

## 割秧后花生收获机捡拾装置设计与试验

陈有庆, 胡志超<sup>\*</sup>, 王申莹, 曹明珠, 徐弘博, 王公仆, 颜建春

(农业农村部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

**摘 要:** 先将秧蔓切割再进行收获可较好地实现覆膜种植花生秧蔓饲料化利用。该研究针对割秧后花生植株变短、横向尺寸变小、荚果-秧蔓比增加, 原有收获机捡拾装置适应性差的问题, 在已有花生捡拾收获技术基础上, 对捡拾弹齿间距、弹齿转速、折弯角度、弹齿排数等关键结构和运动参数进行改进, 研制了一种适于割秧后收获的弹齿式花生捡拾装置。运用 SPSS 软件对割秧后花生植株横向尺寸进行统计分析, 确定了弹齿间距为 7 cm; 通过对花生植株低损捡拾和顺畅抛送条件的理论分析, 在回转半径为 21 cm 的条件下, 确定捡拾弹齿转速为 60 r/min; 通过对花生植株被弹齿捡起时的受力情况分析, 确定捡拾弹齿折弯角度为 102°, 并根据铺放厚度, 确定捡拾弹齿折弯部分长度为 4 cm; 建立捡拾弹齿齿尖运动方程, 运用 Matlab 软件对不同排数弹齿齿尖运动轨迹进行分析, 确定捡拾弹齿排数为 6 排。田间试验结果表明, 弹齿式花生捡拾装置的平均捡拾率为 98.07%, 捡拾装置造成的平均落果率为 1.23%; 满足割秧后花生捡拾收获作业需求。该研究可为割秧后花生以及其他作物捡拾收获机具研发和改进提供借鉴。

**关键词:** 农业机械; 收获; 试验; 花生; 割秧后收获; 捡拾装置

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.16.001

中图分类号: S225.7

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-16-0001-08

陈有庆, 胡志超, 王申莹, 等. 割秧后花生收获机捡拾装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2020, 36(16): 1-8. doi:

10.11975/j.issn.1002-6819.2020.16.001 <http://www.tcsae.org>

Chen Youqing, Hu Zhichao, Wang Shenyang, et al. Design and experiments of pickup device of peanut harvester after cutting peanut straws[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(16): 1-8. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.16.001 <http://www.tcsae.org>

### 0 引 言

花生是重要的油料作物<sup>[1-3]</sup>, 2018 年中国大陆花生种植面积 462 万  $\text{hm}^2$ , 产量 1 733 万  $\text{t}$ <sup>[4]</sup>, 在世界花生产业中占有重要地位<sup>[5]</sup>。一般花生秧蔓产量与荚果产量相当<sup>[6]</sup>, 即每年花生秧蔓产量约 1 700 万  $\text{t}$ 。由于地膜覆盖具有保温保墒、封闭杂草、提高农作物产量等效果, 因此中国花生广泛采用覆膜种植<sup>[7-8]</sup>, 据估算, 全国花生覆膜种植面积超过 233.3 万  $\text{hm}^2$ <sup>[9]</sup>, 覆膜种植花生秧蔓产量约 875 万  $\text{t}$ , 花生秧蔓是优良的畜禽饲料<sup>[10-11]</sup>。

针对覆膜种植花生秧蔓饲料化利用需求, 陈有庆等<sup>[12]</sup>提出了一种花生秧蔓和荚果兼收的“三段式”花生收获方式, 该收获方式可有效避免花生秧蔓中混入塑料薄膜。采用捡拾联合收获机进行捡拾摘果是花生“三段式”收获的重要环节, 捡拾装置是捡拾联合收获机的关键部件, 其作业效果直接影响整机作业性能<sup>[13]</sup>。

滚筒式弹齿捡拾装置由于具有体积小、捡拾性能好、适应性强等优点, 应用较普遍, 相关研究也较多。王国权等<sup>[14]</sup>对弹齿滚筒式捡拾器设计方案进行了计算机仿

真, 对弹齿滑道曲线进行了拟合。乌吉斯古楞<sup>[15]</sup>利用 Inventor 软件建立了弹齿式捡拾器运动仿真模型, 并对弹齿摆动规律、角速度和轨道受力进行了分析, 提出了利用“轨迹”反求轨道曲线的设计方法。郁志宏等<sup>[16]</sup>建立了捡拾遗漏率理论模型并进行了仿真, 利用 Matlab 编程对捡拾器结构参数进行了优化。近年来, 滚筒式弹齿捡拾装置已有在花生捡拾联合收获机上应用<sup>[17]</sup>。姚礼军等<sup>[18-19]</sup>运用 Box-Behnken 中心组合试验方法对弹齿式捡拾装置结构和工作参数进行了试验研究, 建立了响应面数学模型, 得到了各因素最优参数组合。许涛等<sup>[20]</sup>采用非支配排序遗传算法 NSGA-II 对弹齿、护板等进行了参数优化, 运用 Matlab 编程获得了滑道中心线轨迹, 通过 ADAMS 对弹齿式捡拾机构进行了运动学与动力学仿真, 并开展了性能试验, 获得了花生捡拾机构最优工作参数组合。王申莹等<sup>[21]</sup>在分析牧草和青储机捡拾机构基础上, 结合花生荚果和植株特性, 研发了一种弹齿式捡拾装置, 并开展了试验研究, 验证了弹齿式捡拾装置的作业质量和可靠性。综上, 国内已开展了将弹齿式捡拾装置用于花生捡拾收获的相关研究, 但对适用于割秧后花生植株的捡拾装置研究尚为空白。

