

## 链杆式升运器薯土分离损伤机理研究

王冰 胡良龙 胡志超\* 田立佳 计福来 马标

(农业部 南京农业机械化研究所,南京 210014)

**摘要** 4GS-1500型甘薯收获机采用链杆式升运器作为输送分离装置,是杆条升运链式甘薯收获机的典型代表机具。为改进链杆式升运器设计、减小输送分离和抛薯过程中对甘薯的损伤,以商薯19、阜薯24、郑薯20为对象,采用配置了链杆式升运器的4GS-1500型甘薯收获机进行甘薯收获试验,运用力学、运动学等原理,结合试验分析,研究链杆式升运器在输送分离、抛薯过程中产生损伤的原因和减小损伤率的措施。结果表明:配置了链杆式升运器的4GS-1500型甘薯收获机主要损伤形式为表面擦伤,同时伴有压损、薯肉缺损、断裂等特征。损伤主要由输送分离时土块、甘薯、链杆等对甘薯挤压、冲击、摩擦以及抛薯时甘薯撞击地面所产生的冲击造成。通过优化链杆式升运器的设计参数和运行参数,甘薯损伤率降至约1.5%。

**关键词** 甘薯; 链杆式升运器; 损伤; 薯土分离

中图分类号 S23-0

文章编号 1007-4333(2014)02-0174-07

文献标志码 A

## Damage mechanism study of chain-lever elevator sweet potato harvester

WANG Bing, HU Liang-long, HU Zhi-chao\*, TIAN Li-jia, JI Fu-lai, MA Biao

(Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

**Abstract** 4GS-1500 sweet potato harvester is a typical chain-lever elevator sweet potato harvester. In order to improve the chain-lever elevator and mitigate the damages on sweet potato in the course of transport-separating and throwing sweet potato, the experiments on Shangshu No. 19, Fushu No. 24, Zhengshu No. 20 were carried out with 4GS-1500 sweet potato harvester. The damage occurrence and the injured ratio were studied by mechanics, kinematic principle and test analysis. The results showed that the main damage was galled spots, internal tissue extrusion and break. The damage was mainly caused by shear, impact and friction among clod, sweet potato and the chain-lever. The ratio of the injured sweet potato was reduced to 1.5% by optimizing the rod structure and operational parameter of the chain-lever.

**Key words** sweet potato; chain-lever elevator; damage; potato-soil separation

甘薯在全球主要粮食作物产量中排名第7,在我国仅次于水稻、小麦和玉米,居第4位<sup>[1]</sup>。甘薯业已成为重要的新型能源作物、保健食品和药用作物<sup>[2-3]</sup>。甘薯机械化收获过程中损伤率较高,使得甘薯品质下降、细菌感染,增加了病虫和霉菌侵蚀的敏感性。损伤的甘薯用作种薯时,影响出苗率而造成减产,具有很大的间接危害性。

近年来,我国开展了甘薯收获机械的研发工作,部分收获机具已经进入生产试用<sup>[4-13]</sup>,但机具伤薯率高、可靠性低等问题依然十分突出<sup>[14]</sup>。4GS-1500型甘薯收获机采用链杆式升运器作为输送分离装置,是杆条升运链式收获机的典型代表机具,其收获时造成甘薯损伤的因素很多,如挖掘深度、输送分离器的设计参数和抛薯高度等。目前,关于甘薯收获

收稿日期:2013-06-18

基金项目:国家现代农业甘薯产业技术体系建设专项资金(CARS-11-B-16);江苏省科技支撑计划项目(BE2012388)

