

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2022.S1.015

丘陵山区小麦/玉米收获机械选型评价研究

林嘉豪^{1,2} 杨敏丽^{1,2} 张小军³ 刘鹏伟^{1,2} 李尚⁴ 彭健^{1,2}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学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: 由于丘陵山区地形地貌、农田规模和地块条件的特殊性, 缺乏小麦玉米收获机械科学选型方法, 特别是对地形条件和安全性考虑不足, 导致部分收获机械在丘陵山区的作业适应性、通过性差, 损失率偏高。为提高小麦玉米收获机械的适应性, 降低机收损失率, 实现安全绿色高效生产, 本文秉持先进适用、轻简高效、绿色环保、安全舒适等基本原则, 在农机选型理论上, 通过实地调研和专家咨询, 基于定性分析与定量分析相结合、理论与实际相结合、农机与农艺相融合的方法, 采用层次分析法构建了由能耗、作业效率、作业效果、作业性能、舒适性、安全性等6个二级指标、16个三级指标组成的丘陵山区小麦/玉米收获机械选型评价指标体系, 根据专家调查法及相关研究确定评价指标权重。结合田间试验和实地调研, 在四川省三台县对J-2.5型(I)、L-3.5型(II)、W-4.0型(III)、S-4C型(IV)、A-5.0ZA型(V)、W-6.0EA型(VI)等6种小麦收获机进行选型评价验证。研究结果表明, 6种小麦收获机的综合评价价值分别为0.71、0.43、0.50、0.73、0.45和0.39, 其效果排序依次为IV、I、III、V、II、VI。评价结果符合农户实际使用情况, 说明该评价指标体系在西南丘陵山区具有较好的科学性和适用性, 可为有关管理部门和农户进行小麦收获机械选型提供科学依据, 并能为农机科研单位、生产企业改型、研制适宜于丘陵山区的小麦玉米收获机提供参考。

关键词: 丘陵山区; 收获机械选型; 评价指标体系; 层次分析法

中图分类号: S23 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2022)S1-0150-08

Evaluation of Wheat and Corn Harvester Selection in Hilly and Mountainous Area

LIN Jiahao^{1,2} YANG Minli^{1,2} ZHANG Xiaojun³ LIU Pengwei^{1,2} LI Shang⁴ PENG Jian^{1,2}

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

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

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

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

Abstract: Due to the particularity of topography, farmland scale and land conditions in hilly and mountainous areas, there is a lack of scientific selection methods for wheat and corn harvesting machinery, especially the insufficient consideration of terrain conditions and safety, resulting in poor adaptability and passability of some harvesting machinery in hilly and mountainous areas and high loss rate. In order to improve the adaptability of wheat and corn harvesting machinery, reduce the loss rate of machinery, achieve safe, green and efficient production, and ensure the warehousing of grain particles, adhering to the basic principles of advanced application, light and efficient, green environmental protection, safety and comfort, based on the theory of agricultural machinery selection, through field research and expert consultation, Based on the combination of qualitative analysis with quantitative analysis, combining theory with practice, the integration of agricultural machinery and agronomy, the method of analytic hierarchy process (AHP) was used to construct the energy consumption, operation efficiency, operation effect and operation performance, comfort, security, and other six secondary index, totally 16 three-level index of hilly wheat/corn harvest machine selection evaluation index system.

收稿日期: 2022-06-05 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: 林嘉豪(1997—),男,博士生,主要从事主要农作物机械化生产模式与机器系统研究,E-mail: bs20213070613@cau.edu.cn

通信作者: 杨敏丽(1965—),女,教授,博士生导师,主要从事主要农作物机械化生产模式与机器系统研究,E-mail: qyang@cau.edu.cn

According to the expert survey method and related research to determine the weight of the evaluation index. Based on field experiment and field investigation, six wheat harvesters, including J-2.5 (I), L-3.5 (II), W-4.0 (III), S-4C (IV), A-5.0ZA (V), W-6.0EA (VI), were evaluated and verified. The results showed that the comprehensive evaluation values of six wheat harvesters were 0.71, 0.43, 0.50, 0.73, 0.45 and 0.39, respectively, and the order of effectiveness was IV, I, III, V, II, VI. Evaluation results accorded with the actual use of farmers, showed that the evaluation index system of science and applicability in hilly and mountainous Southwest China was good, for the relevant management departments and farmers to provide a scientific basis for wheat harvest machine type selection, retrofit for farm machinery scientific research units, production enterprises, to create suitable for hilly wheat corn harvest machine to provide the reference.

