。古时的中国人靠农业工程技术创造了古代农业文明,用石制、铜制、铁制工具改造了当时的蛮荒世界。世界农业工程经过1个多世纪的发展,推动了农业发展、社会进步,使低生产力的农耕畜力手工农业发展为农业生产力高度发达、劳动生产率和资源利用率大幅度提高的现代化农业,对人类及社会进步发挥了重要作用^[1]。

粮食安全是国家安全的重要组成部分。近年来,在地区冲突、世纪疫情等多重因素影响下,世界

变局加剧;我国开始向第二个百年奋斗目标进军,国家粮食安全在现阶段比以往任何时期更加重要。党中央、国务院一直高度重视国家粮食安全问题,习近平总书记多次强调,要把确保重要农产品特别是粮食供给作为实施乡村振兴战略的首要任务,把提高农业综合生产能力放在更加突出的位置,把“藏粮于地”“藏粮于技”落到实处。

联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)1996年在《罗马宣言》中第一次给出了粮食安全的定义:所有人在任何时候都能在物质上和经济上获得足够、安全和

收稿日期:2022-12-12;修回日期:2023-04-02

基金项目:农业农村部规划设计研究院战略研究课题(SC202106);中国科技期刊卓越行动计划期刊项目(卓越计划-C-083,2019—2023)

作者简介:魏秀菊,编审,研究方向为农业水土工程、土地生态工程、乡村振兴及农业工程发展战略,电子邮箱:weixj06@163.com

引用格式:魏秀菊,朱明,廖艳.推动农业工程发展保障我国粮食安全[J].科技导报,2023,41(20):5-19;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2023.20.001

富有营养的粮食,来满足其积极和健康生活的膳食需要与食物喜好。这一定义蕴含粮食数量和质量均能满足需求才能实现粮食安全。粮食安全定义曾多次修订,FAO在2021年给出最新定义是:人人随时可在物质、社会和经济上获取充足、安全和营养的食物,满足自身膳食需求和食物喜好。粮食安全的概念随着时代的变化不断变化,但“任何人在任何时候获得足够食物”这一核心内容始终没有改变。粮食安全是维护经济发展、社会稳定最重要的压舱石。当前和今后一个时期,切实保障我国粮食安全,不断提高粮食安全保障水平,具有重要的现实和战略意义^[2]。

农业工程对我国农业农村发展,特别是对保障粮食生产做出了重要贡献。本研究以粮食生产及粮食安全为目标,分析我国粮食生产面临的问题、农业工程各专业技术对粮食生产发挥的作用,梳理农业工程科技对粮食生产的贡献,探讨如何进一步提升农业工程科技保障粮食安全,并提出农业工程科技未来的重点及综合性发展领域。

1 我国保障粮食安全取得的成绩

我国粮食主要包括谷物、豆类和薯类。谷类是指小麦、水稻、玉米三大作物以及燕麦、大麦、高粱等作物;豆类是指大豆、蚕豆等;薯类是指马铃薯、甘薯等作物。改革开放40多年,我国的农业生产取得了巨大成就,以全球9%的耕地、6%的淡水资源,生产了全球1/4的粮食,养活了全球近1/5的人口^[2]。粮食产量稳步增长,单产显著提高。从2004年到2021年,我国粮食生产实现了“十八连丰”;2021年,粮食总产量达到68285万t,其中谷物总产量达到63276万t,稻谷、小麦、玉米每公顷产量分别达到7113.4、5810.6、6291.0 kg,均明显高出世界平均水平^[3]。2021年,全国谷物自给率超过95%;作为口粮的稻谷和小麦产需有余,完全能够自给,实现了口粮安全^[4]。我国实现了谷物基本自给,供需取得了较好的平衡。此外,我国粮食储备能力显著增强,居民健康营养状况明显改善,贫困人口吃饭问题得到有效解决^[4]。

根据FAO确定的标准,一个国家的人均粮食年占有量需达到400 kg以上。2010年,我国的人均粮食占有量为408 kg,达到安全标准;此后一直稳步提升,2018年达到471 kg,2021年达到483.5 kg,显著超出FAO的粮食安全标准(图1^[5])。粮食生产安全指一个国家粮食自给率达到95%以上^[6]。我国自2005年以来谷物自给率均高于95%,自2015年以来口粮自给率均为100%,实现了口粮绝对安全,完成了谷物基本自给的战略底线任务^[7]。国家粮食生产与农业生产要素、科技要素等密切相关,其中包括农业机械化等在内的农业工程科技是重要科技要素之一。

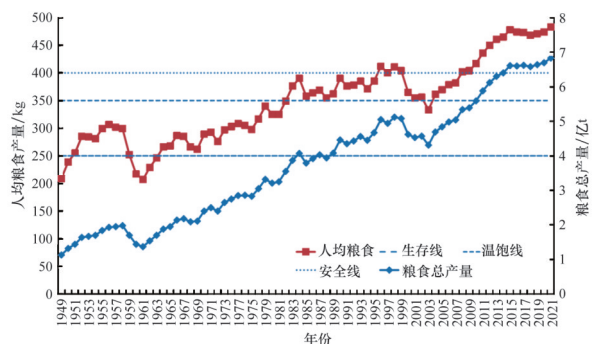


图1 中国粮食总产量和人均产量的变化^[5]

2 我国粮食安全面临的挑战

随着中国人口的增长和经济的发展,粮食需求始终处于高位水平,消费量基本接近生产量,长期以来粮食供求关系处于紧平衡状态。我国粮食安全面临耕地和水资源约束、生态破坏和环境污染、粮食减产与损耗及浪费、农业配套基础设施建设相对滞后等压力和挑战。

2.1 耕地和水资源约束

土地和水是农业生产最基本的资源,但我国耕地和水资源禀赋不足,分布不均匀,是农业生产较大的约束。我国耕地资源短缺。人均耕地不足世界平均水平的50%,耕地数量因“非农化”不断减少,逼近18亿亩红线;由于水果、蔬菜、油料、棉花等经济作物比较效益更高,粮食的种植面积在不断缩减;已有耕地中优质耕地面积占比较低,仅为

31.24%^[8-10]。我国水资源严重匮乏,农业缺水比缺水地更为严重。降雨不均衡,60%左右的降水集中于第三季度,其他季节则缺水干旱;农业水资源利用和管理粗放,我国农田灌溉水有效利用系数约为0.568,而发达国家可达0.7~0.8^[11-12]。因工业和居民生活用水不断增长,农业用水比例被迫下降。2021年,农业用水降至占全国用水总量的61.5%^[13-14]。

2.2 生态破坏与环境污染

良好的自然生态环境是农业高质量发展的基本条件,但我国农业生态环境问题突出,影响农业的可持续发展,进而制约我国粮食安全。耕地质量退化是我国突出的生态问题之一。东北地区的黑土平均厚度从开垦之初的100 cm降至20~30 cm,有机质含量从6%~10%降为2%~3%^[15]。长江以南地区耕地酸化严重,广东省82%的耕地已酸化^[16]。西北地区耕地的盐碱化、荒漠化突出^[17]。整体上我国农田的基础地力仅及欧美国家的80%左右^[15]。土壤污染和农业面源污染问题也较严重。耕地土壤的点位超标率达到19.4%,耕种土地面积的10%以上已受重金属污染^[18]。我国每年产生畜禽粪污约40亿t,化肥平均施用量超过国际安全施用量上限,加上地膜和农药的大量使用等,是造成农业面源污染的主要原因^[19]。此外,地下水超采、水土流失、自然灾害频发及工矿企业生产、生活废弃物污染等问题,对粮食安全造成负面影响。

2.3 粮食减产与损耗及浪费

全球变暖、农业自然灾害造成粮食减产,粮食从田间到餐桌由于观念及管理问题出现各种损耗和浪费,造成另一种意义上的损失,直接影响粮食安全。全球变暖会加剧干旱、病虫害发生,导致粮食作物明显减产,大约每上升1℃可使小麦产量下降4.1%~6.4%^[20]。旱涝是最主要的自然灾害,可造成作物不同程度的减产,例如华东地区春季极严重的涝渍灾害可使冬小麦减产超40%^[21]。病虫害如稻瘟病可造成水稻减产10%~20%,严重时减产40%~50%^[22];施药和除草剂虽可保障粮食产量,但会对粮食质量安全产生影响。粮食从田间到餐桌经历多个环节,其中储存环节年平均损失达9%,每年损失粮食约220亿kg;消费环节则存在

