

钉齿滚筒对不同含水率玉米的脱粒试验与分析

赵黎, 陈雨, 张明浩, 张飞, 张黎骅*

(四川农业大学机电学院, 雅安 625000)

摘要: 为研究改进后的轴流式钉齿滚筒对不同含水率玉米进行脱粒的效果, 以川单 417 号玉米为对象, 选取了脱粒线速度、脱粒间隙和玉米含水率为因素, 以未脱净率、破碎率和夹带损失率为指标, 进行了单因素试验与 3 因素 3 水平的正交试验。结果表明, 随着玉米含水率的增加, 未脱净率、破碎率会呈指数式增长; 夹带损失率变化不显著, 可能主要与栅格凹板的孔径有关; 当玉米含水率高达 30.70% 时, 对应最佳脱粒线速度为 $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 脱粒间隙为 45 mm, 其未脱净率为 4.01%, 破碎率为 5.54%, 夹带损失率为 2.05%。

关键词: 钉齿滚筒; 高湿玉米; 正交试验

中图分类号: S225.5

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2018)06-1160-05

Test and analysis of the spike-tooth roller on the threshing of maizes with different moisture contents

ZHAO Li, CHEN Yu, ZHANG Minghao, ZHANG Fei, ZHANG Lihua

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Sichuan Agricultural University, Yaan 625000)

Abstract: In order to study the effect of the improved axial-flow type spike-tooth roller on the threshing of maize with different moisture contents, single factor tests and an orthogonal test with of three factors and three levels were carried out, taking the maize of 'Chuan Dan 417' as the object, threshing linear velocity, threshing clearance and maize moisture content as factors and the unthreshed rate, broken rate and entrainment loss rate as indexes. The results indicated that: with the increase of corn moisture content, the unthreshed rate and broken rate took exponential growth, but the entrainment loss rate did not change significantly, which may be mainly related to the aperture of the grid plate; when the moisture content of maize was up to 30.70%, the corresponding optimum declination linear velocity was $6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, the clearance was 45 mm, and the unthreshed rate, broken rate and entrainment loss rate was 4.01%, 5.54% and 2.05%, respectively.

Key words: spike-tooth roller; corn with high moisture content; orthogonal test

受玉米品种和气候湿润的影响, 我国西南地区玉米收获时含水率在 30% 以上, 直接采用玉米籽粒收获机收获会造成较高的破碎率和含杂率^[1-4], 因此大部分地区仍使用玉米果穗收获机, 需要后续晾晒和脱粒, 耗费大量人力、物力。

曲宏杰等^[5]、徐立章等^[6]和蔡成雄等^[7]发现玉米含水率是影响破碎率的主要因素, 破碎率与脱粒能耗随含水率的增加而增加。周旭等^[8]发现改进脱粒部件能有效地降低籽粒损伤。罗宏博等^[9]设计了柔

性挤搓式玉米脱粒滚筒。李心平等^[10-13]研究了差速式玉米种子脱粒机和玉米种子仿生脱粒机。然而, 目前研究大多数都建议在玉米含水率较低时进行脱粒, 针对高含水率玉米脱粒的理论试验研究较少, 难以满足西南地区玉米籽粒收获的发展要求。

为研究轴流式钉齿滚筒对不同含水率玉米脱粒的适应性, 包括钉齿滚筒对高湿玉米的脱粒效果, 本文采用改进后的轴流式钉齿滚筒试验台, 选取脱粒线速度^[14]、脱粒间隙、玉米籽粒含水率^[15]等 3 个

收稿日期: 2018-03-07

基金项目: 国家玉米产业体系专项项目 (CARS-02-29) 和带状套作玉米全程机械化农机农艺融合关键技术研究 (2017YFD030170402) 国家科技支撑计划共同资助。

作者简介: 赵黎, 硕士研究生。E-mail: 1970506678@qq.com

* 通信作者: 张黎骅, 博士, 教授。E-mail: 357148948@qq.com

试验因素, 以川单 417 玉米为试验对象进行了单因素试验和 3 因素 3 水平正交试验, 以确定轴流式钉齿滚筒对不同含水率玉米脱粒适应性, 为玉米籽粒收获机脱粒部件设计、改进及参数选择提供依据^[4]。

