

超级稻单茎秆切割力学性能试验*

赵 湛 李耀明 徐立章 宋淑君

(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】 在自制的切割试验台上对超级稻单茎秆切割力学特性进行了试验。根据测量获取的切割力连续变化曲线计算了6种超级稻样本的切割功耗,分析了切割速度、切割位置以及切割刀具组合对茎秆切割力和功耗的影响。结果表明:不同品种超级稻单茎秆峰值切割力达到24~32 N,随着切割位置的提高切割力有小幅下降趋势,峰值切割力和切割功耗随茎秆截面积的增大几乎呈线性增加,随着切割速度的增加而逐渐减小。

关键词: 超级稻 茎秆 切割试验台 力学性能 试验

中图分类号: S225.4; S313 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2010)10-0072-04

Experiment on Cutting Mechanical Property of Single Super Rice Stalk

Zhao Zhan Li Yaoming Xu Lizhang Song Shujun

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

Abstract

A pendulum impact cutting test-rig and a cutting force measurement system composed of a cantilever weigh sensor and a high speed analog acquisition card were developed. Then cutting mechanical property experiments of super rice stalk were carried out. According to the measuring cutting force, the cutting power consumption of different super rice stalk were calculated, and the influence of cutting speed, cutting position and parting cutter on the cutting force and consumption were analyzed. The results indicated slight decreasing tendency of cutting force with the increasing of cutting position. The peak cutting force and the cutting power consumption nearly linear increased with the increasing of cutting sectional area, but both decreased gradually with the increasing of cutting speed. The peak cutting force of different single super rice stalks could reach 24~32 N.

Key words Super rice, Stalk, Cutting test-rig, Mechanical property, Experiment

引言

茎秆切割是收获机械田间作业的重要工作环节,切割性能直接影响到作物收割效率和田间籽粒损失率。目前,对于茎秆切割性能的研究主要集中在小麦、甘蔗和玉米等作物^[1~3],针对水稻茎秆的形态结构和力学特征的研究也有文献报道,但其主要局限于研究作物抗倒伏性能和机理^[4~7],对于水稻茎秆切割力学性能的研究报道还很少,这主要是由

于水稻茎秆直径较细、切割力较小、切割时间通常为几毫秒,要准确测量切割力变化过程有一定难度。

随着作物品种的不断更新,尤其是超高产水稻的大面积推广,粗大秸秆常造成收获机械切割器功耗增大,磨损加快。为此,开展超级稻茎秆切割力学特性的研究,探索影响切割力的因素,对于降低收获机割台损失、降低功率消耗、提高收获机的作业效率都具有重要的意义。

茎秆的切割过程与切刀的特性、茎秆的物理机

收稿日期: 2009-08-31 修回日期: 2009-12-28

* 江苏省科技攻关重大项目(BE2007302)和江苏省农机三项工程项目(NJ2007-34)

作者简介: 赵湛,助理研究员,博士,主要从事现代农业机械设计及理论研究, E-mail: zhaozhan@ujs.edu.cn

通讯作者: 李耀明,教授,博士生导师,主要从事现代农业机械设计及理论研究, E-mail: ymli@ujs.edu.cn

械性质、切割位置以及切割的速度和方向等都有密切关系。本文在自制的茎秆切割试验台上,对水稻品种和切割参数、超级稻单茎秆切割力和功耗的关系进行研究。

1 茎秆切割试验台

摆动式茎秆切割试验台如图 1 所示。动刀安装在摆锤末端,改变摆锤的摆角即可获得不同的切割速度,定刀通过悬臂梁称量传感器固定在支架上,支架可以移动以调整刀片间隙。由于切割面和切割方向都垂直于茎秆轴线,属于双支撑横断切割。动刀采用齿刃刀片,定刀可安装光刃或齿刃刀片。

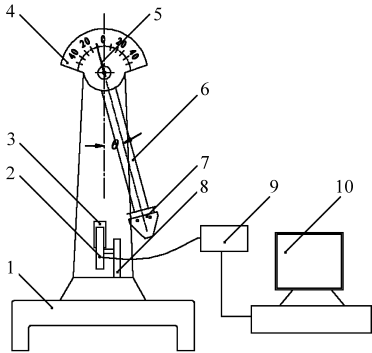


图 1 摆动式切割试验台结构示意图

Fig. 1 Schematic plain of pendulum impact cutting test-rig

1. 支座 2. 悬臂梁称量传感器 3. 定刀 4. 刻度盘 5. 指针
6. 摆锤 7. 动刀 8. 移动支架 9. 数据采集卡 10. 工控机

悬臂梁称量传感器量程为 10 kg,输出信号经过专用滤波放大器后,整定为 $\pm 5\text{ V}$ 标准电压信号,测量误差小于 0.1%,响应时间小于 $10\text{ }\mu\text{s}$ 。采用研华 812PG 采集卡进行高频采集,采样频率可达 30 kHz。工控机软件用 LabView 编写,可以对切割力变化过程进行实时显示和数据存储,采样频率在 0~30 kHz 范围内连续可调。