第一作者:王冰,助理研究员,主要从事土下果实生产机械化研究,E-mail:wangbing@caas.cn

通讯作者:胡志超,研究员,博士生导师,主要从事农业机械设计及农产品加工技术装备研究,E-mail:zchu369@163.cn

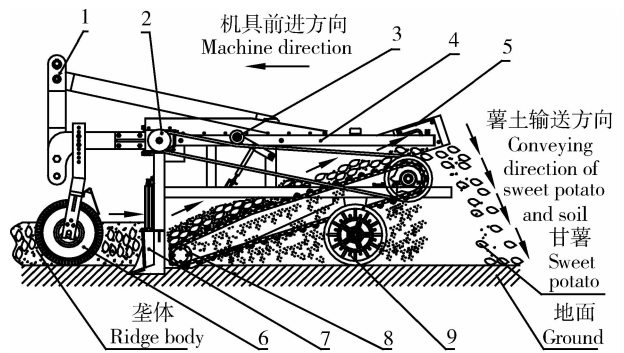
机链杆式升运器对甘薯损伤机理的研究及试验未见报道。甘薯的物理特性、种植模式、收获方式与马铃薯有相似之处,国内外一些研究机构已开展了马铃薯机械收获伤薯机理、生物力学特性的研究<sup>[15-26]</sup>,为甘薯机械收获损伤研究提供了参考。本研究拟对链杆式升运器输送分离的损伤机理进行研究,旨在为改进和设计低损甘薯收获机提供参考。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验条件及设备

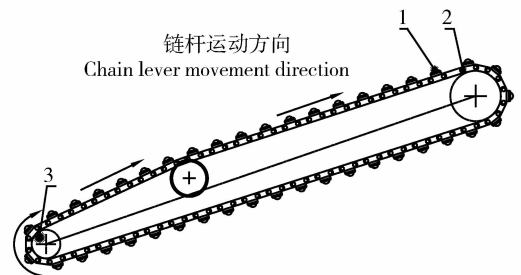
试验地点选在商丘市农科院甘薯种植基地,地势平坦,土壤类型为沙壤土,土壤含水率11%。甘薯栽植密度55 500株/hm<sup>2</sup>,种植垄距900 mm、株距200 mm。甘薯品种为商薯19、阜薯24、郑薯20,试验前人工清理干净秧蔓。主要试验设备有:农业部南京农业机械化研究所研制的4GS-1500型甘薯收获机,该机配套动力为55~66.2 kW拖拉机,悬挂式,作业幅宽1 500 mm,纯工作时间生产率0.2~0.4 hm<sup>2</sup>/h,外形尺寸(长×宽×高)2 500 mm×1 800 mm×1 200 mm,作业深度0~300 mm(可调),两垄收获,适用于平原坝区或丘陵缓坡地的沙土、沙壤土作业;常发集团CF900拖拉机,发动机功率66.2 kW(90马力),后轮轮距1 600 mm;ABS 10 m钢卷尺;Canon EOS 7D数码相机;FLUKE931组合式转速计等。

4GS-1500型甘薯收获机主要由悬挂系统、传动系统、张紧系统、机架、拢薯器、限深组件、挖掘系统、链杆式升运器、地轮等部分组成(图1(a))。该机为拖拉机悬挂式,动力全部由拖拉机提供,行走和挖掘依靠拖拉机牵引,薯土分离输送的运动动力由拖拉机动力输出轴提供,悬挂系统与拖拉机液压悬挂装置上拉杆和下拉杆相连,通过拖拉机液压悬挂装置调节收获机机架的水平状态。工作时,拖拉机牵引整机靠地轮从动行走,限深组件在垄沟行走并限定挖掘深度,挖掘系统切开垄体,薯块及土壤等被挖掘系统掘起后进入输送分离装置-链杆式升运器,经链杆的输送、分离、破碎,使小于链杆间距的土壤和杂质物被筛下,薯块和大于链杆间距的土块及杂质物继续向机具后端输送,经过拢薯器的集薯作用,将薯块等拢向链杆式升运器中间,最后在机具后端依靠链杆式升运器的转动作用,薯块被抛在地上。链杆式升运器是4GS-1500型甘薯收获机的关键部件之



1.悬挂系统 Suspended system;2.传动系统 Drive system;3.张紧系统 Tension system;4.机架 Body frame;5.拢薯器 Mechanism of gathered sweet potato;6.限深组件 Depth limit component;7.挖掘系统 Mining system;8.链杆式升运器 Chain-lever elevator;9.地轮 Land wheel

(a)



1.输送链杆 Transport chain lever;2.滚子链 Roller chain;3.主动轮 Chain wheel

(b)

图1 4GS-1500型甘薯收获机(a)及链杆式升运器(b)的结构示意图

Fig.1 Structural scheme of 4GS-1500 sweet potato harvester(a) and the chain-lever(b)

