

# 纵轴流联合收割机切流脱粒分离装置的研制与试验

李耀明, 贾毕清<sup>\*</sup>, 徐立章, 乔明光, 赵 湛

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部重点实验室, 镇江 212013)

**摘 要:** 为了分析纵轴流联合收割机切流脱粒分离装置的脱粒分离性能, 在自行研制的纵轴流脱粒分离清选试验台上, 对钉齿和刀形齿切流脱粒分离装置进行了台架试验, 测定了切流脱粒滚筒、强制喂入轮以及纵轴流复脱滚筒的功耗, 分析切流脱粒分离装置的结构和运动参数对籽粒脱粒性能的影响。试验结果表明, 切流脱粒分离装置的籽粒脱净率范围约为 67.19%~82.37%, 功耗约占脱粒总功耗的 20%, 刀形齿式切流脱粒滚筒消耗的功率较少, 采用切流与纵轴流组合式脱粒分离装置的小麦脱净率均能达到 99.90% 以上, 夹带损失率小于 0.25%, 配置刀形齿式切流脱粒滚筒的切流与纵轴流脱粒分离装置的总功耗较少, 强制喂入轮和纵轴流复脱滚筒的功耗分别约占脱粒总功耗的 14% 和 66%, 研究结果对纵轴流联合收割机的研制具有指导意义。

**关键词:** 联合收割机, 分离, 功耗, 脱粒滚筒, 脱净率

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2009.12.016

中图分类号: S225.3

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2009)-12-0093-04

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.

Li Yaoming, Jia Biqing, Xu Lizhang, et al. Development and experiments on tangential flow threshing and separating device of axial flow combine[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 93-96. (in Chinese with English abstract)

## 0 引 言

采用 1 个脱粒滚筒的联合收割机通常是通过调整滚筒转速或凹板间隙, 来提高脱净率<sup>[1-5]</sup>, 但这种调整容易造成成熟度高、饱满易脱的籽粒在反复打击下损伤<sup>[6-10]</sup>。采用双脱粒滚筒脱粒分离装置, 前端切流滚筒在较低转速下工作, 脱粒作用柔和, 可以将易脱的籽粒先脱下来, 以减少籽粒破损率, 并在切流滚筒凹板上得到有效分离, 其余脱出物进入纵轴流滚筒进行复脱, 由于该滚筒转速较高, 脱粒能力较强, 未脱下的籽粒在其中能得到充分的脱粒和分离, 从而减少夹带损失、提高脱净率<sup>[11-15]</sup>, 因此, 这种组合装置可以很好地解决单滚筒收割机作业性能的不足。孟繁昌等人<sup>[16]</sup>对 S75 型切流与纵双轴流组合式联合收割机、传统式带逐稿器联合收割机、非传统式单纵轴流联合收割机进行了收获水稻的田间对比试验, 在对比试验中 S75 型切流与纵双轴流组合式联合收割机采用纹杆滚筒与钉齿滚筒两种不同脱粒分离装置。通过对分离损失情况的分析, 得到收获效果最佳的脱粒分离装置。

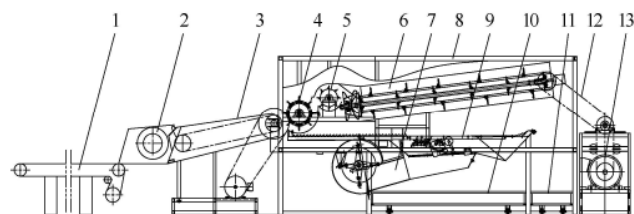
切流滚筒的脱粒分离性能对提高纵轴流联合收割机

整体作业性能有着重要的影响, 本文在江苏大学自行研制的纵轴流脱粒分离清选试验台上, 对钉齿和刀形齿切流脱粒分离装置进行了台架试验, 测定了切流脱粒滚筒、强制喂入轮以及纵轴流复脱滚筒的功耗, 分析切流脱粒分离装置的结构和运动参数对籽粒脱粒性能的影响, 为新型纵轴流联合收割机产品开发提供依据。

