

# 输送辊材质及其表面粗糙度对鸡蛋 自动定向运动的影响

The effects of convey roller's material and roughness  
on the automatic orientation of eggs

姜松 王婧 贾丹凤

JIANG Song WANG Jing JIA Dan-feng

(江苏大学食品与生物工程学院, 江苏 镇江 212013)

(School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang, Jiangsu 212013, China)

**摘要:** 为了确定鸡蛋定向装置的最佳工作参数, 研究输送辊材质及其表面粗糙度对鸡蛋定向运动的影响规律。结果表明, 鸡蛋在铝合金辊上的水平偏转角最大, 尼龙辊上水平偏转角最小; 输送辊材质对鸡蛋轴向位移、导向杆作用距离无明显差异; 碳钢辊、铝合金辊和有机玻璃辊的表面粗糙度对鸡蛋定向运动中的翻滚距离影响不明显, 尼龙辊对翻滚距离的影响相对明显; 鸡蛋的侧偏角在尼龙辊、碳钢辊和铝合金辊上的变化幅度不大, 在有机玻璃上变化幅度相对明显。定向装置最佳工作参数: 输送辊材质为碳钢、表面粗糙度等级为 2、转动线速度 70 mm/s、直径 40 mm、间距 15 mm 和导向杆角度 30°。

**关键词:** 输送辊; 材质; 表面粗糙度; 鸡蛋; 自动定向

**Abstract:** To determine the optimum working parameters of the egg orientation, the influence of convey roller's material and roughness on egg's directional movement was studied. The results showed that the horizontal deflection angle of the egg was the largest on the aluminum alloy roller and the smallest on the nylon roller. Convey rollers of different materials had no significant influence on the axial displacement and the guiding distance of guide rod. The surface roughness of carbon steel roller, aluminum alloy roller and organic glass roller had few effects on the rolling distance, the effect of nylon roller on that was relatively obvious. The change of the egg's side-slip angle on the nylon roller, the carbon steel roller and the aluminum alloy roller was not obvious, but that on the organic glass roller was relatively obvious. The optimal parameters were determined: the

material was carbon steel roller, surface roughness was level 2, the diameter was 40 mm, the spacing was 15 mm, the rotate speed was 70 mm/s and guide rod angle was 30°.

**Keywords:** materials of convey roller; surface roughness; egg; automatic orientation

定向是分级包装自动处理系统中重要的处理单元。近年来农产品自动定向处理代替人工定向处理, 减少了劳动力, 提高了分级效率和准确度<sup>[1-2]</sup>。通过定向处理后的鸡蛋小头统一向下放置, 外形美观, 货架期延长。美国<sup>[3-5]</sup>、日本<sup>[6-8]</sup>在禽蛋大小头定向领域的研究较早, 中国对此也有一定的研究。俞兆志等<sup>[9]</sup>设计了一种分列翻转式的禽蛋定向装置。蒋焕煜等<sup>[10]</sup>发明了一种错位导向式的禽蛋自动包装设备。在禽蛋大小头综合试验台的研制基础上, 姜松等<sup>[11]</sup>通过调节输送辊直径、间距、转速和导向杆角度等, 探讨装置工作参数对鸡蛋大小头自动定向运动的影响。孙柯等<sup>[12]</sup>通过改变卵形体的材质, 探究了塑料和铝质卵形体定向运动的规律。姚俊<sup>[13]</sup><sup>[23-38]</sup>通过改变模拟卵形体的质心位置、质量和摩擦系数等, 研究结构参数对鸡蛋大小头自动定向运动规律的影响, 同时研究不同贮藏条件下的鸡蛋新鲜度与定向运动规律的关系。而有关鸡蛋定向中输送辊材质和表面粗糙度对定向运动影响的研究仅对尼龙和碳钢 2 种材质进行了研究<sup>[14]</sup>。

本研究拟探讨不同材质和表面粗糙度的输送辊对鸡蛋大小头自动定向运动的影响规律, 通过正交试验方法研究装置工作参数对定向运动的影响, 确定鸡蛋的最佳装置工作参数组合, 旨在为卵形体农产品大小头自动定向设计理论的构建提供支撑, 对卵形体农产品大小头自动定向处理装置工作参数的优化提供参考。

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(编号: 51575243); 江苏省高校自然科学基金资助项目(编号: 11KJA550002); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

**作者简介:** 姜松(1963—), 男, 江苏大学教授, 博导, 博士。

E-mail: jszhl@ujs.edu.cn

**收稿日期:** 2017-08-04

## 1 试验材料与设备

### 1.1 试验材料

新鲜鸡蛋:最大长轴径( $57 \pm 1$ ) mm、最大短轴径( $43 \pm 1$ ) mm,表面洁净、无裂纹、无破损,购于江苏大学凯源旅游超市;

输送辊规格:材质为尼龙、碳钢、铝合金、有机玻璃+钢衬,各4种等级(等级1到等级4输送辊表面越来越粗糙),输送辊均为长度600 mm,直径40 mm,镇江格瑞特仪器设备有限公司。

