

基于高质高效的西南丘陵山区机械化生产模式评价

刘鹏伟^{1,2} 杨敏丽^{1,2} 张小军³ 林嘉豪^{1,2} 彭维钦⁴ 王志琴^{1,2}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学中国农业机械化发展研究中心, 北京 100083;
3. 四川省农机化技术推广总站, 成都 610041; 4. 重庆市农业机械化技术推广总站, 重庆 401147)

摘要: 针对西南丘陵山区机械化生产体系不完善、生产模式复杂多样、缺乏系统评价等问题,以农业经营主体为研究对象,从规模适度-生产高效-生态友好等角度构建“农田+农机+农艺+信息”四融合的西南丘陵山区机械化生产系统及模式评价体系,包含农田宜机化、适度规模经营、农机配备质量、农机装备智能化程度、农机生产效益和耕地健康6维度及15个三级指标。应用层次分析法和CRITIC法确定权重;以农田禀赋为基础、机械装备为核心、规模化效益为导向选取西南地区小麦/玉米机械化生产4种典型模式进行评价比较。结果表明:普通农户关键环节机械化生产模式(M1)下地块较小且地势起伏大,机具只能使用小型、低效率机械;化肥与农药施用量高于标准值,其经营规模与发展模式不可持续;家庭农场带状复合种植机械化生产模式(M2)下实现农田连片经营与田间生产全程机械化,然而带状复合种植收获机具技术尚不成熟,导致模式整体作业效率低于合作社模式,但该模式可提高土地利用效率、实现粮食增产,适宜在家庭农场中推广;合作社“全程机械化+数字化”生产模式(M3)下,大中型机械在宜机化改造后的农田中充分发挥作业效率和燃油效率优势,同时产后干燥与初加工处理提升粮食质量和效益,实现了产前、产中、产后全过程机械化,此外数字化管理系统有效提升农业管理和机具使用效率,该模式适宜在丘陵山区合作社及部分家庭农场中大力推广;大型合作社种养循环全程机械化生产模式(M4)在全程高效机械赋能的基础上,实现了种养结合的农业产业链,合作社生产的青贮秸秆销售给奶牛场做加工饲料,奶牛产出的有机肥供给合作社进行循环利用,该模式实现生态经济耕作,适宜在部分养殖大县中进行推广。4种模式的综合评价价值分别为:0.31、0.67、0.86和0.79,排序从大到小依次为:M3、M4、M2、M1;评价结果符合现实情况,该指标体系能够客观评价各机械化生产模式特点,可为西南丘陵山区各经营主体机械化生产模式选择及改进提供理论基础。

关键词: 丘陵山区; 农业机械化; 生产模式; 评价体系

中图分类号: S23 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2022)S1-0140-10

Evaluation of Mechanized Production Model Based on High Quality and High Efficiency in Southwest Hilly and Mountainous Areas

LIU Pengwei^{1,2} YANG Minli^{1,2} ZHANG Xiaojun³ LIN Jiahao^{1,2} PENG Weiqin⁴ WANG Zhiqin^{1,2}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. China Agricultural Mechanization Development Research Center, China Agricultural University, Beijing 100083, China

3. Sichuan Agricultural Mechanization Technology Promotion Station, Chengdu 610041, China

4. Chongqing Agricultural Mechanization Technology Promotion Station, Chongqing 401147, China)

Abstract: Aiming at the problems of imperfect mechanized production system, complex and diverse production models, and lack of systematic evaluation in the hilly and mountainous areas of Southwest China, taking the main body of agricultural management as the research object, a “farmland + agricultural machinery + agronomy + information” was constructed from the perspectives of moderate scale, high production efficiency, and ecological friendliness. Four-integrated evaluation system of mechanized production mode in hilly and mountainous areas of Southwest China, which included six dimensions and 15 tertiary indicators, including suitable mechanization of farmland, moderate scale operation, quality of agricultural machinery equipment, degree of intelligence of agricultural machinery and equipment, agricultural machinery production efficiency and farmland health. The weights were determined by the AHP and CRITIC methods; four typical models of wheat/corn mechanized production

收稿日期: 2022-06-07 修回日期: 2022-08-10

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0701101)

作者简介: 刘鹏伟(1997—),男,硕士生,主要从事农村发展与农业机械化研究,E-mail: s20203071279@cau.edu.cn

通信作者: 杨敏丽(1965—),女,教授,博士生导师,主要从事农村发展与农业机械化研究,E-mail: qyang@cau.edu.cn

in Southwest China were selected for evaluation and comparison based on farmland endowment, mechanical equipment as the core, and scale benefit as the guide. The results showed that under the mechanized production mode (M1) of the key links of ordinary farmers, the plots are small and the terrain is undulating, and the machines and tools can only use small and low-efficiency machinery; the application rate of chemical fertilizers and pesticides was higher than the standard value, and its operation scale and development mode cannot be used. The mechanized production mode (M2) of family farms with strip compound planting realized the mechanization of farmland contiguous operation and field production. However, the technology of strip compound planting and harvesting equipment was not yet mature, resulting in the overall operation efficiency of the model being lower than that of the cooperative model. The model can improve land utilization and increase grain production, and it was suitable for promotion in family farms; under the “full mechanization + digitalization” production mode (M3) of cooperatives, large and medium-sized machinery can give full play to operational efficiency and fuel efficiency in farmland after mechanization transformation. Efficiency advantage, at the same time, post-production drying and primary processing improved grain quality and efficiency, and realized the mechanization of the whole process of pre-production, production and post-production. In addition, the digital management system effectively improved the efficiency of agricultural management and equipment use. This model was suitable for cooperatives in hilly and mountainous areas. The whole-process mechanized production mode (M4) of large-scale cooperatives’ planting and breeding cycle realized an agricultural industrial chain combining planting and breeding on the basis of the whole-process high-efficiency mechanical empowerment. The silage straw produced by cooperatives was sold to dairy farms for production. The feed was processed, and the organic fertilizer produced by the dairy cows was supplied to the cooperative for recycling. This model realized ecological and economic farming and was suitable for promotion in some large farming counties. The comprehensive evaluation values of the four modes were 0.31, 0.67, 0.86 and 0.79, and the order from large to small was as follows: M3, M4, M2 and M1; the evaluation results were in line with the reality, and the index system can objectively evaluate the characteristics of each mechanized production mode, which can be used for the selection and improvement of the mechanized production mode of each operating entity in the hilly and mountainous areas of the southwest, which provided a theoretical basis, and it was further improved in practice.