一,由输送链杆、滚子链等组成,输送链杆的两端连接在链条上,形成具有筛选甘薯分离土壤的栅,链杆式分离输送器通过依靠主动轮来带动,形成一条环形的链带,如图1(b),链杆直径18 mm,链杆间距70 mm,按几何尺寸实现薯土分离,其性能和设计参数直接影响薯土分离效果、甘薯损伤率和机具生产效率。

### 1.2 试验方法

试验地总长60 m(测区长度40 m,两端预备区10 m),共81垄(1次收获2垄)。甘薯的损伤主要在链杆式升运器输送分离、抛薯过程中产生,即输送分离损伤和抛送损伤。由于缺乏链杆升运器的运行参数和结构与甘薯损伤之间的关系研究,生产中根据经验,链杆升运器常采用线速度为1.95~2.33 m/s的范围,拖拉机采用2档,前进速度根据

试验需要控制在约 2 m/s。本研究结合生产实际和田间试验研究,分别选用 2.30、2.10 和 1.90 m/s 链杆运行线速度进行试验,4GS-1500 型甘薯收获机齿轮箱的传动比  $k$  为 1:2,链杆运行线速度计算方法见式(1)。每种速度不同品种试验各重复 3 次,每个测区内随机取 3 个小区,每个小区长度为 3 m,宽度 2.7 m,对输送分离后的甘薯进行测定,统计甘薯输送分离损伤特征及损伤率,计算方法见式(2)。输送分离前甘薯的损伤主要由挖掘系统造成,不计入损伤统计。

$$v_1 = 2\pi \times \frac{n}{60} \times r \quad (1)$$

式中: $v_1$  为链杆线速度, m/s;  $n$  为主动轮转速, r/s;  $r$  为主动轮链杆最外缘半径, m。

$$T_s = \frac{W_s}{W} \times 100 \quad (2)$$

式中: $T_s$  为伤薯率, %;  $W_s$  为伤薯质量, kg;  $W$  为总薯质量, kg。

## 2 结果与分析

### 2.1 损伤形式与损伤率

目前关于甘薯损伤形式的分类未见报道。作者根据试验观察与结果分析,通过与甘薯农艺专家的沟通交流,考虑甘薯贮藏、销售等因素,甘薯在链杆式升运器输送分离过程中出现的损伤分为 4 类:表面擦伤即甘薯表皮局部损伤(损伤面积  $>15 \text{ mm}^2$ );压损即甘薯局部组织变形、错位或变软致使甘薯局部变色;薯肉缺损即皮下组织被破坏、产生损伤,以露出薯肉为判断依据;断裂即甘薯整体断裂为两部分或多部分。

甘薯在输送分离过程中,由于甘薯、土块、机具相互作用所造成的损伤主要以表面擦伤为主;链杆线速度与甘薯损伤率不成线性关系;不同链杆线速度条件下,不同品种甘薯在输送分离过程中的损伤率有所不同(表 1)。

表 1 优化前甘薯损伤率统计分析

Table 1 Statistical analysis of the injured ratio before optimizing

链杆线速度/(m/s)		品种 Variety	表面擦伤 损伤率 Scratches ratio	压损损伤率 Pressure loss ratio	薯肉缺损损伤率 Potato meat injuries ratio	断裂损伤率 Fracture characteristics ratio	总损伤率 Total damage rate
Chain-lever elevator linear velocity							
2.30	商薯 19	1.50	0.12	0.20	0.21	2.03	
	阜薯 24	1.45	0.15	0.26	0.18	2.04	
	郑薯 20	1.61	0.12	0.28	0.40	2.41	
2.10	商薯 19	1.20	0.10	0.16	0.17	1.63	
	阜薯 24	1.32	0.09	0.14	0.16	1.71	
	郑薯 20	1.55	0.13	0.22	0.20	2.10	
1.90	商薯 19	1.10	0.12	0.13	0.16	2.41	
	阜薯 24	1.21	0.10	0.12	0.10	1.53	
	郑薯 20	1.43	0.15	0.19	0.31	2.08	

注:各类损伤率均为绝对值,总损伤率为各类损伤率之和。

Note: Different kinds of the ratio of the injured sweet potato in the table are absolute value, the total ratio of the injured sweet potato is the sum of every ratio of the injured.

