doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2024.S2.023

江西省水稻全程机械化生产模式与装备配置研究

潘纪凤[1,2]　杨敏丽[1,2]　李　星[3]　林嘉豪[2,4]

（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. 江西省农业农村厅，南昌 330038；4. 农业装备技术全国重点实验室，北京 100083）

摘要：江西省是全国重要的水稻主产区，但水稻机械化生产效率低下，制约了水稻单位种植面积生产能力的提升。本文以不同经营规模水稻机械化生产模式为研究对象，从作业成本角度选取耕整地、种植、植保、收获和干燥5个环节作业费用为投入指标，选取产值为产出指标，使用超效率SBM模型和Cobb-Douglas生产函数两种方法测算不同生产规模和不同地形条件下的水稻全程机械化生产模式技术效率。结果表明，纯技术效率低下是制约水稻全程机械化生产模式技术效率提高的主要原因；赣中、赣南丘陵山区生产模式技术效率逐渐降低，赣中和赣南丘陵山区是技术效率提升的薄弱区域；随着生产规模的扩大，生产模式技术效率呈先上升后下降的趋势，技术模式与生产规模配置合理是提高水稻全程机械化生产模式技术效率的重要途径。鼓励赣北平原地区应用大中型拖拉机、乘坐式插秧机和大型干燥机等高性能机械。在赣中和赣南丘陵山区可通过先成立家庭农场/专业大户，辐射周边带动小农户机械化发展，再发展大型合作社并建立育秧和干燥中心，最终成为综合农事服务中心的路径，促进江西省丘陵山区水稻机械化生产模式技术效率提高。赣北平原生产规模大的经营主体可发展“自营+对外服务”与“全产业链延伸”模式，赣中、赣南丘陵山区生产规模小的经营主体可发展“自营”及“托管”模式，有效整合机械化技术，提升生产效率，促进农民增收。

关键词：水稻；机械化；江西省；生产模式；装备配置

中图分类号：S23　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1000-1298(2024)S2-0231-09

Full-process Rice Mechanization Production Models and Equipment Configuration in Jiangxi Province

PAN Jifeng[1,2]　YANG Minli[1,2]　LI Xing[3]　LIN Jiahao[2,4]

(1. *College of Engineering, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*
2. *China Agricultural Mechanization Development Research Centre, China Agricultural University, Beijing* 100083, *China*
3. *Jiangxi Provincial Department of Agriculture and Rural Affairs, Nanchang* 330038, *China*
4. *State Key Laboratory of Agricultural Equipment Technology, Beijing* 100083, *China*)

Abstract: Jiangxi Province is an important rice-producing region in China. However, the low efficiency of mechanized rice production restricts the improvement of production capacity per unit of cultivated area. Focusing on different operational scales of mechanized rice production models, from the perspective of operational costs, five key stages were selected as input indicators, namely land preparation, planting, plant protection, harvesting, and drying, with output value as the output indicator. The super-efficiency SBM model and Cobb-Douglas production function were employed to measure the technical efficiency of full-process mechanized rice production under different production scales and terrain conditions. The results showed that low pure technical efficiency was the main factor limiting the improvement of the technical efficiency of full-process mechanized rice production models. The technical efficiency of production models in the hilly areas of central and southern Jiangxi was gradually decreased, making these regions critical for technical efficiency improvements. As production scales expanded, the technical efficiency of the production models initially rose and then declined, highlighting the importance of rational allocation between technical models and production scale in improving technical efficiency. The application of high-performance machinery was encouraged, such as large and medium-sized tractors, ride-on rice transplanters, and

收稿日期：2024-07-01　修回日期：2024-09-03

基金项目：国家社会科学基金重点项目(22AZD123)

作者简介：潘纪凤(1997—)，女，硕士生，主要从事机械化生产模式与智能化农业生产系统研究，E-mail: s20213071331@cau.edu.cn

通信作者：杨敏丽(1965—)，女，教授，博士生导师，主要从事机械化生产模式与智能化农业生产系统研究，E-mail: qyang@cau.edu.cn

large-scale dryers, in the northern plain areas of Jiangxi. In the central and southern hilly areas, family farms and specialized large-scale households can be established firstly, radiating mechanization development to surrounding smallholders. Subsequently, large cooperatives can be formed, along with the establishment of seedling and drying centers, eventually evolving into comprehensive agricultural service centers. This path promoted the technical efficiency improvement of mechanized rice production models in the hilly areas of Jiangxi Province. Large-scale operators in the northern plain regions can develop a "self-operation + external service" model and extend into the "full industrial chain" model. Meanwhile, small-scale operators in the central and southern hilly areas can develop "self-operation" and "entrusted management" models, effectively integrating mechanization technology to improve production efficiency and increase farmers' income.

Key words: rice; mechanization; Jiangxi Province; production model; equipment configuration

0 引言

江西省是中国水稻重要产区,2022年稻谷播种面积为3.403×10^6 hm^2,水稻产量2.0365×10^7 t[1],排名均为全国第3名,为保障了国家粮食安全做出重要贡献。江西粮食作物播种面积中水稻占90%[2],水稻种植制度以双季稻为主,稻油、稻再油为辅,早晚稻种植面积占江西省水稻播种面积的72%[3]。但2022年江西省水稻单产为5 984.4 kg/hm^2[3],为全国第27名,远低于全国平均水平7 079.63 kg/hm^2。水稻单产是水稻生产能力的重要体现,生产效率低下是导致生产能力不足的重要原因。实际生产过程中,水稻生产效率受到科技技术、生产主体、要素投入等多个因素的综合影响,而众多要素综合作用形成的一种规范且可复制的组织形式和运作方式即生产模式。因此,探究生产模式是提高水稻生产效率、促进水稻生产可持续发展的有效路径之一。

不同生产模式的工艺流程、技术运用和装备配置不同。从机械化应用范围来说,可以分为部分环节机械化生产技术模式、田间全程机械化生产技术模式和全程机械化生产技术模式3种。不同生产模式的生产效率呈显著差异,所以生产效率是衡量模式性能的重要指标[4],而生产效率实质上是判断模式的单位投入的产出水平。农业生产者追求在特定生产技术条件下各种生产要素投入少使其生产产出最大,所以实际形成了投入成本最小化、产出收益最大化和投入产出比最小化等生产组合。其中,投入最小化、产出最大化是最优组合[5],但要求选择适度的生产规模、生产技术水平和经营管理水平充分发挥,得到最优生产状态,实现利润最大化。国内外对于生产效率的研究广泛,学者多以国家、区域或省份[6-8]为主开展分析,通过单个或多个研究对象面板数据测算效率,鲜有研究生产模式[9]的效率问题,未见有模式效率与装备配置相结合进行系统研究。因此,对于生产模式效率与装备配置相结合的系统研究亟待深入开展。

