

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2026.01.023

辣椒收割机滚筒式茎秆分离装置的设计与性能测试

郭飞, 邵珠山

(菏泽市定陶区农业机械服务中心, 山东 菏泽 274100)

摘要: 为了提高辣椒收割机的茎秆分离和采摘性能, 设计三轴滚筒式和四轴滚筒式茎秆分离装置, 并对装置进行性能测试评估。通过在滚筒式茎秆分离装置中安装圆柱形刷辊, 降低了收割时的辣椒损坏率。在辣椒收割机非采摘作业期间的静止状态下, 与三轴滚筒相比, 四轴滚筒的平均茎秆分离率提高了 3%, 平均带枝率降低了 5.65%, 平均损坏率增加了 7.15%。在辣椒收割机采摘作业期间的移动状态下, 与三轴滚筒相比, 四轴滚筒的 SSE 增加了 4.1%, PTR 降低了 3.1%, DR 增加了 1%, 辣椒茎秆分离能力有所提升。

关键词: 辣椒收割机; 滚筒式分离装置; 茎秆分离; 圆柱形刷辊

中图分类号: S225.4 **文献标志码:** B **文章编号:** 1671-5276(2026)01-0126-04

Design and Performance Test of Drum Stalk Separation Device for Pepper Harvester

GUO Fei, SHAO Zhushan

(Heze Dingtao District Agricultural Mechanization Service Center, Heze 274100, China)

Abstract: To improve the stem separation and picking performance of pepper harvester, a three-axis drum-type stem separation device and a four-axis drum-type stem separation device were designed, and their performances were tested and evaluated. By installing a cylindrical brush roller in the drum-type stem separation device, the damage rate of peppers during harvesting was reduced. When the pepper harvester was in a non-moving state during non-picking operations, compared with the three-axis drum, the average stem separation rate of the four-axis drum increased by 3%, the average branch-carrying rate decreased by 5.65%, and the average damage rate increased by 7.15%. When the harvester was in a moving state during picking operations, compared with the three-axis drum, the SSE of the four-axis drum increased by 4.1%, the PTR decreased by 3.1%, and the DR increased by 1%, manifesting an improvement in the pepper stem-separation capacity.

Keywords: pepper harvester; drum-type separating device; stem separation; cylindrical brush roller

0 引言

由于辣椒作物具有体积小、易损坏等特点^[1], 使得辣椒收割机存在较低的辣椒茎秆分离率 (stem-separation efficiency, SSE)^[2] 和较高的损坏率 (damage rate, DR)^[3]。近年来, 研究人员致力于研究和制造辣椒收割机, 从而增加辣椒的收割产量^[4-6]。茎秆分离主要分为旋转滚筒法和滚筒式脱粒法。文献[7]采用顺时针旋转的圆柱形挤压辊和逆时针旋转的下游辊的设计, 称之为旋转滚筒茎秆分离法。文献[8]运用旋转滚筒法通过滚筒驱动皮带将甜椒从茎秆中分离出来。文献[9]利用多孔旋转滚筒制作了辣椒果实和茎秆分离的滚筒式脱粒方法。文献[10]通过将收获的辣椒茎放入滚筒式脱粒机来分离辣椒和茎秆。但现有的辣椒收割机仍然具有较高的带枝率

(pepper with twig rate, PTR)^[11-13], 因此需要额外的人工分离茎秆和辣椒果实。

为此, 本文设计一种用于辣椒收割机的三轴滚筒式和四轴滚筒式茎秆分离装置, 通过辣椒收割机各种作业状态对茎秆分离装置进行性能对比试验和评估。

1 装置设计

1.1 辣椒收割机

辣椒收割机在移动的同时通过旋转采摘装置的开放螺旋滚筒从茎部采摘辣椒。采摘的辣椒和碎屑放置在传送带上, 通过茎秆分离装置将辣椒与茎秆进行分离, 结合气流清除碎屑后将辣椒存储在收集罐内^[14]。辣椒收割机由采摘装置、茎秆分离装置、移动装置和收集装置组成。本文设计的辣椒收割机, 如图 1 所示。详细规格, 如表 1 所示。