### 2.2 甘薯损伤试验分析

#### 2.2.1 甘薯输送分离损伤分析

4GS-1500 型甘薯收获机的链杆升运器采用 70 mm 间距排列的链杆对甘薯和土壤进行输送分离。作业时,挖掘系统将薯土连续掀起送入喂入口,薯土自下而上连续进入并铺满链杆式升运器,随着链杆连续运转,链杆式升运器以  $22^\circ$  输送分离甘薯

和土壤。

在输送分离过程中,甘薯的受力主要发生在链杆升运器运输分离面上,主要受土块、链杆与拢薯器等机械作用,受力性质为挤压力、冲击力、摩擦力等合力作用,甘薯之间也会发生碰撞,产生冲击力。拢薯器具有集薯作用,但当薯土输送至靠近拢薯器时,由于其出薯口的宽度较输送分离面宽度小,拢薯器

对薯土造成一定程度的挤压,对甘薯产生挤压力;机具的振动使得土块、链杆、甘薯自身也产生一定程度的振动,这对输送分离中的甘薯产生一定的冲击力;甘薯输送分离过程中,甘薯所受摩擦力主要是由链杆造成,方向与链杆运行方向相同。这些作用力随着甘薯在链杆升运器上所处位置的不同而发生变化,属于动态受力且比较复杂。以甘薯 A 为研究对象进行受力分析(图 2),平衡方程为:

$$\vec{F}_x + \vec{F}_y = \vec{G} + \vec{F}_v + \vec{F}_f + \vec{F}_j + \vec{F}_i \quad (3)$$

式中: $G$ 为甘薯自身的重力,N; $F_x$ 为甘薯在  $x$  轴的分力,N; $F_y$ 为甘薯在  $y$  轴的分力,N; $F_i$ 为甘薯喂入时挖掘系统与链杆对甘薯的切入力,N; $F_j$ 为拢薯器对甘薯的挤压力,与链杆运行方向一致,N; $F_f$ 为甘薯与链杆之间的摩擦力,N,方向与链杆运行方向相同; $F_v$ 为土块对甘薯、甘薯之间的冲击力,N,主要发生在与链杆运行速度相反的方向。

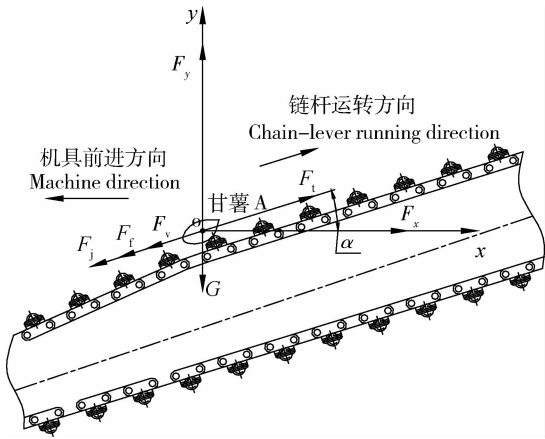


图 2 甘薯输送分离中的受力分析

Fig. 2 Force analysis of transporting-separating sweet potato

通过受力分析可知,链杆连续运行、从喂入口对甘薯的铲取过程中,铲取时间极短,基本对甘薯没有作用力,所以可以忽略挖掘系统与链杆对甘薯的切入力  $F_i=0$ 。式(3)简化为

$$\vec{F}_x + \vec{F}_y = \vec{G} + \vec{F}_v + \vec{F}_j + \vec{F}_f \quad (4)$$

将式(4)转化为代数方程,则甘薯在坐标轴  $x$  轴和  $y$  轴方向受到的作用力分别为:

$$F_x = \cos\alpha(F_v + F_j + F_f) \quad (5)$$

$$F_y = \sin\alpha(F_v + F_j + F_f) + G \quad (6)$$

式中: $\alpha$ 为链杆式升运器倾角, $^\circ$ 。由式(4)、(5)、(6)可知,在输送分离过程中,甘薯主要受  $F_v$ 、 $F_j$ 、 $F_f$  的合力作用,相当于会产生一种刚性挤搓力,极易造

成甘薯的损伤。当  $\alpha=0$  时,即水平输送时, $F_x = F_v + F_j + F_f$ , $F_y = G$ ,甘薯在竖直方向受力为  $G$ ,水平方向受力大小为  $F_v$ 、 $F_j$ 、 $F_f$  的数量和,如果改变输送角度  $\alpha$ ,甘薯所受合力也随之变化。

