

# 完熟期油菜的脱粒特性与分析

宗望远 黄 鹏 李海同 陈 立 廖庆喜

华中农业大学工学院, 武汉 430070

**摘要** 利用端面喂入式轴流脱粒滚筒对完熟期油菜进行脱粒试验, 分析筛下脱出籽粒、果荚壳、颖杂、茎秆等成分的质量和茎秆长度沿脱粒滚筒轴线的分布特征, 并以滚筒转速为因素进行单因素试验, 分析滚筒转速对脱出物质量的影响规律。结果表明, 各筛下脱出物沿滚筒轴线呈现出小尺寸脱出物前多后少、大尺寸脱出物前少后多的分布规律, 当转速为 750 r/min 时, 油菜籽粒的脱出质量最大。

**关键词** 油菜; 收获机械; 脱粒特性

**中图分类号** S 226.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)02-0128-06

脱粒与分离装置是油菜联合收割机的关键部件。现有油菜联合收割机脱粒装置主要是借鉴稻麦联合收割机的脱粒原理, 通过脱粒元件对油菜果荚产生冲击、揉搓和碾压等作用, 使果荚炸口、开裂或粉碎, 从而分离出油菜籽粒。

目前, 谷物脱粒方面的研究主要集中在 4 个方面: 一是探讨脱粒部件的机械参数对脱粒效果的影响<sup>[1-9]</sup>, 目的是使脱粒部件具有最高的工作效率; 二是新型脱粒元件的设计和不同脱粒元件脱粒效果的对比<sup>[10-13]</sup>, 目的是确定出综合脱粒效能最佳的脱粒元件; 三是针对脱出物沿脱粒滚筒轴线分布特点的研究<sup>[14]</sup>, 目的是确定脱粒滚筒的合理长度; 四是对脱粒过程中谷物受力和运动状态的分析<sup>[15-27]</sup>, 目的是为谷物脱粒理论的构建和脱粒元件的设计提供理论基础。

开展油菜的脱粒特性研究, 探讨油菜脱粒过程中各种组分的脱出特征, 对油菜脱粒滚筒参数选择和分离装置结构设计具有重要的指导意义。笔者利用自制的端面喂入式轴流脱粒试验装置对完熟期油菜进行单因素脱粒试验, 分析了筛下脱出籽粒、果荚壳、颖杂、茎秆等成分的质量和茎秆长度等试验指标沿脱粒滚筒轴线的分布特征, 同时研究了滚筒转速对上述试验指标的影响规律, 旨在为油菜脱粒滚筒参数选择和分离装置结构设计提供科学依据。

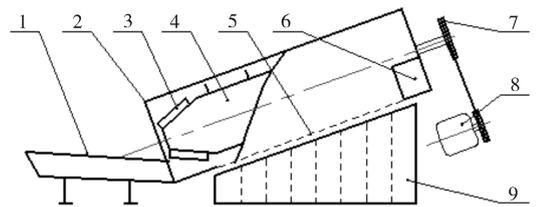
## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试油菜样品取自华中农业大学农业科技试验示范基地, 油菜品种为甘蓝型油菜华油杂 62, 种植方式为机械直播, 油菜收割期为 2011 年 5 月 16 日。将生长良好的成熟油菜收割后置于室内悬挂, 自然条件下通风晾干后备用。

### 1.2 设备与装置

试验装置采用自行研制的端面喂入式轴流脱粒试验台(图 1)。



1. 喂料台 Feeding platform; 2. 滚筒壳体 Expansion cylinder hul; 3. 物料喂入头 Feeding device; 4. 脱粒滚筒 Expansion cylinder; 5. 凹板筛 Concave sieve; 6. 排草口 Straw exit; 7. 滚筒驱动带轮 Belt wheel; 8. 电机 Electric motor; 9. 接料盒 Collecting box.

