



全伟, 马紫涛, 石方刚, 高晨, 吴明亮. 2BHG-160型花生播种机关键部件设计与试验[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(03): 164-174.

QUAN Wei, MA Zitao, SHI Fanggang, GAO Chen, WU Mingliang. Design and experiment of the key components of 2BHG-160 peanut planter[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(03): 164-174.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.03.15

2BHG-160型花生播种机关键部件设计与试验

全伟¹ 马紫涛² 石方刚² 高晨² 吴明亮^{2*}

(1. 湖南农业大学 东方科技学院, 长沙 410128;

2. 湖南农业大学 机电工程学院, 长沙 410128)

摘要 针对现有花生播种机难以适应南方黏壤土作业环境及播种品种单一等问题, 设计一种普适性较高的旋耕高垄单粒播种机。基于花生播种农艺要求, 对播种机的关键部件进行理论分析与设计; 为优选出能适用多个花生品种的排种器, 以南方主要种植的花生品种‘四粒红’和‘湘花’为试验对象, 以排种盘型号和排种轴转速为试验因素, 粒距合格指数和破损率为评价指标, 利用JPS-12型排种性能试验台开展单因素台架试验; 试制2BHG-160型花生播种机样机进行田间试验。台架试验结果表明, ‘四粒红’和‘湘花’播种的最佳排种盘型号为大粒盘, 最佳排种轴转速为10 r/min; 田间试验结果表明, ‘四粒红’和‘湘花’的粒距合格指数分别为94.04和93.22, 破损率分别为0.14%和0.62%, 整机播种深度合格率、垄高稳定度及上沟宽稳定度分别为84%、96.69%和95.47%。机具作业性能良好, 可用于南方黏壤土环境花生播种作业。

关键词 花生; 播种机; 开沟器; 排种器

中图分类号 S223.2

文章编号 1007-4333(2024)03-0164-11

文献标志码 A

Design and experiment of the key components of 2BHG-160 peanut planter

QUAN Wei¹, MA Zitao², SHI Fanggang², GAO Chen², WU Mingliang^{2*}

(1. College of Orient Science & Technology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China;

2. College of Mechanical and Electrical Engineering, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract In response to the problems that current peanut seeders has difficult to adapt to the working environment of clay loam soil in Southern China and can only be used for a single variety, an universal rotary tillage high ridge single seed seeder was designed in this study. Based on the agronomic requirements of peanut seeding, theoretical analysis and design were conducted on the key components of the seeder. In order to select a seed metering device that could be suitable for multiple peanut varieties, the main peanut varieties ‘Silihong’ and ‘Xianghua’ planted in Southern China were used as experimental objects. The type of seed metering disc and the speed of the seed metering shaft were taken as experimental factors, and the seed spacing qualification index and the damage rate were taken as evaluation indicators. Single factor bench tests were conducted based on the JPS-12 type seed metering performance test bench, and 2BHG-160 rotary tillage high ridge single seed seeder prototype was trail produced and field experiments were conducted. The results of the bench test showed that the optimal type of seed tray for sowing ‘Silihong’ and ‘Xianghua’ was the large seed tray, and the optimal seed axis speed was 10 r/min. The field test

收稿日期: 2023-09-01

基金项目: 丘陵农机重大项目(NK202216040503)

第一作者: 全伟(0009-0005-8955-0467), 副教授, 博士, 主要从事农业机械创新设计, E-mail: B20170022@126.com

通讯作者: 吴明亮(0000-0001-7689-8388), 教授, 博士生导师, 主要从事农业机械研究, E-mail: mlwu@hunau.edu.cn

results showed that the qualified index of grain spacing between ‘Silihong’ and ‘Xianghua’ were 94.04 and 93.22, and the damage rates were 0.14%, 0.62%, respectively. The qualified rate of the seeding depth of the whole machine, the ridge stability coefficient, and furrow stability coefficient were 84%, 96.69%, and 95.47%, respectively. In conclusion, the machine designed in this study has good performance and can be used for peanut sowing in the southern clay loam environment.

Keywords peanut; planter; furrow opener; seed-metering device

花生是我国四大油料作物之一,其种植面积仅次于油菜,但总产量位居全国油料作物之首^[1-2]。我国南方花生种植模式差异较大,播种机械化水平较低,且由于南方田块中秸秆和杂草含量高、土壤含水率高,易造成播种不均匀、种沟深度不一致、开沟器壅土等问题^[3-6];同时,不同花生品种的外形尺寸差异较大,给排种器排种带来困难,导致花生播种机的通用性不高,限制了南方花生种植机械的发展^[7-8]。

花生播种机已经成为花生规模化生产中不可或缺的机具,特别是具有起垄、播种、覆土、施肥等功能的联合作业机具得到了广泛的应用^[9-10];针对花生播种时漏播重播的问题也进行了相关研究,设计了播种检测补偿系统及相关机具^[11-12]。吕小莲等^[13]设计的2BQHM-2型花生覆膜穴播机采用气吸式排种,成穴装置可完成破膜、打穴、投种等过程,同时覆土装置完成膜边覆土作业;德易播机械发展有限公司生产的人力型点播机,结构简单,适宜小面积播种,株距和播深可按需调节,更换排种盘可完成不同作物的播种作业^[14];顾峰玮等^[15]设计的麦茬全秸秆覆盖地花生播种机,能同时完成碎秸秆清洁、苗床整理、施肥播种等多项工序,可减少机具使用次数,降低生产成本。目前花生播种机联合作业趋势日益显著,机具大多可一次性完成开沟起垄、播种施肥、覆土等多项作业,但大多机具结构较为复杂,对不同类型种子的播种适应性较差,且难以适应南方土壤黏重板结的花生种植田块。

本研究拟采用理论分析与物理试验相结合的方法,基于南方花生种植田块的播种农艺要求,设计一种旋耕高垄单粒花生播种机,以期解决现有花生播种机适应性与通用性差的问题,为花生播种机的设计与优化提供技术支持与理论参考。

