

玉米果穗螺旋摩擦输送装置的输送性能试验

刘师多, 牛康, 师清翔, 王升升, 袁琦堡, 张奎

(河南科技大学车辆与动力工程学院, 洛阳 471003)

摘要: 为解决小型玉米联合收获机上难于配置果穗输送装置的问题, 该文利用自制玉米果穗输送试验台, 试验研究了玉米果穗螺旋摩擦输送搅龙的叶片高度、导向侧板倾角、导向侧板位置角、搅龙升运角和搅龙转速等对玉米果穗输送性能的影响, 验证了玉米果穗输送装置对不同状态果穗的适应性。果穗处于下降侧输送、螺旋叶片高度 20 mm、转速 300 r/min、侧板位置角 70°、侧板倾角 75°的情况下, 可以较好的完成玉米果穗的输送, 有效避免了传统螺旋输送装置输送过程中引起的果穗损伤。

关键词: 收获机, 螺旋输送, 效率, 玉米果穗, 损伤

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.12.002

中图分类号: S225.5⁺¹

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-12-0009-08

刘师多, 牛康, 师清翔, 等. 玉米果穗螺旋摩擦输送装置的输送性能试验[J]. 农业工程学报, 2013, 29(12): 9-16.

Liu Shiduo, Niu Kang, Shi Qingxiang, et al. Performance experiment of friction conveying device for maize ears[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(12): 9-16. (in Chinese with English abstract)

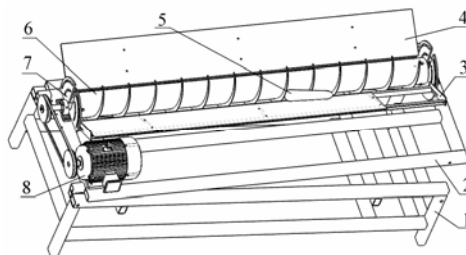
0 引言

目前, 玉米联合收获机上广泛使用链耙式果穗输送装置, 其工作可靠, 性能稳定, 但结构复杂^[1-6]。螺旋输送装置结构简单^[7-11], 在玉米联合收获机上亦有应用, 但由于其利用螺旋叶片之间的空间输送玉米果穗, 使得结构庞大, 难以配置于小型玉米联合收获机, 且输送过程中易损伤果穗。针对链耙式输送装置结构复杂, 现有螺旋输送装置结构庞大且损伤果穗的问题, 本文提出了低叶片的玉米果穗螺旋摩擦输送装置, 果穗在输送过程中始终处于叶片的上方, 不仅减小了输送装置的结构尺寸, 且在输送过程中不损伤果穗^[12-21]。本研究分析了该装置的输送原理^[22-26], 试验研究了结构运动参数对果穗的损伤程度、落粒情况和输送效率的影响规律, 初步确定了该装置的结构运动参数。

1 试验装置结构和工作原理

玉米果穗输送装置试验台如图 1 所示: 主要由底架 1、升运角调节架 2、侧板支撑架 3、弧形槽调节侧板 4、果穗 5、螺旋输送搅龙 6、调节盘 7 和调

速电机 8 等组成。启动电机, 螺旋输送搅龙旋转, 位于其上方的果穗在叶片推力、摩擦力和侧板扶持力的共同作用下完成输送过程。



1. 底架 2. 升运角调节架 3. 侧板支撑架 4. 弧形槽调节侧板
5. 玉米果穗 6. 螺旋输送搅龙 7. 调节盘 8. 调速电机
1. Underframe 2. Adjusting bracket of life-and-conveyor angle 3. Side plate frame 4. Adjustable side plate with arc slot 5. Maize ears 6. Auger conveyor 7. Adjustable plate 8. Adjustable-speed motor

图 1 玉米果穗输送装置试验台

Fig.1 Test bed of maize ears transportation

试验装置的主要结构参数: 搅龙长度 2 m, 搅龙内径 133 mm, 螺旋叶片螺距 150 mm, 螺旋叶片高度、搅龙转速、搅龙升运角、侧板相对搅龙的位置和倾角均可调。玉米果穗输送装置的性能主要表现在对果穗的损伤程度、落粒情况和输送能力。

首先将待研究的螺旋输送搅龙 6 安装于升运角调节架 2; 通过调节升运角调节架 2 和底架 1 之间的夹角调节螺旋输送搅龙 6 与水平面的夹角(即升运角); 通过侧板支撑架 3 上的弧形槽调节侧板相对搅龙的位置和倾角; 螺旋输送搅龙的转速通过调速电机 8 调节。

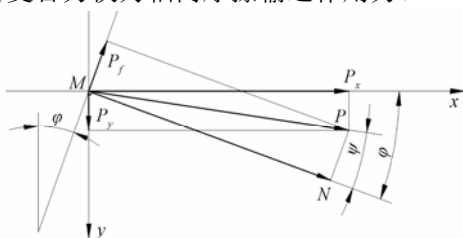
当螺旋面的升角 φ 在展开状态时, 螺旋线用一

收稿日期: 2012-12-24 修订日期: 2013-03-13

基金项目: “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAD20B10);

作者简介: 刘师多(1955-), 男, 河南沁阳人, 教授, 主要从事农业机械应用技术的研究, 洛阳 河南科技大学车辆与动力工程学院, 471003. Email: liushiduo@163.com