## 1 试验装置与方法

### 1.1 试验台架

试验使用的纵轴流脱粒分离清选试验台结构如图 1 所示, 主要配套动力为: 切流脱粒滚筒 30 kW, 强制喂入轮 11 kW, 纵轴流复脱滚筒 90 kW, 切流脱粒滚筒转速范围 0~1 200 r/min, 输送带速度范围 0~2 m/s。



1. 输送带 2. 喂入搅龙 3. 输送槽 4. 切流脱粒分离装置 5. 强制喂入轮  
6. 纵轴流脱粒分离装置 7. 离心风机 8. 机架 9. 清选筛 10. 接粮箱 11. 排草箱 12. 传动系统 13. 动力驱动系统

图 1 纵轴流脱粒分离清选试验台结构示意图

Fig.1 Structural diagram of threshing, separating and cleaning test-bed of axial flow

试验装置有 7 个转速传感器, 3 个扭矩传感器, 分别用来检测输送带速度、喂入搅龙转速、切流脱粒滚筒转速、强制喂入轮转速、纵轴流复脱滚筒转速、风机转速

收稿日期: 2009-07-15 修订日期: 2009-09-25

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目(2006BAD11A03、2006BAD11A06); 江苏大学国家重点实验室培育点开放基金项目(NZ200706)

作者简介: 李耀明(1959—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事农业装备关键技术的基础理论及产品的开发研究工作。镇江 江苏大学农业工程研究院, 212013。Email: ymli@ujs.edu.cn

※通信作者: 贾毕清(1978—), 男, 江苏淮安人, 主要从事农业机械设计及理论研究。镇江 江苏大学农业工程研究院, 212013。

Email: jia-biqing@163.com

和振动筛驱动转速以及切流脱粒滚筒、强制喂入轮和纵轴流复脱滚筒的扭矩。

试验使用的切流脱粒滚筒直径 552 mm, 该脱粒滚筒长 1 125 mm, 凹板筛为栅格式, 凹板包角  $80^\circ$ , 入口脱粒间隙 25 mm, 出口脱粒间隙 15 mm。脱粒元件为钉齿和刀形齿, 钉齿直径 12 mm, 高 70 mm, 刀形齿高 70 mm, 厚 4 mm, 刀形齿与钉齿结构见图 2。脱粒元件排列方式是: 钉齿与刀形齿均采用四头螺旋, 齿间距 80 mm。脱粒滚筒与凹板筛的装配关系如图 3 所示, 钉齿和刀形齿在脱粒滚筒上的排列见图 4。