1 设计要求与整机结构

1.1 垄作花生种植农艺要求

垄作花生种植要求垄高为 150 mm,垄沟宽度

300 mm,垄沟底宽度 150 mm,垄面宽度 500 mm,其上种植 2 行花生,单粒播种粒距 150 mm,粒距合格指数 ≥ 75 ,粒距变异系数 $\leq 35\%$;行距为 300 mm,行距一致性合格率 $\geq 90\%$;播种深度为 30~50 mm,播种深度合格率 $\geq 75\%$;种子破损率 $\leq 1.5\%$ ^[16-17]。

1.2 整机结构

2BHG-160型花生旋耕高垄单粒播种机主要由旋耕机、播种装置机架、勾轮式排种器、导种管、侧边开沟器、中间开沟器、直流电机、排种轴、种沟开沟装置等组成,整机结构见图1。

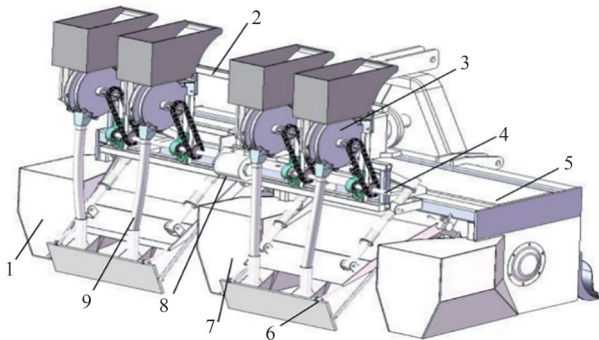
整机挂接在拖拉机的三点悬挂系统上,勾轮式排种器通过播种装置机架固定在旋耕机斜后上方,2个种沟开沟装置对称安装在旋耕机后部,且位于侧边开沟器和中间开沟器的中间位置。整机向前运动的同时,旋耕机、侧边开沟器及中间开沟器可实现起高垄,种沟开沟装置中的种沟开沟器在高垄厢面上完成开种沟作业,同时勾轮式排种器在直流电机(直流电机的转速可由控制器控制)、排种轴及传动链的驱动下完成单粒精量播种,再通过种沟开沟装置上的覆土盖板对种沟进行覆土镇压作业,从而实现整机的旋耕起垄、播种、覆土等联合作业。

2 关键部件设计

垄作花生的种植农艺要求分别规定了垄高、垄面宽度、粒距、行距等参数,因此在花生垄作播种机的设计中将以上述参数为依据。为一次性实现起垄成厢、播种覆土等功能,整机主要由垄沟开沟器、播种系统和种沟开沟装置3部分组成。

2.1 垄沟开沟器设计

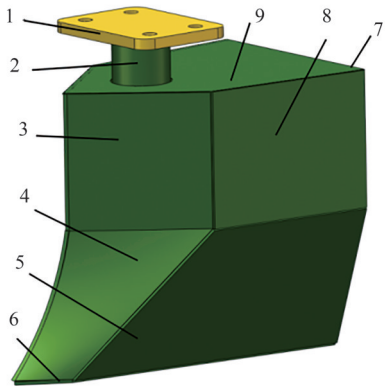
中间垄沟开沟器主要由挂接板、犁柱、上导土板、导土曲面、下翼板、底板、后封口板、上翼板和上封口板焊接而成(图2),通过抱箍和螺母安装在旋耕机机架后梁上,侧边开沟器通过机架焊接在旋耕机侧梁上,主要由前部的小前犁、机架和后部的开沟器3部分组成,由于受到下侧板内侧旋耕刀辊的



1. 侧边开沟器; 2. 播种装置机架; 3. 勺轮式排种器; 4. 排种轴; 5. 旋耕机; 6. 种沟开沟装置; 7. 中间开沟器; 8. 直流电机; 9. 导种管
1. Side ditch opener; 2. Planting device rack; 3. Spoon wheel seeder; 4. Feed shaft; 5. Rotary tiller; 6. Trench planting and trenching device; 7. Middle ditch opener; 8. DC motor; 9. Seed guide tube

图1 2BHG-160型花生旋耕高垄单粒播种机结构示意图

Fig. 1 Schematic diagram of 2BHG-160 spinning high ridge single grain seeder for peanuts



1. 挂接板; 2. 犁柱; 3. 上导土板; 4. 导土曲面; 5. 下翼板; 6. 底板; 7. 后封口板; 8. 上翼板; 9. 上封口板
1. Hanging board; 2. Plow column; 3. Upper guide plate; 4. Guide surface; 5. Lower wing plate; 6. Baseboard; 7. Rear sealing plate; 8. Upper wing plate; 9. Upper sealing plate

图2 中间垄沟开沟器

Fig. 2 Intermediate-furrow opener and Side-furrow opener

影响,其布局及结构与中间开沟器的结构基本一致,为了使开沟器具有挤压土壤的作用,开沟器整体呈前窄后宽,下窄上宽的结构。工作时垄沟开沟器挂载在牵引机具后部机架上随机具一同向前运动,土壤受到开沟器的作用后沿导土曲面 toward 侧上方运动,到达一定高度后在惯性和重力的作用下脱离导土曲面在厢面的垄沟边缘处堆积成土脊,随着开沟器继续前进,垄沟沟壁及厢面沿垄沟边沿处的土脊在下翼板的作用下挤压至稳定状态,从而开沟作业完成。所开垄沟横断面的尺寸参数与中间开沟器的保持一致。中间垄沟开沟器与侧边垄沟开沟

器间的距离,即为垄面宽度。

2.1.1 导曲线设计

导土表面上的导曲线是控制水平直元线位置的指导线,参照本课题组前期对双翼铧式垄沟开沟器中导曲线的研究结果可知^[18],导曲线由起始直线段 S 和抛物线段组成(图3(a)),导土曲面作业性能的好坏由导曲线的结构参数决定,其结构参数包括起始直线长度 S 、起土角 ϵ 、导曲线开度 L 、导曲线高度 H 和抛物线两端点切线夹角 ω 。