1 材料和方法

1.1 试验设备

试验台由 5TY-120-500 型钉齿式玉米脱粒机改制而成, 下部有 4 个脱粒出料口, 每个出料口收集约 330 mm 的脱粒区间的籽粒。采用钉齿冲击式的脱粒方式, 脱粒速度和脱粒间隙可以根据试验要求进行调节, 适应性能强。通过变频器改变电动机转速, 可以得到不同的脱粒速度。试验台结构及其示意图如图 1 和图 3 所示, 脱粒试验场景见图 2。其他试验设备有变频器、直尺、秒表、电子秤、转速测定仪和游标卡尺等。

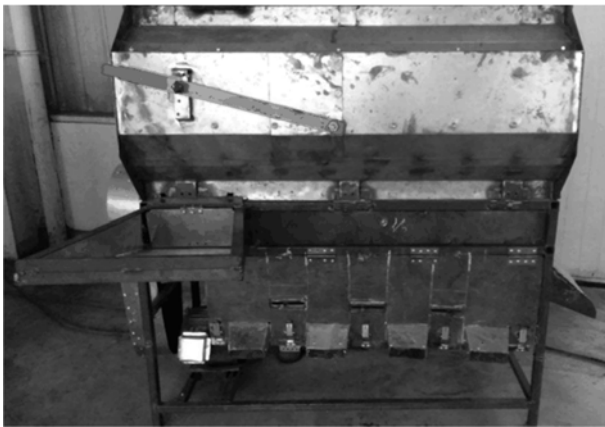


图 1 脱粒试验台实物

Figure 1 The physical drawing of the thresher



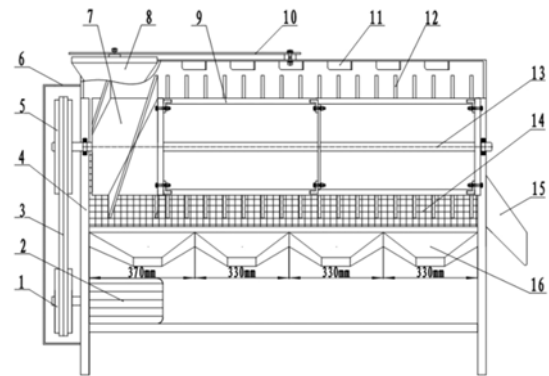
图 2 脱粒试验场景

Figure 2 The scene of threshing test

1.2 试验材料

试验材料选取种植在雅安多营镇的川单 417

(川审玉 2006010) 玉米品种, 果穗长 19.0 cm 左右, 半马偏硬粒型, 千粒重 300 g, 子粒排列形式直。将玉米分成多组, 通过烘干和晾晒相结合的方法, 从而得到不同玉米籽粒含水率的果穗玉米。



1.小带轮; 2.电动机; 3.皮带; 4.机架; 5.大带轮; 6.安全罩; 7.螺旋轮; 8.入料口; 9.钉齿滚筒; 10.导流角调节杆; 11.导流板; 12.钉齿; 13.滚筒轴; 14.凹板筛网; 15.排芯口; 16.出料口

1.small belt wheel; 2.electric motor; 3.leather belt; 4.body frame; 5.large belt wheel; 6.guard; 7.helical wheel; 8.feed port; 9.spike-tooth roller; 10.diversion angle adjusting rod; 11.baffle; 12.spike tooth; 13.drum shaft; 14.concave screen screen; 15.core outlet; 16.discharge port

图 3 脱粒试验台结构示意图

Figure 3 The structure schematic of the thresher

1.3 试验方法

依据《脱粒机试验方法 (GB/T5982—2005)》^[16]和《农业机械试验条件测试方法的一般规定 (GB/T5262—2008)》^[17]、《玉米脱粒机作业技术规程 (DB21/T 2668—2016)》^[18]等进行试验。选取脱粒线速度^[14]、玉米含水率^[15]、脱粒间隙为试验因素, 先进行单因素多水平试验, 确定出水平范围, 然后选取 3 个水平进行 3 因素 3 水平的正交试验^[19], 每组试验均匀喂入 5 kg 玉米果穗, 重复 3 次, 结果取平均值。