图 1 轴流脱粒装置试验台示意图

Fig. 1 Test equipment of axial threshing unit

收稿日期: 2012-07-23

基金项目: 国家油菜产业技术体系专项(CARS-13)和中央高校基本科研业务费专项(2011PY085)

宗望远, 硕士, 副教授, 研究方向: 现代农业装备设计与测控. E-mail: zwyzzx@sina.com

通讯作者: 廖庆喜, 博士, 教授, 研究方向: 机械化生产技术与装备. E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

试验台由喂料台、滚筒壳体、物料喂入头、脱粒滚筒、凹板筛、排草口、滚筒驱动带轮、电机和接料盒等组成。试验中脱出物由接料盒接取,接料盒分为8个区段,从喂料端开始依次标记为第1~8区段。脱粒滚筒直径400 mm,长度1 850 mm,钉齿间距100 mm,脱粒间隙15 mm,筛孔尺寸12 mm×12 mm,滚筒轴线倾斜角度20°。

其他试验仪器还有BS型电子天平、DT-2234C光电式转速表和分离筛等。

### 1.3 脱粒试验方法

脱粒试验在华中农业大学农业机械实验室进行,试验时间为2011年8月23日。每次试验取待测油菜样品约6 kg。脱粒试验时,先调节脱粒滚筒转速至需要值,再进行人工喂料脱粒,筛下脱出物落

入接料盒中,筛上物经过排草口排出;脱粒后分别取出接料盒各个区段的筛下物,称量后人工完成籽粒、果荚壳、颖杂、短茎秆等混合成分的分离,计算出各成分的质量和最长5根茎秆长度之和并分别详细记录。

每个因素水平试验重复3次。

## 2 结果与分析

### 2.1 脱粒试验测量值

脱粒试验过程中,按照试验设计分别测量和记录试验获得的各类数据,并取3次试验的平均值计算出1~8个区段在不同脱粒转速下的喂入质量、籽粒质量、杂余质量、果荚质量、茎秆质量和茎秆长度(表1)。

表1 脱粒试验测量值

Table 1 Threshing test measured value

区段 Section	转速/(r/min) Rev speed	喂入质量/g Feeding weight	籽粒质量/g Rapeseed weight	杂余质量/g Varia weight	果荚质量/g Hull weight	茎秆质量/g Straw weight	茎秆长度/mm Straw length
1	600	6 100.0	151.8	18.7	115.4	14.2	88.3
	650	6 170.0	221.5	25.6	121.3	18.8	106.4
	700	6 200.0	238.0	29.0	124.1	19.3	91.1
	750	5 700.0	254.0	34.4	114.8	13.6	91.0
	800	6 230.0	152.4	22.3	97.5	13.8	95.4
2	600	6 100.0	165.5	34.5	233.5	28.0	92.3
	650	6 170.0	214.7	74.2	246.8	34.6	101.4
	700	6 200.0	254.4	50.0	255.7	38.6	99.0
	750	5 700.0	265.3	207.3	231.2	23.9	80.2
	800	6 230.0	197.1	214.7	203.6	29.4	93.9
3	600	6 100.0	100.4	28.1	253.9	32.3	92.3
	650	6 170.0	136.6	34.5	293.9	42.5	87.7
	700	6 200.0	166.3	42.5	291.3	47.1	99.1
	750	5 700.0	160.5	41.9	225.8	28.0	83.7
	800	6 230.0	134.5	38.7	252.1	50.1	89.0
4	600	6 100.0	50.7	20.1	178.6	32.3	93.6
	650	6 170.0	74.1	20.3	211.0	41.8	89.2
	700	6 200.0	84.4	23.9	202.3	42.6	90.5
	750	5 700.0	80.1	28.8	149.8	26.8	80.8
	800	6 230.0	72.9	26.6	191.6	36.4	89.5
5	600	6 100.0	26.0	14.3	158.2	46.3	93.1
	650	6 170.0	40.7	17.5	172.1	52.0	89.8
	700	6 200.0	44.4	17.3	182.0	53.0	88.1
	750	5 700.0	39.9	20.0	141.6	38.5	72.8
	800	6 230.0	41.7	19.4	159.9	45.4	84.5
6	600	6 100.0	12.0	12.0	162.2	59.3	86.2
	650	6 170.0	20.1	13.2	160.0	60.0	84.0
	700	6 200.0	20.6	21.5	173.5	66.3	86.1
	750	5 700.0	22.4	18.0	150.2	45.5	76.9
	800	6 230.0	21.3	13.3	169.9	84.1	78.1
7	600	6 100.0	6.5	13.2	201.7	67.2	83.8
	650	6 170.0	11.3	14.3	214.9	74.0	79.7
	700	6 200.0	10.7	14.3	229.2	75.0	82.9
	750	5 700.0	11.4	19.0	210.1	60.3	74.7
	800	6 230.0	10.7	15.4	255.5	62.4	71.2
8	600	6 100.0	3.2	12.3	150.5	56.6	84.5
	650	6 170.0	4.8	10.8	185.4	60.0	80.1
	700	6 200.0	5.7	18.1	196.0	59.5	69.8
	750	5 700.0	5.4	18.2	200.5	48.9	72.7
800	6 230.0	6.1	16.4	216.5	48.7	69.8	

