

钉齿式轴流装置脱粒过程高速摄像分析*

姜楠¹ 衣淑娟² 张延河³

(1. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319; 2. 黑龙江八一农垦大学信息技术学院, 大庆 163319;
3. 黑龙江八一农垦大学应用技术学院, 大庆 163319)

【摘要】以自行研制的钉齿式轴流脱粒与分离装置为研究对象,借助高速摄像设备对脱分空间内稻谷的整体运动过程、断穗的运动和脱粒过程以及自由籽粒的运动过程进行了在线拍摄。通过高速摄像图像慢放分析得出:稻谷进入脱分空间后,错综复杂地交织在一起,在旋转钉齿和导向板的共同作用下,稻谷流沿滚筒轴向螺旋向前涌动。脱分空间内断穗的运动轨迹是抛物线,其运动不平稳,速度容易出现波动。单个自由籽粒在无外界干扰时近似作匀速直线运动,运动方向与滚筒轴线方向呈一定夹角。

关键词: 钉齿式轴流装置 脱粒过程 高速摄像

中图分类号: S225.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)S0-0052-05

High-speed Photography Analysis of Threshing Process on Axial Flow Device with Nails Teeth

Jiang Nan¹ Yi Shujuan² Zhang Yanhe³

(1. College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China
2. College of Information Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China
3. College of Applied Technology, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract

Taking a self-developed axial flow threshing and separating device with nails teeth as the research object, the overall process of movement, broken rice spike movement and threshing process as well as the movement process of free kernel were photographed on line in threshing and separating space by using the high-speed photography equipment. Through the slow playing analysis of high-speed video image, it could be concluded that when the rice entered into the threshing and separating space and interweaved together, the valley logistics along the axial spiral surging moved forward under the combined action of the rotary nail teeth and guide plate. The trajectory of broken ear was a parabola and presented to be unstable and fluctuate. Single free kernel without external interference followed approximately a uniform linear motion. Its motion direction formed a certain angle with the drum axis direction.

Key words Axial flow device with nails teeth, Threshing process, High-speed photography

引言

轴流脱粒装置因其性能优越、适应性广、脱粒柔和、分离充分,在实际生产中应用越来越广泛,因此,对轴流脱粒装置进行深入研究显得十分必要^[1~4]。

本文在综合分析国内外水稻轴流收获技术研究现状的基础上,借助高速摄像技术,对自行研制的钉齿式轴流脱粒与分离装置稻谷的整体运动过程、断穗的脱粒过程和自由籽粒的运动过程进行分析与研究。

收稿日期: 2011-08-15 修回日期: 2011-08-29

* 黑龙江省自然科学基金资助项目(E200942)和黑龙江省农垦总局“十一五”重点科技攻关项目(HNKXIV-10-05)

作者简介: 姜楠,讲师,主要从事水稻收获机械化研究,E-mail: jiangnan2074@163.com

通讯作者: 衣淑娟,教授,博士生导师,主要从事水稻收获机械化研究,E-mail: yishujuan_2005@126.com

1 试验装置

试验采用自行研制的钉齿式轴流脱粒与分离装置试验台,结构如图1所示。试验台由输送胶带、强制喂入装置、轴流脱粒分离装置、高速摄像采集系统、接料车、动力台、电源控制柜和计算机数据采集监控系统8大部分组成。为满足高速摄像拍摄时采光要求,各个拍摄口均采用钢化玻璃材料制作。试验前对拍摄角度、拍摄距离、光源位置、摄像机的光圈和焦聚等进行了仔细调整,并进行了大量的试拍摄。为了减少外界因素和人为误差对拍摄质量和拍摄效果的影响,试验在黑龙江八一农垦大学工程学院收获实验室内进行。

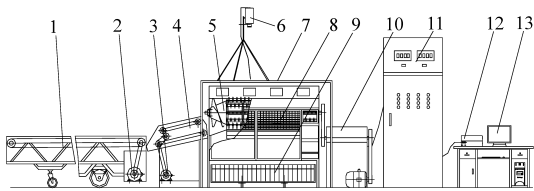


图1 钉齿式轴流脱粒与分离装置试验台结构示意图

Fig.1 Schematic drawing of nails teeth of the axial flow threshing and separating test bed

