

马铃薯收获环节损失率测算及比较分析

占鹏 郭焱 陈伟 朱俊峰*

(中国农业大学 经济管理学院,北京 100083)

摘要 为研究我国马铃薯收获损失大小及其影响因素,在广东、内蒙古和甘肃3省共11个地块进行田间小区试验,测试不同收获方式、地块和品种下的马铃薯收获损失率的变化情况。研究发现:相较于传统的人工收获方式,机械化收获尽管效率高,但由于机械适用性方面的限制,收获损失率也高;地形尤其是土壤条件对马铃薯机械收获损失有很大影响,在其他收获条件相同的情况下,低洼地、土壤有板结地块中的机械收获损失率明显高于平地;品种主要对马铃薯机械收获的损失有直接影响,块茎体形大、生长深、结薯不集中的马铃薯品种,机械收获的损失率相对更高。

关键词 马铃薯;收获损失;收获方式;品种;地形

中图分类号 S532

文章编号 1007-4333(2018)04-0191-09

文献标志码 A

Calculation and comparative analysis of the loss during potato harvesting

ZHAN Peng, GUO Yan, CHEN Wei, ZHU Junfeng*

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing100083, China)

Abstract In order to estimate the loss during potato harvesting and investigate its influential factors, 11 field experiments are designed based on harvesting method, topography and potato variety and conducted in Guangdong, Inner Mongolia and Gansu. The results show that: Compared with manual harvesting, mechanical harvesting is efficient, but the loss rate is higher due to the limitation of mechanical applicability; Topography, especially the soil condition has a great influence on the loss of the potato mechanical harvest. In conclusion, under the same conditions, the loss rate of mechanical harvest in the lowland is obviously higher than that of the flat. The variety of potato is the main factor affecting the loss of potato mechanical harvest. The loss rate of mechanical harvest of potato varieties with large size, deep and scatter growth is relatively higher.

Keywords potato; harvest loss; harvesting method; potato varieties; topography

马铃薯是我国重要的农作物,种植面积、鲜薯产量均居世界首位。2015年,农业部提出“马铃薯主食化”战略,使其进一步成为了我国的第四大主粮。不过,这同时也对马铃薯的产量和品质提出了更高要求。作为地下产物,而且是块茎繁殖,收获作业无疑是保证马铃薯产量和品质的关键环节^[1]。然而,长期以来,人们一直致力于从改善生产条件的角度增加马铃薯产量,而对减少马铃薯产后损失,尤其是收获环节损失的关注较少。考虑到在相对更加粗放

的收获及产后处理条件下,马铃薯收获质量对我国马铃薯产量和产值造成的影响可能更大。因此,本研究聚焦于马铃薯收获环节损失的测算和分析。

马铃薯收获过程主要由挖掘、分离、捡拾、清选、分级和装运等工序组成^[2]。近年来,随着马铃薯收获机的不断发展和中小型拖拉机的推广和使用,我国马铃薯收获的机械化率不断提高。根据《中国农业机械工业年鉴(2015)》数据,2014年,我国马铃薯机收面积已达到125万hm²,占马铃薯种植总面积

收稿日期:2017-07-13

基金项目:粮食公益性行业科研专项(201513004-2);国家自然科学基金项目(71273262)

第一作者:占鹏,博士研究生,E-mail:cauzhanpeng@126.com

通讯作者:朱俊峰,教授,主要从事农业政策研究,E-mail:zhujunf501@sina.com

的22.43%。与此同时,针对马铃薯机械收获质量的研究也逐渐多了起来。据估计,马铃薯总损伤量的70%来自于收获环节^[3]。较高的伤薯率已成为制约马铃薯收获机高效可靠工作的最大技术瓶颈之一^[4]。鉴于此,一些文献探讨了影响马铃薯收获块茎损伤的可能因素。魏忠彩等^[3]指出,由于目前马铃薯机械收获从挖掘、薯土分离、薯秧分离到集薯输送,各个环节的输送距离较长,薯块翻滚次数较多,造成伤薯率较高。王咏梅等^[5]也认为,机械损伤是马铃薯产后损失的主要原因,除了一些非机械性因素,马铃薯收获机械本身的挖掘部件、抖动运输部件、各级链交接处等都可能造成薯块的损伤。陆祥辉等^[6]进一步明确指出,土薯分离输送装置是马铃薯收获机设计的关键,将直接影响收获机的伤薯率和含杂率。