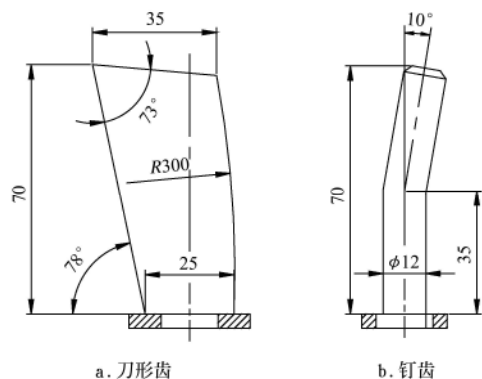


图 2 刀形齿与钉齿结构示意图

Fig.2 Structural diagram of knife tooth and spike tooth

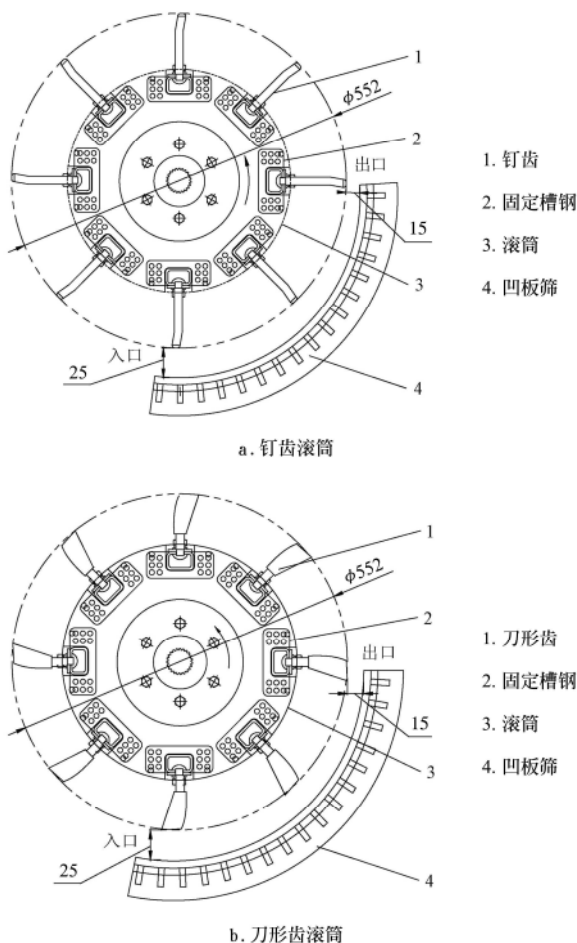


图 3 脱粒滚筒与凹板的装配示意图

Fig.3 Assembly diagram of threshing cylinder and concave

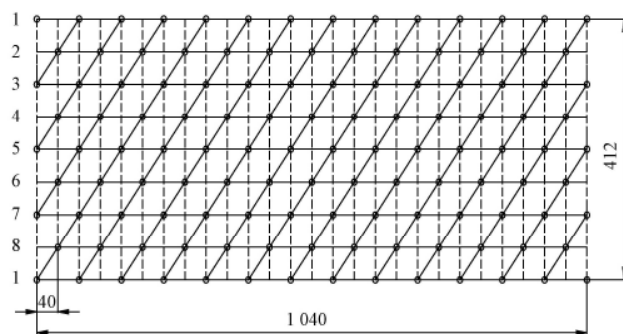


图 4 钉齿与刀形齿脱粒元件的排列方式

Fig.4 Arrangement of threshing devices with spike tooth and knife tooth

试验的强制喂入轮为闭式滚筒, 主要起输送喂入作用, 其直径 389 mm, 长 1 125 mm, 喂入间隙为 15 mm。梯形齿上边 45 mm, 底边 75 mm, 高 52 mm, 板厚 4 mm, 齿间距 120 mm。强制喂入轮与上盖板的装配关系见图 5。

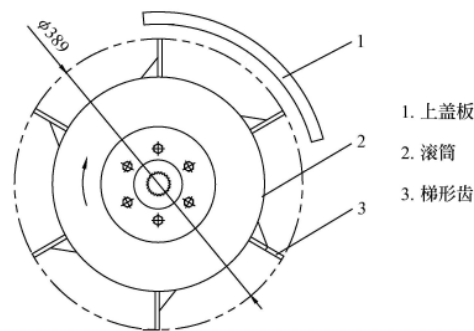


图 5 强制喂入轮与上盖板装配示意图

Fig.5 Assembly diagram of force-feeding drum and top plate

试验使用的纵轴流脱粒滚筒直径 496 mm, 该滚筒长 3 390 mm, 凹板筛为栅格式, 凹板包角  $180^\circ$ , 脱粒间隙 25 mm, 脱粒元件为矩形齿。

## 1.2 试验物料

试验物料为杨麦 16, 小麦平均茎秆长度 75.2 cm, 籽粒千粒质量 34.84 g, 草谷比 1.2, 籽粒含水率 13.95%, 茎秆含水率 27.44%。