### 1.2 试验设备

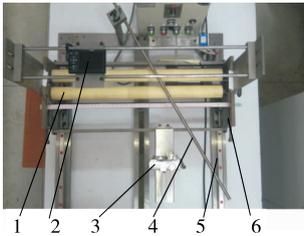
卵形体农产品大小头定向运动综合试验台(见图1):江苏大学食品与生物工程学院;

物性仪:TA XT. Plus型,英国Stable Micro System公司;

摩擦系数测定辅助装置(见图2):自主设计;

照相机:Power Shot A1100IS型,日本佳能公司;

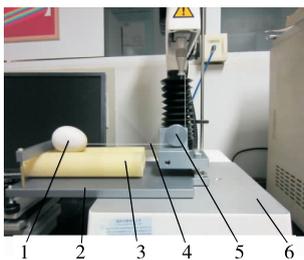
电子天平:BSA124S型,赛多利斯科学仪器有限公司。



1. 输送辊 2. 数码相机 I 3. 数码相机 II 4. 导向杆 5. 机座 6. 输送装置

图1 卵形体农产品大小头定向运动综合试验台

Figure 1 Comprehensive test device of the pointed end and blunted end



1. 禽蛋 2. 固定支架 3. 输送辊 4. 细线 5. 定滑轮 6. 物性仪

图2 摩擦系数测定装置

Figure 2 Measurement of friction coefficient

### 1.3 试验方法

1.3.1 鸡蛋与输送辊间摩擦系数的测定 参照文献[12]。试验所用鸡蛋20枚,分别测定鸡蛋与4种材质输送辊之间的摩擦系数。每种材质的粗糙度有4个等级。每组测3次,求平均值。

1.3.2 卵形体农产品定向运动过程的拍摄和图像的截取

启动试验台,鸡蛋在两输送辊摩擦力的作用下沿小头端所指的方向移动,移动相机拍摄轴向运动过程。

鸡蛋随着试验台移动,接触到导杆时小头端被逐渐抬起完成翻转,数码相机分别放置在输送辊上方和导向杆一侧拍摄鸡蛋翻转过程。利用软件截图,轴向运动每隔0.5 s截图一张;翻转运动图像的截取参照文献[15]。

1.3.3 卵形体农产品定向运动参数测定

(1) 轴向运动参数的测定:参考文献[11],测定鸡蛋的水平偏转角(图3)和运动稳定时的平均轴向运动位移。

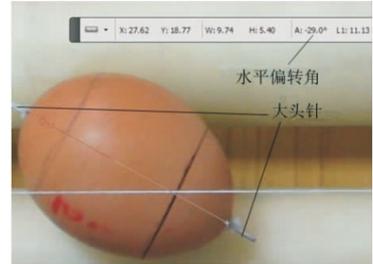


图3 禽蛋水平偏转角的测定

Figure 3 Test of horizontal deflection angle of eggs

(2) 翻转运动参数的测定:参考文献[11],测定鸡蛋的导向杆作用距离、翻滚距离和侧偏角,侧偏角的测量方法见图4。



图4 禽蛋侧偏角的测定

Figure 4 Imagine of side slip angle of eggs

1.3.4 输送辊材质和表面粗糙度对卵形体农产品定向运动的影响 在定向综合试验台上利用4种材质多种表面粗糙度的输送辊对鸡蛋进行单因素试验,测定定向中各运动参数的变化规律,试验的工作参数为导向杆角度 $30^\circ$ ,输送速度50 mm/s,输送辊直径40 mm,辊间距10 mm。每组选取鸡蛋10个,平行3次,取均值。

1.3.5 鸡蛋定向运动正交试验的设计 实际定向中物料在轴向运动结束后直接进入翻转阶段,轴向和翻转运动时的输送辊转速相同,因此翻转运动中转速不作为试验因素。根据单因素试验结果,选取输送辊材质、表面粗糙度、间距和速度为轴向运动正交试验因素,轴向位移( $S$ )和水平偏转角( $\beta$ )为试验评价指标。选取输送辊材质、表面粗糙度、间距和导杆角度为翻转运动的正交试验因素,导向杆作用距离( $X$ )和翻滚距离( $M$ )为试验评价指标。试验设计见表1、2,因素水平的选择参照课题组的前期研究[14]。

## 2 结果与分析

2.1 鸡蛋在不同材质和表面粗糙度输送辊上的摩擦系数

由图5可知,鸡蛋在尼龙辊上的摩擦系数随着输送辊表

表 1 鸡蛋轴向运动正交试验因素水平表

Table 1 Design parameters of axial movement of orthogonal test of eggs

水平	A 材质	B 表面粗糙度	C 间距/mm	D 速度/(mm·s <sup>-1</sup> )
1	尼龙	等级 1	5	30
2	碳钢	等级 2	10	50
3	铝合金	等级 3	15	70
4	有机玻璃	等级 4	20	90