本文以江西省双季稻的水稻全程机械化生产模式为研究对象,基于实际调研,总结归纳江西省不同地形条件和生产规模下水稻全程机械化生产模式,采用超效率SBM模型和Cobb-Douglas生产函数两种方法测算分析水稻全程机械化生产模式效率情况,明确江西省水稻全程机械化生产模式发展问题,提出关键装备配置和模式优化,以促进江西省水稻全程机械化发展。

1 研究区域概况

江西省位于中国东南部,长江中下游南岸,地处北纬24°29′~30°04′、东经113°34′~118°28′之间。地貌类型以山地、丘陵为主,山地占全省面积的36%,丘陵占42%,平原和水域占22%。省境东、西、南三面环山地,中部丘陵和河谷平原交错分布,北部则为鄱阳湖平原。全省97.7%的面积属于长江流域,水资源比较丰富。属亚热带季风湿润气候,四季分明且天气复杂多变,2022年全省平均气温为19.3 ℃,年降水量为1567.7 mm,日照时长为1721.4 h。全省面积1.669×10^5 km^2,人口数为4 528万。全省设区市11个,县级市12个,县61个,市辖区27个[3]。

2022年,江西省第一、二、三产业占比分别为7.6%、44.8%和47.6%;农业产值占农林牧渔业总产值的45.6%;农村居民人均可支配收入为19 936元,全国排名第9名,城乡居民可支配收入比值为2.19[2]。江西省经济结构正向服务型经济转变,农业在江西省农林牧渔业中仍占据重要地位,但农村居民收入水平低于全国平均水平,城乡居民在收入水平上仍存在一定差距。根据江西省第三次农业普查,江西省农业生产经营人员人均耕地面积为0.28 hm^2/人,低于全国平均水平0.43 hm^2/人[10-12],表明江西省人多地少、分散经营的问题更加突出,水稻生产效率低,规模化经营亟待发展。

2 研究材料

2.1 生产模式

水稻生产活动具有多环节性和周期性等多种特点,以双季稻为例,其生产工艺流程如图1所示,主要包括耕整地、起浆平整、沉实、种植、田间管理(水肥药)、收获、秸秆处理等。生产模式具体包括自然条件、生产规模、经营主体、技术应用等要素[13]。自然条件要素主要指地形地貌和地理位置,江西省北部平原相对较多,南部则

以丘陵山区为主；生产规模要素是指土地经营面积，生产规模与经营主体相关，经营主体主要包括普通农户、家庭农场/专业大户和农业合作社等，农业合作社经营规模化程度相对最高，而普通农户相对最低；技术应用是指机械化技术应用，具体包括机械化耕整地技术、机械化种植技术、机械化植保技术、机械化收获技术和机械化干燥技术。其中，技术应用是本文生产模式研究的重点，即生产技术模式。

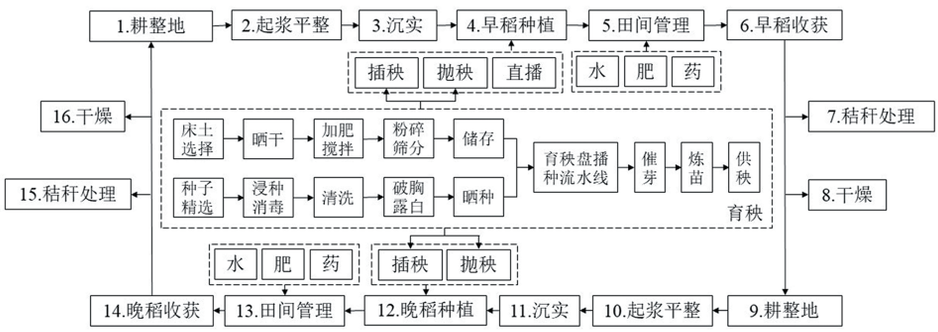

图1　江西省双季稻生产工艺流程

Fig. 1　Production process of double-cropping rice in Jiangxi Province

生产技术模式的确定实质上是对农业生产环节中农业机械的选用和配备，包括农业机械类型和关键参数，而农业机械类型选用主要受不同地形条件影响，关键参数配备主要受不同生产规模影响。结合机械化发展来看，2022 年，江西省水稻耕种收综合机械化率为 83.75%，其中，机耕率为 99.13%，机械种植率为 49.01%，机收率为 97.98%[1, 14]。种植环节是江西省水稻全程机械化发展的薄弱环节。江西省水稻机械种植面积为 1.668×10^7 hm^2，其中水稻机插面积占比 81%，水稻机直播面积占比 15%，水稻机浅栽面积占比 0.4%[14]，由此可知，江西省水稻机械化种植方式多样，其中机插是主要的种植方式，其次为机直播，机浅栽应用相对较少。因此，田间生产研究以机械化种植环节为主，同时重点关注产后处理干燥环节，分析水稻全程机械化生产模式现状，通过测算效率比较各模式性能，从而优化模式和装备配置。

2.2　数学模型

2.2.1　超效率SBM模型

2001 年，TONE[15]提出了 SBM（Slack Based Measure）模型，模型根据样本投入估计有效生产前沿面，进行样本内部相对比较，同时考虑投入不足冗余值，能够更准确地衡量实际生产状态与最优生产状态资源配置差异，评价不同决策单元生产经营活动的技术效率，但无法区分有效的决策单元性能。为了解决上述问题，2002 年，TONE[16]提出了超效率 SBM 模型，实现了有效的决策单元间比较和排序。因此，本文参考 TONE 的研究成果，运用 SBM 模型对生产模式效率进行测算，对于测算结果中效率值等于 1 的决策单元（Decision making units，DMU），再采用超效率 SBM 模型测算。

假设研究 n 个 DMU，每个 DMU 有 m 种投入，记为 x_{io}（i=1，2，…，m），有 s 种期望产出，记为 y_{ro}（r=1，2，…，s）。SBM 模型为

$$\begin{cases}\min\rho=\dfrac{1-\dfrac{1}{m}\displaystyle\sum_{i=1}^{m}\dfrac{s_i^-}{x_{io}}}{1+\dfrac{1}{s}\displaystyle\sum_{r=1}^{s}\dfrac{s_r^+}{y_{ro}}}\\ \text{s.t.}\begin{cases}x_o=X\lambda+s^-\\ y_o=Y\lambda-s^+\\ \lambda\geqslant0\\ s^-\geqslant0\\ s^+\geqslant0\end{cases}\end{cases}\tag{1}$$