不同马铃薯品种、种植区域、种植模式及土壤类型对种植株距、行距及覆土厚度等参数有一定要求,从而影响马铃薯收获机的田间作业效果。因此,有文献强调了收获机械的适用性对马铃薯机械收获质量的重要性。李智勇等^[7]认为,我国马铃薯收获机具对不同气候、土壤、栽培模式等的适用性差,导致收获过程中马铃薯碰伤的概率高,伤薯严重。王洪娴等^[8]对不同类型马铃薯收获机作业性能的对比试验发现,收获机械的适用性对马铃薯收获质量起着至关重要的作用,应当尽快开发出适宜国内不同地区种植特点的马铃薯收获机。史明明等^[9]认为,当马铃薯收获机具与农艺结合不好时,比如种植行距和拖拉机轮距、收获机挖掘铲间距不适应,就会导致机具挤伤薯皮、漏薯、压碎和铲切薯块,直接影响收获质量。刘红波^[1]总结了影响马铃薯收获机伤薯率的主要因素,包括机械挖掘深度、马铃薯的成熟度、马铃薯品种、种植模式、土壤含水率等。王海军等^[10]通过田间试验,从损失率和伤薯率2个方面分析了以上诸因素对马铃薯收获机适用性的影响,发现只有挖掘深度、马铃薯品种、茎秧状况、土壤含水率和种植模式有显著影响,而马铃薯成熟度只对收获机的伤薯率有影响。杨然兵等^[11]发现对于土壤较为黏重和采用覆膜种植模式的区域,薯土分离效果、地膜分离能力对马铃薯收获机的田间作业效果也有较大影响。

以上研究主要从收获机械的适用性角度,对影响马铃薯收获质量的因素进行了总结分析,研究结论多基于经验判断或小地块试验,尚无文献对马铃薯

薯收获环节的损失进行完整科学的实地测量;在研究视角上,也主要集中于马铃薯收获机具和机械操作方面,缺乏对其他收获因素的考量;最后,在研究范围上,选点多基于一两个农场,鲜有同时对全国几个省的收获情况进行考察。有鉴于此,本研究采用田间小区试验对马铃薯在收获环节的总损失大小进行测算。在田间试验过程中,为尽量避免土质、土壤含水率等因素对试验的影响,选择条件比较均匀的试验田建立对比试验点。同时,考虑到我国地域广阔,东西南北的自然地理、气候条件差别显著,马铃薯的种植条件亦大不相同^[12],本研究从种植面积、总产量、单产水平、机播率、机收率等方面对全国主要马铃薯栽培区提前做分析比较,最终确定从东部的广东、中部的内蒙古和西部的甘肃随机挑选11个地块作为本次试验的试验用地,以期反映更具代表性区域马铃薯的实地收获损失状况,为马铃薯收获环节漏损的科学完整评估提供数据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验分3个地方进行。其中,第一个试验于2016年9月下旬在内蒙古乌兰察布市商都县七台镇的东坊子村和小海子镇的麻尼卜村进行。供试品种为冀张薯12号、夏波蒂和克新1号。试验设3个处理:一是收获品种。冀张薯12号试验进行2次,夏波蒂试验和克新1号试验各进行1次。二是收获方式,分人工收获和机械收获。其中,人工收获试验进行1次,收获小区面积为135 m²;机械收获试验进行3次,试验样机为呼和浩特市得利新农机制造有限责任公司生产的4ULDX-4.0型薯类收获机。三是收获地形,分平地 and 低洼地。其中,平地试验进行3次;低洼地试验进行1次。

第二个试验于2016年9月底在甘肃省张掖市民乐县六坝镇的四堡村进行。供试品种为克新1号和大西洋。试验同样设3个处理:一是收获品种。克新1号试验进行3次;大西洋试验进行1次。二是收获方式。人工收获试验进行1次,收获小区面积为152 m²;机械收获试验进行3次,试验样机为青岛洪珠农业机械有限公司、青岛农业大学联合研制的4U-90型薯类收获机。二是收获地块。平地试验与低洼地试验各进行2次。

第三个试验于2017年3月上旬在广东省惠州市惠东县铁涌镇的石桥村和博罗县园洲镇的田头村

进行。供试品种为荷兰引进品种——费乌瑞它下的2个品系:刘氏1号和高原荷15。试验设2个处理:一是收获品种。高原荷15试验进行2次;刘氏1号试验进行1次。二是收获方式。人工收获试验进行2次,收获小区面积分别为221.1和271.4 m²;机械收获试验进行1次,试验样机为甘肃试验中提到的4U-90型薯类收获机,收获小区面积为114.3 m²。

3个试验中,内蒙古、甘肃马铃薯种植均为单作,即一季仅种植马铃薯一种作物;广东为轮作,即两季水稻(或玉米)加一季马铃薯。3个试验地的马铃薯种植模式均为垄作,其中,内蒙古、甘肃和广东惠东县为单垄双行覆膜栽培;而广东博罗县为单垄双行不覆膜栽培。为确保试验结果能够尽可能地反映实际情况,试验一般在农户收获前1或2 d进行。试验前,所有参试地块均已清除了垄面薯秧及地膜。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 产量

