

# 西北地区马铃薯机械化生产技术与差异性研究

李涛<sup>1,2</sup> 杨敏丽<sup>1,2</sup> 张雄<sup>3</sup> 张恩贵<sup>3</sup> 程兴田<sup>3</sup> 汪孝林<sup>4</sup>

(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. 甘肃省农业机械应用研究所, 兰州 730046; 4. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

**摘要:** 中国马铃薯种植区域分布广泛,各产区自然资源条件、种植规模、产业化基础、产业比较优势等基本条件差异较大。为更加全面地研究西北地区马铃薯机械化生产现状,通过实地调研问卷,对典型马铃薯全程机械化生产技术进行归纳总结,其主要包括种薯处理和田间机械化作业两方面。田间机械化作业技术包括:翻耕/深松、整地、施肥、起垄、覆膜、种植、培土、除草、植保、杀秧、收获、地膜回收。同时,借鉴相关标准和技术规范,列举各机械化作业环节的评价指标,为系统地把握和评价该区域马铃薯机械化生产提供参考。此外,利用嵌套方差分析法和成对比较检验法,对2008—2018年西北马铃薯主产区机械化水平进行统计分析,研究结果表明:建立嵌套方差分析模型 $P < 0.001$ ,理论模型具有意义,各省(区)机械化水平差异显著。马铃薯机械化发展的差异不同,造成差异的本质原因也不同,各地应立足区情,按照全面规划、突出重点,采用适合本区域的全程机械化生产模式,按照梯次推进的原则,逐步缩小各省(区)机械化发展的差距。

**关键词:** 马铃薯; 生产技术; 差异性; 嵌套方差分析法; 成对比较检验法; 农业机械化

**中图分类号:** S23      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2020)S1-0307-07

## Potato Production Technology and Difference of Mechanization Level in Northwest China

LI Tao<sup>1,2</sup> YANG Minli<sup>1,2</sup> ZHANG Xiong<sup>3</sup> ZHANG Engui<sup>3</sup> CHENG Xingtian<sup>3</sup> WANG Xiaolin<sup>4</sup>

(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. Gansu Agricultural Machinery Application Research Institute, Lanzhou 730046, China

4. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The potato planting areas are widely distributed, and the basic conditions of natural resources, planting scale, industrialization basis and industrial comparative advantage are different. To study the present situation of potato mechanization production in Northwest China comprehensively, the typical whole mechanized production process of potato in those regions were summarized through the method of field investigation and questionnaire, which included seed potato treatment and field mechanization. The field mechanization operation technology consisted of ploughing or deep loosening, land preparation, fertilization, ridging, film mulching, planting, soil cultivation, weeding, plant protection, killing seedling, harvesting, and film recycling. At the same time, the evaluation indexes of each operation link were listed with reference to relevant standards or technical specifications. It could provide a reference for grasping and evaluating the potato mechanized production technology systematically. Besides, the differences between the mechanization levels of potatoes in Northwest China were studied by using nested ANOVA method and paired comparison test to analyze the mechanization levels in 2008—2018. The results showed that the overall nested ANOVA model ( $P < 0.001$ ) was significant, and the level of mechanization in four provinces (regions) was various. The essential reasons for the difference were diverse as well. Therefore, the research emphatically expounded that governments should select appropriate planting technology in combination with the actual conditions of local potato production, adopt the whole mechanization production mode and reduce the differences between provinces (regions) in the

收稿日期: 2020-08-04 修回日期: 2020-09-15

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0701101)和中央高校基本科研业务费专项资金项目(2662015QC017)

作者简介: 李涛(1985—),男,高级工程师,博士生,主要从事农村发展与农业机械化研究,E-mail: litao870550981997@163.com

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

promotion of potato technology in Northwest China.

**Key words:** potato; production technology; difference; nested ANOVA; paired comparison test; agricultural mechanization

## 0 引言

马铃薯作为玉米、小麦、稻谷之后的第四大主粮,对保障粮食安全和增加农民收入有着重要的作用<sup>[1-4]</sup>。马铃薯是西北地区的主要粮食作物之一,近年来种植面积、产量均呈持续增长之势,在全国占有重要地位。据相关统计数据显示,2018年西北(陕西、甘肃、青海、宁夏4省区,新疆种植面积较小,本研究除外,下同)马铃薯种植面积为107.86万 $\text{hm}^2$ ,约占全国总播种面积的22.7%,产量为357.3万t,约占全国总产量的19.9%。从该产区整体上来看,虽然马铃薯种植面积和产量位居全国主产区前列,但马铃薯生产机械化水平还较低。据《全国农业机械化统计年报》数据表明:2018年西北4省(区)马铃薯耕种收综合机械化率为53.07%(机耕率为82.59%,机播率为33.69%,机收率为33.10%)<sup>[5-6]</sup>,与本产区玉米和小麦的综合机械化率相比,还存在较大差距。