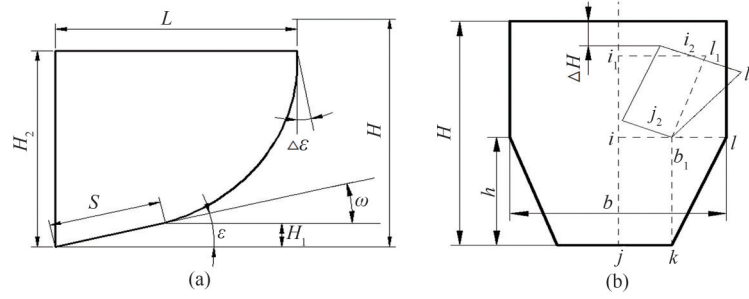
根据《农业机械设计手册》^[19]中的推荐值,结合垄作花生的种植农艺要求可知:

1) 垄沟开沟器的开沟深度属于浅沟,故此处取起始直线长度 $S=30\text{ mm}$;

2) 起土角 ϵ 的一般取值为 $25^\circ\sim 35^\circ$, ϵ 较大开沟器导土曲面下部平面部分碎土能力增强,土壤沿 S 段上升较快,为尽快清除垄沟土壤,即土壤沿导土曲面快速上窜,故取 $\epsilon=35^\circ$;

3) 导曲线高度一定,当导曲线开度 L 较大时,导土曲面相对平缓,导土性能较好,参照铧式犁导曲线开度的取值范围,确定导曲线开度的取值范围为 $L=200\sim 230\text{ mm}$;

4) 导曲线高度 H 的设计条件是土壤沿导土曲面翻转或运动时不越过导土曲面的顶边线,导土曲面的作用是将土壤清理出垄沟,沟底土壤上升至土壤表面后向垄沟两侧翻转(图3(b)),垄沟开沟器刚开始工作时,土壤位于导土曲面前部 $ijkl$ 处,开沟器向前运动,土壤沿导土曲面上窜至 $i_1ib_1l_1$ 处并在导土曲面的作用下向右侧翻转至 $i_2j_2b_1l_2$ 处时土壤达到最



S 为起始直线长度; H_2 为起始直线段和抛物线高度; L 为导曲线开度; H 为导曲线高度; $\Delta\epsilon$ 为导曲线上端点切线与铅垂线之间的夹角; ϵ 为起土角; ω 为抛物线两端点切线夹角; H_1 为起始直线段高度; ΔH 为加权值; b 为上沟宽; h 为沟深; ijk 为土壤初始位置区域; $i_1ib_1l_1$ 为开沟器向前运动时土壤沿导土曲面上升达到的区域; $i_2jb_1l_2$ 为土壤在导土曲面作用下向右翻转的最高位置区域。

S is the starting straight line length; H_2 is the height of the starting straight and parabolic segments; L is the opening of the guide curve; H is the height of the guide curve; $\Delta\epsilon$ is the angle between the tangent line at the endpoint of the guide curve and the vertical line; ϵ is the starting point; ω is the angle between the tangent lines at both ends of the parabola; H_1 is the height of the starting straight segment; ΔH is the weighted value; b is the width of the upper groove; h is the depth of the groove; ijk is the initial location area of the soil; $i_1ib_1l_1$ is the area where the soil rises along the guide surface when the trencher moves forward; $i_2jb_1l_2$ is the highest position area where the soil flips to the right under the action of the guide surface.

图3 导曲线结构(a)及土壤运动过程(b)示意图

Fig. 3 Schematic diagram of guide curve structure (a) and soil movement process (b)

高点,此时由几何关系可以计算出导曲线高度 $H^{[18]}$,表达式为:

$$H = \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + h^2} + h + \Delta H \quad (1)$$

式中: b 为上沟宽,本研究取 $b=300$ mm; h 为沟深,本研究取 $h=150$ mm; ΔH 为加权值,本研究取 $\Delta H=30$ mm;通过计算可得 $H=390$ mm。

5)当起土角 ϵ 确定时,抛物线两端点切线夹角 ω 影响导曲线的陡峭程度, ω 值越大导土性能越好,越小翻土性能越好。由几何关系可得: $\omega=90^\circ+\epsilon-\Delta\epsilon$,其中 $\Delta\epsilon$ 为导曲线上端点切线与铅垂线之间的夹角,一般取 $\Delta\epsilon=0^\circ\sim 10^\circ$,为提升导土性能,可使 ω 取最大值,故取 $\Delta\epsilon=0^\circ$,得 $\omega=125^\circ^{[19]}$ 。

当导曲线参数 S 、 ϵ 、 L 、 H 、 ω 和 $\Delta\epsilon$ 确定后可通过抛物线型导曲线方程的一般式得到导曲线方程:

$$x^2 + \frac{2(mt\epsilon\Delta\epsilon + n)}{(m - nt\epsilon)^2}xz + \frac{(mt\epsilon\Delta\epsilon + n)^2}{(m - nt\epsilon)^2}z^2 + \frac{4mn^2t\epsilon}{(m - nt\epsilon)^2}x - \frac{4mn^2}{(m - nt\epsilon)^2}z = 0$$

式中: $m=H_1-L_1t\epsilon$; $n=H_1t\epsilon+L_1$,其中 H_1 和 L_1 分别为导曲线抛物线部分的高度和开度,表达式分别为:

$$H_1 = H_2 - S\sin\epsilon \quad (2)$$

$$L_1 = L - S\cos\epsilon \quad (3)$$

2.1.2 起始元线角及元线角变化规律

参考双翼铧式垄沟开沟器中相关参数的取值^[18],取 $\theta_{\min}=40^\circ$ 。元线角 θ 沿高度方向成线性变化,表达式为:

$$\theta = \theta_0 - kx \quad (4)$$

式中: x 为任一水平直元线与第一条水平直元线间的垂直距离,mm; k 为角度比值系数, $k = \frac{\theta_0 - \theta_{\min}}{\Delta h}$, $\theta_{\min}$

为起始元线角的最小值, $(^\circ)$, Δh 为导曲线抛物线部分的高度, $\Delta h = H - H_1$ 。当起土角 ϵ 、起始元线角 θ_0 确定时可计算出 $\theta_{\min}$ 至 θ_0 间的元线角。

2.1.3 下翼板结构参数及底板张角

基于垄作花生种植农艺要求与垄沟截面尺寸简图(图4(a)),可得到下翼板宽度 c 和下翼板倾角 δ 的表达式为:

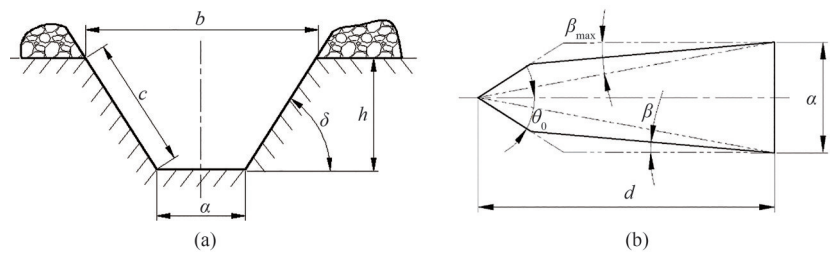
$$c = \sqrt{\frac{(b-a)^2}{4} + h^2} \quad (5)$$

$$\delta = \arcsin \frac{h}{c} \quad (6)$$

式中: a 为上沟宽,mm。计算得 $c=167.7$ mm, $\delta=63.5^\circ$ 。

底板宽度理论上与农艺要求中的沟底宽一致(图4(b)),设置底板长度 d 为一定值,由几何关系可知底板张角最大值 $\beta_{\max}$ 的表达式为:

$$\beta_{\max} = \arctan \frac{0.5a}{d} \quad (7)$$



a 为沟底宽,即底板宽度; b 为上沟宽; c 为下翼板宽度; h 为沟深; δ 为下翼板倾角; $\beta_{\max}$ 为底板张角的最大值; d 为底板长度; β 为底板张角; θ_0 为起始元线角。

a is the width of the trench bottom (bottom plate width); b is the width of the upper groove; c is the width of the lower wing plate; h is the depth of the groove; δ is the inclination angle of the lower wing plate; $\beta_{\max}$ is the maximum value of the bottom plate angle; d is the length of the base plate; β is the angle of the base plate; θ_0 is the starting element line angle.

图4 垄沟截面(a)及底板结构(b)示意图

Fig. 4 The size of cross section of furrow (a) and baseboard (b)

计算得 $\beta_{\max}=5.1^{\circ}$ 。

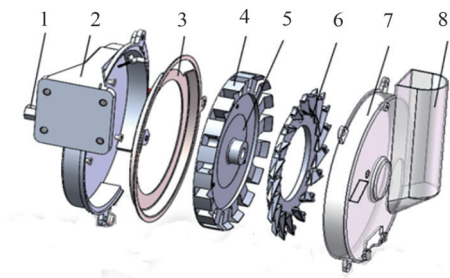
2.2 种沟开沟装置设计

种沟开沟装置由预紧弹簧、平土托板、导种管连接管、盖板弹簧、盖板连杆、覆土盖板、种沟开沟器等组成(图5)。其中,种沟开沟器与盖板连杆均焊接在平土托板上,为便于落种,种沟开沟器的后半部分设有开口,导种管连接管的上端焊接在平土托板上、下端焊接在种沟开沟器后半部分开口处,盖板弹簧的两端分别安装在平土托板与覆土盖板上且一致处于拉伸状态,覆土盖板铰接在盖板连杆上;工作时,种沟开沟器在厢面上开出种沟,同时,种子经导种管连接口落入种沟中,覆土盖板在盖板弹簧的作用下始终保持与厢面土壤接触并完成覆土镇压作业。种沟开沟装置关键部件种沟开沟器的结构参数参照本课题组已

有研究^[20],工作参数主要包括双翼板夹角、入土角及开沟深度,其中,双翼板夹角设计为 98° ,入土角设计为 144° ,开沟深度设计为40 mm。

3 排种器选型台架试验研究

勺轮式排种器主要由排种轴、壳体、隔板、导种轮、法兰、勺轮式排种盘、壳罩、进种口等组成(图6),其中导种轮由18个导种槽连接组成,排种盘由种勺和排种盘架组成。排种盘型号有大粒盘、中粒盘、小粒盘3种(简称大盘、中盘和小盘)。

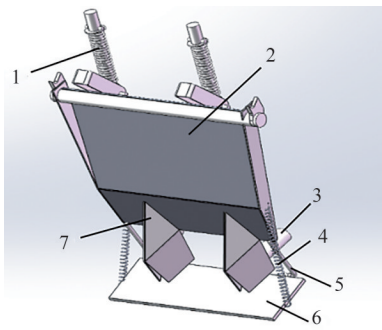


1. 排种轴;2. 壳体;3. 隔板;4. 导种轮;5. 法兰;6. 勺轮式排种盘;7. 壳罩;8. 进种口

1. Seed metering shaft; 2. Housing; 3. Partition plate; 4. Seed guide wheel; 5. Flange; 6. Spoon wheel seed metering plate; 7. Housing cover; 8. Voting outlet

图6 勺轮式排种器结构示意图

Fig. 6 The structure diagram of spoon-type seed-metering device



1. 预紧弹簧;2. 平土托板;3. 导种管连接管;4. 盖板弹簧;5. 盖板连杆;6. 覆土盖板;7. 种沟开沟器

1. Preload spring; 2. Flat soil support plate; 3. Seed guide pipe connection pipe; 4. Cover plate spring; 5. Cover plate connecting rod; 6. Cover plate; 7. Seed ditch opener

图5 种沟开沟装置

Fig. 5 Seed ditch opening ditch device

3.1 试验材料及装置

试验材料为‘四粒红’和‘湘花’花生种子,种子呈饱满的“椭球”型,2种花生种子各随机选取100粒,测定其物理力学特性参数见表1。试验装置为

JPS-12 型排种器性能检测试验台(简称试验台)、匀轮式排种器及待更换的匀轮式排种盘(尺寸不同分为大盘、中盘、小盘 3 种),DT-2235AS 手持式转速表和直尺等。

表 1 2 种花生物理力学特性参数测定结果

Table 1 Measurement results of physical and mechanical properties parameters of two types of peanuts				
品种 Variety	长×宽×厚/mm×mm×mm Long×Wide×Thick	千粒重/g 1 000 grain weight	自然休止角/(°) Natural angle of repose	最大抗压力/N Maximum resistance to pressure
四粒红 Silihong	13.69×7.89×7.54	443.8	27.6	50.9
湘花 Xianghua	14.06×8.89×8.25	545.6	25.7	54.8