Key words: hilly and mountainous area; selection of harvester; evaluation index system; AHP

0 引言

我国农业机械化发展的难点和痛点在丘陵山区,国家对丘陵山区农业及农业机械化发展给予高度重视,出台了一系列政策支持丘陵山区农业机械化发展^[1-3]。根据《全国农业机械化统计年报》数据计算,2020年,全国农作物耕种收综合机械化水平达到71.25%,而丘陵山区省份(包括山西、浙江、福建、江西、湖北、湖南、广东、广西、海南、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆等18个地区)农作物耕种收综合机械化水平仅约48%。另一方面,全国小麦、玉米单产水平分别为5 742.23、6 317.03 kg/hm²,黄土高原及西北地区(包括山西、陕西、甘肃、青海、宁夏等5个地区,不含新疆)小麦、玉米单产水平分别为4 105.95、5 814.60 kg/hm²,南方低缓丘陵区与西南丘陵山区(南方低缓丘陵区包括福建、广东、广西、海南等4个地区;西南丘陵山区为重庆、四川、贵州、云南等4个地区,不含西藏)小麦、玉米单产水平分别为3 309.38、5 284.65 kg/hm²^[4],可见丘陵山区小麦玉米单产水平总体较低。生产机械化水平低、缺乏适宜机具、农民种粮积极性不高导致土地撂荒等是造成这一结果的重要原因^[5-7]。据调查,丘陵山区小麦玉米收获环节缺乏适宜机具的问题尤为突出,农户多是依靠个人经验和他人介绍对收获机械进行选购,缺少科学合理的收获机械选型评价方法。目前的农机选型评价大多只是针对机械性能本身,缺乏全面性和区域针对性,特别是对地形地貌和作业安全性方面的考虑不足。因此,研究符合丘陵山区作业特点的收获机械选型评价方法有重要现实意义。

农机选型评价是一项复杂系统工程^[8-9],需要定性分析与定量分析相结合、理论与实际相结合、农机与农艺相融合。对于农机选型,国内外都逐渐从传统的经验法和试验法向数学评价模型转变^[10-14],建立数学评价模型最重要的是确定评价指标和指标

权重。在农机选型指标选取方面,常用的方法有层次分析法^[15-16]、主成分分析法^[17]、模糊综合评判法^[18]等。在权重测算方面,常用的方法有熵权法^[19-20]、德尔菲法、灰色关联度法^[21]、组合赋权法^[22]等。部分学者也在探索使用一些新理论和算法,如可拓评价法^[23-25]、价值工程法^[26]、模糊神经网络和支持向量机^[27]等。其中,层次分析法是一种定性定量结合的决策方法,适用于具有分层交错评价指标的目标系统,且已较为成熟。因此,本文基于层次分析法构建丘陵山区小麦/玉米收获机械选型评价模型,为选择适宜丘陵山区的小麦玉米收获机械提供科学依据,以期降低机收损失率,实现安全绿色高效生产。

1 评价指标体系构建及释义

小麦和玉米是丘陵山区的主要粮食作物,提高丘陵山区小麦、玉米生产机械化水平对保障国家粮食安全有重要意义。收获是作物生产的重要一环,随着农村劳动力快速转移,以机械全面代替人工作业势在必行。收获机械种类繁多,适用条件不一,丘陵山区农田具有地块小、坡度大等特点,所以在机械选型上与平原地区有一定差异^[28-30]。为实现科学合理的机械选型,需要建立一套完整的评价指标体系,首先应确定选型评价原则与评价指标。

1.1 选型评价原则

根据《国务院关于进一步加快推进农业机械化和农机装备产业转型升级的指导意见》提出的要求,我国未来要大力研发安全绿色高效智能的高端农机装备,因地制宜推进农业机械化发展。因此,参照该指导意见,本文确定了先进适用、轻简高效、绿色环保、安全舒适等4条选型评价原则。

1.1.1 先进适用原则

使用先进适用的农业机械是农业现代化的重要内容。智能化技术的快速发展,为丘陵山区研发先

进适用的农机装备提供了重要基础。丘陵山区地形地貌复杂,农田地块细碎狭小,地表不平整且具有一定坡度,田间道路坡大路窄条件差,因此收获机械需对地形有较好的适应性^[31]。针对丘陵山区作业特点,收获机械应具有较好的通过性和爬坡能力,保证基本作业需求。未来还应实现机身自动平衡调整功能,以便适应复杂的地块条件,并通过收获自动对行、割台高度自动调节等技术提高作业质量,减少收获损失。

1.1.2 轻筒高效原则

农业机械主要作用之一就是提高农业生产效率。收获环节人工作业的劳动强度大,作业效率低,随着农村劳动力不断减少,很多地区已经面临无人种地的困境,因此使用高效收获机械是保障农业生产和粮食安全的重要支撑。

1.1.3 绿色环保原则

气候变暖已成为全球性的重大环境问题,农业生产活动引起的碳排放也不可忽视,发展绿色农业和绿色环保农机化技术,实现农业节能减排具有重要意义。减排有减少碳源和增加碳汇两种方式,因此,对于收获机械,一方面要降低作业能源消耗,另一方面可通过机械秸秆还田增加土壤固碳,促进农业可持续发展。