农业机械化既是一个技术发展过程,又是一个经济和社会发展过程,必然同时受到自然、社会规律的支配<sup>[7]</sup>。区域性差异的客观存在和有规律的分布,决定了各区域农业机械化发展面临的机遇和挑战各不相同。对各地农业机械化发展情况进行分析并开展差异性研究,有利于因地制宜地促进农业机械化的协调快速发展<sup>[8]</sup>。国内学者从我国农业机械化发展的不平衡性、发展阶段、影响因素、评价指标体系等方面进行了相关研究<sup>[9-13]</sup>,但对各区域机械化发展水平差异性研究鲜有报道。目前,在国家乡村振兴战略和供给侧结构性改革背景下,国家把解决好“三农”问题和粮食安全作为全党工作的重

中之重。而西北地区马铃薯生产成本高、资源占用多、生产效率低,自我供需保障能力弱,对外的竞争能力不足等问题亟需解决。本文利用统计分析方法,分析西北地区马铃薯机械化生产技术和发展的差异性,提出马铃薯机械化生产技术模式改进方案及科学合理的政策建议,以期促进西北地区马铃薯产业健康可持续发展。

## 1 西北地区马铃薯机械化生产现状分析

### 1.1 马铃薯机械化生产

西北马铃薯产区属温带大陆性气候,干旱少雨,气温年较差和日较差大,地貌以高原、丘陵盆地为主。马铃薯是耐低温的作物。其地下薯块形成和生长需要疏松透气、凉爽湿润的土壤环境。块茎生长的适宜温度为 $16\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,当地温高于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,块茎停止生长;茎叶生长的适宜温度为 $15\sim 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,超过 $39\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时停止生长。马铃薯机械化生产是指应用先进适用的马铃薯生产机械生产马铃薯,改善马铃薯生产经营条件,提高马铃薯的生产技术水平和经济效益,环境效益的过程<sup>[14-16]</sup>。通过实地调研问卷,对西北地区马铃薯机械化生产技术流程进行归纳总结,其主要包括种薯处理和田间机械化作业两方面。与田间机械化作业密切相关的主要包括4个阶段、12个作业环节。田间机械化作业环节的准备阶段包括:翻耕/深松环节、整地环节;根据不同的种植方式,马铃薯种植阶段可采用覆膜或不覆膜2种植模式;马铃薯管理阶段除灌溉环节外,还有培土、除草、植保和施肥等环节;收获环节可分为分段收获和联合收获2种方式,收获后处理主要是地膜回收环节。各环节具体的作业流程如图1所示。

