

果园机械化经济效益分析 ——以江苏烨佳梨园为例

吕雍琪¹ 张宗毅¹ 吕晓兰^{2*}

(1. 农业农村部 南京农业机械化研究所, 南京 210014;

2. 江苏省农业科学院 农业设施与装备研究所, 南京 210014)

摘要 针对果园机械化经济评价问题,采用成本分析理论模型和敏感性分析法,对江苏烨佳梨园生产过程中疏花、采摘、施药、除草、剪枝、施肥深松和灌溉7个环节各作业方式的最低平均成本、机械装备替代传统作业的临界规模、机械装备相对传统作业方式的平均节省成本和临界规模的影响因素进行研究。结果表明:1)机械装备作业在一定规模后可以明显比传统方式作业节省成本,如手持式疏花器在种植面积大于 0.11 hm^2 时,是更具经济效益的疏花方式,移动式水肥一体化系统在种植面积大于 34.33 hm^2 时,是更具经济效益的灌溉方式;2)机械装备固定成本和传统作业方式零工成本是影响临界规模的重要因素,固定成本增加20%临界规模将增大约20%,零工成本增加20%临界规模将减小15%以上;3)案例中,梨园在机械装备平均成本最低的种植面积下,使用机械装备替代传统方式作业,全作业环节可节约成本 $11\,536.87\text{ 元/hm}^2$ 。机械化装备需要果园规模大于临界规模才具有经济效益,随着固定成本降低,零工工资上升,机械装备作业替代传统方式作业临界规模变小,果园机械装备经济适用范围增大。

关键词 果园机械化; 成本分析; 敏感性分析; 临界规模

中图分类号 F323.3

文章编号 1007-4333(2021)11-0222-10

文献标志码 A

Analysis of economic benefit of orchard mechanization: Taking Yejia pear orchard in Jiangsu as an example

LV Yongqi¹, ZHANG Zongyi¹, LV Xiaolan^{2*}

(1. Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agricultural and Rural Affairs, Nanjing 210014, China;

2. Institute of Agricultural Facilities and Equipment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract By combing the theory of cost analysis model with sensitivity analysis method, the lowest average cost calculation, machinery operation of critical size, relative to traditional practices, on average, cost savings and the influence factors of critical mass, seven aspects of orchard production process, e. g. flower thinning, picking, plant protection, weeding, pruning, fertilization & deep digging and irrigation machinery economic benefit, in Yejia pear orchard in Jiangsu were investigated for the economic evaluation of orchard mechanization. The results showed that: 1) The mechanical equipment operation after a certain size can obviously save more than the traditional way. The handheld thin flower implement in the planting area of more than 0.11 hm^2 became the most economical mode of operation. The irrigation link planting area of more than 34.33 hm^2 was the most economical way of operation system; 2) The fixed cost of machinery and the odd jobs cost were the important factors affecting the critical scale. If the fixed cost increased by 20%, the critical scale would increase by about 20%. And when the odd jobs cost increased by

收稿日期: 2021-03-30

基金项目: 江苏省农业科技自主创新资金项目(CX(18)1007);国家自然科学基金项目(71973074);中国农业科学院基本科研业务费项目(SR202109-01)

第一作者: 吕雍琪, 硕士研究生, E-mail: yongkilyu@163.com

通讯作者: 吕晓兰, 研究员, 主要从事农业机械装备研究, E-mail: lxlanny@126.com

20%，the critical scale would decrease by more than 15%；3) The cost per hm^2 of pear orchard in the study was saved by 11 536.87 yuan. With the decrease of fixed cost and the increase of labor wage, the critical scale of mechanical equipment operation to replace the traditional way of operation became smaller, and the scope of economic application of mechanical equipment in orchard became larger.

Keywords orchard mechanization; cost analysis; sensitivity analysis; critical mass

我国是世界第一大水果生产国，目前果园作业仍以人工作业为主，机械化水平较低，水果优势产区与非优势产区的综合机械化水平分别不到 20% 和 10%。机械化水平低导致水果生产成本低、效率低^[1]。水果生产依赖大量人力，人工成本占总成本比重非常高，如 2018 年全国苹果生产过程中人工成本占总成本的 66.95%^[2]。随着城镇化进程推进、青壮年劳动力向城市转移以及农业劳动力老龄化，农业劳动力成本不断上升，若果园机械化水平不尽快提高，未来果园生产中人力成本占比会进一步增大，会严重损害我国农产品的质量效益和国际国内竞争力。

将先进适用的现代化农业装备用于果园生产管理过程中，可以大量减少人工使用，减轻工人劳动强度、提高生产效率、降低生产成本、提高经济效益、增加农民收入并提升水果产量与品质^[3]。目前林果生产过程中，中耕松土、植保、除草、施肥、灌溉等环节机械化技术与装备十分成熟，疏花、疏果、套袋、采摘、剪枝等环节还需要大量人工参与，缺少适用机械^[4-5]。但目前全国林果业机械化水平整体十分低下，2018 年全国林果中耕、施肥、植保、修剪等 4 个主要环节中，即使是机械化技术十分成熟的中耕、施肥、植保三个环节，机械化水平也仅分别为 32.04%、20.30% 和 48.01%^①。