根据分析可知,链杆升运器采用一定间距排列的链杆进行输送分离,薯土由喂入口连续不断进入链杆输送面,由低至高进行输送分离,如果输送分离距离过长、并且输送线速度过小,将导致薯土在链杆式升运器靠近拢薯器的区域形成动态堆积,增加输送分离时间,进而增大甘薯所受摩擦力  $F_f$ 、挤压力  $F_j$ 、冲击力  $F_v$  的时间,极易造成甘薯的损伤;如果链杆运转速度过大,根据动量定理,冲击力大小与冲击前后速度差成正比,当高速运行的甘薯接触土块、链杆或甘薯的瞬间,将产生较大的冲击力  $F_v$ ,极易产生损伤。因此,在不影响薯土分离及输送效果的前提下,可以通过选取合适的链杆运行速度达到降低输送分离损伤的目的。

链杆升运器的设计应考虑倾角、链杆线速度、杆材、杆径、链杆节距等因素。根据分析,为了降低链杆对甘薯的摩擦力和冲击力,在保证链杆使用寿命的前提下,设计链杆时,这要求链杆横截面具有合理的几何形状、几何尺寸,合理的几何形状需考虑增加甘薯与链杆的接触面积,减小甘薯单位面积所受的来自链杆的冲击力,此外链杆需考虑使用具有缓冲性的材料;配合适宜的链杆运行速度,可避免甘薯在输送分离时形成堆积,降低甘薯与土块、链杆之间的冲击力、摩擦力;经过多次试验可知,链杆采用双层结构(外层采用柔性材料丁苯橡胶材料,胶层厚度 2 mm,内芯采用经渗碳淬火处理的 20 号钢无缝钢管,钢管外径 12 mm,壁厚 4 mm),实际作业时,配合合适的链杆运行速度和倾角可减小甘薯的损伤;试验可知,链杆间距为 75 mm 时可有效提高分离效果、降低损伤程度。此外,考虑到拢薯器对甘薯的冲击作用,经过试验对比,拢薯器出薯口宽度以 1 080 mm 较适宜,这样既能起到集薯作用,还可避免拢薯器出薯口堵塞,减小输送阻力,降低甘薯与拢薯器的冲击力,减小甘薯损伤;具体参数见表 2。

挖掘收获试验前,由人工完成秧蔓的清理,试验时通过调节链杆升运器的倾角、链杆间距、拢薯器出薯口宽度和组装不同结构形式的链杆进行试验。根据优化后试验结果可知,4GS-1500 型甘薯收获机的收获损伤率有所下降,损伤特征主要仍为表面擦伤,以链杆线速度 2.1 m/s 为例,具体损伤情况见表 3。

表2 链杆及拨薯器出薯口改进参数

Table 2 Modified parameters of the chain-lever elevator

状态 Condition	链杆直径/mm Chain-lever diameter	链杆间距/mm Chain-lever pitch	链杆材料 Chain-lever material	出薯口宽度/mm Opening width of mechanism of gathered sweet potato
优化前 Before optimization	18	70	20 钢无缝钢管	800
优化后 After optimization	16	75	外层丁苯橡胶 内芯 20 钢无缝钢管	1 080

表3 链杆及拨薯器优化后甘薯损伤率统计分析

Table 3 Statistical analysis of the injured ratio after optimizing

状态 Condition	品种 Variety	表面擦伤 损伤率 Scratches ratio	压损损伤率 Pressure loss ratio	薯肉缺损损伤率 Potato meat injuries ratio	断裂损伤率 Fracture characteristics ratio	总损伤率 Total damage rate
优化前 Before optimization	商薯 19 阜薯 24 郑薯 20	1.20 1.32 1.55	0.10 0.09 0.13	0.16 0.14 0.22	0.17 0.16 0.20	1.63 1.71 2.10
优化后 After optimization	商薯 19 阜薯 24 郑薯 20	1.05 1.21 1.42	0.12 0.09 0.12	0.13 0.13 0.22	0.10 0.12 0.18	1.40 1.55 1.94

注:链杆升运器的链杆线速度为 2.1 m/s。

Note: Linear velocity of sweet potato harvester chain-lever elevator was 2.1 m/s.