条斜直线表示。螺旋叶片的升角以内升角最大。以在内升角处的搅龙正上方的 M 点作为研究对象, 受力分析如图 2 所示。螺旋叶片表面作用在 M 点上的力为 P , 由于果穗受叶片的摩擦力 P_f 作用, P 力的方向与螺旋面的法线方向偏离了 ψ 角。 ψ 角的大小由果穗在螺旋面的摩擦角 ρ 决定。 P 力可分解为沿轴向的力 P_x 和沿圆周方向的力 P_y , 当螺旋面的升角 φ 小于摩擦角 ρ 时, P_y 等于零, 即果穗在输送过程中所受合力仅为轴向摩擦输送作用力。



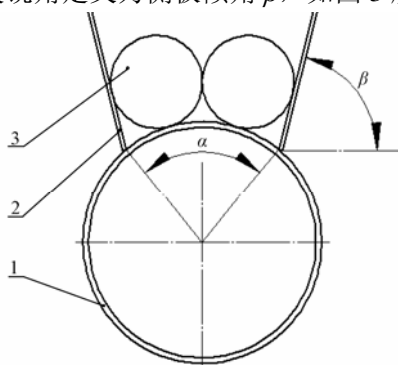
注: P 为螺旋叶片表面作用在 M 点上的力, N ; ψ 为 M 点所受合力 P 与螺旋面法线方向的夹角, ($^{\circ}$); φ 为螺旋面的升角, ($^{\circ}$); P_x 为 P 沿轴向的力, N ; P_y 为 P 沿圆周方向的力, N 。

Note: P represent acting force on the point M by screw blade surface, N ; ψ represent intersection angle of the resultant force P with the normal direction of the screw blade surface on the point M , ($^{\circ}$); φ represent helix angle, ($^{\circ}$); P_x represent axial component of the force P , ($^{\circ}$); P_y represent circumferential direction component of the force P , N .

图 2 玉米果穗受力分析图

Fig.2 Stress analysis of maize ears

输送装置两导向侧板依螺旋输送搅龙纵垂面对称安装, 在果穗输送两侧侧板所夹搅龙圆弧段对应的圆心角定义为侧板位置角 α , 侧板与果穗输送平面所夹锐角定义为侧板倾角 β , 如图 3 所示。



1. 螺旋输送搅龙 2. 侧板 3. 玉米果穗
1. Auger conveyor 2. Side panel 3. Maize ears

注: α 为侧板位置角, ($^{\circ}$); β 为侧板倾角, ($^{\circ}$).
Note: α represent side panel position angle, ($^{\circ}$); β represent side panel inclination angle, ($^{\circ}$).

图 3 玉米果穗、侧板和搅龙位置关系截面图

Fig.3 Sectional view of maize ears, side panel and auger positional relationship

2 试验材料与方法

2.1 试验材料

试验材料为河南省孟津县常袋乡试验田机器收获的玉米果穗, 以卡尺紧卡在果穗两端的方式测量作为果穗长度尺寸, 在最大直径处测量作为果穗

直径尺寸。取 2 000 个玉米果穗进行测量和统计, 其中 96.3% 的果穗苞皮含水率 30%~50%、果穗长度 150~300 mm、果穗直径 50~75 mm 的范围内, 定义为常态果穗。将与常态果穗的长度、直径和苞皮含水率不同的果穗 (苞皮含水率小于 30%, 长度小于 150 mm 或直径小于 50 mm 的果穗) 定义为其他 3 种状态, 如表 1 所示。

表 1 玉米果穗状态分类表

Table 1 Classification of maize ears status

状态 Status	类别 Classification			
	长度 Length/mm	直径 Diameter/mm	苞皮含水率 Bract skin moisture content /%	比例 Percentage/%
1	>150	>50	>30	96.30
2	>150	<50	>30	1.25
3	<150	>50	>30	2.30
4	>150	>50	<30	0.15

2.2 试验方法

参数试验部分均选用常态果穗完成。对于果穗的不同状态进行适应性试验, 研究果穗的长度、直径和苞皮含水率与不同果穗对装置输送性能的影响。

分别以叶片高度、果穗输送位置、搅龙转速和搅龙升运角为试验因素进行单因素试验, 分析各因素对果穗输送性能的影响规律。以侧板位置角和侧板倾角为试验因素进行双因素试验, 分析侧板位置角和侧板倾角对果穗输送性能的影响规律。使用参数试验的结果, 进行果穗适应性试验, 了解装置对果穗状态的适应性。室内试验均为静态试验, 与田间作业时的工况不同。因此, 室内试验完成后, 将输送装置配置在与手扶拖拉机配套的双行玉米联合收获机上, 进行田间试验。

每次试验取选定状态的玉米果穗 20 个, 通过试验得到玉米果穗输送 1.5 m 的距离所用时间的平均值, 以此计算果穗的运动速度 (v_1 , m/s), 以 v_1 与搅龙叶片外缘的轴向速度 (v , m/s) 之比定义为果穗输送效率 η , 即

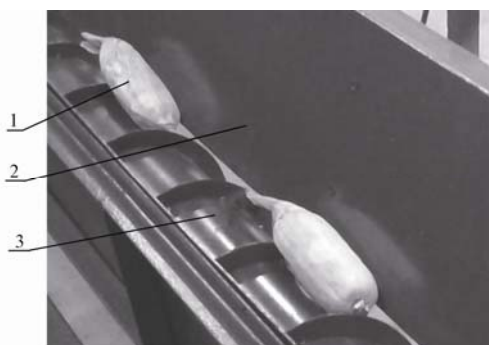
$$\eta = \frac{v_1}{v} \times 100\% \quad (1)$$

果穗损伤的程度以果穗损伤值来衡量。果穗完成输送无损伤, 损伤值定义为 0; 果穗完成输送有损伤, 损伤值定义为 1; 果穗损伤, 且因损伤严重未完成输送过程, 损伤值定义为 2。