对于机械化技术已经成熟的环节，林果机械化水平仍然较低，其原因除了地形地貌不适合农机作业外，一个更重要的原因是经济因素。农业机械通常需要高额投资，使用周期较长。不同型号、功能的农业机械能带来的成本、收益不同，经济性是农机购买使用的重要考量^[6]，对于果园来说，并非所有规模的果园在所有作业环节都适宜采用相应农机装备作业，果园经营者应当知道当前规模下，用何种作业方式进行作业最经济，因此需要对各环节农机装备进行经济效益评估。对投资项目进行经济性评价时，通常使用成本收益分析等方式评估该项目是否值得

投资，农机装备经济效益评估可采用相同方法。Sarker 等^[7]构建成本函数，绘制各农业机械装备作业规模与成本关系图，分析每种机械的适用规模，并表明在孟加拉国，即使是作业面积很小的农场，农业机械作业成本也低于人工作业成本。韦钢等^[8]认为在进行经济效益评价时，为了使评价结论更为可靠和准确，最好使用多种方法同时评价，避免单一方法使评价过于片面。由于经济评价方法指导决策涉及到一定程度的预测，决策往往是根据过去经验做出的，无论是理性还是直觉，都有一定程度的不确定性^[9]，敏感性分析是用于估计相关因素发生不利变化对项目评价结果影响程度的方法^[10]。张宗毅等^[11]构建人工作业、购买农机、购买服务 3 种不同决策的成本模型，分析不同决策临界条件，发现由于经营规模不同，从经济效益角度出发面临的最终决策有所差异。已有研究较少研究果园农机装备经济效益与适用规模。

本研究拟采用成本函数分析与实证、敏感性分析等方法，以江苏烨佳梨园为例，分析该梨园使用主要农机装备在不同规模范围内的平均成本、机械替代人工可节约成本、临界使用规模以及临界规模影响因素，以期为果园经营者选择作业方法提供经济学上的解决方案。

1 材料与方法

1.1 成本分析理论模型

成本效益分析是通过比较项目成本和效益来评估项目价值的一种方法。假设在相同产出(收入)情况下，对比不同配套技术投入(成本)情况，以衡量使用机械代替人力作业是否具有成本优势，从经济学角度评估机械代替人力作业的优劣，成本更低的作业方式在经济上更具有优势，所以首先要估算各作业方式的成本。

按照成本是否随着作业面积的变化而变化，成本可简单分类为可变成本和固定成本，即总成本等

① 数据来源：农业部农业机械化管理司编，全国农业机械化统计年报，2018

于可变成本与固定成本之和。就果园作业各环节来说,设施装备投入在一定作业规模范围内属于固定成本,而人工、燃料、电、水、肥等投入属于随着作业面积而变化的可变成本。

果园作业中,单一作业环节的总成本(C_T)为:

$$C_T(S) = C_f + nSC_v \quad (1)$$

式中: C_f 为该作业环节固定成本,元/年; C_v 为该作业环节可变成本,元/($\text{hm}^2 \cdot \text{次}$),为简化计算,这里假定机械装备作业与传统人工作业方式相比不会影响水、肥、药的投入量,仅影响人力投入(包括零工投入和机手投入)和机械投入产生的能源费用与设备费用,其中人力投入、能源投入为重要的可变成本; n 为作业次数,次/年; S 为果园种植面积, hm^2 。固定成本(C_f)为:

$$C_f = \frac{(E+R)N}{T} \quad (2)$$

式中: E 为设备购买价格,元/台; R 为使用寿命内全部维修成本,元/台; T 为机械使用寿命,年; N 为1个果园需要的农机量,台。

由于每年作业时间窗口是有限的,机械作业效率是有限的,所以需要考虑每台机械每年最大作业面积,若作业面积超出每年最大作业面积则需要购买新机器,则对于一个面积固定的果园,需要的农机量(N)为:

$$N = \left\lfloor \frac{S}{ft} \right\rfloor \quad (3)$$

式中: f 为工作效率, $\text{hm}^2/(\text{台} \cdot \text{d})$; t 为作业时间窗口,d。

每1单位面积果园的平均成本(C_A)为:

$$C_A(S) = \frac{C_T(S)}{S} \quad (4)$$

使用传统技术作业与使用新机械装备作业的临界作业规模,为2项技术或装备平均成本相等时的种植面积,因此按照式(4)分别列出两项技术或装备的平均成本等式然后让其相等,即可求出两项技术或装备的临界种植面积 S^* :

$$S^* = \frac{C_{f,i} - C_{f,j}}{n(C_{v,j} - C_{v,i})} \quad (5)$$

式中: S^* 为2项技术或装备的临界种植面积, $\text{hm}^2/年$; $C_{f,i}$ 和 $C_{f,j}$ 为*i*和*j*这2种技术或装备的固定成本,元/年; $C_{v,i}$ 与 $C_{v,j}$ 为*i*;*j*这2种技术或装备的可变成本,元/($\text{hm}^2 \cdot \text{次}$)。