“舌尖上的浪费”^[23]。研究发现,粮食从收获经储粮、储运、加工到消费,全供应链的损失和浪费量达到675亿kg,可占到粮食总产量的11%(图2)^[24]。粮食损耗和浪费不仅代表粮食本身的损失,还意味着粮食生产中耕地、水资源的无效消耗,以及温室气体排放对环境的负面影响。

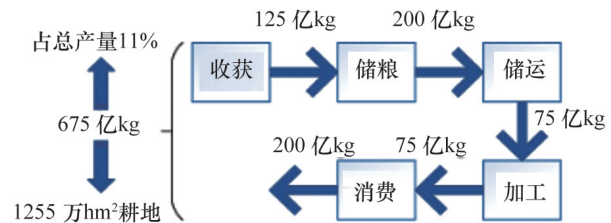


图2 我国粮食产业链各环节食物浪费状况^[24]

2.4 农业配套基础设施建设相对滞后

农业基础设施是农业生产全过程投入公共要素的总和,农田水利、农村交通和农业电力基础设施是农业生产中最核心的三类。我国在这几类设施建设上持续投入较大资金、人力,但总体仍不充分,不能满足我国现代化农业发展需求。因修建时间较为久远,我国很多灌溉设施和水利工程出现了不同程度的损害,灌溉、防洪、排涝功能也受到影响^[25]。截至2020年,我国小型农田水利工程和大型灌排泵站设备的完好率分别不到50%和60%,大中型灌区中有60%工程设施不配套^[26-27]。因为投资大、建设周期长、经济回报收效缓慢,地方政府对农田水利设施建设和维修的积极性不高,资金投入也比较有限。因此,农田水利建设在很多地方相对滞后,难以满足农业发展的需求。

3 农业工程科技对保障粮食安全的重大贡献

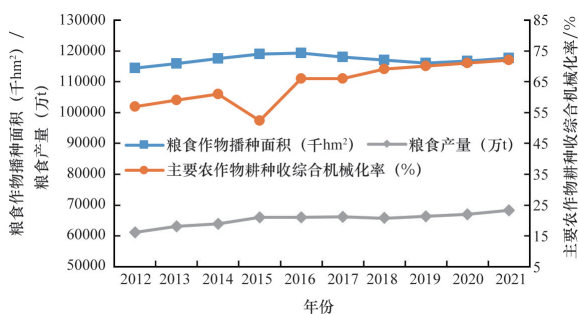
农业工程科技是服务于农业的应用型科学技术,以生物技术和工程技术结合为特色,具有综合、集成、组装的技术优势^[28],是包含工程、生物、信息、管理等不同领域科技的交叉科学技术体系。实践应用经验证明,农业工程科技在提高农业劳动生产

率、抵御自然灾害、实现集约化生产和保护自然生态环境等方面具有显著的作用。

劳动生产率的提高,得益于农业机械化发展。有的发达国家是农产品出口大国、农业强国,从事农业生产的人口却不足总人口的2%。农田水利工程的发展,所以增强农田抗御旱、涝、洪、碱等灾害的能力。我国农田水利工程队保障人民衣、食、住的需求得到满足贡献了积极力量。农业工程化推进农业生产的集约化、工厂化发展。保护地栽培和工厂化饲养,可达到农牧业高产稳产,并实现周年生产。在保护农业自然资源方面,农业工程的目标之一就是水、土地、能源等资源进行合理开发和利用,并使生态环境得到良好保护,最终实现农业农村的可持续发展。

3.1 农业机械化保障粮食种植面积提高粮食产量

新中国缔造者毛泽东同志高度重视农业机械化发展,指出“农业的根本出路在于机械化”。我国农业机械化发展一直是农业现代化建设的重点,特别在改革开放的40多年里取得了重大成就。我国农业机械化发展迅速。农业机械大量投入使用,主要农作物的机械化水平不断提升。分析了2012—2021年我国农业机械化等发展情况,归纳整理如图3所示。由图3可知,该期间,我国主要农作物耕种收综合机械化率从57%增加到72%^[29]。当农作物耕种收综合机械化率分别为小于40%、40%~70%、大于70%时,农业机械化水平被认为分别处于初级、中级、高级阶段^[30]。根据这一划分标准,我国农业机械化目前已进入高级阶段。



注:数据源自国家统计局^[29]

图3 2012—2021年我国主要农作物耕种收综合机械化率、粮食作物播种面积、粮食产量变化

作为一个农业大国,我国第一产业人口数量占据绝对优势,1980年时占比达68.7%^[31]。农业机械化的发展大幅度提高农业生产效率,释放劳动力,我国第一产业人口数量占比不断下降,从2012年到2021年由33.5%减至22.9%^[29]。虽然农业人口占比大幅下降,10年间粮食播种面积并未减少,反而从114368千hm²增长至117631千hm²。粮食产量也稳步提高,从2012年的61223万吨增长到2021年的68285万吨,增幅高达11.54%。农业机械化释放的一产劳动力向第二、三产业转移,2012—2021年期间,第三产业从业人数占比从36.1%增加到48.0%^[29]。农业从业人员的锐减,仍能保证粮食种植面积与产量,没有农业机械化的支撑是不可能的;而且,释放的农业劳动力向第二、三产业转移,也有利于促进我国经济持续、快速和全面发展。此外,农业机械化水平的提高还促进了城镇化率的提高。新中国刚成立时城镇化率仅10.64%,2021年已提高到64.7%^[29, 32]。当前近2/3的人口常住在城镇,充分显示了中国经济社会城市化进程带来的巨大变化。

总体来看,从2012年到2021年,我国第一产业从业人数锐减,粮食种植面积稳定略增,粮食产量明显增加,其保障支撑来自于农业机械化发展。第一产业从业人员向劳动收入更高的第二、三产业转移,乡村居民工资性收入增加,人均可支配收入大幅度提高。总之,我国农业机械化为保障粮食等重要农产品供给、促进农民增收、乡村产业、城镇化发展、打赢脱贫攻坚战提供了强有力支撑。

3.2 农业水土工程保障粮食生产中的水土资源合理利用

农业水土工程是保障区域水土资源安全、粮食安全的基础性工程,主要包括农田水利工程和农村水利工程两部分。其中,农村水利是保障农村人畜饮水安全的工程,农田水利是保障粮食生产水资源供给的工程,为涉及粮食安全的重要基础设施,是本研究重点讨论的问题。

灌溉排水等农田水利工程技术措施及节水农业,可实现水资源的优化配置,改善农田水分状况,减少水土流失和农业面源污染,改善生态环境,提

高农业的抗灾害能力。对多年时间序列农田水利工程发展状况的研究发现,因为我国2011年后逐年加大了对农田水利设施维修重建的投资,农田的抗旱、抗涝保证率得到了提高,成灾率明显减小,粮食减损效果显著^[33]。对粮食产量与其制约因素之间关系的数量分析表明,粮食播种面积、农田灌溉面积、化肥施用量和农田成灾面积4项因素,对粮食产量的影响成数分别为2.8、7.7、2.4和1.5;进一步的弹性分析发现,对提高粮食产能来说,增加农田灌溉面积是非常有效的因素,扩大灌溉面积是提高单产的重要途径,一定条件下,灌溉能将耕地单产从3000 kg/hm²提高至9000 kg/hm²,故水资源是对粮食生产具有决定作用的资源因素^[34]。