果穗损伤率 η_1 : 在同一试验条件下, 完成 n 次果穗输送, 其中有 m 次在输送过程中有果穗破损或落粒现象, 则以 m 与 n 的比来表征果穗的损伤情况。即

$$\eta_1 = \frac{m}{n} \times 100\% \quad (2)$$

输送过程中，位于两侧板之间的玉米果穗会出现跳动，沿螺旋输送搅龙轴向的滑动等运动状态。为了提高输送能力，减少果穗损伤，希望减小果穗与螺旋输送搅龙之间的相对运动，这就要求螺旋输送搅龙相邻叶片之间的轴向距离大于果穗长度的 1/2，使输送过程中的果穗容易处于图 4 所示的稳定状态。小于螺距尺寸的果穗会落在相邻叶片之间的空隙中，增大了果穗损伤的可能性，所以螺距不宜选取过大。对本研究选用的果穗取 2000 个测量长度，尺寸在 150~300 mm 范围内的果穗占 97.70%，因此，螺距选取 150 mm。以叶片升角小于果穗与叶片之间摩擦角为原则，结合螺距尺寸确定输送搅龙的内径为 133 mm。



1. 果穗 2. 侧板 3. 螺旋输送搅龙
1. Maize ears 2. Side panel 3. Auger conveyor

图 4 玉米果穗输送状态

Fig.4 Status of maize ears transport

与手扶拖拉机配套的双行玉米联合收获机的田间作业速度为 0.5 m/s。计算知，该机田间作业时搅龙的理论最低转速为 200 r/min，考虑田间作业时机组的振动等引起果穗输送效率的降低，初选搅龙转速 300 r/min。

叶片高度大，果穗不易滑过搅龙叶片，输送效率高，但易于损伤果穗。玉米果穗直径集中在 50~75 mm 的范围内，因此叶片高度取 5、10、15、20 和 25 mm 的系列值。

搅龙侧板之间可容纳 2 个或 2 个以上玉米果穗的最小侧板位置角为 70°，玉米果穗能完成输送的最大侧板位置角为 180°，故 70° < α < 180°。侧板倾角大于果穗在一般热压或冷轧钢板上的摩擦角 ρ (30°)，故 30° < β < 90°。

3 试验结果与分析

3.1 输送效率与叶片高度的关系

果穗输送位置选定为下降侧；搅龙转速 300 r/min；侧板位置角选取范围中间值 125°；侧板倾角选取范围中间值 60°；升运角 0。选用第 1 状态的果穗（常态果穗），对叶片高度为 5、10、15、20

和 25 mm 的搅龙各完成 20 次果穗输送。对试验结果使用 SPSS 软件进行方差分析，结果如表 2 所示。

表 2 方差分析表

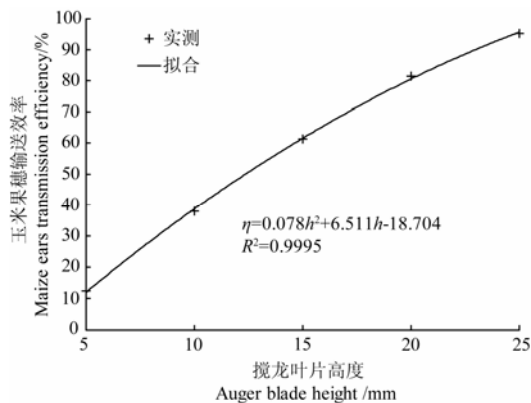
Table 2 Table of variance analysis

方差来源 Variance source	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F Value	P 值 P Value
叶片高度 Blade height	组合 2.215	4	0.55	962.5	0
	线性项 对比 2.188	1	2.19	3802	0
	偏差 0.027	3	0.01	15.86	0
	二次项 对比 0.026	1	0.03	45.80	0
	偏差 0.001	2	0	0.891	0.426
	三次项 对比 0	1	0	1.73	0.203
	偏差 0	1	0	0.05	0.822
误差 Error	0.012	20	0.001		
总和 Total	2.227	24			

注：果穗输送位置为下降侧；搅龙转速 300 r/min；侧板位置角 125°；侧板倾角 60°；升运角 0。

Note: Maize ears conveying position, descending side; Auger rotational speed, 300 r/min; Side panel position angle, 125°; Side panel inclination angle, 60°; Auger lift-and-convey angle, 0.

由表 2 可以看出叶片高度对果穗输送效率的影响显著，且最高显著项次数是 2。叶片高度小，果穗容易滑过螺旋叶片，输送效率低；反之叶片高度大，果穗的输送效率高。使用 Matlab 软件对试验数据结果进行多项式拟合，输送效率 (η, %) 与叶片高度 (h, mm) 的拟合结果见图 5。



注：果穗输送位置为下降侧；搅龙转速 300 r/min；侧板位置角 125°；侧板倾角 60°；升运角 0。

Note: Maize ears conveying position, descending side; Auger rotational speed, 300 r/min; Side panel position angle, 125°; Side panel inclination angle, 60°; Auger lift-and-convey angle, 0.