### 2.2 籽粒脱出特征

取脱出籽粒质量与喂入质量的千分比进行对比分析,得到脱出籽粒质量沿滚筒轴线(区段)的变化特征(图 2)和筛下脱出籽粒总质量随脱粒滚筒转速变化的特征(图 3),将各区段的籽粒脱出质量从第 1 区段开始依次累加,得到籽粒累积脱出质量沿脱粒滚筒轴线的变化特征(图 4)。

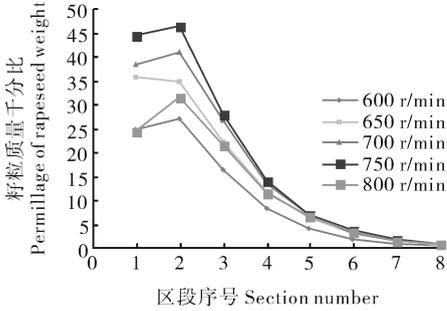


图 2 脱出籽粒质量沿滚筒轴线的变化

Fig. 2 Change of rapeseed weight along the axial direction

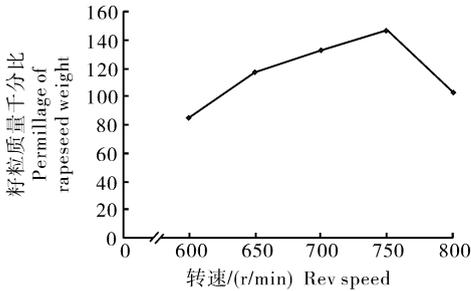


图 3 脱出籽粒总质量与转速的关系

Fig. 3 Relation between total weight of rapeseed prolapsed and revolving speed

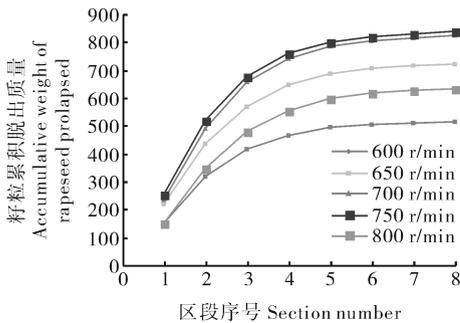


图 4 籽粒累积脱出质量沿滚筒轴线的变化

Fig. 4 Accumulative weight of rapeseed prolapsed along the axial direction

由图 2 可知,不同转速下脱出籽粒质量沿脱粒滚筒轴线的变化规律基本一致。籽粒的脱出主要集中在第 1、2 两个区段,其中在第 2 区段脱出籽粒最多,随后各区段脱出籽粒逐渐减少。说明对于完熟期油菜而言,其脱粒较为容易,同时,轴向喂入头在将油菜喂入脱粒滚筒的过程中,也起到了一定的脱粒作用。

由图 3 可知,随着脱粒滚筒转速的增大,脱出籽粒逐渐增多,当转速为 750 r/min 时达到最大值,继续增大转速到 800 r/min 时,脱出籽粒反而降低。由图 4 可知,在相同脱粒滚筒转速下,籽粒累积分离率沿滚筒轴向呈逐渐上升趋势,且变化幅度在第 6 区段后趋于平缓;不同转速下籽粒沿轴向累积分离率有差异,转速为 750 r/min 时籽粒脱分效果较好,表明此时脱分能力较强;不同转速下,在前 6 个区段接料箱里,籽粒累积分离率均在 97.3% 以上,表明籽粒脱分已基本完成,分离出来的籽粒主要集中在复脱滚筒的前 3/4 段。