## 1.3 试验方法

为了分析纵轴流联合收割机的切流脱粒分离装置与强制喂入轮的脱粒分离的性能, 试验时, 将试验台的纵轴流滚筒卸下, 根据喂入量的要求, 将从田里刚割下的试验物料均匀铺放在输送带上, 经喂入搅龙和输送槽, 物料进入切流脱粒滚筒和强制喂入轮, 在强制喂入轮后方铺放接料布, 接料后人工对脱出物进行切流脱粒分离装置的籽粒脱净率分析。试验安排见表 1, 每组试验重复 3 次。为了分析切流脱粒分离装置采用不同脱粒元件时, 纵轴流联合收割机整体的作业性能, 试验物料经切流脱粒滚筒和强制喂入轮初次脱粒后, 进入纵轴流复脱滚筒, 茎秆从尾部的排草口排出, 从凹板筛分离出来的脱出物落下接料车, 接料后人工对脱出物进行切流与纵轴流组合式脱粒分离装置的籽粒脱净率分析。试验安排见表 2, 每组试验重复 3 次。试验设定切流滚筒转速 800 r/min, 强制喂入轮转速 1 250 r/min, 纵轴流滚筒转速 850 r/min。

表 1 不同喂入量下切流脱粒分离装置的功耗和籽粒脱净率

Table 1 Power consumption and threshing rate of tangential flow threshing and separating unit with different feed rates

试验号	喂入量/ (kg·s <sup>-1</sup> )	切流脱粒滚筒 脱粒元件形式	切流脱粒滚筒 凹板形式	切流脱粒分离装置 的脱净率/%	切流脱粒滚筒 功耗/kW	强制喂入轮 功耗/kW
1	5.5	钉齿	栅格	82.37	7.213	5.023
2	6.5	钉齿	栅格	69.82	9.080	5.879
3	5.5	刀形齿	栅格	80.98	6.197	5.125
4	6.5	刀形齿	栅格	67.19	7.582	6.134

表 2 不同喂入量下切流与纵轴流组合式脱粒分离装置的功耗和籽粒脱净率

Table 2 Power consumption and threshing rate of tangential-axial flow threshing and separating unit with different feed rates

试验号	喂入量/ (kg·s <sup>-1</sup> )	切流脱粒滚筒 脱粒元件形式	纵轴流复脱滚筒 脱粒元件形式	切流脱粒滚筒 功耗/kW	强制喂入轮 功耗/kW	纵轴流复脱 滚筒功耗/kW	总功耗/ kW	切流与纵轴流组合式脱粒 分离装置的籽粒脱净率/%
1	5.5	钉齿	矩形齿	8.182	5.145	25.505	38.832	99.97
2	6.5	钉齿	矩形齿	9.851	6.131	30.383	46.365	99.93
3	5.5	刀形齿	矩形齿	7.083	5.234	23.321	35.638	99.91
4	6.5	刀形齿	矩形齿	8.241	6.213	26.228	40.682	99.90

2 试验结果与分析

2.1 切流脱粒分离装置的功耗和籽粒脱净率

不同喂入量下切流脱粒分离装置的功耗和籽粒脱净率的试验结果见表 1。

从表 1 中可以看出：1) 两种切流脱粒滚筒的脱净率约为 67.19%~82.37%，表明大部分籽粒已被脱粒。2) 在相同条件下，刀形齿式切流脱粒滚筒消耗的功率比钉齿式切流脱粒滚筒少 1.016~1.498 kW。

另外从强制喂入轮后方排出茎秆的完整性来看，刀形齿式切流脱粒分离装置排出茎秆比钉齿式切流脱粒分离装置排出茎秆要完整，表明刀形齿式切流脱粒分离装置排出的茎秆变形小，从而刀形齿式切流脱粒分离装置比钉齿式切流脱粒分离装置消耗的能量少，这与表 1 的功耗情况一致。

