

主要粮食作物机械化生产工程模式构建与评价

黄 凰^{1,2}, 杨敏丽^{1,2*}, 黄光群¹

(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)

摘 要: 中国主要粮食作物机械化生产已进入从单环节生产机械化向全程化发展的关键阶段, 并在长期的发展过程中形成了多种工程模式。但目前鲜有研究从全程化、产业化、组织化、规模化的角度对其进行深入分析。因此, 该文从系统工程的角度构建起主要粮食作物机械化生产工程模式体系框架。为了验证模式构建的合理性, 客观分析不同模式的效果, 该文在科学、实用、引导、可比、可行原则的基础上构建了一套评价指标体系。根据量化的难易程度, 将指标分为易于量化的评价指标和不易量化的分析指标 2 种类型。评价指标以先进性、完备性、匹配度和经济性为评价准则, 分析指标包括生态性、融合度、政策性和组织化指标。指标权重采用 3 轮专家匿名打分的方式获得, 同时运用“现代农业发展目标与要求+统计数据分析+发达国家与地区经验+实际调查+专家咨询”相结合的方法得到指标标准值。在对全国不同区域采集数据进行评价的基础上, 该文选取广西水稻机械化生产 4 种典型模式为例进行实例分析, 从结果可以看出, 该模式构建方法和评价指标体系具有较好的实用性, 可推广应用并在实践中进一步完善。

关键词: 粮食, 作物, 机械化, 构建, 模式, 评价

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.23.008

中图分类号: S23

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-23-0053-09

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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(23): 53-61. (in Chinese with English abstract)

0 引 言

主要粮食作物机械化生产工程是农业工程下的一个分支^[1], 所以, 主要粮食作物机械化生产工程模式与农业工程模式在内涵上具有一致性, 它是技术因素和非技术因素的综合集成, 通过要素之间的匹配和协同来实现最有效的目标。近 10 a 来, 中国农业机械化发展实现了由初级阶段向中级阶段, 农业生产方式实现了以人畜力为主向机械作业为主的两个历史性跨越。而主要粮食作物的机械化生产一直是这个阶段发展的核心, 并在长期的发展过程中形成了多种工程模式。2012 年中央一号文件提出要“探索农业全程机械化生产模式”, 说明主要

粮食作物机械化生产已进入从单环节生产机械化向全程化发展的关键阶段, 从理论和实践上对其模式进行探索, 为优化模式的应用和科学决策提供支撑已非常必要和迫切。从现有研究来看, 不同学者对工程模式的研究方法和机械化生产工程模式进行了初步探索^[2-7], 但总体来看, 对主要粮食作物单环节机械化生产模式研究的较多, 从全程的角度研究机械化生产工程模式的较少。从技术、组织等单个层面研究的较多, 站在系统的层面, 将各个要素结合起来全面分析机械化生产工程模式的较少。而以全程化、产业化、组织化、规模化的角度来进行模式研究的更是刚刚起步。所以, 本文从系统工程的角度, 将理论分析与实例分析相结合, 以期构建起主要粮食作物机械化生产模式体系框架, 并建立一套科学性和实用性兼备的模式评价指标体系。

1 模式构建

1.1 模式研究分析框架

主要粮食作物机械化生产工程模式研究的哲学基础是工程哲学^[8], 它明确了工程是一个系统, 模式研究的目的是实现工程价值。本文以研究区域为起点维, 以工程价值为终点维, 建立了 6 维度的

收稿日期: 2013-05-16 修订日期: 2013-10-24

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(200903009-02); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2013YJ007)

作者简介: 黄 凰(1986—), 女, 汉, 湖北孝感人, 博士生, 主要从事农村发展与农业机械化方面的研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。Email: wmyhuang@qq.com

*通信作者: 杨敏丽(1965—), 女, 汉, 广西柳州人, 教授, 博士生导师, 主要从事农村发展与农业机械化、现代农业装备发展战略、政策与规划、农机社会化服务, 以及农业机械化标准与规程制定等方面的研究。北京 中国农业大学工学院, 100083。Email: qyang@cau.edu.cn
农业工程学会会员: 杨敏丽(E041200214S)。

分析框架(图1)。其中,模式构建是其他一切研究和成果的基础,需在这一步明晰模式的概念、内涵、外沿、特点和表达方式等。

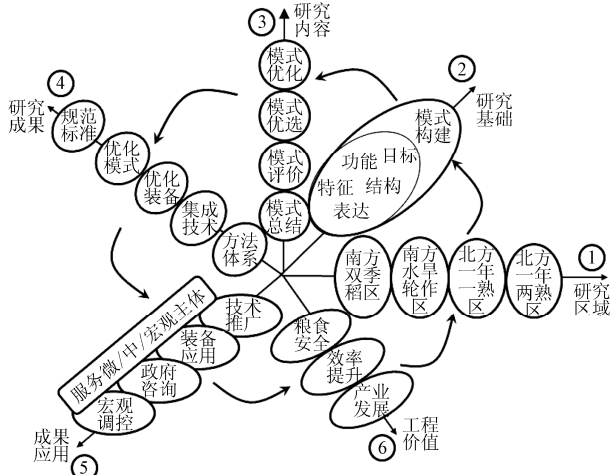


图1 主要粮食作物机械化生产工程模式研究分析框架

Fig.1 Analytical framework of mechanized production engineering mode research for major food crops