### 2.2.2 甘薯抛送损伤分析

抛薯过程是链杆升运器主要的工作过程,直接影响甘薯的损伤率,抛薯高度和抛薯轨迹受甘薯自身重力和离心力影响。当甘薯输送至升运器尾端时,甘薯被抛出的瞬间同时受重力  $mg$  与离心力  $m\omega^2 r$  的作用,其中  $m$  为甘薯质量,kg; $\omega$  为链杆升运器抛薯时的运行角速度,rad/s; $r$  为甘薯旋转半径,mm。

为了研究甘薯实际抛出轨迹和抛薯高度,分析甘薯抛出后落地时的受力特点,选用甘薯 B 作为研究对象。根据运动原理可知,甘薯 B 抛出前瞬间受离心力和重力合力  $F_1$  的作用,由链杆升运器后端抛出后以一定的初速度向斜上方抛出,在忽略空气阻力的情况下,由于甘薯在运动过程中只受恒定不变的重力作用,其加速度等于重力加速度,作匀变速曲线运动。由斜抛运动方程及甘薯的运动参数可以求得甘薯 B 的运动轨迹及抛薯高度。以甘薯 B 抛出时与链杆的瞬时接触位置 O 作为坐标原点,以地

面为参照,建立直角坐标系(图 3),甘薯 B 的初速度斜向上方,甘薯 B 脱离链杆升运器后仅受重力  $G$  作用,且大小恒定、方向向下,做匀变速曲线运动。甘薯 B 水平方向不受力,做匀速直线运动;竖直方向受到重力  $G$  作用,先做竖直上抛运动,到达最高点后做下抛运动,直到落地点 C。甘薯的运动方程如下:

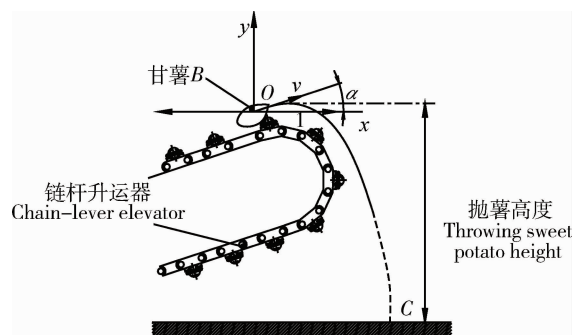


图3 抛薯运动方程坐标系

Fig. 3 Coordinate system of throwing sweet potato motion

速度

$$v_x = v_1 \cos\alpha - v_0 \quad (7)$$

$$v_y = gt - v_1 \sin\alpha \quad (8)$$

位移

$$x = v_1 t \cos\alpha - v_0 t \quad (9)$$

$$y = -v_1 t \sin\alpha + \frac{gt^2}{2} \quad (10)$$

可得

$$t = \frac{x}{v_1 \cos\alpha - v_0} \quad (11)$$

带入  $y$  得

$$y = \frac{g}{2(v_1 \cos\alpha - v_0)^2} x^2 - \frac{v_1 \sin\alpha}{v_1 \cos\alpha - v_0} x \quad (12)$$

式中： $v_0$  为机具前进速度，1.6 m/s； $v_1$  为链杆线速度； $\alpha$  为链杆升运器倾角， $(^\circ)$ ； $t$  为甘薯运动时间； $g$  为重力加速度，9.81 m/s<sup>2</sup>。根据已知条件，甘薯运动方程为： $y = 20.18x^2 - 1.96x$  ( $v_1 = 2.3$  m/s)； $y = 50.8x^2 - 2.8x$  ( $v_1 = 2.1$  m/s)； $y = 297x^2 - 6.18x$  ( $v_1 = 1.9$  m/s)。

运用 matlab 软件拟合曲线得到甘薯在不同链杆线速度下抛出后的运动轨迹(图 4)。

根据式(12)及运动轨迹可知，在忽略空气阻力的抛薯运动中，倾角  $\alpha$  一定时，初速度越大，抛出距离  $x$  和抛薯高度  $y$  越大。甘薯落地时撞击瞬时速度取决于抛薯高度。当甘薯落地撞击在地面点时，对甘薯进行受力分析可知，甘薯撞击的瞬间受到自身的重力  $mg$  以及撞击地面产生冲击力的作用反力  $F'_c, F'_c$  与冲击力  $F_c$  大小相等，方向相反。