目前已有的对谷物、牧草、油菜收获、残膜回收等捡拾装置的研究手段和研究方法可为本研究提供一定借鉴<sup>[22-26]</sup>。为解决现有花生捡拾联合收获机用于割秧后花生收获作业过程中存在漏捡、掉果的难题, 本文以团队研发的 4HZJ-3000 型捡拾联合收获机为基础, 设计了一种弹齿式捡拾装置, 并以捡拾率、落果率为作业指标开展田间试验, 以期对割秧后花生捡拾联合收获机研发和改进提供依据和借鉴。

收稿日期: 2020-04-29 修订日期: 2020-05-20

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项 (S201917); 国家现代农业花生产业技术体系 (CARS-13); 中国农业科学院科技创新工程  
作者简介: 陈有庆, 副研究员, 主要从事土下果实生产机械化技术与装备研究。Email: 89081229@qq.com

※通信作者: 胡志超, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事土下果实生产机械化技术与装备研究。Email: nfzhongzi@163.com

中国农业工程学会高级会员: 胡志超 (E041200498S)

## 1 整机结构与工作原理

4HZJ-3000 型花生联合收获机可 1 次收获 4 垄 8 行(发动机功率 92 kW, 作业幅宽 3 000 mm, 生产效率 0.6~1.8 hm<sup>2</sup>/h, 适用于大面积种植的花生收获), 其结构如图 1 所示, 主要包括滚筒式捡拾器、输送辊筒、摘果装置、清选装置、集果装置、行走机构、果箱、动力系统、驾驶室等部件。

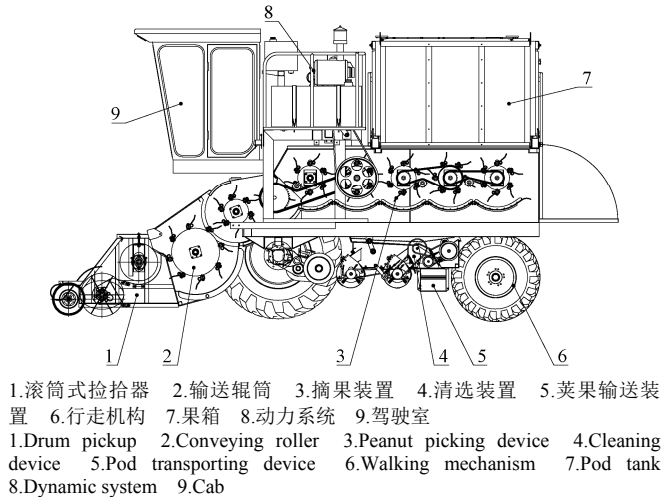


图 1 4HZJ-3000 型花生联合收获机结构

Fig.1 Structure of 4HZJ-3000 type peanut combine harvester

作业时, 铺放于田间的花生植株被滚筒式捡拾器捡起, 经过输送辊筒向后输送, 进入摘果装置, 在摘果装置旋转弹齿和固定凹板栅格的作用下, 花生荚果从植株上被摘下, 在清选装置风选和筛选作用下, 花生荚果被清选干净, 并被集果装置送入果箱, 花生秧蔓被排出机外铺放于田间或进入集草箱。

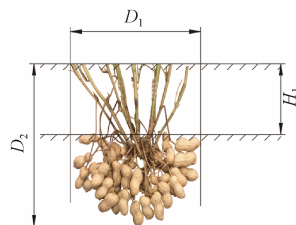
## 2 割秧后花生植株特性

割秧后花生是捡拾装置的作业对象, 主要由根部、荚果、留茬等组成。相比未割秧花生植株有显著区别, 即植株长度变短、横向尺寸变小、荚果-秧蔓比增大, 如图 2 所示。田间试验表明, 利用现有花生联合收获机的捡拾装置对割秧后花生进行捡拾作业, 捡不净、落果损失严重, 为此, 本文对现有捡拾装置进行改进, 重点对弹齿间距、弹齿转速、弹齿折弯角度、弹齿排数等结构和运动参数进行改进设计。



a. 割秧后花生植株

a. Peanut plant after cutting



b. 割秧后花生植株尺寸

b. Dimensions of the peanut plant

注:  $D_1$  为割秧后花生植株横向尺寸, cm;  $D_2$  为割秧后花生植株纵向尺寸, cm;  $H_1$  为留茬高度, cm。

Note:  $D_1$  is the transverse size of the peanut plant after cutting, cm;  $D_2$  is the vertical size of the peanut plant after cutting, cm;  $H_1$  is the height of stubble, cm.

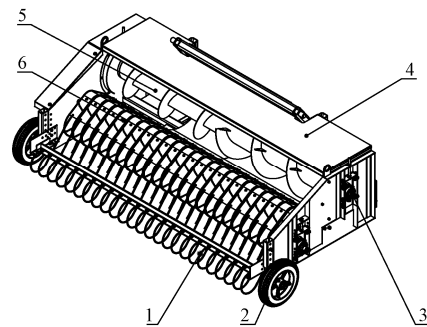
图 2 割秧后花生植株示意图

Fig.2 Schematic of peanut plant after cutting

## 3 滚筒式捡拾器

滚筒式捡拾器是花生联合收获机的重要部件, 用来完成花生植株的捡拾、输送作业。花生联合收获机滚筒式捡拾器主要由搅龙、捡拾装置、辅助导向栅、限深轮、机架等组成, 如图 3 所示, 作业时, 通过调整限深轮的高度来控制整个滚筒式捡拾器高度, 保证捡拾装置上的捡拾弹齿齿尖在回转过程中最低点离地面一定距离, 随着机具的前进, 花生植株在捡拾装置的作用下, 向上向后输送至搅龙, 再由搅龙将其自两侧向中间聚集, 送入后端的输送辊筒, 完成整个花生植株的捡拾作业。作业过程中, 为了防止捡拾弹齿将花生植株向前向上挑起而无法进入滚筒式捡拾器, 在捡拾装置前端配有高度可调的辅助导向栅。