3.2 评价指标

根据花生播种作业要求,参照 GB/T 6973—2005《单粒(精密)播种机试验方法》^[21],以粒距合格指数和破损率为排种器排种性能评价指标,粒距合格指数应≥75,破损率应≤1.5%。相邻种子之间的距离称为粒距,实际粒距在 0.5~1.5 倍理论粒距之间为合格粒距,种子的胚芽受损或超过 10% 的表皮面积受损则定义为破损种子,粒距合格指数 A 和破碎率 B 的表达式为^[21]:

$$A=\frac{n_1}{N}\times 100 \tag{8}$$

$$B=\frac{n_2}{N}\times 100\% \tag{9}$$

式中: n_1 为选取样本中粒距合格的样本个数; n_2 为选取样本中破损种子数; N 为样本总数。

3.3 试验方法

试验在湖南农业大学排种性能试验室进行,将排种器固定在试验台上,种床带相对于排种器反向运动,种子从排种口落至油层种床带上。测试指标为粒距合格指数和破碎率,试验前调节相关工作参数:排种器的排种口距种床带高度为 400 mm,匀轮

排种盘与隔板间隙为 2 mm,摆臂位置在第 3 格,种子箱满箱,以排种盘型号、排种轴转速为试验因素进行单因素台架试验。试验时先启动试验台,待排种轴转速稳定并且种床带布满种子后,在种床带上随机取一段连续的 50 粒种子,用直尺测量相邻两粒种子之间的距离 d ,若 $0.5D\leq d\leq 1.5D$ (D 为理论粒距,取 150 mm),即 $75\text{ mm}\leq d\leq 225\text{ mm}$,则计为 1 个合格粒距,保持种床带和排种器工作条件不变情况下,重复上述步骤,进行 5 次为一组的试验,统计一组 250 个粒距的试验数据,每组试验重复 3 次。统计处理每组试验数据作为试验结果。试验后,根据式(8)和式(9)计算得出每组的粒距合格指数和破碎率并取平均值。

3.4 单因素试验结果

3.4.1 排种盘型号对排种性能的影响

对于不同的排种盘型号,为保证实际粒距能达到 0.5~1.5 倍理论粒距(150 mm),结合拖拉机二挡常规行驶速度为 0.68 m/s,设置排种轴转速为 15 r/min,以‘四粒红’和‘湘花’花生种子为试验材料,选取排种盘型号分别为大盘、中盘、小盘进行单因素排种性能试验,试验结果见表 2。

表 2 排种盘型号对排种性能影响的试验结果

Table 2 Experimental results of the impact of seeding tray model on seeding performance				
排种盘型号 Type of seed trays	四粒红 Silihong		湘花 Xianghua	
	粒距合格指数	破碎率/%	粒距合格指数	破碎率/%
	Particle size qualification index	Crushing rate	Particle size qualification index	Crushing rate
大盘 Large market	90.15	0.09	85.49	0.14
中盘 Medium market	91.00	0.84	80.70	0.10
小盘 Small market	65.00	0.91	62.90	0.22

排种盘型号对不同品种花生排种性能均存在影响,根据JB/T1029—2013《单粒(精密)播种机技术条件》^[22],粒距合格指数 ≥ 75 ,破损率 $\leq 1.5\%$ 。小盘播种‘四粒红’和‘湘花’时,虽然破碎率均小于1.5%,但粒距合格指数分别为65.00、62.90,均低于75,不符合国家标准,粒距合格指数在‘四粒红’、中盘处取得最优为91.00,破损率在‘四粒红’、大盘处取得最优为0.09%。播种‘四粒红’时,粒距合格指数、破碎率较优项分别为中盘、大盘,播种‘湘花’时,粒距合格指数、破碎率最优项分别为大盘、中盘。因此,保留大盘、中盘继续进行分析。

从上述结果可知,排种盘型号在2个评价指标上不能同时取得最佳项,因此需对2个指标赋予权重,通过计算选取各项最优指标。在花生单粒精量播种作业中,应尽量减少破碎率,允许少量的粒距不合格现象发生,因此破碎率的权重应大于合格率,根据JB/T1029—2013《单粒(精密)播种机技术条件》^[22]及实际生产经验,粒距合格指数和破碎率的权重系数比例为4:6,权重影响指数 W_{ij} 的表达式为:

$$W_{ij}=0.4A_{ij}+0.6(100-100B_{ij})\quad (10)$$

式中: A_{ij} 为*i*、*j*条件下的粒距合格指数; B_{ij} 为*i*、*j*条件下的破损率,%;*i*为排种盘型号;*j*为排种轴转速;

排种盘型号为大盘和中盘,排种轴转速取15 r/min。

‘四粒红’与‘湘花’的权重影响指数计算结果见表3。可知,播种‘四粒红’和‘湘花’的最优排种盘型号为大盘,此时权重指数分别为96.01和92.22。综上,选取大盘对2种花生继续进行排种性能试验分析。

表3 不同排种盘型号的权重影响指数结果

Table 3 The weight impact index results of different types of seed trays

排种盘型号 Type of seed trays	四粒红 Silihong	湘花 Xianghua
大盘 Large market	96.01	93.43
中盘 Medium market	95.90	92.22

3.4.2 排种轴转速对排种性能的影响

为保证实际粒距能达到0.5~1.5倍理论粒距,同时考虑整机前进速度低于0.44 m/s时播种机的作业效率过低,因此,种床带速度分别为:0.44、0.68、0.90、1.17和1.35 m/s,对应排种轴转速分别为10、15、20、25和30 r/min,以‘四粒红’和‘湘花’花生种子为试验材料,选取排种盘型号为大盘,进行排种性能的单因素试验,试验结果见表4。

表4 排种轴转速对不同花生品种排种性能影响的试验结果

Table 4 Experimental results of the influence of the rotation speed on the performance of different peanut varieties

排种轴转速/(r/min) The rotation speed of seeding shaft	四粒红 Silihong		湘花 Xianghua	
	粒距合格指数 Particle size qualification index	破碎率/% Crushing rate	粒距合格指数 Particle size qualification index	破碎率/% Crushing rate
10	93.83	0.13	96.54	0.68
15	90.15	0.09	85.49	0.14
20	94.13	0.85	80.22	0.21
25	83.73	0.17	68.69	0.26
30	69.34	0.08	66.76	0.17