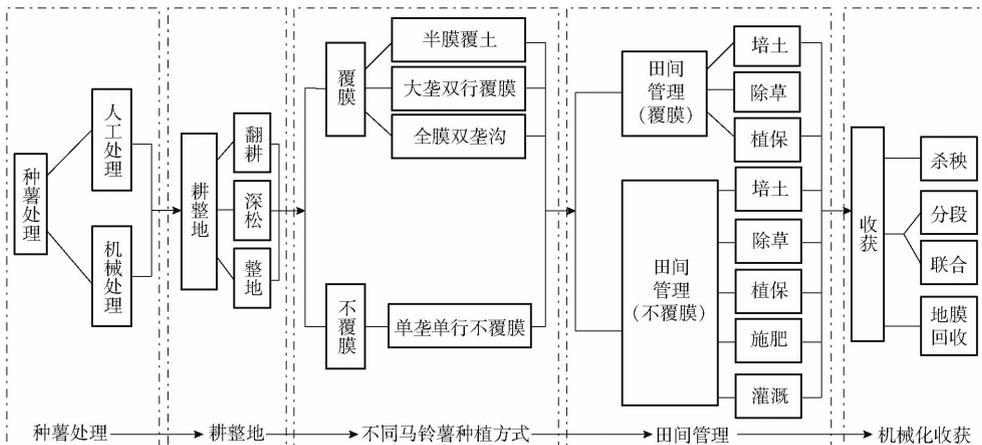


图1 西北地区马铃薯机械化生产技术作业流程图

Fig.1 Operation flow chart of potato mechanization in Northwest China

## 1.2 马铃薯机械化作业环节指标释义

本研究主要参考 GB/T 6242—2006《种植机械 马铃薯种植机 试验方法》、NY/T 2706—2015《马铃薯打秧机 质量评价技术规范》、NY/T 648—2015《马铃薯收获机质量评价技术规范》和 NY/T 1227—2006《残地膜回收机作业质量》<sup>[17-20]</sup> 等标准或技术规范。根据各指标定义,将指标体系模型涉及的指标划分为“望大”、“望小”、“望目”3 种类型,“望大”表示指标值越大越好;“望小”表示指标值越

小越好;“望目”表示指标越趋近于某一值时越好。具体作业效果指标的参数设定和释义<sup>[21-28]</sup> 如表 1、2 所示。这些指标为马铃薯田间试验和农艺技术要求的判定提供了理论依据。

## 2 试验研究方法

### 2.1 嵌套方差分析法和成对比较检验法

采用嵌套方差分析法和成对比较检验法相结合的方法,对西北 4 省(区) 2008—2018 年马铃薯机

表 1 12 个环节作业效果指标

Tab.1 Quality indicators of 12 parts

编号	作业环节	效果指标 1	效果指标 2	效果指标 3	效果指标 4
1	翻耕/深松	耕深/深松深度	重耕率/土壤扰动系数	漏耕率/土壤扰动系数	
2	整地	旋耕深度	碎土率	地表平整度	植被覆盖率
3	施肥	断条率	施肥均匀性	排肥一致性	施肥量相对误差
4	起垄	垄高合格率	垄顶宽合格率	垄间距合格率	
5	覆膜	采光面机械破损程度	采光面宽度合格率	膜面覆土厚度合格率	膜面覆土厚度合格率
6	种植	重种指数	漏种指数	种植深度合格率	
7	培土	培土厚度稳定性	培土高度合格率	培土幅度合格率	培土行距合格率
8	除草	耕深一致性变异系数	伤、埋苗率	碎土率	除草率
9	植保	喷施一致性	叶片损伤率	药液附着率	
10	杀秧	茎叶打碎长度合格率	漏打率	留茬长度	伤薯率
11	收获	损失率	伤薯率	破皮率	含杂率
12	地膜回收	表层拾净率	深层拾净率		

表 2 马铃薯机械化作业指标说明及参数设定

Tab.2 Description and parameters of evaluation index

指标名称	指标说明	取值范围	指标类型
耕深/cm	沟底至未耕地表面的垂直距离	20 ± 5	望目
翻耕 重耕率/%	测区内重复耕地的面积占测区内总耕地面积的百分比	≤15	望小
漏耕率/%	测区内未耕地的面积占测区内总耕地面积的百分比	≤15	望小
翻耕/深松 深松深度/cm	深松沟底至未耕地表面的垂直距离	≥30	望大
深松 土壤扰动系数/%	土壤工作部件对土层的切割、振动、撕裂、挤压、推移造成的土壤膨胀面积占耕前地表线至深松铲尖形成沟底线间整个工作幅宽横断面积的百分比	≥25	望大
土壤膨松度/%	土壤工作部件对地表以下土层的扰动面积占耕前地表线至深松铲尖形成沟底线间整个工作幅宽横断面积的百分比	10 ~ 40	望目
整地 旋耕深度/cm	已耕地表至旋刀运行最低点的垂直距离	13 ± 2	望目
碎土率/%	耕层中单位体积内直径小于 5 cm 的土块质量占碎土总质量百分比	70 ± 10	望目
地表平整/cm	已耕地表面最高点与最低点的高度差	≤5	望小
植被覆盖率/%	测区内覆盖植被的单位面积质量占耕前植被单位面积质量的百分比	≥55	望大
施肥 断条率/%	长度在 10 cm 以上的无肥料区段为断条,排肥器排肥断条总长度占测定总长度的百分比	≤2	望小
施肥 施肥均匀性/%	某行排肥器排出肥料在一定地段长度内分布的均匀程度,单位面积内施肥量的变异系数	≤40	望小
排肥一致性/%	不同行的排肥器在要求的工作状态下排肥量的稳定程度,各行排肥量一致性变异系数	≤13	望小
施肥量相对误差/%	实际施肥量与农艺要求施肥量的相对误差	≤10	望小
起垄 垄高合格率/%	以当地农艺要求的合格垄高数量(A ± 3 cm 为合格)占总垄高数量的百分比	≥75	望大
垄顶宽合格率/%	以当地农艺要求的合格垄顶数量(B ± 3 cm 为合格)占总垄顶数量的百分比	≥70	望大
垄间距合格率/%	以当地农艺要求的合格垄间距数量(C ± 3 cm 为合格)占总垄间距数量的百分比	≥75	望大