第一作者简介: 郭飞(1974—), 男, 山东菏泽人, 高级工程师, 本科, 研究方向为农机化技术及农机装备, jiazhiqu851773@163.com。

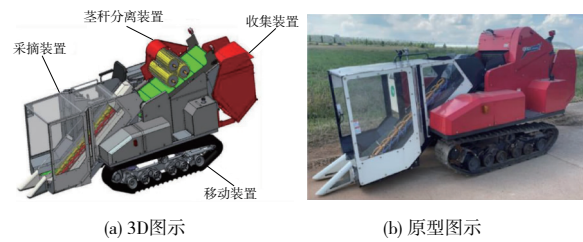


图 1 辣椒收割机

表 1 辣椒收割机的规格

参数	规格	参数	规格
长度/mm	4 380	标准工作速度/(m/s)	0.1~0.3
宽度/mm	1 850	额定转速/(r/min)	2 600
高度/mm	1 780	采摘装置转速/(r/min)	650
功率/kW	22.5	茎秆分离方法	滚筒式风机
质量/kg	2 020	收集罐/kg	220

1.2 滚筒式茎秆分离装置设计

滚筒式茎秆分离装置位于传送带的上部,通过与发动机相连的皮带传动方式,按照传动比减速和加速进行驱动。三轴滚筒式和四轴滚筒式茎秆分离装置,如图 2 所示。

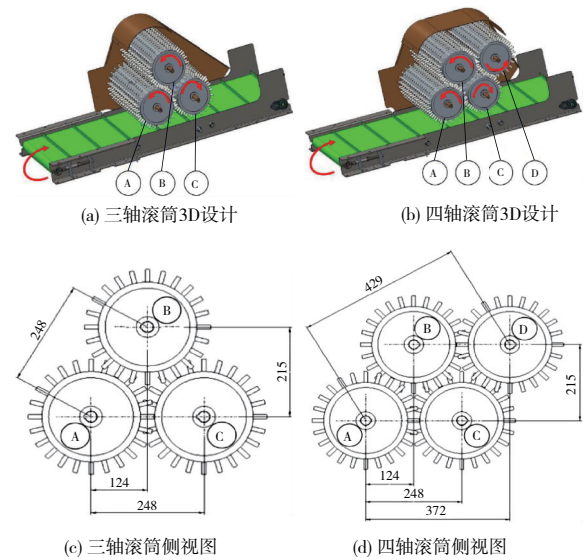


图 2 滚筒式茎秆分离装置

带茎辣椒通过滚筒时,利用圆柱形刷辊的摩擦力将辣椒与茎秆分离。同时,滚筒沿反方向旋转。按照传送带的输送顺序,第 1 个滚筒为滚筒轴 1(A),然后依次为滚筒轴 2(B)、滚筒轴 3(C)和滚筒轴 4(D)。

对于三轴滚筒和四轴滚筒,滚筒 A 和最终滚筒(滚筒 C 或滚筒 D)中心之间的距离分别为 248 mm 和 429 mm。将两个滚筒之间的中心距离设

置为定值,从而确保刷辊在旋转时不会相互干扰。

每个茎秆分离滚筒和圆柱形刷辊的形状和尺寸,如图 3 所示。

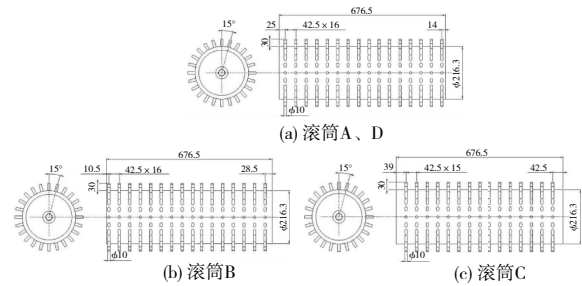


图 3 每个滚筒和圆柱形刷辊的形状和尺寸

2 性能测试

2.1 测试样本

为了评估两种茎秆分离装置的性能,选择了适合机械化采摘的线椒和甜椒作为测试样本。线椒形状细长,单次收获率高^[15]。甜椒果实体积大,果肉变厚,果实产量高^[16]。2024 年 5 月 6 日,露天种植辣椒,并于种植后 110 天的 2024 年 8 月 23 日进行茎秆分离性能试验。不同品种辣椒物理特性的平均值(average, AVE)和标准差(standard deviations, SD),如表 2 所示。

