

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.12.016

王淳, 张卫国, 张优, 等. 刮板式荞麦捡拾装置的设计与试验研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(12): 157-166.

刮板式荞麦捡拾装置的设计与试验研究

王淳, 张卫国, 张优, 丁恒博, 冯松科, 杨福增

西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨凌 712100

摘要: 针对荞麦两段式机械化收获过程中捡拾损失率过高的问题, 设计了一种由刮板捡拾机构与辅助捡拾辊相结合的刮板式荞麦捡拾装置, 以降低荞麦在捡拾作业过程中的籽粒损失。基于刮板捡拾机构运动学的理论分析, 确定了刮板捡拾机构的工作条件, 对刮板捡拾机构和辅助捡拾辊进行了参数化设计。依照单因素试验, 分别以物料输送速度、刮板捡拾速度、刮板捡拾倾角为自变量, 以籽粒捡拾损失率为因变量, 确定捡拾损失率随各因素的变化趋势与 Box-Behnken 试验因素水平。根据 Box-Behnken 试验设计原理, 通过回归分析和响应面分析, 建立了物料输送速度、刮板捡拾速度、刮板捡拾倾角与籽粒捡拾损失率之间的数学模型。结果表明: 各因素对籽粒捡拾损失率的影响由大到小依次为刮板捡拾速度、刮板捡拾倾角以及物料输送速度。应用 Design-Expert 软件的寻优功能对回归方程进行优化求解, 结果表明: 当物料输送速度为 0.79 m/s、刮板捡拾速度为 1.08 m/s、刮板捡拾倾角为 14.39°时, 籽粒捡拾损失率最小值为 4.61%。

关键词: 荞麦; 两段式收获; 捡拾装置; 响应面法

中图分类号: TH122; S225.2⁺3 **文献标志码:** A

文章编号: 1673-9868(2023)12-0157-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and Experiment of Scraper Buckwheat Pick-up Device

WANG Chun, ZHANG Weiguo, ZHANG You,
DING Hengbo, FENG Songke, YANG Fuzeng

College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China

Abstract: Aiming at the problem of high pick-up loss rate during the two-stage mechanized buckwheat harvesting, a scraper pick-up device combining a scraper pick-up mechanism and an auxiliary pick-up roller was designed to reduce the grain loss of buckwheat harvesting during the pick-up operation. Based on the

收稿日期: 2022-12-13

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0701804).

作者简介: 王淳, 硕士研究生, 主要从事智能农业装备研究.

通信作者: 张卫国, 副教授.

theoretical analysis of the kinematics of the scraper pick-up mechanism, the working conditions of the scraper pick-up mechanism were determined. According to the single factor test, the material conveying speed, the scraper picking speed and the scraper picking inclination were used as independent variables, and the grain picking loss rate was used as the dependent variable to determine the changing trend of the picking loss rate with each factor and the factor level of the Box-Behnken test. According to the Box-Behnken experimental design principle, through regression analysis and response surface analysis, a mathematical model was established among material conveying speed, scraper picking speed, scraper picking inclination and grain picking loss rate. The results show that the influence of each factor on the grain picking loss rate from large to small is: scraper picking speed, scraper picking inclination, and material conveying speed. The regression equation was optimized and solved by using the optimization function of Design-Expert software. The results show that when the material conveying speed is 0.79 m/s, the scraper picking speed is 1.08 m/s, and the scraper picking inclination is 14.39° , the minimum rate of picking loss is 4.61%.

Key words: buckwheat; two-stage harvest; pick-up device; response surface method

荞麦因其营养成分佳,药用价值高,保健功能突出,是国际公认的药食兼用杂粮经济作物。人们的膳食营养和健康饮食意识随着生活质量的提高而不断增强,使荞麦在国内外市场的需求量急剧增加^[1]。荞麦具有草谷比大、同植株籽粒成熟期极不一致(植株上同时存在成熟饱满籽粒、未成熟籽粒和盛开的花朵)、成熟籽粒极易脱落、收获时茎秆含水率高等收获特性,两段式收获因能够使荞麦籽粒充分后熟,茎秆含水率降低,故成为目前乃至未来一段时间内荞麦最佳的机械化收获方式。荞麦两段式收获作业过程为,先用割晒机将荞麦植株割倒形成禾铺,晾晒数天后使其籽粒充分后熟,利用带有捡拾装置的联合收获机进行捡拾、脱粒和清选等作业。捡拾装置是两段式捡拾收获机中关键的机械装置,对荞麦两段式捡拾收获作业质量具有显著影响^[2-3]。

目前,两段式收获的捡拾器主要有弹齿滚筒式、伸缩扒齿式和齿带式等^[4-5]。其中齿带式与弹齿滚筒式捡拾器分别在油菜、牧草捡拾上得到了广泛的运用^[6-9]。由于荞麦具有独特的收获特性,现有常规的捡拾器对荞麦的禾铺冲击大,使荞麦捡拾收获时落粒损失严重。基于此,本文依据荞麦植株的力学特性,设计了一种对荞麦植株冲击载荷小、捡拾路径短的刮板式捡拾装置,并在自行研制的捡拾收获试验台上进行了荞麦的捡拾试验研究。