1. 输送胶带 2. 输送带电动机 3. 强制喂入装置电动机 4. 强制喂入装置
5. 轴流脱粒分离装置 6. 高速摄像采集系统
7. 支撑架 8. 凹板 9. 接料车 10. 动力台 11. 电源控制柜
12. 数据采集监控系统 13. 计算机

脱粒过程的高速摄像采用美国 Vision Research 公司生产的 V5.1 型高速摄像机,分辨率为 1024×1024 ,拍摄频率为 500 帧/s。采用两侧光源(每个光源 1 300 W),拍摄窗口设在脱分装置前部,顶面拍摄,拍摄距离为 1 156 mm。选用深圳光硕电子科技有限公司生产的金士顿 133X 高速 CF 卡,存储容量 32 GB,读取速度 20 MB/s,用于存储在线拍摄的高速摄像数据。选用 CPU 为 P4 2.6 GHz 处理器、内存为 512 MB 的计算机,用于高速摄像图像观察和数据转存。选用上海驭琅量具有限公司生产的卷尺和直尺,用于测量试验中的距离和长度。利用 MIDIAS、Photoshop 7.0 和 Excel 等软件对采集的高速摄像图像数据进行分析、处理和绘图。

2 试验条件与试验材料

试验在滚筒转速 600 r/min、喂入量 0.5 kg/s、钉齿间距 16 cm、导向板导角 45° 、顶距 30 mm、凹板间隙 30 mm、凹板栅格尺寸 16 mm $\times$ 50 mm、凹板包角 180° 的条件下进行。试验用水稻为丰原 2 号,籽粒千粒质量 24.57 g,稻谷含水率 19.82%,谷草比 1:1.18,作物平均长度 750 mm,平均穗长 150 mm。

3 结果与分析

3.1 稻谷整体运动过程分析

通过高速摄像图像慢放可见:稻谷进入脱分空间后,错综复杂地交织在一起,受高速旋转滚筒上钉齿的抓起作用而随之高速旋转,并沿着钉齿向外加速滑动,在导向板的作用和钉齿的推动下,稻谷流沿滚筒轴向螺旋向前涌动。在钉齿的冲击和滚筒与凹板的揉搓作用下,稻穗上的籽粒不断从枝梗上分离,多数脱下的籽粒在重力和离心力的作用下,克服作物薄层的阻力,穿过薄层到达凹板表面。到达凹板表面的籽粒,如果正好落入凹板栅格孔,就直接穿过凹板栅格孔完成分离落入接料车;如果籽粒碰到凹板上的凹板条或横隔板就会被反弹,在谷物流的作用下向排草口方向移动,直至落入凹板栅格孔分离或从排草口抛出为止。

3.2 断穗运动和脱粒过程分析

图2是借助高速摄像机从脱分装置前部拍摄的,含有3个籽粒断穗脱粒过程的高速摄像图片。设定图片的左下角为坐标原点,滚筒切线方向为横坐标轴、滚筒轴线方向为纵坐标轴,图中白色横条和竖条是长度均为 10 cm 的标尺。

通过观察分析该断穗的运动和脱粒过程可知:脱粒前,1号断穗在脱分空间内运动轨迹为抛物线,其并非平移运动而是不断翻转向运动。随着时间的推移,1号断穗呈现减速运动趋势。当与高速旋转的钉齿第1次碰撞后,断穗随即产生翻转,2号籽粒在钉齿打击力的作用下首先与穗头相分离,而含有2个籽粒的1号断穗继续沿滚筒轴向向前运动,但运动方向与碰撞前发生明显改变,当受到钉齿的第2次碰撞后,3号、4号籽粒先后与连接茎秆相分离,断穗的脱粒过程结束。