表 2 不同品种辣椒物理特性的 A_{VE} 和 S_D

分类	参数	线椒		甜椒	
		A_{VE}	S_D	A_{VE}	S_D
辣椒茎秆	植株长度/mm	1 052.5	136.5	866.6	90.7
	植株宽度/mm	814.6	111.2	776.7	125.2
	茎秆长度/mm	198.3	20.3	163.3	15.3
	茎秆直径/mm	20.5	3.8	24.6	4.1
	长度/mm	118.3	13.7	112.8	20.3
辣椒果实	最大直径/mm	23.1	2.1	22.6	2.7
	质量/g	22.4	2.3	18.7	3.2
	数量/(个/棵)	88.0	6.5	96.4	5.8
	分离力/kgf	2.3	0.6	1.4	0.2

2.2 现场试验方法

为了评估滚筒茎分离装置的性能,使用线椒和甜椒两种辣椒进行现场性能试验。针对每个品种准备带茎辣椒样本,每次测试连续添加 4 组带茎辣椒。在辣椒收割机的非采摘作业期间的静止状态下,将辣椒样本放入传送带。在辣椒收割机

采摘作业期间的静止状态下,将辣椒样本放置在采摘装置的驱动螺旋中。每次性能测试重复3次,在采摘作业期间的移动状态下,以0.2 m/s的运行速度驾驶进行现场试验。

三轴滚筒式茎秆分离装置的的滚筒A、滚筒B、滚筒C的转速设置为6个等级,茎秆切碎机的滚筒A、滚筒B、滚筒C的转速比为1:2:3,并且滚筒齿以相反方向旋转来切碎茎秆。如表3所示,在转速等级6下测量了分离茎秆的辣椒、带茎辣椒和受损辣椒的质量。其中,滚筒B和滚筒C的转速是在滚筒A转速的基础上增加。四轴滚筒装置的滚筒D的转速设定为与三轴滚筒中滚筒C相同的转速。

表3 滚筒式茎秆分离的转速等级对应转速设置

类型	转速等级					
	1	2	3	4	5	6
A/(r/s)	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.9
B/(r/s)	0.5	0.7	0.8	0.9	1.8	2.7
C/(r/s)	0.8	1.1	1.3	1.3	1.3	1.3
D/(r/s)	—	—	—	—	—	1.3
传送带/(m/s)	0.8	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5

3 性能分析

3.1 分析方法

本文通过茎秆分离率SSE、带茎辣椒率PTR、损坏率DR和落地损失率(ground fall losses ratio, GLR)4个指标评价辣椒收割机的性能。

SSE是成功从茎中分离出的辣椒与所有辣椒的质量百分比

$$D_{sse} = \frac{P_{ssp}}{P_{ap}} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P_{ssp} 为茎秆分离辣椒果实的质量; P_{ap} 为所有辣椒果实的质量。

PTR是将所有辣椒分类后,带有枝叶辣椒与所有辣椒的质量百分比

$$D_{ptr} = \frac{P_{pts}}{P_{ap}} \times 100\% \quad (2)$$

式中 P_{pts} 为分类后带有枝叶辣椒果实的质量。

DR是受损辣椒与所有辣椒的质量百分比:

$$D_{dr} = \frac{P_{dp}}{P_{ap}} \times 100\% \quad (3)$$

式中 P_{dp} 为受损辣椒果实的质量。

GLR是落在地上的辣椒与所有辣椒的质量

百分比^[17]:

$$D_{glr} = \frac{P_{fp}}{P_{ap}} \times 100\% \quad (4)$$

式中 P_{fp} 为落在地上辣椒果实的质量。

3.2 结果分析

根据三轴滚筒茎秆分离装置速度的各因素水平的性能测试结果,如表4所示。其中,AVE为平均值;SD为标准差。

表4 基于滚筒类型和转速等级的现场试验结果 单位:%

项目		转速等级					
		1	2	3	4	5	6
SSE	A_{VE}	51.6	59.1	23.9	57.7	64.1	76.8
	S_D	2.8	3.4	6.3	6.2	7.2	8.2
PTR	A_{VE}	45.1	38.7	42.5	38.8	33.0	20.9
	S_D	2.7	3.8	7.1	4.1	7.9	8.5
DR	A_{VE}	3.3	2.2	3.6	3.4	2.9	2.3
	S_D	0.5	1.4	0.8	2.1	0.7	1.3

