

油葵联合收获机专用割台设计与试验

刘巍¹ 黄小毛^{1,2} 马丽娜^{1,2} 宗望远^{1,2} 朱云飞³

(1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 农业农村部长江中下游农业装备重点实验室, 武汉 430070;
3. 星光农机股份有限公司, 湖州 313017)

摘要: 针对国内现有油葵联合收获机割台存在的物料堵塞、堆积以及因拨禾轮回带导致的葵盘无法进入割台等问题, 结合我国油葵种植模式和农艺要求, 设计了一种拨禾轮式油葵联合收获机专用割台。对分禾过程中油葵茎秆的姿态进行分析, 确定了内分禾器宽度、长度和内分禾器间隙; 选取不同拨禾速比 λ , 对拨禾轮运动轨迹进行仿真分析, 确定了拨禾速比取值范围, 并得出拨禾轮的最优直径和转速; 为降低输送器输送时拨指对葵盘的击打和油葵茎秆的缠绕, 设计了刮板式输送器; 为保证良好的切割效果, 基于刀机速比 γ , 确定了往复式切割器切割速度。在新疆维吾尔自治区阜康市河南庄子村进行了油葵收获田间试验, 当整机前进速度为 0.8 m/s 时, 喂入量为 3.3 kg/s, 割台平均损失率仅为 1.42%, 整机作业效率 0.69 hm²/h。收获作业过程中整机运行平稳, 割台收获过程无堵塞、无缠绕, 满足油葵联合收获机割台的设计要求。

关键词: 油葵; 联合收获机; 专用割台; 田间试验

中图分类号: S225.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)08-0083-06

OSID: 

Design and Experiment of Special Header of Oil Sunflower Combine Harvester

LIU Wei¹ HUANG Xiaomao^{1,2} MA Li'na^{1,2} ZONG Wangyuan^{1,2} ZHU Yunfei³

(1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China
2. Key Laboratory of Agriculture Equipment in Mid-lower Yangtze River,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wuhan 430070, China
3. Xingguang Agricultural Machine Co., Ltd., Huzhou 313017, China)

Abstract: In view of the problems of material blockage, accumulation and the sunflower plate can not enter the header due to the reel rewind in the domestic oil sunflower combine harvesters, according to planting model and agronomic requirements of oil sunflower in China, a special header for oil sunflower combined harvesters with low loss was designed. The analysis was carried out on the posture of the sunflower stalks during the dividing process to determine the width and length of the inner divider and the inner divider gap. Selecting different values of reel speed ratio λ to carry out simulation analysis to the reel's motion trajectory in order to determine the range of reel speed ratio and get the optimal diameter and speed of reel. In order to reduce the impact of the dial finger on the sunflower disk during the conveying of the auger, and prevent the sunflower stalk getting entangled on the auger, a scraper conveyor auger was designed. The cutting speed of the reciprocating cutter was determined by the knife-to-machine speed ratio γ to ensure a good cutting effect. For evaluating the actual harvest effect of oil sunflower harvester, a field experiment was carried out in Henan Zhuangzi Village, Fukang City, Xinjiang Uygur Autonomous Region. The forward speed of the whole machine was 0.8 m/s, the feed rate was 3.3 kg/s, and the average loss rate of the header was 1.42%. The operation of the whole machine was stable during the harvesting operation, and there was no accumulation and blockage of the inner and outer dividers, conveying auger feeding smoothly and without entanglement, and there was no return of the oil sunflower plant at the reel, which met the design requirements of the oil sunflower combine harvester header.

Key words: oil sunflower; combine harvester; special header; field test

收稿日期: 2020-03-12 修回日期: 2020-06-04

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0702104)

作者简介: 刘巍(1994—), 男, 博士生, 主要从事农业收获机械研究, E-mail: liuweil@webmail.hzau.edu.cn

通信作者: 黄小毛(1983—), 男, 副教授, 博士, 主要从事现代农业装备设计与测控研究, E-mail: huangxiaomao@mail.hzau.edu.cn

