DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2024.02.001

基于应用场景的丘陵山区农业机械化发展路径研究

崔思远，曹蕾，陈聪，胡朝中，沈诗逸，曹光乔*

（农业农村部南京农业机械化研究所，江苏南京，210014）

摘要：中国丘陵山地耕地面积、农作物播种面积分别占全国34.62%、34.20%，覆盖人口达54.2%，GDP仅占全国的30%，整体农业机械化水平未达50%，研究如何加快推进丘陵山区农业机械化是建设农业强国的迫切需求。本研究以我国耕作制度区划为基础，结合丘陵山区分布等因素开展丘陵山区农业机械化区划；以各地区资源禀赋条件、经济社会情况、产业经济效益为基础，梳理我国丘陵山区农业机械化发展现状，从丘陵山区耕地条件、土壤和农艺等方面分析我国丘陵山区农机应用特殊场景，结合农机研发制造和推广应用等因素分析我国丘陵山区农业机械化发展的瓶颈；围绕丘陵山区应用场景探讨提出紧凑型轻量化的专用发动机、轻量化及减黏降阻的先进材料、轻简化的整机结构设计等十大农机共性技术需求以及黏重土壤的高效低耗耕整地装备、缓坡地黏重土壤的大宗粮油糖和高山蔬菜播种装备、缓坡地黏重土壤的油菜和高山蔬菜移栽装备等十大农机适用装备需求；借鉴日本、韩国等丘陵山区农业机械化发展经验，从良机—良种—良法—良田—良制深入融合和研产推用四位一体化的角度提出系统推进丘陵山区机械化的思路与举措，以促进丘陵山区农业机械化高质量发展。

关键词：丘陵山区；农业机械化；制约因素；应用场景；技术需求；政策建议

中图分类号：S284 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-7217（2024）02-0001-08

崔思远，曹蕾，陈聪，胡朝中，沈诗逸，曹光乔. 基于应用场景的丘陵山区农业机械化发展路径研究[J]. 智能化农业装备学报(中英文)，2024，5(2)：1—8

CUI Siyuan，CAO Lei，CHEN Cong，HU Chaozhong，SHEN Shiyi，CAO Guangqiao. Path research on the agricultural mechanization development in hilly and mountainous areas based on application scenarios [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization，2024，5(2)：1—8

0 引言

农业机械化是加快推进农业农村现代化的关键抓手，为保障我国粮食安全、建设农业强国、推进乡村振兴提供有力支撑。我国丘陵山区耕地面积46 686 khm^2，占全国的34.62%，常年播种面积56 731 khm^2，占全国的34.20%，是我国重要的粮油和特色农产品生产基地，其中水稻、玉米、小麦、马铃薯等粮食作物播种面积分别占全国的39.60%、27.65%、15.84%、78.58%，油菜、大豆等油料作物播种面积分别占全国的57.53%、27.56%，茶、果、甘蔗、蔬菜等特色作物播种面积分别占全国的93.39%、62.28%、62.78%、37.29%。相较于农业机械化率已超过80%的东北、华北、长江中下游等平原地区，我国丘陵山区整体农机化水平未达50%，其中西南丘陵山区耕种收综合机械化率还不到30%[1]。随着农业劳动机会成本攀升，耕地撂荒日益增多，加快推进丘陵山区农业机械化已成为我国推进农业现代化、保障粮食安全、建设农业强国进程中必须解决的重要现实问题。

近年来，《“十四五”推进农业农村现代化规划》《“十四五”全国农业机械化发展规划》、中央一号文件等指导性文件提出“提高农机装备自主研制能力，支持高端智能、丘陵山区农机装备研发制造，加大购置补贴力度”“加快研发制造适合丘陵山区农业生产的高效专用农机”“推进丘陵山区农田宜机化改造”“加快补齐丘陵山区农业机械化短板”等要求，明确到2025年，丘陵山区县（市、区）农作物耕种收综合机械化率达到55%。

本文在综合分析国内外丘陵山区农业机械化发展相关文献基础上，深度剖析丘陵山区农业机械化发展现状与制约因素、应用场景与技术需求，从“五良融合”“四位一体”的角度提出系统推进丘陵山区机械化的思路与举措，以促进丘陵山区农业机械化高质量发展。

收稿日期：2024-03-03 修回日期：2024-04-01

基金项目：国家重大农业科技项目（NK2022160406）；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项（S202320）