Key words: hills and mountainous areas; agricultural mechanization; production mode; evaluation system

0 引言

西南丘陵山区作为我国三大典型丘陵山区之一,耕地面积约为 15 965 500 hm^2 ,占全国耕地面积的比重达 12.49%^[1],在保障国家粮食安全中占有重要位置。在全面推进乡村振兴战略的背景下,当前西南丘陵山区农业机械化发展不充分的问题较为突出^[2-3],2020 年西南丘陵山区农作物耕种收综合机械化水平仅为 32.46%,落后全国水平 39.79 个百分点^[4]。随着农村外出务工人员增加以及人口老龄化导致农村劳动力减少,西南丘陵山区急需以机械化生产方式代替传统手工生产方式,通过机械化生产模式评价体系筛选出适宜区域发展的机械化生产模式,提高西南丘陵山区农业综合生产能力并促进粮食增产、农业增效和农民增收。

目前,国内外学者基于不同视角对丘陵山区机械化与生产模式评价的研究集中在丘陵山区农业农机化发展规律^[5-8]与制约因素^[9-12]等方面。文献[13]根据丘陵地区的土地利用情况分析得出丘陵山区耕地分散,小农户经营与机械化规模作业矛

盾明显,丘陵山区需要探索形成具有区域特色的全程机械化生产模式。文献[14]指出丘陵山区农机装备总量少,结构不合理且作业效率低。文献[15]从现代农业产业、生产、经营体系角度预测丘陵山区机械化发展的趋势,并提出须建立丘陵山区特色的机械化模式评价体系。文献[16]结合面板数据对印度尼西亚丘陵山地普通种植户模式与规模化农场模式研究发现农机作业效率和土地规模间存在正向激励的影响。此外,对农机化发展水平评价的成果比较丰富,如文献[17]对国内典型机械化农业作业体系与模式进行了总结和分析。文献[18]构建了我国三大粮食作物机械化生产工程技术模式并对不同区域典型模式进行评价。文献[19]提出从耕整地、种植、收获、植保、干燥、秸秆处理 6 个主要环节对小麦/玉米机械化水平进行评价;文献[20]构建了包括装备水平、作业水平和社会化服务水平的指标体系,对四川省农机化进行综合评价。

综上所述,国内学者已对不同地区的机械化生产模式进行了多样的综合评价,但传统方法往往更注重经济效益的分析评估,对丘陵山区农田质量、农

机智能装备技术等指标的衡量关注很少。因此,基于农业生产高质高效角度对丘陵山区机械化生产模式评价体系进行分析,本文通过构建西南丘陵山区“农田+农机+农艺+信息”四融合机械化生产模式评价理论框架,从农田宜机化、适度规模经营、农机配备质量、农机装备智能化程度、农机生产效益和耕地健康等6个维度选取指标构建评价体系,基于2019—2021年西南丘陵山区各类农业经营主体的调查数据对各生产模式进行综合评价,反映不同模式的生产现状及不足,并在此基础上提出相应的对策和建议,旨在促进引导各种模式不断改进和提升。

1 评价指标体系构建

1.1 “农田+农机+农艺+信息”四融合机械化生产系统构建

当前西南地区农村劳动力老龄化态势明显、农业生产人力成本逐年攀升,急需家庭农场、合作社等新型农业经营主体进行土地流转与托管,合理利用生产资料开展农业生产适度规模经营,提升农业生产效率,同时对解决丘陵山区耕地撂荒问题起到积极作用;农业科技支撑是农业高质量发展的动力,强化农业装备的支撑保障作用不仅要求快速提高农业机械化率,更要推广适宜丘陵山区的轻简高效机械,

提高农业全要素生产率,提高农业生产效益;绿色是农业高质量发展的最终形态,减少化肥与农药的消耗是推进西南丘陵山区绿色农业可持续发展的必由之路,形成与环境资源承载力相匹配的农业发展格局。

农业系统是一个具有经济属性、社会属性和生态属性的复杂系统,其中西南丘陵山区“农田+农机+农艺+信息”四融合生产系统是以农田禀赋为主体的自然生态系统和社会经济系统,通过与机器系统进行信息、物质、能量的传递与协同作用而形成的复合系统。自然生态系统通过土地宜机化改造、种植制度变革与宜机化品种筛选为农业机械使用奠定基础^[21-22]。同时通过社会经济系统中的政府引导作用,新型农业经营主体不断向农业适度规模经营方向发展。机器系统聚焦西南丘陵山区拖拉机、通用动力底盘、联合收获机、植保机械等关键核心技术创新、针对山地地形复杂多变、农机通过性安全性差等突出问题,设计适配丘陵山区特点的轻简智能机械^[23-24]。自然和社会系统与机器系统进行信息、物质、能量传递过程产生了机艺融合模式、机信配备方案、基于数字化管理的适度规模经营等系统功能,从而建立“农田+农机+农艺+信息”四融合机械化生产系统,如图1所示。本文构建了西南丘陵山区机械化生产系统6个维度的评价体系,即农田宜