理论产量等于实收产量与损失量之和。其中,在测算实收产量时,只对单薯重>100 g的商品薯称重,非商品薯(包括收获前已经腐烂或者带病斑的烂薯、病薯以及一些尚未完全发育成熟、重量<50 g的绿皮薯、小薯等薯块)不计入产量。具体计算公式为:

$$P_m = DP_m \times (1 - W_m) \quad (1)$$

式中: P 表示第 m 个参试地块的马铃薯实收产量,按鲜重计; DP 为出田马铃薯(商品薯)总重量; W 为杂质率,一般情况下,扣除收获薯块总重的1.5%作为杂质、含土量;若收获时薯块带土较多,则在收获后分5次取样,每次取样1 kg,冲洗前后分别称重,计算杂质率。

1.2.2 损失量采集和选点

本研究中的马铃薯收获损失是指,马铃薯在田间挖掘、分离、捡拾过程中发生的损失,包括漏挖、漏捡损失,埋薯损失和伤薯损失等。据此,试验需测定的马铃薯收获损失包含3部分:一是埋薯损失,包括机械(或人工)没有挖掘出来的薯块以及挖掘出来后被二次掩埋的薯块;二是漏薯损失,指挖掘出来但没有捡拾起来的薯块;三是伤薯损失,指收获过程中因机械或铁锹、锄头造成的破损薯块。上述3部分损失量之和为总损失薯量。与产量测算保持一致,遗弃的非商品薯在此不计入收获损失。

采集损失薯块的样本框大小根据各地地形略有不同。其中,在内蒙古的试验中,由于地形开阔,面

积较大,每个样本框面积取3 m²(2 m×1.5 m),相当于2个垄面加1个垄沟;在甘肃的试验中,由于多为条田地,地块狭小,每个样本框面积取1 m²(1 m×1 m),相当于1个垄面加1个垄沟;在广东的试验中,根据当地农户和农机站专家建议,将每个样本框面积扩大为10 m²(3.2 m×3.2 m),相当于3个垄面加2个垄沟。

样本点确定严格按照农业部农业机械化管理局制定的《马铃薯收获机质量评价技术规范(NY/T 648-2002)》^[13]进行,并遵循“大地块多选样”的原则适当调整。其中,在内蒙古的试验中,按照5点法取样。即首先在2条对角线交点上选取样本点1,然后在距4个顶点距离约为对角线长的1/4处依次选取剩下的4个样本点。如遇地块面积较大的,则分别在2条对角线上等距离增加1~2个样本点。选点示例如图1(a)所示。

在甘肃和广东的试验中,根据参试地块形状,采用了沿地块对角线方向等距抽样的方法确定样本点。其中在甘肃的试验中,抽样是逐(隔)垄进行的,即沿地块对角线每垄或每隔1垄选取1个样本点;而在广东的试验中,则选择了对角线上等距的5个点,即在对角线每1/6距离处选取1个样本点。选点示例如图1(b)所示。

当收获作业(含捡拾装袋)全部完成后,由试验人员对样本框内遗落的薯块和掩埋在土层下的薯块进行二次挖掘和捡拾,采集到样品被装入专用样本袋并拴上标签,然后由2名试验人员使用标准秤(最大称量1 kg)称出重量并登记称重结果,记为样本框区域损失量。在此基础上,对地块内所有样本框的损失量求算术平均值,记为样本框区域平均损失量。最后,将单位样本框区域平均损失量乘以地块总面积,得到参试地块的总损失量。计算公式为:

$$L_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (SL_i/s_i) \times (1 - W_i) \times S_m \quad (2)$$

式中: L 为第 m 个参试地块的马铃薯总损失量; SL 为第 i 个样本框区域的马铃薯(商品薯)损失量, s 为对应的样本框面积; W 为杂质率; S 为参试地块总面积,对于形状规则的地块,丈量其长、宽,按几何方法计算面积;对不规则的地块,则由2名试验人员同时手持GPS测亩仪进行测量,然后取算术平均值作为最终测定面积。

1.2.3 损失率

参试地块的马铃薯收获损失率按照下式计算:

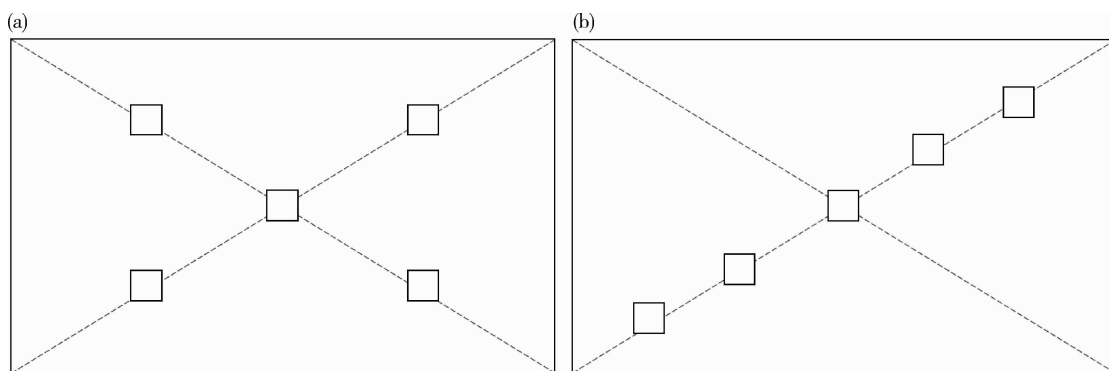


图1 五点法取样和沿对角线等距取样

Fig. 1 Five-spot-sampling method and diagonal distancesampling method

$$q_m = \frac{L_m}{P_m + L_m} \times 100\% \quad (3)$$

式中： q 表示第 m 个参试地块的马铃薯损失率。

1.3 数据处理

试验采用 Microsoft Excel 2010 软件和 STATA 13.0 统计分析软件进行数据处理与统计分析；采用双样本 T 检验（假设方差不相等）方法考察不同试验情形下马铃薯收获损失的差异。

2 结果与分析

2.1 马铃薯收获损失率测算

表 1 汇报了各参试地块在相应试验处理下的马铃薯收获损失率。可以看到，不同试验处理下的马铃薯收获损失率变异很大。首先，从收获地形来看，当控制住种植品种和收获机械后，测算发现无论是在内蒙古试验还是甘肃试验中，在低洼地条件下的马铃薯（机械）收获损失率都要明显高于平地条件下的损失率，前者平均要比后者高出 6.76% ~ 8.51%。其次，从种植品种来看，在相同收获方式、收获机械和地形条件下，测算发现夏波蒂的（机械）收获损失率要比冀张薯 12 号高出 0.3%，克新 1 号的（机械）收获损失率要比大西洋高出 4.94%，即便是同为费乌瑞它品系的高原荷 15 的（人工）收获损失率也要比刘氏 1 号高出 0.3% 左右。最后，从收获方式来看，当控制住种植品种和地块地形后，测算发现无论是在甘肃试验还是广东试验中，马铃薯机械收获的损失率都要高于人工收获。当然，上述差异是否具有显著统计学意义，还需要借助下面的双样本 T 检验分析来实现。

2.2 不同收获方式下的马铃薯损失比较

根据收获作业中的机械化程度，马铃薯收获方

式可分为人工收获、畜力收获和机械收获 3 种^[2]，其中机械收获又可细分为联合收获和分段收获^[14]。在本研究中，人工收获是指薯块的挖掘、分捡和装袋均由人工完成；机械收获则统一是指分段收获，其作业由 2 个阶段组成：第 1 阶段包括薯块的挖掘、土薯分离和集条或集堆铺放，第 2 阶段包括薯块的捡拾、分级和装袋。另外，按照工艺过程完成的程度，马铃薯收获机械大致可分为挖掘机和联合收获机 2 种。本研究中的马铃薯收获机械专指挖掘机，其一般通过 3 点后悬挂的方式与轮式拖拉机挂接，作业时，以后输出的方式将挖掘出的马铃薯成条状铺放于地面，而后由人工捡拾。这也是目前我国各地使用较广泛的一种马铃薯机械化收获方式^[15-16]。

一般认为，马铃薯人工收获既费工又费时，效率低且损失大；而机械收获不仅能节省劳动力，加快收获进度，而且损失率低、作业效果好^[17-18]。为比较相较于传统的人工收获方式，马铃薯机械收获的损失情况，我们控制了地形、种植品种因素，对 2 种收获方式下的各样本框内马铃薯损失量变动进行双样本 T 检验。结果报告在表 2。可以看到，在其他收获条件相同的情况下，马铃薯机械收获的损失要远远高于人工收获，并且这种差异在甘肃和广东的试验中都具有统计显著性（1% 和 5% 显著性水平上）。显然，这与人们的经验认识相悖。

之所以出现这种情况，本研究认为至少与以下几方面因素有关。首先，马铃薯机械化收获对地块的大小、地形、土壤条件、播种技术等都有一定的要求。如待机收地块的面积最好应大于 33.3 hm²；最好选用沙壤土质的地块；马铃薯的种植行距要与机组行走宽度和工作幅宽相匹配，薯块结薯深度要与

表 1 各参试地块试验处理及马铃薯收获损失率

Table 1 Harvest loss rate of potato in different kinds of test scheme

试验地点 Location	参试地块 Plot	种植品种 Variety	收获方式 Method	收获地形 Topography	单产/(kg/hm ²) Yield per unit	损失率/% Loss rate
内蒙古 Inner Mongolia	a	冀张薯 12 号 Jizhangshu 12	机械 Mechanical	平地 Flat	56 640	6.59
	b	夏波蒂 Shepody	机械 Mechanical	平地 Flat	56 250	6.89
	c	冀张薯 12 号 Jizhangshu 12	机械 Mechanical	低洼地 Lowland	45 000	15.09
	d	克新 1 号 Kexin 1	人工 Manual	平地 Flat	33 750	5.01
甘肃 Gansu	a	克新 1 号 Kexin 1	机械 Mechanical	平地 Flat	44 145	11.03
	b	克新 1 号 Kexin 1	人工 Manual	低洼地 Lowland	40 200	3.79
	c	克新 1 号 Kexin 1	机械 Mechanical	低洼地 Lowland	41 940	17.79
	d	大西洋 Atlantic	机械 Mechanical	平地 Flat	47 550	6.10
广东 Guangdong	a	刘氏 1 号 Liu 1	人工 Manual	—	39 120	0.79
	b	高原荷 15 Gaoyuanhe 15	人工 Manual	—	39 180	1.10
	c	高原荷 15 Gaoyuanhe 15	机械 Mechanical	—	37 905	2.19

