

半喂入联合收获机同轴差速脱粒滚筒设计与试验*

陈 霓¹ 余红娟² 陈德俊¹ 龚永坚² 张正中¹

(1. 金华职业技术学院机电工程学院, 金华 321000; 2. 金华职业技术学院信息工程学院, 金华 321000)

【摘要】 针对半喂入联合收获机收获超级稻和难脱粒的梗稻时脱粒不净引起损失的问题,设计了半喂入同轴差速脱粒滚筒,并与单速脱粒滚筒进行了脱粒对比试验,对各种脱出物料的实测数据用 Matlab 软件建立了 3D 图像及其数学模型。结果表明:差速滚筒未脱净籽粒约 0.06%,比单速滚筒降低 61.25%;3D 图像显示差速脱粒的各种脱出物料在筛面上分布比单速脱粒均匀。半喂入同轴差速脱粒装置集高、低转速对脱粒性能的有利作用于一体,能较好解决半喂入联合收获机收获超级稻和梗稻时脱粒不净引起的损失,并使损失率、破碎率和含杂率等性能指标都达到较优水平。

关键词: 联合收获机 半喂入 脱粒滚筒 同轴差速

中图分类号: S225.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2011)S0-0039-04

Design and Test on Coaxial Differential Threshing Rotor of Head-feed Combine Harvester

Chen Ni¹ Yu Hongjuan² Chen Dejun¹ Gong Yongjian² Zhang Zhengzhong¹

(1. Mechanical and Electrical Engineering College, Jinhua Polytechnic, Jinhua 321000, China

2. Information and Engineering College, Jinhua Polytechnic, Jinhua 321000, China)

Abstract

Aiming at the threshing loss during super-rice and round-grained rice harvesting, the head-feed coaxial differential rotor was designed. The threshing test between the different speed and single speed rotor was preceded. The 3-D image and mathematical modal were built by Matlab on the basis of measured data of mixture and its compositions. The results showed that the 0.06% grains were not threshed clearly by differential rotor, which reduced by 61.25% compared to the single speed one. The 3-D image showed that uniform distribution of mixture and its compositions along on sieve was better than the single speed one. The coaxial differential threshing rotor set the benefit of high-speed and low-speed in one, which can solve the problem of the threshing loss during super-rice and round-grained harvesting and reduce the loss rate, the damage rate and impurity loss.

Key words Combine harvester, Head-feed, Threshing rotor, Coaxial differential

引言

超级稻产量高、茎秆高,适合用半喂入收获工艺进行联合收获。但高产也给半喂入联合收获机带来新的问题^[1]。超级稻分蘖旺,茎秆粗,用半喂入联合收获机收获时,经夹持链喂入的禾丛厚密,在脱粒滚筒弓齿的“梳刷”下,大部分成熟易脱籽粒在滚筒

前半段脱下,而少数未成熟籽粒或难脱籽粒在后半段脱粒。由于现有半喂入联合收获机脱粒滚筒都是单转速滚筒,对于难脱籽粒或喂入禾丛厚密的情况下,转速显得过低,易引起脱不净损失。而增加滚筒转速则使籽粒破碎率和碎茎秆增多,作业质量难以达到国家规定的 3 项性能指标要求。

近年来,为提高作业效率和减少脱不净损失,国

收稿日期: 2011-08-01 修回日期: 2011-08-25
* 浙江省科技重大专项资助项目(2007C12SA700013)
作者简介: 陈霓,副教授,主要从事机电一体化与农业机械研究,E-mail: cyiny@163.com