1.2 模式构建系统分析

以系统的观点,主要粮食作物机械化生产工程模式是一个具有特定目标、功能、结构的整体^[9]。模式的目标是一个由宏观、中观和微观目标组成的目标集,具体有增产、增效、低耗、优质、安全等,其功能是由多项分功能组成的功能团,如减轻劳动强度、实现规模经济等。模式构成应包括机械化生产技术和装备应用过程中所涉及到的生产力和生产关系中的诸要素。本文在充分吸纳前人研究成果的基础上,认为其结构应包括主体、客体、需求、目标、技术路线/工艺和装备配备等基本要素(图2)。模式不仅是内部各要素的有机统一,也是与环境的有机统一。

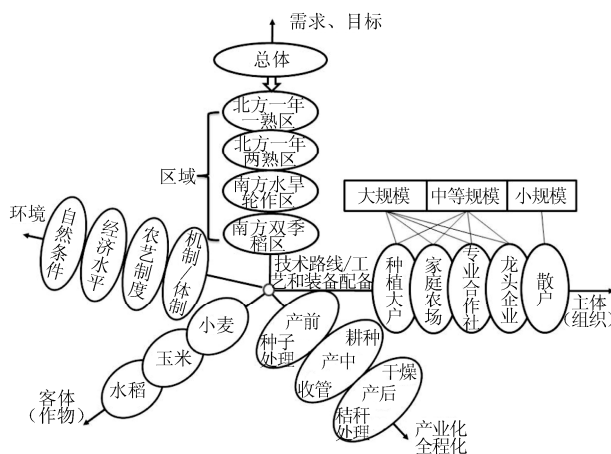


图2 主要粮食作物机械化生产工程模式结构图

Fig.2 Structure of mechanized production engineering mode for major food crops

实际生产中,模式涉及到的主体具有多重性,有个人主体,也有集体主体。本文研究的主体(组织)主要有5种类型,分别是种植大户、家庭农场、专业合作社、龙头企业和散户。纵观发达地区从人畜力作业为主到全程机械化的实现过程中,均伴随着主体发展和主体规模的变化^[10-12],所以在具体的研究过程中不同主体再根据规模进行进一步划分。主体的决策对生产至关重要,其中包括目标决策和路径决策,前者是生产目标的确定,后者是生产手段的选择,所以主体将是模式研究的重点之一。本文的客体即农业机械作用的对象,具体指三大粮食作物——玉米、小麦和水稻。需求和目标可分为总体和区域两个层次,因为作物、技术和装备条件、组织的发展程度、外部环境等方面的差异,每个区域的需求和目标会有所差异。对应不同的主体,客体,需求和目标,会有相应的技术路线/工艺选择和装备配备方案。模式中的所有要素相互关联,相互影响,要素之间通过耦合来共同实现目标,满足主体的需求。而模式中的所有要素均受到由自然条件、经济水平、农艺制度、体制/机制等组成的环境的影响。对模式的分析均是建立在产业化和全程机械化的基础之上,涉及到产前产中产后、从种子处理到粮食干燥的全过程。由于模式的系统性、多主体、多区域等特点,使其具备主体的层次性、地域的差异性、模式的集成性、模式的示范性等主要特征。

1.3 模式表达

一套能体现模式核心要素的命名是清晰表达的基础,在模式的结构中,技术和装备是核心。所以本文按照机械化生产实现的程度和方式,将主要粮食作物机械化生产技术模式分为田间关键环节机械化生产模式、田间全程机械化生产模式和全程机械化生产模式。田间关键环节机械化生产模式实现了田间部分生产环节的机械化,有些环节没有实现机械化;田间全程机械化生产模式实现了田间生产所有环节的机械化;全程机械化生产模式实现了产前产中产后的全程机械化。当技术模式与主体、作物、产业等结合在一起时,就形成了特定的工程模式,用“主体+作物+技术模式(产后处理)+‘工程模式’”的模式表达方式能充分反映“工程”的整体性和多元化特征。如散户玉米田间关键环节机械化生产工程模式、大型合作社水稻田间关键环节机械化生产及产后处理工程模式、龙头企业小麦/玉米全程机械化生产模式等。

2 模式评价指标体系

2.1 评价目标

主要粮食作物机械化生产工程模式是一个整

体,要从全局最优的角度对其进行衡量,所建立的一套评价指标体系,尽可能从多个侧面、用合理的指标数量反映模式的主要差异和效果。通过评价结果的比较,找到模式的优势和不足之处。同时引导各种模式按照现代农业的标准,不断改进和提升,最终实现自我优化,达到现代农业高产、优质、高效、生态、安全的要求,形成结构优化、增产增收、节本增效、资源节约、环境友好的主要粮食作物全程机械化生产工程模式。

2.2 评价原则

评价指标体系的建立应坚持科学、实用、引导、可比、可行的原则。

第一,科学性原则。评价指标体系要准确、客观反映不同模式的水平。在普遍适用的基础上考虑不同作物、不同地区的差异,指标筛选和计算方法应有科学依据。

第二,实用性原则。评价指标体系不仅在理论上要合理,在实践中也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。

第三,引导性原则。评价指标的设置要兼顾现实背景和未来的发展需求,能充分发挥引导优化模式形成和应用的目的,激励各个地区主要粮食作物机械化生产上水平、转方式、调结构,选择合理的技术路线和装备。

