

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.025

油菜联合收获机脱出物空气动力学特性测定*

陈立 廖庆喜 宗望远 廖宜涛 李海同 黄鹏

(华中农业大学工学院, 武汉 430070)

【摘要】油菜收获脱粒装置脱出物包含油菜籽粒、茎秆、荚壳和轻杂物4种成分,采用PS-20型物料悬浮速度试验台对脱出物悬浮速度进行了测定。结果显示籽粒悬浮速度随粒径呈线性关系,茎秆悬浮速度随直径呈二次多项式关系。茎秆长度(<100 mm)对其悬浮速度影响不显著;籽粒和茎秆悬浮速度较为接近,在7~10 m/s之间,远大于荚壳和轻杂物悬浮速度(1~3 m/s)。籽粒和荚壳悬浮速度与含水率呈线性增长关系,而茎秆和轻杂物悬浮速度与含水率呈指数增长关系。研究表明,清选时根据不同脱出物悬浮速度差异,采用气流清选可有效分离出悬浮速度较小的荚壳和轻杂物,气流清选流速以4~6 m/s为宜。

关键词:油菜 联合收获机 脱出物 悬浮速度 清选

中图分类号:S225.99 文献标识码:A 文章编号:1000-1298(2012)S0-0125-06

Aerodynamic Characteristics Measurement of Extraction Components for Rape Combine Harvester

Chen Li Liao Qingxi Zong Wangyuan Liao Yitao Li Haitong Huang Peng

(College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract

Extraction components of threshing unit for rape combine harvester are complicated, including rapeseed, stems, pod shells and light debris. To study the aerodynamic characteristics of rape extraction components, test suspension velocities of these components were conducted in type PS-20 measuring test-bed respectively. The results showed that the linear relationship between suspension velocity of rapeseed and particle size was exposed. The quadratic polynomial relationship between the suspension velocity of stem and diameter was exposed. The stem length (<100 mm) revealed there was no significant effect on the suspension velocity. Suspension velocities of rapeseed and stems were observed to be closer (7~10 m/s), higher than suspension velocities of pod shells and light debris (1~3 m/s). Meanwhile, suspension velocities of rapeseed and pod shells both was exposed a linear increase relationship with the moisture content, while suspension velocities of stems and light debris both was exposed an exponential increase relationship with the moisture content. It's concluded that the difference of their suspension velocities could be applied for cleaning the extraction components. The suspension velocities of light debris and pod shells were small in extraction components. The air flow cleaning method was suggested to separated them and the airflow velocity was 4~6 m/s.

Key words Rape, Combine harvester, Extraction components, Suspension velocity, Cleaning

收稿日期:2012-07-16 修回日期:2012-07-26

* 国家油菜产业技术体系专项资助项目(CARS-13)、“十一五”国家科技支撑计划资助项目(2010BAD01B06)、中央高校基本科研业务费资助项目(2011PY021)和华中农业大学自主科技创新基金资助项目(2012SC17)

作者简介:陈立,硕士生,主要从事油菜收获机械研究,E-mail: chenli@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者:廖庆喜,教授,博士生导师,主要从事油菜播种机械与高粗茎秆作物收获机械研究,E-mail: liaoqx@mail.hzau.edu.cn

引言

目前国内外采用的油菜机械化收获工艺主要有两种:分段收获和联合收获^[1]。我国现有的各种油菜联合收获机大多基于稻麦联合收获机或借鉴国外先进技术,设计改装而成。联合收获在油菜成熟度达到 85%~90% 时进行,切割后的完熟油菜植株依次经输送、脱粒等工序,经脱粒分离装置凹板分离出包含籽粒、荚壳、茎秆(主要是中短茎秆和碎茎秆)以及轻杂物 4 种基本成分的油菜脱出物,其空气动力学特性以不同脱出物悬浮速度来衡量^[2~4]。脱出物进入清选室内清选时,通常根据不同脱出物悬浮速度和几何形态特征差异,采用气流清选或风筛式清选实现籽粒和杂余的分离。气流速度、气流方向角等气流清选参数直接影响清选效果,需根据不同脱出物空气动力学特性差异来确定^[5~8]。