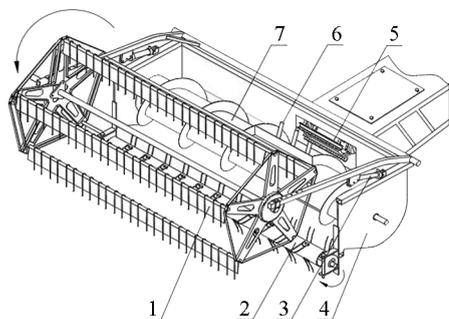
1 刮板式捡拾装置的结构与工作原理

1.1 捡拾装置的总体结构

本文设计的刮板式捡拾装置主要由刮板捡拾机构、辅助捡拾辊、搅龙、捡拾台等部件组成,其结构如图 1 所示。刮板捡拾机构安装在捡拾台前端上部,可通过捡拾台侧板上的 2 个液压油缸调节其捡拾作业高度;辅助捡拾辊安装在捡拾台底部前端,与刮板捡拾机构的回转方向相反;搅龙安装在捡拾台内部,其内部集成的伸缩扒齿将捡拾物料送入链耙式物料输送装置内。

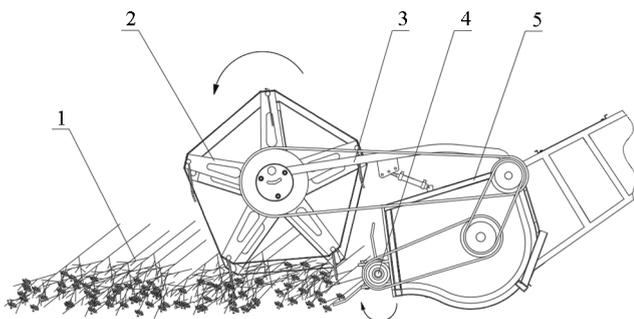
1.2 捡拾装置的工作原理

捡拾收获作业时,先将刮板捡拾机构调整到合适高度,随着捡拾收获机行进,刮板捡拾机构与旋转方向相反的辅助捡拾辊配合,将荞麦禾铺捡拾进捡拾台内,再由捡拾台内的搅龙将荞麦物料送入链耙式物料输送装置内,经输送装置喂入脱粒滚筒内进行脱粒作业。刮板式捡拾装置工作示意图如图 2 所示。



1. 刮板捡拾机构; 2. 辅助捡拾辊; 3. 油缸; 4. 捡拾台; 5. 链耙式物料输送装置; 6. 伸缩扒齿; 7. 搅龙.

图 1 刮板式捡拾装置结构示意图



1. 荞麦不铺; 2. 刮板捡拾机构; 3. 机架; 4. 辅助捡拾辊; 5. 捡拾台.

图 2 刮板式捡拾装置工作示意图

2 刮板式捡拾装置的关键部件设计

2.1 刮板捡拾机构

在对谷物联合收获机的偏心拨禾轮结构进行分析的基础上, 结合荞麦的物料特性, 设计了一种刮板捡拾机构, 该机构主要由支架、辐条、管轴、弹齿、刮板、轮轴、曲柄、辐盘、固定块、偏心盘等组成, 如图 3 所示.

刮板捡拾机构的工作原理如图 4 所示. 刮板捡拾机构由 5 组平行四连杆机构 OO_1aA 组成. 刮板及弹齿 AK 固定在管轴 $A-A$ 上, 管轴 $A-A$ 一端铰接左侧辐盘, 另一端连接曲柄 $A-a$; 曲柄 $A-a$ 铰接在右侧的 2 个辐盘 M 和 M_1 上; 偏心盘与辐盘 M_1 同轴, 偏心盘固定于机架上; M 和 M_1 的中心距 OO_1 为偏心距, 其中 $Aa = OO_1$. 刮板捡拾机构作业过程中, 刮板及其上的弹齿 AK 初始入禾倾角保持不变^[10].

2.1.1 刮板捡拾机构的运动分析及作业条件

1) 刮板捡拾机构的运动分析

刮板捡拾机构的运动可分解为随装置行进的直线运动和绕自身轮轴转动的圆周运动^[10], 如图 5 所示.

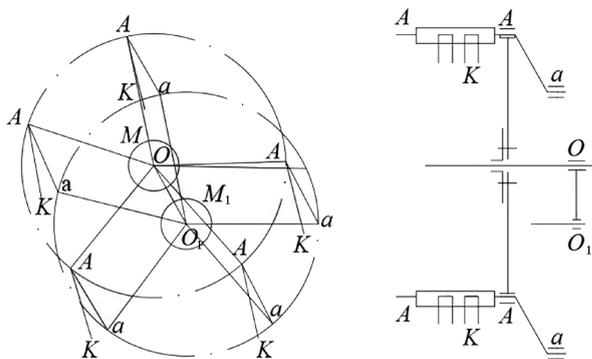
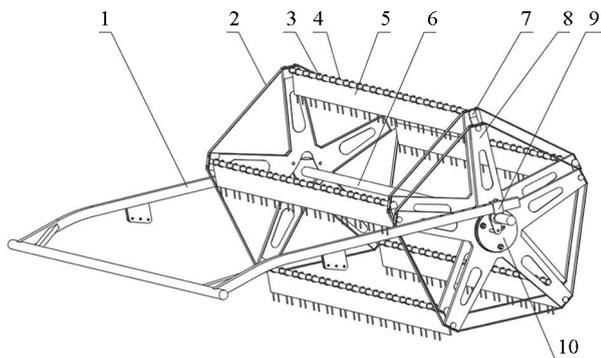


图 4 刮板捡拾机构的结构原理示意图



1. 支架; 2. 辐条; 3. 管轴; 4. 弹齿; 5. 刮板; 6. 轮轴; 7. 曲柄; 8. 辐盘; 9. 固定块; 10. 偏心盘.