超效率 SBM 模型为

$$\begin{cases}\delta^*=\min\delta=\dfrac{\dfrac{1}{m}\displaystyle\sum_{i=1}^{m}\dfrac{\overline{x_i}}{x_{io}}}{\dfrac{1}{s}\displaystyle\sum_{r=1}^{s}\dfrac{\overline{y_r}}{y_{ro}}}\\ \text{s.t.}\begin{cases}\overline{x}\geqslant\displaystyle\sum_{j=1,\neq0}^{n}\lambda_j x_j\\ \overline{y}\leqslant\displaystyle\sum_{j=1,\neq0}^{n}\lambda_j y_j\\ \overline{x}\geqslant x_0\\ \overline{y}\leqslant y_0\\ \overline{y}\geqslant0\\ \lambda\geqslant0\end{cases}\end{cases}\tag{2}$$

式中，λ_j 为权重系数，ρ、δ^* 为技术效率，其数值越高，说明决策单元技术效率水平越高。技术效率（TE）可分解得到纯技术效率（PTE）和规模效率（SE）。利用技术效率衡量决策单元综合效率，技术效率小于 1，表示实际生产状态未达到生产前沿面；大于等于 1 表示实际生产状态为最优生产状态。纯技术效率是指生产者在某一规模条件下，为了产生既定的产出，最少需要投入成本的能力，或者在给定投入下，通过改进技术和管理手段能够实现潜在产出增加；规模效率是指在一定生产规模下，单位生产要素投入所能产生的最大产出，表示农业生产规模效益情况。

2.2.2 Cobb-Douglas生产函数

为了避免超效率SBM模型在技术效率评估中可能存在的局限性，采用Cobb-Douglas生产函数[17]作为技术效率评估的补充方法，保障更全面、准确和可靠的农业生产效率分析。Cobb-Douglas生产函数作为一种经济学模型，能够深入分析投入要素与产出之间的关系，并考虑到各个要素之间的互补和替代关系，以及规模报酬递减的特征。因此，采用Cobb-Douglas生产函数能够提供对农业生产效率更全面和深入的理解。模型为

$$Y = AX_1^{a_1}X_2^{a_2}X_3^{a_3}X_4^{a_4}X_5^{a_5}X_6^{a_6} \tag{3}$$

式中 Y——水稻产值

X_1——种植面积

X_2——耕整地作业费用

X_3——种植作业费用

X_4——收获作业费用

X_5——植保作业费用

X_6——干燥作业费用

A——技术水平或全素生产率

a_1~a_6——弹性系数

通过实证数据对模型进行估计和拟合，采用最小二乘法进行参数估计，计算实际水稻产值与模型预测值之间的比值，以获得技术效率度量。

2.3 指标选取与数据来源

指标选取时应考虑可用数据可获取性、准确性和完整性，数据应具有实际意义，能够为水稻生产者提供有价值的信息，且具有可操作性和解释性。基于水稻生产活动中所必需的资料，以及研究重点在生产环节方面，水稻机械化生产效率指标选择时重点考虑作业环节相关指标。综合考虑以上原则，结合实际调研数据，选取水稻种植面积、机械化耕整地作业费用、机械化种植作业费用、机械化植保作业费用、机械化收获作业费用和机械化干燥作业费用为投入指标，水稻产值为产出指标，见表1。

表1 江西省水稻全程机械化生产模式效率测算指标选取

Tab. 1 Selection of efficiency calculation indicators for rice full-process mechanized production models in Jiangxi Province

指标类别	分项指标	指标内容
投入指标	土地	水稻种植面积
	劳动、资本	耕整地作业费用
		种植作业费用
		植保作业费用
		收获作业费用
		干燥作业费用
产出指标	期望产出	水稻产值

(1)投入指标

水稻生产活动一般包括土地、劳动力、资本等要素[18]。关于土地要素，投入指标选择水稻种植面积，水稻种植面积是指日历年度内收获水稻在全部土地(耕地或非耕地)上播种或移栽面积。为了研究水稻生产各作业环节投入情况，所以劳动力和资本要素综合体现在各环节作业费用投入指标上，包括5个指标：①耕整地作业费用是指当年使用动力机械耕作产生的费用。②种植作业费用是指当年使用各种播种、栽植机械实际播种、栽植产生的费用。③植保作业费用是指当年使用机动植保机械进行防治水稻病虫害产生的费用。④收获作业费用是指当年使用联合收获机和收割(晾晒)机等机械进行收获作业产生的费用。⑤干燥作业费用是指当年使用干燥机进行干燥处理或人工晾晒产生的费用。

(2)产出指标

产值是检验水稻生产活动经营效果的重要指标之一。因此，水稻产值作为产出指标，水稻产值是指日历年度内生产的全部稻谷数量销售额。

2021—2023年课题组通过资料检索、调研问卷、电话调研和实地调查等形式，跟踪了解江西省水稻机械化发展，调查对象为农业管理部门、农业经营主体，主要包括农业农村局、合作社和家庭农场等。调查内容包括不同地区不同经营规模水稻种植面积、机械化生产作业成本投入、装备配备情况等，共收集调研问卷216份，其中，有效问卷206份，问卷有效率为95.4%。

3 结果与分析

3.1 水稻全程机械化生产模式

根据调研情况，得出江西省3种技术模式、7条技术路线，见表2，第1、2条属于部分环节机械化生产技术模式，第3~5条属于田间全程机械化生产技术模式，第6、7条属于全程机械化生产技术模式。由表2可知，各技术模式差异性较大的关键环节为种植和产后处理环节。

7条技术路线中，江西省水稻全程机械化生产最普遍的为第5、6、7条：即江西省水稻全程机械化典型生产技术模式为“拖拉机+旋耕机/自走式旋耕机耕地→育秧(苗)播种设备育秧+插秧机插秧→无人机植保→谷物联合收获机收获、秸秆粉碎还田→售卖湿谷/人工晾晒/谷物(粮食)干燥机干燥(→稻米深加工)”，见图2。

3.2 技术效率

3.2.1 不同地形条件下

江西省地形起伏较大，从平原到丘陵、山地过渡明显，丘陵山地主要分布在江西省西南部和南部，平原地区则主要分布在江西省中北部和东部。根据地形分布情况，自北向南将江西省划分为赣北、赣中和赣南3个水稻生产区，各生产区样本数占比分别为38.0%、33.1%和28.9%。其中，赣北是指九江、宜春、萍乡、新余、南昌、景德镇、鹰潭、上饶8个市，地形条件以平原为主；赣中指吉安和抚州2个市，地形条件以丘陵山区为主；赣南指赣州1个市，地形条件以丘陵山区为主[19]。江西省不同地形条件下全程机械化生产典型技术模式见表3。