0 引言

油葵是我国四大油料作物之一^[1], 在我国种植面积达到 50 万 hm², 主要分布在东北、华北和西北部地区。目前, 国内尚未有完全成熟的油葵联合收获机, 现有机型普遍在稻麦收获机基础上改装而成^[2]。由于缺乏对油葵植株生物特性的研究, 改装后的油葵联合收获机收获适应性差、割台损失率高, 主要存在以下问题: 拨禾轮回带导致被割后的葵盘飞溅到割台以外, 增大了收获损失; 分禾器左右两侧面易产生油葵物料堆积; 分禾器间隙易产生油葵茎秆堵塞; 割下的油葵植株缠绕于输送器上, 无法顺利进入升运装置。割台是联合收获机的入口和核心部件, 根据收获对象的生物性状进行有针对性的结构设计才能获得理想的收割效果。因此, 研发低损、高效的油葵联合收获机专用割台, 对于提升油葵收获机械化水平、促进我国油葵产业发展具有重要意义。

国外学者于 20 世纪 80 年代开始研究油葵联合收获技术, 对油葵联合收获机割台拨禾轮、分禾器、螺旋输送器和切割器等结构进行了改进设计和参数优化。如 JACOB^[3] 在板式拨禾轮的基础上采用异形拨禾轮增强对油葵植株的喂入效果; SAMUEL^[4] 在切割器上方通过设置压茎辊降低拨禾轮对葵盘击打造成籽粒损失; DANIEL^[5] 对刚性拨禾链拨指进行结构优化, 增强拨指对油葵植株的夹持作用, 减少喂入过程割台损失。但是, 国内外油葵的种植模式差异较大, 国外油葵专用割台并不能完全适应我国油葵的收获作业。近年来, 国内学者主要在水稻、小麦、玉米等粮食作物收获机的联合收获割台降损^[6]和整机结构设计^[7-10]等方面进行了研究。李毅念等^[11]利用气吹式装置产生的均匀气流将小麦喂入割台, 有效降低了割台损失和割台残留; 黄小毛等^[12]在传统油菜割台上利用横流气压装置对割台收获作业时掉落的油菜籽粒进行回收, 从而降低了割台损失。目前, 针对油葵联合收获割台结构设计和参数优化却鲜有报道。

本文在研究国内油葵种植农艺和生物性状的基础上, 设计一种拨禾轮式油葵联合收获机专用割台, 通过理论分析对关键部件的结构参数和运行参数进行优化设计, 通过田间试验对样机作业性能进行验证。

1 割台总体结构与工作原理

为提高油葵收获作业质量, 设计如图 1 所示的拨禾轮式油葵专用割台, 主要由内分禾器、外分禾器、拨禾轮、往复式切割器、割台输送器、传动系统等

组成。可一次完成油葵作物的分禾、扶禾、拨禾、切割、导拢及输送作业。与传统稻麦收获机割台相比, 该割台采用直径较大的三幅式拨禾轮, 减少拨禾轮对作物的击打; 由于油葵种植模式相较于稻麦作物较为稀疏, 因此在割台幅宽内增加内分禾器, 保证油葵植株喂入和切断作业顺畅进行。

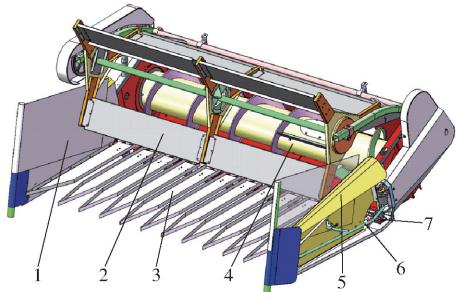


图 1 油葵专用割台结构示意图

Fig. 1 Schematic of oil sunflower special header

1. 外分禾器挡板 2. 拨禾轮 3. 内分禾器 4. 输送器 5. 外分禾器 6. 排禾杆 7. 往复式切割器

收获作业时, 外分禾器将作业幅宽外的油葵植株分开, 作业幅宽内的油葵植株进入内分禾器, 内分禾器将其扶起并引导至对应的通道, 拨禾轮在传动系统的带动下做匀速转动, 实现对油葵植株的扶持和推送, 油葵植株通过内分禾器间隙运动至分禾器末端, 进而被往复式切割器切断, 在输送器的推送作用下, 被割油葵植株被抛入中间输送装置, 最后进入脱粒清选装置进行脱粒清选作业。此外, 为提升外分禾器的分禾效果, 防止油葵植株分禾不彻底, 以及在外分禾器内侧产生堆积, 在外分禾器外侧增加排禾杆, 在其内侧增加外分禾器挡板。