内外生产厂家纷纷加大了半喂入联合收获机的配套动力^[2],并增加脱粒滚筒长度。日本久保田 PRO 系列 4 行机从 488 到 588i,配套动力从 35.5 kW 增大到 44.1 kW,脱粒滚筒长度从 800 mm 增长到 900 mm。作业效率从 0.2~0.4 hm²/h 提高到 0.3~0.5 hm²/h。该公司 2008 年推出的 ARN85/98 型(6 行机)配套动力 61~71 kW,脱粒滚筒已增长到 1 130 mm;国外其他厂家及国产机型的情况也与此类似。由于以上措施出发点主要是提高作业效率,因此面对产量高和难脱粒的水稻时,仍产生脱粒不净损失较大的问题。为探索在高作业效率的基础上解决超级稻和粳稻脱粒不净引起的损失问题,研究半喂入同轴差速脱粒装置,并与半喂入单速脱粒装置进行对比试验研究。

1 半喂入同轴差速脱粒装置设计

根据对全喂入同轴差速脱粒装置研究^[3-4],确定高低速滚筒转速关系为

$$n_2 = kn_1$$

式中 n_1 ——低速滚筒转速,r/min
 n_2 ——高速滚筒转速,r/min
 k ——弓齿式脱粒滚筒水稻脱粒所需的最低线速度 v_1 和可用最高线速度 v_2 之比
 $k = v_2/v_1 = 18/13 = 1.35$

脱粒滚筒直径为 550 mm,参考国内外学者对脱粒滚筒弓齿齿顶线速度在 11~19 m/s 内进行的单速滚筒脱粒试验结果^[5-6],确定低速滚筒弓齿齿顶线速度 $v_1 = 13$ m/s,高速滚筒齿顶线速度 $v_2 = 18$ m/s,可求得低速滚筒转速 $n_1 = 480$ r/min,高速滚筒转速 $n_2 = 650$ r/min,脱粒滚筒总长为 1 000 mm,取 2/3 即 667 mm 为低速滚筒长度,余下 1/3 为高速滚筒长

度。样机结构如图 1 所示。对比试验用脱粒滚筒的长度、外径和弓齿排列方式与之相同,滚筒为单一转速 $n = 520$ r/min,齿顶线速度 $v = 14.3$ m/s。

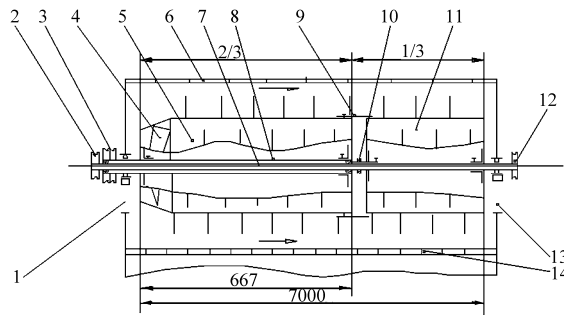


图 1 半喂入联合收获机同轴差速脱粒装置示意图

Fig.1 Head-feed coaxial differential threshing rotor

1. 作物入口 2. 高速传动带轮 3. 低速传动带轮 4. 螺旋片
5. 低速滚筒 6. 导向片 7. 低速滚筒轴 8. 高速滚筒轴 9. 过渡圈 10. 防干涉装置 11. 高速滚筒 12. 排草链驱动带轮
13. 作物出口 14. 栅格凹板

2 两种半喂入脱粒装置脱出物分布模型

2.1 试验条件及分布测定结果

试验在具有差速滚筒和单速滚筒的两种半喂入联合收获机上进行,由人工喂入,径向 5 行、轴向 8 列共 40 个接料斗设置在栅格凹板下,接料斗尺寸 10 cm×12 cm。试验水稻品种为超级稻甬优 12(单季稻)。籽粒含水率为 27.4%,茎叶含水率为 63.2%,作物平均自然高度 124 cm,平均穗幅差 34 cm,平均产量 12 843 kg/hm²,平均草谷比 2.03,平均种植密度 16.7 穴/m²,分布测定试验时,每次喂入作物数量相同,试验重复 3 次,脱粒滚筒在正常工作转速下工作。分布测定结果的 3D 模型如图 2。