赣北地区地形地貌多为平原，机械化发展较好，以

表2　江西省水稻全程机械化生产技术模式

Tab. 2　Technical models of full-process rice mechanization production in Jiangxi Province

技术模式	序号	技术路线	特点
部分环节机械化生产技术模式	1	微型耕耘机耕地→人工直播→人工喷雾器植保→人工收割、秸秆离田+打谷机脱粒→售卖湿谷	主要以人工作业为主，人力成本高，费工费时
	2	拖拉机+旋耕机耕地→购买秧苗+人工抛秧/人工插秧→人工喷雾器植保→小型收割机、秸秆粉碎还田→售卖湿谷	
田间全程机械化生产技术模式	3	拖拉机+旋耕机耕地/自走式旋耕机耕地→直播机播种→无人机/喷杆喷雾机植保→谷物联合收获机收获、秸秆粉碎还田→售卖湿谷/人工晾晒	田间生产实现了全程机械化，但产后处理未实现机械化，稻谷销售附加值低
	4	拖拉机+旋耕机耕地/自走式旋耕机耕地→育秧（苗）播种设备育秧+抛秧机抛秧→无人机/喷杆喷雾机植保→谷物联合收获机收获、秸秆粉碎还田→售卖湿谷/人工晾晒	
	5	拖拉机+旋耕机耕地/自走式旋耕机耕地→育秧（苗）播种设备育秧+插秧机插秧→无人机植保→谷物联合收获机收获、秸秆粉碎还田→售卖湿谷/人工晾晒	
全程机械化生产技术模式	6	拖拉机+旋耕机耕地/自走式旋耕机耕地→育秧（苗）播种设备育秧+插秧机插秧→无人机植保→谷物联合收获机收获、秸秆粉碎还田→谷物（粮食）干燥机干燥	实现了从田间生产到产后处理的全程机械化，提升了稻谷销售附加值，增加农民收入
	7	拖拉机+旋耕机耕地/自走式旋耕机耕地→育秧（苗）播种设备育秧+插秧机插秧→无人机植保→谷物联合收获机收获、秸秆粉碎还田→谷物（粮食）干燥机干燥→稻米深加工	

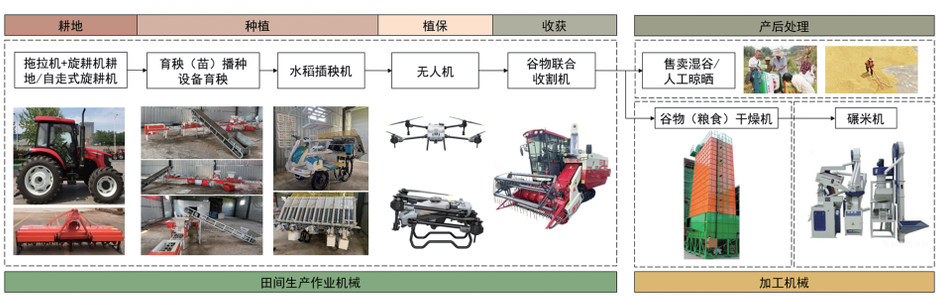

图2　江西省水稻全程机械化生产技术模式

Fig. 2　Technical models of full-process rice mechanization production in Jiangxi Province

表3　江西省不同地形条件下水稻全程机械化生产典型技术模式

Tab. 3　Typical technical models of full-process rice mechanization production under different terrain conditions in Jiangxi Province

技术模式	技术路线
赣北平原全程高效机械化水稻生产技术模式	轮式拖拉机+旋耕机耕地/自走式旋耕机耕地→育秧播种机育秧+乘坐式水稻插秧机插秧→无人机/喷杆喷雾机植保→履带式联合收获机收获、秸秆粉碎还田→干燥机干燥
赣中赣南丘陵山区灵活适应机械化水稻生产技术模式	轮式/履带式拖拉机+旋耕机耕地→育秧播种机育秧+步进式/乘坐式水稻插秧机插秧→无人机植保→履带式联合收获机收获、秸秆粉碎还田→干燥机干燥/售卖湿谷

大型农业机械为主的水稻全程机械化生产模式的应用能够有效促进生产活动节本增效的实现，生产要素利用和管理水平相对较高，所以技术效率相对较高。赣中和赣南地区地形条件多以丘陵山区为主，农业经营主体进行农业机械购置时会选择一些适用机械，来适应作业通行条件和土地经营规模[20]。水稻插秧机可分为步进式和乘坐式[21]，步进式水稻插秧机机动性较强，适用于小块地块或地形复杂的区域，在田间通过性较好，乘坐式插秧机适用于相对平坦、较大面积的田地，作业效率较高，适合大规模的水稻种植，但价格一般高于步进式插秧机；水稻收获机械普遍采用履带式联合收获机而不是轮式联合收获机，履带式联合收获机相比轮式联合收获机在复杂地形中的适应性更强，接地压力小，在水田潮湿土壤中的通过性好[22]。该区域由于作业条件复杂，所以机械应用类型广泛，作业方式多种并存。

赣中和赣南地区地块分散、高低不平、形状不规则，没有大面积集中连片的稻田，使得水稻生产规模小，所以多为小农户经营。由于传统观念的限制，小农户往往难以掌握技术含量相对较高的机械化育插秧技术，主要是育秧工艺复杂[23]。同时，由于育插秧和干燥相关机械价格昂贵，小农户不具备独立购置农业机械的资金条件，所以种植、干燥环节机械化推广问题较多。基于调研数据，运用Dearun软件和Matlab软件，测算得不同地形条件下水稻全程机械化生产模式技术效率，见表4。

在探讨江西省不同地形条件下水稻全程机械化生产模式的技术效率时，采用超效率SBM模型和Cobb-Douglas生产函数两种方法进行求解。从总体上看，两种方法在评估技术效率时呈一定的相似性。超效率SBM模型求解的技术效率平均值在赣北平原、赣中丘陵山地和赣南丘陵山地分别为0.758、0.728和0.636，而

表4 江西省不同地形条件下水稻全程机械化生产模式技术效率

Tab. 4 Technical efficiency of full-process rice mechanization production models under different terrain conditions in Jiangxi Province