新中国成立以来粮食生产取得的重大成就,与农田水利事业的发展息息相关。我国大力发展灌溉农业,有效灌溉面积在新中国成立时仅2.4亿亩,2021年已达11.18亿亩,扩大了约3.66倍,位居世界第一^[11]。近10年来,中央财政累计投入资金1000多亿元用于灌区建设和改造,大中型灌区的农田单产平均每亩提高约100 kg,单产水平是全国平均水平的1.5~2倍^[35]。灌溉地的生产能力更强,全球占总耕地面积20%的灌溉地生产了40%的农产品,大约是占地80%、生产60%农产品的雨养农业产量的2.5倍^[11];我国有效灌溉农田占全国耕地面积的54%,生产了全国75%以上的粮食和90%以上的经济作物,是粮食生产主阵地^[36]。在我国来说,灌溉对粮食增产的直接贡献率约为36.27%^[11]。

农业水土保持工程的免耕和秸秆覆盖等保护性耕作技术,可减轻坡耕地的水土流失,发挥水土保持效应。秸秆覆盖可使土壤流失量减少34.0%~97.9%;免耕与秸秆覆盖可分别减少同等条件下93.6%和97.3%的侵蚀产沙量^[37-38]。保护性耕作技术措施适于在水土流失严重的地区开展,如水土流失面积达1/5以上的东北黑土区、坡耕地分布较广的云贵地区等^[37]。在粮食增产方面,农业水土工程通过改善耕地质量、减少水土流失,能使单产提高约2.43 t/hm²^[39]。

3.3 土地整理工程保障耕地数量和质量

针对我国耕地资源禀赋不足的现状,必须提高

已有耕地的粮食生产能力和扩大耕地面积。农业工程科技中的土地整理工程,通过将细碎的耕地整理成片,扩大耕地面积,有利于规模经营和机械化耕作;通过水利、电力、道路等农田配套设施的建设,能提高耕地质量与综合生产能力及防灾减灾能力,是保障和提高粮食产量的重要途径。

中低产田改造是我国早期施行的较大规模的土地整理工程之一,中低产田是农业生产环境存在明显限制、产量不高的农田。1986年,我国有计划地改造中低产田^[40],采用兴修水利、土壤培肥、培育抗逆作物品种,以及施用化学改良剂等技术,提高中低产田耕地质量和粮食综合生产能力^[41]。中低产田改造典型项目“渤海粮仓科技示范工程”,累计示范推广8016.7万亩、增粮209.5亿斤、节本增效186.5亿元、节水43.5亿方^[42]。在1988—2010年期间,我国共完成面积达3767万hm²的中低产田改造,粮食生产能力提高9000万t,对保障我国粮食安全做出了重要贡献^[43]。

高标准农田建设是我国近年来又一项大规模的土地整理工程。高标准农田是指与现代农业生产和经营方式相适应,旱涝保收、高产稳产,划定为永久基本农田的耕地。2012—2023年连续11年的中央一号文件,以及“十四五”规划,都提出“实施高标准农田建设”工程^[44]。截至2020年底,我国已经完成8亿亩高标准农田的建设。高标准农田集中连片,耕地质量一般可提高1~2个等级,每亩地粮食产能平均增加10%~20%;和非项目区相比,机械化水平可高出15~20%,规模经营土地流转率可高出30%^[45]。高标准农田建设是一项系统化的农业工程综合技术应用,可为粮食安全提供基础保障条件。

3.4 农业生物环境工程保障重要农产品供给且不与粮争地

农业生物环境工程包括设施园艺工程、畜牧工程等,其采用集约化方式,在人工调控的设施环境中实行高密度种植和养殖,发展的农业形式也被称为设施农业。塑料大棚、日光温室、连栋温室是设施农业采用的三类主要设施,其中日光温室设施为我国独创。2018年底,我国各类设施面积超333.3

万 hm^2 , 居世界第一^[46]。设施农业使农业生产摆脱了天然的资源条件约束, 实现了工业化、周年连续生产, 产量大幅度增加, 是新型集约农业的代表, 也是现代农业重要的发展方向。

设施农业产能高, 0.48 亿亩设施农业与 2.4 亿亩传统蔬菜种植的产能等同, 相当于节约了 1.92 亿亩农业用地^[47]。通过推广优良品种、水肥一体化、连作障碍治理技术等, 我国现有设施蔬菜单产可以提高至少 10% 以上, 一年可增加 2300 万 t 蔬菜产能, 相当于节约 1000 多万亩耕地^[48]。设施农业可利用空闲地、废弃地等非耕地, 通过人工创设光、温、水适宜的环境进行生产, 能在我国土地资源约束趋紧的条件下, 实现让地于粮, 使粮食种植面积不被挤占, 是缓解粮菜争地矛盾、应对我国人多地少农业发展约束条件的有效农业工程技术, 在保障粮食安全方面有很大的潜力。

3.5 农村能源与环境工程开拓能源保障生态安全

农村能源与环境工程包括能源生产和环境生态保护等方面。农村地区拥有丰富的生物质能、太阳能等可再生能源, 可就地取材发展生物质能利用、光伏发电等清洁能源; 农村地区有大量畜禽粪污、秸秆等农业废弃物, 采用沼气工程、好氧堆肥发酵技术等可实现废弃物资源化利用。农村能源与环境工程能推动农村能源向清洁低碳的现代能源体系转型, 而且减少农业废弃物对农村环境的污染, 保障农业农村的生态安全和可持续发展。2021 年, 我国农作物秸秆产生量 8.65 亿 t, 畜禽粪便总排放量约 39 亿 t, 数量巨大^[49-50]。据统计, 我国每年产生的农作物秸秆、畜禽粪便、有机废弃物与农产品加工残余物等, 约可制造生物质燃气总量达 1500 亿 m^3 ^[51]。对农业废弃物的资源化利用, 既能获取生产和生活燃料, 减少农户在能源上的支出, 又能从根本上减少环境污染。光伏发电、水利水电、风力发电及地热利用等, 对区域的太阳能、水力、风力和地热能就地取材, 获取清洁的可再生能源, 达到大气污染物和温室气体零排放, 是农村地区具有广阔发展前景的新能源技术。

3.6 农产品加工工程提高粮食产量减少粮食损耗

农产品加工是以农、牧、水产品为原料进行一

系列工程及工艺技术处理, 使之满足贮藏、流通和消费要求的活动^[52], 分为粮食、油料、果蔬、蛋制品、乳制品、畜禽加工等, 其中粮食加工主要包括干燥与储藏、脱壳、去杂、磨制等; 在加工层次上分初加工和深加工。农产品加工产业是带动农业发展的引擎, 可减少农产品产后损失, 是推进农业产业化的核心内容, 也是乡村振兴产业发展的重要内容之一。

农产品产地初加工将上游的育种、种植、采收与下游的农产品深加工联系在一起, 是农业产业链承上启下的重要节点^[53]; 初加工机械化也是我国农业机械化的重要组成部分。三大作物中, 水稻和小麦的初加工机械化水平分别达到 68.55% 和 57.40%; 初加工的脱出、清选和保质三大环节中, 脱出环节已基本实现机械化^[54]。粮食产地初加工延长了粮食的保质期, 可减少粮食产后损失, 保障我国粮食的有效供给。

粮食收储运产业是促进粮食产业化发展的重要组成部分, 是保障国家粮食安全的关键领域^[55]。我国玉米在储藏期间因鼠害、虫害和霉变造成的损失平均为 8% 左右, 减损空间很大^[56]。应用控温储粮、充氮气调储粮、非化学药剂防虫等绿色储粮技术, 能使粮食不发生品质劣变, 控制虫害孳生和蔓延, 减少粮食在储藏环节的损耗, 发挥间接增产、保障粮食安全的作用。

种子是现代农业的芯片, 种子质量直接关系到农产品的产量与品质。在一定的育种技术条件下, 种子加工工程可提高种子质量, 使种子净度更高、生命力更强, 发芽速度更快, 为粮食单产提高打下基础。如表 1^[57]所示, 通过单机和成套设备加工后的小麦种子, 千粒重和容重均比未处理前明显增加, 净度从处理前的 84.2% 分别提高到 93.0% 和 94.6%, 发芽势分别提高 7% 和 2.5%, 发芽率分别提高 0.2% 和 0.8%。种子丸粒化加工技术将农药、肥料和生长调节剂等包被到种子表面, 有利于种子萌发和植株生长, 减少病虫害防治次数; 加工后种子粒度更大、大小更均匀, 也利于机械化精密播种的开展。种子加工可使单产平均提高 5%~10%^[58], 对促进粮食增产、保障粮食安全有积极作用。