2 油葵植株主要物理特性参数

选取新疆维吾尔自治区昌吉市阜康河南庄子村为试验示范基地, 主要种植品种为矮大头 567 DW。2018 年 9 月 11 日, 选取长势良好的油葵田块进行油葵植株的物理特性参数测量, 该田块油葵种植时间为 2018 年 4 月 26 日, 采用气吸式播种机进行播种, 油葵植株行距为 400 mm, 株距为 190 ~ 210 mm。如图 2 所示油葵植株均处于蜡熟期, 采用五点法进行田间取样 (GB/T 5262—2008), 每个取样点选取油葵 50 株, 油葵植株主要物理参数测量结果如表 1



图 2 矮大头 567 DW 油葵植株

Fig. 2 Short head 567 DW oil sunflower plant

所示。

表 1 油葵植株主要物理特性参数

Tab. 1 Oil sunflower plants parameters

参数	中间值	范围
植株高度/mm	1 186. 8	938. 0 ~ 1 389. 6
葵盘距地高度/mm	1 048. 5	815. 1 ~ 1 236. 3
茎秆直径/mm	18. 2	9. 9 ~ 26. 5
葵盘厚度/mm	19. 5	17. 2 ~ 22. 6
葵盘直径/mm	156. 5	100. 3 ~ 197. 5
籽粒含水率/%	25	21 ~ 30
茎秆含水率/%	76	72 ~ 79

注:茎秆直径为油葵植株离地 450 mm 高度处茎秆直径。

3 关键部件参数设计与分析

3.1 内分禾器结构参数设计

内分禾器是割台的关键部件之一,单个内分禾器的结构形式、尺寸参数以及相邻两内分禾器之间的间隙直接影响油葵植株能否成功喂入割台。

3.1.1 内分禾器宽度

内分禾器宽度主要对内分禾器的分禾、扶禾效果具有显著影响,内分禾器宽度过大时,不对行收获过程中,内分禾器会推倒部分油葵植株,造成茎秆在地面处折断,油葵植株无法成功喂入割台,造成葵盘损失;内分禾器宽度过小时,由于内分禾器属于悬臂梁结构,其末端固定处应力增大,结构强度下降,分禾作业时容易受力变形,且易产生振动。因此,通过分析油葵植株在分禾过程的运动状态来确定内分禾器宽度。

如图 3 所示,考察不对行收获时内分禾器导致的油葵植株侧倾情况,图 3a 为当植株位于内分禾器顶点 A 正前方的极限位置,分禾过程中植株在内分禾器前进方向推力的作用下油葵植株运动至 B 点,此时油葵植株的状态如图 3b 所示。

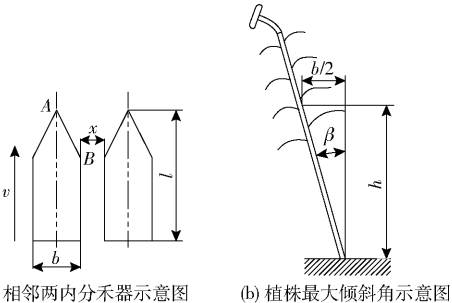


图 3 内分禾器结构与植株侧向倾斜示意图

Fig.3 Schematics of inner divider structure and lateral tilt of plant

为保证植株在进入分禾器间隙前不会因内分禾器 AB 段推力的作用出现茎秆近地面处侧倾折断(即茎秆顺利通过 B 点进入内分禾器间隙)的现象,

最大倾斜角 β 应不大于油葵植株的临界折断角 $\theta^{[13]}$,即

$$\beta = \arctan \frac{b}{2h} \leq \theta \tag{1}$$

式中 θ ——植株临界折断角,油葵植株一般为 15°

b ——内分禾器宽度,mm

h ——内分禾器离地高度,mm

测量当地油葵植株的高度范围为 938.0 ~ 1 389.6 mm,正常收获时分禾器的离地高度在 400 ~ 850 mm 之间。由此可得 $b \leq 214$ mm,即可保证植株不被分禾器折断。