农业物料悬浮速度不仅与其形状有关,而且与含水率有关^[9]。本文通过 PS-20 型物料悬浮速度试验台,开展不同几何形态参数、含水率下油菜脱出物各成分的空气动力学特性试验,测算不同脱出物的悬浮速度,得出不同脱出物悬浮速度随外形几何尺寸和含水率的变化规律。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

本试验油菜品种为甘蓝型油菜华油杂 62,取自华中农业大学农业科技试验示范基地。人工收割生长良好的成熟油菜,在室内通风悬挂 20 d,利用割后的后熟作用获得完熟油菜。在纵轴流式脱粒分离装置上,对其进行脱粒。收集经凹板分离出的油菜脱出物,人工筛选得到的籽粒、荚壳和茎秆的组成均十分单一,轻杂物则包含破碎荚壳及其内隔膜、茎秆碎屑、细小海绵体和颖糠等多种组成。将籽粒、茎秆、荚壳和轻杂物 4 种成分作为研究对象。

用 14、12 和 10 目的标准分样筛对籽粒进行筛选分级,得到粒径为 1.2~1.5 mm、1.5~1.8 mm、1.8~2.1 mm 和 2.1~2.4 mm 的 4 组籽粒,依次编号为①~④,用于研究籽粒悬浮速度和粒径的关系。

取 50 mm 长,直径为 2~4、4~6、6~8 和 8~10 mm 的 4 组无节茎秆,依次编号为①~④,用于研究茎秆悬浮速度和直径的关系;短茎秆破碎长度通常要求小于 100 mm,取直径约为 5 mm,长度为 25、50 和 75 mm 的 3 组无节茎秆,依次编号为①~③,用于研究茎秆悬浮速度和长度的关系。

随机选取籽粒、茎秆、荚壳和轻杂物 4 种脱出物,分别放入水中浸泡 60 min,含水率趋近饱和后,

取出晾置,放入干燥箱,干燥箱温度设定为 103℃。以不同干燥时间分 9 次取出部分样品,取样时间间隔 1~4 min,含水率由低到高依次编号为①~⑨,用于不同脱出物悬浮速度和含水率关系的试验研究。

试验中,利用 MB45 型卤素水分测定仪测定从干燥箱中取出的脱出物试样含水率。

1.2 试验原理及方法

实际流体流过物体,或物体在静止流体中运动时,流体与物体间存在相对速度,对物体有作用力。如果将物料置于速度为 v 的垂直向上运动的空气气流中,当物料受垂直向上的气流作用力 P 小于自身重力 G 时,物料将在浮重(重力 G 与气流作用力 P 之差)作用下自由下落;当 P 大于 G 时,则物料将上升;当 P 和 G 相等时,物料处于某水平位置附近呈悬浮摆动状态,此时气流流速称为该物料悬浮速度 v_p 。悬浮速度 v_p 通常用平均值表达,或给出 v_p 范围,是影响物料在气流中运动状态的重要参数之一^[10~12],可以通过悬浮速度试验台测定。

试验采用的 PS-20 型物料悬浮速度试验台结构示意图如图 1 所示,主要由支撑架、上下稳流管、锥形观察管、风机、风速调节装置和风速测量装置等组成。采用 L 型标准毕托管和 FY-2 型双通道风压测试仪,直接读取风道内的风压值。

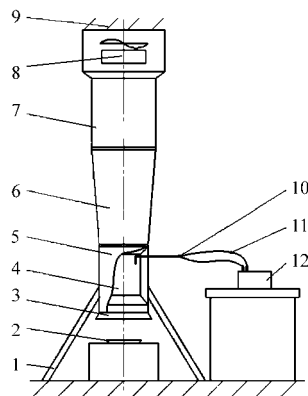


图 1 PS-20 型物料悬浮速度测定试验台结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of type PS-20 measuring test-bed for determining suspension velocities of materials

1. 支撑架 2. 托盘 3. 集流罩 4. 稳流器 5. 下稳流管 6. 锥形观察管 7. 上稳流管 8. 轴流风机 9. 风量调节装置 10. L 型标准毕托管 11. 胶皮管 12. FY-2 型双通道风压测试仪