图3a为断穗上3个籽粒的运动轨迹,由图分析得出:脱粒前2号籽粒运动方向与轴线方向的夹角 $\theta = 45.02^\circ$,第1次碰撞结束后,受钉齿打击作用脱下的2号籽粒运动轨迹发生改变,运动方向与轴线方向的夹角明显增大, $\theta_2 = 65.90^\circ$ 。同时含有2个籽粒的1号断穗产生翻转运动,运动轨迹也与先前发生明显改变,近似于斜直线运动。当受到钉齿的第2次碰撞后,2个籽粒与连接茎秆实现分离。其中,3号籽粒的运动方向与轴线方向的夹角 $\theta_3 = 75.58^\circ$,4号籽粒的运动方向与轴线方向的夹角 $\theta_4 = 76.75^\circ$, θ 角度越大,表明籽粒沿切线方向运动的能力越强。

图3b为2号籽粒的运动速度图,由图可知,在钉齿的打击作用下,2号籽粒脱粒前、后的速度在大

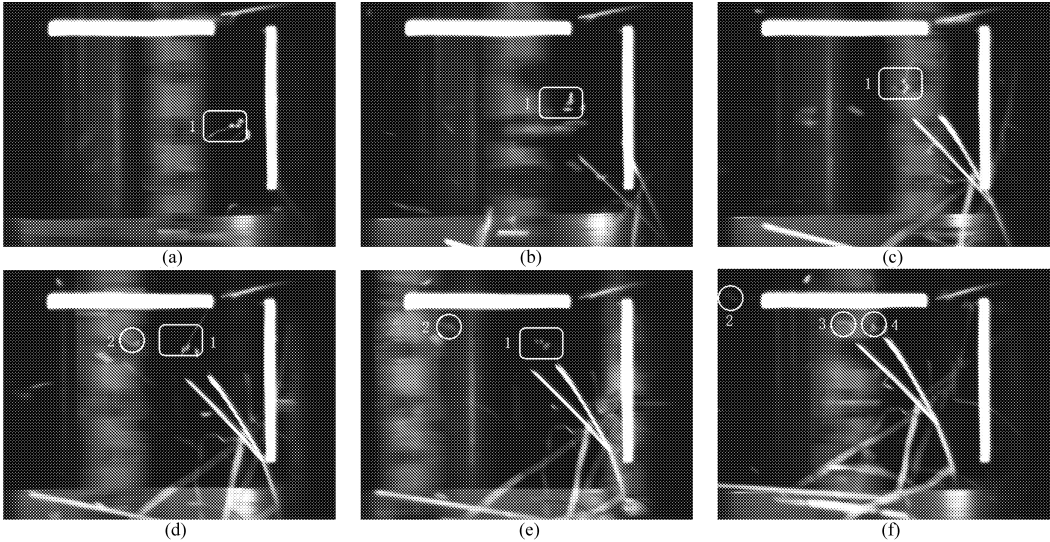


图 2 断穗脱粒过程的高速摄影图片

Fig. 2 High-speed photography pictures of broken ear in process of threshing

小和方向上均有变化,其平均速度由 $\bar{v}_2 = 8.64 \text{ m/s}$ 急剧增加至 $\bar{v}_2' = 41.05 \text{ m/s}$ 。脱粒后, v_2 随着时间的增加有所增大,籽粒呈加速运动趋势,当速度达到约 41.62 m/s 时趋于平稳。此时切向速度 v_t 的绝对值明显大于轴向速度 v_z , v_t 是构成合速度 v_2 的主导因素。

图 3c 为 3 号籽粒的运动速度图,在第 1 次碰撞前 3 号籽粒运动较为平稳,碰撞发生时,由于脱粒部件钉齿的打击力直接作用在 2 号籽粒上,因此在 2 号籽粒的带动下 3 号籽粒的运动速度略有增加,第 1 次碰撞完成后,3 号籽粒在 4 号籽粒和茎秆的连带作用下速度有所减小,在速度图中呈现为凸状隆起。第 2 次碰撞发生时,由于钉齿的作用力直接作用于 3 号籽粒上,其运动速度和运动方向发生明