考虑到内分禾器要配合切割器的作业要求,并防止护刃器对油葵植株进行二次分禾,选取的分禾器宽度应为本文所选割刀行程($S = 76.2$ mm)的整数倍,即

$$b = kS \tag{2}$$

式中 k ——倍数

由上文可知 $b \leq 214$ mm,因此 k 取 1 或 2。当 k 取 1 时,内分禾器宽度为 76.2 mm,内分禾器结构强度较低,且内分禾器尾部不易安装固定。故 k 取 2,此时分禾器宽度为 152.4 mm。

3.1.2 内分禾器长度

为保证油葵植株被切割器割断后,植株上部尤其是葵盘仍在内分禾器纵向收集范围内,即割下的油葵植株能够顺利进入割台,分析油葵植株分离部分绝对前倾时的极限情况,分禾器长度应满足

$$l \geq L - a \tag{3}$$

式中 L ——油葵植株总长度,mm

a ——油葵割茬高度,mm

l ——内分禾器长度,mm

割台试验时配套机型为星光 4LZ-5.0Z 型收获机,其收获作业时的最佳留茬高度为 450 mm,由公式(3)可知,内分禾器的长度应大于等于 950 mm,而内分禾器通过螺栓与割台机架相连,分禾器越长其尾部螺栓连接处的应力越大,故本文选取分禾器的长度为 1 000 mm。

3.1.3 内分禾器间隙

新疆昌吉试验区油葵植株茎秆中部直径为 (18.2 ± 8.3) mm,考虑加工和安装误差,取内分禾器间隙的极限尺寸偏差为 6 mm。基于可靠性设计方法^[14],为保证 99% 的油葵植株通过性,内分禾器间隙应满足

$$1 - \varphi \left(\frac{x - 18.2}{\sqrt{8.3^2 + 6^2}} \right) \leq 0.001 \tag{4}$$

式中 φ ——标准正态分布函数

x ——内分禾器间隙,mm

查标准正态分布表计算得 $x \geq 49.7$ mm。故内分禾器间隙应大于等于 $(49.7 + 6)$ mm,内分禾器间隙越小,其发生油葵茎秆堵塞的概率越大,内分禾器间隙大于 55.7 mm 时,才能保证油葵植株顺畅喂入割台,综合考虑油葵植株通过性与割台损失的影响,取内分禾器间隙为 60 mm。

3.2 拨禾轮结构参数与运动参数确定

拨禾轮是辅助导向、收集和输送葵盘的重要部件。收获作业时既要保证快速平稳地向输送器喂入葵盘及相连的部分茎秆,又要保证在拨禾过程中不产生回带现象。

传统稻麦收获机割台拨禾轮采用偏心五杆机构,由于油葵植株葵盘硕大,且油葵茎秆上部呈倒钩状,因此传统拨禾轮在收获油葵过程中弹齿容易造成葵盘穿透性破碎及物料回带。为了解决上述问题,本文采用图 4 所示的三幅板式拨禾轮。拨禾轮由拨禾板、支撑架、拨禾轮轴组成,由于拨禾板受力较小,因此拨禾板的材料选用普通冷轧板 SPCC,由于拨禾板较宽,故拨禾轮在进行收获作业时,其拨禾运动对油葵葵盘冲击较小,减少了籽粒损失,且可防止产生物料回带。

