

基于感应计数的甘蔗种切割防伤芽系统的设计与试验

黄亦其, 王小波, 尹 凯, 黄媚章

(广西大学机械工程学院, 南宁 530004)

摘 要: 针对目前甘蔗种植机切种伤芽率高的难题, 该文设计了一种基于感应计数的甘蔗种切割防伤芽系统。在甘蔗种输送过程中, 该系统利用自行设计的电阻式感应计数装置将相对于甘蔗茎秆凸起的甘蔗种芽信号转换为可识别的电信号后, 利用单片机对其执行种芽计数操作; 根据农艺要求及其计数结果, 进而控制甘蔗种切断刀切断甘蔗种。为优化该系统性能, 以保证蔗种和种芽的完好性为前提, 对系统的切割过程进行受力及防伤芽分析, 进而确定感应计数装置与切刀的最佳安装距离, 以确保计数达到要求后切刀完全避开种芽, 从而实现蔗种切割防伤芽功能。试验表明: 该系统对种芽的计数准确率达 98.87%, 平均伤芽率为 1.57%, 较无防伤芽系统的 2Cz-2 甘蔗种植机的伤芽率低 6.3%, 系统的防伤芽性能显著, 满足设计要求。该研究为甘蔗种植机械的设计提供了参考。

关键词: 农业机械; 农作物; 设计; 甘蔗种; 感应装置; 计数; 防伤芽

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.007

中图分类号: S223.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2015)-18-0041-07

黄亦其, 王小波, 尹 凯, 黄媚章. 基于感应计数的甘蔗种切割防伤芽系统的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 41—47. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.007 <http://www.tcsae.org>

Huang Yiqi, Wang Xiaobo, Yin Kai, Huang Meizhang. Design and experiment of buds-injury-prevention system based on induction-counting in sugarcane-seeds cutting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(18): 41—47. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.18.007 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

甘蔗产业是广西的支柱产业, 从目前的种植面积来看, 广西是中国甘蔗种植的第一大省, 也是全国主要的蔗料和蔗糖生产基地^[1-2], 其蔗糖产量约占全国的 60%以上^[3]。种植既是甘蔗产业过程中劳动强度最高也是最重要的一个环节, 世界各甘蔗主产国在一定程度上实现了甘蔗种植机械化^[4], 国内也研发出了一系列的甘蔗种植机, 不过都普遍存在切种伤芽率高的问题, 难以保证新植甘蔗的出芽率^[5]。

根据甘蔗种植技术要求, 每段甘蔗种需包含 2 个种芽^[6], 因此, 必须对甘蔗种芽进行计数。国内外对计数方法做了不少研究, 可归结为基于图像处理和传感器技术两类, 如齐龙等^[7]、李小龙等^[8]利用显微图像处理的方法分别实现了稻瘟病菌孢子和小麦条锈病菌夏孢子的自动检测和计数; 另有相关研究人员^[9-13]提出了利用图像处理技术对种子计数的方法; 虽然以上基于图像处理的计数方法都能取得较高准确率, 但成本较高, 难以推广应用; 此外, 文韬等^[14]利用红外光电耦合传感器实现了害虫的监测与计数; 毛罕平等^[15]采用“对称传感器”结构实现了联合收割机谷物损失的监测与计数; 相关学者^[16-19]利用传感器检测技术实现了种子的计数, 改善了种子漏检

情况。而对于甘蔗种切割防伤芽的研究较少, 目前仅唐书喜等^[20-21]研发了一种基于计算机视觉的甘蔗切割防伤芽装置, 黄亦其等^[22]设计了一种基于电阻式应变片的甘蔗种切割防伤芽系统。虽然前述两种装置均能实现种芽计数和减少伤芽的功能, 但都存在安装困难及易损坏的缺点, 此外第一种装置还存在成本高、环境适应性差的问题, 直接限制了装置的农业推广应用。

针对上述问题, 本文根据农艺要求, 提出一种基于感应计数的甘蔗种切割防伤芽系统, 该系统在现有防伤芽系统基础上完全改进了机械结构部分, 并优化了电路部分及增加了液压系统部分, 以期该系统能为甘蔗种植机械的设计提供参考。

1 系统总体方案设计

图 1 为基于感应计数的甘蔗种切割防伤芽系统的结构简图, 其基本原理可表述如下: 在输送机构的作用下, 甘蔗向主、辅感应机构移动。感应机构内的应变片受甘蔗种芽挤压变形产生电信号, 并经放大电路、电压比较器处理后送入单片机计数, 并由显示器显示计数情况。

根据农艺要求, 每段甘蔗种需含 2 个种芽^[6]。当计数达到 2 且种芽避开切割位置后, 单片机发出控制信号触发继电器, 控制电磁阀 A 使切断刀动作, 切下双芽段甘蔗种, 实现防伤芽功能。

对工作原理的补充说明: 若被检测甘蔗的直径超过主感应机构初始位置径向尺寸, 则每当主感应机构检测到一个芽(种芽在主感应机构检测范围内), 立即发出信号控制电磁阀 B 使辅助感应机构活塞快退, 以免产生

收稿日期: 2015-06-24 修订日期: 2015-08-19

基金项目: 广西自然科学基金资助项目(2014GXNSFAA118344)