图 3 刮板捡拾机构示意图

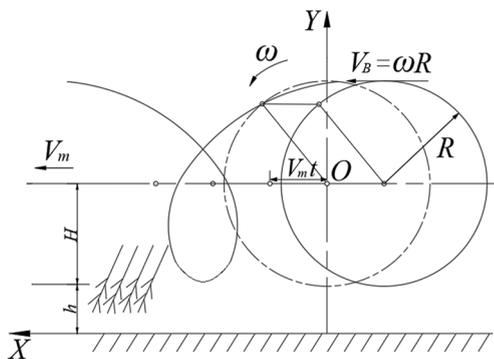


图 5 刮板捡拾机构的运动分析

刮板捡拾机构的运动方程为:

$$x = V_m t + R \cos \omega t \quad (1)$$

$$y = (H + h) - R \sin \omega t \quad (2)$$

式中: x 为刮板的水平位移, m; y 为刮板的垂直位移, m; V_m 为捡拾装置的行进速度, m/s; t 为刮板捡拾机构的运动时间, s; R 为刮板捡拾机构的半径, m; ω 为刮板捡拾机构的角速度, rad/s; H 为刮板捡拾机构的工作高度, m; h 为荞麦禾铺的离地高度, m.

由式(1)和式(2)对时间 t 求导, 可得刮板的水平方向分速度 V_x 与竖直方向分速度 V_y :

$$V_x = \frac{dx}{dt} = V_m - \omega R \sin \omega t \quad (3)$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = -\omega R \cos \omega t \quad (4)$$

2) 刮板捡拾机构的作业条件

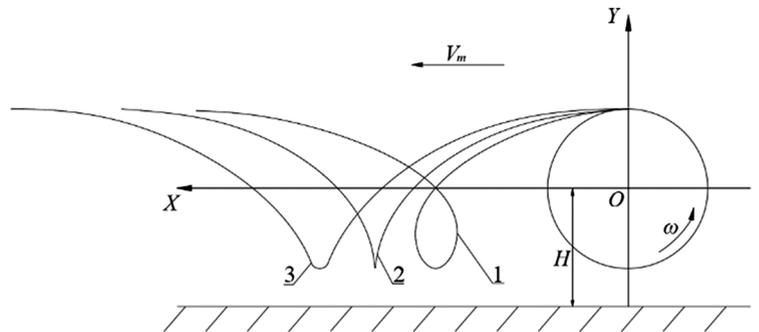
刮板捡拾机构作业时, 刮板末端的轨迹形状决定于捡拾速比 λ (即刮板绕轮轴旋转时的圆周线速度 V_B 与装置行进速度 V_m 的比值). 由图 6 可知, 当 $\lambda > 1$ 时, 刮板捡拾机构的水平分速度与装置行进方向相反, 具有向后捡拾的速度, 运动轨迹形状为余摆线. 故刮板捡拾机构作业的必要条件为捡拾速比 $\lambda > 1$ ^[10].

2.1.2 刮板捡拾机构的参数设计

与选取

1) 刮板捡拾机构的幅宽 L

刮板捡拾机构的幅宽根据所应用机械的不同来确定, 一般中型捡拾联合收获机的幅宽为 1 400 ~ 2 000 mm^[11]. 基于荞麦禾铺的宽度一般为 600 ~ 1 400 mm, 禾铺行间距一般为 1 600 ~ 2 200 mm,



1. $\lambda > 1$; 2. $\lambda = 1$; 3. $\lambda < 1$.

图 6 不同捡拾速比的刮板运动轨迹

本文所设计的刮板捡拾机构的幅宽应大于最大荞麦禾铺宽度, 并处于两个行间距之间而不受其它禾铺的影响, 综合考虑初步选取 L 为 1 800 mm.

2) 刮板捡拾机构的直径 D

在刮板捡拾机构的工作过程中, 为了满足刮板及弹齿垂直入禾、稳定捡拾、防止回带等要求, 且综合考虑荞麦植株高度、捡拾速比等多方面因素, 刮板捡拾机构的直径 D 取 900 mm.

3) 刮板捡拾机构的转速 n

当捡拾装置的行进速度 V_m 一定时, 随捡拾速比 λ 的增加, 刮板的圆周线速度 V_B 增加, 使捡拾物料的冲击力增加, 导致捡拾的损失率增加. λ 值取决于刮板数、作业速度以及荞麦物料的成熟度等. 当刮板数为 6 时, λ 值应偏小(1.5 ~ 1.6); 当刮板数为 4 时, λ 值应偏大(1.6 ~ 1.85). 由于荞麦属于落粒性较强的作物, 刮板捡拾装置的行进速度不宜过大, λ 值应偏小, 参考《农业机械设计手册》, 捡拾装置的行进速度取 3 ~ 7 km/h, λ 值取 1.2 ~ 1.6.