1.4 试验指标

衡量玉米脱粒效果的试验指标很多, 本研究主要研究玉米含水率等因素的影响, 故采用未脱净损失率、籽粒破碎率和夹带损失率 3 个指标为应变量^[16]。清选破碎籽粒时采用放大镜和灯箱检测系统检验破碎和有裂纹的玉米籽粒。

2 结果与分析

2.1 单因素试验

为确定正交试验的各因素水平范围, 首先对脱粒线速度、玉米含水率和脱粒间隙进行了不同水平

的单因素试验。

2.1.1 脱粒线速度对试验指标的影响 选用玉米含水率为30.7%，脱粒间隙为40 mm，取脱粒线速度4、5、6、7和8 m·s⁻¹，脱粒试验结果如图4所示。

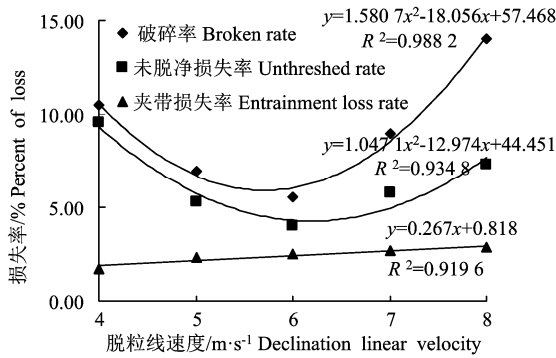


图4 脱粒线速度单因素试验结果曲线

Figure 4 Single factor test result curve of threshing linear velocity

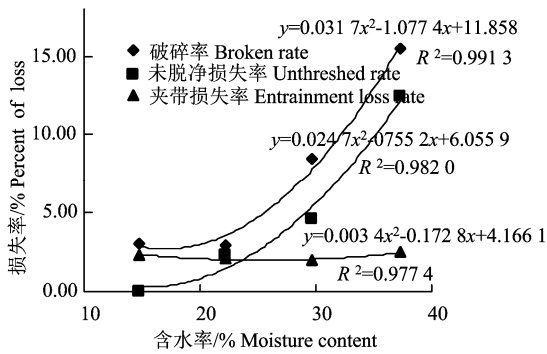


图5 籽粒含水率单因素试验结果曲线

Figure 5 Single factor test result curve of grain moisture content

由图4可知，未脱净率与破碎率随着脱粒线速度的增加先减小，后变大。线速度过小时，打击的力度也较小，甚至出现堵塞、卡住的情况，玉米通过相互挤塞排出，未能真正完成脱粒过程，未脱净率较高，并且玉米在脱粒机中滞留时间较长，受到多次打击，破碎率也较高；当脱粒线速度超过6 m·s⁻¹后，玉米又会由于过快的线速度而提前排出滚筒，未脱净率增加。玉米受到钉齿冲击的力度加大，破碎率也迅速增加。夹带损失率随脱粒线速度的增大变化不明显，可能主要与凹板筛网的孔径有关。

2.1.2 含水率对试验指标的影响 选用脱粒线速度为6 m·s⁻¹，脱粒间隙为40 mm，取玉米含水率为14.70%、22.21%、30.70%和37.22%进行试验。结果(图5)表明，未脱净率、破碎率随玉米含水率的增加呈指数式增长。可能因为含水率较低时，玉米籽粒体积收缩，籽粒之间出现间隙，因而玉米籽粒容易松动；随着含水率的增加，玉米籽粒侧向与

纵向相互挤靠而形成支撑，籽粒间排列紧密，连接强度增加，玉米不易脱下，并且籽粒饱满较软，表皮柔韧性大，冲击时易破碎^[20-21]。夹带损失率随玉米籽粒含水率增大变化不明显，可能主要与凹板筛网的孔径有关。