1.1.4 安全舒适原则

安全生产是农业机械使用的第一前提,预防和减少农机事故,提高农机作业的安全性至关重要。针对丘陵山区复杂的农田和道路条件,应重点加强收获机械的防侧翻能力和制动性能,保障操作人员作业安全,并尽量减少机具噪声和振动,保护操作人员健康。另一方面,操作人员的舒适程度会直接影响农机作业效率和质量,田间作业难免日晒风吹,应争取创造良好的驾驶室环境来应对恶劣天气。

1.2 指标选取

收获机械选型评价作为一个复杂系统具有整体性和层次性,收获机械本身可以认为是动力机械和作业机具的综合集成体,具有多属性,因此需要多维的全面评价。对标农机装备转型升级的发展要求,基于选型评价原则和可操作性的考虑,设计从能耗、作业效率、作业效果、作业性能、舒适性、安全性6个维度对收获机械进行衡量,以能耗体现“绿色”,作业效率和作业效果体现“高效”,作业性能和舒适性体现“智能”,安全性体现“安全”。由于本文针对的是收获机械的功能性和适用性评价,因此不考虑经济性指标。在指标选取上采用定量指标与定性指标结合、机械指标与农艺指标结合、现实指标与前瞻指

标结合的方式,以期实现系统总体最优及各方面平衡协调。

能耗,对收获机械来说主要是燃油消耗,直接关系到机具碳排放和对环境的影响;作业效率反映总体收获作业快慢,考虑到丘陵山区小地块作业的灵活轻便性需求,从田间作业效率和有效作业时间占比2方面衡量;作业效果反映收获和秸秆处理两部分作业质量,从损失率、含杂率、破碎率、留茬高度、秸秆粉碎长度合格率5方面衡量;作业性能反映收获机械自身的特性,考虑到丘陵山区农田作业的特殊要求,机具应尽量轻巧^[32-34],并具有较好的坡地通过性,从标定功率和底盘调平系统^[35]2方面衡量;舒适性反映操作人员田间作业时的舒适程度,通过驾驶室人机环境来衡量;安全性反映操作人员操作机具时的安全程度,与平原地区不同的是要特别考虑机具侧翻和爬坡的问题,从噪声、振动强度、侧倾稳定性、爬坡性能、制动性能5方面衡量。

通过上述分析,利用模块化的方法可以构建出完整的丘陵山区小麦/玉米收获机械选型评价指标体系,一级指标下共包括6个二级指标($B_1 \sim B_6$)和16个三级指标($C_1 \sim C_{16}$)。

1.3 指标分类及释义

评价指标的定义结合四川、山西、重庆等丘陵山区调研情况,并参考各类机械试验鉴定标准中的相关概念进行设定。如表1所示,将评价指标分为“正向指标”、“负向指标”和“0-1型指标”,并根据丘陵山区地形和农艺特点设置相关要求。若某收获机械作业效果指标下的任意一个三级指标不能满足对应要求,则说明该机械不适应丘陵山区小麦/玉米收获作业,不再进行综合评价。

2 评价指标体系应用方法

上述评价指标体系的具体应用步骤为:通过田间试验获取指标测量值,对指标测量值进行归一化处理,计算评价指标值,根据权重进行加权计算综合评价。

2.1 指标数据获取

评价指标数据获取有实地调研和田间测试两种方法。作业性能相关指标可通过查阅机具铭牌或使用手册等方法获取,其他指标主要依靠田间测试手段获取,具体获取方法可参见团体标准《丘陵山区小麦/玉米田间作业机械选型技术规程》。通过试验获取的测量值,是评价过程中的基础数据,可以直观反映机械的各项性能指标,但还需要通过后续处理转换为具体的评价指标值,才能用于机械选型评价。