第四,可比性原则。评价指标体系应真实反映不同模式之间的水平差异,各项指标和评价结果可以相互比较。

第五,可行性原则。指标设置含义清晰,具备较强的可操作性,能够量化的指标要尽量有助于数据采集,不能量化的指标给出明确的分析内容。

2.3 指标筛选

1) 指标类型和评价准则。本文的指标类型有 2 种,即评价指标和分析指标。其中评价指标是容易量化、可以实地调查采样获取数据的指标,分析指标是难以量化,但依然是模式比较和评价主要内容的指标。对于评价指标,根据文献分析和专家咨询构建了准则层,主要包括先进性、完备性、匹配度和经济性。先进性指技术的先进性,从技术使用程度、作业效率和燃油消耗等方面来衡量。完备性指装备的完备性,从技术使用所需配套的装备量和装备结构等方面衡量。匹配度从土地规模、农民购买力与工程模式的匹配程度方面来衡量。经济性衡量模式在增产、增收等方面的效果。分析指标有生态性、融合度、政策性、组织化。生态性主要衡量模式对水土生态环境的影响,衡量生态环境的可持续性。融合度衡量农机技术、装备与农艺的融合程度。政策性衡量政策在技术应用、装备投入和使用、组

织发展、管理运营等方面的支持方式、支持力度和支持效果。组织化衡量工程模式中的组织因素;

2) 指标筛选过程和结果。目前,有大量学者从不同角度对农业机械化、农业现代化、农业产业化、农业系统、农业综合生产能力的评价体系进行了研究^[13-32],本文从已有的评价体系中抽出与模式评价相关联的指标构建出指标全集,然后按照评价准则,通过多轮筛选和专家咨询,从指标全集中选取最匹配的指标。

评价指标的涵义和计算方法以国家统计局和农业部农业机械化管理司统计报表制度中相关的指标解释和计算方法为基础,并根据全程机械化和数据易于采集的前提进行了调整。各指标解释如下:

①作业水平:主要用于衡量机械替代人力作业的程度。2007 年中国已经颁布实施了种植业机械化水平评价的农业行业标准^[27],该标准以机耕水平、机播水平、机收水平来衡量作业水平,但随着农业机械化发展进入推进全程机械化发展的关键阶段,更多环节的机械化水平应该纳入到评价体系之中。所以本文的作业水平指标涉及到从耕到产后处理的所有环节,每项指标的系数(即权重)根据人工作业劳动强度的大小、实现机械化的难易和机械化替代的迫切程度等 3 个方面综合权衡后由专家打分法获得。计算方法为:

作业水平=0.3×机耕水平+0.25×机播水平+0.15×田间管理机械化水平+0.25×机收水平+0.05×产后处理机械化水平。其中:田间管理机械化水平=0.15×除草机械化水平+0.35×施肥机械化水平+0.5×植保机械化水平;收获机械化水平=0.9×收获环节机械化水平+0.1×秸秆还田环节机械化水平。使用免耕和生物植保等技术视同最高作业水平。

②作业效率:指单位时间所能完成的作业量,计算方法中作业环节和系数的确定理由同上。

作业效率=0.3×耕整地作业效率+0.25×种植作业效率+0.20×田间管理作业效率+0.25×收获作业效率。其中:田间管理作业效率=0.15×除草作业效率+0.35×施肥作业效率+0.5×植保作业效率;收获作业效率=0.9×收获环节作业效率+0.1×秸秆还田作业效率。使用免耕和生物植保等技术视同最高作业效率。

③燃油效率:用单位油耗的机械作业面积来衡量,计算方法为累计机械作业面积与累计燃油量之比。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配套比:用来衡量农机装备结构,计算方法为配套机具与动力机械数量比,自走式机械在配套机具和动力机械上各计 1 次,计算时自有和租用机

械均在计次范围之内。现有对配套比的解释和计算仅从数量方面来考虑^[33],并未考虑机械类型和作业量上的差异,一次能完成多项作业的复式作业机具与一次只能完成一项作业的单一作业机具配套比计算结果没有差异。本文在征求专家意见的基础上认为这种计算方法不能反映装备结构的优劣,复式作业机具按一次进行作业环节数量的 70%作为配套机具的数量进行折算较为合理,具体为若 1 个复式作业机具一次进行 2 项作业,配套机具数量计为 1.5; 3 项作业计为 2; 4 项作业计为 3; 5 项及以上作业计为 3.5。

⑤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。

⑥土地规模化经营程度:用规模经营的土地面积占总土地面积的比例来衡量。规模经营的土地是指土地经过统一整治,在耕整地、种植、田间管理、收获、产后处理的大部分环节实现了统一连片作业。

⑦农民人均年纯收入:反映了农民的购买力。计算方法为:农民人均年纯收入=(农村居民家庭总收入-各种费用支出)/家庭常住人口数。

⑧劳动生产率:指单位劳动力所生产的粮食量。(据专家测算,目前农业机械化对增加粮食产量的贡献率达到 20%。如果仅衡量农业机械对产量的影响,应该对产量按 20%进行折算,但考虑到标准值需要按同比例进行折算,按照本文的评价方法,是否进行折算对评价结果没有影响,所以为了计算方便,不在此进行折算。)

⑨土地产出率:指单位播种面积粮食产量。粮食产量不进行折算的原因如上。

⑩资源利用率:用产投比来衡量。具体为粮食产值与总投入值[土地使用费用、农资(种、肥、水、药)费用、机械作业费用和人工作业费用之和]之比
4 个分析指标解释如下:

①生态性指标主要包括土壤生态和水生态指标,其中土壤生态指标有土壤团聚体、持水特性、有机质含量、氮磷钾、重金属、微生物群体等,水生态指标有生化需氧量(biochemical oxygen demand, BOD)、化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)、氮磷钾、重金属、植物/微生物群体等。

