

# 大豆收获机纵轴流柔性脱粒装置脱出物分布规律

陈艳普<sup>1</sup> 康艳<sup>1</sup> 王廷恩<sup>1</sup> 宁新杰<sup>1</sup> 金诚谦<sup>1,2\*</sup> 印祥<sup>1</sup>

(1. 山东理工大学 农业工程与食品科学学院, 山东 淄博 255000;

2. 农业农村部南京农业机械化研究所, 南京 210014)

**摘要** 为探究纵轴流柔性脱粒装置工作参数对脱出物分布的影响以及脱出物分布规律,在自行研制的纵轴流脱粒分离清选试验台上,以滚筒转速、脱粒间隙、喂入量和导流板角度为试验因素,对纵轴流柔性脱粒装置脱出物在轴向和径向的分布变化进行单因素试验,结果表明:1)随着工作参数的变化,轴向和径向脱出物分布趋势变化不明显;2)纵轴流柔性脱粒装置的轴向脱出物、籽粒分布规律符合指数函数分布,豆荚、轻质杂余分布规律符合三次函数分布;3)径向脱出物、籽粒、豆荚、轻质杂余的分布规律符合系数不同的多项式形式。

**关键词** 大豆; 柔性脱粒; 收获机; 分布规律; 脱出物

中图分类号 S225.6

文章编号 1007-4333(2020)09-0104-08

文献标志码 A

## Distribution regularities of the threshed mixtures in longitudinal axial flow flexible thresher of soybean harvester

CHEN Yanpu<sup>1</sup>, KANG Yan<sup>1</sup>, WANG Tingen<sup>1</sup>, NING Xinjie<sup>1</sup>, JIN Chengqian<sup>1,2\*</sup>, YIN Xiang<sup>1</sup>

(1. School of Agricultural Engineering and Food Science, Shandong University of Technology, Shandong Zibo 255000, China;

2. Nanjing Research Institute for Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing 210014, China)

**Abstract** In order to find out the distribution regularities of threshed mixtures and study the influence of working parameters effect the distribution of threshed mixtures by longitudinal axial flow flexible threshing and separating device in harvester, a single factor test was designed. Experiments were conducted on a self-developed test platform for studying the changes in the axial and radial distribution of the mixtures from the longitudinal axial flow flexible threshing device using the drum rotation speed, threshing clearance, feeding amount and baffle angle as test factors. The results showed that: 1) When the working parameters changed, the distribution of the threshed mixtures did not change significantly in the axial and radial directions; 2) The axial mixtures and grain distribution of the flexible thresher conformed to the exponential function, the distribution regularities of pods and light debris conformed to the cubic function; 3) The distribution regularities of radial mixtures, grains, pods and light debris conformed to polynomials with different coefficients.

**Keywords** soybean; flexible threshing; harvester; distribution regularities; threshed mixtures

大豆收获机收获大豆时,作物通过脱粒滚筒脱粒,脱出混合物(籽粒、细小杂余、茎秆)经过凹板筛分离到清选筛上。针对轴向和径向脱出物分布规律的研究,对确定清选筛结构和尺寸,从而改善籽粒和杂余在筛面上分布状况,减小清选系统负担及提高

清选性能具有重要意义<sup>[1-4]</sup>。因此对于脱粒装置脱出物分布研究尤为重要。

目前针对不同脱粒装置脱出物分布规律的研究较多:P. L. Miu<sup>[5]</sup>对杆齿式轴流脱粒装置脱粒分离过程进行研究,推导出籽粒和杂质的分离率理论,以

收稿日期: 2019-12-19

基金项目: 山东省农机装备研发创新计划项目(2018YF006);现代农业产业技术体系建设专项资金项目(GARS-04-PS26);山东省高等学校优势学科人才团队培育计划项目(2016-2020)