表 1 评价指标说明及参数设定

Tab.1 Description and parameters of evaluation index

二级指标	三级指标	指标解释	相关要求	指标类型
能耗 B_1	单位油耗 C_1	作业机械在正常作业时平均每公顷的燃油消耗量, L/hm ²		负向
作业效率 B_2	田间作业效率 C_2	正常条件下作业机械每小时完成的作业面积, hm ² /h		正向
	有效作业时间占比 C_3	机械在作业过程满足作业效果所用时间占作业总时间百分比, %		正向
作业效果 B_3	损失率 C_4	机械收获作业后, 损失籽粒(果穗)质量占收获籽粒(果穗)总质量百分比, %	小麦小于等于 3.5%; 玉米小于等于 4.0% (果穗收获); 玉米小于等于 5.0% (籽粒直收)	负向
	破碎率 C_5	机械收获作业后, 机械损伤的籽粒(果穗)质量占收获籽粒(果穗)总质量百分比, %	小麦小于等于 2.5%; 玉米小于等于 3.0% (果穗收获); 玉米小于等于 5.0% (籽粒直收)	负向
	含杂率 C_6	机械收获作业后, 收获物所含非籽粒杂质质量占收获籽粒(果穗)总质量百分比, %	小麦小于等于 7.0%; 玉米小于等于 1.5% (果穗收获); 玉米小于等于 3.0% (籽粒直收)	负向
	留茬高度 C_7	秸秆机械粉碎处理作业后, 留在地块中的未被粉碎的秸秆残茬高度, mm	小麦小于等于 80 mm; 玉米小于等于 100 mm	负向
	秸秆粉碎长度合格率 C_8	秸秆机械粉碎处理作业后, 粉碎长度合格的秸秆质量占秸秆总质量百分比, %	小麦、玉米秸秆粉碎长度按当地农艺制度要求, 合格率大于等于 85%	正向
作业性能 B_4	标定功率 C_9	收获机用柴油机带有与装在整机上时相同的附件, 在一定环境条件下, 曲轴对外输出 12 h 功率, kW	最大连片地块面积小于等于 3.33 hm ² , 功率 $P \leq 51.5$ kW; 最大连片地块面积为 3.33 ~ 6.66 hm ² , 73.5 kW $\geq P \geq 51.5$ kW; 最大连片地块面积为 6.66 ~ 13.33 hm ² , 88.2 kW $\geq P \geq 73.5$ kW; 最大连片地块面积大于等于 13.33 hm ² , 132.5 kW $\geq P \geq 88.2$ kW	0-1 型
	底盘调平系统 C_{10}	机械具备的调节底盘进行自动纠平的功能	机械拥有底盘调平的装置和能力	0-1 型
舒适性 B_5	驾驶室人机环境 C_{11}	驾驶室保护操作人员抵抗恶劣作业环境的能力	驾驶室可封闭, 可抵挡风沙和阳光	0-1 型
	噪声 C_{12}	机械操作人员在作业过程中所处工作位置受到的噪声强度, dB	符合 GB 6376 规定限值	0-1 型
安全性 B_6	振动强度 C_{13}	机械操作人员在作业过程中所处工作位置受到的振动强度, m/s ²	小于等于 3.5 m/s ²	0-1 型
	侧倾稳定性 C_{14}	机械防止侧翻的能力, 用侧倾稳定角表示, (°)	机械在空载、静态状态下, 向左侧和右侧倾斜的侧倾稳定角大于等于 35°	0-1 型
	爬坡性能 C_{15}	机械在坡道上的行驶能力, 用可爬坡角度表示, (°)	机械在一挡动力下可爬坡角度大于等于 15°	0-1 型
	制动性能 C_{16}	机械在平地 and 斜坡上的制动能力, 用平均减速度表示, m/s ²	在 20% 的干硬坡道上, 使用驻车制动装置, 应能沿上下坡方向可靠得住; 拖拉机冷态制动平均减速度应不小于 2.5 m/s ²	0-1 型

注：“正向”表示指标值越大越好；“负向”表示指标值越小越好；“0-1 型”表示满足条件即为“1”，不满足即为“0”。

为保证获取数据的可靠性, 在试验地选择上应具有一定的丘陵山区地块特征, 并能符合相应机械的试验标准。参试机械应处于说明书或技术文件规定的正常工作状态。试验用仪器、设备、仪表、量具, 试验前应经检定或校准, 其量程和准确度应能满足试验要求。所有同类作业机械的试验应在相同条件下进行。

2.2 指标权重确定

考虑到小麦、玉米机械田间作业的特点和相关统计数据的缺乏, 采用专家调查法确定指标权重。为体现丘陵山区生产的特点和机具的适应性, 邀请

了四川、山西、重庆等典型丘陵山区农机管理与鉴定推广人员进行 2 轮专家打分作为权重确定的依据, 并结合实际情况进行权重修正和圆整。收获机械选型评价指标体系权重如表 2 所示。

2.3 数据归一化处理

为了消除数据量纲的影响, 使数据具有可比性和统一性, 需要对获得的评价指标值进行归一化处理, 将同一指标的评价值范围统一到 0~1 之间。

正向指标的无量纲化值计算式为

$$C_{ij}^* = \frac{C_{ij} - \min C_{ij}}{\max C_{ij} - \min C_{ij}} \quad (1)$$

表2 收获机械选型评价指标体系权重

Tab.2 Weight of evaluation index system for harvesting machinery selection

二级指标	二级指标 权重	三级指标	三级指标 权重
能耗	0.10	单位油耗	1.00
作业效率	0.20	田间作业效率	0.50
		有效作业时间占比	0.50
作业效果	0.25	损失率	0.35
		破碎率	0.20
		含杂率	0.20
		留茬高度	0.10
		秸秆粉碎长度合格率	0.15
作业性能	0.15	标定功率	0.70
		底盘调平系统	0.30
舒适性	0.10	驾驶室人机环境	1.00
		噪声	0.20
安全性	0.20	振动强度	0.20
		侧倾稳定性	0.20
		爬坡性能	0.20
		制动性能	0.20