作者简介: 黄亦其, 男(壮族), 广西隆安人, 博士, 副教授, 从事现代农业装备机电一体化研究。南宁 广西大学机械工程学院, 530004。

Email: hyqgxu@163.com

重复计数, 2 s 后, 再控制辅助感应机构复位; 若种芽不在主感应机构检测范围内, 则由辅助感应机构继续检测, 直到计数达到 2。当切割完成, 液压缸切断刀快退, 同时计数清零, 进入下一计数与切割循环。

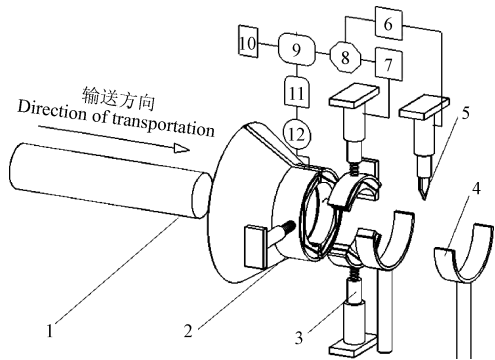


图 1 甘蔗种切割防伤芽系统结构图
Fig.1 Structure diagram of buds-injury-prevention system in sugarcane-seeds cutting

其中主感应机构呈水平对顶式安装、辅助感应机构呈垂直对顶式安装, 切刀安装在 2 个 U 型支撑柱中心连线中点的正上方, 形成双支撑切割。支撑柱上均装有柔性橡胶套, 能对种芽起到保护作用。

2 机械结构、电路及液压系统设计

2.1 种芽感应计数机构设计

图 2a 为种芽感应计数机构结构简图, 主要由一对主感应机构、一对辅助感应机构两部分组成。图 2b 为主感应机构的结构示意图, 主要由弹簧伸缩杆、U 型槽以及感应部分组成。由于甘蔗种芽相对甘蔗茎秆较软且容易损坏及相对于甘蔗茎秆凸起的特征, 选用典型的粘弹性材料橡胶材料与应变片组成感应部分。当凸起的种芽经过橡胶和应变片时, 产生挤压力使得应变片产生电信号供后续处理使用。考虑到应变片的应变极限问题, 在应变片内外两侧均粘贴橡胶材料, 起到保护应变片的作用。

由于无法预测种芽在甘蔗圆周上的位置, 为不漏检种芽, 将一对主感应机构作对顶式安装, 且在其圆周上均布有应变片。而现有应变片一般呈矩形, 为方便其粘贴, 将橡胶材料的一侧做成正棱柱形状, 构成感应部分。将感应部分粘贴在 U 型槽内与弹簧伸缩杆组成主感应机构。伸缩杆的作用是: 当被检测甘蔗的直径超过主感应机构初始位置径向尺寸时, 甘蔗的挤压力压缩弹簧, 可检测不同径向尺寸的甘蔗的种芽。

在主感应机构的一端设置喇叭形口端可对甘蔗茎秆进入感应机构时起到导向作用, 还可减少种芽刚进入感应机构时的冲击, 以免冲击力过大损伤种芽。另外, 由于甘蔗直径大小不一, 当被检测甘蔗的直径超过主感应机构初始位置径向尺寸时, 两主感应机构被压缩, 中间将

存在无感应区域, 此时就由辅助感应机构 (如图 2c 所示) 来弥补主感应机构的缺陷。

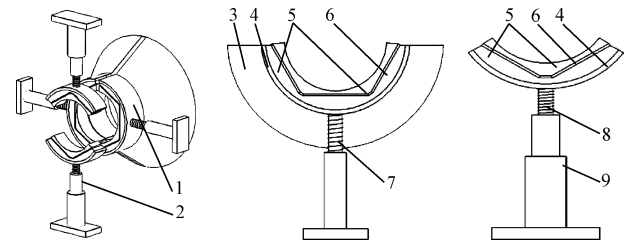


图 2 种芽感应计数机构结构简图
Fig.2 Structure diagram of buds-induction-counting mechanism

辅助感应机构结构大体与主感应机构相同, 其区别在于弹簧伸缩杆由液压缸的弹簧活塞杆代替。当种芽不在主感应机构检测范围内时, 由辅助感应机构辅助检测, 而弹簧活塞杆同样也适用于不同直径的甘蔗的种芽检测; 反之, 若在检测范围内, 则种芽再次进入辅助感应机构可能会造成重复感应, 从而影响后续处理。加入液压缸弹簧活塞杆可解决此问题, 即当主感应机构感应到芽之后, 立即发出信号控制弹簧活塞杆快速后退, 防止重复检测, 提高后续的计数精度。

设计时, 要满足检测不同直径的甘蔗的种芽的需要, 主感应机构内圆弧直径 D 须取甘蔗茎秆的最小直径。随机抽取 500 根广西地区主栽甘蔗品种“新台糖 22 号”, 测量其直径、芽相对于甘蔗茎秆的径向高度, 并统计得出其直径 d 范围为: $20 \leq d \leq 34$ mm, 高度范围 4.68~5.25 mm。因此取 $D=20$ mm。若要使辅助感应机构能完全弥补较大直径甘蔗进入主感应机构而造成的空隙, 则辅助感应机构的内圆弧长 S 须满足: $S \geq \pi(d_{\max} - d_{\min}) = \pi(34 - 20) \approx 44$ mm。取 $S=45$ mm。