2 试验材料和方法

2.1 试验材料

试验样品选用镇江市农业科学研究所新培育的 6 种超级稻:镇稻 10、镇稻 413、镇稻 6145、镇稻 661、镇稻 662、镇稻 671。茎秆平均直径 6~8 mm,含水率 66%~70%,株高 920~1 060 mm,穗长 150~170 mm,产量 9 000~1 125 kg/hm²。

2.2 试验方法

将水稻茎秆水平放置在移动支架上,并与定刀刀刃垂直接触,通过指针在刻度盘上位置控制摆锤提升角度,在重力作用下作单摆切割运动。当切割速度为 1~2 m/s 时,根据水稻茎秆直径计算得到切割时间为 3~8 ms。采样频率过高,切割周期内采集

的数据过多,会增加数据处理的工作量;采样频率过低,则会造成较大测量误差。试验设定切割力采样频率为 4 kHz,在一个切割周期中至少可以采集 12 个点,从而绘制得到连续的切割力变化曲线。

茎秆的直径和壁厚均采用数字游标卡尺测量,分辨率为 0.01 mm。由于水稻茎秆不是规则的圆柱形,茎秆节两端截面的外径、壁厚以及力学特性存在明显差异,因此试验分别测量茎秆外径的最大值和最小值,在截面对称位置上取 4 个位置测量壁厚,取壁厚的平均值,采用椭圆环计算茎秆截面积。试验过程中,也避免直接切割茎秆节位置。为了减小水稻个体差异的影响,每组参数重复试验 10 次。

3 试验结果与分析

3.1 切割力测量结果

图 2 为镇稻 6145 在切割速度为 1.5 m/s 时切割力 F 测量结果。可以看出,由于茎秆的纤维组织属于弹-塑性体,在切割之前存在预压弹性变形阶段,造成切割力上升时间 t_r 要大于下降时间 t_d ,根据试验测量结果分析, t_r 与 t_d 的比值约为 2。对切割力进行积分可以计算切割功耗为

$$W = \int_0^{t_0} F v dt$$

式中, $t_0 = t_r + t_d$ 。峰值切割力 $F_{\max}$ 可以反映切割功耗 W 的大小,且 W 随 $F_{\max}$ 的增大而增大,不同切割参数下,切割力的变化曲线具有相似性。

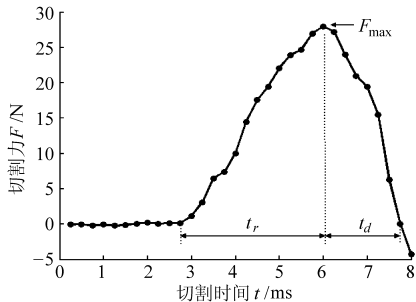


图 2 切割力测量结果

Fig. 2 Measurement result of cutting force

3.2 切割位置的影响

当切割速度为 1.5 m/s 时,选用光刃定刀和齿刃动刀组合,在距离水稻根部 50~300 mm 位置,对水稻样品的切割力进行了测量,结果如表 1 所示。试验样品的平均峰值切割力为 24~32 N,远大于常规水稻的切割力和功耗^[8]。随着切割位置的提高,峰值切割力 $F_{\max}$ 略有减小。

3.3 茎秆截面积的影响

茎秆外圈维管束的密度较高,维管束鞘发达,构成机械组织和维管束鞘的纤维细胞壁也较厚,机械性能好,它是影响切割力的主要因素。随着茎秆直

径和截面积的增大,维管束增多,切割力和切割功耗也随之增大。由于茎秆节的存在,使得靠近节附近的茎秆壁厚明显大于茎秆节中间部位,因此采用茎秆直径描述切割力会产生奇异,即相同直径下切割力的波动较大,采用茎秆截面积描述切割力和功耗则更为合理。图 3、4 分别给出了切割速度 1.5 m/s