负向指标的无量纲化值计算式为

$$C_{rj}^* = \frac{\max C_{rj} - C_{rj}}{\max C_{rj} - \min C_{rj}} \quad (2)$$

式中 C_{rj}^* ——某环节第 r 个参试机型的第 j 个三级指标值的无量纲化值

C_{rj} ——某环节第 r 个参试机型的第 j 个三级指标值

2.4 综合评价

在进行机械综合评价之前,先根据机组的性能及作业效果对比各项参数设定,挑选合格的机组。其次,根据机械类型挑选对应的二级指标和三级指标进行综合评价,对各个机组进行评分并排序,按需求选优或排除机型。

二级指标评价得分计算式为

$$B_{ri} = \sum_{j=1}^{\tau} \omega_j C_{rj}^* \quad (3)$$

式中 B_{ri} ——某类机械第 r 个参试机型的第 i 个二级指标值

ω_j ——某类机械第 j 个三级指标的权重 ($j =$

$1, 2, \dots, \tau$)

综合评价得分计算式为

$$A_r = \sum_{i=1}^{\theta} v_i B_{ri} \quad (4)$$

式中 A_r ——某类机械第 r 个参试机械的适用性满意度综合评价得分

v_i ——某环节第 i 个二级指标的权重

3 评价指标体系验证

3.1 测试数据采集

在四川、重庆、山西等地进行了小麦、玉米收获机械选型试验,由于篇幅有限,仅以小麦收获机械选型为例进行说明。测试选型试验于2021年5月13—21日在四川省三台县金石镇泉源村丘陵地形试验地上进行。试验地种植模式为小麦-玉米轮作一年两熟,前茬作物为小麦,小麦收获时同时进行秸秆粉碎还田作业。土壤质地为砂壤土,地块坡度为 $3^\circ \sim 10^\circ$,最大连片面积约 2.67 hm^2 。测试的小麦收获机共有6种,参数见表3。

表3 小麦收获机械参数

Tab.3 Parameter of wheat harvester

收获机编号	收获机型号	标定功率/kW	整机质量/kg
I	J-2.5	50	2 780
II	L-3.5	72	2 490
III	W-4.0	72	2 800
IV	S-4C	48	1 980
V	A-5.0ZA	72	2 850
VI	W-6.0EA	78	3 680

3.2 收获机械选型评价指标体系应用

各项评价指标值原始数据见表4,根据式(1)、(2)进行归一化处理后的数据见表5。结合表1中的参数设定和表2的权重设置即可对小麦收获机完成初步筛选。

3.3 评价结果与分析

将归一化处理后的各项指标数据与对应的权重进行相乘,并通过式(3)、(4)可得到二级指标评价结果、综合评价结果以及相应排序结果,如表6所示。

表4 小麦收获机选型评价指标值原始数据

Tab.4 Raw data of evaluation value of wheat harvester selection

收获机 编号	$C_1/$ ($\text{L} \cdot \text{hm}^{-2}$)	$C_2/$ ($\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)	$C_3/$ %	$C_4/$ %	$C_5/$ %	$C_6/$ %	$C_7/$ mm	$C_8/$ %	$C_9/$ kW	C_{10}	C_{11}	$C_{12}/$ dB	$C_{13}/$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)	$C_{14}/$ ($^\circ$)	$C_{15}/$ ($^\circ$)	$C_{16}/$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
I	61.50	0.40	81.45	0.70	0.81	0.74	72.2	93.01	50	0	0	80	2.95	55	30	2.92
II	76.35	0.50	83.78	1.32	1.2	1.15	78.2	89.35	72	0	0	86	3.10	55	35	3.01
III	76.50	0.48	82.56	1.13	1.02	0.94	76.0	92.45	72	0	0	88	3.13	50	35	2.88
IV	67.65	0.33	85.76	0.60	0.63	0.72	70.6	93.56	48	0	0	78	2.73	60	40	3.06
V	75.60	0.51	77.12	0.92	1.32	0.85	75.7	91.78	72	0	0	84	3.10	50	30	2.95
VI	91.20	0.53	80.46	1.25	1.10	1.06	77.9	90.12	78	0	0	86	3.17	50	35	3.10

表 5 归一化处理后数据
Tab. 5 Normalized processing data

收获机编号	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{14}	C_{15}	C_{16}
I	1	0.35	0.50	0.86	0.81	0.95	0.78	0.87	0	0	0	1	1	1	1	1
II	0.50	0.85	0.77	0	0.19	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
III	0.49	0.75	0.63	0.26	0.48	0.49	0.28	0.74	1	0	0	1	1	1	1	1
IV	0.79	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
V	0.53	0.90	0	0.56	0	0.70	0.33	0.58	1	0	0	1	1	1	1	1
VI	0	1	0.39	0.10	0.35	0.21	0.04	0.18	1	0	0	1	1	1	1	1