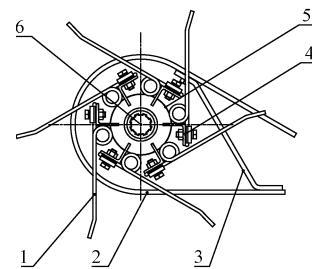
捡拾装置是滚筒式捡拾器的重要组成部分, 其设计的要求是: 捡拾干净, 同时防止打落花生荚果。该捡拾装置主要由捡拾弹齿、输秧板、支撑板、弹齿安装座、支座安装管、捡拾装置主轴等组成, 主要结构如图 4 所示。



1. 辅助导向栅条 2. 限深轮 3. 搅龙主轴 4. 机架 5. 搅龙 6. 捡拾装置  
1. Auxiliary guide piling 2. Depth wheel 3. Mainshaft of screw conveyor 4. Frame 5. Screw conveyor 6. Pickup device

图 3 滚筒式捡拾装置结构

Fig.3 Structure of drum type pickup device



1. 捡拾弹齿 2. 输送板 3. 支撑板 4. 弹齿安装座 5. 安装管 6. 主轴  
1. Pickup elastic tooth 2. Conveying plate 3. Support plate 4. Installation base of elastic tooth 5. Installing tube 6. Main shaft

图 4 捡拾装置结构

Fig.4 Structure of pickup device

针对割秧后花生植株特性及捡拾作业需求, 在前期田间试验基础上, 对弹齿间距、弹齿转速、弹齿折弯角度、弹齿排数等关键结构和运动参数进行优化。

### 3.1 弹齿间距确定

弹齿间距是指相邻 2 根弹齿之间的横向距离。田间试验发现, 花生植株的捡拾主要通过捡拾弹齿插入植株的分枝之间将其挑起而实现。为了将植株捡起, 应保证捡拾弹齿间距适宜, 间距过小, 设备制造难度增加, 成

本高；间距过大，则植株位于 2 根相邻的捡拾弹齿之间，弹齿无法挑到植株，造成漏捡，增加损失。

捡拾弹齿间距依据割秧后花生植株的横向尺寸确定。河南、山东、东北和新疆等地主要采用花生覆膜种植，因此选择上述主产区种植面积最广的典型花生品种开展割秧后花生植株尺寸测量。其中河南省代表品种为远杂 9102、罗汉果，山东省代表品种为海花 1 号、花育 19，东北地区的代表品种为阜花 8 号、锦花 5 号，新疆地区的代表品种为四粒红、花育 22。2018 年 8—10 月，分别在河南遂平、山东临沭、辽宁北镇、新疆沙湾典型花生种植区对割秧后花生植株横向尺寸进行了测量。为了将花生秧蔓充分利用，并尽可能减少因切秧而切断花生果柄，造成落果损失，切秧位置应高于花生结荚位置。在对上述品种花生结荚高度（均低于 12 cm）测量基础上，确定留茬高度  $H_1$  为 12 cm，利用剪刀进行人工割秧，每个花生品种测量 50 株，由于植株纵向尺寸包含了根长（花生植株根长一般大于 10 cm）和留茬高度，其尺寸明显大于植株横向尺寸，因此仅需满足横向尺寸大于捡拾弹齿间距，捡拾弹齿即可将其挑起。利用 SPSS 软件对测定结果进行统计分析，其中远杂 9102 品种花生横向尺寸频数统计结果如图 5 所示，其他 7 个品种花生横向尺寸频率

统计结果见表 1。8 个品种花生的横向尺寸均呈现近似正态分布，横向尺寸集中在 8.0~9.0 cm 之间，平均值大于 8.3 cm，横向尺寸最小值为 6.7 cm，共有 5 个横向尺寸小于或等于 7.5 cm，即 98.75% 的花生横向尺寸大于 7.5 cm，只要弹齿间距小于割秧后植株横向尺寸，理论上就能保证 98.75% 的花生植株至少能被 2 根捡拾弹齿挑到，因此本文设计弹齿间距为 7 cm。

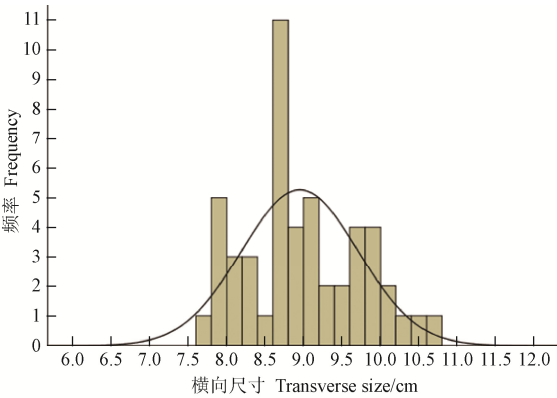


图 5 远杂 9102 花生横向尺寸统计直方图  
Fig.5 Histogram of statistics of transverse size of Yuanza 9102