第一作者：崔思远，男，1987年生，安徽长丰人，博士，副研究员；研究方向为农业机械化发展。E-mail：cuisiyuan@126.com

*通信作者：曹光乔，男，1978年生，湖北宜昌人，博士，研究员；研究方向为农业机械化工程。E-mail：caoguangqiao@126.com

1 丘陵山区农业机械化区域划分

遵循农业机械化发展规律,开展丘陵山区农业机械化区域划分,有利于分类指导全国丘陵山区农业机械化发展。关于丘陵山区的区划方法,目前有基于地理地形条件、农业机械化水平、农业资源综合利用等因素的划分法。为便于开展农机农艺融合研究,本文以2012年《中国县(市)社会经济统计年鉴》[2]各省丘陵县及山区县名单为基础,参考《中国耕作制度发展与新区划》[3],综合考虑农作物种植结构、土壤类型等因素,结合各区丘陵山区分布情况,对地理地形、气候条件、种植制度相近区域进行整合,以省级行政区划为主要单元,将我国丘陵山区划分为六大区:

1)西南山地丘陵二熟区:位于我国西南,是围绕四川盆地的中高原山地丘陵,主要包括云南、贵州、四川、重庆等省市。主要种植玉米、薯类、水稻、小麦、油菜等作物,一年两熟为主,高海拔地区一年一熟。土壤质地多为黏壤土至重黏土,云南、贵州部分地区土壤质地黏重。

2)华南丘陵山地三熟二熟区:位于我国最南部山地丘陵,包括福建、广东、广西、海南等省、自治区。主要种植水稻、薯类、玉米、甘蔗等作物,一年三熟或一年两熟。土壤质地多为壤质黏土至重黏土,广西、广东和海南较多地区土壤质地黏重。

3)长江中下游丘陵山地二熟三熟区:位于我国长江中下游和江南地区山地、丘陵、岗地,主要包括湖北、安徽、江苏、浙江、湖南、江西等省。主要种植水稻、小麦、油菜、玉米等作物,一年两熟为主,南部有部分一年三熟。土壤质地多为壤土至黏土,长江两岸少部分地区质地黏重。

4)西北高原丘陵山地一熟二熟区:位于我国内蒙古高原和黄土高原丘陵山地,包括内蒙古、山西、陕西、宁夏、甘肃等省、自治区。主要种植小麦、玉米、杂粮等农作物,熟制以一年一熟为主,南部有两年三熟和少量一年两熟。土壤质地多为沙壤土至砂质黏土,黏度较低。

5)青藏高原山地一熟区:位于我国西部青藏高原地区丘陵山地,主要包括西藏、青海等省、自治区。主要种植青稞、小麦、油菜等作物,绝大部分为一年一熟。土壤多为壤土至壤质黏土,黏度适中。

6)东北、黄淮海丘陵一熟二熟区:包括东北三省北部和东部的山地丘陵坡地,以及黄河、海河和淮河流域中下游的北京、天津、河北、河南、山东丘陵山地。东北地区主要种植玉米、水稻、大豆、薯类等作物,基本上一年一熟;黄淮海地区主要种植冬小麦、夏玉米、花生、大豆等作物,大多为一年两熟。土壤质地多为壤土至黏土,黏度适中。

新疆维吾尔自治区的9个丘陵山区县分布较为分散,农区多分布于荒漠半荒漠中的绿洲,地形条件、生产环境和种植结构存在较大差异,与上述六大区也有较大不同,故暂未纳入研究。

2 丘陵山区农业机械化发展现状与瓶颈

我国丘陵山区覆盖人口达54.2%,GDP仅占全国的30%。丘陵山地占耕地面积比例大于60%的省(市)有11个,依次是贵州(95.6%)、云南(92.3%)、四川(91.4%)、重庆(85.3%)、福建(78.9%)、广西(73.3%)、江西(70.3%)、浙江(70.0%)、广东(63.8%)、湖北(62.5%)、湖南(62.4%)。