2.2 切流与纵轴流组合式脱粒分离装置的功耗和籽粒脱净率

不同喂入量下切流与纵轴流组合式脱粒分离装置的功耗和籽粒脱净率的试验结果见表 2。

从表 2 中可以看出：1) 采用 2 种不同形式切流脱粒滚筒的切流与纵轴流组合式脱粒分离装置的脱净率较高，并且差异较小。2) 在相同工况下，采用刀形齿式切流脱粒滚筒的切流与纵轴流组合式脱粒分离装置消耗的功率比采用钉齿式切流脱粒滚筒的切流与纵轴流组合式脱粒分离装置少 3.194~5.683 kW。其原因有两个方面：一是刀形齿式切流脱粒滚筒消耗的功率比钉齿式切流脱粒滚筒少；二是与钉齿式切流脱粒分离装置排出茎秆相比，刀形齿式切流脱粒分离装置排出茎秆比较完整，容易被纵轴流复脱滚筒脱粒分离，所以与其组合的纵轴流复脱滚筒的功耗要小。3) 切流脱粒滚筒的功耗约占脱粒总功耗 20%，强制喂入轮的功耗约占脱粒总功耗 14%，纵轴流复脱滚筒的功耗约占脱粒总功耗 66%。

3 结 论

1) 切流与纵轴流组合式脱粒分离装置的切流脱粒分离装置无论使用刀形齿式切流脱粒滚筒还是钉齿式切流

脱粒滚筒，其籽粒脱净率都较高。

2) 切流脱粒分离装置的籽粒脱净率约为 67.19%~82.37%。

3) 切流脱粒滚筒、强制喂入轮和纵轴流复脱滚筒的功耗分别约占脱粒总功耗的 20%、14%和 66%，配置刀形齿式切流脱粒滚筒的切流与纵轴流组合式脱粒分离装置的总功耗比配置钉齿式切流脱粒滚筒的切流与纵轴流组合式脱粒分离装置有所减少。

[参 考 文 献]

[1] 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 CSAE, 2008, 24(3): 139—142. (in Chinese with English abstract)

[2] 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 Shujuan, Tao Guixiang, Mao Xin. Comparative experiment on the distribution regularities of threshed mixtures for two types of axial flow threshing and separating installation[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 154—156. (in Chinese with English abstract)

[3] 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.  
Xie Fangping, Luo Xiwen, Lu Xiangyang, et al. Threshing principle of flexible pole-teeth roller for paddy rice[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(8): 110—114. (in Chinese with English abstract)

[4] 王岳, 曹扬, 夏晓东, 等. 双季稻区收获农艺及先进适用联合收割机型谱[J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 68—71.  
Wang Yue, Cao Yang, Xia Xiaodong, et al. Harvesting technology in double-harvest rice regions and R & D of combine harvesting machine[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 68—71. (in Chinese with English abstract)

[5] 谢方平, 罗锡文, 苏爱华, 等. 刚性弓齿与杆齿及柔性齿的脱粒对比试验[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 31(6): 648—651.