由动量定理知冲击力  $F_c = mv/t$ ，式中  $t$  为撞击时的接触时间，速度  $v$  由落地时甘薯自身重力  $mg$

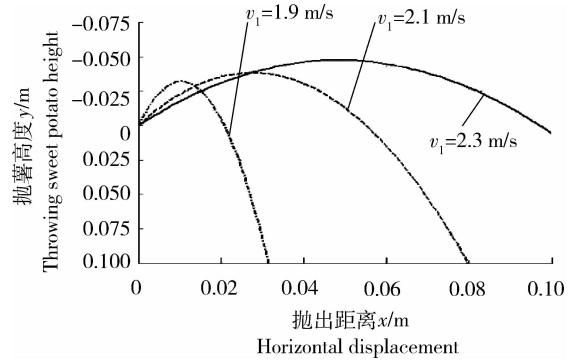


图 4 链杆升运器的抛薯轨迹

Fig. 4 Throwing sweet potato motion track of chain-lever elevator

所产生。冲击力是产生甘薯损伤的重要原因之一，由于甘薯的质量  $m$  不一致，不同的甘薯个体产生的冲击力大小有差异，所以本研究不对冲击力的具体数值进行分析，而通过理论分析揭示造成冲击力的因素，从而针对该影响因素进行优化。由  $F_c = mv/t$  可知，抛薯高度越大，甘薯下落至地面时的速度就越大，进而撞击地面所受冲击力  $F_c$  就越大，甘薯就极易损伤。为了减小甘薯在落地时的损伤，应根据抛薯轨迹优化机具前进速度与链杆运行速度的匹配关系、合理设计链条升运器的倾角大小，保证在顺畅抛薯前提下减小因抛薯过高而造成的损伤。在完成甘薯输送分离损伤分析优化后，进一步对链杆运行速度、机具前进速度、链条升运器倾角进行优化：链杆线速度  $v_1 = 2.13$  m/s，机具前进速度  $v_0 = 1.9$  m/s，链杆升运器倾角  $\alpha = 24^\circ$ 。根据优化后的试验结果可知，甘薯因抛薯过高而造成伤薯现象得到改善，以链杆线速度 2.1 m/s 为例，具体损伤情况如表 4 所示。

表 4 运动参数及倾角优化后损伤率统计分析

Table 4 Statistical analysis of the injured ratio after optimizing kinetic parameter and dip

状态 Condition	品种 Variety	表面擦伤 损伤率 Scratches ratio	压损损伤率 Pressure loss ratio	薯肉缺损损伤率 Potato meat injuries ratio	断裂损伤率 Fracture characteristics ratio	总损伤率 Total damage rate
优化前 Before	商薯 19	1.05	0.12	0.13	0.10	1.40
	阜薯 24	1.21	0.09	0.13	0.12	1.55
optimization	郑薯 20	1.42	0.12	0.22	0.18	1.94
优化后 After	商薯 19	0.95	0.11	0.09	0.09	1.24
	阜薯 24	1.18	0.08	0.12	0.10	1.48
optimization	郑薯 20	1.40	0.10	0.23	0.15	1.88

注：链杆升运器的链杆线速度为 2.1 m/s。

Note: Linear velocity of sweet potato harvester chain-lever elevator was 2.1 m/s.

### 3 结论与讨论

1)采用链杆升运器作为输送分离装置的4GS-1500型甘薯收获机收获损伤形式主要有表面擦伤、压损、薯肉损伤、断裂,其中以表面擦伤为主,其他损伤形式所占比例较低。

2)4GS-1500型甘薯收获机造成甘薯损伤主要发生在链杆式升运器输送、分离和抛薯过程中。输送分离时,由于甘薯会发生动态堆积,增加输送分离时间,进而增大甘薯所受摩擦力 $F_f$ 、挤压力 $F_j$ 、冲击力 $F_v$ 的时间,极易造成甘薯的损伤。抛薯时,甘薯损伤主要由撞击地面的冲击作用反力产生,链杆运行速度越大,抛薯高度越高,作用反力越大,损伤率越高。