表 2 鸡蛋翻转运动正交试验因素水平表

Table 2 Design parameters of turnover movement of orthogonal test of eggs

水平	A 材质	B 表面粗糙度	C 间距/mm	E 导向杆角度/(°)
1	尼龙	等级 1	5	20
2	碳钢	等级 2	10	30
3	铝合金	等级 3	15	40
4	有机玻璃	等级 4	20	50

面粗糙度的增加先降低后增加。碳钢辊和有机玻璃辊的表面粗糙度对摩擦系数的影响是先增加后减小,等级为 3 时最大。鸡蛋在材质为尼龙、铝合金和有机玻璃的输送辊上摩擦系数的波动均较小,在碳钢辊上的波动较大。

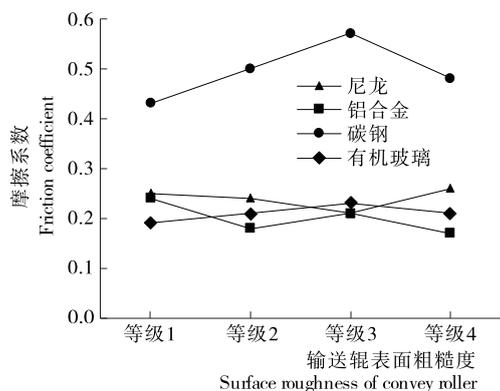


图 5 输送辊对鸡蛋摩擦系数的影响

Figure 5 Effect of conveyer roller on friction coefficient of egg

## 2.2 输送辊材质及表面粗糙度对定向参数的影响

2.2.1 水平偏转角 由图 6 可知,鸡蛋在尼龙辊、碳钢辊和有机玻璃辊上的水平偏转角随着表面粗糙度的增加先降低后增加。在铝合金辊上趋势相反。鸡蛋在铝合金辊上的水平偏转角最大,在尼龙辊上的最小。鸡蛋在不同表面粗糙度的碳钢辊和有机玻璃辊上水平偏转角相差不大。

2.2.2 轴向位移 由图 7 可知,鸡蛋在有机玻璃辊上的轴向位移随着输送辊表面粗糙度的增大而减小;鸡蛋在铝合金辊、碳钢辊上的轴向位移都随着粗糙度的增大先降低后增加。鸡蛋在铝合金辊、尼龙辊和碳钢辊上的轴向位移变化不明显,在有机玻璃辊上变化相对明显。考虑鸡蛋运动时会打滑,因此不同材质和表面粗糙度输送辊对鸡蛋轴向位移的影响无明显差异。

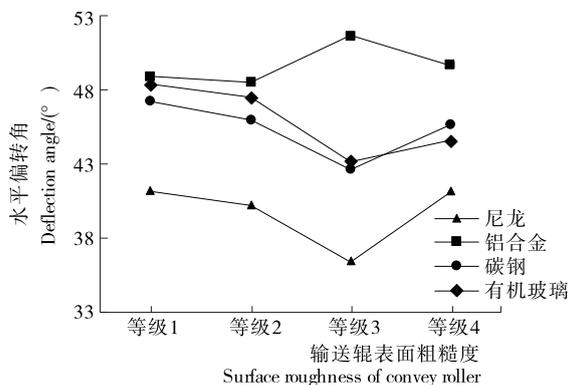


图 6 输送辊对水平偏转角的影响

Figure 6 Effect of conveyer roller on horizontal deflection angle of eggs

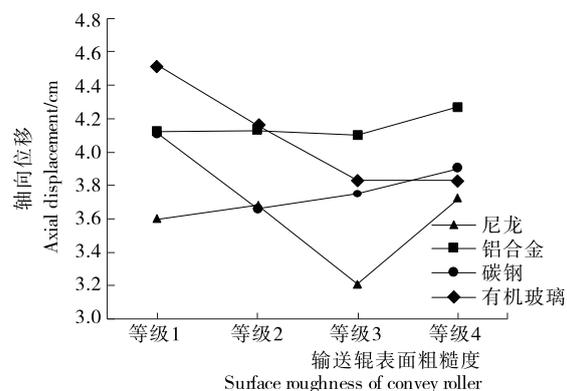


图 7 输送辊对轴向位移的影响

Figure 7 Effect of conveyer roller on axial displacement

2.2.3 导向杆作用距离 由图 8 可知,随着输送辊表面粗糙度的增加,鸡蛋在尼龙辊上的导向杆作用距离先降低后增加,在铝合金辊上先增大后减小。鸡蛋在不同粗糙度的碳钢辊上导向杆作用距离上波动幅度小。鸡蛋在有机玻璃辊上的导向杆作用距离与粗糙度呈正相关。总体看,鸡蛋在 4 种材质不同表面粗糙度输送辊上的导向杆作用距离变化不明显。