由刮板捡拾机构的 2 种分运动关系可知:

$$V_B = \frac{n\pi D}{60} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{V_B}{V_m} \quad (6)$$

由式(5)与式(6)可得

$$n = \frac{60V_m\lambda}{\pi D} \quad (7)$$

式中: n 为刮板转速, r/min; D 为刮板捡拾机构直径, mm; V_B 为刮板圆周线速度, m/s.

将 $\lambda = 1.2 \sim 1.6$, $D = 900$ mm, $V_m = 0.6 \sim 2$ m/s 带入式(7)得到刮板转速的取值范围 $n = 15.28 \sim 67.90$ r/min.

2.2 辅助捡拾辊

捡拾装置的辅助捡拾辊主要与刮板捡拾机构配合实现荞麦禾铺的捡拾作业, 辅助捡拾辊示意图如图 7 所示.

辅助捡拾辊上有尼龙弹齿, 通过螺栓连接安装在辅助捡拾辊上, 是其工作的核心部件. 为减少捡拾

过程漏捡, 尼龙弹齿在捡拾辊上均布. 当捡拾联合收获机作业时, 尼龙弹齿随机具前进做直线运动, 同时绕捡拾辊轴做与机具前进方向相反的回转运动.

1) 辅助捡拾辊直径 d

在设计辅助捡拾辊时需要考虑到辅助捡拾辊的离地间隙及弹齿的分布. 辅助捡拾辊直径 d 可根据经验公式设计^[11].

$$d = \frac{za}{\pi} \quad (8)$$

式中: d 为捡拾辊直径, mm; z 为弹齿排数; a 为弹齿间距, mm.

考虑到安装难易程度, 本文初步选取排数为 3, 由式(8)可知, 当弹齿排数 z 固定时, 辅助捡拾辊的直径 d 随弹齿间距 a 的增大而增大. 弹齿间距 a 较大时, 较易漏捡. 通过增加辅助捡拾辊的转速可提高捡拾率, 然而辅助捡拾辊的转速增加同样会引起弹齿线速度的增加, 对荞麦的冲击也将增大, 因此弹齿间距 a 不能过大. 同时考虑到弹齿的安装难度, 弹齿间距 a 不宜过小. 依据《农业机械设计手册》, 弹齿输送器式捡拾器的弹齿间距 a 为 63~100 mm^[11], 初步选取弹齿间距 $a = 90$ mm, 通过式(8)计算可得辅助捡拾辊直径 $d = 86$ mm.

2) 辅助捡拾辊长度 l

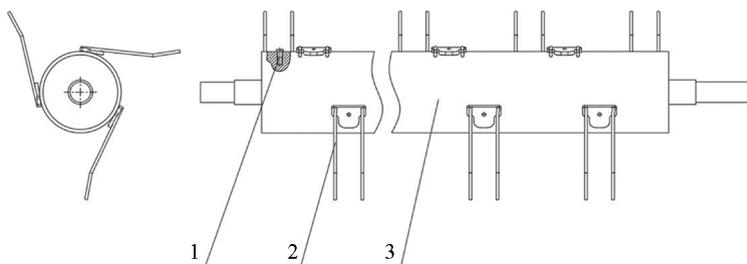
为配合刮板捡拾机构协同作业, 辅助捡拾辊应与刮板捡拾机构的长度保持一致, 故辅助捡拾辊长度 l 取值 1 800 mm.

3) 辅助捡拾辊的转速 n_p

辅助捡拾辊线速度应与刮板捡拾线速度保持一致, 故辅助捡拾辊的转速应满足:

$$n_p = \frac{D}{r}n \quad (9)$$

式中: n_p 为辅助捡拾辊的转速, r/min; n 为刮板转速, r/min; D 为刮板捡拾机构直径, mm; r 为辅助捡拾辊圆心到弹齿齿尖的距离, mm.



1. 六角螺栓; 2. 弹齿; 3. 辅助捡拾辊.

图 7 辅助捡拾辊的结构示意图

将 $D=900\text{ mm}$, $r=170\text{ mm}$, $n=15.28\sim 67.90\text{ r/min}$ 带入式(9), 得到 $n_p=80.89\sim 359.47\text{ r/min}$.

3 刮板式捡拾装置的试验研究

3.1 试验材料

本次试验研究的荞麦品种为西农 9979, 籽粒黑化率为 70%, 割晒当天测定茎秆的含水率为 68.5%, 籽粒的含水率为 20.4%.

如图 8 所示, 荞麦捡拾脱粒试验平台主要包括脱粒装置、链耙输送装置、刮板式捡拾装置和物料输送装置.