试验前,测量被测物料的外形几何尺寸和含水率,具体试验步骤参照文献[13]。小端气流流速为

$$v_0 = \sqrt{\frac{2(P_{r1} + P_{r2} + P_{r3})}{3\gamma}} \quad (1)$$

求出物料上下浮动位置 L 处气流流速 v_p ,即为该物料的悬浮速度

$$v_p = \left(\frac{D_0}{D_0 + 2L\sin\theta} \right)^2 v_0 \tag{2}$$

式中 v_0 ——小端气流流速, m/s
 P_{r1} 、 P_{r2} 、 P_{r3} ——半径为 r_1 、 r_2 、 r_3 等 3 个测点处动压, Pa
 γ ——空气密度, 在一个标准大气压、温度为 20℃ 条件下, γ 约为 1.2 kg/m³
 D_0 ——小端直径, m
 θ ——锥形观察管锥角, $\theta = 2.7^\circ$

农业物料形状一般都不规则, 球形物料只有一种外形几何尺寸, 在观察管内上下摆动幅度很小, 可准确测算出悬浮速度; 而非球形物料有 2 种或 3 种外形几何尺寸, 此类物料在气流中上下摆动同时旋转, 不能得到准确的悬浮位置, 此时可根据物料相对集中的上、下浮动位置 L 值, 较为准确测算出悬浮速度^[14]。

2 试验结果

2.1 籽粒悬浮速度与粒径的关系

饱满油菜籽粒球形度较好, 可看作球状。不同粒径范围籽粒含水率、千粒质量、容积密度及密度如表 1 所示。试验油菜籽粒含水率在 9.06% ~ 9.83% 之间, 接近完熟油菜籽粒的含水率。油菜籽粒径越大, 千粒质量越大, 容积密度越小。

表 1 不同粒径范围油菜籽粒的物理特性
Tab.1 Physical characteristics of rapeseed with different particle sizes

组别	粒径 范围/mm	含水 率/%	千粒 质量/g	容积密度 /g·cm ⁻³	密度 /g·cm ⁻³
①	1.2 ~ 1.5	9.12	3.267	0.755	1.083
②	1.5 ~ 1.8	9.83	3.865	0.719	1.021
③	1.8 ~ 2.1	9.59	4.971	0.704	0.989
④	2.1 ~ 2.4	9.06	6.459	0.698	0.962

从每组籽粒中随机取 5 份试样, 每份试样质量为 1 g, 测算 5 次悬浮速度, 试验数据如表 2 所示。各组标准差依次为 0.077、0.064、0.074 和 0.112, 标准差都较小说明试验数据比较精确。变异系数依次为 0.011、0.008、0.009 和 0.012, 变异系数都较小说明试验数据比较集中, 取均值为籽粒悬浮速度。通过方差分析可知^[15], 籽粒含水率接近时, 粒径对籽粒悬浮速度有极显著影响($p < 0.01$)。

当物料为直径 d_s 的球体时, 理论计算得到的悬浮速度 v_{p1} 为

$$v_{p1} = 1.152 \sqrt{\frac{gd_s(\rho_s - \gamma)}{C\gamma}} \tag{3}$$

式中 ρ_s ——球形物料密度, kg/m³
 C ——阻力系数, 由于雷诺数处于牛顿阻力区段, 阻力系数 C 为常数 0.44
 g ——重力加速度, 取 9.8 m/s²

表 2 不同粒径范围油菜籽粒悬浮速度
Tab.2 Suspension velocities of rapeseed with different particle sizes

组别	试样					均值
	1	2	3	4	5	
①	6.891	6.864	6.837	6.759	6.706	6.811
②	7.577	7.705	7.571	7.696	7.658	7.641
③	8.466	8.460	8.367	8.392	8.286	8.394
④	8.897	9.023	9.184	9.083	9.142	9.066

不同粒径范围籽粒含水率接近时, 密度也十分接近, 在 0.962 ~ 1.083 g/cm³ 之间, 而粒径相差较为明显。由式(3)可知, 油菜籽粒悬浮速度主要取决于籽粒粒径, 这是由于粒径越大, 单粒质量越大, 浮重也越大, 故悬浮速度增大。实际上, 籽粒在气流中会产生旋转运动, 结果会使其悬浮速度降低, 且迎风面发生改变, 但可视为球形的油菜籽粒迎风面积并未改变, 试验中籽粒在观察管内上下摆动幅度很小。实际测算得到的籽粒悬浮速度随粒径呈线性关系: $v_{p1} = 2.506d_s + 3.467$ (决定系数 $R^2 = 0.9978$), 悬浮速度随粒径增加而增大。