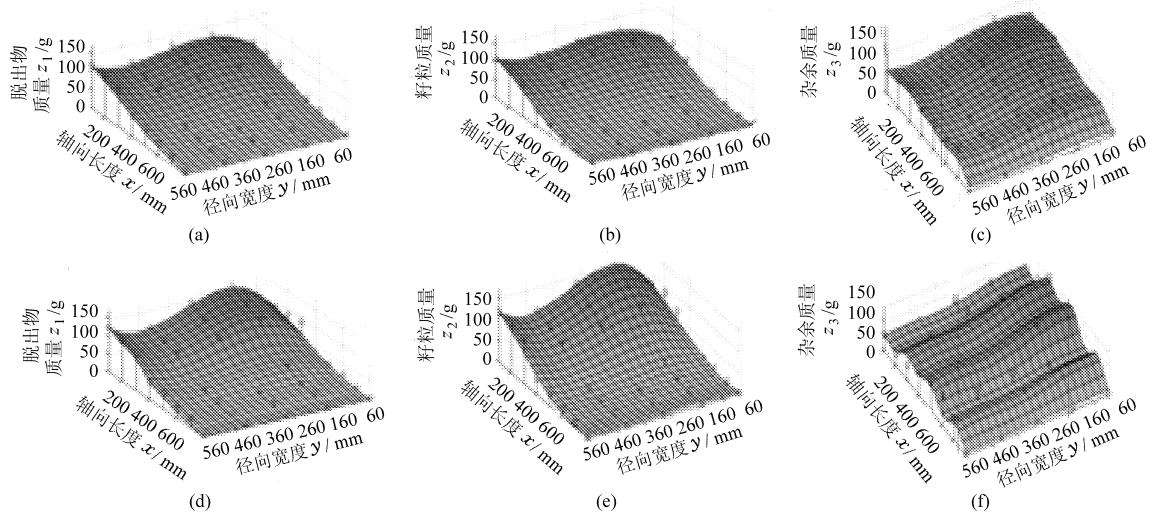


图 2 脱出物及各成分沿轴向和径向分布

Fig.2 Distribution of mixture and it's compositions along axial and radial of threshing cylinder

(a) 差速滚筒,脱出物 (b) 差速滚筒,籽粒 (c) 差速滚筒,杂余 (d) 单速滚筒,脱出物 (e) 单速滚筒,籽粒 (f) 单速滚筒,杂余

2.2 3D 曲面数学模型

根据试验测定的脱出物及各成分在轴向和径向分布数据,利用 Matlab 数字信号处理样条插值法,对坐标系 $X-Z$ 和 $Y-Z$ 分别作离散余弦傅里叶变换,求得 $Z(x)$ 和 $Z(y)$ 的数学关系式,进而建立 $Z = f(x,y)$ 的 3D 曲面数学模型 $Z = f(x,y) = \sqrt{Z_x Z_y}$ 。

(1)单速滚筒脱出物与籽粒模型

$$Z_1(x) = n_y [Z_{y0} + B_1 \cos(P_x + \alpha_x) + B_2 \cos(2(P_x + \alpha_x)) + B_3 \cos(3(P_x + \alpha_x)) + B_4 \cos(4(P_x + \alpha_x)) + B_5 \cos(5(P_x + \alpha_x)) + B_7 \cos(7(P_x + \alpha_x))] \tag{1}$$

$$Z_1(y) = n_x [Z_{y0} + A_1 \cos(Q_y + \alpha_y) + A_2 \cos(2(Q_y + \alpha_y)) + A_4 \cos(4(Q_y + \alpha_y)) + A_7 \cos(7(Q_y + \alpha_y))] \tag{2}$$

$$Z_1 = \sqrt{Z_x Z_y} \tag{3}$$

(2)差速滚筒脱出物与籽粒模型

$$Z_2(x) = n_y [Z_{x0} + B_2 \cos(2(P_x + \alpha_x)) + B_3 \cos(3(P_x + \alpha_x)) + B_5 \cos(5(P_x + \alpha_x)) + B_7 \cos(7(P_x + \alpha_x))] \tag{4}$$

$$Z_2(y) = n_x [Z_{y0} + A_1 \cos(Q_y + \alpha_y) + A_2 \cos(2(Q_y + \alpha_y))] \tag{5}$$

$$Z_2 = \sqrt{Z_x \cdot Z_y} \tag{6}$$

式中 n ——样条插值后数据方阵 21×21 单边值,
 $n = 21$

Z_{x0} 、 Z_{y0} ——常数项,表示均匀分布值

P_x 、 Q_y —— x 方向和 y 方向空间圆频率, $P_x = 5.343 \times 10^{-3}$, $Q_y = 4.274 \times 10^{-3}$