3.2 试验方法

试验过程中, 先将适量的荞麦禾铺称重, 并均匀地铺放在物料输送装置上, 进行捡拾、脱粒试验, 试验完成后将各个部分的籽粒收集, 并进行称重. 籽粒捡拾损失率为捡拾过程中损失的籽粒质量除以试验总的籽粒质量, 捡拾损失的籽粒质量 m 为每次试验后收集的损失籽粒质量 m_1 减去铺放过程中掉落籽粒的质量 m_0 ; 籽粒总质量 M 为每次试验后收集到所有籽粒的总质量. 籽粒捡拾损失率计算式为

$$Y = \frac{m_1 - m_0}{M} \times 100\% \quad (10)$$

式中: Y 为籽粒捡拾损失率; m_0 为铺放掉落籽粒质量, g; m_1 为试验后收集的损失籽粒质量, g; M 为籽粒总质量, g.

3.3 单因素试验

根据实际收获作业情况, 影响荞麦籽粒捡拾损失率的主要因素有机具前进速度(本文中为物料输送速度) V_m 、刮板捡拾速度 V_B 及刮板捡拾倾角 γ , 选取上述 3 个因素为试验因素. 以籽粒捡拾损失率为捡拾装置的性能评价指标^[12]. 针对各个影响因素进行单因素试验, 其试验因素及水平如表 1 所示.

表 1 单因素试验因素及水平

水平	物料输送速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	刮板捡拾速度/($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	刮板捡拾倾角/($^\circ$)
1	0.6	1.0	10
2	0.7	1.1	12
3	0.8	1.2	15
4	0.9	1.3	18
5	1.0	1.4	20

单因素试验结果如图 9 所示, 其中籽粒捡拾损失率为 3 次重复试验的均值.

图 9(a)为在物料输送速度为 0.8 m/s, 刮板捡拾倾角为 15°的条件下, 刮板捡拾速度对籽粒捡拾损失率的影响.

图 9(b)为在刮板捡拾速度为 1.2 m/s, 刮板捡拾倾角为 15°的条件下, 物料输送速度对籽粒捡拾损失率的影响.

图 9(c)为在刮板捡拾速度为 1.2 m/s, 物料输送速度为 0.8 m/s 的条件下, 刮板捡拾倾角对籽粒捡拾损失率的影响.



图 8 荞麦捡拾脱粒试验平台
1. 物料输送装置; 2. 刮板式捡拾装置; 3. 链耙输送装置; 4. 脱粒装置.