②融合度指标具体指主要粮食作物品种、种植方式(行距、株距等)等农艺与农机(设计、制造、使用调整)之间的融合程度。

③政策性指标主要包括政策支持方式、支持力度和支持效果。

④组织化指标主要包括组织类型、规模、结

构、管理、人员素质、带头人、利益机制、运营等。

2.4 权重设置

本文通过 3 轮专家匿名打分的方式得到了各项指标的权重,该方法是一种较为成熟且广为应用的主观赋权方法。在准则层的权重分配上,考虑到主要粮食作物机械化生产技术和装备是基础,效益是关键,将先进性、完备性和经济性的权重设置相对较高,分别为 0.30、0.25、0.30。匹配度衡量了与工程模式相匹配的自然、经济等因素,从系统的角度考虑也非常重要,将权重设为 0.15。各项指标的权重也依据专家对其重要程度进行打分,最终形成的指标体系如表 1 所示。

表 1 主要粮食作物机械化生产工程模式评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of mechanized production engineering mode for major food crops

目标层 Goal layer	指标 类型 Index type	准则层 Criteria layer	权重 Weight	指标层 Index layer	权重 Weight
主要粮食作物机械化生产工程模式 Level of mechanized production engineering mode for major food crops	评价 指标	先进性	0.30	作业水平/%	0.4
				作业效率/($\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)	0.4
				燃油效率/($\text{hm}^2 \cdot \text{L}^{-1}$)	0.2
	评价 指标	完备性	0.25	配套比	0.5
				单位播种面积农机动力/($\text{kW} \cdot \text{hm}^{-2}$)	0.5
		匹配度	0.15	土地规模化经营程度/%	0.6
				农民人均年纯收入/元	0.4
				劳动生产率/($\text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$)	0.4
	评价 指标	经济性	0.30	土地产出率/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	0.3
				资源利用率/%	0.3
	分析 指标	生态性		土壤团聚体、持水特性、有机质含量等	
		融合度		作物品种、行距、株距、农机设计等	
		政策性		支持方式、投入力度、支持效果等	
		组织化		组织类型、规模、结构、管理、人员素质等	

2.5 标准值制定

标准值是衡量系统目标达到的尺度^[9],即当模式达到现代农业的要求时,各项指标应该达到的数值。对于标准值的设定,本文采用“现代农业发展目标与要求+统计分析+发达国家与地区经验+实际调查+专家咨询”相结合的方法,得到各指标的标准值。其中每项依据如下:

1) 现代农业发展目标与要求。参考的相关文件包括全国农业机械化发展“十二五”规划,国务院关于促进农业机械化和农机工业又好又快发展的意见,中共中央关于推进农村改革发展若干重大问题的决定和 2004 年以来历年的中央一号文件;

2) 统计分析。相关统计数据包括中国统计年鉴、全国农业机械化统计年报、中国农村统计年鉴、中国农业年鉴、全国农产品成本收益资料汇编;

3) 发达国家与地区经验。综合研究人员对美

国、泰国、中国台湾地区等地的农场、合作社的考察结果，和 FAO、世界银行的相关统计数据；

4) 实际调查。实施步骤是：①研究人员对散户、农机专业合作社等组织进行调查，确定其属于哪一种机械化生产工程模式，采集评价所需的数据。②对数据进行汇总，对每项指标的数据进行描述性统计分析，得到每项指标有效数据的最大值、最小值、平均值和标准差。③将每项指标采集的原始数据、统计量与标准值进行对比，结合数据对应的模式，专家对相应的标准值是否需要进行调整做出评判；

5) 专家咨询。通过专家会议和专家调查的方式进行咨询，根据专家意见调整标准值。

标准值设定时要考虑不同区域、不同作物之间的差异，在做到普遍适用的同时兼顾作物和区域的特殊性。标准值设定结果如表 2 所示。

表 2 主要粮食作物全程机械化生产工程模式评价指标标准值

序号 No	指标名称 Index name	标准值 Standard value
1	作业水平/%	100
2	作业效率/($\text{hm}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)	小麦 1.33, 玉米 1.33, 水稻 0.67
3	燃油效率/($\text{hm}^2 \cdot \text{L}^{-1}$)	0.06
4	配套比	全国 2.5, 北方地区和南方水旱轮作区 3, 南方双季稻区 2。
5	单位播种面积农机动力/($\text{kW} \cdot \text{hm}^{-2}$)	全国 6、北方一熟区 4.5, 北方一年两熟区 7.5, 水旱轮作区 6, 南方双季稻区 7.5
6	土地规模化经营程度/%	100
7	农民人均年纯收入/元	15000
8	劳动生产率/($\text{kg} \cdot \text{人}^{-1}$)	5000
9	土地产出率/($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	15000
10	资源利用率/%	200

2.6 评价方法

1) 单项指标评价方法

将第 i 个指标的实际值记为 X_i ，标准值为 X_{il} ，评价值为 Z_i ，其中， Z_i 的范围为 $[0, 1]$ ，目标值为 1。

正指标实现程度的计算公式

$$Z_i = \begin{cases} \frac{X_i}{X_{il}}, & \text{若 } \frac{X_i}{X_{il}} < 1 \\ 1, & \text{若 } \frac{X_i}{X_{il}} \geq 1 \end{cases} \quad (1)$$