2.1.3 脱粒间隙对试验指标的影响 确定脱粒线速度为6 m·s⁻¹，玉米含水率为30.7%，脱粒间隙分别取25、35、45和55 mm，脱粒试验结果(图6)显示，未脱净率、破碎率随脱粒间隙的增大先下降后上升，脱粒间隙过小时，玉米容易受到较大挤压因而破碎率较高，玉米还未脱下籽粒就被带出滚筒，未脱净率也高；间隙过大，玉米未能受到脱粒元件的充分击打就被排除了滚筒，未脱净率增加。并且玉米受到的击打作用大于揉搓作用，破碎率也会提高。夹带损失率随脱粒间隙的增大变化不明显，可能主要与凹板筛网的孔径有关。

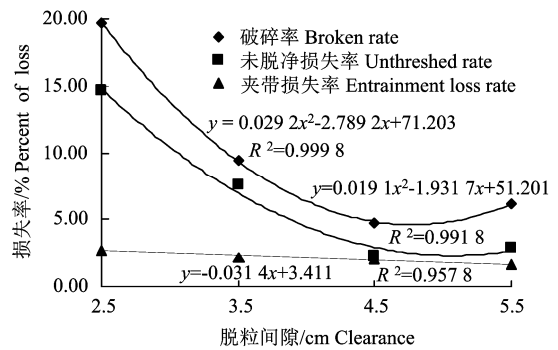


图6 脱粒间隙单因素试验结果曲线

Figure 6 Single factor test result curve of threshing gap

2.2 正交试验

根据单因素试验的结果，由于含水率、脱粒线速度、脱粒间隙的改变对夹带损失率的影响不显著，故不考虑夹带损失率。然后对3个因素分别选取了3个水平进行正交试验^[22]，正交试验方案及结果见表1。

根据正交试验表结果，利用SPSS20软件进行方差分析^[22-23]，分析结果(表2)可知，含水率对破碎率的F值=75.953，P<0.05，籽粒含水率对破碎率的影响非常显著。

由于本试验有2个性能指标，故采用加权综合评分的方法对试验数据进行处理。破损率和未脱净率的加权系数均设定为0.5^[9-11]。

加权综合评分值按照下式计算： $y_3=0.5 \times y_1+0.5 \times y_2$

通过计算加权综合评分值，如表1综合损失率y₃所示，得出最优试验方案是脱粒线速度为4 m·s⁻¹，籽粒含水率为14.7%，脱粒间隙为50 mm。

表 1 正交试验方案及结果
Table 1 Orthogonal test scheme and result

L9(3 ⁴)试验号	脱粒线速度 $X_1/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ Threshing linear velocity	籽粒含水率 $X_2/\%$ Grain moisture content	空列 Vacant column	脱粒间隙 X_3/mm Threshing gap	未脱净率 $Y_1/\%$ Unthreshed rate	破碎率 $Y_2/\%$ Broken rate	综合损失率 $Y_3/\%$ Compositive loss rate
1	1(4.0)	1(35.1)	1	1(30)	8.45	19.57	14.01
2	1(4.0)	2(25.2)	2	2(40)	17.64	3.56	10.60
3	1(4.0)	3(14.7)	3	3(50)	1.20	1.60	1.40
4	2(5.5)	1(35.1)	2	3(50)	12.58	15.33	13.96
5	2(5.5)	2(25.2)	3	1(30)	9.60	7.23	8.42
6	2(5.5)	3(14.7)	1	2(40)	0.06	3.80	1.93
7	3(7.0)	1(35.1)	3	2(40)	16.26	23.51	19.89
8	3(7.0)	2(25.2)	1	3(50)	6.05	5.45	5.75
9	3(7.0)	3(14.7)	2	1(30)	0.00	7.69	3.85

表 2 破碎率和未脱净率方差分析检验结果
Table 2 The results of broken rate and unthreshed rate by variance analysis