播种‘四粒红’种子时,随着排种轴转速的增加,粒距合格指数呈现先减小后增加再减小的趋势,当转速达到20 r/min时花生粒距合格指数最高为94.13,在10~25 r/min转速范围内粒距合格指数均大于75,符合国家标准。破碎率亦呈现减小后增加再减小趋势,当转速为30 r/min时,破碎率为

0.08%,且在10~30 r/min转速范围内,破碎率均满足 $\leq 1.5\%$ 的国家标准要求。播种‘湘花’种子时,随着排种轴转速的增加,粒距合格指数呈现递减趋势,当转速为10 r/min时,花生粒距合格指数为96.54,在10~20 r/min转速范围内粒距合格指数均符合国家标准。破碎率则呈现先减小后增大再减

小的趋势,当转速为 15 r/min 时,破碎率为 0.14%,‘湘花’花生种子在 10~30 r/min 转速范围内,破碎率均≤1.5%。

由上述分析可知,排种轴转速在 2 个评价指标上不能同时取得最佳项,因此,同样采取式(10)计算权重影响指数,其中排种盘型号为大盘,排种轴转速分别取 10、15、20、25 和 30 r/min。权重影响指数计算结果见表 5,播种‘四粒红’和‘湘花’的最优排种轴转速为 10 r/min,此时权重指数分别为 97.54 和 98.21。

表 5 不同排种轴转速的权重影响指数计算结果
Table 5 The weight influence index results of different rotation speed of seeding shaft

排种轴转速/(r/min) The rotation speed of seeding shaft	四粒红 Silihong	湘花 Xianghua
10	97.54	98.21
15	96.10	93.39
20	97.14	90.89
25	93.39	85.77
30	87.70	84.95

4 田间播种试验研究

4.1 试验目的

为验证播种机是否满足花生播种的农艺要求,

按照上述理论设计及试验选型得到的关键部件相关参数试制 2BHG-160 型花生旋耕高垄单粒播种机样机,并开展田间验证试验。试验主要检测播种机的粒距合格指数、破碎率、种沟深度、垄高稳定度、上沟宽稳定度等性能指标。

4.2 试验条件及仪器设备

于 2023 年 4 月在湖南农业大学油茶基地进行花生播种试验。试验田呈长方形,长 50 m,宽 30 m,试验地土壤为黏壤土。播种前测量 0~20 cm 深度处土壤含水率均值为 13.81%,土壤密度均值 2.57 g/cm³。

试验材料为‘四粒红’和‘湘花’花生种子,种子物理学特性与台架试验所用种子相同。设备与仪器包括:2BHG-160 型花生旋耕高垄单粒播种机、东方红轮式拖拉机(51.5 kW);水平尺、角尺(精度 1 mm)、卷尺(量程 5 m、精度 1 mm)、皮尺(量程 50 m),秒表,铁锹,MP200B 型电子天平(称量范围 0~200 g,精度 0.01 g),MA35 含水率测试仪等。

4.3 试验方法及结果

4.3.1 粒距合格指数和破损率

试验时,调整排种轴转速为 10 r/min,选择对应的整机前进速度为 0.44 m/s。播种完成后,在已播垄面上随机选取 5 行,每行随机选取 1 个小区,连续测量 250 粒,粒距和种子破损率的测算方法与“3.2 评价指标”中的方法一致,2 种花生的粒距合格指数和破损率田间试验结果见表 6。

表 6 粒距合格指数与破损率田间试验结果
Table 6 The field test results of Particle size qualification index and crushing rate

试验号 Number	四粒红 Silihong		湘花 Xianghua	
	粒距合格指数	破碎率/%	粒距合格指数	破碎率/%
	Particle size qualification index	Crushing rate	Particle size qualification index	Crushing rate
1	93.5	0.16	93.40	0.58
2	94.3	0.14	93.00	0.66
3	95.6	0.13	95.40	0.69
4	92.2	0.14	92.20	0.55
5	94.6	0.13	92.10	0.64
平均值 Average	94.04	0.14	93.22	0.62

4.3.2 播种深度测定

播种深度是种子落入种沟内后,种沟沟底距离垄面最高处的距离。播种深度合格率 α 是指试验时种子与垄面最高处的实际距离与播种深度的误差在0~4 mm内的点 n_1 占总测定点 n_0 的百分比:

$$\alpha=\frac{n_1}{n_0}\times 100\%$$

(10)

本试验选取2行测试行,在已播种的垄面上相隔20 cm取5个测区,记为I、II、…、V,测区均为2 000 mm×500 mm的长方形区域,在每个测区内随机取10个测点,各测区播种深度的平均值分别为39.1、40.1、40.4、39.9、40.2 mm,各测区播种深度合格率分别为80%、90%、90%、80%、80%。

4.3.3 垄体及垄沟尺寸测定

机具作业后,随机选取3行垄体和垄沟,测量每

个开沟起垄试验行程,在每行垄体相隔等距离选取5个长度为1 m的测区,每个测区等距取5个测点。开沟起垄作业质量参考NY/T740—2003《田间开沟机械作业质量》^[23]进行评定,标准中规定了田间开沟机械的作业质量、评价指标和检测方法^[23-24]。

用水平尺与卷尺测得垄面宽度、垄高、垄沟上沟宽,根据数据分别计算各参数的尺寸平均值、标准差和变异系数。采用垄高稳定度、上沟宽稳定度^[25]评价垄体效果。垄高稳定度 Y 的表达式为:

$$Y=(1-R)\times 100\%$$

(11)

式中: R 为垄高变异系数, $R=T/h_{\text{平}}$,%, T 为垄高标准差,cm, $h_{\text{平}}$ 为垄高平均值,cm。上沟宽稳定度参照垄高稳定度计算方法可得。测算得到各项指标见表7,由式(11)计算可得垄高稳定度和上沟宽稳定度分别为96.69%和95.47%。