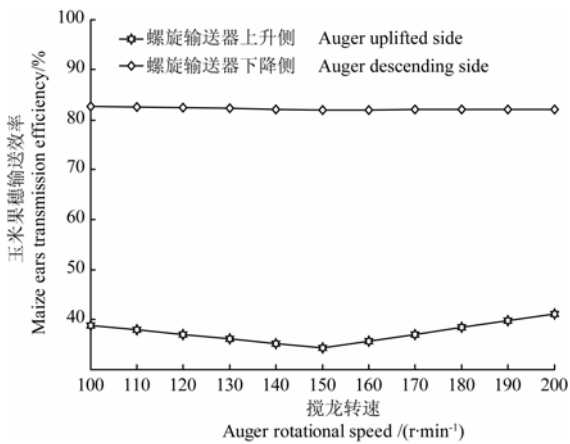
图 5 叶片高度与输送效率的关系曲线

Fig.5 Relation curves between transmission efficiency and blade height

从图 5 可以看出：搅龙叶片高度 ≥ 20 mm 时，果穗的输送效率大于 80%。田间作业中发现，小果穗（直径小于 30 mm 果穗）容易卡入搅龙和侧板的空间中造成损失，考虑到搅龙叶片与侧板之间有 5 mm 的安全间隙，叶片高度适宜取值为 20 mm。

3.2 输送效率与果穗位置的关系

果穗在输送过程中处于搅龙的上方，搅龙水平或以某一升运角放置，搅龙旋转时，一侧搅龙叶片上升为上升侧，另一侧搅龙叶片下降为下降侧。预试验发现，当侧板位置角小于 150°或搅龙转速大于 200 r/min 时，在上升侧输送的果穗容易被搅龙叶片带到下降侧，无法完成试验。因此，根据叶片高度试验的结果，选取螺旋叶片高度为 20 mm；侧板位置角选取范围最大值 180°；侧板倾角选取范围中间值 60°；升运角 0。选用第 1 状态的果穗（常态果穗），搅龙的转速从 100 r/min 开始以 10 r/min 的间隔增大到 200 r/min，各完成 20 次果穗输送。根据试验结果绘制不同位置的输送效率与搅龙转速关系的对比曲线如图 6 所示。



注：螺旋叶片高度 20 mm；侧板位置角 180°；侧板倾角 60°；升运角 0。
 Note: Blade height, 20mm; Side panel position angle, 180°; Side panel inclination angle, 60°; Auger lift-and-convey angle, 0.

图 6 螺旋输送装置上升侧和下降侧的输送效率对比曲线
 Fig.6 Comparison curves of transmission efficiency with auger uplifted side and descending side

从图 6 可知：搅龙转速在 100~200 r/min 的范围内，螺旋输送装置下降侧的效率大于 80%，而上升侧的输送效率为 40%。分析认为，在上升侧输送的果穗受到搅龙叶片向上的作用力，有将果穗带起脱离侧板的趋势，加上装置的振动，均不利于果穗达到理想的输送势态，上升侧输送效率仅为下降侧输送效率的一半，果穗应在下降侧输送。

3.3 输送效率与侧板位置角和倾角的关系

根据果穗位置试验的结果，果穗选定为处于下降侧输送；根据叶片高度试验的结果，选取螺旋叶片高度为 20 mm；搅龙转速 300 r/min；升运角 0。侧板位置角 α 以 27.5°的间隔从 70°增大到 180°，侧板倾角 β 以 15°的间隔从 30°增大到 90°，选用第 1 状态的果穗（常态果穗），对每一侧板位置角和倾角的组合完成 20 次果穗输送。

以输送效率 η 为目标函数，侧板位置角 α 和倾角 β 为自变量，建立数学模型。利用 SPSS 软件分

析数据得出回归方程

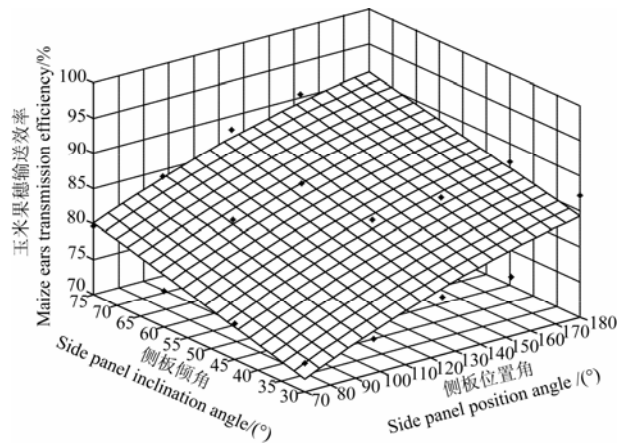
$$\eta = 0.0011 \times \alpha + 0.0017 \times \beta + 0.603 \quad (3)$$

回归方程的方差分析结果见表 3。由表 3 可知回归模型显著。该模型的修正决定系数为 0.9997，表明该模型拟合程度好。

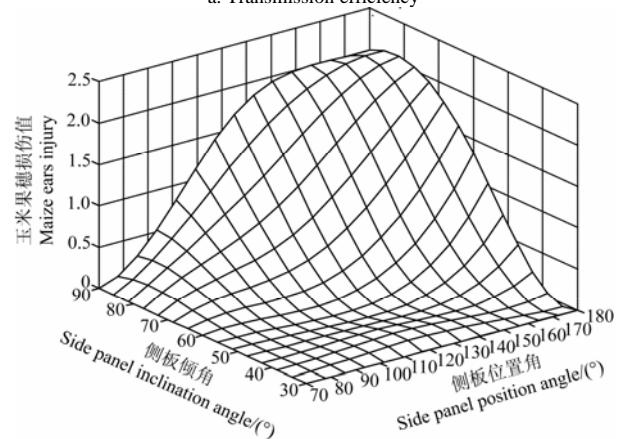
表 3 方程检验表
 Table 3 Equation inspection table

方差来源 Variance source	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 Value F	P 值 Value P
回归 Regression	0.0501	2	0.0251	68.4105	0
误差 Error	0.0062	17	0.0004		
总和 Total	0.0563	19			

绘制侧板位置角、倾角与输送效率的响应曲面如图 7a 所示，绘制侧板位置角、倾角与果穗损伤值的响应曲面如图 7b 所示。



a. 输送效率
 a. Transmission efficiency



b. 玉米果穗损伤值
 b. Maize ears injury

注：果穗输送位置为下降侧；螺旋叶片高度 20 mm；搅龙转速 300 r/min；升运角 0。
 Note: Maize ears conveying position, descending side; Blade height, 20 mm; Auger rotational speed, 300 r/min; Auger lift-and-convey angle, 0.