2.2.4 翻滚距离 由图 9 可知,输送辊表面粗糙度增加时,鸡蛋在尼龙辊上的翻滚距离先增加后降低,在有机玻璃辊上

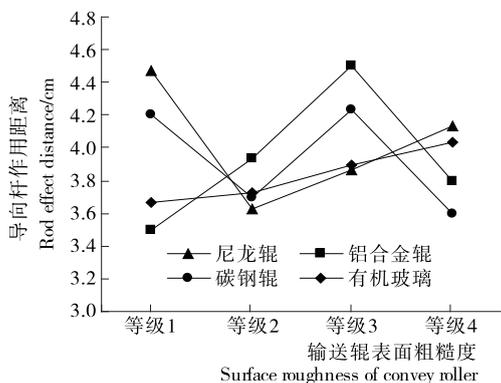


图 8 输送辊对导向杆作用距离的影响

Figure 8 Effect of conveyer roller on the guiding distance of guide rod

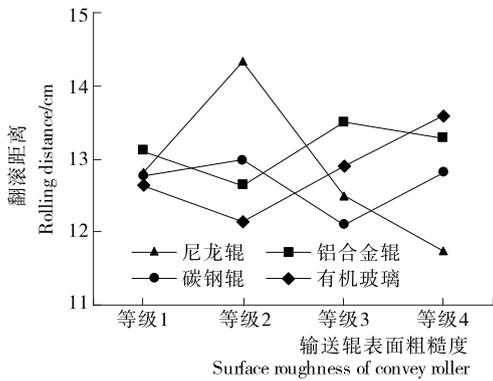


图9 输送辊对翻滚距离的影响

Figure 9 Effect of conveyor roller on rolling distance

翻滚距离先降低后增加。鸡蛋在碳钢辊和铝合金辊上翻滚距离无明显波动。因此碳钢辊、铝合金辊和有机玻璃辊对翻滚距离影响不明显,尼龙辊对翻滚距离影响相对明显。

2.2.5 侧偏角 由图10可知,鸡蛋在尼龙辊上的侧偏角随着辊表面粗糙度的增大降低。输送辊表面粗糙度增加时,鸡蛋在铝合金辊、碳钢辊和有机玻璃辊上的侧偏角先增大后降低。鸡蛋的侧偏角在有机玻璃辊上变化幅度相对明显。

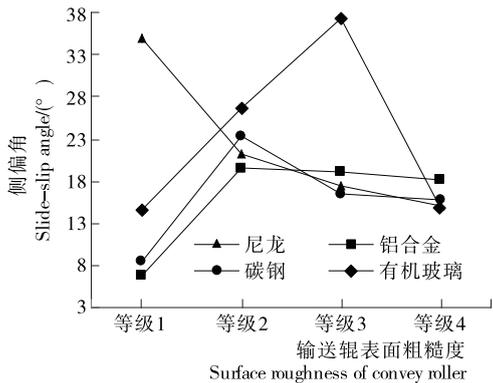


图10 输送辊对侧偏角的影响

Figure 10 Effect of conveying roller on side-slip angle

### 2.3 鸡蛋定向运动正交试验

2.3.1 正交试验 由表3和表4可知,因素对轴向位移的影响大小为输送速度>间距>材质>表面粗糙度,由文献[16]<sup>42-46</sup>中轴向位移规律可知,输送速度增加时轴向位移呈线性增加,输送辊间距增加时水平偏转角减小从而使轴向位移呈正切减小,而且输送速度对轴向位移的影响更大;材质和表面粗糙度的变化主要表现为鸡蛋与输送辊之间的摩擦系数不同,在输送辊表面精度范围内,鸡蛋与输送辊之间的摩擦系数对轴向位移的影响不显著。对水平偏转角的影响大小为输送辊间距>速度>辊材质>表面粗糙度,由文献[13]<sup>10-38</sup>结果可知,当输送辊间距增大时,输送辊与禽蛋的接触点沿禽蛋的表面向上推移,导致输送辊对禽蛋姿态的限制作用增大,水平偏转角变小;当输送速度变化时,偏转角基本保持不变;输送辊材质和表面粗糙度对轴向运动参数影响相对较小。轴向位移的最佳组合为 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>,水平偏转角的最佳组合为 A<sub>4</sub>B<sub>3</sub>C<sub>4</sub>D<sub>1</sub>。空白列用来判断试验的结果是否

由误差引起的,空列的R值大于其它因素的R值说明该因素对结果影响不显著,因此对导向杆作用距离影响较大的只有输送辊间距,对翻滚距离影响较大的仅输送辊材质和间距。由文献[16]<sup>28-29</sup>中导向杆作用距离和翻滚距离计算方法可知,当输送辊间距增大时,输送辊中心距增大则导向杆作用距离和翻滚距离减小;输送辊材质对翻滚距离的影响主要取决于接触点静摩擦力和滑动情况及缓冲性能。因此试验因素对轴向运动的影响更大。