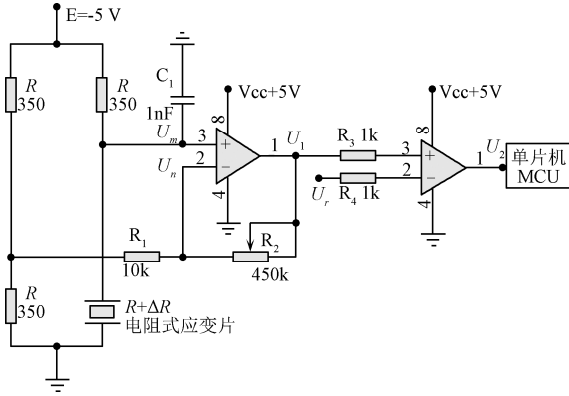
经试验测得当橡胶材料的平均厚度 $H=4.5$ mm 时应变片具有较高的检测精度。电阻式应变片选用 BF350 型, 其阻值: 350 Ω , 灵敏系数为 2.0, 应变极限为 2%, 敏感栅尺寸的长和宽分别为 6.1 和 3.1 mm。根据正多边形与圆内切的关系, 可得每个主感应机构的应变片个数为 3, 辅助感应机构的应变片个数为 2。

2.2 种芽信号放大电路与计数系统

电阻应变片的工作原理是电阻应变效应, 即金属丝在受到力作用时, 其电阻随着所发生机械形变的大小而发生相应的变化^[23]。由于电阻式应变片的输出信号很微弱, 输出能力小, 需要对其进行必要的放大, 以适应显示、变换等进一步的处理要求^[24]。

图 3 位种芽信号放大电路, 为消除电阻式应变片的温度误差并提高其灵敏度, 常将其接成惠斯登电桥。由于本文中的放大电路不需要很高的精度, 所以选用常用

的差动输入电桥放大器，该放大器的主要优点是只需要一个具有高共模抑制比的仪用运放且灵敏度较高。



注：\$R\$ 为应变片初始电阻值，\$\Omega\$；\$\Delta R\$ 为电阻丝的电阻变化量，\$\Omega\$；\$U_r\$ 为比较器参考电压，V；\$U_2\$ 为比较器输出电压，V；\$U_m\$ 为同相输入端电压，V；\$U_n\$ 为反相输入端电压，V；\$U_1\$ 为放大器输出电压，V。
Note: \$R\$ is original resistance of strain gauge, \$\Omega\$; \$\Delta R\$ is resistance variation of resistance wire, \$\Omega\$; \$U_r\$ is reference voltage of comparator, V; \$U_2\$ is output voltage of comparator, V; \$U_m\$ is homo-phase input voltage, V; \$U_n\$ is reversed-phase input voltage, V; \$U_1\$ is output voltage of amplifier, V.

图 3 甘蔗种芽信号放大电路

Fig.3 Amplifying circuit of sugarcane buds signal

根据农艺要求，每段甘蔗种含有 2 个种芽^[6]，故必须对放大的种芽信号进行计数。考虑到从放大电路出来的是模拟信号，不能直接送入单片机执行计数操作。因此，在放大电路之后加入电压比较器（如图 3 所示），将模拟信号转换为电平形式输出，以满足单片机计数要求。

当应变片受力变形时，其电阻丝的电阻变化量 \$\Delta R\$ 的计算式如式（1）。

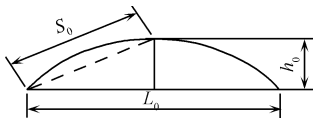
$$\Delta R = R \cdot K_s \cdot \varepsilon \quad (1)$$

式中：\$\Delta R\$ 为电阻丝的电阻变化量，\$\Omega\$；\$R\$ 为应变片初始电阻值，\$\Omega\$；\$\varepsilon\$ 为轴向应变，无量纲；\$K_s\$ 为灵敏系数，常数，一般为 1.7~3.6。

在本系统中，当芽经过并挤压应变片时，应变片会发生如图 4 所示的变形。根据图 4，应变片被拉伸后的长度的一半近似为 \$S_0\$：

$$S_0 = \sqrt{h_0^2 + \frac{L_0^2}{4}} \quad (2)$$

式中：\$S_0\$ 近似为应变片被拉伸后长度的一半，mm；\$h_0\$ 为应变片被芽顶起高度，mm；\$L_0\$ 为应变片金属丝原长，mm。



注：\$S_0\$ 近似为应变片被拉伸后长度的一半，mm；\$h_0\$ 为应变片被芽顶起的高度，mm；\$L_0\$ 为应变片金属丝的原长，mm。

Note: \$S_0\$ is approximate half of length of stretched strain gauge, mm; \$h_0\$ is height which is jacked by bud, mm; \$L_0\$ is original length of resistance wire of strain gauge, mm.