以丘陵山地占比最高的西南山地丘陵二熟区为例,2021年云南、贵州、四川、重庆农作物耕种收综合机械化率分别为21.58%、32.27%、43.02%、46.65%(采用《全国农业机械化统计年报》中的2021年机耕面积、机播面积、机收面积、机械免耕播种面积及2022年《中国统计年鉴》中的2021年农作物播种面积数据,依据农业行业标准NY/T 1408.1—2007《全国农业机械化水平评价第1部分:种植业》测算机械化率,下同。机械化率最终测算结果可能与各省公布数据有所不同),均未达50%。四省市主要农作物耕种收综合机械化率如下:云南省水稻、小麦、玉米分别为40.73%、59.94%、24.21%(因缺乏具体作物的机械化免耕播种面积数据,测算出的三大粮食作物机械化率数据可能会略低于实际情况),贵州省水稻、小麦、玉米分别为61.92%、47.64%、37.03%,四川省水稻、小麦、玉米分别为81.59%、83.89%、43.49%,重庆市水稻、玉米分别为71.95%、32%(因重庆市小麦播种面积极小,测算机械化水平没有意义,故无小麦机械化水平)。西南四省市主要农机装备结构如表1、表2。

表1 2021年西南四省市与全国农机动力和数量

Table 1 Power and quantity of agricultural machinery in China and its four southwestern provinces/ cities in 2021

	云南	重庆	贵州	四川	全国
农机总动力/(kW·khm^{-2})	4 020	4 500	4 995	4 830	6 390
拖拉机动力/(kW·khm^{-2})	900	60	390	495	2 550
水稻播种/栽植机械数量/(台·khm^{-2})	3	15	1.5	6	33
谷物收割机械数量/(台·khm^{-2})	3	9	3	9	22.5

拖拉机以小型为主，拖拉机动力为60～900 kW/khm²，远低于全国平均水平；耕整地机械以微耕机为主，占各类耕整机械总量的47.07%～99.08%；播种/种植机具数量较少，水稻播种/栽植机械拥有量为1.5～15台/khm²；植保机械以传统低效植保机为主，自走式植保机、无人植保机等高效植保机械占比不足1%；谷物联合收割机拥有量仅3～9台/khm²，玉米、油菜籽、马铃薯等收获机械保有量较低。

表2　2021年西南四省市主要农业机械保有量及占比情况

Table 2　Quantity and proportion of main agricultural machinery in four provinces/ cities in Southwest China in 2021

	云南		贵州		四川		重庆	
	保有量/万台(套)	比例/%	保有量/万台(套)	比例/%	保有量/万台(套)	比例/%	保有量/万台(套)	比例/%
(一)拖拉机	34.99		12.32		22.09		0.7	
其中：小型(22.1 kW及以下)	28.14	80.42	10.66	86.53	14.42	65.28	0.46	65.71
中型(22.1～73.5 kW)	6.15	17.58	1.63	13.23	7.46	33.77	0.21	30.00
大型(73.5 kW及以上)	0.70	2.00	0.03	0.24	0.21	0.95	0.04	5.71
(二)耕整地机械	179.68		135.58		242.73		88.67	
1.微耕机	100.44	55.90	128.94	95.10	114.26	47.07	87.85	99.08
2.旋耕机	20.73	11.54	1.36	1.00	20.78	8.56	0.63	0.71
3.深松机	0.64	0.36	0	0.00	0.03	0.01	0.09	0.10
4.联合整地机	0.04	0.02	0	0.00	0.07	0.03	0	0.00
(三)种植施肥机械	0.54		0.18		3.34		1.21	
1.精量播种机	0.14	25.93	0.02	11.11	1.56	46.71	0.02	1.65
2.整地施肥播种机	0.05	9.26	0	0.00	0.07	2.10	0	0.00
3.水稻直播机	0.01	1.85	0	0.00	0.03	0.90	0.03	2.48
4.水稻插秧机	0.26	48.15	0.14	77.78	1.01	30.24	1.15	95.04
其中：乘坐式	0.06	23.08	0.03	23.08	0.33	23.08	0.02	23.08
(四)田间管理机械	24.40		8.62		42.07		9.22	
1.机动植保机械	22.14	90.74	7.51	87.12	39.29	93.39	7.66	83.08
其中：自走式	0.02	0.09	0	0.09	0.21	0.09	0.03	0.09
2.植保无人机	1.20	4.92	0.24	2.78	0.2	0.48	0.07	0.76
3.修剪机械	1.06	4.34	0.87	10.09	2.58	6.13	1.49	16.16
其中：茶树修剪机	0.02	1.89	2.2	252.87	0.21	8.14	0.33	22.15
果树修剪机	1.04	98.11	0.87	100.00	2.37	91.86	1.16	77.85
(五)收获机械	2.70		2.95		5.27		1.18	
1.谷物联合收割机	0.87	32.22	0.42	14.24	3.93	74.57	1.11	94.07
其中：稻麦联合收割机	0.83	95.40	0.41	97.62	3.89	98.98	1.11	100.00
玉米联合收割机	0.04	4.60	0.01	2.38	0.03	0.76	0	0.00
2.油菜籽收获机械	0.02	0.74	0.01	0.34	0.22	4.17	0.04	3.39
3.马铃薯收获机械	0.94	34.81	0.06	2.03	0.03	0.57	0	0.00
4.蔬菜收获机械	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
5.采茶机	0.87	32.22	2.46	83.39	1.09	20.68	0.03	2.54