### 2.3 果荚脱出特征

取筛下果荚质量与喂入质量的千分比进行对比分析,得到筛下果荚质量沿滚筒轴线(区段)的变化特征(图 5)和筛下果荚质量随脱粒滚筒转速变化的特征(图 6)。

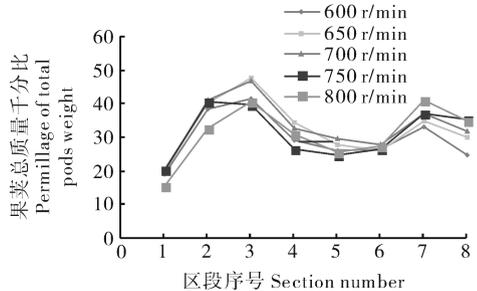


图 5 脱出果荚质量沿滚筒轴线的变化

Fig. 5 Change of pod weights along the axial direction

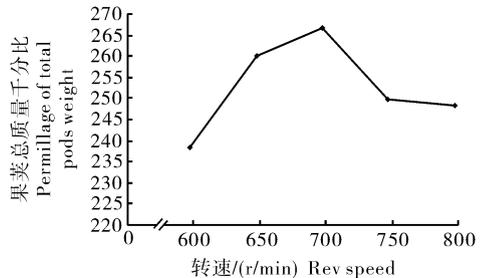


图 6 果荚总质量与转速的关系

Fig. 6 Relation between total weight of pods and revolving speed

由图 5 可知,脱出果荚壳质量在靠近入口的第 2、3 区段和靠近出口的第 7 区段较大,在第 3 区段最大,在第 1 区段最小。由图 6 可知,在试验区间内,筛下的果荚质量随滚筒转速增加而增大,转速为 700 r/min 时最大,之后随滚筒转速增加而减少。

### 2.4 杂余脱出特征

取筛下杂余物质量与喂入质量的千分比进行对比分析,得到筛下杂余物质量沿滚筒轴线(区段)的变化特征(图 7)和杂余物总质量随脱粒滚筒转速变化的特征(图 8)。

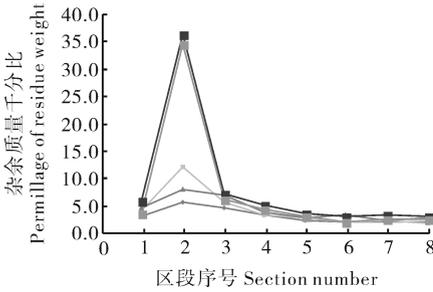


图 7 杂余物质量沿滚筒轴线的变化

Fig. 7 Change of residue weights along the axial direction

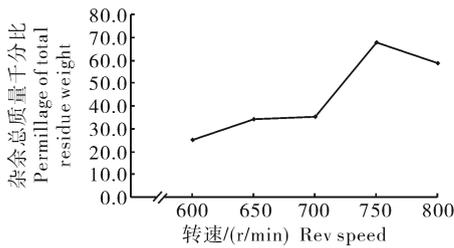


图 8 杂余物总质量与转速的关系

Fig. 8 Relation between total weight of residues and revolving speed

由图 7 可知,脱出杂余物质量沿滚筒轴线呈现出前多后少的趋势,不同转速下都是在第 2 区段脱出的杂余物最多,这种现象在转速为 750 r/min 和 800 r/min 时体现尤为突出。由图 8 可知,筛下脱出杂余物的总质量随滚筒转速的增加而增加,当转速达到 750 r/min 时筛下杂余物脱出质量达到最大,当转速增加到 800 r/min 时,筛下杂余物脱出质量有所减少。

### 2.5 茎秆脱出特征

取筛下茎秆质量与喂入质量的千分比进行对比分析,得到筛下茎秆质量沿滚筒轴线(区段)的变化特征(图 9)和茎秆总质量随脱粒滚筒转速变化的特征(图 10)。

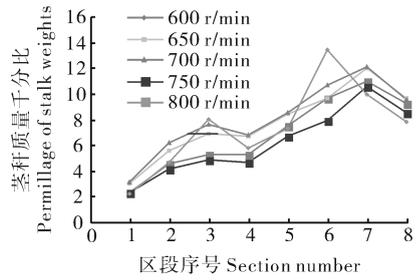


图 9 筛下茎秆质量沿滚筒轴线的变化  
Fig. 9 Change of stalk weights along the axial direction

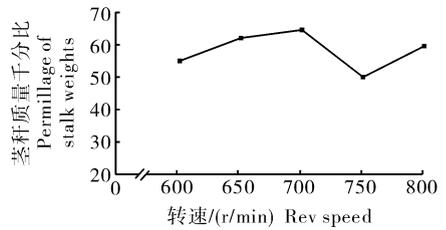


图 10 茎秆总质量与转速的关系

Fig. 10 Relation between total weight of stalks and revolving speed

由图 9 可知,筛下茎秆质量沿着滚筒轴线方向逐渐增大,但是到第 8 区段时出现减少,该区段的筛下茎秆质量小于第 7 区段的筛下茎秆质量。由图 10 可知,在滚筒转速为 750 r/min 时,筛下茎秆的总质量最小。