图 4 应变片在甘蔗径向上的变形量

Fig.4 Strain gauge's deformation of sugarcane's radial direction

则应变片轴向应变近似为：

$$\varepsilon \approx \frac{2S_0 - L_0}{L_0} = \left(2\sqrt{h_0^2 + \frac{L_0^2}{4}} \right) / L_0 - 1 \quad (3)$$

将式（3）代入式（1）得：

$$\Delta R = R \cdot K_s \left(\left(2\sqrt{h_0^2 + \frac{L_0^2}{4}} \right) / L_0 - 1 \right) \quad (4)$$

设电桥放大器的同相输入端电压为 \$U_m\$，反相输入端电压为 \$U_n\$，则：

$$U_n = U_1 \frac{R + 2R_1}{R + 2R_1 + 2R_2} + \frac{E \cdot R_2}{R + 2R_1 + 2R_2} \quad (5)$$

$$U_m = \frac{E(R + \Delta R)}{2R + \Delta R} \quad (6)$$

式中：\$U_n\$ 为反相输入端电压，V；\$U_1\$ 为放大器输出电压，V；\$R_1\$ 为调倍电阻，\$\Omega\$；\$R_2\$ 为调倍电阻，\$\Omega\$；\$E\$ 为桥路参考电压，V；\$U_m\$ 为同相输入端电压，V。

若放大器为理想工作状态，即 \$U_m = U_n\$，有：

$$U_1 = \frac{E(R + \Delta R)}{2R + \Delta R} + \frac{\Delta R \cdot E \cdot R_2}{(2R + \Delta R)(R + 2R_1)} \quad (7)$$

将式（4）代入式（7）得：

$$U_1 = \frac{E \left[R + 2R_1 + K_s \left(R + 2R_1 + R_2 \right) \left(2\sqrt{\frac{h_0^2}{L_0^2} + \frac{1}{4}} - 1 \right) \right]}{(R + 2R_1) \left[2 + K_s \left(2\sqrt{\frac{h_0^2}{L_0^2} + \frac{1}{4}} - 1 \right) \right]} \quad (8)$$

由上式可知，对于选定的应变片、\$R_1\$ 及给定的桥路参考电压，放大电路的输出电压与芽的高度及 \$R_2\$ 有关，调节 \$R_2\$ 阻值可以调节放大倍数。

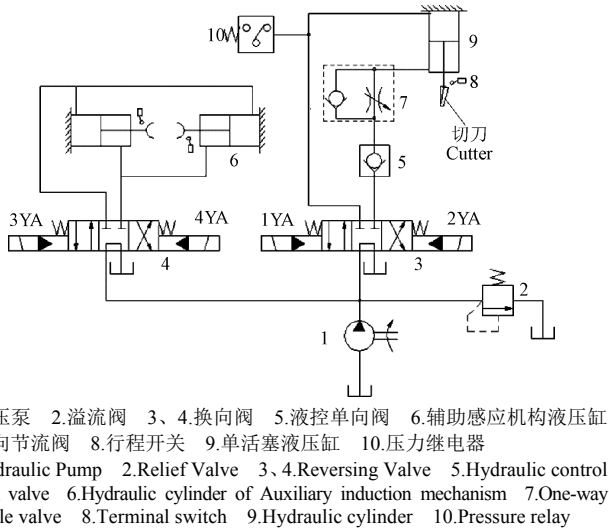
计数系统由单片机、LED 数码管组成。设电压比较器的参考电压为 \$U_r\$，若 \$U > U_r\$（\$U_r\$ 取值在性能试验部分给出），比较器输出高电平信号，单片机中断计数，计数情况由 LED 数码管显示。当计数达到 2，单片机发出控制信号控制切断刀动作，切下双芽段甘蔗种。此时计数清零，自动进入下一个计数循环。

2.3 液压回路的设计

图 5 为甘蔗种切割液压控制回路，本系统选用单活塞液压缸作为执行元件，其特点是单边有杆，双向液压驱动，双向推力和速度不等，从而能够控制切刀在竖直方向的往复动作，完成甘蔗切割动作。

液压缸切断刀须垂直安装，为防止切刀与活塞自重的作用造成失控、失速的不稳定运动，在液压缸的下腔回油路上加装一个单向节流阀，以保证活塞下行时，回油路上存在的背压能够平衡活塞与切刀的自重，从而使活塞能平稳的推动切刀完成切割动作，减少切割振动，降低甘蔗种切割破头率。

非切割状态下，各换向阀处于中位，活塞静止。每当主感应机构有信号输出时，单片机发出控制信号，触发继电器控制电磁铁 4YA 通电，换向阀 4 右位接入系统，两辅助感应机构活塞杆快速退回（防止重复计数），2 s 后再控制电磁铁 3YA 通电、4YA 断电（继续辅助检测）。



注: 1YA、2YA、3YA、4YA 为电磁铁代号。

Note: 1YA、2YA、3YA、4YA are code of electromagnet.

图 5 甘蔗种切割液压控制回路

Fig.5 Hydraulic control circuit of sugarcane cutting

当计数达到 2 后, 发出控制信号, 控制电磁铁 1YA 通电, 换向阀 3 左位接入系统, 液压泵向液压缸上腔供油, 推动活塞向下运动, 进入切割状态。

切割完成, 液压缸上腔油液压力上升到最大值时, 压力继电器发出电信号通过继电器控制电磁铁 1YA 断电、2YA 通电, 换向阀右位接入系统, 活塞带动切刀快退, 直至压下终点开关, 电磁铁 1YA、2YA 均断电, 换向阀处于中位, 系统卸载, 等待下一次切割控制信号。

3 受力及防伤芽分析

3.1 切割过程受力分析

当活塞杆推动切刀下行时, 向下输出的推力即为切刀对甘蔗的切割力 F 。

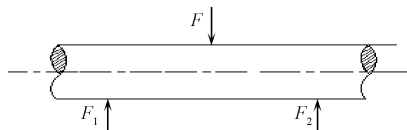
$$F = \frac{\pi}{4} [(p_1 - p_2) D^2 + p_2 \cdot d^2] \eta_m \quad (9)$$