基于各地区资源禀赋条件、经济社会情况、产业经济效益等因素，梳理我国丘陵山区农业机械化发展的瓶颈，主要如下。

1)农机应用场景方面，作业条件复杂增加了农机

研发应用难度。我国丘陵山区山高坡陡、道路崎岖、耕地条件差,坡耕地占比总体超过2/3,田块面积小、机耕道通达度低。以西南山地丘陵二熟区为例,本团队基于GIS对该区四省市耕地特征的抽样研究表明,23.58%耕地面积小于0.033 hm^2,30.64%耕地面积介于0.033~0.067 hm^2,28.59%耕地面积介于0.067~0.133 hm^2,17.18%耕地面积大于0.133 hm^2;52.63%县耕地道路通达率未达10%,31.58%县耕地道路通达率介于10%~20%,15.79%县耕地道路通达率超过20%,但均未达50%。此外,土壤黏重,熟制复杂,茬口矛盾突出,间套作普遍,作物品种及栽培农艺繁杂,农机与农艺的协调性差也是丘陵山区普遍存在的问题。

坡耕地:我国丘陵山区耕地主要有梯田和坡耕地两种,其中2°~6°耕地21 333 khm^2,60%以上为坡耕地;6°~15°耕地20 000 khm^2,66%以上为坡耕地;15°~25°耕地10 667 khm^2,75%以上为坡耕地。坡度<6°的耕地为平坝地,农业作业和平原地区条件较为接近。坡度在6°~25°的耕地为缓坡地,是丘陵山区面广量大、最为普遍的耕地坡度范围,主要种植旱作粮油、蔬菜等大宗作物,对农机具提出仿形适应、紧凑稳定、高通过性等要求。坡度>25°为陡坡地,可重点发展果园、茶园、林草地等,适宜无人机、小型遥控农机具。梯级水田:在丘陵山坡地上沿等高线方向修筑的条状阶台式或波浪式断面的水田,对农机具提出轻简化、高灵活性和通过性等要求。

田块细碎:丘陵山区耕地细碎化程度较高,田块面积较小,长度、宽度较短,形状不规则,对农机具提出小型化、高灵活性等要求。

土壤黏重:土壤黏粒和粉粒含量高(>60%),透水性小而吸水能力强,易板结,土壤内摩擦系数小而黏聚力大,触土部件作业阻力大,导致土壤—作物、土壤—部件不易分离,对农机具新型材料提出轻简化、具有减黏降阻能力等要求。

农艺复杂:丘陵山区作物种类多、品种特性不一,株行距、间套种等种植农艺多变,熟制复杂,季节茬口紧张,对农机具提出一机多用,多环节、多作物通用等要求。

2)研发制造方面,市场规模小制约了农机研发制造投入。丘陵山区所需农机种类多,研发投入大,市场规模小,生产管理、售后服务成本高,投资回报率低,农机企业积极性不足。以某再生稻专用联合收获机为例,实现批量生产至少需要1 500万元投资,但市场需求有限,直接影响了该产品的大规模产业化。与国外类似产品技术相比,发动机、传动系、行走系结构设计和制造材料、工艺水平滞后制约了国产丘陵山地农机整机紧凑化、轻量化。高精度加工工艺以及轴承、液压元件等通用零部件缺乏国产化替代产品,变速箱、履带行走系总成结构笨重,影响农机具有效功率输出、通过性、稳定性及作业性能。此外,欧洲意大利、奥地利等国适用于漫岗坡地多种作业需求的前后双置电液操控动力输出轴、履带双边逆向差动转向技术和作业参数监控技术,在国内较为缺乏。