显然,任何一项新机械装备,由于初始投入较高

使得其经济效益难以在小规模得以体现,只有经营规模大到一定程度后才具有经济价值,而这个临界经济规模与该设备或技术的固定资产投资和维护成本直接相关。

1.2 敏感性分析

敏感性分析是用于估计各种影响因素变动对项目评价结果影响程度的方法^[10]。通常可以改变一种或多种选定变量的数值,来计算其对项目指标的影响程度,项目指标变化百分率可反映出该变量对项目评价结果的敏感程度。如果变量少量变动使项目决策结果发生剧烈变动,此时说明项目可能面临较大风险,而这些变量则为关键变量。在本研究中,使用敏感性分析方法估计效率、拖拉机使用费用、固定成本、零工工资、机手工资和能源成本增加20%对机械装备替代传统作业方式临界种植面积的影响程度(q)。

$$q = S_{(+20\%)}^* / S^* \quad (6)$$

1.3 参数采集

为深入研究果园机械装备的经济效益及影响因素,本课题组于2020年10月在江苏省泰兴市新街镇对江苏烨佳梨园进行调研。江苏烨佳梨园为现代化梨园,有多年种植梨树经验,现种植9个品种梨树共80 hm^2 ,产量达30 t/hm^2 。课题组对梨园负责人、长期雇工、雇佣机手进行深入访谈,访谈过程主要由梨园负责人回答相关问题,梨园长期雇工与机手对负责人不清楚的问题进行更正与补充,并在访谈结束后将采集到的数据发给江苏省农业科学院农业设施与装备研究所专家和江苏大学农业机械专家确认。

根据调研,江苏烨佳梨园全年作业环节主要为疏花、疏果、套袋、采摘、施药、除草、剪枝、施肥深松和灌溉9个环节,疏果与套袋目前没有合适的机械作业工具,该梨园各环节使用的农业机械装备见表1。

本研究采集疏花、采摘、施药、除草、剪枝、施肥深松、灌溉7个环节传统技术和新机械装备参数,根据式(5)计算机械装备与传统作业的临界种植面积。主要采集参数有:购买价格、年度维护成本、使用年限、作业效率、拖拉机使用费用、零工工资、机手工资、能源费用、管道费用、作业次数、最佳作业天数等。该梨园种植9个品种梨树,每个品种花期、成熟期完全不重叠,以疏花为例,每个品种最佳作业期限为7天则该梨园该环节最佳作业时间63 d。设定机

械寿命周期为 6 年、管道寿命周期为 3 年、残值为零,按照直线折旧法折旧,每年维修费用为机械购买

价格的 2%。灌溉环节所需管道数量为种植面积。采集参数整理见表 2。

表 1 梨园各环节使用的农业机械装备

Table 1 The agricultural machinery used in each link of the pear orchard

环节 Link	农业机械装备 Agricultural machinery
疏花 Flower thinning	手持式疏花器;三节臂机载式疏花机。
疏果 Fruit thinning	无
套袋 Bagging	无
采摘 Picking	多功能果园作业平台。
施药 Pesticide application	背负式喷雾器;担架式喷雾机;果园风送喷雾机。
除草 Weeding	果园避障割草机。
剪枝 Pruning	果树气动修剪机。
施肥深松 Fertilization and deep loosening	机械组合(拖拉机、有机肥条施机和双链条深松机组合作业)。
灌溉 Irrigation	移动式水肥一体化系统和管道。

2 结果与分析

2.1 成本收益分析

为评估梨园各生产环节中,机械装备作业和传统方式作业经济优势,运用梨园各环节不同作业方式作业成本参数(表 2),根据成本分析理论模型,计算对比各环节每种作业方式的年均总固定成本、总可变成本、最低平均成本、机械装备作业替代传统方式作业临界规模和机械装备作业与传统方式作业相比平均节省成本,其中,最低平均成本为,作业面积等于单台机械在时间窗口内最大作业面积时的平均成本。计算结果见表 3。可以看出:

1)疏花环节中,手持式疏花器与机载式疏花机的经济效益均高于传统人工疏花的经济效益。手持

式疏花器平均成本最低仅 248.12 元/hm²,较人工疏花节省 3 351.88 元/hm²。当种植面积超过 0.11 hm²,手持式疏花器疏花的平均成本低于传统人工疏花,可以用手持式疏花器替代人工作业。机载式疏花机由于具有较高的可变成本与固定成本,与手持式疏花器相比并无优势,当种植面积超过 0.84 hm² 时,机载式疏花机疏花比人工疏花更节约成本。人工作业一般不疏花而在后期直接疏果,机械疏花作业可以大幅度减少后期人工疏果的时间。相比人工作业,手持疏花器和机载疏花机总用工量节约分别达到 37.26% 和 66.17%,作业效果无差异^[8],因此无论是手持式还是机载式疏花机都能节约人工而大幅度节本,规模越大经济效益越明显。