使用三轴滚筒从转速等级1运行到6时,线椒的SSE提高,PTR和DR降低。在转速等级6时,平均SSE为76.8%,平均PTR为20.9%,平均DR为2.3%,效率最高。在本研究中,为选择最佳滚筒转速,将转速等级6的三轴滚筒的A轴、B轴和C轴转速分别设置为0.9 r/s、2.7 r/s和1.3 r/s,因为此时效率最高。四轴滚筒中,A轴、B轴和C轴的转速与三轴滚筒相同,D轴转速设置为1.3 r/s,与C轴相同,传送带速度为0.5 m/s。

采摘线椒和甜椒的现场性能测试结果,如表5所示。

表5 采摘线椒和甜椒的现场试验结果 单位:%

作业状态	滚筒类型	品种	参数	SSE	PTR	DR	GLR
非采摘	三轴滚筒	线椒	A_{VE}	70.0	26.9	3.1	—
		椒	S_D	8.2	8.5	1.3	—
		甜	A_{VE}	69.3	27.7	3.0	—
		椒	S_D	5.4	4.8	1.1	—
	四轴滚筒	线椒	A_{VE}	64.0	25.5	10.5	—
		椒	S_D	2.9	3.2	1.4	—
		甜	A_{VE}	72.3	17.8	9.9	—
		椒	S_D	6.3	6.2	2.1	—

续表5

作业状态	滚筒类型	品种	参数	SSE	PTR	DR	GLR	
采摘	静止	三轴滚筒	线椒	A_{VE}	86.0	9.3	4.7	—
		四轴滚筒	线椒	S_D	0.5	0.6	1.1	—
	移动	四轴滚筒	线椒	A_{VE}	90.1	6.2	3.7	—
		三轴滚筒	线椒	S_D	0.7	2.3	1.6	—
		三轴滚筒	线椒	A_{VE}	65.7	22.1	9.5	2.7
		四轴滚筒	线椒	S_D	69.3	13.0	11.2	6.5

在非采摘作业期间的静止状态下,利用三轴滚筒采摘线椒和甜椒的平均 SSE 分别为 70.0% 和 69.3%, 平均 PTR 分别为 26.9% 和 27.7%, 平均 DR 分别为 3.1% 和 3.0%。因此,无论采摘辣椒品种如何,结果都是相似的。利用四轴滚筒采摘线椒和甜椒的平均 SSE 分别为 64.0% 和 72.3%, 平均 PTR 分别为 25.5% 和 17.8%, 平均 DR 分别为 10.5% 和 9.9%。因此,采摘甜椒的平均 PTR 低于采摘线椒。因此,四轴转滚筒的总体 DR 略高于三轴转滚筒,但平均 PTR 降低,这验证了四轴转滚筒更适合分离茎秆。

在采摘作业期间的移动状态下,三轴滚筒和四轴滚筒的平均 SSE 分别为 86.0% 和 90.1%, 平均 PTR 分别为 9.3% 和 6.2%, 平均 DR 分别为 4.7% 和 3.7%。在移动状态下,与三轴滚筒相比,四轴滚筒的平均 SSE 增加了 4.1%, 平均 PTR 减少了 3.1%, 平均 DR 增加了 1%。因此,四轴滚筒的性能高于三轴滚筒。本文研发的三轴滚筒式和四轴滚筒式茎秆分离装置的 SSE (86.0%, 90.1%) 高于文献[18] (63.8%) 和文献[19] (82.7%), 平均 DR (4.7%, 3.7%) 显著低于文献[20] (12.9%)。