3)推广应用方面,农机作业成本高,比较效益低。丘陵山区户均耕地规模小,农机在小田块内转弯掉头和田块间转移所消耗的时间长,农机作业效率降低。研究表明,小麦收割机作业效率随田块面积和田块长度的减小而降低,且地块面积小于0.2 hm^{2}时降幅尤为明显,小麦收割机在0.03 hm^{2}田块中的作业效率约是0.1 hm^{2}田块的一半[4]。农机作业成本较高,收益较低,投资回报时间较长,社会化服务主体效益低、数量少。据调查,丘陵山区农机投资回收期比平原地区长一倍以上,对农民和服务组织投资农机的积极性造成较大影响。丘陵山区较弱的经济条件导致农民对价格的高敏感性,对农机装备的技术和经济性都有较高要求,推广应用难度较大。

3 丘陵山区农机应用特殊场景与技术需求

多年来,国内已开发了部分丘陵山区用拖拉机及作业机具,但由于缺乏系统研究、资金投入、协同攻关,目前仅有微耕机等少数机型获得大面积应用,很多地方农业生产仍依靠人畜力。近年来,国内针对丘陵山区农业生产提出了陡坡地(>25°)使用轨道/索道搬运物资和农机具;坡地(16°~25°)开发应用多功能作业能力的农机底盘和配套作业机具;缓坡地(<15°)进行“宜机化”改造,应用普通拖拉机和农机具的技术路线。技术方面开展了平原农机具的选、改和应用集成,但没有形成适用的主导产品和装备体系。研发应用具有适应丘陵山区地形地貌,具有良好通用性和通过性、操作方便、灵活可靠的轻量型水旱地两用中小型多功能拖拉机和配套作业机具,已成为丘陵山区发展农业机械化的关键所在。结合丘陵山区复杂的地形地质特点、繁杂的作物品种以及间套作普遍的农艺模式,梳理丘陵山区农机装备技术需求,重点如下。

3.1 共性技术需求

1)紧凑型轻量化的专用发动机。丘陵山区农机发动机要求升功率高、动力足、质量轻、油耗低、噪声低、可靠性高,需要突破丘陵山区专用发动机高压共轨、自主控制单元ECU、高效燃烧、轻量化紧凑设计等关键技术,研制高强度小型发动机缸体缸盖等核心零部件,

创制不同功率、满足国Ⅳ排放标准的新一代节能环保农用高压共轨轻量化多缸发动机。

2)轻量化及减黏降阻的先进材料。丘陵山区要求农机装备质量轻、转运便捷,需要研发应用高强度低密度的农机装备新材料,降低整机质量;研发应用减黏降阻新材料,提高农机装备对黏重土壤的适应性。

3)轻简化的整机结构设计。通过更为简单、紧凑、轻简化的结构设计,替代平原大田农机装备原有工作部件和结构排布,提升装备物料处理流程集中度、减少作业环节。如短流程喂入技术替代链耙式输送、高强度旋风分离技术替代风筛选式清选、收获机后加装撒肥器实现收获同步撒肥等。

4)底盘与作业部件的模块化组配。研发底盘与作业部件的模块化组配技术,通过作业部件简单更换,实现一机多用,多环节、多作物通用。如具有模块化多源动力接口的多功能拖拉机,可与采收、中耕、除草、施肥施药、修剪、运输等作业装置便捷组配。

5)小半径灵活转向技术。研发轮式动力平台折腰扭腰转向技术、双向驾驶室技术,履带动力平台低成本机械传动差逆转向及正反转动关键技术,实现小半径快速转向,提升灵活性。

6)田间转移的高通过性。研发适应丘陵山区复杂作业条件的高通过性专用底盘和专用传动系统,提高行走系统坡道稳定性、转向系统机动性、制动系统安全性,提高田间转移通过性。

7)作业自动化智能化。通过研发机电液一体化自动控制及智能化技术,实现作业质量的监测预警和作业部件自动调控,提升装备适应性。如漏播堵塞报警,可提示机手及时清理播种器;底盘坡地自动调平,可使机身保持水平;割台(挖掘部件)地面自动仿形,可实现贴地部件正常作业。

8)动力源电动化。与传统燃油农机具相比,电动农机绿色环保无排放、无噪声污染,节能、作业成本低,操作便捷、结构简单、故障低、震动小,更加便于智能化、无人化、远程控制等技术的组合应用。

9)更高安全性要求。丘陵山区农机装备宜向接地压力小、整机重心低等方向发展。接地压力较小,在深泥脚水田、高埂田中通过性好,且减少了对土壤的压实。低重心结构,有利于机具在坡耕地作业和行走时机身更加稳定,防止侧翻。