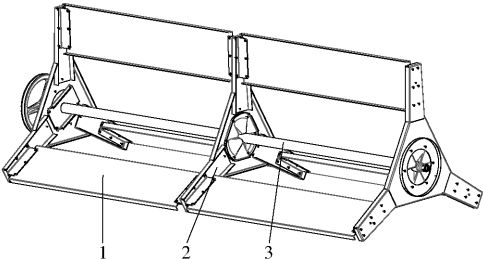


图 4 拨禾轮结构示意图

Fig. 4 Schematic of reel

1. 拨禾板 2. 支撑架 3. 拨禾轮轴

3.2.1 拨禾轮转速

拨禾轮相对地面的运动轨迹取决于拨禾轮的圆周速度 v_b 与整机前进速度 v 的比值 λ (拨禾速比)。不同 λ 取值的拨禾轮运动轨迹如图 5 所示。

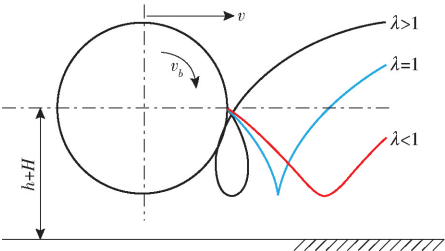


图 5 不同 λ 的拨禾轮运动轨迹

Fig. 5 Reel trajectory with different λ values

要使拨禾轮对油葵茎秆产生扶持切割、输送等作用,就必须使拨禾轮具有水平向后的分速度,从图 5 中 3 个运动轨迹可以看出只有 $\lambda > 1$ 时拨禾轮

有向后的水平分速度,油葵收获作业速度 $v = 0.8$ m/s,根据农业机械设计手册可知,三幅板式拨禾轮拨禾速比 λ 为 1.5 ~ 1.6,为了达到较好的拨禾效果,油葵联合收获机可选取稍大的 λ 值,即 1.6。

由于油葵收获机作业速度为 0.8 m/s,拨禾速比为 1.6,故 $v_b = 1.28$ m/s。此时可得拨禾轮转速

$$n = \frac{60v_b}{2\pi r} \tag{5}$$

式中 r ——拨禾轮半径,mm

由公式(5)计算得出拨禾轮转速为 24.4 r/min。

3.2.2 拨禾轮直径

在拨禾过程中,为避免拨禾板将割断的油葵抛出割台,应使拨禾轮上最低点拨压在油葵植株割断部分的重心 G 点偏上(图 6)。按照油葵一般植株高度及留茬高度范围,预估 G 点与葵盘顶部的距离 $e = 200$ mm。

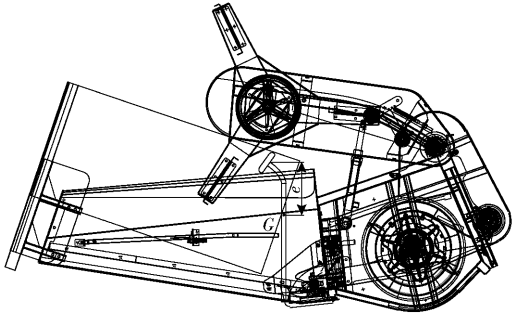


图 6 拨禾过程示意图

Fig. 6 Schematic of reel work process

拨禾轮的直径主要由作物植株的平均株高、被割油葵植株的重心位置和拨禾轮速比 λ 决定^[14],即

$$D = 2\lambda e / (\lambda - 1) \tag{6}$$

式中 D ——拨禾轮直径,mm

经计算得 $D \leq 1\,067$ mm,由于拨禾轮直径越大其拨禾范围越大^[15],因此在满足其安装条件的基础上,要尽可能的增加其拨禾范围保证拨禾质量,本文选取拨禾轮的直径为 1 000 mm。

3.3 输送器刮板结构参数设计

输送器将割断后的油葵导拢集中并抛送至升运器。传统稻麦收获机割台输送器在抛送段采用伸缩拨指形式,割后葵盘的形状与稻麦有很大差异,圆柱形细长拨指和圆饼状葵盘为线接触,不能很好地推送葵盘而造成缠绕和堆积,且易将葵盘击碎,使后续脱粒清选困难。针对上述问题,设计了刮板式输送装置,其结构如图 7,采用刮板结构进行物料输送时,刮板与葵盘之间为面面接触,能够有效减少葵盘所受的击打,刮板结构和油葵茎秆不易产生缠绕,同时刮板结构能够有效减少割台残留。查阅农业机械设计手册选取输送器相应结构参数,输送器具体参

数如表 2 所示。

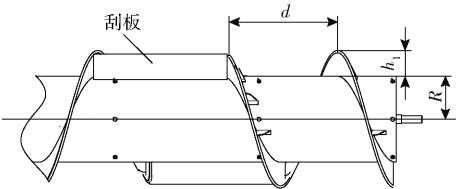


图 7 输送机结构示意图

Fig.7 Schematic of auger structure

表 2 螺旋输送机结构参数

Tab.2 Structural parameters of spiral auger mm	
参数	数值
刮板长度	450
刮板厚度	4
刮板宽度	90
螺旋叶片高度	100
滚筒直径	300
螺距	400