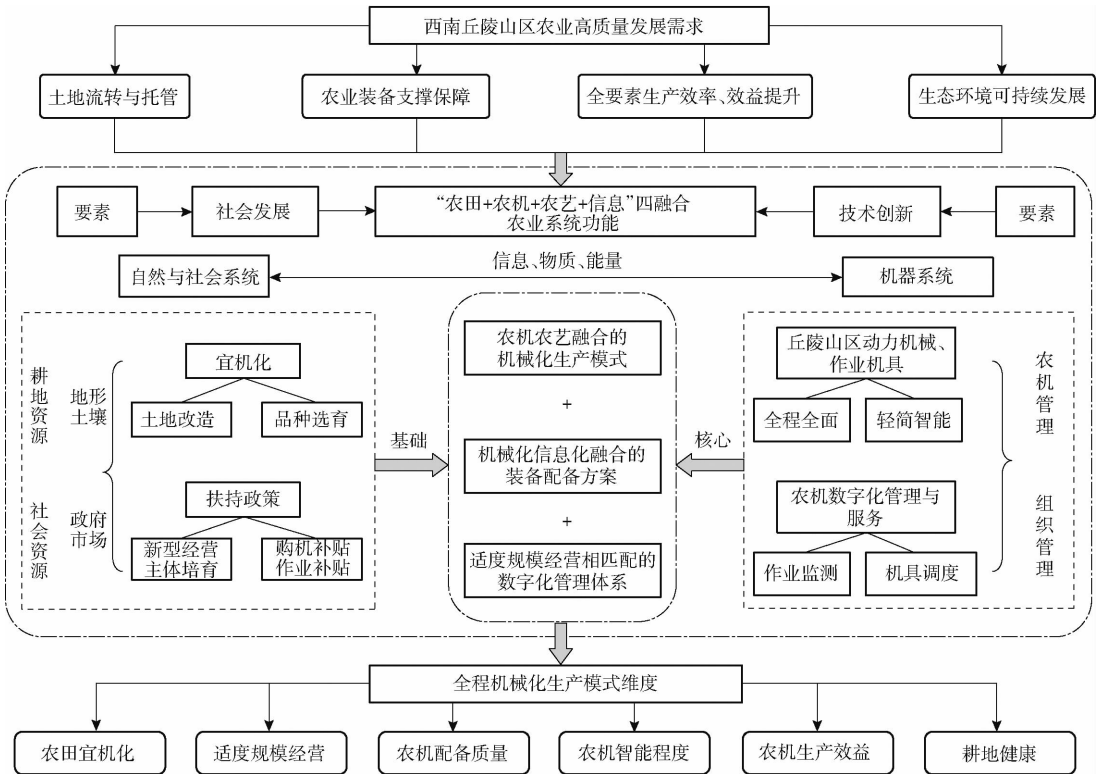


图1 西南丘陵山区“农田+农机+农艺+信息”四融合机械化生产系统

Fig.1 “Farmland + Agricultural Machinery + Agronomy + Information” four-integrated mechanized production system in hilly and mountainous areas of Southwest China

机化、适度规模经营、农机配备质量、农机智能程度、农机生产效益和耕地健康。

1.2 指标体系构建

1.2.1 构建原则与技术路线

指标体系的建立遵循以下原则：①系统性原则。各指标之间有相应的逻辑关系，从不同侧面反映出农机装备结构的主要特征。②科学性原则。评价指标体系准确、客观反映不同模式的水平。③实用性原则。评价指标体系在实践中应具备较好的实用性，评价结果能对微观主体选择和宏观决策有参考价值。④引导性原则。评价指标能充分发挥引导优化模式形成和应用，激励西南丘陵山区机械化生产转方式、调结构，选择合理的技术路线和装备，具体技术路线如图 2 所示。

1.2.2 农田宜机化

当前西南丘陵山区耕地面积和劳动力不足，有效进行土地资源整合是实现农业生产效益提升与农业高效发展的关键点。土地宜机化整治后，机械化的高效率为经营主体降低生产成本，撂荒的耕地因宜机化改造产生了流转价值，有助于促进经营主体开展适度规模经营，故选取田块坡度与宜机化改造面积反映农田宜机化程度。

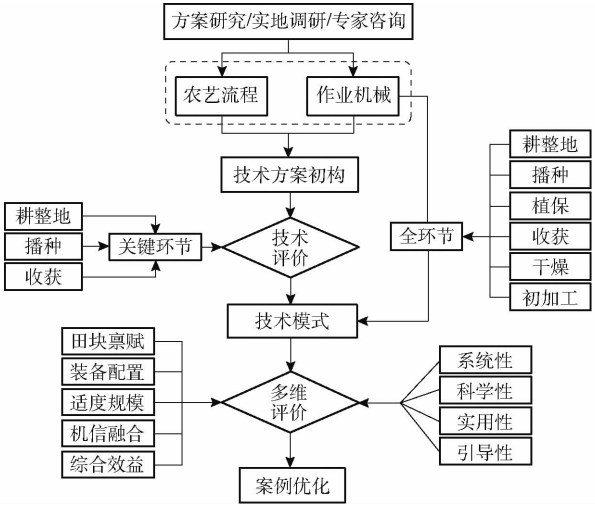


图 2 评价指标技术路线图

Fig. 2 Technical roadmap of evaluation indicators

(1)田块综合坡度：指地表单元陡缓的程度，通常以坡面的垂直高度与水平距离的百分比表示。坡度对农业机械的外廓尺寸、爬坡能力和工作幅宽有所限制，同时对机械牵引性能和通过性产生影响^[25-27]。根据中国农业区划委员会颁发的《土地利用现状调查技术规程》以及丘陵山区实际调研情况，按地表单元陡缓程度将耕地坡度划分为 5 个等级，划分原则见表 1。

表 1 丘陵山区田块坡度等级划分

Tab. 1 Classification of field slope grades in hilly and mountainous areas

级别	地面倾角/(°)	坡度系数	地形特征	权重
I 级	0 ~ 6	0 ~ 0.1	地形平坦, 可视作平地, 地势满足各类农机安全高效作业要求	1
II 级	6 ~ 11	0.1 ~ 0.105	地形为缓坡耕地, 地势较平地略有起伏, 对农机作业的影响较轻	0.9
III 级	11 ~ 15	0.105 ~ 0.26	地形介于缓坡与陡坡, 但地势适于机械化耕作与种植, 基本满足农机安全高效作业要求, 但农机作业效率显著低于缓坡地	0.5
IV 级	15 ~ 25	0.26 ~ 0.46	地形较陡, 地势起伏明显, 农机作业难度大, 不满足大中型农机安全高效作业要求	0.1
V 级	> 25	> 0.46	25°以上的坡地, 不适宜机械作业	0

田块综合坡度计算方式为

$$R_a = \frac{S_a \times 1.0 + S_b \times 0.9 + S_c \times 0.5 + S_d \times 0.1 + S_e \times 0}{S} \times 100\% = \frac{S_a + 0.9S_b + 0.5S_c + 0.1S_d}{S} \times 100\% \quad (1)$$

式中 R_a ——田块综合坡度，%
 S ——农业经营主体所耕作的全部土地面积
 S_a 、 S_b 、 S_c 、 S_d 、 S_e ——被评价主体经营的耕作土地中土地类型属于 I、II、III、IV、V 级的土地面积

(2)宜机化改造面积占比：通过应用挖土机等改造机械对土地进行田块间相互打通、打破田埂、降低坡度等有利于大中型农业机械开展农业生产活动

的土地面积与全部土地面积之比。

1.2.3 适度规模经营

根据微观经济学理论，适度规模是指在技术不变的条件下，农业生产者能够获得最高规模报酬的土地经营规模。丘陵山区普通农户经营规模偏小，生产效益低下。一定程度上扩大经营规模，可以获得规模效益（如图 3 所示），但农户土地经营规模也并非越大越好，超过某一经营规模会导致规模报酬递减，因此需要根据区域条件确定最佳的经营规模。

(1)土地经营规模：西南丘陵山区经营规模划分采用分段打分的方式，其分值区间依照规模报酬的变化规律设定。根据调研数据和成本效益测算得到，西南丘陵地区的适度规模值为 13.3 hm²。此外区间均按一次函数计算分值，并进行圆整。