显变化,平均速度由撞前 $\bar{v}_3' = 6.07 \text{ m/s}$ 迅速增加至 $\bar{v}_3'' = 37.35 \text{ m/s}$ 。碰撞后, v_t 的绝对值随着时间的增加而快速增加,当达到约 38.08 m/s 时趋于平稳, v_z 则随着时间的增加变化较为平缓,因此 v_t 是构成合速度的主导因素。3 号籽粒脱粒后的运动速度低于 2 号籽粒,且脱粒后籽粒的运动平稳性好于脱粒前。

图 3d 为 4 号籽粒的运动速度图,第 1 次碰撞时 4 号籽粒因茎秆的连带作用速度有所减少,碰撞后在 3 号籽粒的带动下,运动速度有所增加,因此在速度图中呈现为凹状。与钉齿发生第 2 次碰撞时,由于脱粒部件钉齿的打击力直接作用在 3 号籽粒上,因此 4 号籽粒的运动速度与撞前相比虽有所增加,但没有 3 号籽粒增加幅度明显。4 号籽粒碰撞前、

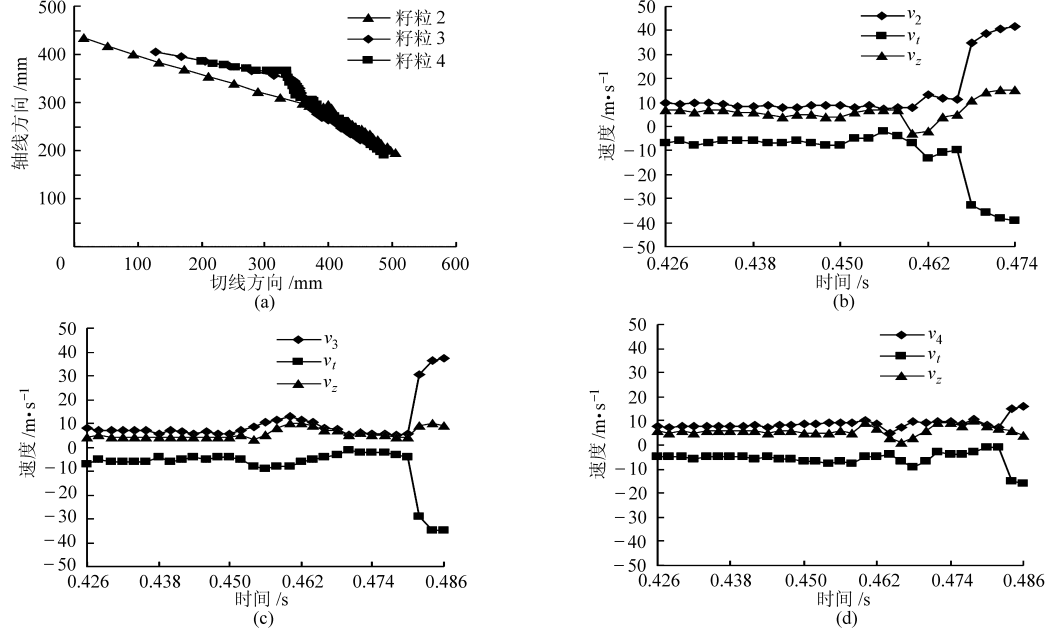


图 3 断穗脱粒前后籽粒的运动轨迹与速度

Fig. 3 Motion trace and velocity of kernels before- and after-threshed from broken ear

后的平均速度由 $\bar{v}_4' = 8.98 \text{ m/s}$ 增至 $\bar{v}_4'' = 16.87 \text{ m/s}$ 。脱粒后 4 号籽粒的运动速度明显小于 2 号和 3 号籽粒,但运动的平稳性好于脱粒前。

3.3 自由籽粒运动过程分析

图 4 是借助高速摄像机从装置前部拍摄 5 个自

由籽粒运动过程的高速摄像图片。通过观察自由籽粒的运动过程可知:自由籽粒在脱分空间内具有相似的运动规律,在无外界干扰时,单个自由籽粒均近似作匀速直线运动,且方向大致相同,都是沿着滚筒轴线方向不断向前运动。