第一作者: 陈艳普,硕士研究生,E-mail:837784647@qq.com

通讯作者: 金诚谦,教授,主要从事农业装备智能控制技术研究,E-mail:412114402@qq.com

及随滚筒长度变化的分离模型,并通过试验进行了验证;V. M. Hunynh 等<sup>[6]</sup>利用传统脱粒装置建立了脱粒分离模型,并对脱粒装置径向分布规律进行研究,得出了径向分布回归方程;邵维民等<sup>[7]</sup>对小型板齿式轴流脱粒分离装置进行轴向脱出物分布研究,阐明了轴向脱出物分布与滚筒长度的关系;李保国<sup>[8]</sup>对安装有轴流式组合脱粒滚筒的脱粒装置进行了脱出物分布规律的研究,主要针对籽粒在轴向分布规律进行探讨,并通过拟合曲线的方式得到了籽粒在轴向的脱出物分布模型,但是模型过于简单;李渤海等<sup>[9]</sup>、衣淑娟等<sup>[10-13]</sup>和陶桂香等<sup>[14]</sup>利用水稻脱粒试验,对螺旋叶片板齿组合式和钉齿式轴流2种不同的脱粒分离装置进行了脱出物分布规律研究,对试验数据拟合分布曲线发现,2种脱粒装置的脱出物分布规律曲线沿轴向呈 Peal-Reed 模型;郭炎等<sup>[15]</sup>利用水稻试验对纵轴流脱分装置的脱出物进行径向分布规律研究,发现脱粒元件采用钉齿时脱出物径向分布较为均匀。目前未见针对纵轴流柔性

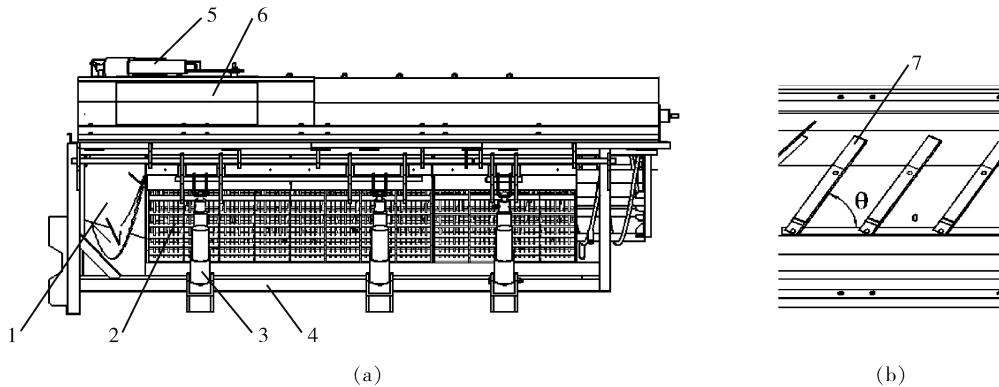
脱粒分离装置的脱出物分布规律的研究。

本研究拟以纵轴流柔性脱粒装置为试验对象,以滚筒转速、喂入量、脱粒间隙、导流板角度为试验因素,进行单因素试验,对比不同因素变化下脱出物在轴向和径向的分布规律的变化;获取纵轴流柔性脱粒装置的脱出物分布规律,以期为研制清选装置提供参考。

## 1 纵轴流柔性脱粒装置结构及工作原理

### 1.1 脱粒装置的结构

纵轴流柔性脱粒装置整体结构见图1。主要由柔性脱粒滚筒、顶盖、导流板、机架、间隙可调式凹板筛等机构组成。脱粒滚筒主体框架由辅盘、主轴和辐条组成,外侧焊有两根螺旋筋,为减小脱粒元件对作物的打击力,柔性脱粒杆齿外侧包有聚氨酯橡胶套,按双螺旋排布形式焊接在外置螺旋筋上;螺旋喂入装置通过螺栓与滚筒主体框架连接。



$\theta$  为导流板角度。 $\theta$  is the deflector angle.

1. 柔性脱粒滚筒;2. 可调式凹板筛;3. 凹板筛电液推杆;4. 机架;5. 顶盖电液推杆;6. 顶盖;7. 导流板

1. Flexible threshing drum; 2. Adjustable concave plate screen; 3. Concave sieve electro-hydraulic push rod; 4. Frame; 5. Top cover electro-hydraulic putter; 6. Top cover; 7. Deflector

图1 柔性脱粒装置(a)和顶盖(b)

Fig.1 Flexible thresher (a) and top cover (b)

### 1.2 工作原理

纵轴流柔性脱粒装置的工作过程主要分为4个阶段,分别为大豆植株喂入、脱粒、分离、排出茎秆。工作过程中,大豆植株在螺旋喂入装置的强制作用下进入脱粒室内;作物在脱粒杆齿和导流板的共同作用下沿轴向向后做螺旋运动;在此过程中,大豆籽粒在杆齿和凹板筛的打击、碰撞等作用下,从豆荚中脱出,完成脱粒过程;在脱粒过程中,脱粒杆齿与聚氨酯橡胶组成的柔性杆齿,有效降低了脱粒元件对

籽粒的打击力,降低了大豆籽粒在脱粒过程中产生的机械损伤;脱下的大豆籽粒通过凹板筛进入到清选装置,完成分离过程;剩余的长茎秆等杂质被推送到滚筒尾端,排出脱粒室,完成整个脱粒过程。