式中: F 为切刀对甘蔗的切割力, N; p_1 为上腔进油压力, MPa; p_2 为下腔回油压力, MPa; η_m 为机械效率, %; D 为活塞直径, mm; d 为活塞杆直径, mm。

图 6 为切割过程受力分析图, 切割时, 若忽略甘蔗自身重力, 甘蔗茎杆主要受 3 个力作用: 切割力 F , 2 个 U 型支撑柱的支撑力 F_1 和 F_2 。切刀安装在 2 个 U 型支撑柱中心连线中点正上方 (如图 1 所示), 则:

$$F_1 = F_2 = \frac{F}{2} = \frac{\pi}{8} [(p_1 - p_2) D^2 + p_2 \cdot d^2] \eta_m \quad (10)$$

式中: F_1 和 F_2 分别为 2 个 U 型支撑柱的支撑力, N。



注: F 为切刀对甘蔗的切割力, N; F_1 和 F_2 为 2 个 U 型支撑柱的支撑力, N。
Note: F is cutting force which is forced by cutter, N; F_1 and F_2 are supporting force of two shores.

图 6 切割过程受力分析图

Fig.6 Force analysis of cutting process

由图 6 知, 在切割过程中, 甘蔗茎杆主要承受剪切力 F_s 的作用。

$$F_s = \frac{\pi}{8} [(p_1 - p_2) D^2 + p_2 \cdot d^2] \eta_m \quad (11)$$

则甘蔗茎杆承受的最大弯曲切应力:

$$\tau_{\max} = \frac{4F_s}{3A} = \frac{16}{3d_0^2} [(p_1 - p_2) D^2 + p_2 \cdot d^2] \eta_m \quad (12)$$

式中: F_s 为剪切力, N; τ_{\max} 为甘蔗茎杆承受最大弯曲切应力, MPa; A 为甘蔗截面积, mm^2 ; d_0 为甘蔗直径, mm。

根据已有的研究资料^[25-26], 蔗芯的许用剪切强度 $[\sigma_1]=0.45$ MPa, 蔗皮的许用剪切强度 $[\sigma_2]=2.25$ MPa, 一般甘蔗直径在 19~34 mm 之间。为防止切割过程中甘蔗种发生剪切破坏, 必须满足剪切强度条件:

$$\tau_{\max} \leq [\sigma] \quad (13)$$

式中: $[\sigma]$ 为许用剪切强度, MPa。

则可得:

$$\frac{16}{3d_0^2} [(p_1 - p_2) D^2 + p_2 \cdot d^2] \eta_m \leq [\sigma] \quad (14)$$

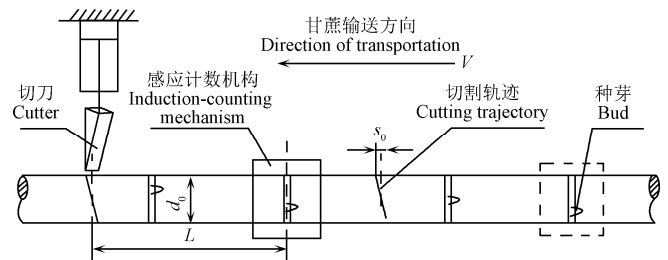
将相关参数代入式 (14) 可得:

$$(p_1 - p_2) D^2 + p_2 \cdot d^2 \leq \frac{30.5}{\eta_m} \quad (15)$$

因此, 在选择单活塞液压缸以及液压泵时, 其相关参数应满足式 (15), 以满足系统要求。

3.2 切割防伤芽分析

随机抽取 500 个“新台糖 22 号”甘蔗节间距样本, 测得其最大节间距为 104 mm, 最小节间距为 86 mm。对其进行切割防伤芽分析, 分析简图如图 7 所示。



注: d_0 为甘蔗直径, mm; s_0 为横向切割位移, mm; L 为感应机构到切刀的距离, mm。

Note: d_0 is diameter of sugarcane, mm; s_0 is transverse displacement of cutting, mm; L is distance between cutter and induction mechanism, mm.

图 7 甘蔗种切割防伤芽分析简图

Fig.7 Analysis of buds-injury-prevention in sugarcane-seeds cutting

当种芽计数达到 2 时, 即第 2 个种芽经过感应计数机构时, 需要立即发出控制信号控制切刀切下甘蔗种, 此时, 若要使切刀避开种芽, 则需满足: 感应机构到切刀的距离 L 应大于一倍节间距且小于 2 倍节间距, 根据测得的甘蔗节间距, 则在 2 种极限情况下可得:

$$86 < L_{\min} < 172, \quad 104 < L_{\max} < 208 \quad (16)$$

式中: L_{\min} 和 L_{\max} 分别为最小节间距和最大节间距下感应计数机构到切刀的距离, mm。

对其求交集得：

$$104 < L < 172 \tag{17}$$

式中： L 为感应计数机构到切刀的距离，mm。

即当感应机构与切刀的距离在 104~172 mm 范围内时，可以实现防伤芽功能。

由于本系统对甘蔗采取的是水平输送、垂直切割方式，原则上在即将进入切割状态时，应停止对甘蔗的继续向前输送，以降低甘蔗种的破头损伤率。但是控制输送辊停转与重新运转时会产生较大的惯性导致损伤种芽，且所需时间较长，综合考虑种植机的切割与作业效率，在切割时，甘蔗种将会被继续往前输送。