源 Source	因变量 Dependent variable	III类平方和 III SS	自由度 DF	均方 MS	F	显著性 Significance
修正模型 Modified model	破碎率	480.511 ^a	6	80.085	28.497	0.034
	未脱净率	316.260 ^b	6	52.710	2.306	0.333
截距 Intercept	破碎率	855.368	1	855.368	304.368	0.003
	未脱净率	573.443	1	573.443	25.086	0.038
A 线速度 A linear velocity	破碎率	27.847	2	13.924	4.955	0.168
	未脱净率	5.590	2	2.795	0.122	0.891
B 含水率 B moisture content	破碎率	426.904	2	213.452	75.953	0.013
	未脱净率	260.009	2	130.005	5.687	0.150
C 间隙 C gap	破碎率	25.760	2	12.880	4.583	0.179
	未脱净率	50.661	2	25.331	1.108	0.474
误差 Error	破碎率	5.621	2	2.810		
	未脱净率	45.719	2	22.860		
总计 Total	破碎率	1 314.499	9			
	未脱净率	935.422	9			
修正后总计 Revised total	破碎率	486.131	8			
	未脱净率	361.979	8			

注: $P<0.01$ 表示差异极显著 ($P<0.01$); $0.01<P<0.05$ 表示差异显著。 $P>0.05$ 表示差异不显著。 a. $R^2=0.988$, b. $R^2=0.874$

Note: $P<0.01$ indicates extremely significant ($P<0.01$); $0.01<P<0.05$ indicates significant difference, $P>0.05$ indicates no significant difference.

表 3 验证试验
Table 3 Verification test

试验编号 Test number	第 1 区间脱下 籽粒/g Unfix grain of interval 1	第 2 区间脱下 籽粒/g Unfix grain of interval 2	第 3 区间脱下 籽粒/g Unfix grain of interval 3	第 4 区间脱下 籽粒/g Unfix grain of interval 4	未脱净率/% Unthreshed rate	破碎率/% Broken rate
1	1 660.0	1 379.6	648.2	131.4	0.22	2.90
2	1 504.8	1 223.0	829.0	350.3	0.00	3.28
3	1 466.5	1 169.5	773.5	326.0	0.40	1.90
4	1 392.6	1 085.9	779.7	287.3	0.04	2.20

2.3 试验验证

对以上得出的最优参数的组合进行 4 次重复验证试验。结果见表 3。

对试验结果取平均值得出籽粒未脱净率为 0.17%，破碎率为 2.57%。与理论预测值的绝对误差低于 2%，证明优化方法所得的结论可信。

2.4 脱下籽粒分布情况

对以上最优参数组合的各个出料口的籽粒进行收集和统计。并增加如表4所示的第2、3、4组试验。各组试验重复4次,结果取平均值。

由图7可知,第1、3、4号试验的各出料口玉

米所占百分比分布曲线基本一致,脱下的玉米籽粒沿滚筒轴向方向逐渐减少。只有试验2的曲线差异较大,可能随着脱粒线速度加大,脱下的籽粒在靠近排芯端的脱粒区间增加。

表4 各出料口收集籽粒所占百分比试验

Table 4 Testing the percentage of seeds collected from each outlet

试验编号 Test number	脱粒线速度/ $m \cdot s^{-1}$ Threshing linear velocity	籽粒含水率/% Grain moisture content	脱粒间隙/mm Threshing gap
1	4	14.7	50
2	8	14.7	50
3	4	30.7	50
4	4	14.7	25

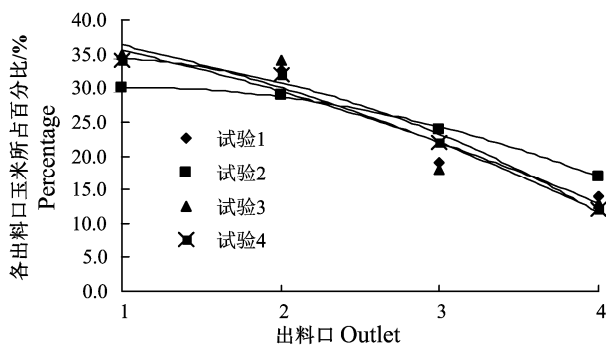


图7 各出料口收集籽粒所占百分比

Figure 5 The percentage of seeds collected from each outlet

3 结论

采用钉齿脱粒滚筒对玉米进行脱粒试验时,随着玉米含水率的增加,未脱净率、破碎率会呈指数式增长。

当玉米籽粒含水率为30%及以上时,破碎率、未脱净率随脱粒线速度先减小后增加,最佳脱粒线速度为 $6 m \cdot s^{-1}$,最佳脱粒间隙为45 mm。其未脱净率为4.01%、破碎率为5.54%,夹带损失率为2.05%。