2.3.2 方差分析 由表5~8可知,输送速度对鸡蛋轴向位移的影响达到极显著水平;输送辊间距对轴向位移的影响达到显著水平;输送辊材质和表面粗糙度是轴向位移的重要影响因素。输送辊间距对水平偏转角的影响达到显著水平;输送辊材质和输送速度是影响水平偏转角的重要因素。

输送辊间距对导向杆作用距离的影响达到显著水平;输送辊材质和导向杆角度是影响导向杆作用距离的重要因素;输送辊表面粗糙度贡献率小于误差项,对导向杆作用距离无影响。各因素对翻滚距离的影响,输送辊间距达到极显著水

表3 鸡蛋轴向运动正交试验结果

Table 3 The results of orthogonal experiment for axial movement of eggs

试验号	A	B	C	D	F (空白)	轴向位移/cm	水平偏转角/(°)
1	1	1	1	1	1	2.53	44.40
2	3	3	1	2	4	7.86	51.97
3	4	4	1	3	2	6.11	34.64
4	2	2	1	4	3	6.23	55.46
5	2	4	3	2	1	1.54	33.03
6	4	3	2	4	1	1.85	38.27
7	3	2	4	3	1	1.30	31.93
8	1	4	4	4	4	3.51	34.63
9	4	1	4	2	3	2.06	31.65
10	1	3	3	3	3	2.92	36.66
11	2	3	4	1	2	4.53	35.25
12	2	1	2	3	4	6.25	50.08
13	3	1	3	4	2	5.35	38.73
14	3	4	2	1	3	3.79	44.82
15	4	2	3	1	4	4.27	37.38
16	1	2	2	2	2	6.66	42.31
轴向位移	K <sub>1</sub>	3.91	4.05	5.68	1.81	3.31	
	K <sub>2</sub>	4.64	4.62	4.64	3.75	4.47	
	K <sub>3</sub>	4.58	4.29	3.52	5.47	3.89	
	K <sub>4</sub>	3.57	3.74	2.85	5.66	4.02	
	R	1.07	0.88	2.83	3.85	0.58	
水平偏转角	K <sub>1</sub>	39.50	41.22	46.62	36.91	38.27	
	K <sub>2</sub>	39.38	41.77	43.87	42.15	39.47	
	K <sub>3</sub>	41.86	40.54	36.45	43.52	40.43	
	K <sub>4</sub>	35.49	36.78	33.37	37.73	42.14	
	R	6.37	4.99	13.25	6.61	3.87	

表 4 鸡蛋翻转运动正交试验结果

Table 4 The results of orthogonal experiment for overturn movement of eggs

试验号	A	B	C	E	F (空白)	导向杆作用 距离/cm	翻滚距 离/cm
1	1	1	1	1	1	4.79	14.21
2	3	3	1	2	4	4.64	14.63
3	4	4	1	3	2	4.98	15.49
4	2	2	1	4	3	4.51	13.48
5	2	4	3	2	1	3.82	12.78
6	4	3	2	4	1	4.06	13.67
7	3	2	4	3	1	3.81	12.83
8	1	4	4	4	4	3.84	12.90
9	4	1	4	2	3	3.81	12.60
10	1	3	3	3	3	4.40	12.87
11	2	3	4	1	2	3.99	12.71
12	2	1	2	3	4	3.83	13.82
13	3	1	3	4	2	4.42	13.99
14	3	4	2	1	3	4.64	14.80
15	4	2	3	1	4	4.00	13.32
16	1	2	2	2	2	4.34	14.74
-----							
导向杆作用距离	$K_1$	4.34	4.21	4.73	4.12	4.26	
	$K_2$	4.04	4.17	4.26	4.34	4.35	
	$K_3$	4.38	4.27	4.16	4.08	4.32	
	$K_4$	4.21	4.32	3.86	4.43	4.74	
	R	0.34	0.45	0.87	0.35	0.59	
-----							
翻滚距离	$K_1$	13.68	13.66	14.45	13.44	13.33	
	$K_2$	13.20	13.47	14.26	13.37	13.70	
	$K_3$	14.06	13.59	13.24	13.67	14.24	
	$K_4$	17.64	13.99	12.76	14.23	13.44	
	R	4.44	0.52	1.69	0.86	0.91	

表 5 轴向位移方差分析表

Table 5 Anova table of axial displacement

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	贡献率
材质	3.239	3	1.080	2.826	0.208	0.051
表面粗糙度	1.658	3	0.553	1.447	0.384	0.026
间距	18.684	3	6.228	16.303	0.023	0.294
输送速度	38.775	3	12.925	33.832	0.008	0.611
误差	1.146	3	0.382			0.018
总和	63.502					1.000

表 6 水平偏转角方差分析表

Table 6 Anova table of horizontal deflection

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	贡献率
材质	144.073	3	48.024	5.812	0.091	0.176
表面粗糙度	60.974	3	20.325	2.460	0.240	0.075
间距	461.484	3	153.828	18.615	0.019	0.564
输送速度	126.597	3	42.199	5.107	0.107	0.153
误差	24.791	3	8.264			0.030
总和	817.919					1.000