- Xie Fanping, Luo Xinwen, Su Aihua, et al. Contrastive experiment on threshing by using rigid wire-loop, rigid pole tooth and flexible pole tooth[J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2005, 31(6): 648—651. (in Chinese with English abstract)
- [6] 李耀明, 周金芝, 徐立章, 等. 水稻复脱分离系统脱粒分离性能的试验[J]. 江苏大学学报: 自然科学版, 2005, 26(1): 1—4.
- Li Yaoming, Zhou Jinzhi, Xu Lizhang, et al. Experimental test of grain threshing and separating unit[J]. Journal of Jiangsu University: National Science Edition, 2005, 26(1): 1—4. (in Chinese with English abstract)
- [7] 李耀明, 周金芝, 徐立章, 等. 油菜联合收割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.
- Li Yaoming, Zhou Jinzhi, Xu Lizhang, et al. Experimental study on threshing and separating unit of rape combine[J]. Journal of Jiangsu University: National Science Edition, 2005, 26(4): 281—284. (in Chinese with English abstract)
- [8] 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.
- Yi Shujuan, Tao Guixiang, Mao Xin. Dynamic simulation of assembled axial flow threshing and separating device[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 94—97. (in Chinese with English abstract)
- [9] 高焕文, 李问盈, 李洪文. 我国农业机械化的跨世纪展望[J]. 农业工程学报, 2000, 16(2): 9—12.
- Gao Huanwen, Li Hongwen, Li Wenying. Prospects of China agricultural mechanization facing the 21st century[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(2): 9—12. (in Chinese with English abstract)
- [10] 牛盾. 我国农业机械化的新形势和水稻生产机械化问题[J]. 农业机械学报, 2000, 16(4): 7—10.
- Niu Dun. New situation of agricultural mechanization and the development of paddy production mechanization in China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2000, 16(4): 7—10. (in Chinese with English abstract)
- [11] 衣淑娟. 钉齿式双滚筒轴流脱粒与分离装置的试验研究[J]. 机械设计与制造, 2006, (5): 88—89.
- Yi Shujuan. Experimental research on the spike tooth of double axial flow threshing and separation unit[J]. Machinery Design & Manufacture, 2006, (5): 88—89. (in Chinese with English abstract)
- [12] Maertens K, Baerdemaeker J De. Flow rate based prediction of threshing process in combine harvesters[J]. Applied Engineering in Agriculture, 2003, 19(4): 383—388.
- [13] Petre I Miu. Modeling and simulation of grain threshing and separation in axial threshing units. Part II. Application to tangential feeding[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 60(1): 105—109.
- [14] Petre I Miu. Modeling and simulation of grain threshing and separation in threshing units — Part I[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 60(1): 96—104.
- [15] 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.
- Wan Lin, Yi Shujuan, Ma Yongcai. Study on power consumption of single axial flow threshing and separation unit of paddy[J]. Journal of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2005, 17(2): 56—58. (in Chinese with English abstract)
- [16] 孟繁昌, 庞凤斌, 叶耘, 等. 联合收获机水稻收获性能对比试验[J]. 农业机械学报, 2005, 36(5): 141—143.
- Meng Fanchang, Pang Fengbin, Ye Yun, et al. Comparative tests of harvesting performance on rice[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2005, 36(5): 141—143. (in Chinese with English abstract)

## Development and experiments on tangential flow threshing and separating device of axial flow combine

Li Yaoming, Jia Biqing<sup>\*</sup>, Xu Lizhang, Qiao Mingguang, Zhao Zhan

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education and Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** For analyzing the threshing and separating performance of tangential flow threshing and separating unit of axial flow combine, the threshing, separating and cleaning test-bed of axial flow was developed. Spike tooth and knife tooth were applied to the tangential flow threshing and separating unit. The power consumption of tangential flow threshing cylinder, force-feeding drum and axial flow cylinder were experimentally measured. The effects of structure and motion parameters of tangential flow threshing and separating unit on threshing performance were studied. The experimental results showed that threshing rate of tangential flow threshing and separating unit was in the range of about 67.19%—82.37%, and its power consumption accounted for about 20% of total threshing power consumption, the power consumption of tangential flow unit using knife tooth was lower than that using spike tooth, the threshing rate of tangential-axial flow threshing and separating test-bed was higher than 99.90%, the entrainment loss ratio was less than 0.25% for wheat harvest. The power consumption of tangential-axial flow threshing and separating unit using tangential flow threshing cylinder of knife tooth was lower than that using tangential flow threshing cylinder of spike tooth. The force-feeding drum and axial flow threshing cylinder accounted for about 14% and 66% of total threshing power consumption, respectively. The results provide guidance for the development of axial flow combine.

**Key words:** combines, separation, power consumption, threshing cylinder, threshing rate