逆指标实现程度的计算公式

$$Z_i = \begin{cases} \frac{X_{il}}{X_i}, & \text{若 } \frac{X_{il}}{X_i} < 1 \\ 1, & \text{若 } \frac{X_{il}}{X_i} \geq 1 \end{cases} \quad (2)$$

该指标体系除了单位播种面积农机动力，其他均为正指标。单位播种面积农机动力如果超过标准值，会造成动力的浪费；如果没有达到标准值，则没有足够的动力保证实现全程机械化作业。该指标实现程度的计算公式为

$$Z_i = \begin{cases} \frac{X_i}{X_{il}}, & \text{若 } \frac{X_i}{X_{il}} < 1 \\ 1, & \text{若 } \frac{X_i}{X_{il}} = 1 \\ \frac{X_{il}}{X_i}, & \text{若 } \frac{X_{il}}{X_i} < 1 \end{cases} \quad (3)$$

2) 指标体系评价方法

主要粮食作物机械化生产工程模式水平实现程度采用加权算数平均合成法计算得到，公式为

$$L = \sum_{i=1}^{10} W_i Z_i \quad (4)$$

式中， L 为主要粮食作物机械化生产工程模式水平， W_i 为第 i 项指标的权重。

3 实例分析

3.1 评价的主要模式

为了检验模式构建和评价指标体系的科学性，研究团队在吉林榆树和梨树、山东枣庄、江苏吴江和溧阳、广西贵港等地建立的“现代农业产业工程集成技术与模式研究示范点”上，对北方一年一熟区、北方一年两熟区、南方水旱轮作区和南方双季稻区的玉米、小麦、水稻 3 种作物进行了机械化生产工程模式的数据跟踪和采集，所有的数据均由研究人员实地调研或田间实测获得，然后采用评价指标体系进行评价，评价结果显示与现实情况基本吻合。由于本文篇幅所限，仅选取广西示范点上的双季稻区水稻机械化生产工程模式为例进行分析。在调研的众多模式中，选取了 4 种模式进行评价。其中模式 1 和模式 2 是广西目前应用最广泛的模式，模式 3 在一些中型合作社有所应用，模式 4 在少数大型合作社有所应用（图 3）。

3.2 模式评价及结果

针对以上模式，研究团队调查了多个组织，对每项指标的调查数据取平均值得到实际值，由式（1）～式（3）得出各指标的评价值（表 3），由式（4）得出模式 1～模式 4 的评价结果分别为 0.378、0.415、0.575、0.708，从结果可以看出，模式 4 > 模式 3 > 模式 2 > 模式 1，模式 4 效果最佳，当前应用最广泛的模式 1 和模式 2 评价结果并不好。