表2 梨园各环节不同作业方式作业成本参数

Table 2 Activity cost parameters of different operation modes in each link of pear orchard

环节 Link	作业方式 Operating type	设备费用/ (元/年) Equipment cost	维修费用/ (元/年) Maintenance cost	效率/ (hm ² /d) Efficiency	拖拉机使用 费用/(元/d) Cost of tractors	零工工资/ (元/d) Labor wages	机手工资/ (元/d) Machinery drivers' wages	能源费用/ (元/d) Energy cost	作业次 数/次 Operating times	最佳作业 天数/d Optimum operating days
疏花 Flower thinning	人工 手持式疏花器 机载式疏花机	333.33 2 500.00	40.00 300.00	0.02 0.27 1.60	60.00 60.00 100.00	60.00 60.00 200.00		0.24 96.00	1 1 1	63 63 63
采摘 Picking	人工 多功能果园作业平台	8 333.33	1 000.00	0.03 0.13	60.00 60.00	60.00 60.00		30.00	1 1	90 90
施药 Pesticide application	背负式喷雾器 担架式喷雾机 果园风送喷雾机	200.00 416.67 6 666.67	5.56 50.00 800.00	0.20 0.80 20.00	60.00 120.00 100.00	60.00 60.00 200.00		48.00 300.00	1 1 1	5 5 5
除草 Weeding	人工 果园避障割草机	5 833.33	700.00	0.07 6.00	60.00 100.00	60.00 200.00		270.00	3 3	30 30
剪枝 Pruning	普通剪刀 果树气动修剪机	8.33 133.33	1.00 16.00	0.03 0.07	60.00 60.00	60.00 60.00		2.00	1 1	30 30
施肥深松 Fertilization and deep loosening	人工 机械组合作业	11 666.67	1 400.00	0.01 5.33	60.00 100.00	60.00 200.00		200.00	1 1	40 40
灌溉 Irrigation	移动式水肥 一体化系统 管道	5 000.00	600.00	21.33	60.00	60.00		30.00	4	16

表 3 梨园各生产环节机械装备作业与传统作业经济性评价结果

Table 3 Economic evaluation results of mechanical equipment operation and traditional operation in each production link of pear orchard

环节 Link	作业方式 Operating type	固定成本/ (元/年) Fixed cost	可变成本/ (元/hm ²) Variable cost	最低平均成本/ (元/hm ²) Lowest average cost	临界规模/ hm ² Critical mass	平均节省成本/ (元/hm ²) Average cost savings
疏花 Flower thinning	人工		3 600.00	3 600.00		
	手持式疏花器	373.33	255.90	248.12	0.11	3 351.88
	机载式疏花机	2 800.00	247.50	275.28	0.84	3 324.72
采摘 Picking	人工		1 800.00	1 800.00		
	多功能果园作业平台	9 333.33	675.00	1 452.78	8.30	347.22
施药 Pesticide application	背负式喷雾器	38.89	300.00	338.89		
	担架式喷雾机	466.67	210.00	326.67	3.46	12.22
	果园风送喷雾机	7 466.67	30.00	104.67	24.05	234.22
除草 Weeding	人工		900.00	2 700.00		
	果园避障割草机	6 533.33	95.00	393.89	2.71	2 306.11
剪枝 Pruning	普通剪刀	9.33	1 800.00	1 809.33		
	果树气动修剪机	149.33	930.00	1 004.67	0.16	804.67
施肥深松 Fertilization and deep loosening	人工		4 500.00	4 500.00		
	机械组合作业	13 066.67	105.00	166.25	2.97	4 333.75
灌溉 Irrigation	人工		300.00	1 200.00		
	移动式水肥 一体化系统	5 600.00	4.22	1 040.98	34.33	159.02
	水肥一体 化系统 管道	1 020.00				

注：除草环节作业 3 次，灌溉环节作业 4 次，其余作业环节作业次数为 1 次。

Note: The weeding link is used for 3 times, the irrigation link is used for 4 times, and the other links are used for 1 time.