3.4 往复式切割器选型

目前国内的往复式切割器根据其切割行程 S 、动刀片间距 t 、定刀片间距 t_0 可分为普通型 ($S = t = t_0 = 76.2\text{ mm}$)、双刀距行程型 ($S = 2t = 2t_0 = 152.4\text{ mm}$)、低割型 ($S = t = 2t_0 = 101.6\text{ mm}$) 3 种型式。由上文中分禾器间隙取 60 mm ，切割行程大于内分禾器间隙即可，因此选取普通型往复式切割器。

往复式切割器的切割速度 v_p 对切割效果有显著影响，切割器切割速度较慢时，作物茎秆会出现压扁和撕破现象^[16]，而较快又会导致割台振动较大，一般切割器的切割速度 v_p 需要根据机器前进速度 v 确定^[17]，其关系式为

$$v_p = \gamma v \tag{7}$$

式中 γ ——刀机速比，由被割作物的种类和机器类型决定

试验样机的前进速度为 0.8 m/s ，选取 γ 为 $0.75 \sim 1.0$ ，故切割器切割速度为 $0.6 \sim 0.8\text{ m/s}$ ，现有联合收获机往复式切割器的切割速度一般大于等于 0.8 m/s ^[16]，因此选取油葵联合收获机割台往复式切割器的切割速度为 0.8 m/s 。

4 田间试验

4.1 试验条件

2019 年 9 月，在新疆维吾尔自治区昌吉市阜康河南庄子村农户自种长势良好的油葵田开展样机田间试验。油葵行距 400 mm ，籽粒千粒质量 58.8 g ，油葵籽粒含水率 $21\% \sim 30\%$ ，茎秆含水率 $71\% \sim 79\%$ ，产量 $6\,006\text{ kg/hm}^2$ 。

图 8 为履带式油葵联合收获机样机，整机配套

动力 65 kW ，额定转速 $2\,400\text{ r/min}$ ，收获作业速度 0.8 m/s ，割幅 $2\,400\text{ mm}$ 。



图 8 田间试验

Fig.8 Field test of combine harvester

4.2 试验方案与结果分析

依据 GB/T 8097—2008《收获机 联合收割机 试验方法》、GB/T 5262—2008《农业机械 试验条件测定方法的一般规定》并参考 GB/T 21961—2008《玉米收获机械 试验方法》对履带式油葵联合收获机样机进行田间作业性能试验。

单次田间试验时，整机稳定作业 20 m ，在该区域内随机选取 3 处 $1\,000\text{ mm} \times 2\,400\text{ mm}$ 区域作为测试区域，如图 9 所示，收集所选区域内的落粒与葵盘，取出葵盘上的籽粒与收集的落粒一起称量，计算 3 个测点割台籽粒损失率 W_1 ，重复试验 3 次，并取割台籽粒损失率的平均值。计算式为

$$W_1 = \frac{m_1}{m_2} \times 100\% \tag{8}$$

式中 m_1 ——测试区域内收集油葵籽粒总质量，g
 m_2 ——测试区域内油葵籽粒总质量，g

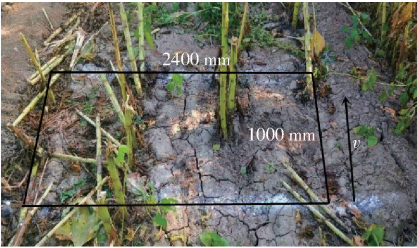


图 9 籽粒收集区域

Fig.9 Oil sunflower grain collection area

田间试验整机的前进速度为 0.8 m/s 时，整机作业效率为 $0.69\text{ hm}^2/\text{h}$ 。样机的各项性能指标与试验结果如表 3 所示。

表 3 样机性能指标与试验结果

Tab.3 Prototype performance indicators and test results		
作业性能参数	性能指标	试验结果
喂入量/($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	≥ 2.5	3.3
割台损失率/%	≤ 3	1.42
脱粒损失率/%	≤ 5	3.3
籽粒破碎率/%	≤ 3	0.68
含杂率/%	≤ 5	4.35

整机收获效果如图10所示,收获后的油葵割茬高度一致,地面无可见油葵葵盘与漏割油葵植株。作业过程中植株喂入顺畅,割台内外分禾器无油葵植株堵塞、堆积,拨禾轮无回带,输送机喂入顺畅、无缠绕,该油葵联合收获专用割台有效解决了油葵割台因葵盘掉落而导致籽粒割台损失率高的问题,对提升我国油葵机械化收获水平具有重要意义。此外,针对高低不同、疏密不同、株行距不同的油葵田