表 2 不同收获方式下马铃薯收获损失量的双样本 *t* 检验

Table 2 Two-sample *t* test for harvest losses of potato with different harvesting methods

试验地点 Location	试验处理 Treatment	样本数 Obs	均值/(g/m ²) Mean	均值差/(g/m ²) Difference	<i>t</i> 统计量 <i>t</i> -statistic
甘肃 Gansu	机械 Mechanical	8	907.58	749.14	2.547 3*** [0.004]
	人工 Manual	6	158.43		
广东 Guangdong	机械 Mechanical	3	85.04	41.43	2.104 2** [0.013]
	人工 Manual	3	43.61		

注：方括号内数值为相应检验统计量的概率 *P* 值。显著性检验结果利用自助法(bootstrap)得到，重复抽样次数为 1 000 次。***、** 和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 显著性水平通过检验。下表同。

Note: Number in square brackets is corresponding *p*-value of test statistics. The results of significance test were calculated by bootstrap, the replication is 1 000. ***, ** and * represent the significance at level of 1%, 5% and 10% respectively. The same bellow.

机组挖掘深度相一致;作业时最好选用与播种机组相匹配的收获机等^[19-21]。然而,受马铃薯机播技术发展滞后影响,试验地区马铃薯种植目前仍然主要采用犁翻人工点播的作业方式,既保证不了行距、株距,也很难控制播深,容易出现行距、株距不统一,播种深度不一致,播种不均、缺苗断垄的现象。而现有的马铃薯收获机械一般只适用于单一的环境条件下工作,还难以适应不同种植农艺下的收获要求。作业机具的工作幅宽、挖掘深度与马铃薯的垄距、播深之间差距较大,造成收获时漏挖、伤薯、二次掩埋现象严重,收获损失率也就相对较高。其次,目前国内使用的马铃薯收获机械大都只具有挖掘功能,不仅分离、清选和输送功能较差,而且挖掘出来的薯块还需要人工捡拾和分级,事实上的手工工作量仍然相当大^[22]。劳动力在长时间、无间歇劳作的情况下,极易发生薯块的漏捡、漏拾。这无疑也会增加马铃薯机械收获的损失。最后,马铃薯机械收获质量还受挖掘机作业速度影响。在收获时,如果机器行走过快,则容易造成挖掘深度不够和漏挖;但是,如果行走过慢、挖掘过深,则又容易导致已经挖掘出的薯块被土壤二次掩埋以及壅土现象的发生。在试验中也观察到,机组作业速度是否匹配,直接决定了马铃薯机械收获的总成效。而这往往又与机手的操作技术及其对机器的熟练程度、地形、土质、土壤湿度等许多可控、不可控因素相关联。

与机械收获相反,人工收获虽然劳动强度大,但灵活性较高,受地形、土壤条件、马铃薯种植株距、行距影响较小,而且还可以一边挖一边捡,不容易漏捡和发生二次掩埋。因此,收获损失也相对较低。

2.3 不同地形下的马铃薯收获损失比较

影响马铃薯(机械)收获损失的另一个因素是地

形,如地块是否平整,是否易于机组行走,是否存在土壤板结情况等。据农户自述,当地块高低不平时,一方面在浇灌时容易发生大水漫垄现象,造成土壤发硬板结,用机械收获时土壤抖落较困难,影响收获机的清选效果,埋薯率(主要是二次掩埋)较高;另一方面,地块不平整也会影响收获机的作业性能。在这种地块里,操作人员稍有掌握不当,机器便会产生左右摇摆和挖掘深度深浅不一,造成漏挖和伤薯。

为了确定地形因素对马铃薯机械收获损失的影响,试验设计了平地 and 低洼地 2 种情形。前者地形开阔,地势起伏不大,土质好且无明显土壤板结;后者呈四周高中间低格局,浇灌时由于大水浸过垄顶,地块有不同程度的土壤板结。从表 1 可以看到,地形在影响马铃薯产量的同时,也对其机械化收获效果产生了直接影响。在甘肃的试验中发现,相较于平地,低洼地不但亩产更低,而且收获损失率相对要高。同样地,在内蒙古的试验中也有类似发现。