表7 垄体与垄沟尺寸测定结果
Table 7 Measurement result of ridge body and ridge channel

指标参数 Indicator parameter	试验号 Number			平均值 Average	标准差 Standard deviation
	1	2	3		
垄高/cm Ridge height	15.2	15.6	14.6	15.1	0.50
垄面宽度/cm Ridge width	50.5	51.6	49.8	50.6	0.91
垄沟上沟宽/cm Trench width above ridge	33.2	32.8	30.5	32.1	1.45

4.3.4 试验结果分析

2BHG-160型花生旋耕高垄单粒播种机播种性

能指标田间试验结果及技术标准值见表8。田间性能试验各项指标均符合技术标准^[21]表明整机设计合

表8 播种机播种性能指标田间试验结果
Table 8 Field test results of sowing performance indicators of seeders

试验指标 Experimental index	技术标准 ^[21] Technical standard	四粒红 Silihong	湘花 Xianghua
粒距合格指数 Particle size qualification index	≥75	94.04	93.22
破损率/% Crushing rate	≤1.5	0.14	0.62
播种深度合格率/% Qualified rate of seeding depth	≥75	84	
垄高稳定度/% Ridge high stability	≥80	96.69	
上沟宽稳定度/% Stability of upper groove width	≥80	95.47	

理且能满足花生播种的农艺要求,工作性能较为稳定。台架与田间试验所得‘四粒红’和‘湘花’粒距合格指数误差分别为0.22%和3.43%(表4和表6),破损率误差分别为7.69%和8.82%(表4和表6),验证了台架试验结果的准确性。

5 结 论

本研究针对现有花生播种机难以适应南方黏壤土作业环境及播种品种单一的问题,基于南方垄作花生播种的农艺要求,设计了一种旋耕高垄单粒播种机。通过单因素台架试验确定了排种盘型号及排种轴转速,并进行了排种性能田间试验研究,主要结论如下:

1)室内台架试验结果表明:播种‘四粒红’和‘湘花’的最佳排种盘型号为大粒盘,最佳排种轴转速为10 r/min。利用台架试验结果试制播种机样机并进行田间试验,结果表明:‘四粒红’和‘湘花’的粒距合格指数分别为94.04和93.22,破损率分别为0.14%和0.62%,整机播种深度合格率、垄高稳定度及上沟宽稳定度分别为84%、96.69%和95.47%,所有性能指标均满足花生播种的技术标准和农艺要求。

2)前期试验发现,土壤含水率对起垄成厢、开种沟等作业过程均有较大的影响,含水率较低时厢沟与种沟内的回土均较多,导致厢面宽度、种沟深度等难以满足农艺要求。针对不同土壤含水率条件下的开沟起垄问题有待进行下一步研究。

参考文献 References

- [1] 陶群,姜美丽,修翠波,史普想. 膜下滴灌条件下氮钾肥基追比对风沙地土壤养分、酶活性及花生产量的影响[J/OL]. 中国油料作物学报, 2023;1-6. 2023-10-24. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2022190>
Tao Q, Jiang M L, Xiu C B, Shi P X. Effects of basal topdressing ratio on nutrient and enzymatic activity of sand soil and yield of peanut under mulch drip irrigation system [J/OL]. *Chinese Journal of Oil Crop Sciences*; 1-6. 2023-10-24. <https://doi.org/10.19802/j.issn.1007-9084.2022190> (in Chinese)
- [2] 王旭达,于树涛,张高华,王鹤,丰明,都兴范,范琦,于国庆. 农杆菌介导花生转化体系的优化及转化 AIDREB2A 基因花生的耐旱性研究[J]. 中国农业大学学报, 2018,23(7):26-35
Wang X D, Yu S T, Zhang G H, Wang H, Feng M, Du X F, Fan Q, Yu G Q. Optimization of agrobacterium tumefaciens mediated peanut transformation system and studies on the drought tolerance of transgenic AIDREB2A peanut[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(7): 26-35 (in Chinese)
- [3] 胡红,李洪文,李传友,王庆杰,何进,李问盈,张祥彩. 稻茬田小麦宽幅精量少耕播种机的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2016,32(4):24-32
Hu H, Li H W, Li C Y, Wang Q J, He J, Li W Y, Zhang X C. Design and experiment of broad width and precision minimal tillage wheat planter in rice stubble field [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(4): 24-32 (in Chinese)
- [4] 刘晓鹏,肖文立,马磊,刘立超,万国伟,廖庆喜. 油菜联合直播机组合式船型开沟器设计与开沟质量试验[J]. 农业机械学报, 2017,48(11):79-87
Liu X P, Xiao W L, Ma L, Liu L C, Wan G W, Liao Q X. Design and ditching quality experiment on combined ship type opener of direct rapeseed seeder [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(11): 79-87 (in Chinese)
- [5] 赵淑红,刘汉朋,侯磊涛,张鑫,袁溢文,杨悦乾. 基于离散元法的免耕深施肥分段式玉米播种开沟器研制[J]. 农业工程学报, 2021,37(13):1-10
Zhao S H, Liu H P, Hou L T, Zhang X, Yuan Y W, Yang Y Q. Development of deep fertilizing no-tillage segmented maize sowing opener using discrete element method [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(13): 1-10 (in Chinese)
- [6] 赵艳忠,苟金保,王玉峰,董守坤,赵淑红. 免耕播种机渐开线侧深施肥开沟器设计与试验[J]. 东北农业大学学报, 2022,53(12):91-100
Zhao Y Z, Gou J B, Wang Y F, Dong S K, Zhao S H. Design and experiment of furrow opener for deep fertilizing at involute side of no-tillage seeder [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2022, 53(12): 91-100 (in Chinese)
- [7] 药林桃,曹晓林,董力洪,陈盾. 红壤丘陵区小型花生播种机的设计和试验研究[J]. 江西农业学报, 2015,27(4):78-80
Yao L T, Cao X L, Dong L H, Chen D. Design and experiment on small-size peanut planter in red soil hilly region [J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2015, 27(4): 78-80 (in Chinese)
- [8] 张晓颖. 花生种子生产技术[J]. 种子科技, 2019,37(16):39-40
Zhang X Y. Production technology of peanut seeds [J]. *Seed Science & Technology*, 2019, 37(16): 39-40 (in Chinese)
- [9] 张亚栋,王东伟,何晓宁,尚书旗,申世龙,胥南,马宁,常增村. 2H-3/6型夏花生播种机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2021,43(12):181-186,191
Zhang Y D, Wang D W, He X N, Shang S Q, Shen S L, Xu N, Ma N, Chang Z C. Design and experiment of 2H-3/6 summer peanut planter [J]. *Agricultural Mechanization Research*, 2021, 43(12): 181-186, 191 (in Chinese)
- [10] 肖伟中,孔得鹏,段娟,王新民,王江涛,王东升. 全量秸秆条件下花生免耕播种机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2022,44(7):128-132
Xiao W Z, Kong D P, Duan J, Wang X M, Wang J T, Wang D S. Design and test of peanut no-tillage planter under the coverage of the wheat straw [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2022, 44(7): 128-132 (in Chinese)
- [11] 位国建,史嵩,周纪磊,刘虎. 2BHQ-4气力式花生精量播种机的设计与试验[J]. 农机化研究, 2021,43(9):72-77
Wei G J, Shi S, Zhou J L, Liu H. Design and experiment of 2BHQ-4 pneumatic precision seeder for peanut [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2021, 43(9): 72-77 (in Chinese)
- [12] 聂秀展,于艳,江景涛,马云鹏,范玉琪. 花生精量播种漏播检测及补偿系统设计与试验[J]. 青岛农业大学学报:自然科学版, 2020,37(2):140-145
Nie X Z, Yu Y, Jiang J T, Ma Y P, Fan Y Q. Design and experiment of miss-seeding detection and reseeding system for peanut precision sower [J]. *Journal of Qingdao Agricultural University: Natural Science*, 2020, 37(2): 140-145 (in Chinese)
- [13] 吕小莲,胡志超,刘敏基,于向涛,张会娟. 2BQHM-2型花生覆膜穴播机的设计与试验[J]. 华南农业大学学报, 2015,36(1):96-100