表1 粮食种子单机与成套设备加工质量对比

	千粒重/g		容重/(g/L)		净度/%		发芽势/%		发芽率/%	
	实测	提高	实测	提高	实测	提高	实测	提高	实测	提高
未处理的种子	34.0	—	776	—	84.2	—	82	—	93.8	—
清粮机	39.4	5.4	819	43	93.0	8.8	89	7	94	0.2
0.7型选种机	36.2	2.2	823	47	94.6	10.4	84.5	2.5	94.6	0.8

4 保障粮食安全农业工程发展重点方向

以有限的耕地和水资源实现粮食的增产节本增效,根本出路在于科技。只有以现代化的技术和设备装备农业,才能保障粮食安全。一方面要加快种业创新发展,良种是保障粮食产量和质量的基础,通过普查、收集、保护和评估种质资源,丰富我国的种质资源储备,研发杂交育种、分子设计育种、转基因等技术,培育优良品种;另一方面要创新农业工程科技,提高粮食生产的装备化、科学化、现代化水平,推动智慧农业技术的发展。

4.1 推进高标准农田建设提高耕地综合生产能力

土地整治工程是“藏粮于地”“藏粮于技”一体推进的典型载体,其中高标准农田建设是重要抓手。高标准农田建设是一项农业系统工程,是综合、系统、集成的农业工程科技应用,通过完善农田水利、电力、道路等农田基础设施,提升耕地质量和粮食生产能力。在我国农业生产重要区域,高标准农田建设可与农田保护和生态治理相结合,如在东北地区与黑土地保护有机结合,在提高农田综合生产能力的同时,保护耕地生态健康,推动农业可持续发展。我国在2022年已经完成10亿亩高标准农田建成,规划到2030年建成12亿亩高标准农田,确保 6×10^{11} kg粮食产能^[59-60],力争把基本农田全部建设成高标准农田。

4.1.1 完善农田水利、农村道路、农业电力配套基础设施建设

农田水利设施是农田最重要的基础配套设施,需根据区域发展特点,完善农田水利配套基础设施建设,提高农业水资源利用效率,平衡水资源的需用矛盾,提高农田抗灾能力。第一,要根据农业、农村发展需求,对区域农田水利建设进行顶层设计和

统筹规划,加快发展节水农业,构建新型农业用水体系,大规模提高农业用水效率。第二,将物联网、人工智能等先进技术引入灌溉系统,发展自动化、智能化的农田水利灌溉系统,实现单株、农田和区域不同尺度水与作物表型信息的智能感知、用水智能决策与智能控制,实现作物的按需灌溉、精准灌溉^[61]。第三,发展节水农业技术、节水灌溉技术,进一步提高粮食水生产系数,即通过技术和制度创新提高单位水资源的粮食产量,实现农业用水效率的全链条调控、多过程耦合和多要素协同提升,使区域作物耗水量达到最小,最大限度地提高水生产力和水生产效益^[11]。

农村道路交通设施有助于劳动力等生产资料、技术、信息等的跨区流动,加速粮食生产要素投入向生产力的转化^[62-63];田间的机耕道方便农机装备的驶入驶出,并助推农业机械化发展。为了保障粮食生产,我国需完善由田间机耕道和其他干支道组成的粮产地交通路网的建设。

农业电力设施为粮食增产提供新动力,是农田水利等其他农业基础设施的“先行基础设施”^[64]。目前,我国排灌业使用的内燃机正越来越多被电动机取代,排灌业的用电量占到农业用电总量的一半左右^[64]。在未来电力会越来越多地取代柴油和汽油,成为机械设备更清洁的动力来源,需注重对农业电力设施设备的建设、维修和管理。

4.1.2 开展“高标准农田建设+”模式

高标准农田建设实现农业生产条件的优化,结合其他生态措施,可开展“高标准农田建设+”模式。我国东北地区的黑土地被称为“耕地中的大熊猫”,是肥沃高产的农业战略资源。黑龙江省是我国唯一粮食产量超7000万t的省份,与其拥有肥沃的黑土地密不可分;吉林省连续多年超700亿斤的粮食产量,黑土地贡献率超过80%^[65]。但目前黑土

退化严重。对此,我国提出“十四五”期间完成1亿亩黑土地的保护利用任务,黑土土壤平均有机质含量提高10%以上^[66-67]。高标准农田建设可以与黑土地保护利用相综合,探索“高标准农田建设+”新模式,一方面通过有效措施提升黑土土壤有机质含量水平,另一方面按照高标准农田标准建设配套基础设施,提升耕地综合生产能力。

总体来说,高标准农田能显著提升耕地质量,增强土地综合生产能力,推进农田水利等基础设施的现代化建设,促进农业机械化水平的提高,增强农田的抗御灾害能力;有利于良种良法配套、农机农艺融合、肥料统测统供统施、农林病虫害防治统治等集成技术普及应用;还能为促进土地流转和适度规模经营创造有利条件,助推农业向现代化经营方式转变;最终为提高我国粮食的综合产能,保障粮食安全提供坚实的基础^[44, 68]。

4.2 提高农业机械化、信息化水平支撑我国粮食安全

4.2.1 发展多样化农机制造产业完善配套机械服务农业

农业机械化是装备农业发展的基础之一,农机制造业是农机化发展的战略产业,对提高农业生产率与产出率、减轻农民劳动强度,保障粮食种植面积具有重要意义。首先,在乡村振兴新形势下,以乡村振兴、生态建设及可持续发展为目标,农业机械制造应注重发展节约型农业机械,为节水、节肥、节药、节种、节能,以及新能源、环保、精准农业机械及保护性耕作实施创造条件,为农业环境友好、可持续发展创造条件。其次,为保障粮食安全,需重点关注农田基本建设配套机械,包括农田改造、农村基本建设的工程机械和农田基本建设机械,为提高农业粮食生产综合能力提供重要装备支撑;在种植业配套方面,重点发展主要粮食作物生产机械化关键技术及装备,例如水稻生产全程机械化中工厂育苗与装备、优良水稻插秧技术装备及水稻联合收割机装备等^[69]。

4.2.2 融合信息技术推动农业机械智能化发展

我国未来农业机械发展,需推进农机装备和农业机械化转型升级,加快高端农机装备和适用于丘

陵山区小型农机装备的生产研发与推广应用;要促进农机农艺融合,积极推进作物品种、栽培技术和机械装备集成配套;加快主要作物生产全程机械化,提高农机装备智能化水平;应加强农业信息化、数字化建设,加强农业信息监测预警和发布,提高农业综合信息服务水平。需深度融合物联网、大数据、人工智能等先进信息技术,提升农机装备信息化水平。采用先进的信息技术进行农业机械的数字化设计、智能制造、作业和管理^[70],使农业机械具备更为先进的自动化、智能化作业功能,如自动规划路径、自动避障等,能高质量地完成农业生产并提高农业生产率,并为现代化农业提供高科技含量的技术载体与平台。开发研制高效低损收获机械,减少农产品损耗,最大程度做到颗粒归仓,通过减损对保障粮食安全起到积极作用。

总之,农业机械与信息化技术深度融合,将推动农业机械智能化发展,实现农业生产的数字化感知、智能化决策、精准化作业和智慧化管理,使农业劳动生产率、土地产出率和资源利用率进一步提高^[71-72],并显著减少环境污染,促进农业的可持续发展,推动中国农业现代化的实现。

4.2.3 结合精准农业工程技术提高农业资源利用率

农业精准化发展是农业领域的重大技术创新,主要借助RS(遥感)、GIS(地理信息系统)、GPS(全球定位系统)即“3S”技术,以及传感技术等信息技术,自动采集农田土壤水肥信息,识别田间杂草和监测病虫害发生发展趋势等,并以此为依据实施农业机械精准施肥、灌溉、施药、除草等^[69],以减少资源的浪费,降低农业投入品的成本负担,并减轻对环境的污染和破坏。智慧农业是以信息、知识、装备为核心要素的现代农业生产方式,是实现农业精准化发展的有效路径^[61]。