切割时，切割速度即活塞的下行速度 V_1 。

$$V_1 = \frac{q}{A_1} \eta_v = \frac{4q \cdot \eta_v}{\pi D^2} \tag{18}$$

式中： V_1 为切割速度即活塞的下行速度，m/s； q 为液压缸输入流量，L/min； A_1 为液压缸上腔有效面积，m²； η_v 为液压缸容积效率，%。

甘蔗主要受纵向的切割速度 V_1 和横向的输送速度 V 的作用，因此切割轨迹为一条斜线。但切割瞬间非常快，可近似为垂直切割，则切割时间 t 的计算式如式（19）。

$$t = \frac{d_0}{V_1} = \frac{\pi d_0 \cdot D^2}{4q \cdot \eta_v} \tag{19}$$

则横向切割位移 s_0 的计算式如式（20）：

$$s_0 = V \cdot t = \frac{\pi \cdot V \cdot d_0 \cdot D^2}{4q \cdot \eta_v} \tag{20}$$

式中： t 为切割时间，s； s_0 为横向切割位移，mm。

为降低甘蔗种的破头率，须使 s_0 尽可能小（一般不超过 6~9 mm）。从式（20）可知，对选定的液压缸，必须使输送速度 V 尽可能小。综合考虑种植机的作业效率，取 $V=0.3$ m/s。

4 性能试验

为验证所设计的基于感应计数甘蔗种切割防伤芽系统的计数与防伤芽性能，制造其物理样机（如图 8a 所示），并随机抽取 5 组（每组含 50 根甘蔗，平均长度为 2.1 m 左右）生长情况良好的广西区广泛种植的甘蔗种“新台糖 22 号”进行试验。利用样机切割后的甘蔗种的生长效果如图 8b 所示。由图 8b 可知，甘蔗发芽及生长情况良好，说明了本系统在切种的同时能够较好的保护种芽。

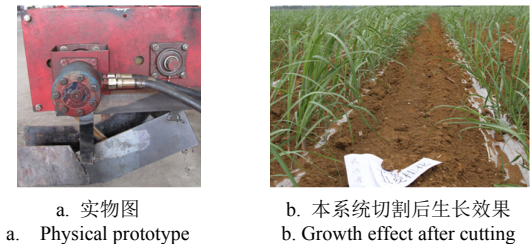


图 8 实物及试验效果图

Fig.8 Physical prototype and test results

试验时，为降低种芽的漏检率，需设置合理的参考

电压，若过小会使计数结果大于实际值；若过大会使计数结果小于实际值。通过多次试验，当参考电压为 2.9 V 时系统具有较高的精度。计数性能试验时，种植机停在原地，非作业状态下进行试验，只执行计数操作，不执行切割动作，采取无限计数模式，直至每组试验结束。试验结束后，将每组的实际种芽数与通过本系统所检测到的种芽数进行统计分析，如表 1 所示。

表 1 计数性能试验结果
Table 1 Results of buds-counting performance

试验号 Test number	甘蔗根数 Sugarcanes' number	实际种芽数 Actual number	测量种芽数 Detected number	准确率 Accuracy rate/%	平均准确率 Average accuracy rate/%
1	50	515	509	98.83	98.87
2	50	511	507	99.22	
3	50	503	499	99.21	
4	50	521	513	98.46	
5	50	509	502	98.62	

由表 1 可知，甘蔗种切割感应计数系统计数平均准确率高达 98.87%，漏检率小，可信度高。

为说明本系统防伤芽性能的优劣，设计了一组对比试验。试验机器是未配备防伤芽装置的南宁五菱桂花车辆有限公司的 2CZ-2 型多功能甘蔗种植机。试验时种植机的输送速度、切割速度需与本防伤芽系统一致。试验结束后，统计其伤芽率如表 2 所示。

表 2 物理样机和 2CZ-2 型多功能甘蔗种植机切割甘蔗种伤芽率统计表

Table 2 Buds-injury-rate of prototype mechanism and 2CZ-2 sugarcane planter

项目 Item	甘蔗根数 Sugarcanes' number	蔗种段数 Seeds' number	伤芽段数 Injuries' number	伤芽率 Injury rate/%	平均伤芽率 Average buds-injury- rate/%
物理样机 Prototype mechanism	50	257	5	1.95	1.57
	50	263	5	1.90	
	50	252	4	1.59	
	50	253	3	1.19	
	50	249	3	1.20	
2CZ-2 型多功能甘蔗种植机 2CZ-2 sugarcane planter	50	261	22	8.43	7.87
	50	265	24	9.06	
	50	259	20	7.72	
	50	257	19	7.39	
	50	251	17	6.77	

由表 2 可知，2CZ-2 型多功能甘蔗种植机切割蔗种的平均伤芽率为 7.87%，而本防伤芽系统的平均伤芽率为 1.57%，且较 2CZ-2 型甘蔗种植机降低了 6.3%，防伤芽性能效果显著。

5 结论

1) 针对目前甘蔗种植机切种伤芽率高的难题，以甘蔗种芽完好性为前提，并根据甘蔗种芽的物理特性以及相对于甘蔗茎杆凸起的特征，设计了一种基于感应计数的甘蔗种切割防伤芽系统。经验证，该系统能够满足预期设计要求。

2) 以广西地区广泛种植的“新台糖 22 号”甘蔗种作为研究对象, 对本系统进行防伤芽分析, 得到感应机构与切刀的距离应满足: $104\text{ mm} < L < 172\text{ mm}$ 。