3)改进后的链杆采用双层结构(外层采用柔性材料丁苯橡胶材料,内芯采用20钢材质的无缝钢管),链直径为16 mm,链杆间距为75 mm,拢薯器出薯口宽度为1080 mm。采用改进后结构及参数可以减少甘薯动态堆积,减小输送阻力、冲击力和摩擦力。优化抛薯过程的抛薯轨迹和抛薯高度后可以减轻甘薯撞击地面的冲击力、减少甘薯损伤。结合抛薯损伤试验分析,链杆运行速度优化为2.13 m/s,机具前进速度1.9 m/s,链杆升运器倾角 $24^\circ$ ,甘薯因抛薯过高而造成伤薯现象得到改善。

### 参 考 文 献

[1] 王冰,胡良龙,田立佳,等. 1JHSM-800型甘薯仿形切薯机的研制[J]. 中国农机化,2012(4):103-106,77

[2] 王冰,胡良龙,胡志超,等. 我国甘薯起垄技术与设备探讨[J]. 江苏农业科学,2012,40(3):353-356

[3] 王冰,胡良龙,胡志超,等. 我国甘薯切薯机发展概况与趋势分析[J]. 江苏农业科学,2012,40(4):377-379

[4] 胡良龙,胡志超,王冰,等. 国内甘薯生产机械化研究进展与趋势[J]. 中国农机化,2012(2):14-16

[5] 计福来,王冰,胡良龙,等. 4QL-1型甘薯起垄收获多功能机的设计与试验[J]. 中国农机化,2012(4):94-97

[6] 王山松. 4UC-1型甘薯收获机的研究设计[J]. 河北农机,2011(4):66-68

[7] 钱炳举. 4UL系列甘薯收获机的研制[J]. 安徽农机,2003(1):14-16

[8] 崔祥联. 薯类收获机:中国,200920018918.3[P]. 2010-06-09

[9] 许浪. 红薯联合收获机:中国,200720064885.7[P]. 2008-10-15

[10] 纪安民. 红薯、土豆收获机:中国,200520031742.7[P]. 2006-10-18

[11] 李凯岭. 小型多功能薯类收获机:中国,200420038001[P]. 2005-01-05

[12] 钱炳举. 一种悬挂式薯类收获机:中国,200320127366.2[P]. 2005-11-09

[13] 白宝仁. 4SG系列悬挂式薯类作物收获机:中国,93203133.1[P]. 1994-06-15

[14] 胡良龙,胡志超,谢一芝,等. 我国甘薯生产机械化技术路线研究[J]. 中国农机化,2011(6):20-25

[15] 贾晶霞,杨德秋,张东兴. 马铃薯收获过程中块茎运动仿真分析[J]. 农机化研究,2011(8):38-41,50

[16] 刘宝,张东兴,李晶. 马铃薯收获机主要问题机理分析及其对策[J]. 农机化研究,2009(1):14-16,28

[17] Bentini M, Caprara C, Martelli R. Physico-mechanical properties of potato tubers during cold storage[J]. Biosystems Engineering,2009,104(1):25-32

[18] 桑永英,张东兴,张梅梅. 马铃薯碰撞损伤试验研究及有限元分析[J]. 中国农业大学学报,2008,13(1):81-84

[19] 贾晶霞,张东兴,杨德秋. 薯类收获机振动筛伤薯机理计算机模拟与分析[J]. 农业机械学报,2005,36(12):67-70

[20] Peter U, Helle W. Biophysical consequences of remodeling the neutral side chains of rhamnolacturonan I in tubers of transgenic potatoes[J]. Planta,2005,220(4):609-620

[21] 吕金庆,李世柱,李国民,等. 马铃薯挖掘机升运器的设计研究[J]. 农机化研究,2004(4):108-111

[22] 杨晨升. 马铃薯块茎动力学特性试验研究与应用探索[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2006

[23] Lovedeep K, Narpinder S. Some properties of potatoes and their starches I cooking textural and rheological properties of potatoes[J]. Food Chemistry,2002,79:177-181

[24] Baritelle A I, Hyde G M. Effect of tuber size on failure properties of potato tissue[J]. Transactions of the ASAE. 1999,42(1):159-161

[25] Martin G S, Alison E L. Fracture strengths of potato tissue under compression and tension at two rates of loading[J]. Food Research International,1995,28(4):397-402

[26] Parks R, Anderson G, 龚征. 用于损伤研究的人造马铃薯[J]. 力学进展,1990,20(3):425-430

责任编辑:刘迎春