我国农业生产的资源禀赋先天不足,耕地和用水严重不足、农业投入品的利用率不高,造成巨大的浪费和对生态环境的严重污染。提高资源利用率是我国农业在发展新阶段的重要目标,实现2025年农田灌溉水有效利用系数达0.58,畜禽粪污综合利用率达80%以上,农作物秸秆综合利用率

达86%以上^[73],采用提高各种农业资源利用率精准农业技术将是必然的选择。

4.3 提升农产品加工技术推进种业工程发展保障粮食安全

4.3.1 实施种子培育设施工程及加工工程推进现代种业工程发展

现代种业工程保证我国种源自主可控、种业科技自立自强,主要包括种质资源保护、育种创新、品种测试、制(繁)种、种子加工等各个环节。现代种业工程中所有的生物技术过程,无不需要通过工程措施得到实现,如种质资源保护中的种质库修建、环境保护控制、品种测试与遴选、制种加工以及播种等技术,均离不开农业工程设施设备、技术工艺等。种业工程除了核心的生物技术,就是非常重要的农业工程技术。最直接的种子加工工程技术,需改造提高装备和工艺,包括清选设备和工艺、种子包衣设备及工艺等水平,设备的精准化、数字化和智能化发展将进一步提高种子产品质量;还需建设改造种子加工中心,以及一批与种业发展密切相关的种衣剂厂、包装材料厂和种子加工机械厂等相关企业。保障种业工程实施,必须加快完善种业基础设施体系。

4.3.2 提升农产品加工技术水平保障产出的粮食的有效利用

减少粮食产后损失是保障粮食有效供给的重要途径之一。产地初加工工程技术是实现减少粮食产后损失的重要方法。现代干燥、储存、运输等粮食加工技术的进步,能进一步减少粮食在这些环节中的损耗量,发挥隐形增产的作用。农业发展的“十四五”规划提出,到2025年我国农产品加工环节损失率要降到5%以下,到2035年要降到3%以下^[74]。为更好地实现以减损来增产的目的,粮食加工需要加强加工设施的建设,包括高水平的干燥加工、仓储设备建设,需要加强先进的干燥、仓储、保鲜技术的研发,同时还要重视加工标准的构建,并提高民众对减损即增产的认识,以及加强政府的组织领导,确保相关粮食加工政策措施执行落实到位^[75-76]。

在未来的发展中,农产品加工技术和设备应更

多融入计算机、传感器、微电子、图像识别等现代信息技术,向自动化和智能化发展。还需推动粮食质量安全追溯体系的建设,为粮食质量安全提供有效的监管工具,使粮食“从农田到餐桌”全程质量追溯成为可能。

4.4 发展生态农业工程保障粮食质量安全

保障国家粮食安全,必须提升农业可持续发展能力,优化农业生产布局,形成合理的、与资源环境承载能力相匹配的现代农业生产结构和区域布局。通过生态农业工程着力发展生态农业,保护农业资源的健康发展。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,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,实现农业的可持续发展^[77]。在保障粮食生产环境安全方面,生态农业工程有几个重要发展方向。

4.4.1 发展精准施肥和施药技术 防控和治理土壤污染

粮食质量安全关系到消费者安全,是建设小康社会、维护社会公共安全的重要方面。要实现粮食质量安全,必须要保证生态环境安全。化肥、农药等进入农业生产系统,会以表面残留和食物链内循环两种方式,形成粮食安全的系统性风险^[78]。对此,应发展精准施肥和施药技术,对农药、化肥等投入品在数量上精准施用,减少在土壤和水体环境中的残留,进而减少粮食中可能的农药残留和重金属残留。

4.4.2 实施污水资源化治理工程

通过精准化施肥、施药技术,减少化肥施用,开发使用新型肥料,无害化处理畜禽养殖废弃物等,治理农业面源污染,提高农村水体水质。减少农业面源污染和工业点源污染是在源头防止水体污染的措施;而一旦水体被污染,需采用切实有效的污水治理措施,包括工程、生物技术等措施对污水进行净化。此外,还要发展生物质能等可再生清洁能源,推进秸秆等农业废弃物的资源化利用,治理地

膜残留等。这些都是生态农业工程涵盖的内容,对农业生态环境的维护和农业可持续发展具有积极的作用。

5 分析与讨论

5.1 粮食安全要求全方位拓展思路和研究方向

国家或区域粮食安全是一项庞大的系统工程,粮食生产安全是最基本的粮食安全保障,同时,粮食流通、存储及贸易,食物来源的扩展等都是重要方面;此外,除了国内粮食生产与流通,国际粮食贸易也有一定影响。需要从多个维度发力,从国内和国际两个途径着手,做好粮食安全的重大课题。

5.1.1 树立大食物观,向海洋、设施、植物微生物“要”食物

习近平总书记提出要树立大农业观、大食物观,向耕地草原森林海洋、向植物动物微生物“要热量、要蛋白”,全方位多途径开发食物资源。例如,向深海养殖发展,依托先进的工程科技开发养殖工船,就是拓展食物来源的成功尝试。养殖工船可以行驶到水温、洋流、气候最合适的海域,通过50 m深海舱养、连续海水净化等系列技术,为水产品提供良好的生长环境,有效降低养殖成本。我国制造的大型养殖工船,例如海上浮动的超大型网箱,可达10万吨级载重量,每年可提供约3200 t水产品。我国设施农业中的设施蔬菜(含食用菌)生产量占到蔬菜生产总量的1/3,用不足3%的耕地生产了占种植业总产值25.3%的产品,经济效益是露地园艺作物的4~5倍、大田作物的20余倍^[79]。再如,人工合成蛋白是从植物和微生物中获取蛋白质,合成符合人们口感和营养要求的高蛋白食物。这种生产食物的方式可以减轻种植业和养殖业带来的环境和资源压力,为粮食安全、食物安全开拓新的路径。

5.1.2 为缓解水资源和耕地资源贫乏,按资源流的观点开拓粮食国际贸易

一个国家的粮食安全保障措施有两种:一是依靠粮食内循环的生产和流通;二是依靠粮食外循环的国际粮食贸易。前文论述的都是第一种,第二种措施也是行之有效的。以我国第一大粮食作物为

例,2021年,玉米进口量2835万t,比2020年增长1706万t,是2019年进口量的6倍^[80]。这种国际粮食贸易能够打破生产要素水和土地资源紧缺对我国粮食生产的束缚。增加对国际市场的依存度,也是满足我国粮食需求、保障粮食安全的有效途径。

就保护耕地资源方面,我国有严格的法律制度,坚守18亿亩耕地红线,严格实行土地用途管制;采取“长牙齿”的措施,落实最严格的耕地保护制度,严格控制非农建设占用耕地,坚决遏制耕地“非农化”、防止“非粮化”。在水资源保护方面,颁布了水资源保护法。总体看,中国大宗农产品虚拟耕地资源对外依存度为33.4%,虚拟耕地资源净进口量由2000年的675万hm²增加到2017年的6784万hm²^[81]。2021年中国累计进口粮食16453.9万t,是世界第一粮食进口大国。“一带一路”倡议提出前后,我国从“一带一路”沿线国家累计净进口的虚拟耕地分别为83.60万hm²和403.53万hm²^[82]。可见,一带一路框架下,通过与相关国家合作开发农业、进行农产品贸易往来,我国虚拟耕地和虚拟水的进口量大大提高,为保障粮食安全开辟了新途径^[83]。

按照资源流的观点,以决定粮食生产产量的水、土地资源投入的虚拟资源为分析基础,进口粮食意味着进口凝结在粮食中的水、土地资源。从国际市场上获取一定的粮食进口,是某些地域或国家解决粮食生产投入中资源短缺问题的一种重要途径。