2) 采摘环节中, 当种植面积高于 8.30 hm²/年时, 多功能果园作业平台采摘比人工采摘具有更高的经济效益。多功能果园作业平台主要使用平台升降、机械行走代替人工用梯子爬树、人力转移果实, 提高了工作效率和安全性, 但采摘过程仍旧是人工作业, 效率仅提升 3 倍, 且作业平台固定成本较高, 所以多功能果园作业平台采摘替代传统人工采摘临界规模较高。若梨园仅种植 1 个品种梨树, 每年作业时间窗口为 10 天, 一台作业平台仅可作业 1.33 hm², 远低于替代人工的临界规模, 且造成机械闲置浪费。不同品种梨树交叉种植延长了采摘作业的最佳天

数, 以该梨园为例, 种植 9 个品种梨树, 每台作业平台可作业 12 hm²/年, 最高可节约 347.22 元/hm²。

3) 施药作业目前使用有 3 种作业机械装备, 一是背负式喷雾器, 二是担架式喷雾机, 三是果园风送式喷雾机。计算得到: 若不考虑时间窗口, 当种植面积高于 4.75 hm², 担架式喷雾机作业成本低于背负式喷雾器; 当种植面积分别高于 27.51 和 38.89 hm² 时, 果园风送式喷雾机作业成本依次低于背负式喷雾器和担架式喷雾机。若考虑时间窗口, 每年最优作业天数为 5 d, 期间内, 背负式喷雾器、担架式喷雾机和果园风送式喷雾机的最大作业面积分别为 1、4 和

100 hm²。计算可得:担架式喷雾机平均作业成本低于背负式喷雾器的最小规模为 3.46 hm²,当种植面积超过 4 hm²,需要再购买担架式喷雾机,平均成本高于背负式喷雾器(图 1),此时应当用背负式喷雾器补足,而不是购买新的担架式喷雾机。风送式喷雾机每年最大作业 100 hm²,且可变成成本远低于前 2 种作业方式,当规模大于 24.05 hm² 时,平均成本低于其他作业方式,即当种植面积小于 3.46 hm² 时选择背负式喷雾器作业,面积小于 24.05 hm² 时选择担架式喷雾机为主、背负式喷雾器补充进行施药作业,面积大于 24.05 hm² 时选择风送式喷雾机作业最具有经济效益。背负式喷雾器、担架式喷雾机和果园风送式喷雾机的最低平均成本分别为 338.89、326.67 和 104.67 元/hm²,风送式喷雾机比背负式喷雾器节约 234.22 元/hm²。

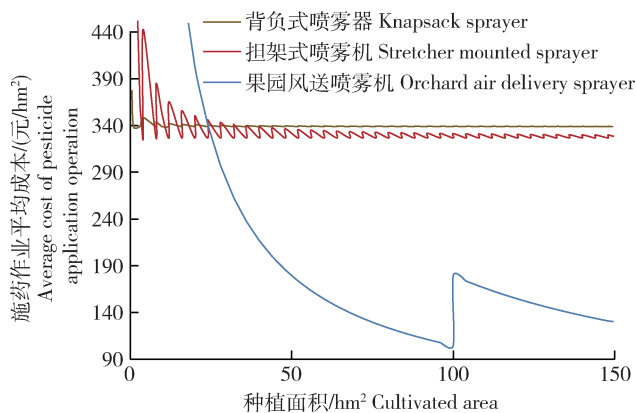


图 1 种植面积对施药作业平均成本的影响

Fig. 1 Effects of planting area on the average cost of pesticide application operations

4) 在除草环节,该梨园每年需要除草 3 次,当种植规模超过 8.12 hm² 时,避障割草机割草成本低于人工割草成本,避障割草机最低平均成本为 131.30 元/hm²,比人工割草节约 2 306.11 元/hm²。

5) 剪枝通常使用普通剪刀和电动剪刀,电动剪刀比普通剪刀更省力、效率更高。计算得:当种植面积大于 0.16 hm² 时,电动剪刀具有更低的成本,普通剪刀与电动剪刀的最低平均成本分别为 1 809.33 和 1 004.67 元/hm²,电动剪刀比普通剪刀节省约 804.67 元/hm²。

6) 该梨园施肥与深松工作同时进行,先使用有机肥大流量条施机实现物料的输送与排放,再使用双链条深松机实现土壤深松、土肥深层均匀混合。

对该环节进行经济效益评估,计算可得:当种植面积大于 2.97 hm² 时,使用机械组合成本低于人工,机械组合平均成本最低为 166.25 元/hm²,机械组合替代人工作业最多可节省 4 333.75 元/hm²。

7) 灌溉环节有人工灌溉和移动式水肥一体化系统灌溉两种方式。移动式水肥一体化系统每次灌溉 1.33 hm²,0.5 h 完成灌溉后,由人工转移,继续灌溉,每年需要灌溉 4 次。经计算,移动式水肥一体化系统管道费用较高,当种植面积超过 34.33 hm² 时,移动式水肥一体化系统的成本较低,最低平均成本 1 040.98 元/hm²,比人工灌溉节省 159.02 元/hm²。

2.2 敏感性分析

敏感性分析可以用来评估影响因素变动对项目评价指标影响程度,改变一种变量的数值,计算改变后的项目指标,项目指标变动百分率表示了最终评价指标对该因素的敏感程度。在本研究中,将机械装备的效率、拖拉机使用费用、固定成本、零工工资、机手工资和能源成本 6 个影响因素分别增加 20%,测算得到农业机械装备替代传统作业临界种植面积变动程度见表 4。可以看出:

1) 固定成本是决定机械装备替代传统作业是否具有经济效益的重要因素,当机械固定成本上升 20%,临界规模也增加 20% 左右,未来随着生产技术的熟练与进步,农机装备固定成本将下降,届时,临界规模也将下降相应比例。

2) 零工工资也是决定机械装备能否替代传统作业的重要因素,传统作业需要零工数量较多,零工工资提高增加了传统作业成本。虽然疏花、施药、剪枝等环节部分机械装备作业时也需要零工配合,但由于机械提高了作业效率,降低了零工工资占总成本比重,总体来说,零工工资与临界规模成反比,且影响程度较大,当零工工资上升 20%,临界规模减小 16%~60%。劳动日工价由 2013 年的 68 元增长至 2018 年的 84.89 元^[2]。未来随着农村人口老龄化程度增加,零工工资可能更高,且遇到农忙季节零工工资会有所提升,机械装备替代传统作业方式临界规模减小。

3) 作业效率和能源成本对临界规模的影响也不容忽视,对于担架式喷雾机,效率提高 20%,临界规模减少 21.74%,而能源成本提高 20%,临界规模增大 15.38%,未来随着技术的革新,作业效率会提高,机械装备使用临界规模减少,在提高机械装备效率同时,也要注意其能源成本是否增加。

表 4 机械装备影响因素增加 20% 对应临界种植面积的变动程度

Table 4 Change degree of critical planting area corresponding to 20% increase in the influencing factors of machine and equipment

作业机具 Operating equipment	效率 Efficiency	拖拉机使用费用 Cost of tractors	固定成本 Fixed cost	零工工资 Labor wages	机手工资 Farm machinery wages	能源成本 Energy cost
手持式疏花器 Hand-held flower thinner	-1.10	0.00	20.00	-16.67	0.00	0.01
机载式疏花机 Three arms tractor-mounted flower thinner	-0.92	0.37	20.00	-18.92	0.75	0.36
多功能果园作业平台 Multifunctional orchard operating platform	-6.25	0.00	20.00	-19.35	0.00	4.17
担架式喷雾机 Stretcher mounted sprayer	-21.74	0.00	21.82	-25.00	0.00	15.38
果园风送喷雾机 Orchard air delivery sprayer	-0.92	0.37	20.10	-19.40	0.75	1.12
果园避障割草机 Obstacle avoidance mower for orchard	-1.02	0.42	20.00	-19.63	0.84	1.13
果树气动修剪机 Fruit tree pneumatic pruner	-14.71	0.00	21.33	-17.14	0.00	0.69
机械组合作业 Combination machinery	-0.26	0.09	20.00	-17.26	0.17	0.17
水肥一体化系统 Intelligent water and fertilizer irrigation system	-1.14	0.00	20.00	-59.31	0.00	0.69

4) 配套拖拉机成本和机手工资对临界规模的影响较小。

5) 表 4 中未显示管道成本波动对水肥一体化系统临界规模的影响, 当管道成本增加 5% 时, 临界规模增加 45.48%, 当管道成本增加 20% 时, 将不存在临界规模, 无法在表中显示, 故在此说明。管道成本是水肥一体化是否具有经济效益的关键因素。未来随着技术的进步, 管道成本可能会进一步下降, 当管道成本降低 20%, 临界规模将减小 55.57%。

综上, 对临界规模有重大影响的因素为固定成本和零工工资, 机手工资和配套拖拉机对临界规模

影响较小。未来, 预期零工工资会增加, 使用机械装备替代人工可以有效控制成本, 为规避零工工资提高带来的风险, 可以在低于临界规模时使用机械装备替代传统作业方式。

3 讨论

运用成本收益模型和敏感性分析法研究可知, 在每年作业面积达到一定规模后, 所有机械装备都会比传统作业有更低的成本, 而固定成本与零工工资对这个规模的影响最大, 固定成本与临界规模同向变动, 零工成本与临界规模变动方向相反。

根据雷晓辉等^[12]的研究,三节臂式机载疏花机更适合大规模梨园作业,疏花器更适合中小规模梨园,与本研究中疏花器在任何规模下都具有更优经济效益的结论存在差异。分析其原因:虽然疏花机比疏花器更节约时间,即疏花机的效率更高,但疏花机固定成本更高,使用能源更多,而且需要使用拖拉机与机手,这些都带来了更高的成本,就导致疏花机经济效益不如疏花器。施药作业与灌溉作业由于初始投资较大,农机装备替代传统作业方式临界规模较大,也解释了施药与灌溉技术装备都已较为成熟,果园机械化程度仍旧较低的原因。果园机械具有专属性,很难像小麦、玉米等农业机械一样,通过给他人提供服务来获取收益,弥补成本,所以单个果园的规模对果园机械化程度有较大影响,果园面积与机械化程度的关系有待进一步研究。