10)乘驾操控省力化。手扶式农机体积小、重量轻、机动灵活,但功率小、效率低、水田作业劳动强度大。乘坐式装备可降低机手劳动强度,大幅提高作业效率。遥控操作可降低农机装备的整机重量和功率消耗,也是丘陵山区农机装备的发展方向,主要包括低延迟高速无线通信、作业参数远程调控、远程遥控驾驶等技术。

3.2　适用装备需求

1)黏重土壤的高效低耗耕整地装备。重点突破重黏土触土作业减黏降阻、入土部件材料及表面涂层强韧化、底盘防陷深、小型耕作机械模块化设计等关键技术,研发示范适用丘陵山区的油动或电动微耕机、遥控式低地隙旋耕机等装备。

2)缓坡地黏重土壤的大宗粮油糖、高山蔬菜播种装备。重点突破黏重土作业的适应性、降附减阻的土壤工作部件、精量排种、高质低耗种床制备等关键技术,研发示范丘陵山区油麦兼用播种机、玉米大豆花生高效精量播种机、高山冷凉球形小籽粒蔬菜种子密植播种机、甘蔗种苗播种等装备。

3)缓坡地黏重土壤的油菜、高山蔬菜移栽装备。重点突破苗床精细整备、减阻防黏入土开沟、精准低损取苗、高效自动栽插、自适应仿形定植立苗、覆膜栽插等关键技术,研发示范 22.05 kW 以下动力底盘配套的油菜/叶茎蔬菜毯状苗移栽机、自走式电动底盘高山冷凉蔬菜钵体苗移栽机等装备。

4)缓坡地的大宗粮油糖、高山叶类蔬菜收获装备。重点突破履带式升降底盘与自动调平、低窄履带行走、再生稻宽幅割台、油菜短流程高效捡拾、玉米低损低含杂摘穗、玉米柔性压附低损高净剥皮、叶类蔬菜低损拔取、自适应喂入、柔性输送等关键技术,研发示范稻麦轻简型联合收获机、轻型低损油菜割晒机、玉米摘穗剥皮联合收获机、轻简型甘蔗收获及剥叶装备、甘蓝/白菜联合收获机等装备。

5)缓坡地黏重土壤的薯类、花生及根茎类蔬菜收获装备。重点突破浮动限深挖掘、低损高效平顺输送、果缨高效分离等关键技术,研发示范分段马铃薯联合收获机、轻简型马铃薯联合收获机、轻简型甘薯联合收获机、轻简型花生联合收获机、白萝卜/胡萝卜联合收获装备等。

6)陡坡地果园、茶园及天然橡胶园管理及采收装备。重点突破窄幅电动底盘、自动跟随、多电机/多路动力分配及协同控制、复杂场景的田间管理、仿形采收等关键技术,研发示范适应 25°坡度果园茶园动力底盘及田间管理机、大宗茶自走式采收机、天然橡胶采收系统等装备。

7)陡坡地果园轨道运输及果品物资转运系统。重点突破防侧翻、防脱轨、断绳快速可靠制动、自动停车精确控制、运行状况实时监测等关键技术,研发示范双向牵引式双/单轨运输机、自走式双轨运输机、载人汽油自走式单轨运输机、电动单轨运输机等装备。

8)深泥脚梯级水田水稻轻简型直播和移栽装备。重点突破小型轻量化乘坐式插秧机自走底盘、深泥脚田行走高效动力传递、湿烂田块种床整理与播深控制、高续航大载荷农用无人机等关键技术,研发示范轻量化乘坐式插秧机、大载荷无人机等装备。

9)适应丘陵山区复杂条件的施药、施肥、播种及运输型无人机。重点突破复杂地形跟随、自适应起落、全向数字雷达、精准喷洒等关键技术,研发示范适应丘陵山区复杂地形的植保无人机。

10)移动式智能化水果、蔬菜及中药材清洗分级干燥等初加工装备。重点突破果蔬内外部品质高效在线检测、水果分选无人化、分级加工装备小型化移动化、高效清洗加工等关键技术,研发示范移动式无损检测分选装备、果蔬及中药材初加工成套清洗分选设备、果蔬及中药材多功能绿色智能系列化干燥装备等。