图 8 荞麦捡拾脱粒试验平台

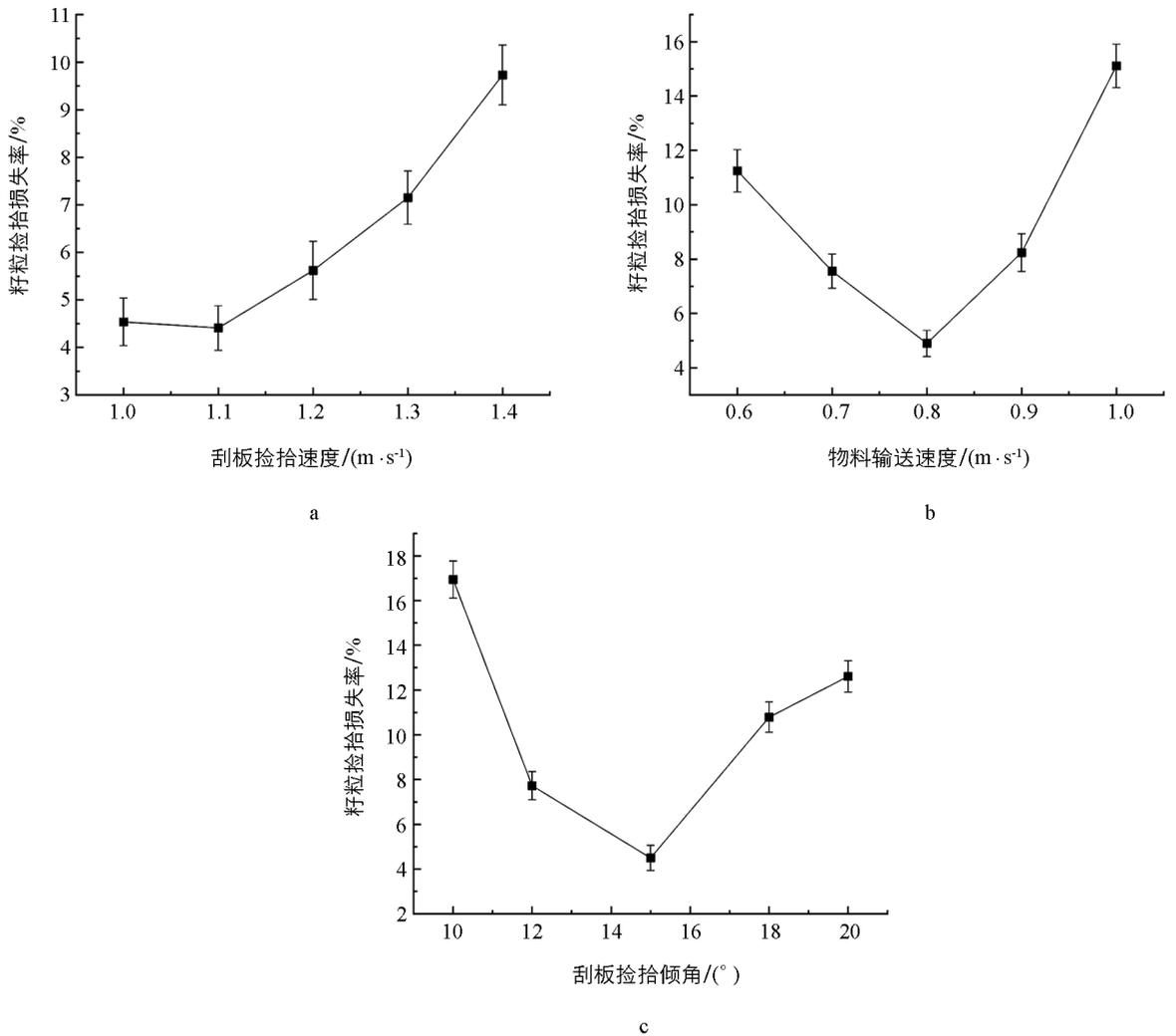


图 9 各单因素对籽粒捡拾损失率的影响

由图 9(a)可知,当物料输送速度与刮板捡拾倾角一定时,籽粒捡拾损失率随刮板捡拾速度先小幅减小,后呈现大幅度增加,在 1.1 m/s 附近时出现最小值;由图 9(b)可知,当刮板捡拾速度与刮板捡拾倾角一定时,籽粒捡拾损失率随物料输送速度的增大,呈现出先减小后增加的趋势,在 0.8 m/s 时最小;同样的,由图 9(c)可以看出,刮板捡拾速度与物料输送速度一定时,随刮板捡拾倾角的增加,籽粒捡拾损失率先减小后增加,在 15°附近出现最小值。

3.4 Box-Benhknen 试验

选取单因素试验的较优因素水平,依据 Box-Benhknen 试验设计原理^[13-14],研究物料输送速度、刮板捡拾速度及刮板捡拾倾角 3 个因素对捡拾损失率的影响,并找出参数的主次影响关系和较优化组合,试验因素水平选取及试验结果分别如表 2 和表 3 所示。

表 2 试验因素编码

水平	因素		
	物料输送速度 $X_1 / (m \cdot s^{-1})$	刮板捡拾速度 $X_2 / (m \cdot s^{-1})$	刮板捡拾倾角 $X_3 / (^\circ)$
-1	0.7	1.0	12
0	0.8	1.1	15
1	0.9	1.2	18

表 3 响应面分析结果

试验号	X_1	X_2	X_3	Y/%
1	-1	-1	0	7.51
2	-1	1	0	10.04
3	0	0	0	5.06
4	0	-1	-1	7.92
5	-1	0	-1	6.68
6	1	1	0	10.65
7	0	1	1	11.72
8	1	-1	0	8.34
9	0	0	0	4.37
10	0	0	0	4.80
11	0	0	0	5.29
12	1	0	-1	7.12
13	0	-1	1	9.15
14	0	1	-1	10.17
15	-1	0	1	8.19
16	0	0	0	4.55
17	1	0	1	8.49

4 试验结果分析及参数优化

4.1 回归模型的建立与检验

借助 Design-Expert 软件对试验结果进行分析, $p < 0.01$ 表明参数对模型影响极为显著, $p < 0.05$ 表示参数对模型影响显著. 二次回归模型方差分析和回归系数显著性检验结果如表 4 所示.

表 4 模型显著性检验

变异来源	籽粒捡拾损失率 Y				
	平方和	自由度	均方	F	p
回归模型	82.82	9	9.2	104.5	<0.000 1
X_1	0.59	1	0.59	6.74	0.035 6
X_2	11.66	1	11.66	132.41	<0.000 1
X_3	4.00	1	4.00	45.46	0.000 3
$X_1 X_2$	0.012	1	0.012	0.14	0.721 9
$X_1 X_3$	0.000 49	1	0.000 49	0.056	0.820 3
$X_2 X_3$	0.026	1	0.026	0.29	0.606 6
X_1^2	5.10	1	5.10	57.88	0.000 1
X_2^2	43.67	1	43.67	495.71	<0.000 1
X_3^2	12.25	1	12.25	139.02	<0.000 1
残差	0.62	1	0.088		
失拟	0.063	3	0.021	0.15	0.924 2
误差	0.55	4	0.14		
总计	83.43	16			

由表 4 分析可知, 影响因素与籽粒捡拾损失率所建立的二次回归模型的 p 小于 0.000 1, 回归模型极为显著; 失拟项大于 0.05, 即失拟不显著, 所拟合的二次回归模型与实际相吻合, 能较为准确地反映籽粒

损失率 Y 和 X_1 、 X_2 、 X_3 之间的关系.

对于籽粒捡拾损失率: 模型的一次项 X_1 (物料输送速度)、 X_2 (刮板捡拾速度)、 X_3 (刮板捡拾倾角) 对籽粒损失率的影响极为显著; 模型的二次项 X_1^2 、 X_2^2 、 X_3^2 影响极为显著; 交互项影响不显著. 各因素对籽粒捡拾损失率的影响从大到小依次为刮板捡拾速度、刮板捡拾倾角、物料输送速度. 将显著项剔除后得到的编码值表示的籽粒损失率二次回归模型为:

$$Y = 4.81 + 0.27X_1 + 1.21X_2 + 0.71X_3 + 1.1X_1^2 + 2.5X_2^2 + 1.7X_3^2 \quad (11)$$

4.2 模型交互作用分析

根据二次回归模型绘制籽粒捡拾损失率与各因素之间关系的响应面图, 响应曲面的形状能够反映正交因素作用的强弱关系^[15].