α_x 、 α_y —— x 方向和 y 方向空间初相位, $\alpha_x = \alpha_y = 7.480 \times 10^{-2}$

A_i 、 B_i ——系数

式中, Z_{x0} 、 Z_{y0} 、 A_i 、 B_i 取值见表 1。

将 x 、 y 值和各数值、系数代入式(1)、(4)和式(2)、(5),即可求得不同脱粒滚筒的 Z_x 和 Z_y ,进而可以用式(3)、(6)求得各测点的 Z 值。

2.3 脱出物及各成分 3D 模型分析

(1)从图 2b、2e 可知,绝大部分籽粒已在脱粒滚筒前 2/3 段(0 ~ 667 mm)脱下。

(2)脱粒滚筒前部是籽粒和脱出物脱下并分离最多的部位,单速滚筒前部的转速比差速滚筒低速段高,脱出物和籽粒在较大的切向力和离心力作用下,下落于脱粒装置内侧的振动板上(籽粒尤为明显),使振动板乃至整个清选筛负荷不均,影响清选质量,而差速滚筒脱出物和籽粒在振动板上的分布比较均匀。

(3)对杂余(含短茎秆和碎茎叶)测定表明,虽

然差速滚筒后部高速段转速高,但产生的杂余和前部低速段相近,这是因为作物到高速段时,茎秆已经过低速段弓齿梳刷,茎叶已少很多。

表 1 Z_{x0} 、 Z_{y0} 、 A_i 和 B_i 数值

Tab.1 Data of Z_{x0} 、 Z_{y0} 、 A_i 、 B_i

参数	差速滚筒		单速滚筒	
	脱出物	籽粒	脱出物	籽粒
Z_{x0}	184.071	171.442	159.570	159.570
Z_{y0}	100.342	83.712	82.561	67.105
A_1	-106.552	-101.911	-77.485	-77.818
A_2	25.201	29.263	12.759	20.590
A_4	-10.386	-8.287		
A_7	-11.824	-8.462		
B_1	-24.941	-23.445		
B_2	-25.561	-23.359	-15.194	-14.012
B_3	33.728	31.659	19.464	16.338
B_4	-5.703	-5.102		
B_5	12.980	12.184	7.454	6.242
B_7	6.588	6.184	3.780	3.162

3 两种脱粒装置脱不净率和杂余量比较

3.1 脱粒滚筒轴向前 2/3 段脱出物及各成分比例
脱粒滚筒轴向前 2/3 段,差速滚筒为低速段,脱出物及各成分的比例如表 2。

表 2 脱出物及各成分 2/3 段分布比较

Tab.2 Comparis on of distribution of mixture and it's compositions (in the first 2/3 parts) %

装置	脱出物	籽粒	杂余
差速滚筒	89.10	91.42	70.10
单速滚筒	92.91	93.34	84.05

说明 90% 以上籽粒已在低速段脱下,用高速将难脱籽粒脱下是可行的。

3.2 两种脱粒装置产生的杂余比较

杂余(含短茎秆、碎茎叶)的数量将影响清选系统,短茎秆和碎茎叶多将增大清选负荷使清选质量下降。差速滚筒前段转速比单速滚筒低,碎茎叶比单速滚筒少,后段转速比单速滚筒高,碎茎叶比较多。经对甬优 12 超级稻室内试验测定,在试样同为 10 kg 情况下,差速滚筒产生的杂余为 1.24 kg,单速滚筒为 1.10 kg。差速滚筒后段转速高,产生的碎茎叶比单速滚筒稍多。