表 7 导向杆作用距离方差分析表

Table 7 Anova table of guiding distance

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	贡献率
材质	0.237	3	0.079	2.281	0.258	0.101
表面粗糙度	0.058	3	0.019	0.558	0.678	0.024
间距	1.642	3	0.547	15.808	0.024	0.699
导向杆角度	0.305	3	0.102	2.941	0.200	0.130
误差	0.104		0.035			0.045
总和	2.346					1.000

表 8 翻滚距离方差分析表

Table 8 Anova table of rolling distance

变异来源	平方和	自由度	均方	F 值	显著性	贡献率
材质	1.549	3	0.516	9.540	0.048	0.129
表面粗糙度	0.600	3	0.200	3.696	0.156	0.050
间距	7.881	3	2.627	48.543	0.005	0.655
导向杆角度	1.835	3	0.612	11.303	0.038	0.153
误差	0.162	3	0.054			0.013
总和	12.027					1.000

平,输送辊材质和导向杆角度达到显著水平。

2.3.3 SSR 检验 采用 SSR 法对每个工作参数各水平均值间的差异性进行显著性检验,结果见表 9、10。

由表 9 可知,输送辊材质和表面粗糙度不同水平间对轴向位移影响均不显著。输送辊间距 1、4 水平达到显著差异。输送速度除了 3、4 水平间没有显著差异外,其它水平间均达到显著差异。对水平偏转角的影响,输送辊材质 2、4 水平达到显著差异,输送辊间距 1、4 水平间达到极显著差异,输送速度 1、3 水平间达到显著差异。

翻转运动中对导向杆作用距离的影响,输送辊间距 1、4 水平间达到极显著差异。各因素对翻滚距离的影响,输送辊材质 2 水平和 3、4 水平间,表面粗糙度 3 和 4 水平间,导杆角度 4 水平和其它水平间均达到显著差异,输送辊间距 1、2 水平和 3、4 水平极显著差异。

2.3.4 最优组合的确定 由表 9 可知,输送辊间距和速度各水平间对轴向位移影响极显著,输送辊间距各水平对水平偏转角影响极显著,因此确定最优工作参数组合时要先考虑轴向位移后考虑水平偏转角。结合表 3 确定轴向运动中最优参数组合为  $A_2B_2C_1D_4$ ,与表 5 中因素贡献率分析相吻合。

由表 10 可知,输送辊间距各水平间对翻滚距离和导向杆作用距离都有极显著的影响,输送辊材质、表面粗糙度和导向杆角度各水平间均对翻滚距离有显著影响,因此确定翻转运动最优工作参数组合时应先考虑翻滚距离。结合表 4 确定翻转运动过程中装置最优工作参数为  $A_2B_2C_4E_2$ 。

2.3.5 验证实验 对最优组合进行验证。轴向运动实验参数设定为碳钢辊、表面粗糙度为等级 2、直径 40 mm、间距 5 mm、转速 90 mm/s。翻转运动实验参数设定为碳钢辊、等级 2、直径 40 mm、间距 20 mm、导向杆角度 30°。实验方法同上(1.3)。

表9 轴向运动参数的 SSR 检验<sup>†</sup>

Table 9 SSR test of axial automation

指标	显著水平	材质				表面粗糙度				间距				输送速度			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
S	a=0.05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	bc	c	a	b	c	c
	a=0.01	A	A	A	A	A	A	A	A	A	AB	AB	B	A	AB	B	B
$\beta$	a=0.05	ab	a	ab	b	a	a	a	a	a	a	b	b	a	ab	b	ab
	a=0.01	A	A	A	A	A	A	A	A	A	AB	AB	B	A	A	A	A

† 1、2、3、4 代表水平。小写字母代表是在 0.05 水平下比较,差异显著;大写字母代表在 0.01 水平下比较,差异极显著。

表10 翻转运动参数的 SSR 检验<sup>†</sup>

Table 10 SSR test of turnover motion

指标	显著水平	材质				表面粗糙度				间距				输送速度			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
X	a=0.05	a	a	a	a	a	a	a	a	a	b	b	b	a	a	a	a
	a=0.01	A	A	A	A	A	A	A	A	A	AB	AB	B	A	A	A	A
M	a=0.05	ab	a	b	b	ab	ab	a	b	a	a	b	b	a	a	a	b
	a=0.01	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A

† 1、2、3、4 代表水平。小写字母代表是在 0.05 水平下比较,差异显著;大写字母代表在 0.01 水平下比较,差异极显著。

表11 验证实验结果

Table 11 The results of validation test

试验评价 指标	轴向位 移/cm	水平偏转 角/(°)	导向杆作用 距离/cm	翻滚距 离/cm
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	5.79	41.41		
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>4</sub> E <sub>2</sub>			4.39	12.77
A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub> D <sub>3</sub> E <sub>2</sub>	5.56	36.28	4.56	12.68