4 多措并举系统推进丘陵山区农业机械化发展

从世界范围看,同为丘陵山区的日本、韩国及我国台湾地区农业机械化均已达到较高水平,发展经验包括:(1)开展土地整治和宜机化改造。日本于1949年出台《土地改良法》,对农田灌排水、耕地整理开发、田间区划、土地条田化整理、田间道路修建等方面给予补助。韩国于1971年起开始实施了类似中国“乡村振兴”的“新村运动”,其中一项重要内容就是扶持农户兴建小型堤坝、桥梁、沟渠,整治农地、修筑农田道路等。农田改造、水利建设为日韩农业机械化发展提供了先决条件。(2)实施多元化的农业补助金制度。日本现行农业补助项目多达500多项,包括农机购置直接补贴(补贴比例高达50%)、对农业公司购买高性能农机给予所得税减免、对个人购买农机提供长达25年、最高3亿日元(636万元人民币)低息贷款等。韩国给农业作业服务公司购买农机提供50%的补贴和40%的贷款,个人购机提供60%~90%的贷款,农机作业用燃油给予税费减免等。(3)构建完善的管理服务体系。由政府、研究所、联合会、协会、农协等组织共同参与,统筹开展农机研发制造、推广应用、标准制定与执行、质量监督、技能培训等工作。(4)成立“农业机械银行”或互助会鼓励农机共用。扶持成立农业机械银行(FMB)、农机互助会(AFM)、农机中心(MFC)、农机小组(MFG)、农业公司(AGC)、农机联合使用组织等多种形式的组织,有效解决农机化资金不足的问题,提高了农机利用率[5-7]。这些做法与措施可以为我国提供较好借鉴。

加快补齐我国丘陵山区农机化短板弱项,提升农业机械化和农业农村现代化水平是一项系统工程,必须贯彻产业科技理念,坚持良机—良种—良法—良田—良制深入融合和研产推用四位一体化推进,具体举措如下。

1)协同攻关推进农机适用化。围绕丘陵山区玉米、大豆、马铃薯等主要作物播种、收获等薄弱环节,适宜地区再生稻、高原青稞以及中药材、林果等特色产业机械化需求,加快适宜高效专用农机具研发推广,重点发展适应性强、轻便、耐用、低耗、复式多功能作业的中小型机械以及特色农产品生产与初加工成套设备,解决“无机可用、无好机用”问题。加强植保无人机、农用北斗终端及辅助驾驶系统等智能农机以及适合山地和大棚温室内作业的中小型电动农机等新能源农机的研发应用,加快推动农机数字化、智能化、绿色化发展。提升面向农机装备零部件和整机安全性、环境适应性、设备可靠性以及可维修性等试验检测和鉴定能力,推进丘陵山区适用农机装备提档升级。

2)深度融合推进农艺标准化。围绕“藏粮于技”以及提高粮食单产、油菜扩面等核心目标,加强种子技术攻关,培育与机械化种植相适应的品种,根据产业特征,在较大范围内选择推广2~3个主导品种,推进良种良机结合,实现规模与效益双升。研究建立以机械化为引领的农艺制度,推动种养模式、生产规模及产后加工等全方位“宜机化”。建设一批全程机械化试验示范基地,分地区、分品种打造一批机械化作业模式,提出标准化的栽培方式、农艺模式和全程机械化作业技术规范,制定形成地方标准并推广执行,深入推动良种良法良机良制相配套。

3)因地制宜推进农田设施宜机化。坚持“改地适机”与“改机适地”并行,借鉴日韩土地改良经验,根据丘陵山区地形地貌特征以及不同作物生产需求,提出缓坡化、梯台化、条田化等差异化改造技术方案,明确田间道路、田块长宽度与平整度等宜机化要求,合理布局水利、水肥一体化等设施,确保真正做到旱能灌、涝能排、路相通、渠相连、林成网,持续改善农机通行和作业条件。根据不同地区产业发展需求和经济基础,因地制宜、有序推进丘陵山区果园、茶园、设施等宜机化改造,提高特色产业现代化水平。

4)多方联动推进政策精准化。瞄准重点产业及环节,健全以企业为主体、市场为导向、研产推用相结合的技术创新体系,推动边研发边试用,边推广边改进,缩短新产品熟化定型和产业化进程,加快提升丘陵山区适用小型农机装备科技创新及应用水平。创新农机购置补贴政策,用好购机补贴政策的区域自主权,对本