5.1.3 粮食流通安全及杜绝食物浪费

粮食流通是指粮食生产后,经过收购、运输加工和保管,流通到消费领域的过程。粮食流通与粮食生产、粮食消费紧密联系,是粮食生产与粮食消费的桥梁,体现粮食生产、市场和消费的统一协调性,粮食流通安全和粮食生产安全同为保障粮食安全的重要环节。为此,需建立涵盖粮食生产、流通和消费环节的完整产业链。努力方向包括发展育种科学技术、农业工程科技以提高产量;提高粮食初加工产能和技术水平,实现颗粒归仓,并保障粮食产后收获、运输、存储质量以减少损失;抵制消费环节的食物浪费等。通过避免或减少各个环节的粮食损耗,实现最大限度地保障粮食安全。

从粮食的末端消费来看,我国每年餐饮浪费的食物蛋白质高达800万t,脂肪达300万t^[84];中国城市餐饮业每年食物浪费总量约为1700万~1800万t,相当于全国粮食产量的3%^[85-86]。2018年全国居民消费端的食物浪费量高达3432万t,人均食物浪费量为67.33 g/d,其中粮食和蔬菜的浪费最严重,占比分别达35.44%和34.83%^[84]。若是避免这些食物的浪费,就可使实际的食物供给有效增加,满足更多人口的食物需求。如果对城市餐饮业严格控制杜绝食物浪费,可节约3000~5000万人一年的口粮^[85],对粮食安全保障将发挥积极的作用。

5.2 提高粮食产能需实施农业工程集成技术

提高粮食产能是一项综合工程,需要农业工程技术、农艺措施及种子生物技术统一协调,技术、投资、政策、空间及时间综合配套发力,农业资源科学配置和生产全体系高效运转,实现组织有效、管理科学到位的系统工程实施效果。围绕粮食生产,农业工程科技需统筹规划、统一协调实施各单项技术,达到增产目标。例如,高标准农田建设是多项农业工程科技在粮食生产中的综合利用,体现了农业工程科技的系统性运用,也获得了良好的综合效益。

讨论未来农业工程科技发展内容涵盖两个方面,一是农业工程学科的发展,另一是农业工程技术实施及农业工程建设的发展。作为一项科技,农业工程的应用,会涉及到示范、推广、标准、政策及组织管理,也包括产业发展体系和培训等。例如,农业机械化产业良性发展、技术推广及服务等的顺利推进,必须完善农业机械标准化体系、试验鉴定体系、安全监测体系和信息化体系,并做好农机人才培养及农民培训,以及农业机械产业化发展与社会化服务。问题决定科技及应用效果的成败,同样,农业工程科技重要领域的相关问题均需进行深入研究,使农业工程科技能达到产业化、规范化应用,实现为农业生产、粮食安全服务的目的。

总之,粮食产能提高是一个系统性工程。为保障粮食安全,农业工程的应用需统筹规划、综合施策。未来在产业及应用方面的重点发展方向有种业工程、高标准农田建设、与农业机械化发展配套

的农机服务队伍建设,以及农产品初加工产业及企业等的发展等。同时,还应根据国务院发布的《“十四五”推进农业农村现代化规划》,对种粮农民给予稳定补贴,完善稻谷、小麦的最低收购价政策与粮食主产区的利益补充机制,以及保护耕地资源,“坚守18亿亩耕地红线”等^[66]。对粮食安全予以统筹规划和系统性施策,符合粮食生产和农业发展的客观规律,将有效激发我国粮食生产潜力,为保障我国粮食生产能力、构筑粮食长久安全局面提供健全基础和有力保证。

5.3 推动农业工程科技创新提高粮食产能

我国的农业正逐渐从传统农业向现代农业过渡,科技要素的贡献率将逐步赶超土地、人力、资本等要素,成为推动农业生产率跨越发展的关键性力量^[87]。农业工程从不同层面促进粮食生产,保障粮食安全,取得的成就充分证明了“科学技术是第一生产力”的著名论断。而耕地综合生产能力的增强、农业机械化水平的提高、粮食机械化生产关键环节减损提质、信息化技术的融合应用、农产品精深加工产业链的延伸和扩展、农业工程技术的生态化发展、农田基础设施的完善和加强等,均离不开农业工程科技创新的力量,科技创新是农业工程发展和进步的源泉,并将为我国粮食安全提供根本保障。目前,我国通过科技创新为粮食增产的贡献率仍然有限,如粮食育种对粮食单产的贡献率仅为45%左右^[88],但另一方面也说明了我国农业工程科技有很大的发展空间和潜力。《“十四五”推进农业农村现代化规划》对科技创新十分重视,指出在生物育种、耕地质量、智慧农业、农业机械装备、农业绿色投入品等关键领域,需加快创新研发关键核心技术和产品^[66]。

基于我国农业工程发展现状,结合国内农业工程科技发展条件,同时借鉴国际上发达国家扶持农业工程科技创新的经验,认为需从以下方面推动农业工程科技创新:(1) 制定支持和鼓励农业工程科技创新的政策机制和制度保障,以政策杠杆撬动农业工程科技创新,以适度的政策“红利”引导和激励创新方向;(2) 重视农业工程科技成果的转化,完善知识产权保护制度,促进企业与大学、科研院所

的广泛与深度合作,而且提供有力的制度保障和激励机制;(3)加大对农业工程科研经费的投入力度,同时扶助农业工程科技企业的发展,在政策、金融贷款等方面给予合理倾斜;(4)在人才培养上重视创新精神,鼓励农业工程科技人员大胆创新,在全社会形成崇尚创新的风气。以上措施能为农业工程增加创新之翼,有效促进农业工程科技发展。

6 结论

粮食安全是关系国计民生的重大问题,是促进经济发展、保障社会稳定和维护国家安全的重要基础。当前和今后一个时期,大力发展农业工程科技,不断提高粮食安全保障水平,具有重要的现实意义和战略意义。本研究在回顾我国粮食安全取得的成就及农业工程科技为之做出的贡献的基础上,分析了我国粮食安全面临的资源、环境问题的挑战,提出我国农业工程发展的重点方向。

第一,中国在粮食生产、粮食安全方面成就巨大。粮食产量稳步增长,粮食储备能力显著增强。自2015年以来,中国口粮自给率均在100%以上,谷物自给率均高于95%,实现了口粮绝对安全、谷物基本自给。粮食人均占有量高于国际上认可的人均粮食基本安全线400 kg。

第二,粮食安全面临的挑战主要包括:耕地资源和水资源短缺的资源约束,且水资源形势更为严峻;生态破坏与环境污染,影响农业的可持续发展;粮食减产与损耗及浪费,损害粮食供应;农业基础设施建设相对滞后,制约农业生产。粮食安全面临的诸多挑战需要农业工程科技的大力发展和有效提升。

第三,农业工程科技对保障粮食安全做出了重大贡献。农业机械化弥补农业劳动力的不足,保障粮食种植面积、提高了粮食产量,2012—2021年期间共增产11.54%;农业水土工程保障水土资源安全,灌溉能将耕地单产从3 000 kg/hm²提高到9 000 kg/hm²;土地整理工程保障耕地数量和质量,中低产田改造与高标准农田建设均能提高粮食产能,1988—2010年期间改造3767万hm²中低产田,提高

粮食生产能力9000万t,高标准农田已建成8亿亩,单位面积粮食产能平均提高10%~20%;农业生物环境工程利用空闲地、废弃地等非耕地进行集约化种植、畜牧业生产,在保障重要农产品供给的条件下不与粮争地;农村能源与环境工程开拓能源,通过为粮食生产提供安全的生产环境保障生态安全促进农业的可持续发展;农产品加工工程中的种子加工工程可提供良种,使粮食单产平均提高5%~10%,农产品产地初加工、粮食收储运产业则可减少粮食损耗。我国农业工程的发展,从不同方面支持我国农业农村的发展,为我国粮食安全提供有力支撑。

第四,为保障粮食安全适宜发展的农业工程学科重点方向。推进高标准农田建设提高耕地综合生产能力,规划2030年建成12亿亩,以确保我国 6×10^{11} kg粮食产能;提高农业机械化、信息化水平支撑我国粮食安全;提升农产品加工技术推进种业工程保障粮食安全,2025和2035年,使我国农产品加工环节损失率分别降至5%和3%以下;发展生态农业工程保障粮食质量安全;完善农田水利等基础设施建设夯实生产基础。还有大力发展种业工程、农机服务企业、农产品初加工产业及企业等,从制度协调、基础设施建设和科技创新产业发展等方面保障粮食生产。

第五,粮食安全是一个系统性工程,应树立大食物观,向海洋、设施、植物、微生物要食物,并按资源流的观念开拓粮食国际贸易,缓解水资源和耕地资源贫乏的约束,还需保障粮食流通安全并杜绝食物浪费;同时,农业工程的应用需统筹规划、综合施策,使粮食生产得到全方位的保障,构筑粮食长久安全局面。此外,还应认识到“科学技术是第一生产力”,需推动农业工程科技创新,为我国粮食安全提供根本保障。

参考文献(References)

- [1] Robert E S. Seven decades that changed America: A history of the American Society of Agricultural Engineers, 1907—1977[M]. St. Joseph, Mich.: The Society SUBJECT, 1979.