区划及地形条件	水稻种植面积/hm²	超效率SBM模型		Cobb-Douglas生产函数	
		技术效率	纯技术效率	规模效率	技术效率
赣北平原	233	1.230	1.599	0.769	1.005
	120	1.119	1.135	0.986	1.206
	43	1.111	1.116	0.996	0.934
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	67	0.525	0.525	1.000	0.944
	41	0.503	0.554	0.909	0.915
	8	0.432	1.024	0.422	0.879
平均值	125	0.758	0.815	0.930	1.013
赣中丘陵山地	67	1.096	1.096	1.000	1.461
	573	1.059	1.146	0.924	0.967
	25	1.034	1.038	0.995	1.034
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	10	0.510	0.873	0.585	0.855
	173	0.501	0.501	1.000	0.731
	133	0.481	0.481	1.000	0.768
平均值	86	0.728	0.800	0.911	0.990
赣南丘陵山地	67	1.234	1.234	1.000	1.048
	67	1.080	1.097	0.985	1.329
	100	1.017	1.017	1.000	1.118
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	7	0.409	1.013	0.404	0.901
	33	0.385	0.398	0.966	0.782
	3	0.273	1.354	0.202	0.945
平均值	73	0.636	0.780	0.815	0.910

Cobb-Douglas生产函数求解技术效率平均值分别为1.013、0.990和0.910，均呈自北向南逐渐减少趋势。赣北地区技术效率最高，由于地形条件优势，具有较好的农业基础设施和农机作业条件，所以具备更先进的机械化生产设备和管理模式，技术效率发展较好。赣中地区技术效率略低于赣北地区，但仍然相对较高。赣南地区技术效率明显低于其他地区，主要受到地理环境和经济发展水平的限制，农机作业条件和机械化技术水平相对滞后，导致生产效率较低。赣中和赣南丘陵山区是江西省水稻全程机械化生产模式效率提升的薄弱区域。超效率SBM模型求解的各地区纯技术效率普遍低于规模效率，表明在江西省不同地形条件下，水稻全程机械化生产模式中的纯技术因素（如技术创新、管理水平等）对技术效率有显著提升潜力。

由表5可知，同一环节在不同地形条件下的平均作业费用存在明显差异。例如，在收获环节赣南丘陵山地作业费用为1 665元/hm²，而赣北平原为1 280元/hm²，相差385元/hm²，但江西省收获机械技术发展已经较为成熟，成本投入差异的实际原因主要是不同地区收获技术操作和管理能力不同和丘陵山区地形的限制使得相同的工作需要投入更多的费用来完成；在干燥环节，赣北、赣中和赣南地区的作业费用逐渐降低，结合实际调研情况，赣中赣南作业费用低主要由于该地区一般不进行产后处理，直接售卖湿谷，所以不计算干燥作业费用，干燥环节平均作业费用低。因此，在推广水稻全程机械化生产模式时，需考虑到地形条件的影响，因地制宜制定方案，以实现生产成本优化和农业生产效率提升。

表5 江西省不同地形条件下水稻全程机械化生产模式作业费用

Tab. 5 Operational costs of full-process rice mechanization production models under different terrain conditions in Jiangxi Province

元/hm²

区划及地形条件	耕整地	种植	植保	收获	干燥
赣北平原	1 591	7 099	255	1 280	930
赣中丘陵山地	1 715	6 501	247	1 421	779
赣南丘陵山地	1 770	7 119	465	1 665	756

3.2.2 不同生产规模下

根据生产规模数值范围和频率对调研数据进行分组，分为120~600 hm²（G1）、73~115 hm²（G2）、37~67 hm²（G3）和3~33 hm²（G4），共4组，每组样本数占比分别为24.8%、22.3%、24.8%和28.1%。G1、G2为大规模，G3、G4为中小规模，江西省不同生产规模下全程机械化生产典型技术模式见表6。

表6 江西省不同生产规模下水稻全程机械化生产典型技术模式

Tab. 6 Typical technical models of full-process rice mechanization production under different production scales in Jiangxi Province

技术模式	技术路线
G1、G2大规模高效水稻生产集成生产模式	大型轮式拖拉机+旋耕机/自走式旋耕机耕地→1 200~1 300盘/h育秧播种机+6-8行乘坐式水稻插秧机→30 L及以上植保无人机/12 m及以上喷杆喷雾机→4 kg/s及以上全喂入履带式联合收获机→干燥机干燥
G3、G4中小规模灵活型水稻机械化生产模式	中小型轮式/履带式拖拉机+旋耕机耕地→800~1 200盘/h育秧播种机+4-6行步进式/乘坐式水稻插秧机→20~30 L植保无人机→3~4 kg/s全喂入履带式联合收获机→干燥机干燥/售卖湿谷

在测算江西省不同生产规模下水稻全程机械化生产模式的技术效率时，得到超效率SBM模型和Cobb-Douglas生产函数两种方法结果，见表7。从技术效率平均值来看，超效率SBM模型在生产规模G1、G2、G3和G4下技术效率平均值分别为0.745、0.776、0.701和0.622，Cobb-Douglas生产函数求解得到的技术效率平均值分别为0.995、1.040、0.984和0.902，Cobb-Douglas生产函数的结果在一定程度上验证了超效率SBM模型测算出的技术效率变化趋势。

随着生产规模扩大，技术效率平均值呈先上升后下降趋势，说明在特定规模范围内（G3和G4），生产规模的扩大有助于技术效率的提升，但超过一定规模后（G1和

表7　江西省不同生产规模下水稻全程机械化生产模式技术效率

Tab. 7　Technical efficiency of full-process rice mechanization production models under different production scales in Jiangxi Province

生产规模	水稻种植面积/hm²	超效率SBM模型			Cobb-Douglas生产函数
		技术效率	纯技术效率	规模效率	技术效率
G1	600	0.934	1.293	0.723	1.113
	573	1.059	1.146	0.924	0.967
	420	1.041	1.058	0.984	1.018
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	123	0.658	0.658	1.000	0.932
	120	0.651	0.651	1.000	1.002
	120	1.119	1.135	0.986	1.206
平均值	229	0.745	0.775	0.961	0.995
G2	115	1.024	1.024	1.000	1.040
	113	0.628	0.630	0.998	0.903
	113	0.685	0.686	0.998	1.124
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	73	1.003	1.003	1.000	1.031
	73	1.047	1.062	0.985	1.272
	73	1.002	1.002	1.000	0.811
平均值	106	0.776	0.783	0.991	1.040
G3	67	0.584	0.607	0.962	0.969
	67	0.576	0.596	0.967	0.718
	67	0.626	0.640	0.978	0.979
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	40	0.679	0.806	0.843	0.972
	39	0.660	0.744	0.888	1.003
	37	0.551	0.589	0.936	1.065
平均值	55	0.701	0.744	0.942	0.984
G4	33	0.599	0.741	0.809	0.725
	33	0.791	0.915	0.865	0.986
	33	0.618	0.701	0.881	0.952
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	7	0.424	1.015	0.417	0.959
	7	0.446	1.004	0.445	0.747
	3	0.273	1.354	0.202	0.945
平均值	17	0.622	0.884	0.703	0.902