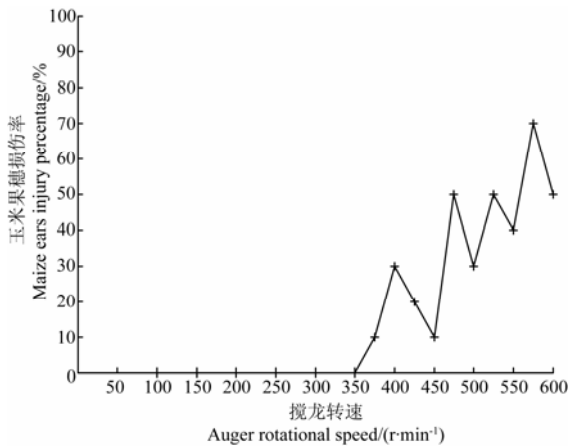
图 7 侧板位置角、侧板倾角与输送效率、果穗损伤值的响应曲面

Fig.7 Response surface of transmission efficiency and maize ears injury with Side panel position angle and inclination angle

可以看出，当侧板位置角大于 100°时，侧板倾角应小于 40°，否则必定造成玉米果穗的损伤。减小侧板倾角有利于在较大范围内选择侧板位置角，但同时会造成果穗在侧板上堆积、输送效率降低和输送装置整体尺寸增大等现象。综合分析，侧板位置角和倾角的建议取值为 70°和 75°。

3.4 果穗损伤与搅龙转速的关系

根据果穗位置试验的结果，果穗选定为处于下降侧输送；根据叶片高度试验的结果，选取螺旋叶片高度为 20 mm；根据侧板位置角和倾角试验结果，侧板位置角选取 70°、侧板倾角选取 75°；升运角 0。选用第 1 状态果穗（常态果穗），搅龙转速以 50 r/min 的间隔从 50 r/min 增大到 600 r/min，各完成 20 次果穗输送。记录玉米果穗的损伤情况，如图 8 所示。



注：果穗输送位置为下降侧；螺旋叶片高度 20 mm；侧板位置角 70°；侧板倾角 75°；升运角 0。
 Note: Maize ears conveying position, descending side; Blade height, 20 mm; Side panel position angle, 70°; Side panel inclination angle, 75°; Auger lift-and-convey angle, 0.

图 8 转速对玉米果穗的损伤情况

Fig.8 Maize ears injury caused by rotational speed of the auger

当转速小于 350 r/min 时，果穗籽粒不脱落，无损伤情况；当转速大于 350 r/min 时，输送过程中果穗有明显的跳跃，籽粒的脱落情况随着转速的升高而加剧。因此，搅龙转速选取小于 350 r/min。

3.5 输送效率与搅龙升运角的关系

根据果穗位置试验的结果，果穗选定为处于下降侧输送；根据叶片高度试验的结果，选取螺旋叶片高度为 20 mm；搅龙转速 300 r/min；根据侧板位置角和倾角试验结果，侧板位置角选取 70°、侧板倾角选取 75°；选用第 1 状态的果穗，搅龙的升运角以 5°的间隔从 0 增大到 40°，各完成 20 次果穗输送。对试验结果使用 SPSS 软件进行方差分析结果如表 4。

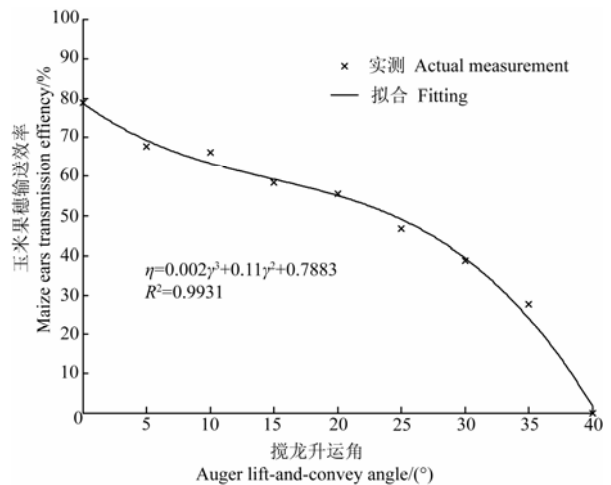
表 4 方差分析表

Table 4 Table of variance analysis

方差来源 Variance source	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	均方 Mean square	F 值 F Value	P 值 P Value
搅龙转速 Auger rotational speed	4.645	8	0.581	64.723	0
线性项 Linear term	4.214	1	4.214	477.03	0
偏差 Deviation	0.431	7	0.062	6.965	0
二次项 Quadratic term	0.266	1	0.266	30.155	0
偏差 Deviation	0.164	6	0.027	3.1	0.009
三次项 Cubic term	0.132	1	0.132	14.956	0
偏差 Deviation	0.032	5	0.006	0.729	0.603
四次项 Quartic term	0.006	1	0.006	0.639	0.426
偏差 Deviation	0.027	4	0.007	0.752	0.56
误差 Error	0.716	81	0.009		
总和 Total	5.360	89			

注：果穗输送位置为下降侧；螺旋叶片高度 20 mm；搅龙转速 300 r/min；侧板位置角 70°；侧板倾角 75°。
 Note: Maize ears conveying position, descending side; Blade height, 20 mm; Auger rotational speed, 300 r/min; Side panel position angle, 70°; Side panel inclination angle, 75°.