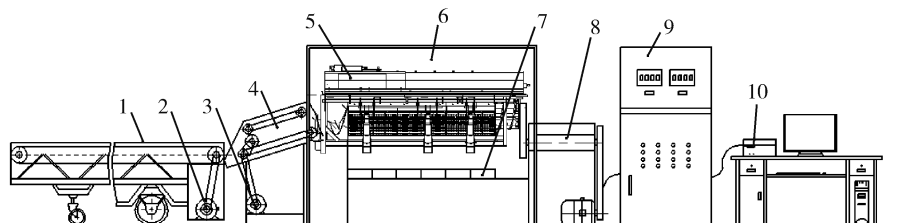
## 2 试验装置及条件

### 2.1 试验装置

纵轴流柔性脱粒分离试验台由本研究团队自主设计研制,主要包括纵轴流柔性脱粒分离装置、输送

带、信号采集器等(图2),试验时根据不同要求的喂入量,将大豆植株物料均与铺放在在输送带上;大豆植株经输送带进入喂入搅龙,由过桥强制输送到脱粒装置内,在脱粒室内进行脱粒分离;茎秆等杂余从脱粒装置尾部排出,脱出混合物通过凹板筛进入到接料盒内,试验后对接料盒内的混合物进行人工处

理;根据试验需求,在凹板筛下放置 $6\times 6$ 个接料盒,每个接料盒标准尺寸为 $210\text{ mm}\times 145\text{ mm}$ ,接料盒分布见图3。每次试验过后对每一个接料盒内的脱出物进行人工分类计数。对接料盒内的脱出物分类发现,脱出物主要分为:籽粒、豆荚和轻质杂余(细小颗粒和短茎秆),对各物料进行称重记录。

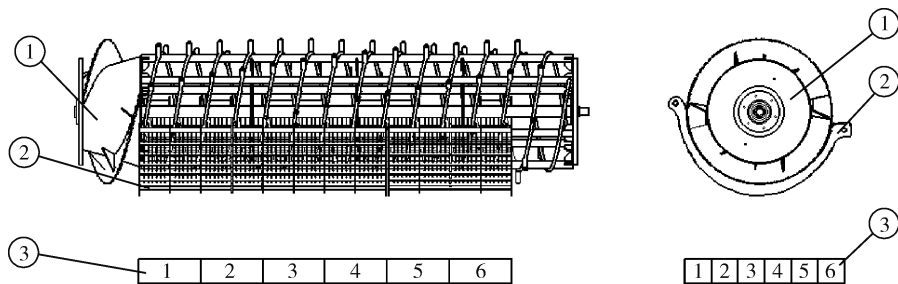


1. 输送带;2. 喂入电机;3. 过桥电机;4. 过桥;5. 纵轴流柔性脱粒分离装置;6. 密闭室;7. 接料盘;8. 滚筒驱动电机;9. 控制柜;10. 信号采集器

1. Conveyor; 2. Feed motor; 3. Bridge motor; 4. Cross the bridge; 5. Vertical axial flow flexible threshing and separating device; 6. Confined room; 7. Receiving tray; 8. Drum drive motor; 9. Control cabinet; 10. Signal collector

图2 纵轴流柔性脱粒分离试验台

Fig. 2 Vertical axial flow threshing and separating test bench



① 柔性脱粒滚筒; ② 可调式凹板筛; ③ 接料盒

① Flexible threshing drum; ② Adjustable concave plate screen; ③ Material receiving box

图3 接料盒轴向(a)和径向(b)分布示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the axial (a) and radial (b) distributions of the receiving box

## 2.2 试验条件

试验使用的大豆为临豆11号,其植株特性见表1。以滚筒转速 $n$ 、喂入量 $Q$ 、脱粒间隙 $e$ 和导流板角度 $\theta$ 为因素,进行单因素试验,分析各个工作参数对纵轴流柔性脱粒装置的脱出物轴向和径向分布规律的影响。

对纵轴流柔性脱粒装置进行单因素试验,试验因素水平见表2。试验过程中,某一试验因素参数变化时,其余因素参数选取中间值。每组试验过后,人工将脱出物分为籽粒、豆荚、茎秆和轻质杂余,并称重记录,为保证试验的准确性,每组试验做3次,取平均值。