表 1 7 个品种花生横向尺寸统计结果

Table 1 Statistical results of transverse size of 7 varieties of peanuts

品种 Varieties	平均值 Mean/cm	标准平均值误差 Standard mean error	中位数 Median number	众数 Modal number	标准偏差 Standard deviation	方差 Variance	偏度 Skewness	标准偏度误差 Standard deviation error	峰度 Kurtosis	标准峰度误差 Standard kurtosis error	最小值 Minimum/cm	最大值 Maximum/cm
罗汉果 Luohanguo	8.332	0.064 55	8.2	7.9	0.456 45	0.208	0.836	0.337	-0.142	0.662	7.8	9.6
海花 1 号 Haihua 1	9.016	0.076 2	8.95	8.9	0.538 84	0.29	-0.04	0.337	-0.027	0.662	7.8	10.2
花育 19 Huayu 19	8.864	0.086 56	8.9	8.9	0.612 04	0.375	-0.013	0.337	-0.224	0.662	7.6	10.5
阜花 8 号 Fuhua 8	8.310	0.055 05	8.3	8.00 <sup>a</sup>	0.389 27	0.152	-0.133	0.337	0.088	0.662	7.2	9.1
锦花 5 号 Jinhua 5	8.330	0.052 93	8.2	8.1	0.374 3	0.14	0.633	0.337	-0.675	0.662	7.8	9.2
四粒红 Silihong	8.402	0.076 37	8.45	8.7	0.540 03	0.292	-0.459	0.337	2.596	0.662	6.7	9.9
花育 22 Huayu 22	8.382	0.076 60	8.2	8	0.541 61	0.293	0.809	0.337	0.632	0.662	7.2	9.9

注：a 表示存在多个众数，表中为最小值。  
Note: a indicates that there are multiple modal numbers and the minimum is in the table.

3.2 弹齿转速设计

为了将花生植株捡起，避免弹齿向前推动花生植株以及弹齿高速打击荚果，造成荚果脱落，需要确定弹齿齿尖线速度。弹齿齿尖线速度不仅与弹齿回转半径有关，在回转半径确定的情况下，弹齿齿尖线速度还取决于弹齿转速。在机具前进速度确定的情况下，如果弹齿转速过小，则难以将花生植株捡起，并将推动花生植株，使植株与地面产生摩擦，造成荚果脱落；弹齿转速过大，对花生荚果打击强度大，造成荚果脱落，且捡拾装置可靠性变差。因此，弹齿转速对花生植株捡拾效果至关重要。弹齿运动轨迹是联合收获机前进运动与弹齿回转运动的合成运动。要实现有效捡拾，减少植株与地面的拖拽摩擦，降低落果率，且在捡拾弹齿回转运动到离地最

高点要满足向后抛送植株的条件，即在最高点具有向后的合成速度，需要满足弹齿齿尖速度与联合收获机前进速度的比值  $\lambda > 1$ ，即

$$\omega R > v_j \tag{1}$$

式中  $\omega$  为捡拾弹齿角速度，rad/s； $R$  为弹齿回转半径，mm； $v_j$  为捡拾联合收获机前进速度，m/s。

参考具有捡拾功能的牧草捡拾打捆机、油菜捡拾收获机等机具前进速度<sup>[23-24,27]</sup>，设计  $v_j=1.3$  m/s，即

$$\omega R > 1.3 \tag{2}$$

由此有：

$$n_i > \frac{60v_j}{2\pi R} \tag{3}$$

式中  $n_i$  为捡拾弹齿转速，r/min。



现有花生联合收获机捡拾弹齿回转半径为 26 cm, 由于割秧后花生植株高度减小, 应减小弹齿回转半径, 以缩短捡拾、升举距离, 结合前期田间试验, 设计  $R$  为 21 cm, 将其代入式 (3), 可得捡拾弹齿转速  $>59.14$  r/min。

同时, 割秧后的花生植株, 由于缺少了花生秧蔓的“保护”, 增加了捡拾弹齿直接击打到花生荚果的概率, 如果捡拾弹齿转速过大, 容易将花生荚果打落, 导致落果损失增加。因此, 为了实现花生植株有效捡拾, 又尽量减小捡拾弹齿对花生植株的击打力度, 要求捡拾弹齿转速尽量小, 取  $n_t=60$  r/min。

### 3.3 弹齿折弯角度确定

生产应用表明, 捡拾装置的捡拾弹齿折弯一定角度有利于提高捡拾率。通过对被捡拾装置捡起的花生植株进行受力分析, 可计算出适宜的弹齿折弯角度。由于割秧后花生植株尺寸相对于弹齿的回转半径小, 可将其简化为一个质点, 花生植株被弹齿挑起时, 其受力情况如图 6 所示。

为保证捡拾弹齿上的花生植株在捡拾过程中不脱落, 植株与捡拾弹齿间的摩擦力要大于植株重力和离心力在弹齿端部的分力之和, 即植株被捡起时的必要条件为

$$F_f \geq G \cos \beta + F_r \cos \gamma \quad (4)$$

其中

$$F_f = \mu F_N \quad (5)$$

式中  $F_f$  为花生植株被挑起时所受的摩擦力, N;  $G$  为花生植株所受重力, N;  $\beta$  为捡拾弹齿折弯段与重力方向的夹角, ( $^\circ$ );  $F_r$  为花生植株被挑起时所受的离心力, N;  $\gamma$  捡拾弹齿折弯段与离心方向的夹角, ( $^\circ$ );  $\mu$  为花生植株与捡拾弹齿之间的摩擦系数;  $F_N$  为花生植株被挑起时由弹齿对其施加的推力, N。

根据几何关系有:

$$\beta = 180^\circ - \alpha \quad (6)$$

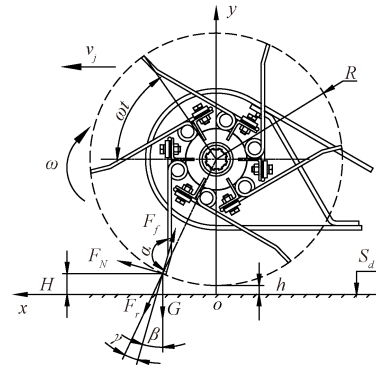
式中  $\alpha$  为捡拾弹齿折弯角度, ( $^\circ$ )。

根据作用力与反作用力原理可得

$$F_N = G \sin \beta - F_r \sin \gamma \quad (7)$$

由式 (4)、(5)、(6)、(7) 可得

$$\mu G \sin \beta - \mu \omega^2 R \sin \gamma > G \cos \beta + \mu \omega^2 R \cos \gamma \quad (8)$$



注:  $h$  为捡拾弹齿齿尖最小离地高度, mm;  $H$  为花生植株铺放厚度, mm;  $S_d$  为地面。  
Note:  $h$  is minimum height between tip and ground, mm;  $H$  is laying thickness, mm;  $S_d$  is the ground.