续表 2

指标名称	指标说明	取值范围	指标类型	
覆膜	采光面机械破损程度/( $\text{mm} \cdot \text{m}^{-2}$ )	在测区内,测量采光面上各机械破损部位的最大尺寸	$\leq 50$	望小
	采光面宽度合格率/%	在测区内,实际测定合格的采光面宽度个数占总测定的采光面宽度个数的百分比	$\geq 80$	望大
	膜边覆土厚度合格率/%	在测区内,实际测定合格的膜边覆土厚度( $\geq 35 \text{ mm}$ )个数占总测定的膜边覆土厚度个数的百分比	$\geq 95$	望大
	膜面覆土厚度合格率/%	在测区内,实际测定合格的膜面覆土厚度( $F \pm 0.5 \text{ cm}$ )个数占总测定的膜面覆土厚度个数的百分比	$\geq 90$	望大
种植	重种指数/%	种薯间距小于或等于 0.5 倍理论间距的重种薯数量占应种薯数量的百分比	$\leq 20$	望小
	漏种指数/%	种薯间距大于 1.5 倍理论间距的漏种薯数量占应种薯数量的百分比	$\leq 10$	望小
	种植深度合格率/%	测区内种植深度合格数量(以当地农业要求播种深度为 $S, S \pm 1.0 \text{ cm}$ 为合格播种深度)占测区内种植总数量的百分比	$\geq 80$	望大
培土	培土厚度稳定性/%	在培土机正常工作区域内,在要求的工作状态下培土厚度的稳定程度	$\geq 60$	望大
	培土高度合格率/%	测区内断面培土高度合格数(每个断面培土高度大于等于企业规定的最大培土高度的最小值为合格)占测定总数的百分比	$\geq 90$	望大
	培土幅度合格率/%	测区内培土幅度合格数(每个断面培土幅度大于等于企业规定的培土幅度为合格)占测定总数的百分比	$\geq 90$	望大
	培土行距合格率/%	以当地农艺要求的行距 $H \pm 3 \text{ cm}$ 为合格,合格行距占总测定行距的百分比	$\geq 78$	望大
除草	耕深一致性变异系数/%	不同行的中耕部件在要求的工作状态下耕深的稳定程度	$\leq 18.5$	望小
	伤、埋苗率	在测区内,伤(埋)苗植株数占总植株数的百分比	$\leq 5$	望小
	碎土率/%	在测区内,耕层内未碎土质量(大于等于 $25 \text{ mm}$ 的土块)质量与耕松土块总质量的百分比	$\geq 85$	望大
	除草率/%	在测区内,单位面积内除草数量占总草量的百分比	$\geq 85$ (旋转式)、 $\geq 55$ (锄铲式)	望大
植保	喷施一致性/%	在规定的额定压力下,各喷头喷量的变异系数	$-8 \sim 8$	望目
	叶片损伤率/%	植保作业过程中对植株枝叶碰损数目占整个作业区马铃薯叶总数的百分比	$\leq 5$	望小
	药液附着率/%	机械植保作业后药液在马铃薯叶表面(叶面、叶背)附着药液的均匀程度	$\geq 85$	望大
杀秧	茎叶打碎长度合格率/%	打碎长度小于 $200 \text{ mm}$ 的茎叶质量占作业区打碎茎叶质量的百分比	$\geq 80$	望大
	漏打率/%	测区内未打到茎叶数量占测区内茎叶总数量的百分比	$\leq 8$	望小
	留茬长度/%	每个测点内连续测量 10 个茎叶的长度的平均值	$\leq 150$	望小
	伤薯率/%	测区内伤薯质量占作业区马铃薯总质量的百分比	$\leq 1$	望小
收获	损失率/%	测区内损失薯(埋薯和漏挖薯)质量占作业区马铃薯总质量的百分比	$\leq 4$	望小
	伤薯率/%	测区内伤薯(明薯、埋薯和漏挖薯)质量占作业区马铃薯总质量的百分比	$\leq 1.5$ (分段)、 $\leq 2.0$ (联合)	望小
	破皮率/%	测区内破皮薯(明薯、埋薯和漏挖薯)质量占作业区马铃薯总质量的百分比	$\leq 2.0$ (分段)、 $\leq 3.0$ (联合)	望小
	含杂率/%	测区内杂质(明薯、埋薯和漏挖薯)质量占作业区马铃薯总质量的百分比	$\leq 4.0$ (联合)	望小
地膜收获	表层拾净率/%	地表及土层深度 $0 \sim 10 \text{ mm}$ 内残地膜的拾净率	$\geq 75$	望大
	深层拾净率/%	土层深度 $100 \sim 150 \text{ mm}$ 内残地膜的拾净率	$\geq 65$	望大