(2)单位土地劳动力投入量:每公顷土地投入的劳动力人数。

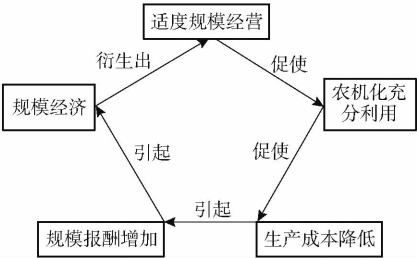


图 3 机械化生产与规模经济的关系
Fig.3 Relationship between mechanized production and economies of scale

1.2.4 农机配备质量

合理运用各种农业机械装置和设备是农业机械化效率提升的重要基础,农业机械装备质量反映农机装备结构以及产前产中产后全程机械化实现程度。选取农机作业效率等 5 个三级指标反映农机配备质量。

(1)农机作业效率:农机在作业地块中每小时作业的面积。

(2)配套比:拖拉机拥有量与其配套农具的比值。

(3)单位播种面积农机动力:指单位播种面积配置的农机总动力。此处机械作业的环节包括机耕、机播、田间管理(除草、施肥、植保)、机收。

(4)燃油效率:衡量单位面积机械耗油,计算方法为累计机械作业面积与累计燃油量之比。

(5)干燥机械化保障能力:当年使用谷物干燥机、有热源装置的干燥设施进行干燥处理的粮食质量之和与粮食产量比值。

1.2.5 农机装备智能化程度

随着机械技术和信息技术的不断发展,农业机械也将二者进行了有机的结合,促进了农业机械向精准化方向转变。其在农业机械上的应用也成为了机械化高质量发展的必然趋势,通过选取动力机具智能化程度、作业机具监测信息化程度、农机精确调度程度全面体现该模式下农机装备智能化程度。

(1)动力机具智能化程度:机械化生产模式下的拖拉机可以实现自动导航、精准控制农机行进速度与作业姿态^[28-30]。计算方法为装备有中央处理芯片(CPU)、可以实现导航控制的智能动力机具数量占有所有农机的比例。

(2)作业机具监测信息化程度:机械化生产模式下农机实现对作业过程中作业速度、耕作深度、喷药量、施肥量等作业数据的智能监测。计算方法为集成有智能控制系统与检测传感器等智能化信息化

农机数量占有所有农机的比例。

(3)农机精确调度程度:通过设定决策因素,按照规范组建农机作业协调算法库,形成农机调度模型,通过物联网和互联网,输出需指派的农机具类型、作业功率、操作人员、作业区、作业量等指令信息,合理调配农机具、操作人员以及物资,实现农机需求与农机具的快速自动匹配。计算方法为纳入农机调度系统的农机数量占有所有农机的比例。

1.2.6 农机生产效益

农机生产效益贡献主要通过经济效益体现。经济效益具体体现为劳动生产率提高后农业效益的增加,也是体现高质量发展中共享程度与人民生活内涵的指标。选取投入产出率作为解释指标。具体为粮食产值与总投入值(宜机化改造费用、土地使用费用、农资(种、肥、水、药)费用、机械作业费用、机械折旧费用和人工作业费用之和)之比。

1.2.7 耕地健康

耕地是粮食安全的根本保障,耕地是否健康决定农业生产是否可以高质量可持续发展,通过农机装备使用带来的药、肥等的节约,可以有效提高耕地承载力。选取单位面积土地农药施用强度(折纯量)和土地化肥施用强度(折纯量)反映耕地健康程度。

1.3 指标体系筛选

对西南丘陵山区机械化生产模式评价包括定量评价和定性分析两部分^[25],定量评价是对生产模式本身进行的评价,用以评价模式是否能满足丘陵山区生产的需要,是否代表先进技术发展方向。定性分析对模式的效益进行评价,反映出该模式对丘陵山区农村经济发展、农民收入、生态环境的影响。分析指标有机艺融合程度、机信融合程度、组织化程度。机艺融合程度衡量农机技术、装备与农艺的融合程度。机信融合程度衡量农机装备与信息化管理平台的融合程度。组织化程度衡量组织发展、业务经营等方面的管理能力。最终形成的指标体系如表 2 所示。

2 指标体系的综合评价

2.1 基础数据采集

2019—2021 年研究团队在西南丘陵地区绵阳市三台县、重庆潼南区建立的丘陵山区机械化示范基地上,对小麦/玉米进行了机械化生产模式的数据跟踪和采集,并通过走访、电话调研等方式对西南丘陵山区普通种植户、家庭农场、合作社等进行了问卷调查。对于标准值的设定,本研究采用“丘陵山区农业机械化发展目标与要求+统计数据分析+实际调查+专家咨询”相结合的方法,得到各指标的标准值,如表 2 所示。

表 2 西南丘陵山区机械化生产模式评价指标体系

Tab.2 Evaluation index system of mechanized production mode in hilly and mountainous areas of Southwest China									
目标层	指标类型	准则层	权重	指标层	权重	标准值	关系		
西南丘陵山区机械 化生产模式水平	评价指标	农田宜机化程度	0.18	田块综合坡度	0.39	1	正向		
				宜机化改造面积占比	0.61	100%	正向		
		土地经营规模	0.21	土地经营规模	0.65	1	中性		
				单位土地劳动力投入量	0.35	0.03 hm ² /人	反向		
		农机配备质量	0.24	作业效率	0.28	3.9 hm ² /h	正向		
				燃油效率	0.23	45 hm ² /L	中性		
				单位播种面积农机动力	0.21	7.5 kW/hm ²	中性		
				配套比	0.14	2	正向		
				干燥机械化保障能力	0.12	100%	正向		
				动力机具智能化程度	0.36	100%	正向		
		农机装备智能化程度	0.15	作业机具监测信息化程度	0.39	100%	正向		
				农机精确调度程度	0.25	100%	正向		
		农机生产效益	0.12	投入产出率	1	150%	正向		
		耕地健康程度	0.10	单位土地农药施用量	0.55	4.5 kg/hm ²	中性		
				单位土地化肥施用量	0.45	750 kg/hm ²	中性		
		分析指标	机艺融合程度	作物品种宜机化、种植制度宜机化					
			机信融合程度	具备农机作业精准化和农机管理信息化的能力					
			组织化程度	农机经营主体的经营模式、政策支持方式					