表1 试验大豆植株特性

Table 1 Test soybean plant characteristics

参数 Parameter	数值 Value
大豆品种 Soybean varieties	临豆11号
作物平均高度/mm Mean height	645
蓬面直径/mm Canopy diameter	85~120
千粒质量/g Kernel weight	256
草谷比 Grass valley ratio	1.15
含水率/% Moisture content	14.2
产量/(kg/hm <sup>2</sup> ) Output	2 901
自然落粒量/(g/m <sup>2</sup> ) Natural particle size per square meter	5.6

表 2 脱出物分布试验单因素水平表

Table 2 Single factor level table for extruder distribution test

水平 Level	试验因素 Experimental factor			
	滚筒转速 $n/(r/min)$	喂入量 $Q/(kg/s)$	脱粒间隙 $e/mm$	导流板角度 $\theta/(^\circ)$
	Rotate speed of roller	Feed amount	Threshing gap	Angle of deflector
1	500	2.5	20	60
2	600	5.0	25	70
3	700	7.5	30	80

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 滚筒转速对脱出物分布规律影响

选取滚筒转速  $n$  分别为 500、600 和 700 r/min, 不同滚筒转速下轴向和径向脱出物分布见图 4。

不同滚筒转速时轴向脱出物分布规律相似, 随着作物脱粒分离的进行, 脱出物质量沿滚筒轴向不断降低; 1 号接料盒中脱出物质量最高, 随后迅速降低, 3 和 4 号接料盒中的脱出物质量相差较小; 脱出物沿轴向分布不均匀。随着滚筒转速提升, 脱出物

质量峰值不断减少, 而对应其他接料盒的质量不断增加(图 4(a))。不同滚筒转速下径向脱出物分布规律相似, 径向脱出物分布不均匀, 但是整体脱出总物质量不断减少(图 4(b))。表明: 当滚筒转速增加时, 柔性脱粒元件对物料的作用力没有明显的增大; 滚筒转速增加, 加快植株运动速度, 减少了脱粒室内植株的脱粒时间, 茎秆受到的打击次数减少, 能分离出的茎秆杂质质量减少。因此滚筒转速增大时脱出物质量减少。通过对轴向和径向曲线光滑程度的对比, 当滚筒转速为 700 r/min 时曲线的光滑程度较好。

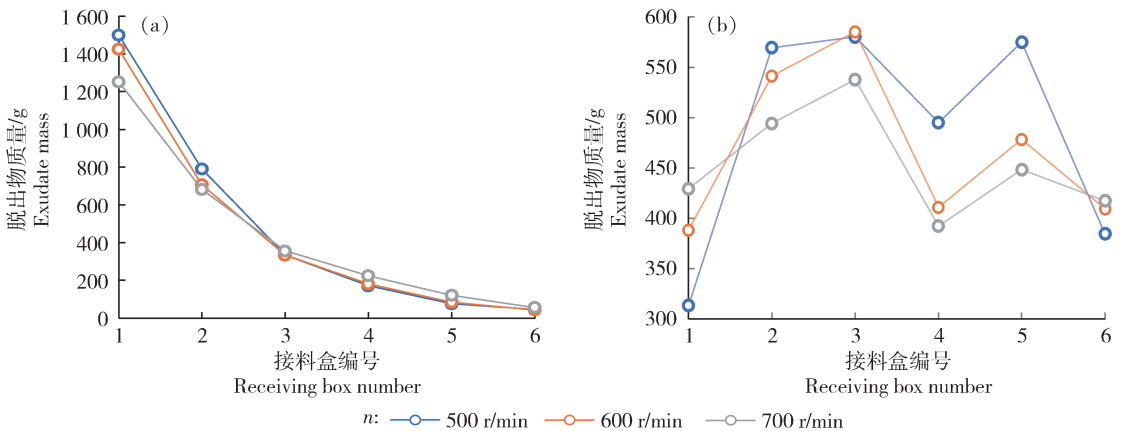


图 4 不同滚筒转速  $n$  下脱出物轴向(a)和径向(b)分布

Fig. 4 Distribution of axial (a) and radial (b) of the effluent at different drum speeds  $n$

#### 3.2 喂入量对脱出物分布规律影响

选取喂入量  $Q$  分别为 2.5、5.0 和 7.5 kg/s 进行试验。不同喂入量情况下, 轴向脱出物分布规律相似, 脱出物分布不均匀。1 号接料盒中脱出物质量最高, 随后迅速降低, 随着喂入量不断增加, 每个接料盒的脱出物质量增大(图 5(a)); 径向脱出物分布不均匀, 脱出物质量变化为先增