由方差分析的结果可知搅龙升运角对输送效率的影响显著，且最高显著项次数是 3。使用 Matlab 软件对试验数据结果进行多项式拟合，输送效率 (η , %) 与升运角 (γ , °) 的拟合结果见图 9。



注：果穗输送位置为下降侧；螺旋叶片高度 20 mm；搅龙转速 300 r/min；侧板位置角 70°；侧板倾角 75°。
 Note: Maize ears conveying position, descending side; Blade height, 20 mm; Auger rotational speed, 300 r/min; Side panel position angle, 70°; Side panel inclination angle, 75°.

图 9 升运角与输送效率的关系曲线

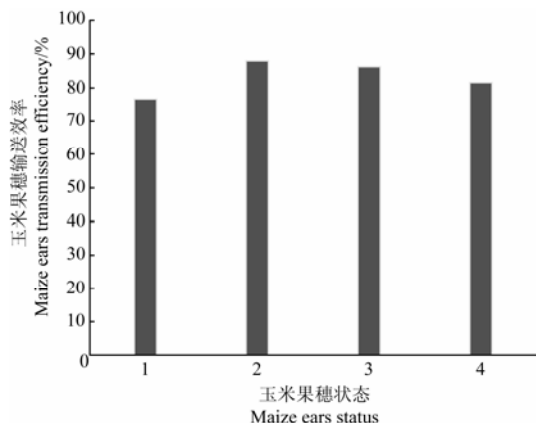
Fig.9 Relation curves between transmission efficiency and auger lift-and-convey angle

从图 9 可以看出：螺旋输送装置能进行玉米果穗输送的极限升运角为 40°，螺旋输送装置的升运角小于 24°时，能够满足效率不低于 50%。

3.6 输送装置对果穗状态的适应性试验

根据果穗位置试验的结果，果穗选定为处于下

降侧输送; 根据叶片高度试验的结果, 选取螺旋叶片高度为 20 mm; 搅龙转速 300 r/min; 根据侧板位置角和倾角试验结果, 侧板位置角选取 70°、侧板倾角选取 75°; 升运角 0。对 4 种状态的果穗各完成 20 次输送。记录果穗输送效率如图 10 所示。



注 1: 状态 1: 长度 > 150 mm、直径 > 50 mm、苞皮含水率 > 30%; 状态 2: 长度 > 150 mm、直径 < 50 mm、苞皮含水率 > 30%; 状态 3: 长度 < 150 mm、直径 > 50 mm、苞皮含水率 > 30%; 状态 4: 长度 > 150 mm、直径 > 50 mm、苞皮含水率 < 30%。果穗输送位置为下降侧; 螺旋叶片高度 20 mm; 搅龙转速 300 r/min; 侧板位置角 70°; 侧板倾角 75°; 升运角 0。
Note 1: Status 1: length > 150 mm, diameter > 50 mm, bract skin moisture content > 30%; Status 2: length > 150 mm, diameter < 50 mm, bract skin moisture content > 30%; Status 3: length < 150 mm, diameter > 50 mm, bract skin moisture content > 30%; Status 4: length > 150 mm, diameter > 50 mm, bract skin moisture content < 30%; Maize ears conveying position, descending side; Blade height, 20 mm; Auger rotational speed, 300 r/min; Side panel position angle, 70°; Side panel inclination angle, 75°; Auger lift-and-convey angle, 0.

图 10 输送装置对玉米果穗状态的适应性

Fig.10 Delivery device to maize ears status adaptability

在该试验条件下, 果穗在输送过程中不损伤。整体上对于不同状态的果穗的输送效率变化不大, 输送装置对不同状态果穗的适应性较强。

3.7 田间试验

2012 年秋收季节, 该输送装置配置在 4Y-2 型与手扶拖拉机配套的玉米联合收获机上, 在河南省孟津县常袋乡试验田进行了田间试验。配置状态为果穗处于下降侧输送, 螺旋叶片高度 20 mm、搅龙转速 300 r/min、侧板位置角 70°、侧板倾角 75°、搅龙升运角 25°。

2012 年 10 月 18 日, 河南省农业机械产品质量监督检验中心对试验样机进行了田间作业性能检测。检测结果表明: 该机作业速度 0.5 m/s, 总损失率 1.1% (国家标准为总损失率不大于 4%), 其它各项指标均达到国家标准要求, 整机通过了新产品检测鉴定。

4 结论

1) 叶片高度、侧板位置角和侧板倾角是影响玉米果穗输送效率的重要因素。增大叶片高度, 有

利于提高输送效率, 但当叶片高度大于 25 mm 时, 果穗损伤明显增大。减小侧板位置角和增大侧板倾角有利于提高输送效率, 但果穗损伤增大。

2) 螺旋输送搅龙的转速影响果穗输送过程的稳定性, 在试验条件下, 当其转速超过 350 r/min 时, 果穗跳动剧烈, 损伤增大。

3) 本玉米果穗螺旋输送装置的适宜参数组合是: 果穗处于下降侧输送、螺旋叶片高度 20 mm、转速 300 r/min、侧板位置角 70°、侧板倾角 75°。该参数下的果穗水平输送效率达 80%, 极限升运角度为 40°。当升运角度不大于 15° 时, 输送效率不低于 50%, 且对不同尺寸和含水率的玉米果穗具有良好的适应性。