表 3 给出了 2 种地形条件下马铃薯机械收获损失差异的双样本 t 检验结果。可以看到,在控制了种植品种、收获方式、收获机械以及机手后,低洼地由于曾发生过涝害,存在土壤板结情况,相应的损失程度要高些,每 hm^2 损失达到 7 995~9 075 kg;而在平地条件下,由于土壤易抖落,薯块与土壤分离相对彻底,损失程度相应也要轻一些,每 hm^2 损失介于 3 990~5 475 kg。进一步地,当检验的显著性水平取 10% 时,发现无论是在内蒙古试验还是在甘肃试验中,2 种试验情形下的每 m^2 样本框内损失量变动均通过了显著性检验(10% 和 5% 显著性水平上),表明 2 种地形条件下的马铃薯机械收获损失差异具有统计学意义。因此,可以认为,地形尤其是土壤条件确实对马铃薯的机械收获效果有影响。

表 3 不同地形下马铃薯收获损失量的双样本 t 检验

Table 3 Two-sample t test for harvest losses of potato with different planting plots

试验地点 Location	试验处理 Treatment	样本数 Obs	均值/(g/m^2) Mean	均值差/(g/m^2) Difference	t 统计量 t -statistic
内蒙古 Inner Mongolia	低洼地 Lowland	5	799.91	400.52	2.165 6* [0.063]
	平地 Flat	5	399.40		
甘肃 Gansu	低洼地 Lowland	8	907.58	360.08	3.111 6** [0.029]
	平地 Flat	17	547.50		

2.4 不同品种下的马铃薯收获损失比较

马铃薯为地下作物,且是块茎繁殖,种植品种对其(机械)收获质量亦有较大影响^[23]。王海军等^[10]试验发现,同样是起垄种植、正常挖掘、成熟晚期和机械收获,品种克新1号的平均损失率明显高于品种荷15,而且克新1号的平均伤薯率大约是品种荷15的2倍。在本次试验中,也发现不同马铃薯品种的机械收获损失率差异明显(表1)。那么,这种差异是否具有统计学意义呢?表4汇报了相同收获条件下不同马铃薯品种收获损失量的双样本 t 检验结果。可以看到,当控制住收获方式、收获机械和地块地形后,品种克新1号的平均收获损失量要比品种大西洋高出238.94 g/m²,且该差异在10%显著性

水平上具有统计学意义。究其原因在于,与块茎呈卵圆形或圆形的大西洋相比,块茎呈椭圆形的克新1号体形更大,质量重,生长深,且结薯范围宽,机械化挖掘收获时需入土较深,土薯分离量大,增加了机具前行阻力和挖掘收获负荷,从而使伤薯率、埋薯率(主要是二次掩埋)相对上升。

另外注意到,虽然品种冀张薯12号的机械收获平均损失量要比品种夏波蒂高出16.97 g/m²,但其结果并无统计学意义($P>0.1$)。与此类似的还有同属费乌瑞它品系的高原荷15和刘氏1号,虽然前者的人工收获平均损失量要比后者高出12.30 g/m²,但并没有统计学上有意义的差异($P>0.1$)。

表4 不同品种下马铃薯收获损失量的双样本 t 检验

Table 4 Two-sample t test for harvest losses of potato with different potato varieties

试验地点 Location	试验处理 Treatment	样本数 Obs	均值/(g/m ²) Mean	均值差/(g/m ²) Difference	t 统计量 t -statistic
内蒙古 Inner Mongolia	夏波蒂 Shepody	5	416.36	16.97	0.092 6 [0.947]
	冀张薯12号 Jizhangshu 12	5	399.40		
甘肃 Gansu	克新1号 Kexin 1	17	547.50	238.94	1.509 9* [0.097]
	大西洋 Atlantic	11	308.55		
广东 Guangdong	高原荷15 Gaoyuanhe 15	3	43.61	12.30	0.747 1 [0.909]
	刘氏1号 Liu 1	3	31.30		

3 结论与启示

3.1 主要研究结论

本研究采用田间小区试验对马铃薯收获环节的损失进行测算,结果显示,该损失在不同地区和不同试验处理下的变异很大。进一步采用双样本 t 检验分地区对不同收获方式、地形和种植品种下的马铃薯收获损失大小进行比较分析,研究有以下发现:

1)不同收获方式下的马铃薯收获损失量大小有差异。相较于传统的人工收获方式,机械化收获尽

管效率高,但由于目前市面上的收获机械尚难以适应不同种植农艺、品种和地形下的具体收获要求,以及收获后仍然需要人工捡拾,劳动强度仍较大,收获损失率反而更高。

2)地形尤其是土壤条件对马铃薯机械收获损失有很大影响。在种植品种、收获机械和操作机手都相同的情况下,低洼地的收获损失量平均要比平地高出360.08~400.52 g/m²,且差异在2个试验中都达到了显著水平。

3)不同种植品种对马铃薯机械收获损失也有影

响。同样是起垄覆膜种植、机械收获和平地地形,克新1号机械收获的损失量平均要比大西洋高出 238.94 g/m^2 ,且差异具有统计学意义($P < 0.1$),说明块茎地形大、生长深、结薯不集中的马铃薯品种,其机械收获损失率更大。