### 2.6 脱出茎秆长度特征

脱粒后分别取出接料盒各个区段的筛下物,测量并计算筛下物中 5 根最长茎秆的长度之和,分析茎秆长度沿滚筒轴线(区段)的变化特征(图 11)和茎秆长度随滚筒转速变化的特征(图 12)。

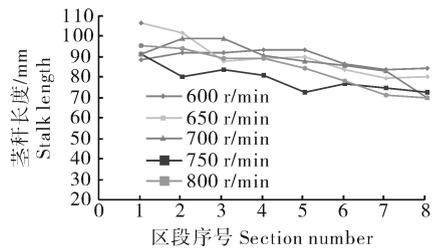


图 11 筛下茎秆长度沿滚筒轴线的变化

Fig. 11 Change of stalk lengths along the axial direction

由图 11 可知,不论脱粒滚筒的转速如何,筛下茎秆的长度都呈现出沿着滚筒轴向逐渐减小的规律,这主要是由于滚筒对茎秆的粉碎作用所致。

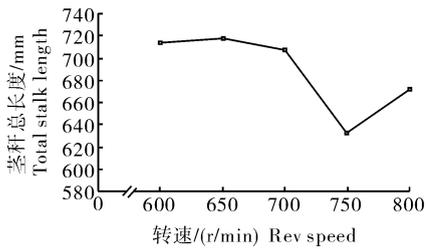


图 12 筛下茎秆长度与转速的关系

Fig. 12 Relation between stalk lengths and revolving speed

由图 12 可知,随着滚筒转速的增大,筛下茎秆的长度总体上呈现出减小的趋势,但是在转速为 750 r/min 时,筛下茎秆长度最小,比转速为 800 r/min 时小。结合高速摄影的观察结果可知,当滚筒转速过高时,由于物料轴向移动的速度较快,脱粒钉齿对于物料的击打作用减弱。试验结果表明,滚筒转速为 750 r/min 时,对茎秆的破碎作用最强。

### 3 讨论

试验结果表明,筛下脱出物各成分沿滚筒轴线呈现出小尺寸脱出物前多后少、大尺寸脱出物前少后多的分布规律。籽粒、杂余等几何尺寸较小的脱出物在滚筒前端脱出质量较大、后端脱出质量较少,几何尺寸较大的茎秆则在滚筒前端的脱出质量较小、后端脱出质量较大。在设计脱粒滚筒的轴向尺寸时可以适当调小,以减少清选系统负荷和整机的结构尺寸。

试验结果还表明,当滚筒转速逐渐升高时,荚壳和茎秆的脱出比例有所降低,而杂余和籽粒的比例有所增加。滚筒转速为 800 r/min 时,杂余和籽粒脱出质量反而降低。其原因在于,一方面转速提高使得钉齿的打击与揉搓作用增强,轻杂物和籽粒比例增加,在滚筒中的运动线速度增大,在离心力作用下,加速了与荚壳、茎秆的分离,另一方面转速升高使得轴向输送能力提高,不利于筛上物各组分的充分分离。

试验结果还表明,不同转速时筛下物各组分的脱出质量有差异,滚筒转速为 750 r/min 时,籽粒脱出质量最大、茎秆和果荚的脱出质量较小、杂余脱出质量较大。在脱粒时可选择脱粒滚筒转速为 750 r/min,利用筛分和风选组合的方式进行脱出籽粒的清选作业,采用筛分机构将茎秆分离,并用风选装置将杂余分离。