4) 该试验研究结果仅适用于装置进行单层玉米果穗输送的情况。该装置配置在与手扶拖拉机配套的双行玉米联合收获机上, 进行了田间试验, 机进速度 0.5 m/s, 果穗输送效率能够满足要求, 输送过程不损伤果穗。

【参 考 文 献】

- [1] 白人朴. 我国玉米生产机械化进入了快速发展期[J]. 农业技术与装备, 2008(7): 6-7.
- [2] 李军榜, 马艳明. 联合收割机输送装置的工作原理和参数计算[J]. 农机市场, 2008(7): 64-66.
Li Junbang, Ma Yanming. The working principle and parameter calculation of combine delivery device[J]. Agricultural Machinery Market, 2008(7): 64-66. (in Chinese with English abstract)
- [3] 杨富营, 余泳昌, 高献坤, 等. 4YW-2 型玉米收获机的性能改进与试验分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(12): 114-118.
Yang Fuying, Yu Yongchang, Gao Xiankun, et al. Function improvement and experimental analysis of 4YW-2 type corn harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(12): 114-118. (in Chinese with English abstract)
- [4] 刘声春, 张道林, 张继磊, 等. 我国玉米收获机研制现状及发展展望[J]. 农机化研究, 2009, 31(11): 241-242, 246.
Liu Shengchun, Zhang Daolin, Zhang Jilei, et al. Research situation and development trend of domestic corn harvester [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 31(11): 241-242. (in Chinese with English abstract)
- [5] 丛宏斌, 杨启勇, 孙贵斌, 等. 玉米收获机组合式指形拨禾机构设计与仿真[J]. 农业机械学报, 2009, 40(3): 86-89.
Cong Hongbin, Yang Qiyong, Sun Guibin, et al. Design and simulation of compounding crop divider with finger rotor[J]. Transactions of the Chinese Society for

- Agricultural Machinery, 2009, 40(3): 86—89. (in Chinese with English abstract)
- [6] 范国昌, 齐新, 张辉辰, 等. 摘穗青贮型玉米复式割台的试验分析[J]. 农业工程学报, 2004, 20(3): 85—88.
Fan Guochang, Qi Xin, Zhang Huichen, et al. Experimental analysis of a double head of corn picker and straw forage cutter[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2004, 20(3): 85—88. (in Chinese with English abstract)
- [7] 张陈, 郭维城. 垂直螺旋输送机设计参数确定与优化[J]. 机械设计与制造, 2010(10): 56—58.
Zhang Chen, Guo Weicheng. Preference and optimize of vertical screw conveyor[J]. Machinery Design and Manufacture, 2010(10): 56—58. (in Chinese with English abstract)
- [8] 张道林, 刁培松, 董锋, 等. 拨禾指式不对行玉米收获装置的试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 103—106.
Zhang Daolin, Diao Peisong, Dong Feng, et al. Experiment of no-row corn harvesting device with finger wheel[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(5): 103—106. (in Chinese with English abstract)
- [9] 张麟, 刘大川, 刘金波, 等. LYZX 型低温螺旋预榨机的研制[J]. 农业工程学报, 2006, 22(8): 125—128.
Zhang Lin, Liu Dachuan, Liu Jinbo, et al. Research and development of LYZX type low temperature screw pre-presser[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(8): 125—128. (in Chinese with English abstract)
- [10] 孙平, 夏开彦, 谢雪峰, 等. 柴油机稳流气道试验台的仿真与试验[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 99—104.
Sun Ping, Xia Kaiyan, Xie Xuefeng, et al. Numerical simulation and experiment on steady flow test bench of diesel intake port[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(1): 99—104. (in Chinese with English abstract)
- [11] 李俊峰, 介战. 联合收割机谷物损失测试研究探讨[J]. 农机化研究, 2007, 29(12): 248—250.
Li Junfeng, Jie Zhan. Analyses of combine harvester grain loss measurement[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007, 29(12): 248—250. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张麟, 刘学进, 李栋. 低温螺旋榨油机榨螺表面爆炸喷涂涂层技术[J]. 农业工程学报, 2010, 26(7): 113—117.
Zhang Lin, Liu Xuejin, Li Dong. Research on coating technology of detonation spraying for screw surface of low temperature screw presser[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(7): 113—117. (in Chinese with English abstract)
- [13] 吕有界, 王玉兴, 唐艳芹, 等. 仿生曲面在螺旋桩螺旋叶片上的应用研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 134—137.
Lu Youjie, Wang Yuxing, Tang Yanqin, et al. Application of bionic surface on blades of screw pile[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(4): 134—137. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王庚祥, 刘宏昭, 原大宁. 空间 4-SPS/CU 并联机构的受力分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(22): 30—38.
Wang Gengxiang, Liu Hongzhao, Yuan Daning, et al. Force analysis of spatial 4-SPS/CU parallel mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(22): 30—38. (in Chinese with English abstract)
- [15] 关正军, 李文哲, 杨柏松, 等. 牛粪螺旋压榨固液分离工艺参数优化[J]. 农业工程学报, 2010, 26(12): 276—279.
Guan Zhengjun, Li Wenzhe, Yang Baisong, et al. Optimization on parameters of solid-liquid separation process of dairy manure by screw press[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(12): 276—279. (in Chinese with English abstract)
- [16] 罗晓丽, 魏文军, 张绍英, 等. 水果破碎机输送建压机理研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(2): 102—106.
Luo Xiaoli, Wei Wenjun, Zhang Shaoying, et al. Mechanism of the screw extrusion of the fruit crusher[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(2): 102—106. (in Chinese with English abstract)
- [17] 张道林, 孙永进, 赵红光, 等. 立辊式玉米摘穗与茎秆切碎装置的设计[J]. 农业机械学报, 2005, 36(7): 50—52.
Zhang Daolin, Sun Yongjin, Zhao Hongguang, et al. Design of a vertical-roll type of corn picker and stalk chopper[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(7): 50—52. (in Chinese with English abstract)
- [18] 陈进, 顾文龙, 李耀明. 联合收获机智能控制试验台设计与试验[J]. 农业机械学报, 2011, 42(11): 78—81.
Chen Jin, Gu Wenlong, Li Yaoming. Design and experiment of intelligent control test-bed for combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11): 78—81. (in Chinese with English abstract)
- [19] 燕明德, 贾卫东. 翘碱蓬联合收获机关键部件设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(9): 56—59.
Yan Mingde, Jia Weidong. Experiment and design on key parts of suaeda-heteroptera-kitag combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(9): 56—59. (in Chinese with English abstract)
- [20] 杨方飞, 阎楚良, 杨炳南, 等. 联合收获机纵向轴流脱粒谷物运动仿真与试验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(12): 67—71.
Yang Fangfei, Yan Chuliang, Yang Bingnan, et al. Simulation and testing of cereal motion in threshing unit of combine harvester with axial feeding[J]. Transactions