结合表 3、4 和 11 可知,最佳参数组合 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>4</sub> 和 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>4</sub>E<sub>2</sub> 的实验结果相对高于正交试验中的其它结果。

由于定向中轴向和翻转运动是连贯的,两运动阶段输送辊转速一致,因此需对最佳参数进行整合。由图 7、8 可知,最佳输送辊材质和表面粗糙度为碳钢辊和等级 2;由文献 [11]和[12]可知,当输送辊转速较大时,水平偏转角波动较大,禽蛋轴向运动稳定性差;当输送辊间距较大时,鸡蛋镶嵌在输送辊间的面积大,运动时所受阻力变大,轴向位移变小,轴向运动速度变慢。结合正交试验结果,调整输送辊转速为 70 mm/s,输送辊间距为 15 mm,导向杆角度为 30°。

对调整后的组合 A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>D<sub>3</sub>E<sub>2</sub> 进行验证,结果见表 11,调整参数后禽蛋水平偏转角减小,其他指标变化不明显,轴向运动更稳定。因此调整后的参数组合是合理的。

综上,定向装置最优工作参数为:输送辊材质为碳钢、表面粗糙度等级 2、直径为 40 mm、间距为 15 mm、转动线速度为 70 mm/s 以及导杆角度为 30°。

#### 2.4 鸡蛋在定向处理通道中轴向运动的时间

由文献可知,处理通道宽度为 150 mm<sup>[17]</sup>,鸡蛋长轴径约为 57.12 mm<sup>[18]</sup>。因此鸡蛋实际运动时轴向位移约为 93 mm,轴向运动所用时间决定了定向的效率。

经分析知,用不同材质和不同表面粗糙度输送辊时,鸡蛋

在处理通道中所需的轴向运动的最长时间均在 4.8~5.9 s,轴向运动的时间差异不明显。根据单因素试验结果和表 9、10 可知,材质和表面粗糙度对鸡蛋定向运动无极显著影响。因此从缓冲性和加工角度考虑,尼龙也是一种合适的材质。

### 3 结论

(1) 鸡蛋在铝合金辊上水平偏转角最大,尼龙辊上最小,碳钢辊和有有机玻璃辊表面粗糙度对水平偏转角影响不大,符合文献[13]<sup>13-14</sup>所述不同材质对偏转角的影响规律;输送辊材质和表面粗糙度对轴向位移影响不明显。

(2) 鸡蛋在同一材质不同粗糙度输送辊上的导向杆作用距离变化不明显;尼龙辊的表面粗糙度对翻滚距离影响相对明显,碳钢辊、铝合金辊和有有机玻璃辊影响不明显;有机玻璃辊的粗糙度对鸡蛋的侧偏角影响显著,尼龙辊、碳钢辊和铝合金辊影响不显著。

(3) 鸡蛋定向最优装置工作参数为碳钢辊、输送辊粗糙度等级为 2、输送辊直径、间距和转速及导杆角度分别为 40 mm、15 mm、70 mm/s 和 30°。

(4) 鸡蛋与不同材质及不同表面粗糙度输送辊之间的关系非常复杂。因本试验所采用的输送辊精度有限,鸡蛋与更多精度的输送辊之间关系有待进一步探讨;不同材质和不同表面粗糙度输送辊对其它卵形农产品大小头自动定向运动的影响也有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 王泽河,张丽丽,张秀花,等.双辊式对虾粗定向方法的试验与研究[J].食品与机械,2013,29(6):99-101.
- [2] 马焱,俞经虎.一种苹果定向机构设计及定向单元动力学仿真[J].食品与机械,2016,32(11):55-58.

(下转第 220 页)

(上接第 89 页)

- [3] ROSTRON F. Egg handling plants; US, 2895589[P]. 1959-07-21.
- [4] READING J W. Automatic egg orientors; US, 3024889[P]. 1962-03-13.
- [5] GIBBS F P. Egg Orienting mechanism; US, 3075629[P]. 1963-01-29.
- [6] 近藤林. 鶏卵の方向を揃える装置: 日本, 特開平 9-150938[P]. 1997-06-10.
- [7] 山下刚. 卵の方向整理装置: 日本, 特開平 11-147508[P]. 1999-06-02.
- [8] 今井隆之. 鶏卵配向装置: 日本, 特開 2009-51652[P]. 2009-03-12.
- [9] 俞兆志, 林玉藤. 蛋品大小头同向调整装置: 中国, CN201020501239.4[P]. 2011-05-04.
- [10] 蒋焕煜, 徐敏雅, 应义斌, 等. 一种实现禽蛋大小头整序的自动包装设备: 中国, CN201210224686.3[P]. 2013-1-2.
- [11] JIANG Song, SUN Ke, WANG Guo-jiang, et al. Study on the

mechanical automatic orientation regulations about the axial and the turnover motions of eggs[J]. Journal of Food Engineering, 2014, 133(4): 46-52.