G2)，规模过大可能导致管理效率下降和资源利用效率降低，进而影响技术效率。同时，规模效率平均值随着生产规模的扩大呈先增加后降低趋势，G4规模虽规模效率较低，但其纯技术效率最高，说明通过技术创新和管理水平的提升，仍然可有效提升技术效率，从而减少因生产规模带来的影响，说明水稻全程机械化生产模式需要适度规模，才能充分发挥其整体规模经济性，不能盲目扩大规模或缩减规模，机械化生产技术模式与生产规模适配是提高江西省水稻机械化生产效率的有效方法之一。

由表8可知，不论在不同地形条件下，还是在不同生产规模下，各环节作业费用具有相同规律，由大到小为种植作业费用、耕整地作业费用、收获作业费用、干燥作业费用、植保作业费用，种植、干燥作业费用分别是江西省水稻全程机械化生产模式中支出最大、差异性明显的部分。不同规模农业生产在各项作业费用上存在显著差异。较大规模G1耕整地作业费用最低，为1 588元/hm²，而较小规模G4为1 774元/hm²。种植作业费用方面，较大规模G1同样较低，为2 686元/hm²，而较小规模G4为2 802元/hm²。同时，植保作业费用和收获作业费用随生产规模的增加而减少的趋势。但干燥作业费用在不同规模之间的差异较大，主要由于部分样本不进行干燥处理，对应干燥作业费用支出为零。通过分析可知，在一定规模(G2、G3、G4)内，生产规模越大作业成本投入越少，规模G2作业总费用比规模G4减少1 078元/hm²，节约14%的费用。

表8　江西省不同生产规模下水稻全程机械化生产模式作业费用

Tab. 6　Operational costs of full-process rice mechanization production models under different production scales in Jiangxi Province

元/hm²

生产规模	平均作业费用					作业总费用
	耕整地	种植	植保	收获	干燥	
G1	1 588	2 686	182	1 328	1 315	7 099
G2	1 647	2 472	197	1 244	941	6 501
G3	1 711	2 993	316	1 480	619	7 119
G4	1 774	2 802	518	1 652	833	7 579

3.3　装备配置优化

从2018年到2022年，江西省水稻机械化相关装备配置数量上整体呈稳步增长趋势(图3)。在装备结构方面，拖拉机中小型拖拉机数量逐渐减少，而大中型拖拉机数量逐年增加，从3.84×10⁴台增加至6.58×10⁴台[14]，说明江西省农业机械注重向大型化、高效化的发展。2022年江西省乘坐式插秧机与步进式插秧机比例为1∶2.7，该比例小于全国比例1∶2.0[14]，说明江西省低性能插秧机多，高速乘坐式插秧机较少。无人机植保具有作业效率高、覆盖面广等优点，在植保环节的应用越来越广泛。谷物联合收获机和谷物干燥机数量增加，有助于减少损失，保证稻谷品质。其中，2022年谷物(粮食)干燥机为1.4×10⁴台，其中30 t以上干燥机与30 t及以下干燥机比例为1∶4.8，该比例小于全国比例1∶4.2[14]，表明江西省小规模经营居多，大型干燥机应用不够普遍。

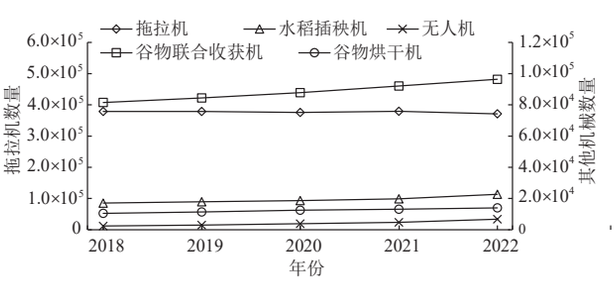

图3　2018-2022年江西省水稻机械化相关装备配置数量

Fig. 3　Number of rice mechanization-related equipment configurations in Jiangxi Province from 2018 to 2022

装备配置优化原则应包括适应性原则、先进性原则和经济性原则，即装备配置需适应江西省不同地形条件和生产规模的需求。根据前文分析可知，赣中和赣南丘陵山区是江西省水稻全程机械化生产模式技术效率亟待提升，纯技术效率提高是促进生产效率提升的有效途径。赣北平原地区纯技术效率、规模效率相对较高，在优化技术应用提高纯技术效率的同时，注意向大规模方向发展，从而提高规模效率。赣中、赣南丘陵山区纯技术效率低于规模效率，说明技术推广应用不足，亟需探索适度经营规模，实现技术与规模相匹配。因此，装备配置优化要遵循平原地区技术与规模效率并行提升，丘陵山区技术效率提升为主、规模效率提升为辅。

在赣北平原地区大规模经营应适当减少小型拖拉机、步进式插秧机和小型干燥机等低端装备的配置数量，增加大中型拖拉机和无人机等高端装备的配置数量。同时，加强农机装备更新换代。在赣南丘陵山区小规模经营购置育秧成套设备、插秧机和干燥机等存在资金不足的问题，育秧中心和稻谷干燥中心建立以及社会化服务的应用能够有效解决机械价格昂贵、小农户购买能力不足的问题，实际生产中小农户可以通过购买社会化服务或者直接流转土地等方法，推动机械化发展、技术效率提高。

结合技术模式来看，水稻种植和产后处理是技术模式差异的重点环节。种植环节中水稻插秧机能够充分发挥作用的前提是秧苗充足，所以配套水稻育秧机械同样是保障机械化移栽顺利进行的关键。机械化干燥方式的应用能够保障粮食安全、改变传统人工晾晒的费时费力的产后处理方式，据调研，干燥处理后的稻谷比未处理的湿谷销售高1.08元/kg，有效助力粮食减损保质增收[24]。基于不同地形条件和生产规模下的典型技术模式，结合成立社会化服务组织、建立育秧中心和干燥中心等优化方法，得到优化后江西省水稻全程机械化生产技术模式，见表9。

表9 江西省水稻全程机械化生产技术模式优化

Tab. 9 Optimization of full-process rice mechanization production technical models in Jiangxi Province