由图 10(a)可以看出, 随着物料输送速度和刮板捡拾速度的增加, 籽粒损失率呈现先减小后增大的变化趋势, 当刮板捡拾速度为 1.1 m/s, 物料输送速度为 0.8 m/s 时, 籽粒损失率出现了最小值. 其主要原因为当物料输送速度保持在某一水平时, 随着刮板捡拾速度增大, 在捡拾过程中刮板对荞麦的打击次数增多, 使荞麦茎秆的籽粒掉落, 增大了捡拾损失. 当刮板捡拾速度保持在某一水平时, 物料的输送速度增大会引起速比 λ 的增大, 从而引起损失率的增大.

由图 10(b)可以看出, 随着物料输送速度和刮板捡拾倾角的增加, 籽粒损失率呈现先减小后增大的变化趋势, 当刮板捡拾倾角为 15°, 物料输送速度为 0.8 m/s 时, 籽粒损失率出现最小值. 其主要原因为当物料输送速度保持在某一水平时刮板捡拾倾角递增至 15°, 刮板捡拾倾角较小, 使得刮板捡拾装置插入荞麦物料时的相对速度较大, 对荞麦物料的打击严重. 刮板捡拾倾角由 15°增大时, 刮板捡拾倾角过大, 不利于刮板对荞麦物料的输送, 同样也会使籽粒损失率增加.

由图 10(c)可以看出, 随着刮板捡拾速度和刮板捡拾倾角的增加, 籽粒损失率也呈现先减小后增大的变化趋势, 当刮板捡拾倾角为 15°, 刮板捡拾速度为 1.1 m/s 时, 籽粒捡拾损失率出现了最小值.