- [12] 孙柯, 姜松, 朱红力, 等. 卵形体质量和材质对大小头自动定向运动的影响[J]. 食品与机械, 2014, 30(3): 72-75.
- [13] 姚俊. 禽蛋大小头自动定向中水平偏转角自适应规律研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2015.
- [14] 姜松, 姚俊, 徐斌, 等. 卵形体大小头自动定向过程中水平偏转角影响因素的研究[J]. 现代食品科技, 2015(10): 168-173.
- [15] 朱杰. 卵形体水果大小头自动定向运动规律的研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2016: 13-14.
- [16] 孙柯. 禽蛋大小头自动定向机理及应用研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2014.
- [17] 姜松, 王国江, 漆虹, 等. 禽蛋大小头自动定向排列系统设计[J]. 农业机械学报, 2012, 43(6): 113-117.
- [18] 姜松, 漆虹, 王国江, 等. 禽蛋基本特性参数分析与试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(4): 137-142.

(上接第 208 页)

- [33] CASTILLO M, MARTÍNORÚE S M, TAYLORPICKARD J A, et al. Use of mannanoligosaccharides and zinc chelate as growth promoters and diarrhea preventative in weaning pigs: Effects on microbiota and gut function[J]. Journal of Animal Science, 2008, 86(1): 94-101.
- [34] 丁琳琳. 壳寡糖螯合锌对小鼠学习记忆能力影响的比较研究[D]. 大连: 辽宁师范大学, 2013: 12-32.
- [35] 王中成, 吴学壮, 崔虎, 等. 饲料添加不同水平果胶寡糖螯合锌对肉仔鸡生长性能、免疫功能和血清抗氧化功能的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(6): 1757-1764.
- [36] WANG Zhong-cheng, YU Hin-min, WU Xue-zhuang, et al. Effects of dietary zinc pectin oligosaccharides chelate supplementation on growth performance, nutrient digestibility and tissue zinc concentrations of broilers[J]. Biological Trace Element

Research, 2016, 173(2): 475-482.

- [37] 白阳. 壳聚糖和壳寡糖及其配合物对刺参生长和品质相关指标的影响[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015: 28-80.
- [38] 毛跟年, 齐凤, 李丽维, 等. 甘露低聚糖锌配合物对尿素吸附的研究[J]. 陕西科技大学学报, 2009, 27(5): 62-64.
- [39] 刘广洋. 四种海藻寡糖钒配合物的制备及其生物活性的研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013: 40-68.
- [40] LIU Yu, CHEN Guo-song, CHEN Yong, et al. Cyclodextrins as carriers for cinchona alkaloids: a pH-responsive selective binding system[J]. Organic & Biomolecular Chemistry, 2005, 3(14): 2519-2523.
- [41] 王秉. 环糊精金属配合物模拟多酚氧化酶及其催化性能[D]. 杭州: 浙江理工大学, 2009: 39-56.
- [42] 刘志华, 纪永升, 张静, 等. 基于环糊精配体骨架化合物的铜离子电化学行为及其检测[J]. 分析测试学报, 2015, 34(8): 939-943.

(上接第 213 页)

- [29] LAKKAKULA N R, MARYBETH L, TERRY W. Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating[J]. Bioresource Technology, 2004, 92(2): 157-161.
- [30] SABERIAN H, HAMIDI-ESFAHANI Z, HASSAN A G, et al. Optimization of pectin extraction from orange juice waste assisted by ohmic heating[J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2017, 117(6): 154-161.
- [31] NADIDE S, HOSAHALLI S R, ZHU Song-ming, et al. Ohmic tempering of frozen potato puree[J]. Food Bioprocess Technologies, 2013(6): 3200-3205.
- [32] KIM N H, RYANG J H, LEE B S, et al. Continuous ohmic heating of commercially processed apple juice using five sequential electric fields results in rapid inactivation of Alicyclobacillus acidoterrestris spores[J]. International Journal of Food Microbiology, 2017, 246(4): 80-84.

- [33] CHO W, YOON J Y, CHUNG M. Pasteurization of fermented red pepper paste by ohmic heating[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2016, 34(4): 180-186.
- [34] ZELL M, LYNG J G, CRONIN D A, et al. Ohmic cooking of whole turkey meat: Effect of rapid ohmic heating on selected product parameters [J]. Food Chemistry, 2010, 120(3): 724-729.
- [35] NGUYEN Loc T, CHOI Won, LEE Seung Hyun, et al. Exploring the heating patterns of multiphase foods in a continuous flow, simultaneous microwave and ohmic combination heater [J]. Journal of Food Engineering, 2013, 116(1): 65-71.
- [36] LEE Seung Hyun, CHOI Won, KIM Chong-Tai, et al. Development of a dual cylindrical microwave and ohmic combination heater for minimization of thermal lags in the processing of particulate foods[J]. LWT-Food Science and Technology, 2015, 63(2): 1220-1228.