图 6 花生植株受力和捡拾弹齿运动分析

Fig.6 Force analysis of peanut plant and motion analysis of elastic tooth

在对割秧后花生植株横向尺寸测量的同时, 对花生植株铺放厚度  $H$  进行了测量。为了将花生秧蔓充分利用, 并尽可能减少因切秧而切断花生果柄造成落果损失, 按照留茬高度为 12 cm 进行人工切秧, 再利用当地的花生挖掘收获机进行挖掘、清土、铺放作业, 晾晒 4 d 后, 随机抽取 5 个小区, 对自然铺放状态下的不同品种花生植株铺放厚度  $H$  进行测量, 每个品种测量 50 次, 不同品种花生铺放厚度最小值见表 2。

表 2 不同品种花生铺放厚度最小值

Table 2 Minimum thickness of peanut plant for different varieties

品种 Variety	远杂 9102 Yuanza 9102	罗汉果 Luohanguo	海花 1 号 Haihua 1	花育 19 Huayu 19	卓花 8 号 Fuhua 8	锦花 5 号 Jinhua 5	四粒红 Silihong	花育 22 Huayu 22
铺放厚度最小值 Minimum laying thickness /mm	37	42	46	50	39	41	44	47

由表 2 可知, 8 个花生品种中, 远杂 9102 割秧后植株铺放厚度最小, 为 37 mm。

因此

$$\beta + \gamma = \arccos[(R + h - H)/R] = 29.38^\circ \quad (9)$$

$$\gamma = 29.38^\circ - \beta = \alpha - 150.72^\circ \quad (10)$$

根据文献[28]:

$$\mu = \tan 24.7^\circ \approx 0.46 \quad (11)$$

将式 (10) 和  $\mu$  值代入式 (8), 可得捡拾弹齿折弯角度  $\alpha$  为  $101.27^\circ$ , 圆整为  $102^\circ$ 。弹齿折弯部分的长度应大于花生植株铺放厚度, 即大于 37 mm, 考虑到部分花生植株有堆叠现象, 取弹齿折弯部分的长度为 4 cm。

### 3.4 弹齿排数确定

弹齿齿尖相对于捡拾装置的运动轨迹为回转运动,

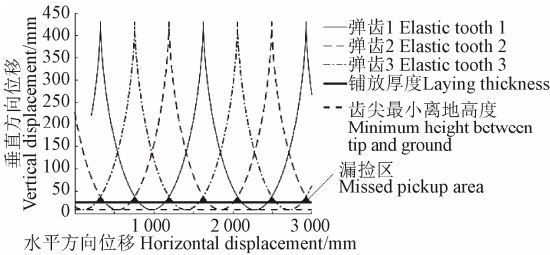
随着联合收获机的前进, 弹齿齿尖的圆形运动轨迹变成相互交错的运动轨迹, 形成了漏捡区。为提高捡拾率, 漏捡区要控制在合理范围。漏捡区的大小主要由联合收获机前进速度、捡拾弹齿回转速度、捡拾弹齿排数决定。通过对捡拾弹齿齿尖  $A$  点的运动轨迹进行分析 (如图 6), 建立捡拾弹齿齿尖  $A$  点的运动轨迹方程

$$\begin{cases} x = v_j t + R \cos \omega t \\ y = R + h + R \sin \omega t \end{cases} \quad (12)$$

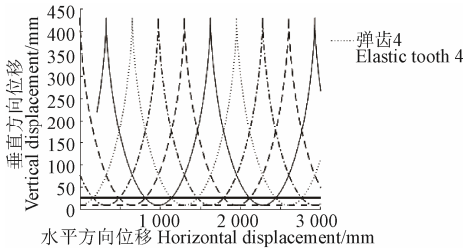
式中  $x$  为捡拾弹齿的水平位移, mm;  $y$  为捡拾弹齿的纵向位移, mm。

运用 Matlab 软件对不同排数弹齿齿尖运动轨迹进行计算。其中  $v_j$  为 1.3 m/s,  $R$  为 210 mm,  $h$  为 10 mm, 捡拾弹齿回转角速度  $\omega$  为  $2\pi$  rad/s, 不同排数弹齿齿尖运动

轨迹如图 7 所示。理论上捡拾弹齿齿尖运动轨迹将花生植株铺放厚度线全部包含，也即花生植株全部能被捡拾弹齿挑到，即可认为捡拾弹齿能将花生植株捡起，由图 7 可见，3 排弹齿无法保证花生植株全部被捡拾弹齿挑到，而 4 排弹齿即可将花生植株全部挑到。因此，捡拾弹齿排数应≥4。该弹齿排数是基于花生植株铺放厚度而计算得到的，因品种、长势等区别，在实际生产中，割秧后花生植株铺放厚度存在差异，结合多次田间试验，并综合考虑弹齿排数过多会增加对荚果的击打次数，导致落果损失增大等，设计捡拾弹齿排数为 6 排。



a. 3 排捡拾弹齿  
a. Movement trajectories of elastic tooth tips of 3 rows



b. 4 排捡拾弹齿  
b. Movement trajectories of elastic tooth tips of 4 rows  
图 7 不同排数弹齿齿尖运动轨迹