2.2 茎秆悬浮速度与直径和长度的关系

在纵轴流式脱粒分离装置脱粒元件的打击、揉搓等作用下, 茎秆迅速被打断或粉碎, 部分短茎秆经凹板分离, 其余茎秆经排草口排出。打断后的无节茎秆与圆柱体相仿, 可看作圆柱体, 因此可分别研究茎秆悬浮速度与直径和长度的关系。

2.2.1 直径对茎秆悬浮速度的影响

从每组茎秆中随机取 5 份试样, 每份试样质量为 10 g, 含水率在 53% ~ 55% 之间, 接近完熟油菜茎秆的含水率, 测算 5 次悬浮速度, 试验数据如表 3 所示。各组标准差依次为 0.141、0.458、0.36 和 0.09, 变异系数依次为 0.019、0.058、0.042 和 0.009, 取均值为茎秆悬浮速度。通过方差分析可知, 茎秆直径对其悬浮速度有极显著影响($p < 0.01$)。

短茎秆的空气动力学特性是气流清选的理论基础。在空气气流中, 不考虑升力, 无节茎秆在气流中的方位趋于水平, 可认为茎秆和气流之间相对速度方向与茎秆法向的夹角为 0°, 茎秆在气流中所受重力 G 和气流作用力 P 分别为

$$G = \frac{1}{4}(\rho - \gamma)gl\pi d^2 \tag{4}$$

$$P=\frac{1}{2}C_1dl\gamma v^2\tag{5}$$

式中 C_1 ——阻力系数,为常数 1. 194
 d ——茎秆直径,m l ——茎秆长度,m
 v ——空气气流流速,m/s

表 3 不同直径范围茎秆悬浮速度
Tab.3 Suspension velocities of stems with different diameters

组别	试样					均值
	1	2	3	4	5	
①	7. 527	7. 38	7. 634	7. 760	7. 538	7. 568
②	7. 587	7. 779	8. 043	7. 568	8. 674	7. 930
③	8. 132	9. 009	8. 879	8. 413	8. 449	8. 577
④	10. 534	10. 387	10. 465	10. 612	10. 425	10. 485

当茎秆所受气流作用力 P 等于重力 G 时,空气气流流速即为茎秆悬浮速度 v_{p2} ,可推导得到茎秆的理论悬浮速度

$$v_{p2}=1.253\sqrt{\frac{gd(\rho-\gamma)}{C_1\gamma}}\tag{6}$$

不同直径范围茎秆含水率接近时,密度也十分接近,而茎秆直径相差较为明显。由式(6)可知,茎秆悬浮速度大小主要取决于茎秆直径。实际上,茎秆在气流中同样会产生旋转运动,迎风面随之会发生改变,结果使其悬浮速度降低。试验中,茎秆在气流中上下摆动同时旋转,迎风面改变,不能得到准确的悬浮位置,此时可根据物料相对集中的上下浮动位置 L 值,较为准确测算出悬浮速度 v_{p2} 。实际测算得到的茎秆悬浮速度随茎秆直径呈二次多项式关系: $v_{p2}=0.097d^2-0.69d+8.816$ (相关系数 $R^2=0.9906$),悬浮速度随茎秆直径增加而升高。

2. 2. 2 长度对茎秆悬浮速度的影响

从每组茎秆中分别取 5 份试样,每份试样质量为 10 g,含水率在 50%~52%之间,接近完熟油菜茎秆的含水率,测算 5 次悬浮速度,试验数据如表 4 所示。各组标准差依次为 0.083、0.127 和 0.05,变异系数依次为 0.009、0.014 和 0.006,取均值为茎秆悬浮速度。通过方差分析可知,茎秆直径和含水率接

表 4 不同长度茎秆悬浮速度

组别	试样					均值
	1	2	3	4	5	
①	8. 562	8. 521	8. 402	8. 622	8. 529	8. 527
②	8. 778	8. 704	8. 536	8. 477	8. 588	8. 616
③	8. 744	8. 689	8. 655	8. 630	8. 628	8. 669

近时,长度对茎秆悬浮速度没有显著影响($p>0.05$),方差分析如表 5 所示。由式(6)可知,茎秆悬浮速度主要取决于茎秆直径,与长度关系不大。

表 5 单因素方差分析结果
Tab.5 Results of one-way ANOVA

差异源	平方和	自由度	均方	比值 F	$F_{0.01}(3,16)$	显著性
长度	0. 052	2	0. 026	3. 227	3. 89	不显著
误差	0. 096	12	0. 008			
总和	0. 148	14				