地形条件	生产规模	生产模式	技术路线
赣北平原	G1、G2	自营＋对外服务	大型轮式拖拉机+旋耕机耕地/机耕服务→育秧中心（1 200~1 300盘/h育秧播种机）+6~8行乘坐式水稻插秧机/机械化育插秧服务→30 L及以上植保无人机/机植保服务→4 kg/s及以上全喂入履带式联合收获/机收服务→干燥中心（干燥机干燥）/机械化干燥服务
		全产业链延伸	大型轮式拖拉机+旋耕机→1 200~1 300盘/h育秧播种机+6~8行乘坐式水稻插秧机→30 L及以上植保无人机/12 m及以上喷杆喷雾机→4 kg/s及以上全喂入履带式联合收获机→干燥机干燥→碾米机碾米→品牌打造
赣中、赣南丘陵山地	G3、G4	自营	中型轮式/履带式拖拉机+旋耕机→800~1 200盘/h育秧播种机+4~6行步进式/乘坐式水稻插秧机→20~30 L植保无人机→3～4 kg/s全喂入履带式联合收获机→干燥机干燥
		“点单式”单环节托管	中型轮式/履带式拖拉机+旋耕机→购买机械化育插秧服务→20~30 L植保无人机→3～4 kg/s全喂入履带式联合收获机→购买机械化干燥服务
		“菜单式”多环节托管	购买机械化耕作服务→购买机械化育插秧服务→购买机械化植保服务→购买机械化收获服务→销售湿谷至干燥中心

在赣北平原大规模下，可发展“自营＋对外服务”“全产业链延伸”两种模式，能够充分利用机械化技术，避免资源浪费，并且能够增加农民收入。“自营+对外服务”模式通过提供机械化服务，包括耕作、种植、植保、收获和干燥等，不仅可以提高生产效率，还能够为农户带来额外收入。而“全产业链延伸”模式则进一步延伸了服务范围，包括从耕作到品牌打造的全过程，使农产品附加值增加，从而提高经营者收入和地区经济效益。

在赣中、赣南丘陵山地小规模下，可发展“自营”、“‘点单式’单环节托管”、“‘菜单式’多环节托管”3种模式，能够灵活适应当地的地形条件和生产规模，最大限度地发挥机械化技术的优势，提高生产效率并增加农户收入。“自营”模式适用于规模相对较大的农户，能够直接享受机械化带来的收益。在“‘点单式’单环节托管”模式下，农户可以选择购买特定环节的机械化服务，如购买机械化育插秧服务或机械化干燥服务，以满足自身生产需求，减少投入成本。而在“‘菜单式’多环节托管”模式下，农户可以根据实际需要选择购买完整机械化生产服务链，从耕作到收获，甚至包括销售环节，以确保整个生产过程顺利进行，从而提升收益。

4 结论

（1）根据对江西省调研数据的分析，结合不同规模和地形条件下的水稻全程机械化生产模式，超效率SBM模型在衡量生产单元的技术效率上更具优势，特别是在资源利用差异明显、生产效率需精确量化的情境中，能提供更准确的评估结果。而Cobb-Douglas生产函数虽然在分析生产要素对产出的作用时效果较好，但在这项研究的具体场景下，SBM模型可以详细揭示各单元的资源利用情况，有助于优化生产流程和资源配置，从而进行全程机械化生产模式和装备配置优化。

（2）江西省水稻全程机械化生产模式效率低主要是由纯技术效率低导致的，赣中和赣南丘陵山区作业条件差、小规模分散经营是制约纯技术效率提升的主要原

因。丘陵山区导致田块小而分散，影响农机作业条件，导致农业机械难以充分发挥作用或利用效率不高问题普遍存在。在江西省丘陵山区可通过先发展家庭农场/专业大户，带动小农户发展，再逐步发展集约化程度更高的合作社，最终发展为综合农事服务中心的路径，促进机械化技术的普遍应用，从而提高江西省丘陵山区水稻全程机械化生产模式效率。

（3）在优化装备配置时，应兼顾平原地区的技术与规模效率双重提升，而在丘陵山区，则应将技术效率的提升作为主要目标，同时辅以规模效率的提升。在平原地区应适当减少小型拖拉机、步进式插秧机和小型干燥机等的应用，提高大中型拖拉机、乘坐式插秧机和大型干燥机等高端装备的占比份额。在江西省丘陵山区小农户可以通过“合作社+农户”“合作社+家庭农场+农户”等模式，鼓励农户购买社会化服务，解决小农户水稻全程机械化生产机械化育插秧、干燥难题，实现小农户与现代农业的有效衔接。育秧中心和干燥中心的建设以及社会化服务能够为水稻种植环节的机械化发展和改善产后处理方式提供关键支持和保障，提高水稻全程机械化生产模式技术效率。

（4）赣北平原大规模下，发展“自营+对外服务”与“全产业链延伸”模式，有效整合机械化技术，提升生产效率，减少资源浪费，增加农民收入。前者通过提供全面机械化服务，促进农业效益增长；后者则深化服务链，提高农产品附加值，实现经济效益最大化。在赣中、赣南丘陵山地小规模下，推行“自营”、“‘点单式’单环节托管”及“‘菜单式’多环节托管”模式，以适应复杂地形和多样生产需求。其中，“自营”模式利用中型机械实现高效耕作，适宜规模较大的农户；“点单式单环节托管”则允许农户按需选择服务，降低投入成本；“菜单式多环节托管”则提供全方位服务，确保生产流程顺畅，提升农户收益。

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，2023.

[2] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2023.

[3] 江西省统计局，国家统计局江西调查总队. 江西统计年鉴[M]. 北京：中国统计出版社，2023.

[4] 杨胜海. 经济学原理新论[M]. 北京：中国财富出版社，2021.

[5] 鄂玉江. 中国农业经营组织形式[M]. 沈阳：辽宁人民出版社，1998.

[6] 徐丽君，杨敏丽. 基于Malmquist指数法的水稻生产效率实证分析[J]. 农业机械学报，2012，43(增刊)：169－174.
Xu Lijun，Yang Minli. Analysis on paddy rice production efficiency based on Malmquist index[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2012，43(Supp.)：169－174.(in Chinese)

[7] LINN T，MAENHOUT B. Measuring the efficiency of rice production in Myanmar using data envelopment analysis[J]. Asian Journal of Agriculture and Development，2019，16(2)：1－24.