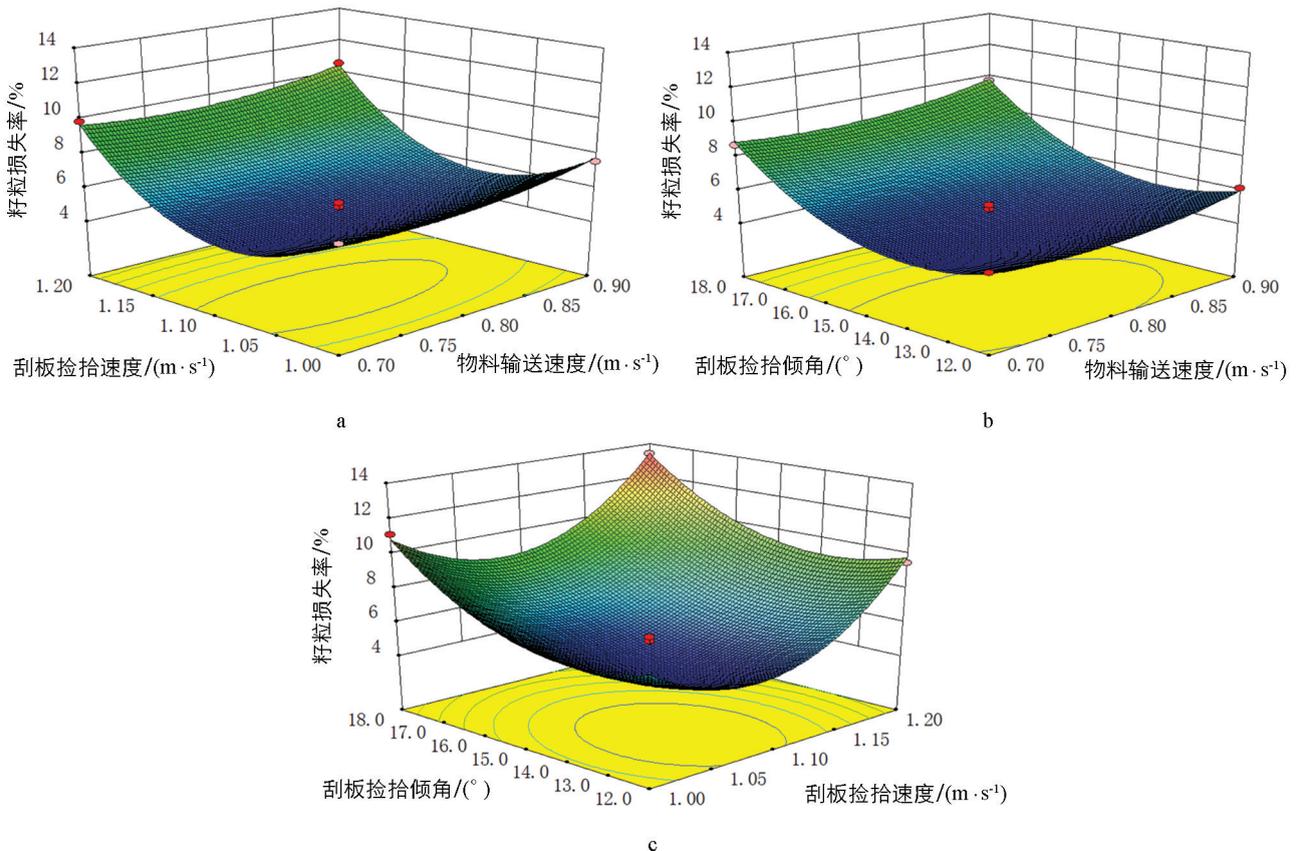


图 10 各因素对籽粒捡拾损失率的影响

4.3 试验参数优化

通过对试验结果以及响应面分析,得到最佳的试验因素水平组合,并利用 Design-Expert 软件的优化模块对回归模型进行求解^[16],根据荞麦两段式捡拾装置的实际工作条件、作业性能要求及以上相关模型分析结果,选择优化约束条件为

$$\begin{cases} \text{Min}Y(X_1, X_2, X_3) \\ \text{s. t.} \begin{cases} 0.7 \text{ m/s} \leq X_1 \leq 0.9 \text{ m/s} \\ 1.0 \text{ m/s} \leq X_2 \leq 1.2 \text{ m/s} \\ 14^\circ \leq X_3 \leq 16^\circ \end{cases} \end{cases} \quad (12)$$

通过优化求解,得到物料输送速度为 0.79 m/s,刮板捡拾速度为 1.08 m/s,刮板捡拾倾角为 14.39°,在此参数条件下捡拾损失率最佳为 4.61%,此时的捡拾速比 λ 为 1.37.

5 结论

1) 针对荞麦两段式机械化收获过程中捡拾作业籽粒损失严重的问题,提出了一种适合荞麦捡拾的刮板式捡拾装置并对其关键部件刮板捡拾机构与辅助捡拾辊进行设计.对刮板捡拾机构进行了运动学的理论分析,确定了刮板捡拾机构的正常工作条件.通过搭建试验平台,展开台架试验,分析了选取因素对籽粒捡拾损失率的影响.

2) 结合单因素试验与 Box-Behnken 试验设计原理,先通过单因素 5 水平试验确定较优水平,后通过 3 因素 3 水平响应面分析方法,对荞麦两段式捡拾装置进行了捡拾性能试验,经过响应曲面分析得到影响籽粒捡拾损失率的因素从大到小依次为刮板捡拾速度、刮板捡拾倾角与物料输送速度.

3) 建立籽粒捡拾损失率与刮板捡拾倾角、物料输送速度、刮板捡拾速度的二次回归模型,并对回归模型进行了优化求解,结果表明当物料输送速度为 0.79 m/s,刮板捡拾速度为 1.08 m/s,刮板捡拾倾角为 14.39°时,荞麦两段式籽粒捡拾损失率为 4.61%,对比第一代捡拾装置齿带式捡拾器(捡拾损失率为 10.58%~23.75%),捡拾损失率有较大幅度的降低,能较好地满足荞麦两段式收获捡拾作业.

参考文献:

- [1] 冯佰利,姚爱华,高金峰,等.中国荞麦优势区域布局与发展研究[J].中国农学通报,2005,21(3):375-377.
- [2] 王强,张卫国,党威龙,等.谷物收获机试验平台研究现状及发展趋势[J].农业工程,2018,8(2):1-10.
- [3] 黄小娜,张卫国,党威龙,等.荞麦收获机械研究现状及发展趋势[J].农业机械,2018(10):84-90.
- [4] 江涛,梁苏宁,金梅,等.齿带式和弹齿滚筒式捡拾器性能对比试验研究[J].农机化研究,2018,40(11):171-175.
- [5] 张丰烁.弹齿式滚筒捡拾装置的设计仿真及试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2019.
- [6] 石磊,吴崇友,梁苏宁,等.油菜分段收获齿带式捡拾器的设计与试验[J].中国农机化,2011,32(4):75-78,82.
- [7] 李泓熠,吴明亮,罗海峰,等.弹齿滚筒式捡拾器捡拾油菜试验研究[J].中国农学通报,2016,32(18):176-182.
- [8] 江涛,梁苏宁,沐森林,等.齿带式油菜捡拾器性能优化与整机参数试验[J].农机化研究,2019,41(4):125-134.
- [9] 姬江涛,李心平,金鑫,等.特色杂粮收获机械化现状、技术分析及装备需求[J].农业工程,2016,6(6):1-3.
- [10] 耿端阳,张道林,王相友.新编农业机械学[M].北京:国防工业出版社,2011.
- [11] 中国农机研究院.农业机械设计手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2007.
- [12] 党威龙.荞麦捡拾脱粒平台的设计与性能试验[D].杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [13] 徐向宏,何明珠.试验设计与 Design-Expert、SPSS 应用[M].北京:科学出版社,2010.
- [14] 杨文雄,高彦祥.响应面法及其在食品工业中的应用[J].中国食品添加剂,2005(2):68-71.
- [15] 靳伟,白圣贺,张学军,等.弹齿式残膜回收机参数优化及试验[J].农机化研究,2020,42(9):186-190.
- [16] 康建明,彭强吉,王士国,等.弹齿式残膜回收机捡拾装置改进设计与试验[J].农业机械学报,2018,49(S1):295-303.