2. 3 不同脱出物悬浮速度与含水率的关系

2. 3. 1 含水率对不同脱出物悬浮速度的影响

从不同脱出物每组物料中随机取 5 份试样,每份籽粒质量 2 g、茎秆 10 g、荚壳 5 g 和轻杂物 1 g,进行 5 次悬浮速度试验,取均值为不同脱出物悬浮速度。

黄熟期油菜含水率较高,茎秆含水率甚至高达 70%^[16];完熟期油菜含水率则相对较低,联合收获作业通常在油菜完熟时进行。试验中籽粒含水率范围为 3.24%~29.08%、茎秆 28.01%~67.42%、荚壳为 9.69%~61.59% 和轻杂物 5.89%~49.51%。不同含水率条件下油菜脱出物中各成分的悬浮速度如表 6 所示。

从表 6 中可以看到,不同脱出物悬浮速度均随含水率增加而增大。当油菜脱出物各成分含水率相对较低(接近完熟期)时,籽粒的悬浮速度为 7.400~8.186 m/s、茎秆为 6.347~8.603 m/s、荚壳为 2.48~2.606 m/s 和轻杂物为 1.192~1.837 m/s。籽粒与茎秆悬浮速度十分接近,荚壳悬浮速度略大于轻杂物(均值相差约 1 m/s),荚壳和轻杂物的悬浮速度远小于籽粒和茎秆。当油菜脱出物各成分含水率相对较高(接近黄熟期)时,籽粒悬浮速度为 8.483~9.331 m/s、茎秆为 9.704~11.157 m/s、荚壳为 2.824~3.119 m/s 和轻杂物为 2.261~3.21 m/s,茎秆悬浮速度大于籽粒(均值相差 1~2 m/s),荚壳悬浮速度与轻杂物十分接近,荚壳和轻杂物的悬浮速度同样远小于籽粒和茎秆。

2. 3. 2 不同脱出物悬浮速度与含水率变化关系

图 2 是不同脱出物悬浮速度与含水率拟合曲线,各成分悬浮速度均随含水率增加而升高增大。这是由于浮重随含水率增加而相应增加,悬浮速度也相应升高。籽粒和茎秆悬浮速度随含水率增加而升高幅度较大,荚壳和轻杂物悬浮速度随含水率增加而升高幅度较小。不同脱出物悬浮速度与含水率拟合方程如表 7 所示,表中, x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别表示

表 6 油菜脱出物各成分悬浮速度测定计算结果

Tab.6 Results of suspension velocities for rape extraction components

组别	籽粒		茎秆		荚壳		轻杂物	
	含水率/%	悬浮速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	含水率/%	悬浮速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	含水率/%	悬浮速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	含水率/%	悬浮速度/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
①	3.24	7.400	28.01	6.347	9.69	2.480	5.89	1.192
②	4.79	7.591	36.86	7.684	11.61	2.523	8.96	1.317
③	8.04	7.870	41.52	7.693	14.29	2.584	18.81	1.481
④	10.56	8.186	48.86	8.603	22.05	2.606	23.41	1.837
⑤	14.84	8.370	51.64	8.680	29.35	2.741	29.03	1.915
⑥	16.04	8.483	57.29	9.704	36.09	2.824	33.94	2.261
⑦	20.32	8.652	62.67	10.298	42.23	2.984	38.53	2.624
⑧	24.82	8.914	64.11	10.757	50.49	3.055	41.19	2.747
⑨	29.08	9.331	67.42	11.157	61.59	3.119	49.51	3.210