- Lü X L, Hu Z C, Liu M J, Yu X T, Zhang H J. Design and experiment of the 2BQHM-2 peanut mulching film and punching planter[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2015, 36(1): 96-100 (in Chinese)
- [14] 德易播机械发展有限公司. 手推式多功能点播机[EB/OL]. [2023-09-01]. <https://deyibo.cn.china.cn/supply/>
Deyibo Machinery Development Co., Ltd. Hand push multifunctional on-demand player [EB/OL]. [2023-09-01]. <https://deyibo.cn.china.cn/supply/> (in Chinese)
- [15] 顾峰玮, 胡志超, 陈有庆, 吴峰. “洁区播种”思路下麦茬全秸秆覆盖地花生免耕播种机研制[J]. *农业工程学报*, 2016, 32(20): 15-23
Gu F W, Hu Z C, Chen Y Q, Wu F. Development and experiment of peanut no-till planter under full wheat straw mulching based on “clean area planting” [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(20): 15-23 (in Chinese)
- [16] 董吉, 王瑞丽, 徐浩岩. 2BFD-2花生覆膜铺管播种机试验研究[J]. *沈阳农业大学学报*, 2014, 45(6): 751-755
Dong J, Wang R L, Xu H Y. Experiment study of 2BFD-2 type peanut pipe-laying and film-covering drill[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2014, 45(6): 751-755 (in Chinese)
- [17] NY/T 503—2015 单粒(精密)播种机作业质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015
NY/T 503—2015 Operating quality of single grain seed drills (precision drills) [S]. Beijing: China Standard Press, 2015 (in Chinese)
- [18] 陈超鹏. 双翼铧式垄沟开沟器结构设计与试验研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2020
Chen C P. Structural design and experimental study of double-wing moldboard-style furrow opener [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2020 (in Chinese)
- [19] 中国农业机械化科学研究院编. 农业机械设计手册[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007: 463-466
Chinese Academy of Agricultural Mechanization. *Agricultural Machinery Design Manual* [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007: 463-466 (in Chinese)
- [20] 胡婷, 全伟, 吴明亮, 李林. 双垄四行花生垄作播种机种沟开沟器设计与试验[J]. *中国农业科技导报*, 2021, 23(9): 129-137
Hu T, Quan W, Wu M L, Li L. Design and experiment of seed channel opener for double ridge four row peanut seeder [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2021, 23(9): 129-137 (in Chinese)
- [21] GB/T 6973—2005 单粒(精密)播种机试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2005
GB/T 6973—2005 Testing method of single grain seed drills (precision drills) [S]. Beijing: China Standard Press, 2005 (in Chinese)
- [22] JB/T 10293—2013 单粒(精密)播种机技术条件[S]. 北京: 机械工业出版社, 2013
JB/T 10293—2013 Specifications of single grain seed drills (precision drills) [S]. Beijing: China Machine Press, 2013 (in Chinese)
- [23] NY/T 740—2003 田间开沟机械作业质量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003
NY/T 740—2003 Field operation quality of ditchers [S]. Beijing: China Standard Press, 2003 (in Chinese)
- [24] GB/T 5668.3—1995 旋耕机械试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 1995
GB/T 5668.3—1995 Rotary tiller-Testing methods [S]. Beijing: China Standard Press, 1995 (in Chinese)
- [25] 包攀峰. 犁旋组合式开沟起垄机设计与试验研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017
Bao P F. Design and experimental research of rotary plow ridging combined rape ditching device [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春



第一作者简介: 全伟, 博士, 副教授。主要从事油料作物机械化生产技术与装备研究。主持湖南省自然科学基金青年基金1项, 主持湖南省教育厅科研项目优秀青年项目1项, 参与湖南省自然科学基金2项、省农业农村厅项目4项、省教育厅科研项目3项; 以第一作者发表论文10余篇, 授权发明及实用新型专利10余件。



通讯作者简介: 吴明亮, 博士, 教授。主要从事油料作物机械化生产技术与装备研究。中国农业工程学会高级会员, 湖南省教育厅学科带头人, 湖南省青年科技创业杰出奖获得者。获湖南省教学成果奖1项, 获湖南省科技进步二等奖4项, 承担国家、省(部)级项目10余项; 授权发明专利32项, 发表论文65篇, 其中SCI/EI收录23篇, 制定标准1项。