- of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 67–71. (in Chinese with English abstract)
- [21] 陈延鑫, 张道林, 许振冻, 等. 折叠式玉米收获机割台的试验[J]. 农机化研究, 2013, 2(2): 117–120.
Chen Yanxin, Zhang Daolin, Xu Zhendong, et al. Experiment of the foldable header of corn harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 2(2): 117–120. (in Chinese with English abstract)
- [22] 徐立章, 李耀明, 张立功, 等. 轴流式脱粒—清选装置试验台的设计[J]. 农业机械学报, 2007, 38(12): 85–88.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Zhang Ligong, et al. Development on test-bed of axial threshing and cleaning unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(12): 85–88. (in Chinese with English abstract)
- [23] 贺俊林, 胡伟, 郭玉富, 等. 扶禾杆在不对行导入玉米茎秆中的运动仿真[J]. 农业工程学报, 2007, 23(6): 125–129.
He Junlin, Hu Wei, Guo Yufu, et al. Kinematic simulation of no-row feed-in mechanism with guide-rod for corn harvester[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2007, 23(6): 125–129. (in Chinese with English abstract)
- [24] 贾洪雷, 黄东岩, 刘晓亮, 等. 耕作刀片在刀辊上的多头螺旋线对称排列法[J]. 农业工程学报, 2011, 27(4): 111–116.
Jia Honglei, Huang Dongyan, Liu Xiaoliang, et al. Symmetrical multi-spiral arrangement of tillage blades on rotor[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2011, 27(4): 111–116. (in Chinese with English abstract)
- [25] 张波, 魏益民, Wolfgang Sietze, 等. 双螺杆挤压机械杆元件类型对扭矩和压力的影响[J]. 农业机械学报, 2007, 38(9): 71–74.
Zhang Bo, Wei Yimin, Wolfgang Sietze, et al. Influence of twin-screw extruder screw element type on the torque and pressures during extrusion[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007, 38(9): 71–74. (in Chinese with English abstract)
- [26] 姚茂河, 易怀安. 螺旋输送机螺距优化设计[J]. 机械研究与应用, 2011(5): 83–85.
Yao Maohe, Yi Huaian. Optimization design of pitch of screw conveyors[J]. Mechanical Research and Application, 2011(5): 83–85. (in Chinese with English abstract)

Performance experiment of friction conveying device for maize ears

Liu Shiduo, Niu Kang, Shi Qingxiang, Wang Shengsheng, Yuan Qibao, Zhang Kui

(Department of Vehicle and Motive Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: At present, chain-rake grain conveying devices are widely used in corn united harvest machines. They are reliable with stable performance, but their structures are complicated. Screw conveying devices have the advantages of being simple in structure; they are also applied in corn united harvest machines, but since they use a helical blade space to transport corn, the structures are huge and difficult to configure in small corn united harvest machines. Therefore, it is necessary to develop a new conveying device. The blades of the new maize ears helical blade friction conveying devices are lower, so the grains during the course of transmission are on the top of the blades at all times. Thus, the conveyor structure can be smaller in size, with less grain injuries in the conveying process.

By using a self-made conveying device for maize ears, the research focused on the laws of effects on maize ears conveying performance caused by the new-type transmission auger's blade height, guide side panel's inclining angle, guide side panel position angle, auger lift-and-convey angle, and the rotational speed of the auger. Performances of maize ear conveying devices mainly displays in three aspects: the damage degree of maize ears, the quantity of shattering, and the transport capacity. In the paper, maize ears were first be divided into four states according to the average length, diameter and differences of moisture content. The first state was chosen in the test. Maize ears of the first state are different from the ones of state two, three, and four, respectively, in diameter, length, and moisture content. The state classification was used to study the adaptability of the conveyor as the single characteristic of the material changes. It helps to compare the test results more directly and clearly. Analysis of variance was used in the test to calculate the test results.

The test verified that the maize ear conveying device is adapted to many causes, including different maize ear sizes and moisture content. With a blade height of 20 mm, an auger rotational speed of 300 r/min, side panel position angle of 70° and side panel inclination angle of 75°, the novel conveying device can convey maize ears better and effectively avoid the injury by traditional helical conveying devices.

Key words: harvesters, screw conveyers, efficiency, maize ears, injury