时,镇稻 6145 的峰值切割力和切割功耗与茎秆截面积的关系。可以看出,峰值切割力和切割功耗几乎随着茎秆截面积的加大呈线性增大。不同品种水稻单位截面积的峰值切割力为 0.7 ~ 1.2 N/mm²,单位面积功耗为 2.5 ~ 4.0 mJ/mm²,测量结果如表 2 所示。

表 1 不同品种水稻峰值切割力测量结果

Tab.1 Measurement results of peak cutting force of different single rice stalks						
切割位置 /mm	镇稻 10		镇稻 413		镇稻 6145	
	平均峰值切割力/N	标准差	平均峰值切割力/N	标准差	平均峰值切割力/N	标准差
50	25.78	2.45	25.48	3.82	28.42	3.82
100	25.97	4.12	24.89	2.25	27.93	3.33
150	24.99	2.94	25.97	4.02	27.44	4.12
200	25.87	3.23	25.48	3.53	28.03	2.74
250	25.58	4.39	24.01	2.74	27.97	3.72
300	24.79	3.72	24.59	3.43	27.44	5.00

切割位置 /mm	镇稻 661		镇稻 662		镇稻 671	
	平均峰值切割力/N	标准差	平均峰值切割力/N	标准差	平均峰值切割力/N	标准差
50	29.89	4.61	31.06	3.04	30.87	3.72
100	28.32	3.92	29.99	2.16	31.26	3.43
150	29.01	3.92	30.67	2.35	29.69	5.00
200	27.73	3.53	28.32	4.19	31.36	5.10
250	29.01	4.51	27.93	4.70	31.07	2.65
300	27.64	2.65	28.81	3.23	29.40	3.92

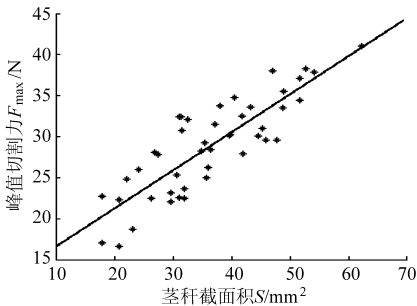


图 3 峰值切割力与茎秆截面积的关系

Fig.3 Effect of cutting sectional area on peak cutting force

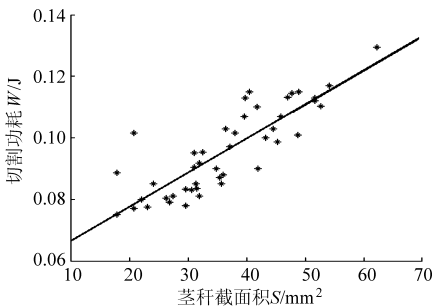


图 4 切割功耗与茎秆截面积的关系

Fig.4 Effect of cutting sectional area on cutting power consumption

表 2 不同品种水稻单位面积峰值切割力和切割功耗测量结果

水稻品种	单位面积峰值切割力/N·mm ⁻²				单位面积切割功耗/mJ·mm ⁻²			
	最大值	最小值	平均值	标准差	最大值	最小值	平均值	标准差
镇稻 10	1.21	0.58	0.78	0.18	4.45	1.76	2.64	0.52
镇稻 413	1.43	0.80	1.01	0.24	5.17	2.51	3.42	0.72
镇稻 6145	1.27	0.65	0.82	0.15	4.67	1.97	2.78	0.60
镇稻 661	1.36	0.77	0.96	0.12	4.96	2.38	3.25	0.49
镇稻 662	1.53	0.92	1.18	0.21	5.61	2.83	4.00	0.62
镇稻 671	1.55	0.87	1.12	0.19	5.70	2.64	3.80	0.58

3.4 切割速度的影响

茎秆切割总功耗主要是由预压功和切割有效功组成。当割刀的切割速度较大时,刀刃与茎秆接触所产生的应力在茎秆层中的传递速度较慢,预压层厚度及预压功耗减小,因此切割力和功耗有所减小^[8]。切割速度 v 在 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ 时,镇稻 6145 峰值切割力 $F_{\max}$ 的变化曲线如图 5 所示。可以看出,随着 v 的增加, $F_{\max}$ 有所减小,但并非呈明显的线性关系。当切割速度较小时,切割力减小速度较快;当切割速度较大时,切割力减小速度较为缓慢。当 $v = 1.5 \text{ m/s}$ 和 2 m/s 时, $F_{\max}$ 比 $v = 1 \text{ m/s}$ 时平均减小了约 13.7% 和 22.9%。