- [2] 杜鹰. 中国的粮食安全战略(上)[J]. 农村工作通讯, 2020(21): 35-38.
- [3] 中华人民共和国中央政府. 国家统计局关于2021年粮食产量数据的公告[EB/OL]. (2021-12-06) [2023-03-31] http://www.gov.cn/xinwen/2021-12/06/content_5656247.htm.
- [4] 中华人民共和国国务院. 中国的粮食安全[R]. 2019.
- [5] 魏后凯. 底线思维下的乡村振兴规划思考[EB/OL]. [2022-01-02]. <https://mp.weixin.qq.com/s/P5zcVZqAM3pzHmdotIOJyg>.
- [6] 贾帅帅, 张旭辉. 新形势下中国粮食安全战略调整的现实逻辑——基于粮食、谷物与口粮自给率的分析[J]. 价格理论与实践, 2016(10): 140-143.
- [7] 魏后凯, 崔凯. 面向2035年的中国农业现代化战略[J]. China Economist, 2021, 16(1): 18-41.
- [8] 国家统计局, 生态环境部. 中国环境统计年鉴(2018)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [9] 马丽, 王雨浓. 我国粮食安全产业带建设: 现实意义、约束条件与实施对策[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2021, 21(4): 105-113.
- [10] 生态环境部. 2021中国生态环境状况公报[R]. 2022.
- [11] 康绍忠. 藏粮于水藏水于技——发展高水效农业保障国家食物安全[J]. 中国水利, 2022(13): 1-5.
- [12] 康绍忠. 水安全与粮食安全[J]. 中国生态农业学报, 2014, 22(8): 880-885.
- [13] 山仑. 能否实现大量节约灌溉用水?我国节水农业现状与展望[J]. 自然, 2006, 28(2): 71-74.
- [14] 水利部. 中国水资源公报2021[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2022.
- [15] 刘肖兵, 杨柳. 我国耕地退化明显污染严重[J]. 生态经济, 2015, 31(3): 6-9.
- [16] 邓婷, 吴家龙. 耕地土壤酸化现状及治理路径探析——以广东省为例[J/OL]. [2022-08-20]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1984.S.20220303.1200.002.html>.
- [17] 陈蕾. 民勤绿洲土壤盐碱化时空变化与影响因素研究[D]. 兰州: 西北师范大学, 2020.
- [18] 环境保护部, 国土资源部. 全国土壤污染状况调查公报[R]. 2014.
- [19] 吴浩玮, 孙小淇, 梁博文, 等. 我国畜禽粪便污染现状及处理与资源化利用分析[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(6): 1168-1176.
- [20] Liu B, Asseng S, Müller C, et al. Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods[J]. Nature Climate Change, 2016(6): 1130-1136.
- [21] 张爱民, 马晓群, 杨太明, 等. 安徽省旱涝灾害及其对农作物产量影响[J]. 应用气象学报, 2007(5): 619-626.
- [22] Ebbole D J. Magnaportheasamodelforunderstandinghost-pathogeninteractions[J]. Annual Review of Phytopathology, 2007, 45: 437-456.
- [23] 许为鲸. 农产品贮藏加工现状和发展趋势[J]. 食品安全导刊, 2018(3): 44-45.
- [24] 成升魁, 李云云, 刘晓洁, 等. 关于新时代我国粮食安全观的思考[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911-926.
- [25] 吴宁, 陈涛, 陈奕如. 新时代中国粮食安全问题的挑战与对策[J]. 福州大学学报(哲学社会科学版), 2022, 36(4): 1-10.
- [26] 农业农村部发展规划司. 农业现代化辉煌五年系列宣传之二十三: 大力推进农业节水保障国家粮食安全[EB/OL]. (2021-07-13) [2022-04-13]. http://www.ghs.moa.gov.cn/ghgl/202107/t20210713_6371688.htm.
- [27] 王虹, 余金凤. 新时期小型农田水利工程管理问题与对策[J]. 中国农村水利水电, 2013(5): 96-97.
- [28] 陶鼎来. 中国农业工程[M]. 北京: 中国农业出版社, 2002.
- [29] 国家统计局. 国家数据[EB/OL]. [2022-10-12]. <https://data.stats.gov.cn/>
- [30] 白人朴. 中国农业机械化与现代化——白人朴教授论文选集[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2002: 211-212.
- [31] 张小凤, 王隆杰. 我国第一产业就业人口比重变化及影响因素分析[J]. 商业经济, 2011(17): 26-27.
- [32] 张晓彤, 张立新. 中国城镇化进程概述和未来城镇化水平预测[J]. 云南农业大学学报(社会科学), 2021, 15(1): 20-25.
- [33] 王柳, 张秋玲, 张跃峰, 等. 我国农田水利工程建设抵御水旱灾害效果评估[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(11): 129-136.
- [34] 魏秀菊, 胡振琪, 付梅臣. 矿粮复合区采矿对水资源及粮食安全的影响[J]. 金属矿山, 2008, 383(5): 129-134.
- [35] 中国水利报: 水润粮安固国基[EB/OL]. [2022-10-21]. http://www.mwr.gov.cn/xw/mtzs/zgslbs/202210/t20221021_1601323.html.
- [36] 水利部、农业农村部召开全国农田灌溉发展规划编制工作动员部署会[EB/OL]. (2022-10-21) [2022-10-28]. http://www.mwr.gov.cn/xw/mtzs/qtmt/202210/t20221021_1601341.html.
- [37] 陆桂华, 刘伟平, 蒲朝勇, 等. 2019年中国水土保持公报[R]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2020: 15-17.
- [38] 孙芳媛. 不同耕作措施对坡耕地水土流失的影响[D]. 广州: 华南农业大学, 2017.
- [39] 吴艳玲. 水土保持工程建设与国家粮食安全——基于