后减再增, 随着喂入量增加, 脱出物质量曲线变化更加明显(图 5(b))。表明: 当喂入量增大时, 脱粒室内的大豆植株增多, 物料之间、物料与脱粒元件之间的挤压力增大, 大豆植株受到的作用力增大, 脱下物料量增加, 分离出的脱出物质量增加; 喂入量对轴向和径向脱出物分布规律没有影响。

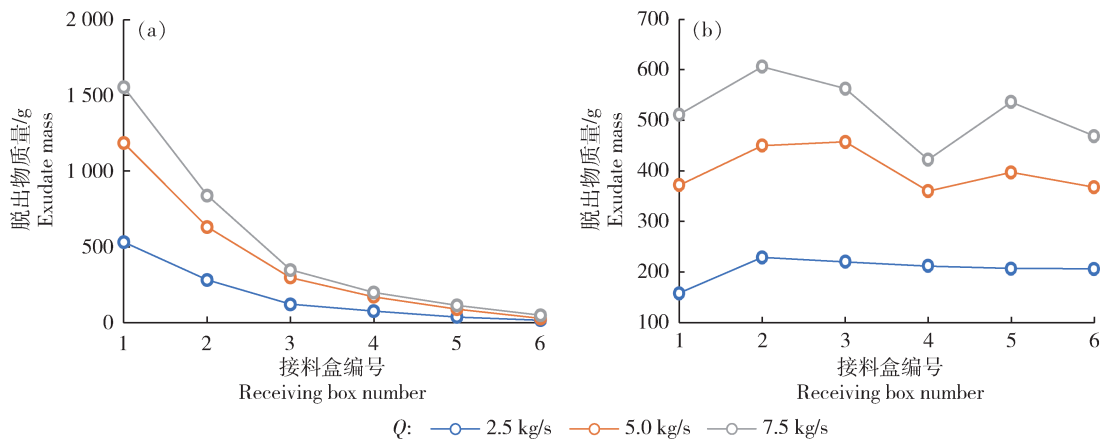


图5 不同喂入量  $Q$  下脱出物轴向(a)和径向(b)分布

Fig. 5 Distribution of axial (a) and radial (b) of the effluent under different feeding quantities  $Q$

### 3.3 脱粒间隙对脱出物分布规律影响

选取脱粒间隙  $e$  分别为 20、25 和 30 mm 进行试验。不同脱出物间隙的脱出物分布规律相似且分布不均匀。随着脱粒间隙增大,1 号接料盒中脱出物质量不断减少,3、4 号接料盒呈现先增大后减少的趋势(图 6(a))。径向脱出物分布呈现出先增后减再增再减的趋势;随着脱粒间隙增加,脱出物质量

整体不断减少(图 6(b))。这表明:随着脱粒间隙增大,脱粒室内的大豆植株形成的物流变松散,脱出物越容易穿过物流分离出来,并且由于脱粒间隙增大,脱粒室内空间增大,植株受到脱粒元件打击次数相应减少,所有当脱粒间隙增大时脱出物质量减少;脱粒间隙对轴向和径向脱出物分布规律没有影响。

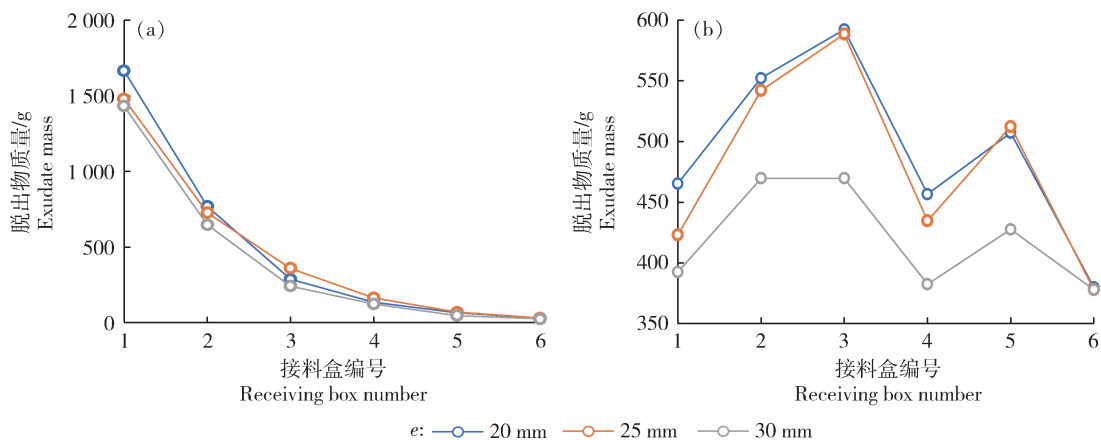


图6 不同脱粒间隙  $e$  下脱出物轴向(a)和径向(b)分布

Fig. 6 Distribution of axial (a) and radial (b) of effluents under different threshing gaps  $e$