本研究仅从经济效益方面来评估农业机械装备的优势,未考虑机械装备与传统作业方式在安全性、物料成本和作业效果等方面差异。例如:多功能果园作业平台比人工摘梨更为安全^[13];风送式喷雾机提高了农药利用率,减少了施药人员暴露,更能保障施药人员的健康^[14-15];机械除草效果较人工除草好,而且避免了过度使用除草剂使杂草产生“抗药性”^[16];电动剪刀比无动力源的普通剪刀更加省力,剪切面更容易愈合^[17];施肥机比人工施肥对树根的伤害更小,投肥效果更好,且降低了人工劳动强度^[18];智能灌溉系统灌溉要比人工灌溉效果更好^[19]。以上原因可能降低机械装备替代传统作业装备临界规模。在后续研究中可以加入更多成本影响因素,以更好地评价果园机械化装备的经济性。

4 结论

本研究运用成本分析理论模型,对江苏烨佳梨园梨树种植全环节农业机械装备经济效益进行了分析,运用敏感性分析法将影响机械装备替代传统作业方式临界规模的6个影响因素分别增加20%,测算每个影响因素对临界规模的影响程度,得到以下结论:

当种植面积大于一定规模时,使用机械化装备是具有经济效益的。对于固定成本较高的机械装备,临界规模在3 hm²以上,多功能果园作业平台、果园风送式喷雾机和水肥一体化系统临界规模更大,分别为8.30、24.05和34.33 hm²。机械化装备需要果园规模大于临界规模才具有经济效益,但现

阶段我国大部分果园生产规模较小,规模化与标准化程度偏低,且较多果园分布在丘陵地区,不适合大型机械作业,所以即使一些环节机械化技术已经成熟,机械化水平仍旧很低。

当种植面积大于临界规模,使用机械装备作业的经济效益是可观的。若梨园选择最具经济效益的机械装备作业,所有机械装备时间窗口内作业量饱满、无故障、作业效率最佳的状态下,全年每hm²可节省11 536.87元。这个值比实际节省的要偏小,主要是由于目前选择的部分机械如车载疏花机还处于研发阶段,成本未按批量制造时的成本来计算。随着未来相关机械的批量制造其价格进一步降低,或者选择市场上质量略差一些但成本低得多的机械,则节本效果要比这个数字乐观得多。

影响不同作业环节机械装备经济临界规模的主要因素为零工工资和设备固定成本,也即是零工工资越高机械替代人工节约成本优势越明显,而设备成本越低则被农户购买的临界经济规模越低越容易被推广。同时作业效率影响需要购买机械的数量,效率越高的机械需要购买机械花费的固定成本越低,因此今后机械开发应从设备价格、作业效率2方面入手,即努力降低设备造价同时想办法提高设备作业效率。

参考文献 References

- [1] 赵映,肖宏儒,梅松,宋志禹,丁文芹,金月,韩余,夏先飞,杨光.我国果园机械化生产现状与发展策略[J].中国农业大学学报,2017,22(6):116-127
Zhao Y, Xiao H R, Mei S, Song Z Y, Ding W Q, Jin Y, Han Y, Xia X F, Yang G. Current status and development strategies of orchard mechanization production in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(6): 116-127 (in Chinese)
- [2] 国家发展和改革委员会价格司.全国农产品成本收益资料汇编-2019[M].北京:中国统计出版社,2019
Price Department of Nation Development and Reform Commission. *Compilation of National Agricultural Product Cost Income Data: 2019*[M]. Beijing: China Statistics Press, 2019 (in Chinese)
- [3] 王攀,陈建,余满江,虞洪章,卢营蓬,易文裕.丘陵山区果园开沟施肥机的研制:基于农机与农艺融合[J].农机化研究,2019,41(6):109-115
Wang P, Chen J, Yu M J, Tuo H Z, Lu Y P, Yi W Y. Research on the ditching and fertilizing machine in orchard of the hilly and mountainous areas: based on the integration of