2.2 权重设定

本研究根据西南丘陵山区机械化生产模式评价指标体系的特点,结合文献综述和专家咨询,采用主客观赋权法相结合的“组合赋权法”来确定权重^[31],对 CRITIC (Criteria importance though intercriteria correlation)法和 AHP(Analytic hierarchy process)法的重要性进行赋权,以平衡主客观权重的优缺点,提高评价结果的准确性。

采用 AHP 法确定指标权重。围绕指标体系设计调研问卷,邀请国内相关领域的 10 名专家采用相对重要等级标度表对各级指标进行相对重要性打分,运用层次分析法确定不同指标对于西南丘陵山区农业机械化发展影响程度。采用 1~9 标度法建立判断矩阵,从而计算出各指标的相对权重,得:CI 为 0.03、RI 为 1.19、CR 为 0.025,通过一致性检验,各层次指标重要性排序有效。

CRITIC 法在确定权重时,以对比强度和冲突性为基础。对比强度指同一个指标各个评价对象之间差距,以标准差的形式表现,指标的标准差越大,各评价对象之间的差距就越大。具体计算公式为

$$G_i = s_i \sum_{j=1}^n (1 - \rho_{ij}) \quad (i = 1, 2, \cdots, n)$$

(2)

式中 G_i ——指标所含的信息量
 s_i ——各指标数据的标准差
 ρ_{ij} ——指标间的相关系数

G_i 越大,则第 i 个指标所含的信息量 ρ_{ij} 就越大,该指标就越重要,赋权也应更大。客观权重 β_i 的计算式为

$$\beta_i = \frac{G_i}{\sum_{j=1}^n G_j}$$

(3)

组合赋权法 (Combination weighting method) 计算权重,计算公式为

$$D_i = 0.57A_i + 0.43C_i$$

(4)

式中 D_i 表示基于组合赋权法计算得到的第 i 个指标的综合权重, A_i 和 C_i 分别表示由 AHP 法和 CRITIC 法求取的权重,0.57、0.43 表示通过 Delphi 法对 AHP 和 CRITIC 这 2 种方法的重要性进行赋权的均值。计算得出综合评价指标体系及各级指标的权重(表 2)。

2.3 指标体系评价方法

西南丘陵山区机械化生产模式采用多目标线性加权求和模型评价综合性指标,具体数学模型为

$$L = \sum_{i=1}^{15} L_i D_i$$

(5)

式中 L_i ——第 i 项指标标准值得分
 D_i ——第 i 项指标的综合权重

3 实例分析

3.1 评价的主要模式

为了检验评价指标体系的科学性,在调研的众多模式中,选取了 4 种典型模式进行评价。其中模式 M1(普通种植户关键环节机械化生产模式)是西南丘陵山区目前应用最广泛的模式,模式 M2(家庭农场玉米大豆带状复合种植机械化生产模式)在家庭农场中占有较大比例,模式 M3(合作社“全程机

械化+数字化”生产模式)在示范推广合作社中广为应用,模式 M4(大型合作社种养循环全程机械化

生产模式)在少数大型合作社有所应用,各模式技术如图 4 所示。

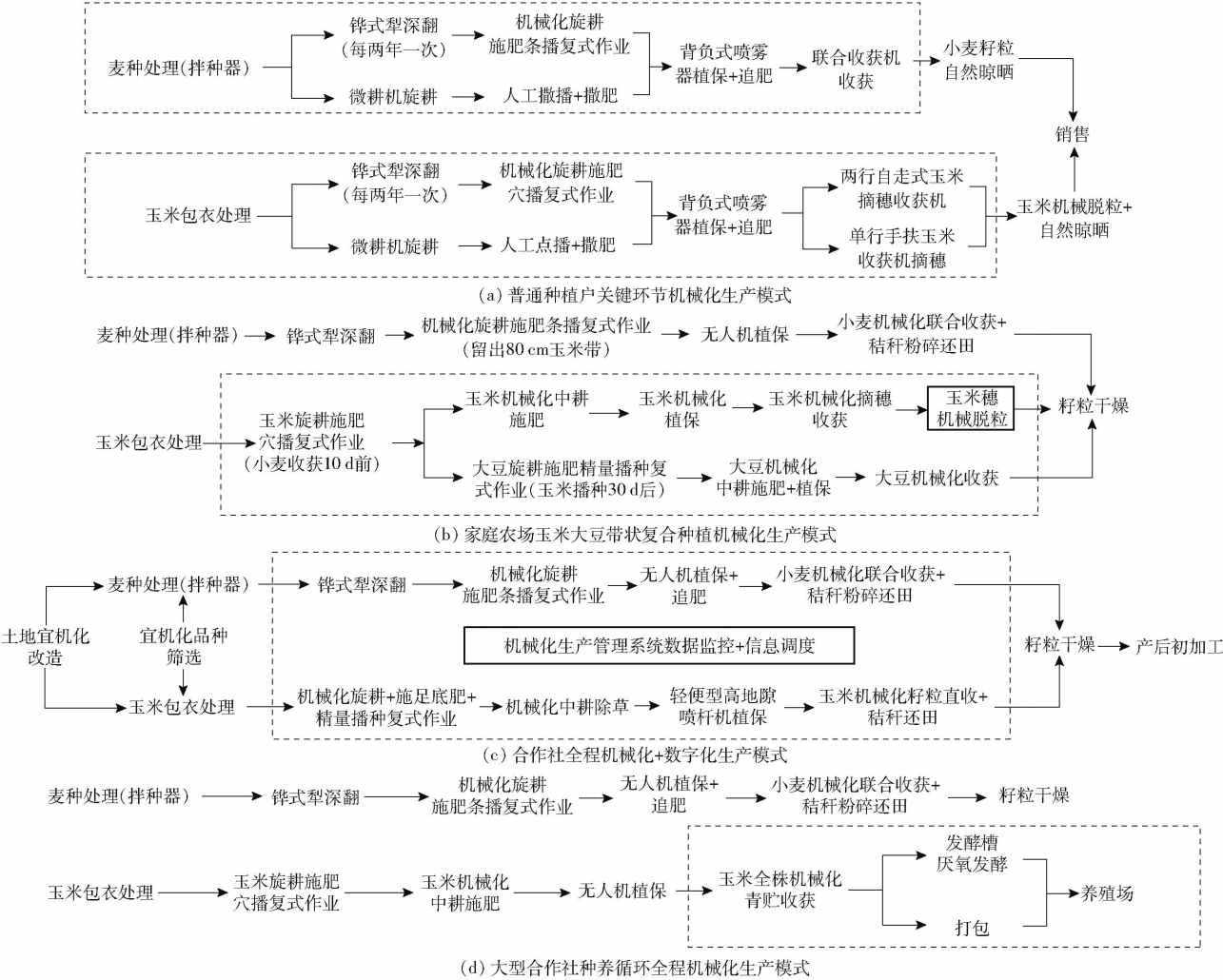


图 4 4 种评价的主要生产模式

Fig. 4 Main production modes of four evaluations

3.2 模式评价及结果

选择西南丘陵山区 4 种典型机械化生产模式进行指标体系的应用分析。所有的数据均由研究人员实地调研或田间实测获得,评价结果显示与现实情况基本吻合。

针对上述 4 种不同技术模式,利用式(5)计算出综合评价指数,4 种模式在不同维度下有较大差异(表 3);总体来看,模式 M1 与其他模式具有明显差异,如雷达图 5 所示。