### 3.4 导流板角度对脱出物分布规律影响

选取导流板角度  $\theta$  分别为  $60^\circ$ 、 $70^\circ$  和  $80^\circ$ , 不同导流板角度下,轴向脱出物分布规律相似且分布不均匀,随着导流板角度增加,脱出物质量峰值不断增大,但 2 号接料盒以后脱出物质量呈现出先减少后增大的趋势(图 7(a));导流板角度对径向脱出物分布基本没有影响且分布不均匀,整体还是呈现出先

增后减再增再减的趋势(图 7(a))。表明:由于导流板角度对大豆物料的脱粒时间有关,当导流板角度越大,大豆物料再脱粒室内的停留时间越长,受到脱粒元件打击次数和与凹板筛搓擦时间越多,使大豆茎秆破碎严重,导致能够分离出的物料质量增加,所以随着导流板角度增大,脱出物总质量不断增加。

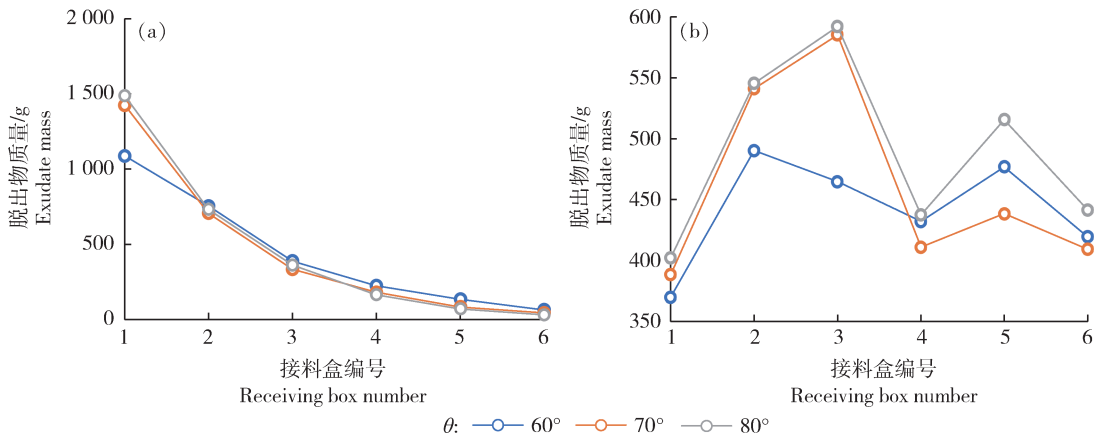


图 7 不同导流板角度  $\theta$  下脱出物轴向 (a) 和径向 (b) 分布

Fig. 7 Distribution of axial (a) and radial (b) of the effluent under different guide plate angles  $\theta$

### 4 脱出物分布规律

对试验数据进行分析发现,柔性脱粒装置的各个工作参数对轴向和径向的脱出物分布变化趋势没有影响。为得出柔性脱粒装置的脱出物分布规律,

选取各个参数为中间值,即滚筒转速为 600 r/min,喂入量 5 kg/s,脱粒间隙 25 mm,导流板角度为 70° 进行脱出物分布试验,将脱出物总质量、脱出籽粒质量、大豆豆荚质量和轻质杂余质量在轴向和径向的分布数据导入到 SPSS 中进行拟合,试验结果见图 8。