Fig.7 The elastic tooth tip movement trajectories of different rows

4 田间性能试验

根据设计结果，改进试制弹齿式捡拾装置，为了与 4HZJ-3000 型花生联合收获机配套，捡拾装置有效作业幅宽设计为 3 000 mm。前述可知，在满足弹齿间距小于花生横向尺寸情况下，花生植株铺放厚度越小就越不容易被捡拾，根据田间测试结果，割秧后远杂 9102 花生植株的铺放厚度最小，最不利于捡拾作业，同时由于河南省是中国花生种植面积最大的省份，因此选择在河南地区、以远杂 9102 花生为试验对象开展田间验证试验。

4.1 试验条件

2019 年 9 月 16—22 日，在河南省驻马店市遂平县文城乡花生地进行试验。参照 GB/T 5262—2008《农业机械试验条件测定方法的一般规定》<sup>[29]</sup>，对花生田间状况进行测定。土壤为壤土，种植模式为单垄双行覆膜种植，垄距 760 mm，株距 14~19 mm，平均株高 496 mm，平均根长 113 mm，产量约 4 500 kg/hm<sup>2</sup>。先采用手扶式割晒机将花生秧蔓切断，留茬高度平均为 131 mm，之后将切下的花生秧蔓人工移出，再采用花生挖掘收获机对割秧后的花生植株进行挖掘、清土和铺放，晾晒 4 d，植株含水率降至约 22%，采用联合收获机进行收获作业。

4.2 试验设计与方法

参照 NY/T 502—2016《花生收获机 作业质量》<sup>[30]</sup>和 NY/T 2204—2012《花生收获机械 质量评价技术规范》<sup>[31]</sup>，选取捡拾率、落果率为试验指标。在花生捡拾联合收获机作业区内，随机抽取 5 个小区进行测试，每个小区长度为 50 m，宽度为作业幅宽。联合收获机的档位为作业档Ⅱ档，通过调节油门大小（油门可锁定）控制前进速度和弹齿转速，用秒表记录时间，计算出每次试验的机具平均前进速度。每次试验后，将集草箱中的花生秧蔓、粮仓中的花生荚果以及掉落的花生秧果进行称量，计算每次试验的平均喂入量。

4.2.1 捡拾率测定

待机具达到稳定工作状态后，在每个小区内沿机具作业方向随机选取长度为 10 m 的测试区进行测试。重复 5 次，取平均值，根据公式（13），计算捡拾率。

$$r_j=(m-m_1)/m\times100\% \tag{13}$$

式中  $r_j$  为捡拾率，%； $m$  为花生果秧总质量，kg； $m_1$  为漏检的花生果秧质量，kg。

4.2.2 落果率测定

为排除联合收获机清选、提升等装置产生的落果对试验结果的影响，在小区内随机停车，停止作业，选取捡拾台到荚果清选装置之间、长度为 3m、宽度为机具作业幅宽作为测试区。试验前，需要测试自然落果率和由挖掘机造成的落果率。共做 5 组测试，取平均值。

$$r_{l1}=m_2/m_3\times100\% \tag{14}$$

$$r_l=r_{l1}-r_{l2}-r_{l3} \tag{15}$$

式中  $r_l$  为捡拾引起的落果率，%； $r_{l1}$  为测试区内总落果率，%； $m_2$  为地面落果质量，g； $m_3$  为试验荚果总质量，g； $r_{l2}$  为自然落果率，%； $r_{l3}$  为挖掘机造成的落果率，%； $r_{l2}$ 、 $r_{l3}$  参考 NY/T 502—2016《花生收获机 作业质量》<sup>[30]</sup>进行测试。

4.3 试验结果与分析

弹齿式捡拾装置的性能试验结果如表 3 所示。

表 3 割秧后花生收获捡拾装置田间试验结果

Table 3 Field test result of the pickup device of peanut harvester after cutting stalks

试验序号 Test No.	前进速度 Forward speed/(m·s <sup>-1</sup> )	喂入量 Feeding rate/(kg·s <sup>-1</sup> )	捡拾率 Pickup rate/%	落果率 Pod drop rate /%
1	0.76	1.21	98.19	1.12
2	0.99	1.69	98.05	1.37
3	1.17	1.90	98.27	1.25
4	1.31	2.27	97.90	1.09
5	1.50	2.58	97.93	1.33
平均 Mean	1.15	1.93	98.07	1.23
设计要求 Design requirements			≥96.00	≤3.00

由表 3 可知，弹齿式捡拾装置对割秧后花生植株的平均捡拾率为 98.07%、捡拾装置造成的平均落果率为 1.23%，满足割秧后花生捡拾收获作业需求。

试验发现，造成捡拾不净的原因主要有 2 点：一是地面不平整，造成少部分花生植株被手扶式割晒机切得过短，捡拾收获时，过短的花生植株正好位于 2 根捡拾

弹齿之间,造成漏捡;二是由于捡拾收获试验前,拖拉机挂接花生挖掘收获机进行了挖掘收获作业,拖拉机轮胎碾压地面形成了浅沟,掉落在浅沟里的花生植株无法被拾起,造成漏捡。

试验还发现,造成落果的原因主要有 3 点:一是因为试验前连续阴雨天气,影响了花生适时收获,造成部分花生果柄腐烂、强度降低,受到外力作用极易掉落;二是由于割秧后花生荚果缺少了花生秧蔓的“保护”,增大了弹齿直接击打到荚果的几率;三是由于少部分花生植株无法一次性被捡拾弹齿捡起,需要连续捡拾 2~3 次,多次捡拾、击打造成了落果增加。