械化水平差异性进行分析研究:即第 1 阶段采用嵌套方差分析法求出各因素的显著性和模型有效性;第 2 阶段采用成对比较检验法,以第 1 阶段的主体间效应检验为基础,分析各省(区)机械化水平差异性。嵌套方差设计可分为二因素(二级)、三因素(三级)等设计。一个因素的不同水平分别与另一个因素的不同水平发生组合,或者说  $B$  因素的不同水平是嵌套在  $A$  因素内的。根据试验的目的,把分

析因素分为主次,最主要的因素称为一级因素,在一级因素各水平范围内,再分出次要因素的各个水平。因次级因素同一水平在一级因素的不同水平中有不同的效应,因此,必须把一级因素不同水平中的次级因素同一水平看作是不同的水平,这样一级因素不同水平下,次级因素的水平数可以相等,也可以不相等。将全部  $k$  个因素按主次排列,再将总离差平方和及自由度进行分解。其侧重于主要因素,并且第  $i$

级因素的显著性分别用第  $i$  级与第  $i+1$  级因素的均方为分子和分母来构建  $F$  统计量,并以  $F$  检验为其理论根据。成对比较检验是统计学分析中常用的比较分析方法,常用于对两个相关样本的比较分析,有符号检验和威尔科克森带符号的等级检验两种方法<sup>[29]</sup>。

## 2.2 试验数据来源

本文采用三因素嵌套方差分析设计原理,利用 2008—2018 年西北马铃薯各省(区)的《全国农业机械化统计年报》面板数据,各试验因素机械化水平数据如表 3 所示。整体上看,4 省(区)的机耕率明显高于机播率和机收率,后两者是影响马铃薯耕

表 3 2008—2018 年西北 4 省(区)马铃薯机械化水平试验数据

Tab. 3 Experimental data of mechanized level of potato in Northwest China from 2008 to 2018

年份	陕西			甘肃			青海			宁夏		
	机耕率	机播率	机收率									
2008	25.81	2.63	6.89	16.28	5.81	4.81	14.09	3.38	2.30	35.68	15.77	13.56
2009	31.82	2.90	7.58	22.57	9.39	6.73	22.08	4.80	3.23	56.49	26.68	26.54
2010	28.03	3.76	10.16	27.33	13.35	9.47	22.65	9.95	5.65	63.83	32.47	30.01
2011	43.36	14.49	17.78	34.87	16.71	10.45	32.71	8.39	9.24	68.27	47.72	41.66
2012	51.29	14.47	17.91	38.25	14.76	10.13	39.12	11.89	9.69	85.05	55.35	52.22
2013	62.44	18.05	18.03	45.29	14.44	12.87	35.43	9.66	8.05	86.27	57.81	53.94
2014	72.67	17.8	24.68	50.92	20.6	15.57	37.33	10.66	9.44	99.62	70.45	67.07
2015	72.17	21.3	25.86	56.98	24.37	20.48	37.72	11.24	11.6	99.43	71.74	71.33
2016	78.58	20.08	27.18	60.81	26.56	23.35	52.90	14.00	18.31	93.81	73.74	72.2
2017	78.59	20.08	27.19	62.81	26.56	23.35	52.89	13.99	18.31	93.83	73.76	72.22
2018	83.89	26.74	30.48	80.98	30.63	27.96	67.40	21.69	23.37	99.51	78.84	74.93