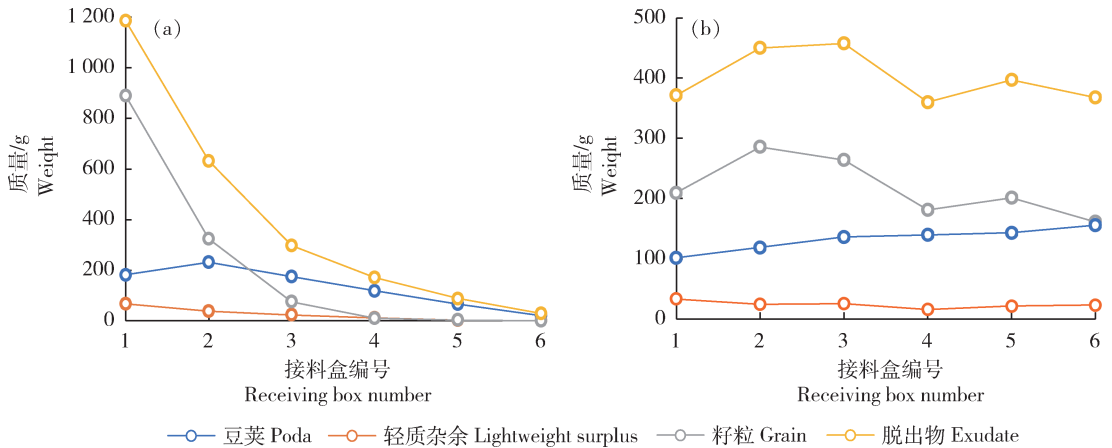


图 8 当  $n=600$  r/min、 $Q=5$  kg/s、 $e=25$  mm、 $\theta=70^\circ$  时脱出物轴向 (a) 和径向 (b) 分布

Fig. 8 Distribution of prolapse on axial (a) and radial (b) when  $n=600$  r/min,  $Q=5$  kg/s,  $e=25$  mm,  $\theta=70^\circ$

由图 8(a)可知:轴向脱出物分布规律与籽粒分布规律相同,在脱粒滚筒最前端分离出的物料质量最高,随后迅速下降,4、5、6 号接料盒变化速度减缓,6 号接料盒的物料质量最小;由籽粒分布曲线可以看出,脱出大豆籽粒都集中在脱粒端被分离出来,较为难脱的籽粒在分离段分离出脱粒室;由于脱粒元件外包有聚氨酯橡胶套,可以有效降低脱粒元件对大豆植株的打击力,减少由茎秆破碎带来的杂质,从轻质杂余的曲线可以看出,轻质杂余主要集中在滚筒前端,随着滚筒长度变化被分离出的轻质杂余

质量不断减少,与文献[12]中轻质杂余的分布曲线不断增加相比,柔性脱粒滚筒对茎秆的损伤较少,可有效减轻精选工作量。对轴向脱出物的数据进行拟合得到关于脱出物、籽粒、豆荚和轻质杂余在轴向脱出分布规律的回归方程(表 3)。

脱出物、籽粒、豆荚、轻质杂物的径向分布规律相似,其中籽粒与脱出物的径向分布状况更为相似;物料质量在 2 号接料盒出现第一个峰值,在 4 号接料盒出现第一个波谷,5 号接料盒的脱出物量达到第二峰值,两个峰值差值较大,第一峰值约是第二峰

表3 轴向脱出物分布回归方程

Table 3 Regression equation of axial extractives distribution

名称 Name	方程 Equation	$R^2$	显著性 Significance
脱出物 Exudate	$y_1 = 2\ 607.52\exp(-0.712\ 7x)$	0.986	<0.001
籽粒 Grain	$y_2 = 5\ 920.536\ 8\exp(-1.557\ 73x)$	0.988	<0.001
大豆豆荚 Soybean pods	$y_3 = 56.066\ 7 + 189.199\ 1x - 64.61x^2 + 5.362x^3$	0.966	<0.001
轻质杂余 Lightweight surplus	$y_4 = 104.333 - 43.674\ 5x + 6.44x^2 - 0.342\ 6x^3$	0.994	<0.001

值的2倍左右;豆荚、轻质杂物的曲线变化较平缓。表明脱出物落入清选装置上分布不均匀(图8(b))。利用SPSS对处理后的数据进行回归拟合得出脱出物等径向分布曲线为系数不同的多项式形式,  $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$ 。

## 5 结 论

本研究通过单因素对比试验,探究滚筒转速、喂入量、脱粒间隙和导流板工作参数对纵轴流柔性脱粒装置轴向和径向脱出物分布规律的影响,研究结果如下:

1)脱出物在轴向上变化趋势是不断减小;径向分布按“马鞍型”分布;随着纵轴流柔性脱粒装置工作参数变化,轴向和径向的脱出物分布规律趋势没变。

2)纵轴流柔性脱粒装置轴向脱出物和籽粒分布规律符合  $y = a\exp(bx)$ , 轴向豆荚和轻质杂余分布规律符合三次函数;脱出物等径向分布曲线为系数不同的多项式形式,  $y = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4$ 。

## 参考文献 References

[1] 李耀明. 水稻梳脱混合物复脱分离、清选特性的研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2004  
Li Y M. Study on separation of rethreshed stripped mixtures and their cleaning characteristics for rice[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2004 (in Chinese)