## 5 结 论

1) 针对目前尚无适用于割秧后花生收获作业的捡拾装置,以自走式花生捡拾联合收获机为基础,设计了一种弹齿式捡拾装置。重点对捡拾装置的弹齿间距、弹齿转速、弹齿折弯角度、弹齿折弯部分长度、弹齿排数关键结构和运动参数进行设计,确定了弹齿间距为 7 cm,弹齿回转半径为 21 cm,弹齿转速为 60 r/min,弹齿折弯角度为 102°,折弯部分长度为 4 cm,弹齿排数为 6 排。

2) 田间试验结果表明,所设计的弹齿式捡拾装置平均捡拾率可达 98.07%,平均落果率为 1.23%。捡拾不净的主要原因为割秧后少量花生植株过短和地块不平整导致弹齿够不到花生植株;落果原因主要为花生果柄腐烂、强度降低、捡拾弹齿直接击打和多次击打导致荚果掉落。

### [参 考 文 献]

- [1] 胡志超. 半喂入花生联合收获机关键技术研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.  
Hu Zhichao. Study on Key Technologies of Half-Feed Peanut Combine Harvester[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [2] 王建楠, 刘敏基, 胡志超, 等. 花生种子带式清选设备关键作业参数优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(23): 33-41.  
Wang Jiannan, Liu Minji, Hu Zhichao, et al. Optimization of key working parameters of belt separator for peanut seeds[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(23): 33-41. (in Chinese with English abstract)
- [3] 陈有庆, 顾峰玮, 吴峰, 等. 我国花生机械化收获科技创新概况与发展思考[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(22): 19-23.
- [4] Production and yield quantities of groundnut with shell in China mainland. Faostat[EB/OL]. (2020-03-17)[2020-04-27]. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>.
- [5] 高连兴, 陈中玉, Charles Chen, 等. 美国花生收获机械化技术衍变历程及对中国的启示[J]. 农业工程学报, 2017, 33(12): 1-9.  
Gao Lianxing, Chen Zhongyu, Charles Chen, et al. Development course of peanut harvest mechanization technology of the United States and enlightenment to China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(12): 1-9. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王晓玉, 薛帅, 谢光辉. 大田作物秸秆量评估中秸秆系数取值研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 1-8.  
Wang Xiaoyu, Xue Shuai, Xie Guanghui. Value-taking for residue factor as a parameter to assess the field residue of field crops[J]. Journal of China Agriculture University, 2012, 17(1): 1-8. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张丹, 胡万里, 刘宏斌, 等. 华北地区地膜残留及典型覆膜作物残膜系数[J]. 农业工程学报, 2016, 32(3): 1-5.  
Zhang Dan, Hu Wanli, Liu Hongbin, et al. Characteristics of residual mulching film and residual coefficient of typical crops in North China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(3): 1-5. (in Chinese with English abstract)
- [8] 徐弘博, 胡志超, 吴峰, 等. 网链式花生地残膜回收机设计与试验[J]. 农业工程学报, 2017, 33(17): 1-9.  
Xu Hongbo, Hu Zhichao, Wu Feng, et al. Design and experiment of network chain type residual plastic film collector for peanut field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(17): 1-9. (in Chinese with English abstract)
- [9] 严昌荣, 何文清, 刘爽, 等. 中国地膜覆盖及残留污染防治[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [10] 赵小伟, 卜登攀, 张佩华, 等. 青贮花生秧在饲料中的应用[J]. 中国饲料, 2019, 9: 30-32.
- [11] 刘纪成, 张敏, 刘佳, 等. 花生秸秆在畜禽生产中的利用现状及其生物发酵技术[J]. 中国饲料, 2017, 20: 36-38.
- [12] 陈有庆, 曹明珠, 胡志超, 等. 农业部南京农业机械化研究所. 一种适用于覆膜种植的花生机械化收获方法: 201810826309.4[P]. 2018-07-25.
- [13] 王申莹, 胡志超, 吴峰, 等. 全喂入花生捡拾收获机喂入量建模与试验[J]. 农业工程学报, 2019, 35(23): 29-36.  
Wang Shenyang, Hu Zhichao, Wu Feng, et al. Modeling and experiment of feeding rate for full-feed peanut pickup harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(23): 29-36. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王国权, 余群, 卜云龙, 等. 秸秆捡拾打捆机设计及捡拾器的动力学仿真[J]. 农业机械学报, 2001, 32(5): 59-61, 68.  
Wang Guoquan, Yu Qun, Bu Yunlong, et al. Design of