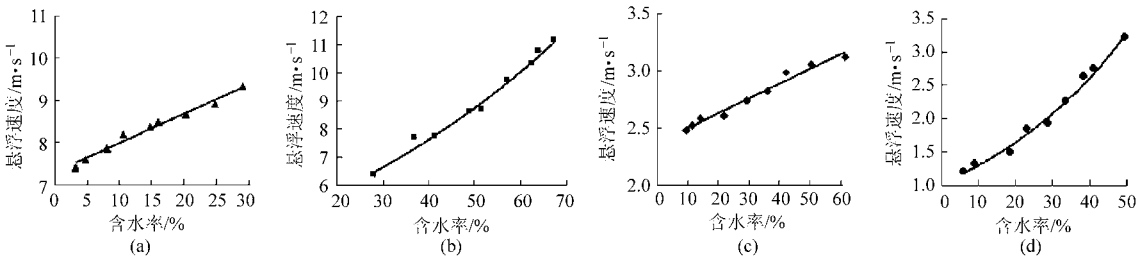


图 2 油菜脱出物中各成分悬浮速度与含水率拟合曲线

Fig.2 Fitting curves between suspension velocities and moisture content for rape extraction components

(a) 籽粒 (b) 茎秆 (c) 荚壳 (d) 轻杂物

表 7 油菜脱出物中各成分悬浮速度与含水率拟合方程

Tab.7 Correlation between suspension velocities and moisture content for rape extraction components

脱出物成分	方程类型	拟合方程	R^2	样本数
籽粒	线性	$y_1 = 0.069x_1 + 7.295$	0.979 9 **	9
茎秆	指数	$y_2 = 4.41e^{0.013 7x_2}$	0.986 7 **	9
荚壳	线性	$y_3 = 0.013x_3 + 2.369$	0.974 8 **	9
轻杂物	指数	$y_4 = 1.03e^{0.023 2x_4}$	0.987 8 **	9

油菜籽粒、茎秆、荚壳和轻杂物的含水率(%)； y_1 、 y_2 、 y_3 、 y_4 分别表示油菜籽粒、茎秆、荚壳和轻杂物的悬浮速度(m/s)；* * 表示通过($p < 0.01$)极显著检验。

由表 7 可知,所有模型均通过极显著检验($p < 0.01$),即各成分的悬浮速度均与含水率显著相关,且随含水率增加而逐渐增大。根据悬浮速度与含水率关系模型,可预测籽粒、茎秆、荚壳和轻杂物在某一含水率下的悬浮速度。

试验过程中,物料与锥形观察管内壁以及物料间局部碰撞和相互摩擦,造成能量损失,导致实测悬浮速度偏高。实际清选作业时,脱出物运动状态与之类似^[17],因此油菜脱出物各成分实测悬浮速度具有参考价值。

悬浮速度与含水率变化关系曲线可较好地反映

出不同脱出物悬浮速度随含水率的变化规律,以及依靠气流进行清选的难易程度。根据轻杂物悬浮速度较小的特性,理论上依靠气流清选比较容易分离出轻杂物,气流流速范围宜为 4 ~ 6 m/s。籽粒与茎秆的悬浮速度较为接近,仅依靠气流清选或改变气流参数难以将茎秆分离出去。

3 结论

(1) 含水率接近时,籽粒粒径对其悬浮速度有极显著影响。茎秆直径对其悬浮速度有极显著影响,茎秆长度(<100 mm)对其悬浮速度影响不显著。

(2) 籽粒和茎秆悬浮速度较为接近,在 7 ~ 10 m/s 之间,二者形态差异较大。荚壳和轻杂物悬浮速度较为接近,在 1 ~ 3 m/s 之间,远小于籽粒和茎秆的悬浮速度。

(3) 清选时根据不同脱出物悬浮速度和几何形态特征差异,采用气流清选可有效分离出荚壳和轻杂物,气流流速以 4 ~ 6 m/s 为宜,同时与筛选配合,可进一步分离出茎秆以及通过气流清选难以分离的荚壳,获得清洁油菜籽粒。