从农田禀赋和适度规模角度分析,普通种植户拥有田块小、部分地块坡度较陡,不便于大中型农业机械进行作业。大中型合作社对土地进行宜机化改造的比例较高,有效降低了地块坡度,且改造后的耕地有效利用面积增加 3%~5%,对周边家庭农场进行土地流转与改造有带动及集群效应。在有土地流转和宜机化改造的生产模式中流转土地费用与宜机化改造年均分摊(8 年)费用为 460 元,抛开此项成

本,该模式的产投比可进一步提高。

从农机配备质量与农机智能化角度分析,普通种植户农机装备结构不够合理,主要以小、微和半机械化为主(如微耕机、背负式植保机械、单行手扶玉米摘穗机等)。由于田块禀赋不足,农业机械在使用时需频繁调整姿态甚至转向,燃油消耗加剧。即使部分同类型机器在普通种植户和家庭农场等生产模式下也产生不同作业效率,家庭农场与合作社模式采取全程机械化方式,并且针对丘陵山区地形特点采取无人机、高底盘、履带式等通过性良好的农业机械,节约作业成本且提高作业效率。大中型拖拉机可以配套更多的机具,作业效率和燃油效率明显提高。合作社生产模式下配备有“机械化+数字化+智能化”的丘陵山区小麦、玉米生产数字化管理系统,集成应用无人机、传感器、北斗导航定位系统,提升农业生产和管理效率。减少田间管理用工 30%以上,实现节种、节肥、节药,降低成本 10%以上,

表 3 4 种模式评价得分

Tab.3 Evaluation scores of four modes

指标	实际值				评价值			
	模式 M1	模式 M2	模式 M3	模式 M4	模式 M1	模式 M2	模式 M3	模式 M4
田块综合坡度/%	59	77	92	84	0.59	0.77	0.92	0.84
宜机化改造面积占比/%	0	70	85	75	0	0.70	0.85	0.75
土地经营规模/hm ²	1.73	8.66	33.33	26.66	0.17	0.82	0.90	0.95
单位土地劳动力投入量/(hm ² ·人 ⁻¹)	0.20	0.03	0.03	0.03	0.16	0.80	0.96	1.00
作业效率/(hm ² ·h ⁻¹)	1.80	3.75	5.50	4.50	0.46	0.96	1.00	1.00
燃油效率/(hm ² ·L ⁻¹)	14.40	56.25	43.50	48.60	0.32	0.75	0.92	0.84
单位播种面积农机动力/(kW·hm ⁻²)	3.12	10.21	8.68	9.13	0.41	0.64	0.85	0.79
配套比	1.17	1.58	2.00	1.75	0.55	0.75	1.00	0.88
干燥机械化保障能力/%	0	100	100	0	0.00	1.00	1.00	0.00
动力机具智能化程度/%	0	10	40	15	0	0.10	0.40	0.15
作业监测信息化程度/%	0	20	70	40	0	0.20	0.70	0.40
农机精确调度程度/%	0	0	65	25	0	0	0.65	0.25
投入产出率/%	78	115	135	120	0.52	0.77	0.90	0.80
单位土地农药施用量/(kg·hm ⁻²)	6.52	5.52	4.00	4.00	0.55	0.78	0.89	0.89
单位土地化肥施用量/(kg·hm ⁻²)	830.00	945.00	700.00	700.00	0.89	0.74	0.93	0.93
综合评价指数					0.31	0.67	0.86	0.79

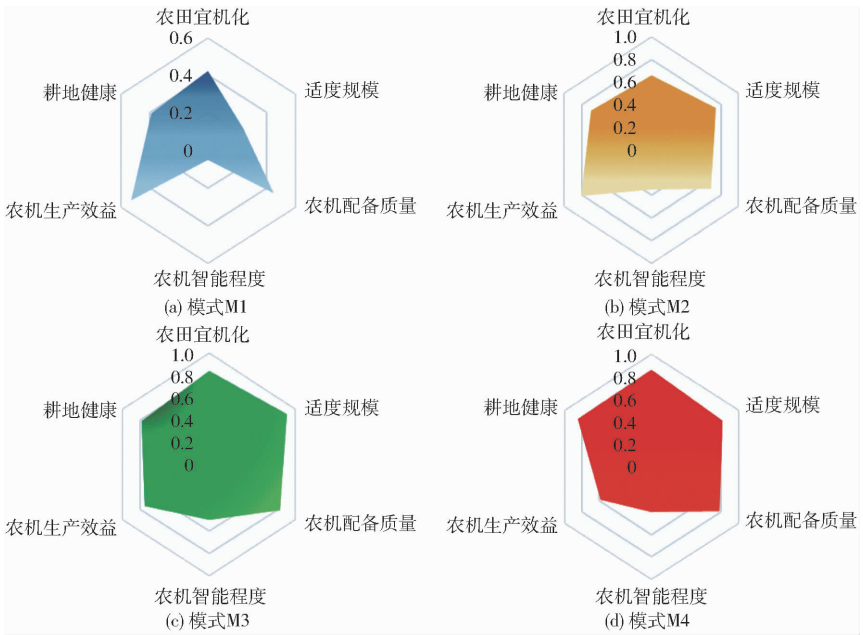


图 5 各模式评价结果雷达图

Fig. 5 Radar chart of evaluation results of each mode

提高产量 5%。技术装备要素在模式中起决定性作用。

从可持续发展角度分析,普通种植户模式不计算自身劳动投入费用,导致生产成本低,但人工作业劳动量极大,且在播种、追肥、植保环节投入的农资费用显著高于其他模式,化肥与农药施用量高于其他模式,且部分散户将小麦、玉米秸秆焚烧,发展模式不可持续。家庭农场与大中型合作社实现田间全程机械化作业,适合大规模种植,有产后处理环节,提高了粮食质量,产后加工处理提高了粮食的经济价值。该生产模式便于管理,能大幅提高小麦玉米