3) 试验表明: 该系统能达到较高的计数精度, 且伤芽率低, 对种芽的计数准确率达 98.87%, 平均伤芽率为 1.57%, 较 2CZ-2 型甘蔗种植机降低了 6.3%, 效果显著, 可为甘蔗种植机的设计提高参考。

参考文献

- [1] 王晓鸣, 莫建霖. 甘蔗生产机械化现状及相关问题的思考[J]. 农机化研究, 2012, 34(10): 6—11.
Wang Xiaoming, Mo Jianlin. Current situation of sugarcane production mechanization in China and thinking on correlative problems[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2012, 34(10): 6—11. (in Chinese with English abstract)
- [2] 刘庆庭, 莫建霖, 李延化, 等. 我国甘蔗种植机技术现状及存在的关键技术问题[J]. 甘蔗糖业, 2011(5): 52—58.
Liu Qingting, Mo Jianlin, Li Yanhua, et al. Current situation of sugarcane planter and its key technical issues in China[J]. Sugarcane and Cane Sugar, 2011(5): 52—58. (in Chinese with English abstract)
- [3] 梁兆新, 李慧超. 广西甘蔗机械化发展战略[J]. 农机化研究, 2011, 33(12): 241—244.
Liang Zhaoxin, Li Huichao. The development strategg of sugarcane mechanization in Guangxi[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(12): 241—244. (in Chinese with English abstract)
- [4] Singh J, Singh A K, Sharma M P, et al. Mechanization of sugarcane cultivation in India[J]. Sugar Tech, 2011(4): 310—314.
- [5] 李明, 黄晖, 邓干然, 等. 甘蔗种植机械的研究现状与分析[J]. 农业机械, 2008(22): 40—42.
- [6] 林静. 甘蔗种植技术要点[J]. 农村实用技术, 2011(1): 46.
- [7] 齐龙, 蒋郁, 李泽华, 等. 基于显微图像处理的稻瘟病菌孢子自动检测与计数方法[J]. 农业工程学报, 2015, 31(12): 186—193.
Qi Long, Jiang Yu, Li Zehua, et al. Automatic detection and counting method for spores of rice blast based on micro image processing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(12): 186—193. (in Chinese with English abstract)
- [8] 李小龙, 马占鸿, 孙振宇, 等. 基于图像处理的小麦条锈病菌夏孢子模拟捕捉的自动计数[J]. 农业工程学报, 2013, 29(2): 199—206.
Li Xiaolong, Ma Zhanhong, Sun Zhenyu, et al. Automatic counting for trapped urediospores of Puccinia striiformis f. sp. tritici based on image processing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(2): 199—206. (in Chinese with English abstract)
- [9] Kurtulmus F, Kavdir I. Detecting corn tassels using computer vision and support vector machines[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(16): 7390—7397.
- [10] 张亚秋, 吴文福, 王刚. 基于逐步改变阈值方法的玉米种子图像分割[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 200—204.
Zhang Yaqiu, Wu Wenfu, Wang Gang. Separation of corn seeds images based on threshold changed gradully[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(7): 200—204. (in Chinese with English abstract)
- [11] 刘涛, 孙成明, 王力坚, 等. 基于图像处理技术的大田麦穗计数[J]. 农业机械学报, 2014, 45(2): 282—290.
Liu Tao, Sun Chengming, Wang Lijian, et al. In-field wheatear counting based on image processing technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(2): 282—290. (in Chinese with English abstract)
- [12] 王海燕, 张瑜慧. 基于机器视觉的颗粒识别计数[J]. 长春工程学院学报: 自然科学版, 2013, 14(4): 101—104.
Wang Haiyan, Zhang Yuhui. Particle identification count based on machine vision[J]. Journal of Changchun Institute of Technology: Natural Sciences Edition, 2013, 14(4): 101—104. (in Chinese with English abstract)
- [13] 苏威. 基于机器视觉的重叠类圆颗粒计数系统[D]. 镇江: 江苏大学, 2009.
Su Wei. A system for Counting Overlapped Quasi circular Granule by Machine Vision Technology[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2009. (in Chinese with English abstract)
- [14] 文韬, 洪添胜, 李立君, 等. 橘小实蝇成虫诱捕监测装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(11): 37—44.
Wen Tao, Hong Tiansheng, Li Lijun, et al. Design and experiment of trapping and monitoring device for adult bactrocera dorsalis (Hendel)[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2014, 30(11): 37—44. (in Chinese with English abstract)
- [15] 毛罕平, 刘伟, 韩绿化, 等. 对称传感结构的谷物清选损失监测装置研制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(7): 34—39.
Mao Hanping, Liu Wei, Han Lühua, et al. Design of intelligent grain cleaning losses monitor based on symmetry sensors[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(7): 34—39. (in Chinese with English abstract)
- [16] 宋初苏, 华娇, 蓝景针, 等. 转盘斜刮式光电自动数粒仪设计[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 89—92, 75.
Song Rengsu, Hua Jiao, Lan Jingzhen, et al. Design of turntable-inclined scratch style photoelectric instrument to automatically count granules[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 89—92, 75. (in Chinese with English abstract)
- [17] 王树才, 许绮川, 彭传友, 等. 单粒排种器单片机检测系统性能研究[J]. 华中农业大学学报, 1998, 17(1): 96—100.
Wang Shucai, Xu Qichuan, Peng Chuanyou, et al. Studies on the measurement of chip microprocessors system of single seed drill[J]. Journal of Huazhong Agricultural, 1998, 17(1): 96—100. (in Chinese with English abstract)
- [18] 张霖, 赵祚喜, 可欣荣, 等. 压电式种子计数系统压[J]. 农业机械学报, 2011, 42(8): 41—45.
Zhang Liin, Zhao Zuoxi, Ke Xinrong, et al. Seed-counting system design using piezoelectric sensor[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(8): 41—45. (in Chinese with English abstract)
- [19] 何有根. 基于图像识别的千粒重仪研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
He Yougen. Research on the Instrument of the Mass of 1 000 Based on Image Recognition[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2007. (in Chinese with English abstract)