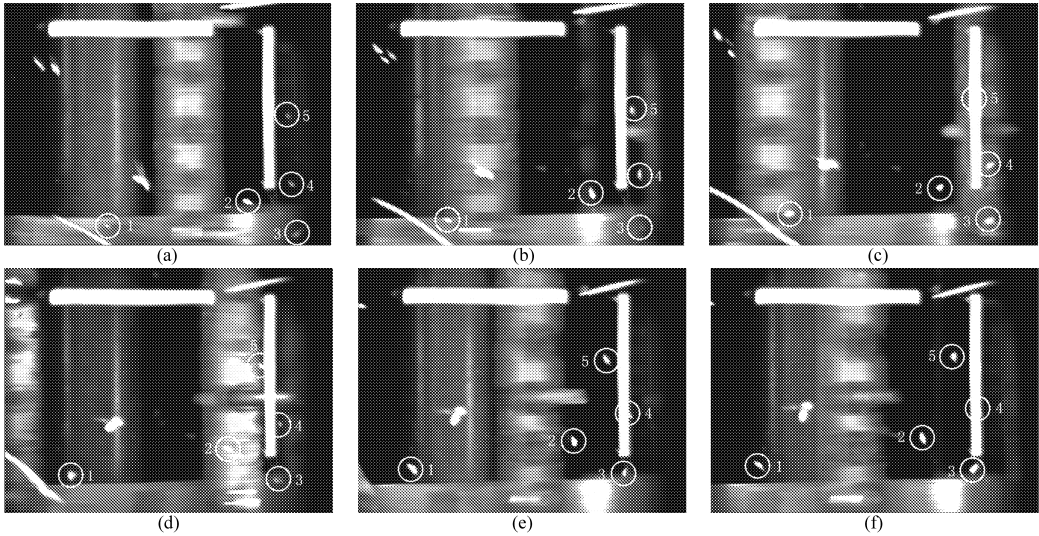


图 4 自由籽粒运动过程的高速摄像图片

Fig. 4 High-speed photography pictures of free grain movement process

自由籽粒的运动轨迹如图 5 所示,1 号自由籽粒的运动方向与轴线方向夹角 θ_1 最大, $\theta_1 = 62.74^\circ$, 4 号自由籽粒运动方向与轴线方向夹角 θ_4 最小, $\theta_4 = 34.82^\circ$ 。夹角越大说明该籽粒沿轴线方向运动的能力越弱,而沿切线方向运动的能力越强。

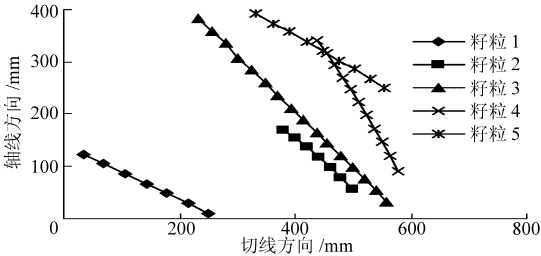


图 5 自由籽粒运动轨迹

Fig. 5 Movement trace of free kernel

2 号自由籽粒运动的轴向分速度 v_z 、切向分速度 v_t 和合成速度 v_2 随时间变化的关系曲线如图 6 所示。由图可知: v_z 与 v_t 在数值大小上较为接近,表明该籽粒沿轴线和切线两个方向运动的能力较为相近, v_z 与 v_t 共同影响合成速度 v_2 。 v_2 近似为水平直线,表明 2 号自由籽粒近似作匀速运动。其运动

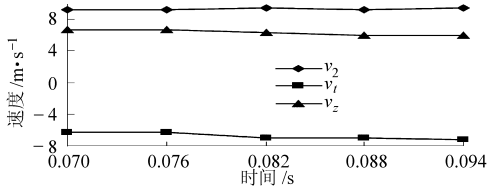


图 6 籽粒 2 的运动速度曲线

Fig. 6 Movement velocity of kernel 2

平均速度为 $\bar{v}_2 = 9.33 \text{ m/s}$, 低于钉齿当地线速度 (18.84 m/s)。

4 结论

(1) 稻谷进入脱分空间后,受高速旋转滚筒上钉齿的抓起作用而随之高速旋转,并沿着钉齿向外加速滑动,在导向板的作用和钉齿的推动下,稻谷流沿滚筒轴向螺旋向前涌动。稻穗上的籽粒在脱粒部件钉齿的冲击、梳刷以及滚筒与凹板的揉搓作用下,从枝梗上分离下来。多数脱下的籽粒在重力和离心力的作用下,克服作物薄层的阻力,穿过薄层到达凹板表面实现分离。