表 6 综合评价结果及排序
Tab. 6 Results of comprehensive evaluation and ranking

收获机 编号	能耗		作业效率		作业效果		作业性能		舒适性		安全性		综合评价	
	分值	排序	分值	排序	分值	排序	分值	排序	分值	排序	分值	排序	分值	排序
I	0.10	1	0.09	6	0.22	2	0.11	1	0	1	0.20	1	0.71	2
II	0.05	4	0.16	1	0.01	6	0	3	0	1	0.20	1	0.43	5
III	0.05	5	0.14	3	0.11	4	0	3	0	1	0.20	1	0.50	3
IV	0.08	2	0.10	4	0.25	1	0.11	1	0	1	0.20	1	0.73	1
V	0.05	3	0.09	5	0.11	3	0	3	0	1	0.20	1	0.45	4
VI	0	6	0.14	2	0.05	5	0	3	0	1	0.20	1	0.39	6

从能耗看,排序结果基本与机械动力呈正相关,动力越大,油耗越大,因为动力越大,相应的发动机排量往往越大,因此 II、III、V 的公顷均油耗大致相同,都相对较高,VI 的油耗最高。I 和 IV 动力较小,虽然 I 的动力为 50 kW,略大于 IV 的 48 kW,但是由于发动机技术较为先进,燃油转化率较高,因此油耗较低。

在作业效率方面,虽然收获机 V 的作业幅宽最大为 2 400 mm,III 的作业幅宽最小仅为 1 675 mm,但由于丘陵山区地块限制,机身太宽的收获机械掉头转弯不便,导致有效作业时间占比较低,进而影响了总体作业效率的评价,因此 II 的总体排名反而较高。II 和 I 机械的作业幅宽均为 2 000 mm,但是 II 排序最高, I 排序最低,主要是因为 I 的标定功率为 50 kW 而 II 的标定功率为 72 kW,说明除了作业幅宽合适,还需要有合适的配套动力,否则田间作业效率就会降低。该结果也能够印证前文对作业性能指标的选择分析。

在作业效果方面,收获机 IV 是根据丘陵山区专门研发的轻便型履带式小麦收获机,优化了脱粒滚筒钉齿和栅格凹版脱粒钢丝的结构,其收获损失相比其他收获机都低,且秸秆粉碎效果也较好。但是由于作业幅宽和动力较小(分别为 1 650 mm 和 48 kW),因此作业效率不高。II 的作业效率虽然最高,但作业行驶速度过快,导致了损失率提高。可见作业效率和作业效果虽然是两方面评价,但其中又存在相互关联,在机械作业时应该协调两者,以求达

到最佳综合效果。

在作业性能方面,目前收获机自动化、智能化技术研发不足,所有小麦收获机都没有底盘调平功能。另一方面,由于目前三台县宏运农机合作社农田连片面积较小,较大动力的收获机械不适用,偏向于使用 51.49 ~ 58.84 kW 的收获机。因此 I 和 IV 的评分高于其他机械。

在舒适性和安全性方面,目前这 6 种收获机都没有安装驾驶室,受外界环境影响较大,特别是大风天气或夏季高温,操作人员舒适性较低,严重的会影响作业效果,未来亟需提高;在安全性方面,这 6 种收获机械都基本达标,能够保证操作人员健康和行驶安全,但 IV 的侧倾稳定角可达 60°,相比其他机械拥有更好的侧倾稳定性。

从综合评价结果看,6 种收获机的评分分别为:0.71、0.43、0.50、0.73、0.45、0.39,由高到低排序为:IV、I、III、V、II、VI,IV 作为轻简化履带式收获机,具有更好的坡地适应性,因此在作业效果、作业性能、安全性方面表现突出,但在舒适性和作业效率方面略有不足,总体评价结果最高,基本与当地农户多年实际使用情况一致。说明目前西南丘陵山区还是更适合发展使用轻便型履带式小麦收获机械。以上案例可以证明,该评价指标体系可以较为客观、全面、综合地反映各小麦收获机的性能,可为有关管理部门和农户进行小麦收获机械选型提供科学依据,并能为农机科研单位、生产企业改型、研制适宜于丘陵山区的小麦玉米收获机提供参考。

4 结论

(1)根据层次分析法,建立了丘陵山区小麦/玉米收获机械选型评价指标体系,共包括6个二级指标和16个三级指标,并给出了指标评价依据和数据获取方法。该指标体系能够从多维度对丘陵山区小麦/玉米收获机械进行综合、科学评价。

(2)以小麦收获机械选型为例,对6个小麦收获机型进行评价比较,检验评价指标体系的科学性、合理性。得到了作业性能、作业效率、作业效果、能

耗、舒适性、安全性6个二级指标和综合评价结果的分值和排序。评价结果能较好地反映实际情况,并进行客观、定量的相关分析。

(3)从实例验证结果看,在西南丘陵山区,履带式小麦收获机械的作业效率和作业效果表现较好,而在其他丘陵地区的试验表明玉米收获机械情况同样类似,因此农机厂商应着重研发适合丘陵山区的轻便型履带式收获机械。另外,目前多数中小型收获机械的智能化程度都比较欠缺,且操作人员作业舒适性较差,亟待改善。