- agricultural machinery and agronomy [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2019, 41(6): 109-115 (in Chinese)
- [4] 王海波, 刘凤之, 王孝娣, 翟衡, 杜远鹏, 张敬国, 徐翠云, 史祥宾, 郝志强. 我国果园机械研发与应用概述[J]. *果树学报*, 2013, 30(1): 165-170
Wang H B, Liu F Z, Wang X D, Zhai H, Du Y P, Zhang J G, Xu C Y, Shi X B, Hao Z Q. Review on research, development and application of orchard machinery in China[J]. *Journal of Fruit Science*, 2013, 30(1): 165-170 (in Chinese)
- [5] 刘阳, 王虹虹, 刘英, 杨雨图, 王德镇. 林果机械采收与分选研究进展[J]. *世界林业研究*, 2020, 33(3): 20-25
Liu Y, Wang H H, Liu Y, Yang Y T, Wang D Z. Research progress of forest-fruit mechanized picking and sorting[J]. *World Forestry Research*, 2020, 33(3): 20-25 (in Chinese)
- [6] 张宗毅, 曹光乔, 易中懿. 不同类型稻麦联合收获机经营经济性评价[J]. *中国农机化*, 2010, 31(5): 6-9, 27
Zhang Z Y, Cao G Q, Yi Z Y. Economic evaluation of several brands combine of rice and wheat[J]. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2010, 31(5): 6-9, 27 (in Chinese)
- [7] Sarker T R, Alam M, Haque M A, Zaman K S. An analysis of break-even acreage of farm machineries for postharvest operations available in Bangladesh[EB/OL]. 2015
- [8] 韦钢, 吴伟力, 胡丹云, 刘佳. 电力投资项目经济效益评价方法的比较[J]. *上海电力学院学报*, 2007, 23(1): 83-87
Wei G, Wu W L, Hu D Y, Liu J. Comparative analysis of economy benefit evaluation methods for investment in power industry projects [J]. *Journal of Shanghai University of Electric Power*, 2007, 23(1): 83-87 (in Chinese)
- [9] Moselhi O, Deb B. Project selection considering risk [J]. *Construction Management and Economics*, 1993, 11 (1): 45-52
- [10] Jovanović P. Application of sensitivity analysis in investment project evaluation under uncertainty and risk[J]. *International Journal of Project Management*, 1999, 17(4): 217-222
- [11] 张宗毅, 杜志雄. 农业生产性服务决策的经济分析: 以农机作业服务为例[J]. *财贸经济*, 2018, 39(4): 146-160
Zhang Z Y, Du Z X. Economic analysis of farmers' decision-making on agricultural production services: taking agricultural machinery operation service as example[J]. *Finance & Trade Economics*, 2018, 39(4): 146-160 (in Chinese)
- [12] 雷晓晖, 吕晓兰, 张美娜, 李雪, 常有宏, Herbst A. 三节臂机载式疏花机的研制与试验[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(24): 31-38
Lei X H, Lv X L, Zhang M N, Li X, Chang Y H, Herbst A. Development and test of three arms tractor-mounted flower thinner [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(24): 31-38 (in Chinese)
- [13] 赵鹏, 刘俊峰, 卢敬昌. 调平式果园作业平台设计与仿真分析[J]. *河北农业大学学报*, 2018, 41(3): 100-106, 122
Zhao P, Liu J F, Lu J C. Design and simulation analysis of leveling orchard operation platform [J]. *Journal of Hebei Agricultural University*, 2018, 41 (3): 100-106, 122 (in Chinese)
- [14] 王士林, 范道全, 李雪, 周浩, 张美娜, 闫婷婷, 吕晓兰. 果园喷雾机具对施药人员体表污染的影响[J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36(12): 1612-1618
Wang S L, Fan D Q, Li X, Zhou H, Zhang M N, Yan T T, Lü X L. Effect of orchard sprayers on dermal exposure of operators[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36(12): 1612-1618 (in Chinese)
- [15] 邱威, 顾家冰, 丁为民, 吕晓兰, 孙诚达, 陆江. 果园风送式喷雾机防治效果试验[J]. *农业机械学报*, 2015, 46(1): 94-99
Qiu W, Gu J B, Ding W M, Lü X L, Sun C D, Lu J. Experiment on control effect of different pesticide concentration using air-assisted sprayer[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(1): 94-99 (in Chinese)
- [16] 杨硕, 李法德, 闫银发, 董岩, 郭家乐, 宋占华. 果园株间机械除草技术研究进展与分析[J]. *农机化研究*, 2020, 42(10): 1-8, 16
Yang S, Li F D, Yan Y F, Dong Y, Guo J L, Song Z H. Research progress and analysis of intra-row mechanical weeding technology for orchards[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2020, 42(10): 1-8, 16 (in Chinese)
- [17] 付威, 刘玉冬, 坎杂, 潘俊兵, 崔健, 张慧明. 果园修剪机械的发展现状与趋势[J]. *农机化研究*, 2017, 39(10): 7-11
Fu W, Liu Y D, Kan Z, Pan J B, Cui J, Zhang H M. The situation and expectation of fruit tree pruning machine[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(10): 7-11 (in Chinese)
- [18] 徐朋飞, 师广强, 张厚东, 兰海鹏, 张宏, 廖结安. 新疆果园施肥机械研究现状及建议[J]. *中国农机化学报*, 2019, 40(3): 33-37
Xu P F, Shi G Q, Zhang H D, Lan H P, Zhang H, Liao J A. Research status and suggestions on fertilizing machinery in Xinjiang orchard [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2019, 40(3): 33-37 (in Chinese)
- [19] 李德旺, 许春雨, 宋建成. 现代农业智能灌溉技术的研究现状与展望[J]. *江苏农业科学*, 2017, 45(17): 27-31
Li D W, Xu C Y, Song J C. Research status and prospect of modern agricultural intelligent irrigation technology [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2017, 45 (17): 27-31 (in Chinese)