- 东北黑土区县级面板数据的经验分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(Suppl 2): 304-309.
- [40] 中共中央, 国务院. 中共中央、国务院于一九八六年农村工作的部署[EB/OL]. (1986-01-01) [2022-11-10] http://www.crnews.net/zt/zyyhwj/lnzyyhwhg/440254_20210209112521.html.
- [41] 李明秋, 王宝山. 中低产田改造与农业可持续发展[J]. 焦作工学院学报(自然科学版), 2000, 19(2): 140-142.
- [42] 中国网. 什么是“渤海粮仓科技示范工程”[EB/OL]. [2022-12-20]. http://guoqing.china.com.cn/zhuanti/2018-07/16/content_57346298.htm.
- [43] 朱铁辉, 韩昕儒, 陈永福. 中低产田改造地区优先序研究[J]. 农业技术经济, 2012(4): 65-72.
- [44] 韩杨, 陈雨生, 陈志敏. 中国高标准农田建设进展与政策完善建议—对照中国农业现代化目标与对比美国、德国、日本经验教训[J]. 农村经济, 2022(5): 20-29.
- [45] 邱海峰. 高标准农田有多“高”[N]. 人民日报(海外版), 2022-07-06(011).
- [46] 张辉. 设施农业要为乡村振兴赋能发力——2019中国设施农业产业大会致辞[J]. 农业工程技术, 2019, 39(25): 12-14.
- [47] 每经网. 设施农业, 能否帮我们新增3亿亩“虚拟耕地”[EB/OL]. [2022-01-02]. <http://www.nbd.com.cn/articles/2022-10-08/2490322.html>.
- [48] 杨舒. 科技赋能“菜篮子”, 设施农业大有可为[N]. 光明日报, 2022-05-26(8).
- [49] 薛颖昊, 王亚静, 尹建锋, 等. 我国农作物秸秆利用生态补偿制度探索与实践[J/OL]. [2023-03-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.S.20230303.1402.012.html>.
- [50] 安婧, 丁子明, 高程, 等. 畜禽粪便污染的环境风险与资源化处理技术分析[J/OL]. [2023-03-29]. <https://doi.org/10.13227/j.hj.kx.202209018>.
- [51] 甘福丁, 唐健, 王会利, 等. “碳中和”目标下农村沼气工程发展机遇与对策[J]. 现代农业科技, 2021(17): 157-160.
- [52] 中国科学技术协会, 中国农业工程学会. 农业工程学科发展报告(2008—2009)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2010.
- [53] 朱明, 沈瑾, 孙洁, 等. 中国农产品产地加工产业布局分析及发展对策[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 1-6.
- [54] 娄正, 朱广飞, 谢奇珍, 等. 我国粮食初加工机械化水平监测调查研究[J]. 粮油食品科技, 2021, 29(3): 91-97.
- [55] 朱丽莉, 沈红, 李光泗. 国际粮食收储运产业发展模式及对中国启示[J]. 农业经济, 2021(12): 120-122.
- [56] 杨琴, 刘清, 沈瑾, 等. 我国农户玉米产后损失现状及原因分析[J]. 农业工程技术(农产品加工业), 2012(4): 46-49.
- [57] 陶鼎来. 农业工程技术对中国农业发展的贡献[J]. 科学中国人, 1996(4): 12-14.
- [58] 宋英, 张健, 曲桂宝. 种子加工技术及设备发展综述[J]. 农机质量与监督, 2011(11): 22-23.
- [59] 国家发展和改革委员会. 全国高标准农田建设规划(2021—2030年)[R]. 2021.
- [60] 张睿智, 刘倩媛, 山长鑫, 等. “藏粮于地”战略下高标准农田建设模式研究[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(11): 173-179.
- [61] 赵春江, 李瑾, 冯献. 面向2035年智慧农业发展战略研究[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 1-9.
- [62] 卓乐. 农业基础设施对粮食增产的作用机理及效应分析[J]. 求索, 2021(4): 125-132.
- [63] 范利君. 国外农业基础设施建设的实践及经验[J]. 世界农业, 2014(3): 64-66.
- [64] 蔡保忠, 曾福生. 农业基础设施的粮食增产效应评估—基于农业基础设施的类型比较视角[J]. 农村经济, 2018(12): 24-30.
- [65] 窦森. 吉林省黑土地保护与高值化利用工程[J]. 吉林农业大学学报, 2020, 42(5): 473-476.
- [66] 国家发展和改革委员会. “十四五”推进农业农村现代化规划[EB/OL]. (2022-03-25) [2022-12-23]. https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzlggh/gjjzxgh/202203/t20220325_1320217.html?code=&state=123.
- [67] 农业农村部, 国家发展改革委, 财政部, 等. 国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025年)[R]. 2021.
- [68] 吴昊. 建设高标准农田助推农业机械化[J]. 农村牧区机械化, 2015(1): 36-37.
- [69] 汪懋华. 中国农业机械化发展战略研究. 农业机械化保障体系卷[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [70] 罗锡文, 廖娟, 邹湘军, 等. 信息技术提升农业机械化水平[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 1-14.
- [71] 王士英, 张跃峰, 郑勋领. 关于加快中国精准农业发展的思考[J]. 世界农业, 2021(4): 83-90.
- [72] 罗锡文, 廖娟, 臧英, 等. 我国农业生产的发展方向: 从机械化到智慧化[J]. 中国工程科学, 2022, 24(1): 46-54.
- [73] 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.
- [74] 农业农村部. 农业农村部关于促进农产品加工环节减损增效的指导意见[EB/OL]. (2020-12-23) [2022-09-22]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2021/202101/202110/t20211008_6378909.htm.

- [75] 魏榛, 李双印. 农业农村部《关于促进农产品加工环节减损增效的指导意见》解读[J]. 农村实用技术, 2021(3): 1-2.
- [76] 李晨. 科技创新引领农产品加工业高质量发展[J]. 中国农村科技, 2022(2): 34-35.
- [77] 魏秀菊, 廖艳, 朱明. 乡村振兴背景下农业工程的生态化发展——生态农业工程[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2022, 30(12): 2023-2035.
- [78] 倪国华, 郑风田. 粮食安全背景下的生态安全与食品安全[J]. 中国农村观察, 2012(4): 18-21.
- [79] 李天来, 齐明芳, 孟思达. 中国设施园艺发展60年成就与展望[J]. 园艺学报, 2022, 49(10): 2119-2130.
- [80] 涂正健. 中国粮食贸易安全水平的提升策略研究[J]. 现代营销, 2022, 11: 1-3.
- [81] 贾盼娜, 刘爱民, 成升魁, 等. 中国农产品贸易格局变化及海外农业资源利用对策[J]. 自然资源学报, 2019, 34(7): 1357-1364.
- [82] 孙致陆, 贾小玲, 李先德. 中国与“一带一路”沿线国家粮食贸易演变趋势及其虚拟耕地资源流量估算[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2019(1): 24-32.
- [83] 李明, 潘子纯, 李崇光. 中国粮食作物虚拟水进口贸易格局与影响因素[J]. 农业现代化研究, 2022, 43(4): 715-725.
- [84] 王灵恩, 倪笑雯, 李云云, 等. 中国消费端食物浪费规模及其资源环境效应测算[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1455-1468.
- [85] 成升魁, 李云云, 刘晓洁, 等. 关于新时代我国粮食安全观的思考[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911-926.
- [86] 张盼盼, 张丹. 中国餐饮业食物浪费监测关键指标研究[J]. 自然资源学报, 2022, 37(10): 2508-2518.
- [87] 王一鸣. 美国日本如何扶持农业科技创新[J]. 全球商业经典, 2018(3): 74-75.
- [88] 韩杨. 中国粮食安全战略的理论逻辑、历史逻辑与实践逻辑[J]. 改革, 2022(1): 43-56.

Promoting agricultural engineering to ensure food security in China

WEI Xiuju, ZHU Ming, LIAO Yan

The Department of Strategic Study, Academy of Agricultural Planning and Engineering, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China

Abstract In order to better play the role of agricultural engineering in ensuring food security, this article analyzes the different contributions of various branches of agricultural engineering, and proposes key directions for the development of agricultural engineering in China according to the constraints of resources, environment, and ecology faced by food production in China. The contributions of various branches of agricultural engineering in ensuring food security are as follows: agricultural mechanization improves labor production efficiency and ensures the planting area of grain; agricultural soil and water engineering ensures the safety of soil and water resources; land consolidation engineering ensures the quantity and quality of cultivated land; agricultural biological environmental engineering implements intensive production without competing with grain for land; rural energy and environmental engineering reduces environmental pollution; agricultural product processing engineering reduces grain loss and seed processing increases grain production. The key development directions of agricultural engineering technology are as follows: playing a comprehensive and collaborative role in promoting the construction of high standard farmland, improving the level of agricultural mechanization and informatization, improving agricultural product processing technology, promoting seed industry engineering, developing ecological agricultural engineering, and improving farmland infrastructure construction. Food security is a comprehensive project, and the coordinated implementation of agricultural engineering technology can provide technical support and necessary guarantees for China's food security.

Keywords agricultural engineering; food security; agricultural machinery; agricultural water and soil engineering; land consolidation engineering; agricultural product processing engineering; high standard farmland; ecological agricultural engineering



(责任编辑 祝叶华)