种收综合机械化率提高的主要原因。

## 3 试验结果与分析

利用 SPSS 25.0 软件进行数据统计分析<sup>[30]</sup>,得出西北地区马铃薯机械化主体间效应的检验结果如表 4 所示。由表 4 可知,建立嵌套方差分析模型  $P$  值均小于 0.001,表明该模型极其显著,具有研究意义。省份、机械化水平和年份的  $P < 0.001$ ,表明不同省份之间、不同省份机械化水平和不同年份间均具有极显著差异。通过进一步成对比较检验分析(表 5),西北 4 省(区)马铃薯机械化水平均存在差异,陕西省和甘肃省机械化差异显著且较相近,陕西省与青海省、宁夏回族自治区三者之间机械化差异较显著,甘肃省、青海省和宁夏回族自治区 3 省

(区)机械化水平差异也较显著。经查阅文献和实地调研发现,宁夏回族自治区经过先进技术开发、引进试验和农机化示范园区示范推广,同时农机作业公司和马铃薯专业合作社的引领,当地马铃薯生产关键环节的种植与收获机械,科技含量、产品质量和数量有了显著的提高与发展,马铃薯生产全程机械化技术的普及应用水平也得到大幅提升,在西北产区机械化水平处于领先<sup>[31-32]</sup>。甘肃省和陕西省机械化水平相近,两省马铃薯生产机械保有量少,机械化作业程度较低,各区域马铃薯机械化生产技术水平发展不平衡。在平川地作业的大中型机具较成熟,适应性好,但丘陵山区、坡台地存在“有机没活干,有活没机干”现象,机具的作业性能不佳和可靠性较差,这些是两省马铃薯机械化作业水平低的主

表 4 2008—2018 年西北 4 省(区)马铃薯机械化水平主体间效应检验

Tab. 4 Intersubjective effect test of potato mechanization level in Northwest China from 2008 to 2018

变异来源	Ⅲ型平方和	自由度	均方	$F$	$P$
校正模型	85 401.306 <sup>a</sup>	21	4 066.729	64.761	<0.001
截距	159 265.533	1	159 265.533	2 536.225	<0.001
省份	35 765.547	3	11 921.849	189.850	<0.001
机械化水平(省份)	28 355.090	8	3 544.386	56.443	<0.001
年份	21 280.669	10	2 128.067	33.888	<0.001
误差	6 907.592	110	62.796		
总计	251 574.431	132			
校正的总计	92 308.898	131			

注:a 表示  $R^2 = 0.925$ (调整  $R^2 = 0.911$ )。

要原因<sup>[33-34]</sup>。青海省马铃薯主产区多集中在西宁市及东部农业区,马铃薯生产全程主要以人工为主,机械化水平低,生产成本高。目前,马铃薯生产机械化水平在西北产区处于最低<sup>[35]</sup>。该试验研究结果与西北各省(区)马铃薯生产现状基本吻合。因此,各省(区)应立足省情区情、查找差距、重点突出、全面规划,按照梯次推进原则,因地制宜地制定本地区的马铃薯机械化发展规划。

表5 2008—2018年西北4省(区)马铃薯机械化水平成对比较检验结果

Tab.5 Paired comparison test of potato mechanization level in Northwest China from 2008 to 2018

省份 (I)	省份 (J)	均值差值 (I-J)	标准 误差	P	差分的95%置信区间b	
					上限	下限
甘肃	青海	4.220**	1.951	0.033	0.354	8.086
	宁夏	10.652*	1.951	<0.001	6.786	14.519
	陕西	-32.034*	1.951	<0.001	-35.900	-28.167
陕西	甘肃	-4.220**	1.951	0.033	-8.086	-0.354
	宁夏	6.433*	1.951	0.001	2.567	10.299
	青海	-36.253*	1.951	<0.001	-40.119	-32.387
青海	甘肃	-10.652*	1.951	<0.001	-14.519	-6.786
	宁夏	-6.433*	1.951	0.001	-10.299	-2.567
	陕西	-42.686*	1.951	<0.001	-46.552	-38.820
宁夏	甘肃	32.034*	1.951	<0.001	28.167	35.900
	青海	36.253*	1.951	<0.001	32.387	40.119
	陕西	42.686*	1.951	<0.001	38.820	46.552

注:\*\*表示均值差值在0.01上显著;\*表示均值差值在0.05上较显著。

## 4 结论

(1) 通过实地调研,对西北地区马铃薯机械化

生产技术作业流程进行了归纳总结,指出该技术作业流程主要包括种薯处理和田间机械化作业两方面。提出了与田间机械化作业密切相关的4个阶段和12个作业环节。同时,给出每个作业环节的评价指标和参数设定值,为科学合理地把握和评价西北地区马铃薯机械化生产提供理论参考。