参 考 文 献

- [1] 中共中央,国务院. 乡村振兴战略规划(2018—2020)[EB/OL]. http://www.gov.cn/zhengce/2018-09/26/content_5325534.htm.
- [2] 国务院. 国务院关于印发加快推进农业机械化和农机装备产业转型升级的指导意见[EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2018-12/29/content_5353337.htm.
- [3] 农业农村部. 农业农村部关于加快推进农业机械化转型升级的通知[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2019/201905/201906/t20190625_6319251.htm.
- [4] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2021.
- [5] 陈善勤. 丘陵山区农业机械化发展存在的问题与对策[J]. 农机化研究,2021,52(4):39-40.
CHEN Shanqin. Problems and countermeasures of agricultural mechanization development in hilly and mountainous areas[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2021, 52(4):39-40. (in Chinese)
- [6] 王晓文,袁寿其,贾卫东. 丘陵山区农业机械化现状与发展[J]. 排灌机械工程学报,2022,40(5):535-540.
WANG Xiaowen, YUAN Shouqi, JIA Weidong. Current situation and development of agricultural mechanization in hilly and mountainous areas[J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2022, 40(5):535-540. (in Chinese)
- [7] 杨茜. 丘陵山区耕地撂荒现状分析及建议——以重庆市酉阳县为例[J]. 现代农业研究,2020,26(9):67-68.
YANG Qian. Analysis and suggestions on the status of abandoned farmland in hilly areas—taking Youyang County of Chongqing as an example[J]. Modern Agricultural Research, 2020, 26(9):67-68. (in Chinese)
- [8] 张卫鹏,郑志安,王刚,等. 烟草田间作业机械评价模型的构建[J]. 农业工程学报,2015,31(1):102-109.
ZHANG Weipeng, ZHENG Zhi'an, WANG Gang, et al. Establishment of evaluation model for tobacco field machinery selection[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(1):102-109. (in Chinese)
- [9] 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)
- [10] 张宝文,牛坡,谢英杰,等. 农机选型方法和优化配置模型的研究现状及趋势发展[J]. 河北农业大学学报,2022,45(3):118-124.
ZHANG Baowen, NIU Po, XIE Yingjie, et al. Research status and trend of selection method and optimal allocation model of agricultural machinery[J]. Journal of Hebei Agricultural University, 2022, 45(3):118-124. (in Chinese)
- [11] 杨雪姣,孙福田. 基于DEA方法对农机设备优化选型的研究[J]. 农机化研究,2014,36(5):62-65.
YANG Xuejiao, SUN Futian. Research on optimal selection of agricultural machinery equipment based on DEA method[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(5):62-65. (in Chinese)
- [12] 周雪,赵永满,刘铭涛,等. 基于模糊DEA法的农机选型研究[J]. 农机化研究,2018,40(6):14-18.
ZHOU Xue, ZHAO Yongman, LIU Mingtao, et al. Research on model selection of agricultural machinery based on fuzzy DEA method[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(6):14-18. (in Chinese)
- [13] 姜心禄,郑家国,池忠志. 丘陵山地油菜茬玉米净作机械化播种机械选型研究[J]. 西南农业学报,2011,24(4):1261-1264.
- [14] LOTFIE A, MOHAMED H, HAITHAM R. Crop-machinery management system for field operations and farm machinery selection[J]. Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development, 2013, 5(5):84-90.
- [15] 孟翔燕,孟军,葛家麟. 层次分析积因子法在农机选型中的应用[J]. 农机化研究,2009,31(9):93-95.
MENG Xiangyan, MENG Jun, GE Jialin. Application of accumulation factor in analytic hierarchy process in farm machinery selection[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(9):93-95. (in Chinese)
- [16] 刘大维,杨印生,杨文志. 层次分析法在拖拉机总体性能评价中的应用[J]. 农业机械学报,1994,25(1):96-99.
LIU Dawei, YANG Yinsheng, YANG Wenzhi. Application of analytic hierarchy process in tractor overall performance