3.2 启示

1)加强科研攻关,从结构、工艺、材料以及马铃薯生物学特性等多方面综合考量,研制开发技术更加先进、生产效率更高,能适应不同地形、土壤、种植模式、品种的马铃薯收获机械,实现不同使用条件,选用不同机具,提高机具的可靠性和适用性。

2)加快推进农机农艺融合,积极整合不同地区的不同栽培模式,对种植方式进行标准化,统一各类种植标准,保证深浅一致、行距一致等,以便于对其进行机械收获,使得机械化作业的高效率与高产、优质相结合,减少因为机器不适配等原因造成的收获损失。

3)统筹推进马铃薯生产的全程机械化,优选更为合理的播种和收获的配置方式,如采用与播种机组相匹配的收获机进行收获。进一步优化集成挖掘机的薯块清选、输送、分级、捡拾乃至根茬、残膜的收集功能,确保收获工艺的流程顺畅和连续,降低捡拾、清选、分级环节的人工成本,真正实现马铃薯收获的多功能联合作业,提高收获效率。

4)加强农田基本改造,通过平整地块、改善灌溉条件和排水条件等措施,为马铃薯作业机械创造良好的作业环境,以减少机械收获过程中的埋薯损失和漏薯损失。引导农户在灌溉时尽量采取对土壤通透性影响小的灌溉方式,如遇到大雨、大水漫垄等情况,要及时排水,以防止土壤板结。另外,为了改善土壤的抖落性和通透性,以利于土薯分离、地膜分离,建议把收获后的秸秆还田作为改良土壤结构的一种措施。

参考文献 References

- [1] 刘红波. 影响马铃薯收获机伤薯率因素的分析[J]. 当代农机, 2015(5):78-79
Liu H B. Analysis of factors affecting injury rate of potato by harvester[J]. *Contemporary Farm Machinery*, 2015(5):78-79 (in Chinese)
- [2] 刘剑君, 邓明俐, 贾世通, 贺智涛. 马铃薯收获机械现状与发展趋势[J]. 农学学报, 2015, 5(1):95-99
Liu J J, Deng M L, Jia S T, He Z T. The present situation of potato harvester and its development trends[J]. *Journal of Agriculture*, 2015, 5(1):95-99 (in Chinese)
- [3] 魏忠彩, 李学强, 张宇帆, 李洪文, 孙传祝. 马铃薯全程机械化生产技术与装备研究进展[J]. 农机化研究, 2017, 39(9):1-6
Wei Z C, Li X Q, Zhang Y F, Li H W, Sun C Z. Reviews on technology and equipment of potato production[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(9):1-6 (in Chinese)
- [4] 江立凯, 马旭, 武涛, 陈学深, 孙国栋, 谭永忻, 鹿芳媛, 陈桂生. 南方冬种马铃薯收获机的应用现状与研究展望[J]. 农机化研究, 2016, 38(7):263-268
Jiang L K, Ma X, Wu T, Chen X S, Sun G D, Tan Y X, Lu F Y, Chen G S. Application status and research prospect of southern winter planting potato harvesting machine[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2016, 38(7):263-268 (in Chinese)
- [5] 王咏梅, 孙伟, 王关平. 关于马铃薯收获中机械损伤的研究[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(9):2837-2840
Wang Y M, Sun W, Wang G P. Research on mechanical damage to potato in harvesting[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2014, 42(9):2837-2840 (in Chinese)
- [6] 陆祥辉, 王昕, 张文杰, 史明明, 魏宏安. 4U-1400 马铃薯联合收获机分离输送装置的性能分析与试验[J]. 中国农业大学学报, 2015, 20(6):269-276
Lu X H, Wang X, Zhang W J, Shi M M, Wei H A. Parameter analysis and experiment for separation conveyer of 4U-1400 type potato harvester[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015, 20(6):269-276 (in Chinese)
- [7] 李智勇, 蒙贺伟, 李亚萍. 马铃薯收获机械研究现状及存在问题[J]. 新疆农机化, 2016(2):19-22
Li Z Y, Meng H W, Li Y P. Current research situation and existing problems of potato harvester[J]. *Xinjiang Agricultural Mechanization*, 2016(2):19-22 (in Chinese)
- [8] 王洪娟, 王东伟. 三种马铃薯收获机作业性能对比试验与分析[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版, 2015, 32(2):151-155
Wang H X, Wang D W. Three potato harvester comparative experimental working performance and analysis[J]. *Journal of Qingdao Agricultural University: Natural Science*, 2015, 32(2):151-155 (in Chinese)
- [9] 史明明, 魏宏安, 刘星, 胡忠强, 杨小平, 孙广辉. 国内外马铃薯收获机械发展现状[J]. 农机化研究, 2013, 35(10):213-217
Shi M M, Wei H A, Liu X, Hu Z Q, Yang X P, Sun G H. The present situation of potato harvester development at home and abroad[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2013, 35(10):213-217 (in Chinese)
- [10] 王海军, 曹玉. 马铃薯收获机适用性影响因素分析与实证[J]. 农机化研究, 2013(12):15-19.
Wang H J, Cao Y. Suitability analysis of influence factors and experiment on potato harvester[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2013(12):15-19 (in Chinese)
- [11] 杨然兵, 杨红光, 尚书旗, 许鹏晓, 崔功佩, 刘立辉. 拨辊推送式