[2] 张金海, 都丽萍. 脱粒部件数学模型的建立与模拟[J]. 农业机械学报, 1994, 25(1): 56-60  
Zhang J H, Du L P. Theoretical study of mathematical model on threshing and separating process[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 1994, 25(1):

56-60 (in Chinese)

[3] 李杰, 阎楚良, 杨方飞. 纵向轴流脱粒装置的理论模型与仿真[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2006, 27(4): 299-302  
Li J, Yan C L, Yang F F. Theoretical model and simulation of threshing of axial unit with axial feeding [J]. *Journal of Jiangsu University: Natural Science Edition*, 2006, 27(4): 299-302

[4] 陈霓, 黄东明, 陈德俊, 田晓军, 张建荣. 风筛式清选装置非均匀布气流清选原理与试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(4): 73-77  
Chen N, Huang D M, Chen D J, Tian X J, Zhang J R. Theory and experiment on non-uniform air-flow cleaning of air-screen cleaning unit[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2009, 40(4): 73-77 (in Chinese)

[5] Miu P I. Mathematical model of threshing process in an axial unit with tangential feeding[J]. *Transactions of the ASAE*, 2007, 58(2): 93-99

[6] Huynh V M, Powell T, Siddall J N. Threshing and separating process: A mathematical model [J]. *Transactions of the ASAE*, 1982, 25(1): 65-73

[7] 邵维民, 祝永昌, 穆浩民, 陈铮, 杨铁牛, 陈虹, 薛文通. 小型轮流脱粒分离装置的试验研究[J]. 农业机械学报, 1992, 23(1): 99-103  
Shao W M, Zhu Y C, Mu H M, Chen Z, Yang T N, Chen H, Xue W T. Experimental study on a small rotating threshing separation device[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 1992, 23(1): 99-103 (in Chinese)

[8] 李保国. 轴流脱粒装置凹板分离物分布规律的研究[J]. 河南职业技术学院学报, 1992, 20(1): 43-48  
Li B G. A study on the distribution law of threshed mixtures of concave in axial-flow thresher [J]. *Journal of Henan Vocation-Technical Teachers College*, 1992, 20(1): 43-48 (in Chinese)

- [9] 李渤海, 衣淑娟, 姜楠. 轴流式脱粒分离装置脱出物沿滚筒切向分布规律[J]. 现代化农业, 2005(10): 31-32  
Li B H, Yi S J, Jiang N. Distribution of threshed mixtures from axial flow threshing device along the tangential direction of the drum[J]. *Modernizing Agriculture*, 2005(10): 31-32 (in Chinese)
- [10] 衣淑娟. 螺旋叶片板齿组合式轴流装置理论与试验研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2007  
Yi S J. Theoretical and experimental study of a spiral blade plate-tooth combined axial flow device [D]. Haerbin: Northeast Agricultural University, 2007 (in Chinese)
- [11] 衣淑娟, 李敏, 孟臣. 谷物脱粒与分离装置试验数据采集系统[J]. 农业机械学报, 2005, 36(1): 100-103, 99  
Yi S J, Li M, Meng C. Computer data acquisition system of grain threshing and separating installation[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2005, 36(1): 100-103, 99 (in Chinese)
- [12] 衣淑娟, 陶桂香, 毛欣. 两种轴流脱粒分离装置脱出物分布规律对比试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 154-156  
Yi S J, Tao G X, Mao X. Comparative experiment on the distribution regularities of threshed mixtures for two types of axial flow threshing and separating installation [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(6): 154-156 (in Chinese)
- [13] 衣淑娟. 钉齿式轴流脱粒与分离装置脱出物沿轴向分布规律的试验研究[J]. 机械设计与制造, 2002(6): 100  
Yi S J. Experimental study on the axial distribution of the threshed mixtures from the pin-toothed axial flow threshing and separation device[J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2002(6): 100 (in Chinese)
- [14] 陶桂香, 衣淑娟. 组合式轴流装置稻谷脱出物的分布规律[J]. 农机化研究, 2009, 31(2): 134-136, 140  
Tao G X, Yi S J. Distribution of mixture assembled axial flow device[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2009, 31(2): 134-136, 140 (in Chinese)
- [15] 郭炎, 李耀明, 李洪昌, 徐立章. 纵轴流脱粒分离装置脱出物的径向分布规律[J]. 农机化研究, 2011, 33(12): 110-112  
Guo Y, Li Y M, Li H C, Xu L Z. The radial distribution regularities of emerging object with longitudinal axial flow threshing and separating device[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2011, 33(12): 110-112 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春