- [20] 唐书喜, 罗昭宇, 黄亦其, 等. 甘蔗种切割防伤芽装置设计[J]. 农业开发与装备, 2011(5): 12—14.
- [21] 广西大学. 甘蔗切割防伤芽装置. 中国: 201220178848.X [P]. 2013-01-02.
- [22] 黄亦其, 王小波, 李晓峰, 等. 基于电阻式应变片的甘蔗种切割防伤芽系统[J]. 农机化研究, 2015, 37(2): 214—217. Huang Yiqi, Wang Xiaobo, Li Xiaofeng, et al. A sugarcane bud cutting injury prevention system based on the resistance strain gauge[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2015, 37(2): 214—217. (in Chinese with English abstract)
- [23] 丁志成. 工程测试技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 2004.
- [24] 元晓鹏. 基于 BL2000 嵌入式系统的电阻应变测量放大电路的设计[J]. 机电产品开发与创新, 2009, 22(3): 142—144. Qi Xiaopeng. Amplifier circuit design of the BL2000-based embedded systems resistance strain measurement[J]. Development & Innovation of Machinery & Electrical Products, 2009, 22(3): 142—144. (in Chinese with English abstract)
- [25] 黄汉东, 王玉兴, 唐艳芹, 等. 甘蔗切割过程的有限元仿真[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 161—166. Huang Handong, Wang Yuxing, Tang Yanqing, et al. Finite element simulation of sugarcane cutting[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(2): 161—166. (in Chinese with English abstract)
- [26] 乔曦. 基于计算机视觉的甘蔗种茎切割防伤芽系统的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2013. Qiao Xi. System of Sugarcane Cutting Device to Protect the Bud Based on Computer Vision[D]. Nanning: Guangxi University, 2013. (in Chinese with English abstract)

Design and experiments of buds-injury-prevention system based on induction-counting in sugarcane-seeds cutting

Huang Yiqi, Wang Xiaobo, Yin Kai, Huang Meizhang

(College of Mechanical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: At present, all of the sugarcane planting machines are not equipped with buds-injury-prevention mechanism and all of the machines have the problem of high injury rates of buds. In order to solve this problem, a buds-injury-prevention system based on induction-counting in sugarcane-seeds cutting was designed, which not only could detect and count the buds that were located at the sugarcanes with different diameters to make the planter meet the planting requirements, but also could ensure the integrity of buds to improve the yield of sugarcane. In this system, we had designed a resistive induction-counting mechanism which was used to convert the signal of protuberant sugarcane buds into electrical signal in the process of conveying the sugarcane seed. The electrical signal would be input into the voltage comparator to compare with the reference voltage after it was amplified by amplifying circuit. According to the result of comparison, the comparator would output a signal of high level or low level which would be input into MCU (micro control unit) to implement the counting operation of buds. Every sugarcane seed should contain 2 buds according to the agronomic requirements. When the count reached 2, the MCU would send out a control signal to trigger the relay to force the hydraulic pump to supply the hydraulic cylinder with oil by controlling the electromagnetic valve. For the cylinder was fixed, the piston would move down to push the cutter to cut off two-bud sugarcane-seed, and then the function of buds-injury-prevention could be achieved. When the cutting was completed, the piston would force the cutter to return quickly. Meanwhile, the MCU would reset the counter, and the system would get into the next circle of counting and cutting automatically. In order to optimize the performance of the system, the integrity of sugarcane seeds and buds should be the prerequisite. Having a force analysis and a buds-injury-prevention analysis on the cutting process of the system, the optimal installation distance between induction-counting mechanism and cutter could be determined, which could make sure that the cutter had completely avoided the buds when the counting was meeting the requirement. Then the buds-injury-prevention function during the cutting could be achieved. In order to verify the buds-counting and buds-injury-prevention performance of this system, the physical prototype of the system was manufactured. When conducting the test, the reference voltage should be set reasonably. Through a lot of experiments, the system could achieve high precision when the reference voltage was 2.9 V. In addition, to illustrate whether the buds-injury-prevention performance of the system is good or bad, a set of comparative tests needed to be designed. And the comparative test machine was 2CZ-2 multi-functional sugarcane planter from Nanning Wuling Guihua Vehicle Company, which was not installed with buds-injury-prevention system. The test results showed that the accuracy rate of buds counting of the system was 98.87%, while the average rate of the injury buds was 1.57% that was 6.3% lower than the 2Cz-2 sugarcane planter, which showed that the system's buds-injury-prevention performance was remarkable. The results can meet the design requirements and the research can provide a reference for the design of sugarcane planting machinery.

Key words: agriculture machinery; crops; design; sugarcane seed; induction device; counting; buds-injury-prevention