[8] 张丽娜，陈志，杨敏丽，等. 我国玉米生产效率时空特征分析[J]. 农业机械学报，2018，49(1)：183－193.
ZHANG Li’na，CHEN Zhi，YANG Minli，et al. Spatio-temporal feature of maize production efficiency in main producing provinces of China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2018，49(1)：183－193.(in Chinese)

[9] 曹卫华，杨敏丽. 江苏稻麦两熟区机械化生产模式的效率分析[J]. 农业工程学报，2015，31(增刊)：89－101.
CAO Weihua，YANG Minli. Efficiency of mechanical production mode in paddy rice-wheat double cropping area of Jiangsu Province[J]. Transactions of the CSAE，2015，31(Supp.)：89－101.(in Chinese)

[10] 江西省第三次全国农业普查领导小组办公室，江西省统计局. 江西省第三次全国农业普查综合资料[M]. 中国统计出版社，2016.

[11] 国家统计局. 第三次全国农业普查主要数据公报(第一号)[EB/OL]. (2017-12-14)[2024-02-29]. https://www.stats.gov.cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902101.html.

[12] 国家统计局. 第三次全国农业普查主要数据公报(第五号)[EB/OL]. (2017-12-16)[2024-02-29]. https://www.stats.gov.cn/sj/tjgb/nypcgb/qgnypcgb/202302/t20230206_1902105.html.

[13] 刘鹏伟，杨敏丽，张小军，等. 基于高质高效的西南丘陵山区机械化生产模式评价[J]. 农业机械学报，2022，53(增刊1)：140－149.
LIU Pengwei，YANG Minli，ZHANG Xiaojun，et al. Evaluation of mechanized production model based on high quality and high efficiency in southwest hilly and mountainous areas[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery，2022，53(Supp. 1)：140－149.(in Chinese)

[14] 农业农村部农业机械化管理司. 2022年全国农业机械化统计年报[M].

[15] TONE K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research，2001，130(3)：498－509.

[16] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. European Journal of Operational Research，2002，143(1)：32－41.

[17] COBB C W，DOUGLAS P H. A theory of production[J]. The American Economic Review，1928，18(1)：139－165.

[18] 经济日报. 释放生产要素活力，提高农民收入——让农村市场潜力变实力[EB/OL]. (2021-01-26)[2023-06-13]. https://www.gov.cn/xinwen/2021-01/26/content_5582521.htm.

（下转第245页）

[6] 张丽叶.欧美亚农业发达国家新型农业经营主体发展趋势及启示[J].世界农业,2017(11):90-96.
[7] 安肖.美国农场面面观[J].世界农业,2023(6):136-137.
[8] 刘长全.以农地经营权配置与保护为重点的农地制度改革——法国经验与启示[J].中国农村经济,2020(11):131-144.
LIU Changquan. Farmland system reform focusing on the allocation and protection off armland management rights: experiences and implications from France[J].Chinese Rural Economy, 2020(11):131-144. (in Chinese)
[9] 刘洪霞,张学彪,曲春红,等.以色列实现农业强国的创新发展路径及对我国启示[J].中国林业经济,2023(4):13-18.
LIU Hongxia, ZHANG Xuebiao, QU Chunhong, et al. Innovative development path for Israel to become an agricultural power and enlightenment to China[J]. China Forestry Economics,2023(4):13-18. (in Chinese)
[10] 杨彪.以色列农业转型的特征与启示[J].西南林业大学学报(社会科学),2023,7(1):27-33.
YANG Biao. The characteristics and enlightenment of agriculture transition in Israeli[J]. Journal of Southwest Forestry University, 2023, 7(1):27-33. (in Chinese)
[11] 李冰.动能转换推动中国农业高质量发展问题研究[D].长春:吉林大学,2024.
LI Bing. Research on the transformation of momentum to promote the high-quality development of China's agriculture[D].Changchun: Jilin University,2024. (in Chinese)
[12] 朱礼好.国内农机企业与外资巨头的差距在哪[J].当代农机,2024(8):17.
[13] 吴海华.加快发展农机装备新质生产力,助力农业强国建设[J].中国农村科技,2024(7):11-14.
[14] 孙景彬,刘志杰,杨福增,等.丘陵山地农业装备与坡地作业关键技术研究综述[J].农业机械学报,2023,54(5):1-18.
SUN Jingbin, LIU Zhijie, YANG Fuzeng, et al. Research review of agricultural equipment and slope operation key technologies in hilly and mountains region[J].Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2023,54(5):1-18.(in Chinese)
[15] 张兆同,杨桂祥.农业机械化高质量发展的内涵、问题与对策[J].农业经济,2020(2):6-8.
[16] 陈建.我国丘陵山区应对农机化两大困境的新对策——基于宜机化土地整治[J].农机化研究,2019,41(4):1-4,63.
CHEN Jian. A new countermeasure against two severe difficulties in agricultural mechanization in China's hilly and mountainous areas—based on land consolidation for fitting large—medium farm machinery [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2019, 41(4):1-4,63. (in Chinese)
[17] 王智才.建设现代农业加快推进农业机械化[J].农业机械学报,2004,35(3):154-158,163.
WANG Zhicai. Construction of a modern agriculture and boosting of farm mechanization[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004,35(3):154-158,163. (in Chinese)
[18] 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. The analysis on macro-affected factors for agricultural mechanization in Chinese southern mountain and hill areas[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2010,32(8):229-233.(inchinese)
[19] 栾树信.农机社会化服务在农业现代化中的运行机制与挑战[J].农机使用与维修,2024(8):74-76.

(上接第239页)

[19] 中国天气网江西站.江西天气预报中的赣北、赣中、赣南是指什么地方?[EB/OL].(2020-11-11)[2024-02-29]. http://www.weather.com.cn/jiangxi/qxxw/11/3408207.shtml.
[20] 白锋哲,余瑶.丘陵山地,农机如何"跑"起来?[N].农民日报,2022-11-04.
[21] 俞高红,王磊,孙良,等.大田机械化移栽技术与装备研究进展[J].农业机械学报,2022,53(9):1-20.
YU Gaohong, WANG Lei, SUN Liang, et al. Advancement of mechanized transplanting technology and equipments for field crops[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2022,53(9):1-20.(in Chinese)
[22] 籍国宝.谷物联合收获机结构与使用维修[M].北京:金盾出版社,1999.
[23] 李泽华,马旭,李秀昊,等.水稻栽植机械化技术研究进展[J].农业机械学报,2018,49(5):1-20.
LI Zehua, MA Xu, LI Xiuhao, et al. Research progress of rice transplanting mechanization[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2018,49(5):1-20.(in Chinese)
[24] 农业农村部,发展改革委,财政部,等.农业农村部 国家发展改革委 财政部 自然资源部 生态环境部 国家粮食和物资储备局关于加快粮食产地干燥能力建设的意见[EB/OL].(2023-05-09)[2024-03-29]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202305/content_6857350.htm.