- 马铃薯收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2016, 47(7): 119-126
- Yang R B, Yang H G, Shang S Q, Xu P X, Cui G P, Liu L H. Design and test of poking roller shoving type potato harvester [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2016, 47(7): 119-126 (in Chinese)
- [12] 邓兰生, 林翠兰, 龚林, 涂攀峰, 胡克伟, 张承林. 滴灌施用不同氮肥对马铃薯生长的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(1): 141-144
- Deng L S, Lin C L, Gong L, Tu P F, Hu K W, Zhang C L. Effects of different nitrogen fertilizers on growth of potato under drip fertigation [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(1): 141-144 (in Chinese)
- [13] NY/T 648-2002. 马铃薯收获机质量评价技术规范[S]. 北京: 中华人民共和国农业部, 2003
- NY/T 648-2002. Technical specifications for quality evaluation of potato harvesters[S]. Beijing: Ministry of Agriculture of the PRC, 2003 (in Chinese)
- [14] 王公仆, 蒋金琳, 田艳清, 周申. 马铃薯机械收获技术现状与发展趋势[J]. 中国农机化学报, 2014, 35(1): 11-15
- Wang G P, Jiang J L, Tian Y Q, Zhou S. Present status and prospects of mechanical potato harvest technology [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2014, 35(1): 11-15 (in Chinese)
- [15] 单爱军, 刘俊杰, 崔冰冰. 马铃薯收获机现状与发展趋势[J]. 农机化研究, 2006(4): 19-20
- Shan A J, Liu J J, Cui B B. The present situation of potato harvester and its development trends [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2006(4): 19-20 (in Chinese)
- [16] 吕金庆, 田忠恩, 杨颖, 尚琴琴, 吴金娥. 4U2A型双行马铃薯挖掘机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(6): 17-24
- Lv J Q, Tian Z E, Yang Y, Shang Q Q, Wu J E. Design and experimental analysis of 4U2A type double-row potato digger [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(6): 17-24 (in Chinese)
- [17] 李成兰. 马铃薯机械化种植和收获技术试验研究[J]. 农机化研究, 2007(8): 125-126
- Li C L. The experiment research on the potato mechanization cultivating and harvesting technology [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007(8): 125-126 (in Chinese)
- [18] 邵世禄, 万芳新, 魏宏安, 韩正晟. 我国马铃薯收获机械研制与发展的研究[J]. 中国农机化, 2010(3): 34-37
- Shao S L, Wan F X, Wen H A, Han Z S. Study on development of potato harvest machinery in China [J]. *Chinese Agricultural Mechanization*, 2010(3): 34-39 (in Chinese)
- [19] 张华, 夏阳, 刘鹏. 我国马铃薯机械化收获现状及发展建议[J]. 农业机械, 2015(8): 89-90
- Zhang H, Xia Y, Liu P. Present situation and development suggestion of potato mechanization harvesting in China [J]. *Farm Machinery*, 2015(8): 89-90 (in Chinese)
- [20] 施智浩, 胡良龙, 吴努, 胡志超, 王冰. 马铃薯和甘薯种植及其收获机械[J]. 农机化研究, 2015, 37(4): 265-268
- Shi Z H, Hu L L, Wu N, Hu Z C, Wang B. Potato and sweet potato planting and its harvest machinery [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2015, 37(4): 265-268 (in Chinese)
- [21] 武洪英. 马铃薯机械化生产技术[J]. 现代农业, 2015(6): 44-45
- Wu H Y. Mechanized production technology of potato [J]. *Modern Agriculture*, 2015(6): 44-45 (in Chinese)
- [22] 魏宏安, 王蒂, 连文香, 邵世禄, 杨小平, 黄晓鹏. 4UFD-1400型马铃薯联合收获机的研制[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1): 11-17
- Wei H A, Wang D, Lian W X, Shao S L, Yang X P, Huang X P. Development of 4UFD-1400 type potato combine harvester [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(1): 11-17 (in Chinese)
- [23] 侯兰在, 班义成, 田友谊, 王强. 内蒙古马铃薯收获机械应用现状分析[J]. 内蒙古农业科技, 2013(4): 12-13
- Hou L Z, Ban Y C, Tian Y Y, Wang Q. Analysis on the application of potato harvesting machinery in Inner Mongolia [J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2013(4): 12-13 (in Chinese)

责任编辑: 王岩