(2) 利用嵌套设计方差分析和成对比较检验法相结合方法,分析研究了2008—2018年西北4省(区)马铃薯机械化发展水平的差异性。研究结果表明:分析模型P值均小于0.001,总体研究模型显著且有意义,西北4省(区)机械化水平均存在差异。其中,陕西省和甘肃省差异显著,陕西省与青海省、宁夏回族自治区差异较显著,甘肃省、青海省和宁夏回族自治区3省差异亦较显著。此外,研究模型结果与当前西北4省(区)马铃薯机械化发展现状相吻合,这为4省(区)提高马铃薯机械化水平和缩小区域性差距,提供了政策制定依据。

(3) 通过对西北地区马铃薯机械化生产技术及差异性研究,明确了要提高马铃薯机械化水平和缩小区域间差异的关键:各地要坚持依靠科技创新驱动,引进吸收国内外先进技术,加大关键技术研发资金的投入,加强马铃薯生产机械化生产设备的研发力度。要结合当地马铃薯生产的实际条件,选择适宜的生产规模和技术,探索本地化的全程机械化生产模式。要提高马铃薯生产技术效率,降低生产成本,缩小各省(区)间机械化差距,促进生产方式转变,不断提高西北地区马铃薯综合生产能力、质量效益和市场竞争能力。

## 参 考 文 献

- [1] 李紫辉,温信宇,吕金庆,等. 马铃薯种植机械化关键技术与装备研究进展分析与展望[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(3):1-16.  
LI Zihui, WEN Xinyu, LÜ Jinqing, et al. Analysis and prospect of research progress on key technologies and equipments of mechanization of potato planting[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2019,50(3):1-16. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20190301&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20190301&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.03.001. (in Chinese)
- [2] LI Tao, YANG Minli. Potato mechanized production efficiency in China based on DEA-malmquist index method[J]. International Agricultural Engineering Journal,2019,28(4):172-181.
- [3] 白人朴. 关于我国马铃薯产业发展振兴的思考[J]. 农机科技推广,2017(3):4-6.  
BAI Renpu. Development and revitalization of potato industry in China[J]. Agriculture Machinery Technology Extension,2017(3):4-6. (in Chinese)
- [4] 中国马铃薯优势区域布局规划2008—2015年[J]. 农业工程技术·农产品工,2009(11):4-7.
- [5] 国家统计局. 中国农业统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2016.
- [6] 农业部农业机械化推广司. 全国农业机械化统计年报[M]. 北京:中国统计出版社,2016.
- [7] 朱瑞祥,邱立春. 农机经营管理学[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [8] 段亚莉,何万丽,黄耀明,等. 中国农业机械化发展区域差异性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然版),2011,39(6):210-216.  
DUAN Yali, HE Wanli, HUANG Yaoming, et al. Study on regional differences of agriculture mechanization development in China[J]. Journal of Northwest A&F University (Nat. Sci. Ed.),2011,39(6):210-216. (in Chinese)
- [9] 杨敏丽,白人朴. 我国农业机械化发展的区域不平衡性研究[J]. 农业工程学报,2000,16(4):69-72.  
YANG Minli, BAI Renpu. Regional comparison of the development of agricultural mechanization in China[J]. Transactions of