地亟须的农机产品补贴比例由30%适度提高至40%～50%；深入推进实施“优机优补”“有进有退”，将“补上农业机械短板”作为“优”的重要评价标准，加大对重要农作物薄弱环节机具的补贴力度。支持农机社会化服务发展，大力培育新型农机化生产服务主体，以本地农机服务龙头为牵引，扶持建设一批高水平、专业化、服务意识和能力强的农机社会化服务组织。加强中央财政投入，引导多元社会资本积极参与农田、果园、茶园、设施等宜机化改造。试点为适用农机购置提供低息贷款，创新推广共享、租用等新型农机使用方式，全力推动丘陵山区农机装备应用水平。

参 考 文 献

[1] 邵腾伟，王堃. 从“以机适地”到“改地宜机”的丘陵山区农业机械化路径优化[J]. 中国农机化学报，2024，45(3)：269－277.
SHAO Tengwei，WANG Kun. Path optimization of agricultural mechanization in hilly areas from “adapting to land conditions with machinery” to “farmland construction suitable for mechanization” [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization，2024，45(3)：269－277.

[2] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国县(市)社会经济统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2012.
Department of Rural socio-economic Survey，National Bureau of Statistics. China county statistical yearbook [M]. Beijing：China Statistics Press，2012.

[3] 陈阜，姜雨林，尹小刚，等. 中国耕作制度发展与新区划[M]. 北京：中国农业出版社，2021.

[4] 吕振宇. 耕地细碎化的评价、效应及整治研究——基于曲周县的实证分析[D]. 北京：中国农业大学，2015.
LÜ Zhenyu. Study on the evaluation，effects，and consoilidation of cultivated land fragmentation—an empirical analysis based on Quzhou county [D]. Beijing：China Agricultural University，2015.

[5] 张宗毅，李庆东. 日韩丘陵山区农业机械化发展的经验[J]. 农机科技推广，2019(8)：8－11.

[6] 丁仕华. 日韩农业机械化扶持政策[J]. 农机质量与监督，2007(6)：43－44.

[7] 曾福生. 日本、韩国及我国台湾地区农业现代化与湖南之比较研究[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版)，2020，21(2)：1－7，19.
ZENG Fusheng. Comparative research of agricultural modernization in Japan，Korea，Taiwan province and Hunan province [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Social Sciences)，2020，21(2)：1－7，19.

Path research on the agricultural mechanization development in hilly and mountainous areas based on application scenarios

CUI Siyuan，CAO Lei，CHEN Cong，HU Chaozhong，
SHEN Shiyi，CAO Guangqiao*

(*Nanjing Institute of Agricultural Mechanization*，*Ministry of Agriculture and Rural Affairs*，*Nanjing* 210014，*China*)

Abstract: In China，the hilly and mountainous areas account for 34.62% of the total cultivated land and 34.20% of the total crop sown area，covering 54.2% of the population，while contributing only 30% to the national GDP. With the overall agricultural mechanization level below 50%，it is urgently needed to accelerate the development of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas to build an agricultural powerhouse. Based on the agricultural tillage system zoning in China，this paper conducts a zoning of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas，taking into account factors such as the distribution of hilly and mountainous areas. Based on the resource endowment conditions，economic and social conditions and industrial economic benefits，this paper summarizes the development status of agricultural mechanization，analyzes the special scenarios of agricultural machinery application from the aspects of cultivated land conditions，soil and agronomy，and analyzes the constraints and bottlenecks of agricultural mechanization development in combination with the factors of agricultural machinery research and development，manufacturing，promotion and application in hilly and mountainous areas of

China. In the context of the application scenario in hilly and mountainous areas, ten key agricultural machinery general technology needs are proposed, such as compact and lightweight specialized engines, lightweight and anti-adhesion and anti-friction materials, and simplified machine structures. Ten applicable agricultural machinery equipment needs, such as efficient and low-cost tillage equipment in sticky soil, seeding equipment for grain, oil, sugar crops, and vegetables in mountainous areas for heavy and sticky soil in gentle slopes, and transplanting equipment for rape and vegetables in mountainous areas for heavy and sticky soil in gentle slopes, are also discussed. Drawing on the experience of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas of Japan, Republic of Korea, etc., this paper puts forward a systematic approach to promoting agricultural mechanization in hilly and mountainous areas, focusing on the integration of good machines, good seeds, good methods, good farmland, and good systems, and the four-in-one approach of research, production, promotion, and use. This approach aims to promote the high-quality development of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas.

Keywords: hilly and mountainous areas; agricultural mechanization; restrictive factors; application scenario; technical requirements; policy suggestion