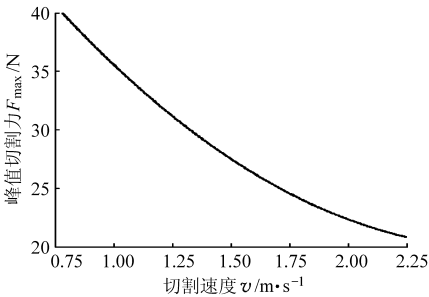


图 5 切割速度与峰值切割力的关系曲线
Fig.5 Effect of cutting speed on peak cutting force

3.5 割刀的影响

镇稻 6145 在不同刀具组合切割下的试验结果

如表 3 所示。可以看出,在相同刀片间隙下,动刀和定刀采用双齿刃刀组合比齿刃和光刃组合的切割功耗可以减小 25% ~ 35%。

表 3 割刀对切割功耗的影响
Tab.3 Effect of cutter on the cutting power consumption

切割速度 /m·s ⁻¹	单位面积切割功耗/mJ·mm ⁻²		功耗减小比例/%
	齿刃和光刃	双齿刃	
1.0	3.56	2.79	27.6
1.5	2.78	2.15	29.9
2.0	2.31	1.72	34.3

4 结论

- (1) 当切割速度为 1.5 m/s 时,距离水稻根部 50 ~ 300 mm 范围内,水稻样本的平均峰值切割力为 24 ~ 32 N,随着切割位置的提高,切割力和切割功耗略有减小。
- (2) 随着茎秆截面积的增加,峰值切割力和切割功耗呈线性增大。单位面积切割力为 0.7 ~ 1.2 N/mm²,单位面积切割功耗为 2.5 ~ 4.0 mJ/mm²。
- (3) 采用双齿刃割刀组合、适当提高切割速度,有利于减小切割力和功耗。

参 考 文 献

1 郭维俊,王芬娥,黄高宝,等. 小麦茎秆力学性能与化学组分试验[J]. 农业机械学报,2009,40(2):110 ~ 114.
Guo Weijun,Wang Fen'e,Huang Gaobao, et al. Experiment on mechanical properties and chemical compositions of wheat stems[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(2):110 ~ 114. (in Chinese)

2 高梦祥,郭康权,杨中平,等. 玉米秸秆的力学特性测试研究[J]. 农业机械学报,2003,34(4):47 ~ 49,52.
Gao Mengxiang,Guo Kangquan,Yang Zhongping,et al. Study on mechanical properties of corn stalk[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2003,34(4):47 ~ 49,52. (in Chinese)

3 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 甘蔗茎秆切割力试验[J]. 农业工程学报,2007,23(7):90 ~ 94.
Liu Qingting,Ou Yinggang,Qing Shangle,et al. Cutting force test of sugarcane stalk[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2007,23(7):90 ~ 94. (in Chinese)

4 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 农作物茎秆的力学特性研究进展[J]. 农业机械学报,2007,38(7):172 ~ 176.
Liu Qingting,Ou Yinggang,Qing Shangle,et al. Study progress on mechanics properties of crop stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2007,38(7):172 ~ 176. (in Chinese)

5 段传人,王伯初,王凭青. 水稻茎秆的结构及其性能的相关性[J]. 重庆大学学报:自然科学版,2003,26(11):38 ~ 40.
Duan Chuanren,Wang Bochu,Wang Pingqing. The relationship between the structure and the property of rice stem[J]. Journal of Chongqing University: Natural Science Edition,2003,26(11):38 ~ 40. (in Chinese)

6 申广勒,石英尧,黄艳玲,等. 水稻抗倒伏特性及其与茎秆性状的相关性研究[J]. 中国农学通报,2007,23(12):58 ~ 62.
Shen Guangle,Shi Yingyao,Huang Yanling,et al. Study on rice lodging resistance character and correlation between the culm traits and lodging resistance traits[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2007,23(12):58 ~ 62. (in Chinese)

7 Hirai Y,Inoue E,Mori K. Application of a quasi-static stalk bending analysis to the dynamic response of rice and wheat stalks gathered by a combine harvester reel[J]. Biosystems Engineering,2004,88(3):281 ~ 294.

8 镇江农业机械学院. 农业机械学:下册[M]. 北京:中国农业机械出版社,1981:31 ~ 33.