- the CSAE, 2000, 16(4): 69 - 72. (in Chinese)
- [10] 白人朴, 杨敏丽, 刘清水. 中国农业机械化所处发展阶段分析[J]. 中国农机化, 1999(2): 33 - 36.  
BAI Renpu, YANG Minli, LIU Qingshui. Development stage analysis of agricultural mechanization in China [J]. Chinese Agriculture Mechanization, 1999(2): 33 - 36. (in Chinese)
- [11] 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 the development stage of agriculture mechanization in China [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(12): 167 - 170. (in Chinese)
- [12] 张建乔, 程杰. 我国农业机械化的地区差异及影响因素分析[J]. 新疆农垦经济, 2009(5): 1 - 4.  
ZHANG Jianqiao, CHENG Jie. Regional differences and influencing factors of agriculture mechanization in China [J]. Xinjiang State Farms Economy, 2009(5): 1 - 4. (in Chinese)
- [13] 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)
- [14] 肖军委. 南方冬种马铃薯机械化收获技术推广模式研究[D]. 广州: 仲恺农业工程学院, 2016.  
XIAO Junwei. Study on the promotion mode of winter potato mechanization harvesting technology in southern China—a case study in Guangdong Province [D]. Guangzhou: Zhongkai College of Agricultural Engineering, 2016. (in Chinese)
- [15] 戴飞, 赵武云, 孙伟, 等. 马铃薯收获与气力辅助残膜回收联合作业机设计与试验[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(1): 64 - 72.  
DAI Fei, ZHAO Wuyun, SUN Wei, et al. Design and experiment of combined operation machine or potato harvesting and plastic film pneumatic auxiliary collecting [J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(1): 64 - 72. [http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view\\_abstract.aspx?file\\_no=20170109&flag=1](http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=20170109&flag=1). DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.01.009. (in Chinese)
- [16] HIROSHI M. Mechanization of potato production [J]. The Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers, 1997, 59(5): 127 - 128.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 种植机械 马铃薯种植机试验方法: GB/T 6242—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [18] 中华人民共和国农业部. 马铃薯打秧机质量评价技术规范: NY/T 2706—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [19] 中华人民共和国农业部. 马铃薯收获机质量评价技术规范: NY/T 648—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [20] 中华人民共和国农业部. 残地膜回收机作业质量: NY/T 1227—2006 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [21] 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 Zhian, 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)
- [22] ZHOU K, LECK J A, BOCHTIS D D, et al. Simulation model for the sequential in field machinery operations in a potato production system [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 116: 173 - 186.
- [23] MORTEZA Z, MAHMOUD O, ASADOLAH A. Integrated assessment and modeling of agricultural mechanization in potato production of Iran by artificial neural networks [J]. Agricultural Research, 2015, 4(3): 283 - 302.
- [24] ZANGENEH M, OMID M, AKRAM A. Assessment of agricultural mechanization status of potato production by means of artificial neural network model [J]. Australian Journal of Crop Science, 2010, 4(5): 372 - 377.
- [25] 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 on engineering mode for major food crops [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(23): 53 - 61. (in Chinese)
- [26] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册 [M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 175 - 299.
- [27] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 农业机械生产试验方法: GB/T 5667—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 农业机械试验条件测定方法的一般规定: GB/T 5262—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [29] 孙允午. 统计学数据的搜集、整理和分析 [M]. 上海: 上海财经大学出版社, 2013.
- [30] 武松, 潘发明. SPSS 统计分析大全 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2017.
- [31] 马廷新, 张广东. 宁夏马铃薯全程机械化生产的现状及发展对策 [J]. 当代农机, 2019(11): 56 - 58.  
MA Tingxin, ZHANG Guangdong. Present situation and development strategy of potato mechanization production in Ningxia [J]. Contemporary Farm Machinery, 2019(11): 56 - 58. (in Chinese)
- [32] 程岚, 陈莉君, 周建东. 宁夏马铃薯生产机械现状分析 [J]. 宁夏农林科技, 2010(2): 74, 59.  
CHEN Lan, CHEN Lijun, ZHOU Jiandong. Analysis of potato production machinery in Ningxia [J]. Ningxia Agricultural and Forestry Science and Technology, 2010(2): 74, 59. (in Chinese)
- [33] 王博炜, 康清华. 甘肃马铃薯机械化生产现状及发展对策 [J]. 当代农机, 2008(8): 9 - 10.  
WANG Bowei, KANG Qinghua. Present situation and development strategy of potato mechanization production in Gansu Province [J]. Contemporary Farm Machinery, 2008(8): 9 - 10. (in Chinese)
- [34] 袁冬贞, 魏延安. 积极发展陕西马铃薯产业 [J]. 西北园艺(蔬菜), 2005(4): 7 - 8.  
YUAN Dongzhen, WEI Yan'an. Develop potato industry actively in Shaanxi Province [J]. Northwest Horticulture (Vegetables), 2005(4): 7 - 8. (in Chinese)
- [35] 青海省农牧机械推广站. 青海马铃薯全程机械化技术指导意见 [J]. 农机科技推广, 2016(11): 55 - 56.  
Qinghai Province Agricultural and Animal Husbandry Machinery Promotion Station. Technical guidance of potato mechanization in Qinghai Province [J]. Agriculture Machinery Technology Extension, 2016(11): 55 - 56. (in Chinese)