- evaluation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1994, 25(1):96-99. (in Chinese)
- [17] 祝荣欣, 权龙哲, 乔金友, 等. 核主成分分析方法在农业机械性能综合评价中的应用[J]. 农机化研究, 2009, 31(9):187-189.
ZHU Rongxin, QUAN Longzhe, QIAO Jinyou, et al. Application of the principal component analysis in comprehensive evaluation of farm machinery performance[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(9):187-189. (in Chinese)
- [18] 王晓燕, 乔金友, 吴志跃. 模糊综合评判法与参数投影寻踪评价模型在农机选型中的对比研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2004(1):74-76.
WANG Xiaoyan, QIAO Jinyou, WU Zhiyue. The contrast study between fuzzy synthesise judgment and projection pursuit classification models on farm machinery selection[J]. System Science and Comprehensive Studies in Agriculture, 2004(1):74-76. (in Chinese)
- [19] 信桂新, 杨朝现, 杨庆媛, 等. 用熵权法和改进 TOPSIS 模型评价高标准基本农田建设后效应[J]. 农业工程学报, 2017, 33(1):238-249.
XIN Guixin, YANG Chaoxian, YANG Qingyuan, et al. Post-evaluation of well-facilitated capital farmland construction based on entropy weight method and improved TOPSIS model[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(1):238-249. (in Chinese)
- [20] LU Haonan, ZHAO Yongman, ZHOU Xue, et al. Selection of agricultural machinery based on improved CRITIC-entropy weight and GRA-TOPSIS method[J]. Processes, 2022, 10(2):266.
- [21] 王秋颖, 王福林. 灰色关联度分析法在农机设备评价选型中的应用[J]. 农机化研究, 2014, 36(8):46-48, 58.
WANG Qiuying, WANG Fulin. Application of grey correlation degree analysis method in the evaluation of agricultural equipment selection[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2014, 36(8):46-48, 58. (in Chinese)
- [22] ZHANG Fu, CHEN Tianhua, TENG Shuai, et al. Model construction for field operation machinery selection and configuration in wheat-maize double cropping system[J]. International Journal of Agriculture and Bioengineering, 2021(4):82-89.
- [23] 张健, 刘小英, 张敬东, 等. 基于可拓理论的农业机械安全风险评价研究[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(2):57-60, 66.
ZHANG Jian, LIU Xiaoying, ZHANG Jingdong, et al. Agricultural machinery safety and risk evaluation based on extension method[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2014, 35(2):57-60, 66. (in Chinese)
- [24] 刘存香, 刘学军. 可拓评价方法在农机选型评价中的应用[J]. 农机化研究, 2009, 31(12):183-185.
LIU Cunxiang, LIU Xuejun. Appliance on evaluation of selection for agricultural machinery based on extension evaluation method[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(12):183-185. (in Chinese)
- [25] 赵祖松颖, 张卫鹏, 王刚, 等. 基于可拓学原理的烟草田间作业机械评价研究——以烟草田间起垄机械为例[J]. 中国烟草学报, 2017, 23(2):106-116.
ZHAO Zusongying, ZHANG Weipeng, WANG Gang, et al. Evaluation of tobacco field working machinery based on extension theory—a case study of tobacco field ridging machinery[J]. Acta Tabacaria Sinica, 2017, 23(2):106-116. (in Chinese)
- [26] 乔西铭. 基于价值工程下农业机械选型与配套方案的优化[J]. 华南热带农业大学学报, 2007, 13(4):78-81.
QIAO Ximing. Optimization of model selection of agricultural machines and allocation[J]. Journal of South China University of Tropical Agriculture, 2007, 13(4):78-81. (in Chinese)
- [27] 周庆元. 基于模糊神经网络和支持向量机的农机优化选型研究[J]. 统计与决策, 2010(23):46-48.
ZHOU Qingyuan. Research on optimal selection of agricultural machinery based on fuzzy neural network and support vector machine[J]. Statistics and Decision, 2010(23):46-48. (in Chinese)
- [28] 才红雨. 玉米生产全程机械化技术特点与农机选型选择研究[J]. 南方农机, 2021, 52(6):39-40.
- [29] 左平安, 张黎骅, 耿胤, 等. 西南丘陵山地玉米全程机械化生产模式研究与机具选配[J]. 农业机械, 2021(2):95-98.
- [30] 赵雪英. 玉米生产全程机械化技术特点与农机选型选择探讨[J]. 农业开发与装备, 2020(6):25.
- [31] 张国艳. 农业机械的选型原则[J]. 农机使用与维修, 2013(8):58.
- [32] VATSA D K, SARASWAT D C. Agricultural mechanization in hills of Himachal Pradesh—a case study[J]. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 2003, 34(1):66-72.
- [33] ANGELUS KHOH A, DAS A K. Design, development and testing of a mechanized terrace forming equipment[M]. Singapore: Springer, 2021.
- [34] AOOMZAD-KHALILI M, ROSTAMIAN R, ESMAELPOUR-TROUJENI M, et al. Economic modeling of mechanized and semi-mechanized rainfed wheat production systems using multiple linear regression model[J]. Information Processing in Agriculture, 2020, 7(1):30-40.
- [35] 刘平义, 彭凤娟, 李海涛, 等. 丘陵山区农用自适应调平底盘设计与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(12):42-47.
LIU Pingyi, PENG Fengjuan, LI Haitao, et al. Design and experiment of adaptive leveling chassis for hilly area[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(12):42-47. (in Chinese)