播种、田间管理和收获质量,保证规模经营的高产、稳产和效益。除了秸秆还田的方式处理秸秆,还有青贮饲料加工,秸秆回收综合利用等解决手段。

合作社在政策性方面特点明显:合作社在当地有示范作用,得到了政府的大力支持。主要的支持方式有购机补贴、专家指导等。丘陵山区省份应加大丘陵山区农田宜机化改造力度,加强农机农艺融合的适宜机械化技术模式的推广与培训,加大先进适用、小型智能农机研发与推广,将合作社差异化扶持政策^[32]、农用柴油补贴实施、机械化生产模式推广、宜机化品种推广、农机人才培养等促进内容进行

具体实施,西南丘陵山区农业机械化高质量发展促进机制如图6所示。

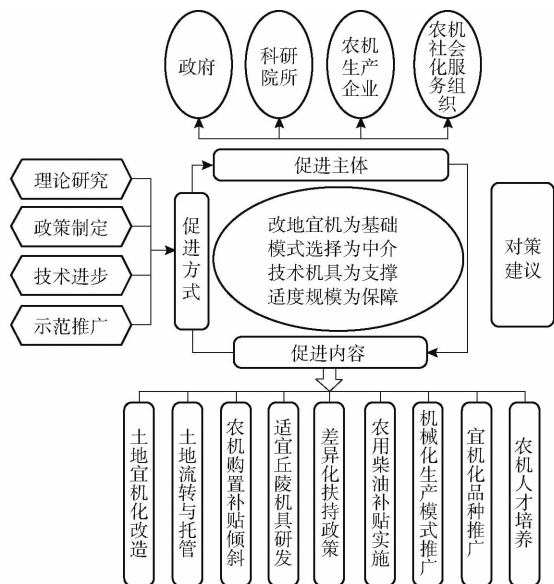


图6 西南丘陵山区农业机械化高质量发展促进机制

Fig.6 Promotion mechanism for high-quality development of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas of Southwest China

4 结论

(1)基于农业生产高质高效角度对西南丘陵山区机械化生产模式评价体系进行分析,构建西南丘陵山区“农田+农机+农艺+信息”四融合机械化生产模式评价框架,从农田宜机化、适度规模经营、农机配备质量、农机装备智能化程度、农机生产效益

和耕地健康等6个维度选取指标构建评价体系,采用多目标线性加权求和综合评价方法与组合赋权法确定指标体系权重。

(2)基于2019—2021年西南丘陵山区各类农业经营主体的调查数据对各生产模式进行评价。综合比较不同生产模式的特点与效益,选取的4种典型模式在不同评价维度下显现出明显差异;4种模式的综合评价值分别为:0.31、0.67、0.86和0.79,排序从大到小依次为:M3、M4、M2、M1;全程机械化+数字化生产模式下的农机专业合作社较传统农户在土地、人力、资本、技术、信息、社会等资源要素方面更具优势,使其成为丘陵山区发展多种形式适度规模经营的核心载体。

(3)合作社“全程机械化+数字化”生产模式实现了粮食作物生产环节的全程机械化,该模式下合作社的农机装备结构加快向大功率、多功能、高性能、智能化方向发展,实现产前产中产后高效率作业,并且大中型合作社对土地进行宜机化改造,对周边家庭农场及普通种植户有一定的带动及集群效应。农机合作社作为实现农业高质量发展的重要经营主体及农业机械化和信息化融合的重要实施主体,应加大政策扶持力度,促进其更快更好发展。

(4)研究选取的4种典型模式虽然有较广泛的代表性,且已经进行了较大范围的示范推广,但并不能代表全部。此外需进一步加强对不同经营主体规模化及其装备配置的研究,探索带动小农户发展、促进规模化经营的技术模式与组织方式之间的关系。

参考文献

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2020.
- [2] 杨敏丽,白人朴. 中国农业机械化发展的不平衡性研究[J]. 农业机械学报,2005,36(9):60-63.
YANG Minli, BAI Renpu. Study on the unbalanced development of agriculture mechanization in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005,36(9):60-63. (in Chinese)
- [3] 杨敏丽. “十四五”农业机械化面临的重大挑战与战略任务[J]. 中国农业文摘——农业工程,2020,32(4):3-5,13.
YANG Minli. The major challenges and strategic tasks of agricultural mechanization during the “14th Five-Year Plan”[J]. China Agricultural Digest—Agricultural Engineering, 2020, 32(4):3-5,13 (in Chinese)
- [4] 中华人民共和国农业农村部. 2020年全国农业机械化统计年报[M]. 北京:农业农村部农业机械化推广司,2021.
- [5] 陈进. 亚洲发达国家及地区丘陵山区农业机械化发展的经验与启示[J]. 四川农业与农机,2009(5):33-35.
CHEN Jin. Experience and enlightenment of agricultural mechanization development in Asian developed countries and regions in hilly and mountainous areas[J]. Sichuan Agriculture and Agricultural Machinery, 2009(5):33-35. (in Chinese)
- [6] SKLENICKA P, JANOVSKA V, SALEK M, et al. The farmland rental paradox: extreme land ownership fragmentation as a new form of land degradation[J]. Land Use Policy, 2014, 38:587-593.
- [7] 庹洪章. 四川丘陵山区玉米机械化生产现状分析及对策研究[J]. 中国农机化学报,2016,37(6):264-267.
TUO Hongzhang. Analysis on the status quo and countermeasures of maize, echanized production in hilly mountainous areas of Sichuan[J]. Chinese Journal of Agricultural Machinery, 2016, 37(6):264-267. (in Chinese)
- [8] 易中懿,曹光乔,张宗毅. 我国南方丘陵山区农业机械化宏观影响因素分析[J]. 农机化研究,2010,32(8):229-233.
YI Zhongyi, CAO Guangqiao, ZHANG Zongyi. Analysis of the macro-influencing factors of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas in southern my country[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2010, 32(8):229-233. (in Chinese)
- [9] 杨敏丽,李世武,恽竹恬. 区域农业机械化发展问题研究[J]. 中国农机化,2010(1):8-13.
YANG Minli, LI Shiwu, YUN Zhutian. Study on regional development of agricultural mechanization in China[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(1):8-13. (in Chinese)
- [10] ELIODORO R. Scope of farm mechanization in Shivalik hills of India[J]. AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2001, 32(1):59-64.
- [11] SHALINI V. Agricultural mechanization in hills of Himachal Pradesh—a case study[J]. AMA, Agricultural Mechanization in