3.3 两种脱粒装置脱不净率

为揭示两种脱粒装置对难脱作物的适应性,试

验用粳稻嘉优-2号进行。籽粒与籽柄的平均连结对力2.31 N,穗幅差均值10 cm,自然高度1.08 m,千粒质量均值26.0 g,单产8 441 kg/hm²,草谷比均值1.88,籽粒含水率均值16.9%,茎秆含水率均值51.2%,测定面积均为7.5 m²(5 m×1.5 m)。测定3次均值如表3所示。

表 3 脱不净率测定结果

Tab.3 Measurement result on un-threshing rate

装置	试样理论 籽粒质量/g	未脱下 籽粒质量/g	脱不净率/%
差速滚筒	5 703	3. 43	0. 06
单速滚筒	5 703	8. 85	0. 16

3.4 脱出物及各成分试验数据分析

(1)在差速滚筒低速段(轴向前2/3段)91.42%的籽粒已脱下,而碎茎叶产生少有利于籽粒分离和清选。

(2)差速滚筒在高速段(后1/3段)产生的碎茎叶较多,并使全滚筒产生的碎茎叶比单速滚筒增加11.3%,但由于碎茎叶产生于籽粒已基本脱净的状

态,故对籽粒分离影响不大。

(3)对于难脱作物,单速滚筒的脱不净率明显大于差速滚筒,显示了差速滚筒对于粳稻收获的适应性。

4 结论

(1)对两种脱粒滚筒的籽粒脱不净率对比测定表明,单速滚筒为0.16%,差速滚筒为0.06%,比单速滚筒下降61.25%。同轴差速滚筒可有效降低脱不净损失。

(2)通过两种脱粒滚筒对比试验数据建立的数学模型,可求得测定区内脱出物各成分在不同测点的数值,为理论分析提供了依据。脱出物3D模型表明,差速滚筒脱出物的径向分布比单速滚筒均匀,有利于清选。

(3)同轴差速脱粒技术利用低速脱粒能降低籽粒破碎,高速脱粒能减少脱不净损失的特点,对半喂入联合收获机收获超级稻和粳稻时产生的脱不净损失问题,具有明显的效果,从而提高了半喂联合收获机适应性。

参 考 文 献

1 金承烈,陈南云,李显旺. 论半喂入联合收割机可靠性问题[C]//中国农业机械化发展论坛:水稻生产机械化技术交流会论文集,2006:170~181.

2 福田禎彦. コンバイン[J]. 農業機械學會誌,2009,71(1):22~25.

3 陈德俊,龚永坚,黄东明,等. 履带式全喂入稻麦联合收获机新型工作装置研究设计[J]. 农业机械学报,2007,38(8):82~85.

Chen Dejun, Gong Yongjian, Huang Dongming, et al. Development on some apparatus of Chinese model caterpillar ricewheat combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(8):82~85. (in Chinese)

4 陈霓,熊永森,陈德俊,等. 联合收获机同轴差速轴流脱粒滚筒设计和试验[J]. 农业机械学报,2010,41(10):67~71.

Chen Ni, Xiong Yongsen, Chen Dejun, et al. Design and test on the coaxial differential-speed axial-flow threshing rotor of combine harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(10):67~71. (in Chinese)

5 江崎春雄,三浦恭志郎,今园支和,等. 自脱コンバインの高性能化に関する研究[M]. 埼玉:日本农业机械化研究所,1972:40~41.

6 金承烈,刘广海. 半喂入联合收割机的脱粒、清选机构试验分析[J]. 农业机械学报,1980,11(2):87~98.

Jin Chenglie, Liu Guanghai. Testing analysis of threshing and cleaning apparatusese of head feeding combine [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,1980,11(2):87~98. (in Chinese)

7 日本农业机械学会. 农业机械手册[M]. 北京:机械工业出版社,1991:683~684.

8 中国农业机械化科学研究院. 农业机械设计手册:下册[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2007:945~948.