图10 整机收获效果

Fig. 10 Harvesting effect of prototype

块进行收获作业,该油葵联合收获机专用割台具备良好的收获适应性。

5 结论

(1)设计了一种拨禾轮式油葵联合收获机专用割台,包括三幅板式拨禾轮、内分禾器、外分禾器、往复式切割器和刮板式输送器等部件,能够实现油葵植株顺畅喂入,解决了油葵收获时割台内、外分禾器处油葵植株堵塞、堆积,拨禾轮处油葵植株回带,输送机喂入不畅、茎秆缠绕等问题,提高了油葵割台的输送能力,有效降低了割台损失。

(2)样机以0.8 m/s的作业速度进行田间试验时,整机工作性能稳定,油葵喂入顺畅,喂入量为3.3 kg/s,割台平均损失率仅为1.42%,整机作业效率为0.69 hm²/h,各项指标均达到或超过设计技术指标。

参 考 文 献

- [1] 王振华,权丽双,郑旭荣,等. 水氮耦合对滴灌复播油葵氮素吸收与土壤硝态氮的影响[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(10):91-100.
WANG Zhenhua, QUAN Lishuang, ZHENG Xurong, et al. Effects of water-nitrogen coupling on nitrogen uptake and nitrate accumulation in soil of oil sunflower in drip-irrigated multiple cropping system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(10): 91-100. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20161013&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.10.013. (in Chinese)
- [2] 焦鼎. 一种葵花饼收获装置:201410255141.8[P]. 2014-10-08.
- [3] JACOB N. Sunflower header attachment:US,US4445314[P]. 1982-02-22.
- [4] SAMUEL P. Sunflower harvester attachment for combines:US,US4255920[P]. 1979-04-23.
- [5] DANIEL L. Sunflower harvesting attachment for corn picker heads:US,US005467587A[P]. 1994-10-21.
- [6] 李海同,万星宇,徐阳,等. 油菜收获机割台螺旋输送机间隙自适应调节机构研究[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(11):115-122.
LI Haitong, WAN Xingyu, XU Yang, et al. Clearance adaptive adjusting mechanism for header screw conveyor of rape combine harvester[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 115-122. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171114&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.014. (in Chinese)
- [7] 梁苏宁,金诚谦,张奋飞,等. 4LZG-3.0型谷子联合收获机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2015,31(12):31-38.
LIANG Suning, JIN Chengqian, ZHANG Fenfei, et al. Design and experiment of 4LZG-3.0 millet combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(12): 31-38. (in Chinese)
- [8] 陈德俊,龚永坚,黄东明,等. 履带式全喂入稻麦联合收获机工作装置设计[J]. 农业机械学报,2007,38(8):82-85.
CHEN Dejun, GONG Yongjian, HUANG Dongming, et al. Development on some apparatus of Chinese model caterpillar rice-wheat combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(8): 82-85. (in Chinese)
- [9] 王金双,熊永森,徐中伟,等. 纵轴流联合收获机关键部件改进设计与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(10):25-31.
WANG Jinshuang, XIONG Yongsan, XU Zhongwei, et al. Improved design and test of key components for longitudinal axial flow combine harvester[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(10): 25-31. (in Chinese)
- [10] 秦宽,丁为民,方志超,等. 稻麦联合收获开沟埋草一体机播种系统设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(5):54-62.
QIN Kuan, DING Weimin, FANG Zhichao, et al. Design and experiment of seeding system for harvest ditch and stalk-disposing machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(5): 54-62. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170506&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.05.006. (in Chinese)
- [11] 李毅念,易应武,杜世伟,等. 小区谷物联合收获机气吹式割台设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(6):79-87.
LI Yinian, YI Yingwu, DU Shiwei, et al. Design and experiment on air blowing header of plot combine harvester for grain[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(6): 79-87. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170610&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.06.010. (in Chinese)