采用钉齿轴流式脱粒装置进行脱粒时,脱下的玉米籽粒会沿滚筒轴向方向逐渐减少。脱粒线速度增加,脱下的籽粒会在靠近排芯端的脱粒区间增加。

参考文献:

- [1] 郝付平,陈志. 国内外玉米收获机械研究现状及思考[J]. 农机化研究, 2007, 29(10):206-208.
- [2] 贺俊林, 佟金. 我国玉米收获机械的现状及其发展[J]. 农机化研究, 2006, 28(2): 29-31.
- [3] 白钰, 杨自栋, 耿端阳. 浅述我国玉米联合收获机技术发展及发展趋势[J]. 农业装备与车辆工程, 2010, 48(7): 3-6.
- [4] 崔中凯, 邸志峰, 周进, 等. 5TYS₂₈₀ 玉米脱粒精选试验台的设计研究[J]. 农机化研究, 2017, 39(5):113-117.
- [5] 曲宏杰, 张道林, 杨廷文, 等. 含水率对玉米脱粒性能影响的

试验研究[J]. 农机化研究, 2014(2):153-156.

- [6] 徐立章, 李耀明, 王显仁. 谷物脱粒损伤的研究进展分析[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1):303-307.
- [7] 蔡成雄, 马利伟, 周汝平. 不同含水率玉米果穗机械脱粒对发芽率的影响[J]. 南方农业, 2013, 7(1):55-56.
- [8] 周旭, 李心平, 高连兴, 等. 两种脱粒滚筒的玉米籽粒损伤试验研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(6):756-758.
- [9] 罗宏博, 寇元哲, 连潇. 柔性挤搓式玉米脱粒机滚筒的设计[J]. 农业机械, 2016, 8:94-95.
- [10] 李心平. 种子玉米脱粒损伤机理及STYZ-1型定向喂入式脱粒机研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2007.
- [11] 李心平, 高连兴. 差速式玉米种子脱粒机的性能试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12):102-106.
- [12] 李心平, 熊师, 杜哲, 等. 浮动式玉米单穗脱粒装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2017, 48(7):104-111.
- [13] 李心平, 马磊, 耿令新, 等. 玉米种子仿生脱粒机性能试验与参数优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(5):62-69.
- [14] 张洪军, 王凤娟, 姬晓东. 螺旋钉齿式滚筒转速对玉米脱粒效果的影响分析[J]. 机械设计与制造, 2016, 3(3):58-60.
- [15] 全国质量、密度技术委员会. 烘干法水分测定仪: JG 658-2010 [S]. 北京: 中国计量出版社, 2010.
- [16] 中国机械工业联合会. 脱粒机试验方法: GT/T 5982-2005 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2005.
- [17] 中华人民共和国农业部. 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.
- [18] 辽宁省质量技术监督局. 玉米脱粒机作业技术规程: DB21/T 2668-2016 [R/OL]. <http://www.biaozhun1.com/DB/zh16/DB21-T2668-2016.htm>.
- [19] 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.
- [20] 高连兴, 李飞, 张新伟, 等. 含水率对种子玉米脱粒性能的影响机理[J]. 农业机械学报, 2011, 42(12):92-96.
- [21] 李心平, 高连兴, 马福丽. 玉米种子脱粒特性的试验研究[J]. 农机化研究, 2007, 29(2): 156-158.
- [22] 刘瑞江, 张业旺, 闻崇炜, 等. 正交试验设计和分析方法研究[J]. 实验技术与管理, 2010, 27(9): 52-55.
- [23] 程琮. SPSS 统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 2016.