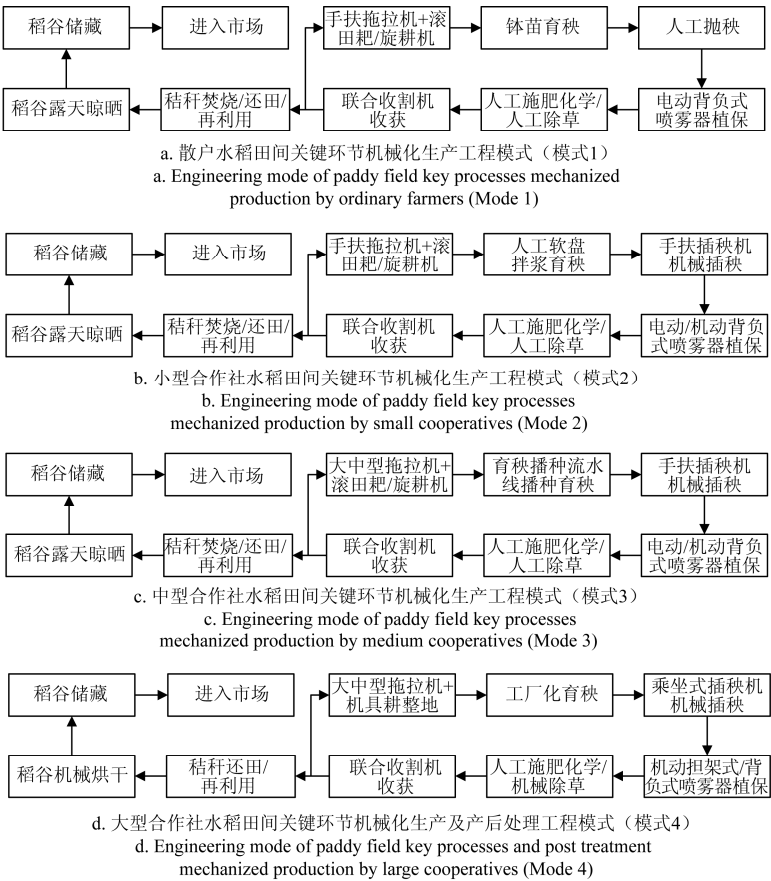


图 3 评价的主要模式

Fig.3 Major evaluated modes

表 3 各项指标实际值、评价值

Table 3 Actual and evaluation value of each index

指 标 Index	实际值 Actual value				评价值 Evaluation value			
	模式 1 Mode 1	模式 2 Mode 2	模式 3 Mode 3	模式 4 Mode 4	模式 1 Mode 1	模式 2 Mode 2	模式 3 Mode 3	模式 4 Mode 4
作业水平 Farming level/%	77.50	85.00	87.25	89.75	0.775	0.85	0.873	0.900
作业效率 Farming efficiency/(hm ² ·h ⁻¹)	0.115	0.130	0.227	0.537	0.173	0.196	0.341	0.806
燃油效率 Fuel efficiency/(hm ² ·L ⁻¹)	0.014	0.015	0.016	0.019	0.204	0.225	0.234	0.281
配套比 Ratio of implement and power machine number	1.071	0.957	1.372	1.632	0.536	0.479	0.686	0.816
单位播面农机动力 Agricultural machinery power per unit of area/(kW·hm ⁻²)	0.015	29.955	19.530	27.030	0.002	0.25	0.384	0.277
土地规模化经营程度 Degree of land scale operation/%	0	0	60	100	0	0	0.600	1
农民人均年纯收入 Annual per capita net income of farmers/元	5903.7	5903.7	5252.6	6877.8	0.394	0.394	0.350	0.459
劳动生产率 Labor productivity/(kg·人 ⁻¹)	2125	2150	3600	4167	0.425	0.430	0.720	0.833
土地产出率 Land output capacity/(kg·hm ⁻²)	6375	6450	6750	7500	0.425	0.430	0.450	0.500
资源利用率 Resource utilization rate/%	158.8	158.8	176.8	195.5	0.794	0.794	0.884	0.978

3.3 分析与讨论

大型合作社水稻田间关键环节机械化生产及产后处理工程模式优势明显，在隶属于该模式的诸多

合作社中，本文选取广西柳州市的 T 合作社为例进行典型案例分析，其优势主要体现在以下几个方面：

1) 在技术先进性方面。由于高速乘坐式插秧

机、机动担架式植保机械、大型烘干机等先进机械的使用,作业规模大,作业效率和燃油效率明显提高。2)在完备性方面,大中型拖拉机可以配套更多的机具,配套比增加。3)在匹配度方面。合作社以租金或提供粮食的方式租用了周围农户的田地,进行连片种植,并与村委协商谈判,进行整村的连片作业,规模化经营程度高,优势显著。农民相对有更高的经济收入,购买力增强。4)在经济性方面,高效率先进机械的使用和大规模的连片作业使其更容易实现作物品种、栽培种植、机械作业方面的统一和标准化生产,合作社同时得到当地植保站和农机管理部门组成的专家技术顾问部的指导,在品种选用、技术使用、机械操作、管理经营等方面更加专业化。另外,早晚稻及时播种和收获、科学的植保,避免了晚稻抽穗扬花期“寒露风”天气的影响,减轻了病虫害,将自然灾害所带来的负面效应大大降低。劳动生产率、土地产出率和资源利用率都得到提高。

对几项关键的分析指标,T合作社在政策性和组织化方面特点明显:1)在政策性方面。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、扶持工厂化育秧的项目资金、专家指导、水稻优良品种的补贴等。以工厂化育秧项目为例,工厂化育秧成套设施初始投入成本大,合作社在政府项目资金支持下采用工厂化育秧并培育商品化秧苗,不仅带来了可观的利润,还有效抵御了自然灾害。在广西,春季北方有较强冷空气南下,与南方暖湿气流交汇,常出现较长时间的低温阴雨天气,影响早稻适时播种,甚至造成大量烂秧^[34]。模式1、2的育秧方式不能控制环境温度,就曾发生过大面积的烂秧情况。工厂化育秧能控温控湿,秧苗成活率和质量大大提高。2)在组织化方面。合作社社长在村里威信高,技术过硬,机手都受过良好训练,可以从事多种机械作业和机械维修。合作社设立了机耕部、机插部、机收部、机防部、育秧部、机修部、销售部、财务部,由部门来管理社员,组织结构规范。并能随时咨询由当地植保站和农机管理部门组成的专家技术顾问部。对于合作社不能进行的作业环节广泛与外界合作,如与当地粮食部门合作进行水稻烘干和加工。

大型合作社水稻田间关键环节机械化生产及产后处理工程模式具有诸多优点,但是大规模、先进设备对应的就是投资的增加。现阶段,以农民为主体成立的合作社资金实力不雄厚,若没有政府在政策、资金、装备、知识和技术等方面的支持,这种模式很难自然形成,所以一定程度上仍然需要政府通过一定的配套措施,扶持合适的组织来引导优

化模式的形成和发展,通过宣传推广,发挥优化模式的示范带动作用。

4 结 论

1)本文从系统工程的角度构建起主要粮食作物机械化生产工程模式体系框架。在模式研究的6维度分析框架中,模式构建是基础。模式目标和功能是由多个分项目标和子功能组成的目标集和功能团。主体、客体、需求、目标、技术路线/工艺和装备配备是模式构成的基本要素,所有要素相互关联,相互影响,要素之间通过耦合来共同实现目标,满足主体的需求。“主体+作物+技术模式(产后处理)+‘工程模式’”的模式表达方式能够清晰体现模式中技术、组织等关键的要素,并充分反映“工程”的整体性和多元化特征。

2)本文从评价目标、评价原则、指标筛选、权重设置、标准值设定、评价方法等方面对主要粮食作物机械化生产工程模式评价进行了研究。模式评价应以客观反映主要粮食作物机械化生产工程模式的效果,引导各种模式按照现代农业的标准最终实现自我优化为目标,以科学、实用、引导、可比、可行为原则进行衡量。根据量化的难易程度,将指标分为易于量化的评价指标和不易量化的分析指标两种类型。评价指标以先进性、完备性、匹配度和经济性为评价准则,分析指标包括生态性、融合度、政策性和组织化指标。通过对广西水稻机械化生产4种典型模式的评价可以看出,该模式构建方法和评价指标体系具有较好的实用性。