(4) 不同脱出物悬浮速度均随含水率增加而升高,籽粒和荚壳悬浮速度与含水率之间呈极显著线性增长关系,而茎秆和轻杂物悬浮速度与含水率之间呈极显著指数增长关系。

参 考 文 献

- 1 卢晏,吴崇友,金诚谦,等.油菜机械化收获方式的选择[J].农机化研究,2008(11):240~245.
Lu Yan, Wu Chongyou, Jin Chengqian, et al. The choice of rape mechanized harvest methods[J]. Journal of Agricultural Machanization Research, 2008(11): 240~245. (in Chinese)
- 2 李耀明,马征,徐立章.油菜联合收获机粘附物摩擦特性[J].农业机械学报,2010,41(12):54~57.
Li Yaoming, Ma Zheng, Xu Lizhang. Tribological characteristics of adhesive materials on cleaning sieve of rape combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 54~57. (in Chinese)
- 3 陈翠英,王志华,李青林.油菜脱出物在气流中的运动分析[J].农业机械学报,2004,35(5):90~93.
Chen Cuiying, Wang Zhihua, Li Qinglin. Aerodynamic properties of corn germ and grits[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2004, 35(5): 90~93. (in Chinese)
- 4 孙进,李耀明,徐立章.油菜联合收割机清选装置研究动态和技术分析[J].农机化研究,2006(6):62~64.
Sun Jin, Li Yaoming, Xu Lizhang. Technique analysis on the research of cleaning mechanism of rape combined harvester[J]. Journal of Agricultural Machanization Research, 2006(6): 62~64. (in Chinese)
- 5 瞿国慰,张元禄.清选与输送组合装置的研究与应用[J].农业机械学报,1996,27(2):70~74.
Qu Guowei, Zhang Yuanlu. Research and application of assembly unit for cleaning and conveying[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(2): 70~74. (in Chinese)
- 6 李洪昌,李耀明,唐忠,等.基于神经网络的风筛式清选装置研究[J].农业机械学报,2011,42(增刊):65~68.
Li Hongchang, Li Yaoming, Tang Zhong, et al. Air-and-screen cleaning device based on neural network[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(Supp.): 65~68. (in Chinese)
- 7 马征,李耀明,徐立章,等.仿生非光滑筛面近筛层微观气流场研究[J].农业机械学报,2011,42(增刊):74~77.
Ma Zheng, Li Yaoming, Xu Lizhang, et al. Micro flow field on adjacent screen of bionic nonsmooth cleaning screen[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(Supp.): 74~77. (in Chinese)
- 8 陈霓,黄东明,陈德俊,等.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 Ni, Huang Dongming, Chen Dejun, et al. Theory and experiment on non-unifoem air-flow cleaning of air-screen cleaning unit[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009, 40(4): 73~77. (in Chinese)
- 9 周祖饬.农业物料学[M].北京:农业出版社,1994.
- 10 李保谦,王威立,栗文雁,等.物料悬浮速度测试方法研究[J].农机化研究,2009(1):123~125.
Li Baoqian, Wang Weili, Li Wenyan, et al. Research on methods of grain suspension velocity test[J]. Journal of Agricultural Machanization Research, 2009(1): 123~125. (in Chinese)
- 11 Song H, Litchfield J B. Predicting method of terminal velocity for grains[J]. Transactions of the ASAE, 1991, 34(1): 437~444.
- 12 马征,李耀明,徐立章.油菜脱出物漂浮速度及摩擦与浸润特性的测定与分析[J].农业工程学报,2011,27(9):13~17.
Ma Zheng, Li Yaoming, Xu Lizhang. Testing and analysis on rape excursion components characteristics in floating, friction and wettability[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(9): 13~17. (in Chinese)
- 13 邓春香.谷物清选风车运动学和动力学特性研究及参数优化[D].长沙:湖南农业大学,2005.
Deng Chunxiang. Studies on the movement and dynamic characteristic of cereal cleaning windmill and optimized parameters [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2005. (in Chinese)
- 14 张佳,庄卫东,陈彬.农业物料悬浮速度试验台的研制[J].黑龙江八一农垦大学学报,1998,10(3):56~59.
Zhang Jia, Zhuang Weidong, Chen Bin. The development of the test-bed for stuff of agriculture in suspension speed[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 1998, 10(3): 56~59. (in Chinese)
- 15 李云雁,胡传荣.试验设计与数据处理[M].北京:化学工业出版社,2008.
- 16 徐立章,李耀明,马朝兴,等.4LYB1-2.0型油菜联合收获机主要部件的设计[J].农业机械学报,2008,39(8):54~57.
Xu Lizhang, Li Yaoming, Ma Chaoxing, et al. Design of main working parts of 4LYB1-2.0 rape combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(8): 54~57. (in Chinese)
- 17 成芳,杨健明,蔺公振.小型联合收割机风筛式清选装置试验研究[J].农业机械学报,1996,27(4):59~64.
Cheng Fang, Yang Jianming, Lin Gongzhen. Test study on the air-and-screen cleaning mechanism of small tractor-mounted grain combine[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1996, 27(4): 59~64. (in Chinese)