- Asia, Africa and Latin America, 2003, 34(1):66-72.
- [12] 宋建武. 加快突破丘陵山区农业机械化的发展瓶颈[J]. 中国农机化, 2010(2):16-19.
SONG Jianwu. Speed up breaking bottlenecks of the hilly agricultural mechanization development[J]. Chinese Agricultural Mechanization, 2010(2):16-19. (in Chinese)
- [13] 汪懋华. 加快推进南方与丘陵山区农业机械化发展的思考[J]. 南方农机, 2015, 46(8):3-7.
WANG Maohua. Thoughts on accelerating the development of agricultural mechanization in the south and hilly and mountainous areas[J]. Nanfang Agricultural Machinery, 2015, 46(8):3-7. (in Chinese)
- [14] 罗锡文. 对发展丘陵山区农业机械化的思考[J]. 农机科技推广, 2011(2):17-20.
LUO Xiwen. Thinking about the development of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas[J]. Agricultural Machinery Science and Technology Promotion, 2011(2):17-20. (in Chinese)
- [15] 涂志强. 丘陵山区农机化发展现状和趋势[J]. 现代农业装备, 2018(1):18-20.
TU Zhiqiang. The development status and trend of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas[J]. Modern Agricultural Equipment, 2018(1):18-20. (in Chinese)
- [16] YAMAUCHI F. Wage growth, landholding, and mechanization in agriculture: evidence from Indonesia[R]. The World Bank, 2014.
- [17] 高焕文. 农业机械化生产学(上册)[M]. 北京:中国农业出版社, 2002.
- [18] 黄凰, 杨敏丽, 黄光群. 主要粮食作物机械化生产工程模式构建与评价[J]. 农业工程学报, 2013, 29(23):53-61.
HUANG Huang, YANG Minli, HUANG Guangqun. Construction and evaluation of mechanized production engineering mode for major food crops[J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(23):53-61. (in Chinese)
- [19] 陈巧敏, 李斯华, 王利民. 主要农作物生产全程机械化水平评价研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(1):1-5.
CHEN Qiaomin, LI Sihua, WANG Limin. Research on the evaluation of the mechanization level of the main crop production process[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 39(1):1-5. (in Chinese)
- [20] 褚红春, 李杰, 袁志英. 基于非线性假设的农业机械化综合评价: 以四川地区为例[J]. 农机化研究, 2015, 37(8):44-48.
CHU Hongchun, LI Jie, YUAN Zhiying. Comprehensive evaluation on nonlinear analysis of agricultural machinery: taking Sichuan area as an example[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(8):44-48. (in Chinese)
- [21] 陈孟坤, 杨建国. 四川省“五良”融合产业宜机化改造项目理清几个问题[J]. 四川农业与农机, 2021(6):16-19.
CHEN Mengkun, YANG Jianguo. Several problems should be sorted out in Sichuan Province's "five good" integration industry suitable mechanization transformation project[J]. Sichuan Agriculture and Agricultural Machinery, 2021(6):16-19. (in Chinese)
- [22] 刘光盛, 赵乐松, 程迎轩, 等. 基于限制因子的粤北丘陵山区耕地宜机化整治分区[J]. 农业工程学报, 2021, 37(12):262-270.
LIU Guangsheng, ZHAO Lesong, CHENG Yinxuan, et al. Land consolidation zoning of northern Guangdong for suitable mechanization transformation in hilly and mountainous areas based on limiting factors[J]. Transactions of the CSAE, 2021, 37(12):262-270. (in Chinese)
- [23] 张锦辉, 李彦明, 齐文超, 等. 基于神经网络 PID 的丘陵山地拖拉机姿态同步控制系统[J]. 农业机械学报, 2020, 51(12):356-366.
ZHANG Jinhui, LI Yanming, QI Wenchao, et al. Synchronous control system of tractor attitude in hills and mountains based on neural network PID[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(12):356-366. (in Chinese)
- [24] 齐文超, 李彦明, 张锦辉, 等. 丘陵山地拖拉机车身调平双闭环模糊 PID 控制方法[J]. 农业机械学报, 2019, 50(10):17-23, 34.
QI Wenchao, LI Yanming, ZHANG Jinhui, et al. Double closed loop fuzzy PID control method of tractor body leveling on hilly and mountainous areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(10):17-23, 34. (in Chinese)
- [25] 陈超, 曹磊. 中部缓坡区耕地后备资源特征差异对农机应用影响分析[J]. 农机化研究, 2013, 35(1):34-37.
CHEN Chao, CAO Lei. Analysis of the influence of the difference in the characteristics of cultivated land reserve resources on the application of agricultural machinery in the central gentle slope area[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(1):34-37. (in Chinese)
- [26] ZHONG Tao. Temporal and spatial variability of agricultural land loss in relation to policy and accessibility in a low hilly region of southeast China[J]. Land Use Policy, 2011, 28(4):762-769.
- [27] 王旭, 魏清勇. 黑龙江垦区拖拉机选型试验适应性分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2):138-139.
WANG Xu, WEI Qingyong. Adaptability analysis of tractor type selection test in Heilongjiang reclamation area[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(2):138-139. (in Chinese)
- [28] GROVES P D. Principles of GNSS, inertial, and multi-sensor integrated navigation systems[J]. Industrial Robot, 2013, 67(3):191-192.
- [29] 谢斌, 武仲斌, 毛恩荣. 农业拖拉机关键技术发展现状与展望[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8):1-17.
XIE Bin, WU Zhongbin, MAO Enrong. Current situation and prospect of key technology development of agricultural tractor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8):1-17. (in Chinese)
- [30] 张漫, 季宇寒, 李世超, 等. 农业机械导航技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2020, 51(4):1-18.
ZHANG Man, JI Yuhan, LI Shichao, et al. Research progress of agricultural machinery navigation technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(4):1-18. (in Chinese)
- [31] 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 Weilin, WANG Ruiho, JIANG Qian, et al. Research on the connotation and evaluation of agricultural green development[J]. China Agricultural Resources and Zoning, 2019, 40(4):14-21. (in Chinese)
- [32] 冷博峰, 冯中朝, 周晓时, 等. 农机购置补贴对农户购机投入模型与影响分析[J]. 农业工程学报, 2020, 36(23):324-334.
LENG Bofeng, FENG Zhongchao, ZHOU Xiaoshi, et al. Modeling and analysis of the effects of agricultural machinery purchase subsidies on farmers' agricultural machinery investment[J]. Transactions of the CSAE, 2020, 36(23):324-334. (in Chinese)