[参 考 文 献]

- [1] 朱明,郭红宇,周新群.现代农业产业工程体系建设方案研究[J].农业工程学报,2010,26(1):1-5.
Zhu Ming, Guo Hongyu, Zhou Xinqun. Implementing scheme for establishment of modern agricultural engineering system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(1): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- [2] 李世武.稻麦轮作生产机械化工程技术模式研究[D].北京:中国农业大学,2011.
Li Shiwu. Study on Engineering Technology Patterns of Rice-wheat Rotation Production Mechanization[D]. Beijing: China Agricultural University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李纪岳.玉米机械化生产工程集成方法与应用[D].北京:中国农业大学,2012.
Li Jiyue. Study on the Integration Method and Application for Engineering of Maize Mechanized Production[D]. Beijing: China Agricultural University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [4] 齐飞,周新群,鲍顺淑,等.设施园艺工程集成模式的表达方式和评价方法[J].农业工程学报,2013,29(8):195-202.

- Qi Fei, Zhou Xinqun, Bao Shunshu, et al. Expression and evaluation method of integrated modes for protected horticulture engineering[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(8): 195—202. (in Chinese with English abstract)
- [5] 白人朴. 探索农业全程机械化生产模式的几点思考[J]. 农业技术与装备, 2012(12B): 44—46.
- [6] 农业部农业机械化管理司. 中国农业机械化科技发展报告 1949-2009[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010.
- [7] 齐飞, 周新群, 丁小明, 等. 设施园艺工程集成模式构建方法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 1—7.
Qi Fei, Zhou Xinqun, Ding Xiaoming, et al. Constructing methods of engineering integrative mode for protected horticulture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(8): 1—7. (in Chinese with English abstract)
- [8] 殷瑞钰, 汪应洛, 李伯聪. 工程哲学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [9] 杨博文. 社会系统工程概论[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
- [10] 农业部农业机械化管理司. 国外农机社会化服务[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006.
- [11] 熊波. 美国农业机械化发展概况[J]. 当代农机, 2010(6): 52—54.
- [12] 刘恒新, 范伯仁, 陈立丹, 等. 日韩水稻生产机械化发展情况考察报告[J]. 北方水稻, 2007(2): 73—77.
- [13] Singh G. Estimation of a mechanisation index and its impact on production and economic factors: A case study in India[J]. Biosystems Engineering, 2006, 93(1): 99—106.
- [14] 黄光群, 韩鲁佳, 刘贤, 等. 农业机械化工程集成技术评价指标体系的建立[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 74—79.
Huang Guangqun, Han Lujia, Liu Xian, et al. Establish of evaluation system for integrated agricultural mechanization engineering technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(16): 74—79. (in Chinese with English abstract)
- [15] Nix J. Farm Management Pocketbook[M]. London: Andersons Center, 2007.
- [16] 杨敏丽. 农业机械化技术经济学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2011.
- [17] 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 regional unbalance of agricultural mechanization development in China[J]. Transactions of the CSAM, 2005, 36(9): 60—63. (in Chinese with English abstract)
- [18] 杨敏丽, 白人朴. 我国农业机械化发展的阶段性研究[J]. 农业机械学报, 2005, 36(12): 167—170.
Yang Minli, Bai Renpu. Study on stages of agricultural mechanization development in China[J]. Transactions of the CSAM, 2005, 36(12): 167—170. (in Chinese with English abstract)
- [19] 骆健民, 郑文钟, 何勇. 浙江省农业机械化发展水平评价[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2007, 33(2): 217—221.
- Luo Jianmin, Zheng Wenzhong, He Yong. Study on assessment method of development level of mechanization farming and application in Zhejiang[J]. Journal of Zhejiang University: Agriculture and Life Sciences, 2007, 33(2): 217—221. (in Chinese with English abstract)
- [20] 匡远配, 罗荷花. “两型农业”综合评价指标体系构建及实证分析[J]. 农业技术经济, 2010(7): 69—77.
- [21] 赵慧峰, 李彤, 赵邦宏, 等. 农业产业化经营评价指标体系及其实例分析[J]. 农业技术经济, 2000(1): 1—5.
- [22] 黄祖辉, 林本喜. 基于资源利用效率的现代农业评价体系研究: 兼论浙江高效生态现代农业评价指标构建[J]. 农业经济问题, 2009(11): 20—27.
Huang Zuhui, Lin Benxi. Study on the modern agriculture evaluation based on the efficiency of resource utilization: Also on the construction of evaluation index of Zhejiang high-efficiency ecological modern agriculture[J]. Issues in Agricultural Economy, 2009(11): 20—27. (in Chinese with English abstract)
- [23] 郭玉明, 冯飞燕, 韩永英, 等. 农业机械化项目绩效评价指标体系与模糊评价[J]. 农业机械学报, 2007, 38(3): 82—85.
Guo Yuming, Feng Feiyan, Han Yongying, et al. Performance evaluation system and fuzzy evaluation for agricultural mechanization project[J]. Transactions of the CSAM, 2007, 38(3): 82—85. (in Chinese with English abstract)
- [24] 王金武, 鞠金艳, 王金峰. 黑龙江省种植业机械化发展情况分析[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 168—172.
Wang Jinwu, Ju Jinyan, Wang Jinfeng. Development situation analysis of crop cultivation mechanization in Heilongjiang Province[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(12): 168—172. (in Chinese with English abstract)
- [25] 陆洲, 秦向阳, 李奇峰, 等. 作物生态适宜性量化评价方法及通用工具[J]. 农业工程学报, 2012, 28(20): 195—201.
Lu Zhou, Qin Xiangyang, Li Qifeng, et al. Quantitative evaluation method and universal tool for crop ecological suitability[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(20): 195—201. (in Chinese with English abstract)
- [26] 蒋和平, 黄德林, 郝利. 中国农业现代化发展水平的定量综合评价[J]. 农业经济问题, 2005(增刊): 52—60, 69.
Jiang Heping, Huang Delin, Hao Li. Econometrics evaluation of China agricultural modernization[J]. Issues in Agricultural Economy, 2005(Supp.): 52—60. (in Chinese with English abstract)
- [27] NY/T 1408.1—2007, 农业机械化水平评价第 1 部分: 种植业[S].
- [28] 杨世琦, 杨正礼, 高旺盛. 不同尺度下区域农业系统协调度的评价[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2008, 36(5): 64—72.
Yang Shiqi, Yang Zhengli, Gao Wangsheng. Appraising on harmony coefficient of regional agricultural system at different scales[J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Science Edition, 2008, 36(5): 64—72. (in Chinese with English abstract)
- [29] 齐城. 中国现代农业评价指标体系设置及应用研究[J]. 农业经济问题, 2009(3): 13—20.