- pickup baler and dynamic simulation of pickup roller[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001, 2(5): 59-61, 68. (in Chinese with English abstract)
- [15] 乌吉斯古楞. 弹齿滚筒式牧草捡拾器运动仿真及性能参数的试验研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2010.
- Wujisiguleng. Simulation and Experimental Study on Performance Parameters of Spring-tooth Grass Pick up Roller[D]. Huhhot: Inner Mongolia Agriculture University, 2010. (in Chinese with English abstract)
- [16] 郁志宏, 淮守成, 王文明. 基于弹齿轨迹的滚筒式牧草捡拾器遗漏率及工作参数优化[J]. 农业工程学报, 2018, 34(4): 37-43.
- Yu Zhihong, Huai Shoucheng, Wang Wenming. Leakage rate and optimization of working parameters for cylinder pickup collector based on spring-finger trajectory[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(4): 37-43. (in Chinese with English abstract)
- [17] 陈中玉, 高连兴, Chen Charles, 等. 中美花生收获机械化技术现状与发展分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(4): 1-21.
- Chen Zhongyu, Gao Lianxing, Chen Charles, et al. Analysis on technology status and development of peanut harvest mechanization of China and the United States[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(4): 1-21. (in Chinese with English abstract)
- [18] 姚礼军, 胡志超, 王申莹, 等. 花生捡拾联合收获机捡拾装置参数优化及试验[J]. 农机化研究, 2017, 12: 112-118, 129.
- Yao Lijun, Hu Zhichao, Wang Shenyong, et al. Experiment and parameters optimization for pickup mechanism of peanut harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2017, 12: 112-118, 129. (in Chinese with English abstract)
- [19] 姚礼军. 花生全喂入收获捡拾台试验研究及机构优[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2017.
- Yao Lijun. Experiment Study on Full-Feed Pickup Header of Peanut Combine and Mechanism Optimization[D]. Hefei: Anhui Agriculture University, 2017. (in Chinese with English abstract)
- [20] 许涛, 沈永哲, 高连兴, 等. 基于两段收获的弹齿式花生捡拾机构研究 [J]. 农业机械学报, 2016, 47(3): 90-97, 111.
- Xu Tao, Shen Yongzhe, Gao Lianxing, et al. Spring-finger peanut pickup mechanism based on two-stage harvest[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(3): 90-97, 111. (in Chinese with English abstract)
- abstract)
- [21] 王申莹, 胡志超, 徐弘博, 等. 全喂入式花生捡拾收获机捡拾输送装置研制[J]. 农业工程学报, 2019, 35(19): 20-28.
- Wang Shenyong, Hu Zhichao, Xu Hongbo, et al. Development of pickup and conveyor device for full-feed peanut pickup harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(19): 20-28. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李树君. 农作物秸秆收集技术与装备[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [23] 杨世坤, 苏正范. 饲草生产机械与设备[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- [24] 吴崇友. 齿带式油菜捡拾收获机设计与参数优化[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- Wu Chongyou. Design and Parameter Optimization of Tooth-Belt-Pickup Combine for Oilseed Rape Harvest[D]. Nanjing: Nanjing Agriculture University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [25] 谢建华, 侯树林, 付宇, 等. 残膜回收机弹齿式拾膜机构运动分析与试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(S1): 94-99.
- Xie Jianhua, Hou Shulin, Fu Yu, et al. Motion analysis and experiment on spring-tooth mulching plastic film collector[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(S1): 94-99. (in Chinese with English abstract)
- [26] 王东伟, 王延耀, 尚书旗, 等. 大型花生捡拾摘果收获机的研究与分析[C]//中国农业工程学会(CSAE). 中国农业工程学会 2011 年学术年会论文集, 中国农业工程学会, 2011: 90-95.
- [27] 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册: 下册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007.
- [28] 许涛. 弹齿式花生捡拾装置设计及试验[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- Xu Tao. Design and Experiment Study on the Spring-Finger Type of Peanut Pickup Device[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2016. (in Chinese with English abstract)
- [29] 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.
- [30] 中华人民共和国农业部. 花生收获机 作业质量: NY/T 502-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [31] 中华人民共和国农业部. 花生收获机械 质量评价技术规

范: NY/T 2204-2012[S]. 北京: 中国农业出版社, 2013.

## Design and experiments of pickup device of peanut harvester after cutting peanut straws

Chen Youqing, Hu Zhichao<sup>\*</sup>, Wang Shenyong, Cao Mingzhu, Xu Hongbo, Wang Gongpu, Yan Jianchun

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

**Abstract:** Peanut straw is excellent feed for animals. In order to realize the animal feed utilization of peanut straw planted with plastic film, a "three-step" harvesting method (cutting-digging-picking and harvesting) was put forward. Specifically, peanut straws are cut before digging to shorten the peanut plant, reduce the transverse size and increase the pod-straw ratio, which is conducive to the harvest operation. At present, there is no suitable pickup device for peanut harvest after cutting straws. Based on the existing peanut combine harvesting techniques, an elastic-tooth pickup device was designed in this paper. As an important part of peanut combine harvester, the elastic-tooth pickup device was mainly composed of pickup elastic tooth, conveying plate, support plate, installation base of pickup elastic tooth, installing tube, main shaft, etc. The transverse sizes of the post-cutting peanut plants were analyzed by using SPSS software, and the separation distance of the neighboring elastic teeth was determined as 7 cm. Based on the theoretical analysis of the conditions of peanut plants picking and throwing, radius of gyration and rotating speed of the elastic tooth determined as 21 cm and 60 r/min, respectively. Through the analysis of the stress situation during the peanut plant picking, the bending angle of the pickup elastic tooth and the length of the bending part were determined to be 102° and 4 cm, respectively. Through analysis of the movement trajectory of the pickup elastic tooth tips by using Matlab software, the movement trajectory of different rows of elastic tooth tips was calculated, the row number of elastic tooth was determined to be 6. Finally, field experiments of the peanut pickup device were carried out. The results showed that the pickup rate was 98.07%, and the drop rate caused by the pickup device was 1.23%, the operation performance of the pickup device met the requirements of peanut pickup harvest after cutting straws. During operation, there were two main reasons for missing picking, firstly, a small amount of peanut plants after cutting were too short and dropped to the ground from the elastic teeth gap; secondly, during the digging operation, some shallow ditches were formed when the tractor tires rolled on the ground, the peanut plants falling in the shallow ditches could not be picked up, resulting in missing picking. There were three main reasons for the pod drop, firstly, some peanut straws decayed and straws strength decreased; secondly, the peanut pod after straws cutting lost the "protection" of peanut vine, which increased the probability of the elastic teeth hitting the pod directly; thirdly, because a small number of peanut plants could not be picked up at one time, and need to be picked up for 2-3 times continuously, multiple picking and beating increased the drop of pod. This study can provide a basis and reference for the development and improvement of the pickup harvest technique for peanut and other short crops.

**Keywords:** agricultural machinery; harvest; experiments; peanut; harvest after cutting straws; pickup device