### 参 考 文 献

- [1] 衣淑娟,张彦河,张丽. 板齿—栅格凹板单轴流脱粒分离装置的性能试验[J]. 农机化研究, 2011, 33(2): 120-123, 130.
- [2] 石磊,吴崇友,梁苏宁,等. 油菜捡拾脱粒机脱粒清选装置设计参数试验研究[J]. 中国农机化, 2010(6): 45-47, 64.
- [3] 幸福志,郑瑞军,席永忠,等. 油菜收割机脱粒分离装置的试验研究[J]. 农机化研究, 2009, 31(6): 129-131.
- [4] 徐立章,李耀明,李洪昌,等. 纵轴流脱粒分离—清选试验台设计[J]. 农业机械学报, 2009, 40(12): 76-79, 134.
- [5] 李耀明,贾毕清,徐立章,等. 纵轴流联合收割机切流脱粒分离装置的研制与试验[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 93-96.
- [6] 李耀明,李洪昌,徐立章,等. 短纹杆—板齿轴流脱粒分离装置性能试验[J]. 农业机械学报, 2009, 40(7): 88-92.
- [7] 王显仁,李耀明,徐立章. 水稻脱粒破碎率与脱粒元件速度关系研究[J]. 农业工程学报, 2007(8): 16-19.
- [8] 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.
- [9] 李耀明,周金芝,徐立章,等. 油菜联合收获机脱粒分离装置的试验[J]. 江苏大学学报:自然科学版, 2005, 26(4): 281-284.
- [10] 张彦河,衣淑娟. 水稻不同脱粒装置脱粒性能的对比如试验研究[J]. 农机化研究, 2011(3): 146-150.
- [11] 谢方平,罗锡文,卢向阳,等. 柔性杆齿滚筒脱粒机理[J]. 农业工程学报, 2009, 25(8): 110-114.
- [12] 李耀明,李洪昌,徐立章. 短纹杆—板齿与钉齿脱粒滚筒的脱粒对比试验研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 139-142.
- [13] 李耀明,徐立章,杨秀景,等. 油菜轴流脱粒滚筒性能对比试验[J]. 农业机械学报, 2007, 38(8): 86-89.
- [14] 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, 42(6): 154-156.
- [15] 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): 67-88.
- [16] 衣淑娟,陶桂香,毛欣. 组合式轴流脱分装置动力学仿真[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 94-97.
- [17] 衣淑娟,蒋恩臣. 轴流脱粒与分离装置脱粒过程的高速摄像分析[J]. 农业机械学报, 2008, 39(5): 52-55.
- [18] 衣淑娟,汪春,毛欣,等. 轴流滚筒脱粒后自由籽粒空间运动规律的观察与分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 136-139.
- [19] 徐立章,李耀明,丁林峰. 水稻谷粒与脱粒元件碰撞过程的接触力分析[J]. 农业工程学报, 2008, 2(6): 146-149.
- [20] 李渤海,张义峰,张贵宏. 螺旋叶片带板齿式轴流脱粒与分离装置试验台功耗的试验研究[J]. 农机化研究, 2006(12): 165-166, 170.
- [21] 谭小力,张洁夫,杨莉,等. 油菜角果裂角力的定量测定[J]. 农业工程学报, 2006, 22(11): 40-43.
- [22] 万林,衣淑娟. 纵置单轴流钉齿滚筒功耗性能的试验研究[J]. 农机化研究, 2005(9): 108-109.
- [23] 万霖,衣淑娟,马永财. 纵置单轴流滚筒脱粒与分离装置功耗性能试验研究[J]. 黑龙江八一农垦大学学报, 2005, 17(2): 56-58.

- [24] BRUCE L D M, HOBSON L R N, MORGAN C L, et al. Threshability of shatter-resistant seed pods in oilseed rape [J]. *Agric Engng Res*, 2001, 80(4): 343-350.
- [25] 张认成, 桑正中. 轴流脱粒滚筒功耗模型的研究[J]. *农业工程学报*, 1999, 15(4): 121-125.
- [26] 王显仁, 李耀明. 脱粒原理与脱粒过程的研究现状与趋势[J]. *农机化研究*, 2010, 32(1): 218-221.
- [27] TADO C J, WACKER M, KUTZBACH H D, et al. Development of stripper harvesters: a review [J]. *Agric Engng Res*, 1998, 71: 103-112.

## Threshing characteristic and analysis of full ripeness period rape

ZONG Wang-yuan HUANG Peng LI Hai-tong CHEN Li LIAO Qing-xi

*College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China*

**Abstract** The end feeding axial threshing roller was used to conduct the threshing test of rape in full-ripe stage, the distribution characteristics of the threshed rapeseeds, pod shells, residues, stalks along the axial direction were analyzed, taking into consideration of their weights and the lengths of stalks. A single factor experiment was conducted by using the roller's speed as a factor to analyze the effect of the rolling speed on the quantity of the threshed objects. The results showed that all the threshed ingredients distribute regularly along the axial direction; there are more small-sized ingredients in the front while more large-sized ingredients in the back and the weight of the threshed rapeseeds reaches the highest when the rotating speed was 750 r/min. This research may provide reference for the selection of rape threshing roller and for the structure design of the separation device.

**Key words** rape; harvest machinery; threshing characteristics

(责任编辑:陈红叶)