- [30] 何瑞银. 农业机器系统优化模型与水稻种植区典型系统评价的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
He Ruiyin. Study on Optimization Model of Farm Machinery System and Evaluation of Typical Systems in Paddy Regions[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008. (in Chinese with English abstract)
- [31] 吕向东, 王济民, 吕新业. 我国农业综合生产能力的指标体系及其评价[J]. 农业经济问题, 2005(增刊): 27—33.
Lü Xiangdong, Wang Jimin, Lü Xinye. Appraisal for agricultural comprehensive production capability in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2005(Supp.): 27—33. (in Chinese with English abstract)
- [32] 殷秀萍, 王福林. 我国农业综合生产能力评价指标体系研究[J]. 农机化研究, 2013, 35(10): 52—54.
Yin Xiuping, Wang Fulin. Study on evaluation index system of agricultural comprehensive production in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(10): 52—54. (in Chinese with English abstract)
- [33] 农机具配套比[EB/OL]. http://www.hljagri.gov.cn/wnfw/nycd/200805/t20080505_186372.htm, 2008-05-05/2013-10-31.
- [34] 广西壮族自治区气象组, 农业气候区划协作组. 广西农业气候资源分析与利用[M]. 北京: 气象出版社, 1988.

Construction and evaluation of mechanized production engineering mode for major food crops

Huang Huang^{1,2}, Yang Minli^{1,2*}, Huang Guangqun¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China; 2. China Research Center for Agricultural Mechanization Development, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Mechanized production engineering mode for major food crops has the similar features as agricultural engineering mode. It is a comprehensive integration of technical factors and non-technical factors, which needs matching and synergy of each element to achieve goals effectively. Mechanized production for major food crops in China has stepped into a critical stage of full mechanization from seed treatment to grain drying, a variety of engineering modes have been formed in the long developing process. With the systems engineering theory, a six-dimensional analytical framework was established, of which the second dimension “mode construction” is the basis of other researches. The mode structure composes of subject (major planter, family farm, cooperative, leading enterprise and ordinary farmers), object (corn, wheat and rice), demand, objectives, technical route and agricultural machines, which include the full processes of tillage, planting, weeding, fertilizing, plant protection, harvesting, straw treatment and grain drying. An evaluation index system was set up to measure the effect of the mode, and promote the mode to meet the modern agriculture’s requirement of high-yield, high-quality, high-efficiency, ecology and safety as well. Based on the principles of scientificity, practicability, guiding, comparability and feasibility, the index system consists of 10 evaluation indices and 4 analysis indices. The advancement, completeness, matching degrees and economic features are taken as the evaluation criteria while the ecological characteristics, integration, policy and organizational features are taken as the analytical indices. The indices are measured from the aspects of mechanized farming rate, operational efficiency, fuel consumption, the implement, farm power, land size, purchasing power of farmers, effect on increasing yield and income, influence to ecological environment, integration of agricultural machinery and agronomy, support policy and organization development. Three rounds of expert anonymous scoring method were used to get index weight. Meanwhile, the combination methods of “modern agricultural development objectives and requirements + statistical data analysis + experience of developed countries and regions + field investigation + expert consultation” were used to get the standard value of each index. In order to test the scientific level of the index system, researchers collected data from different regions in China. And four typical modes of paddy mechanized production in Guangxi, which are “engineering mode of paddy field key processes mechanized production by ordinary farmers”, “engineering mode of paddy field key processes mechanized production by small cooperatives”, “engineering mode of paddy field key processes mechanized production by medium cooperatives” and “engineering mode of paddy field key processes and post treatment mechanized production by large cooperatives”, were selected as the evaluation cases among the various modes. The evaluation results show that the “engineering mode of paddy field key processes and post treatment mechanized production by large cooperatives” has obvious advantages. But at present, the cooperatives set up by farmers can hardly form this mode naturally without government supports in policy, funding, machinery, knowledge and technology because of the deficiency of fund. So to some extent, some measures should be taken by government to guide the appropriate organizations’ development and formation of optimization mode, and furthermore to fully play the optimization mode’s demonstration and leading roles. The mode construction method and index system are practical and can be improved in practice.

Key words: grain, crops, mechanization, construction, mode, evaluation

(责任编辑: 张俊芳)