(2) 断穗在脱分空间内的运动轨迹是抛物线,其在运动过程中并非平移运动而是在脱分空间内不断翻转向前运动;断穗的运动不平稳,速度容易出现波动;随着时间的推移,断穗呈减速运动趋势。断穗脱粒后籽粒的运动状态与整穗脱粒后籽粒的运动状态相似。

(3) 在无外界因素干扰的情况下,脱分空间内的自由籽粒均近似作匀速直线运动,运动方向与滚筒轴线方向成一定夹角。多数自由籽粒的轴向分速度与切向分速度接近,表明多数自由籽粒沿轴线方向和切线方向的运动能力基本相同。绝大多数自由籽粒的运动初速度低于脱粒部件当时的线速度。

参 考 文 献

- 1 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 Shujuan. Study on assembled plank-tooth and helical vanes axial flow device theory and experiment[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2007. (in Chinese)
- 2 王岳,马骥. 轴流装置脱粒和茎叶破碎机理的研究[J]. 农业机械学报,1987,18(1):81~90.
Wang Yue, Ma Ji. Research on principle of grain threshing and straw breaking in the axial-flow threshing apparatus[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1987, 18(1): 81~90. (in Chinese)
- 3 万霖,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.
Wan Lin, Yi Shujuan. Experimental study on longitudinal single axial flow threshing and separating unit power consumption performance[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2005(9): 108~109. (in Chinese)
- 4 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.
Li Yaoming, Li Hongchang, Xu Lizhang. Comparative experiments on threshing performance between short-rasp-bar tooth cylinder and spike tooth cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(3): 139~142. (in Chinese)
- 5 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.
Yi Shujuan, Li Min, Meng Chen. Computer data acquisition system of grain threshing and separating installation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(1): 100~103. (in Chinese)
- 6 任文涛,董滨,崔红光,等. 水稻种子与斜面碰撞后运动规律的试验[J]. 农业工程学报,2009,25(7):103~106.
Ren Wentao, Dong Bin, Cui Hongguang, et al. The test of rice seeds after the collision with the movement of slope[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2009, 25(7): 103~106. (in Chinese)
- 7 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):68~71.
Yang Fangfei, Yan Chuliang, Yang Bingnan, et al. Grain motion simulation and test on vertical axial flow combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(12): 68~71. (in Chinese)
- 8 杨方飞,阎楚良. 谷物在纵向轴流滚筒脱粒空间中的运动状态分析[J]. 农业机械学报,2008,39(11):48~50.
Yang Fangfei, Yan Chuliang. Movement analysis of cereal in axial flow threshing roller space[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11): 48~50. (in Chinese)
- 9 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.
Yi Shujuan, Jiang Enchen. High-speed photography analysis on process of threshing of axial flow threshing and separating installation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 52~55. (in Chinese)

(上接第 51 页)

- 3 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.
Li Yaoming, Li Hongchang, Xu Lizhang. Comparative experiments on threshing performance between short-rasp-bar tooth cylinder and spike tooth cylinder[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(3): 139~142. (in Chinese)
- 4 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.
Yi Shujuan, Wang Chun, Mao Xin, et al. Free kernel in threshing and separating space movement observation and analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(5): 136~139. (in Chinese)
- 5 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.
Yi Shujuan, Jiang Enchen. High-speed photography analysis on process of threshing of axial flow threshing and separating installation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(5): 52~55. (in Chinese)
- 6 杨方飞,阎楚良. 谷物在纵向轴流滚筒脱粒空间中的运动状态分析[J]. 农业机械学报,2008,39(11):48~50.
Yang Fangfei, Yan Chuliang. Movement analysis of cereal in axial flow threshing roller space[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(11): 48~50. (in Chinese)