4 结语

为了提高传统辣椒收割机的茎秆分离和采摘性能,本文研发了三轴滚筒式和四轴滚筒式茎秆分离装置。使用线椒和甜椒作为测试样本,根据辣椒收割机各种作业状态,比较了三轴滚筒式和四轴滚筒式茎秆分离装置的性能。与现有装置相比,本文开发的茎秆分离装置表现出更高的性能。四轴滚筒比三轴滚筒具有更高的 SSE 和更低的 PTR,因此,四轴滚筒更适合辣椒的茎秆分离。

然而,四轴滚筒的材料成本和加工成本比三轴滚筒高 23%, 用户在购买三轴滚筒式和四轴滚筒式茎秆分离装置时,还需从性能和价格两方面综合考虑。本文研发的滚筒式茎秆分离装置适合

大规模种植辣椒的农户使用,并能够进一步降低使用机器收割的成本。

参考文献:

- [1] 朱芳. 大棚辣椒多种常发病虫害的发生特点及针对性高效防治措施[J]. 种子世界, 2025(1): 108-110.
- [2] 孙振雨. 小区双轴反向差速辣椒种子分离收集装置的设计[J]. 农机科技推广, 2024(11): 47-49, 60.
- [3] 王琳, 张亚伟, 王骞, 等. 联合收割机脱粒滚筒智能调速控制方法研究[J]. 拖拉机与农用运输车, 2025, 52(2): 54-62, 90.
- [4] 龙海峰. 智能农业视域下农民增收路径探究[J]. 黑龙江农业科学, 2025(4): 78-84.
- [5] 王连锐, 赵文瑜, 周晓平. 南京市设施蔬菜生产机械化发展现状与建议[J]. 江苏农机化, 2025(1): 11-14.
- [6] 常培培, 张绍丽, 段青青, 等. 麦套加工型辣椒机械化精播栽培技术[J]. 长江蔬菜, 2025(1): 16-18.
- [7] 王方艳, 李凤刚, 张鹏程, 等. 对辊式干辣椒脱帽装置设计与试验[J]. 农业机械学报, 2024, 55(7): 191-199.
- [8] 赵春江, 范贝贝, 李瑾, 等. 农业机器人技术进展、挑战与趋势[J]. 智慧农业(中英文), 2023, 5(4): 1-15.
- [9] 郝文录. 多功能农业机械分类研究[J]. 农机质量与监督, 2024(12): 8-10, 23.
- [10] 陈新奇, 耿令新, 庞靖, 等. 谷物联合收获机清选装置参数监控与优化试验[J]. 中国农机化学报, 2025, 46(3): 208-215.
- [11] 王庆萍. 新形势下农业机械新技术推广应用概述[J]. 农业开发与装备, 2025(3): 110-112.
- [12] 吴倩倩, 方先运, 李海涛, 等. 麦田大垄套辣椒机械化直播高产栽培技术[J]. 农业科技通讯, 2025(1): 188-190.
- [13] 宋堂江, 葛超. 农业机械在果蔬生产中的应用与优化要点[J]. 河北农机, 2024(24): 64-66.
- [14] 赵研科, 颜新鹏, 钱丹. 辣椒收获机清选装置设计与试验研究[J]. 拖拉机与农用运输车, 2023, 50(5): 27-30, 35.
- [15] 李凝, 林蜀云, 刘春波, 等. 贵州山地辣椒生产全程机械化发展现状及对策[J]. 新疆农机化, 2025(1): 52-56.
- [16] 李志杨. 红色甜椒引进新品种的性状比较试验[J]. 农业科技通讯, 2025(1): 120-123.
- [17] 杜怀成. 安徽长江以南地区农作物与机械化作业的协同发展[J]. 河北农机, 2024(22): 25-27.
- [18] 罗浩林, 袁义邦, 罗昕. 基于慧鱼模型的辣椒茎果叶分离一体机设计[J]. 南方农机, 2024, 55(11): 45-48.
- [19] 沈晓凯, 阿力木·买买提吐尔逊, 李谦绪, 等. 辣椒复脱装置设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2023, 44(12): 80-86.
- [20] 张德俊, 张小明, 吴获, 等. 基于 DEM-CFD 耦合的辣椒清选仿真研究[J]. 中国农业科技导报, 2023, 25(7): 87-96.

收稿日期: 2025-02-25