- Journal of Shandong University of Technology(Natural Science Edition), 2012, 26(3): 60–63. (in Chinese)
- [17] 宋楠,王罗春,赵由才,等. 废旧塑料无水清洁装置的设计及其清洗实验[J]. 环境工程学报,2017,11(4):2457–2461. SONG Nan, WANG Luochun, ZHAO Youcai, et al. Design of waste plastic water-free cleaning equipment and its cleaning experiment[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2017, 11(4): 2457–2461. (in Chinese)
- [18] 杨芳. 基于内流式圆筒筛的大白菜种子精选装置试验研究[D]. 洛阳:河南科技大学,2019. YANG Fang. Experimental study on seed cleaning device of Chinese cabbage based on inner flow cylinder screen[D]. Luoyang: Henan University of Science and Technology, 2019. (in Chinese)
- [19] 曹卫彬,焦灏博,刘姣娣,等. 基于 TRIZ 理论的红花丝盲采装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(8):76–82. CAO Weibin, JIAO Haobo, LIU Jiaodi, et al. Design of safflower filament picking device based on TRIZ theory[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(8): 76–82. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20180809&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.08.009. (in Chinese)
- [20] 李兵. 生活垃圾深度分选及设备优化组合技术研究[D]. 上海:同济大学,2006. LI Bing. Integrated mechanical separation and parameter optimization for municipal solid wastes[D]. Shanghai: Tongji University, 2006. (in Chinese)
- [21] ARIARA O, GUHAN C P, ARTHANAREESWAREN G, et al. CFD study on pressure drop and uniformity index of three cylinder LCV exhaust system[J]. Procedia Engineering,2015,127:1211–1218.
- [22] 康建明,陈学庚,温浩军,等. 基于响应面法的梳齿式采棉机采台优化设计[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(增刊2):57–61. KANG Jianming, CHEN Xuegeng, WEN Haojun, et al. Optimization of comb-type cotton picker device based on response surface methodology[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp. 2): 57–61. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s212&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.012. (in Chinese)
- [23] ZHANG Heng, KANG Jianming, ZHANG Guohai, et al. Design and test of drum-sieve-based film/impurity separation device[J]. International Agricultural Engineering Journal, 2020,29(1): 98–108.
- [24] 任露泉. 试验优化设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [25] 孙岳,简建明,田玉泰,等. 残膜回收机旋转式起膜装置起膜机理分析与试验[J/OL]. 农业机械学报,2018,49(增刊):304–310. SUN Yue, JIAN Jianming, TIAN Yutai, et al. Analysis and experiment of filming mechanism of rotary film-lifting device of residual film recycling machine[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(Supp.): 304–310. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2018s040&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.S0.040. (in Chinese)
- [26] 由佳翰,张本华,温浩军,等. 铲齿组合式残膜捡拾装置设计与试验优化[J/OL]. 农业机械学报,2017,48(11):97–104. YOU Jiahao, ZHANG Benhua, WEN Haojun, et al. Design and test optimization on spade and tine combined residual plastic film device[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(11): 97–104. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20171112&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.11.012. (in Chinese)

(上接第 88 页)

- [12] 黄小毛,查昱涛,宗望远,等. 油菜联合收获割台落粒横流气压收集装置设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(增刊):227–233. HUANG Xiaomao, ZHA Xiantao, ZONG Wangyuan, et al. Design and test of transverse positive pressure airflow collection device for header losses of rape combine harvester[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016,47(Supp.): 227–233. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2016S035&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.S0.035. (in Chinese)
- [13] 杜岳峰,毛恩荣,朱忠祥,等. 两行玉米收获机割台设计与试验[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(增刊2):22–26. DU Yuefeng, MAO Enrong, ZHU Zhongxiang, et al. Design and experiment of two-row corn harvester header[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2013,44(Supp. 2):22–26. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s205&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.005. (in Chinese)
- [14] 谢里阳. 可靠性设计[M]. 北京:高等教育出版社,2013.
- [15] 温英连. 拨禾轮的运动轨迹及作用范围分析[J]. 内蒙古农牧学院学报,1993,14(2):73–79.
- [16] 刘源,李浙昆,吴海涛. 往复式切割器速度参数优化设计与分析——基于 ADAMS[J]. 农机化研究,2011,33(8):42–45. LIU Yuan, LI Zhekun, WU Haitao. Design and analysis of reciprocating cutter velocity parameter's optimization—based on ADAMS[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(8): 42–45. (in Chinese)
- [17] 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.