

西南玉米机械粒收质量现状及影响因素分析

孔凡磊¹, 赵 波¹, 周茂林², 宋 碧³, 雷 恩⁴, 李 钟⁵,
李小龙¹, 陈 祥¹, 袁继超¹

(1. 四川农业大学农学院/作物生理生态及栽培四川省重点实验室, 成都 611130; 2. 重庆市农业科学院玉米所, 重庆 九龙坡 401329;
3. 贵州大学农学院, 贵阳 550025; 4. 红河学院, 云南 红河 661106; 5. 南充市农业科学院, 四川 南充 637000)

摘 要: 本文基于2017~2018年在西南4个省市开展的机械粒收试验, 分析当前西南玉米区机械粒收质量现状, 探讨影响粒收质量的主要因素。结果表明, 子粒破碎率和损失率高是当前西南玉米机械粒收面临的主要问题。西南玉米区机械粒收子粒破碎率平均为7.41%, 机收总损失率平均为5.84%, 均高于“玉米收获机械技术条件”(GBT-21961—2008)要求。子粒破碎率、杂质率与子粒含水率显著正相关, 落穗损失率、总损失率与子粒含水率极显著负相关。子粒含水率降低有利于降低破碎率、杂质率, 但子粒含水率过低会导致落穗损失率和总损失率显著提高。玉米粒收质量存在区域、品种和机型间差异。针对不同玉米生产区域生态特点, 开展适宜机械粒收品种、收获条件和粒收机具的研究, 是推动玉米机械粒收技术的快速发展和应用的关键。

关键词: 玉米; 机械粒收; 破碎率; 杂质率; 子粒损失率

中图分类号: S513.091

文献标识码: A

Current Quality Status and Influencing Factors of Maize Mechanical Grain Harvesting in Southwest Maize Region

KONG Fan-lei¹, ZHAO Bo¹, ZHOU Mao-lin², SONG Bi³, LEI En⁴, LI Zhong⁵,
LI Xiao-long¹, CHEN Xiang¹, YUAN Ji-chao¹

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Crop Ecophysiology and Cultivation Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdou 611130; 2. Corn Research Institute, Chongqing Academy of Agricultural Sciences, Jiulongpo 401329; 3. College of Agronomy, Guizhou Agricultural University, Guiyang 550025; 4. Honghe University, Honghe 661106; 5. Nanchong Academy of Agricultural Sciences, Nanchong 637000, China)

Abstract: Based on the mechanical grain harvest experiments carried out in four provinces and cities in southwest China from 2017 to 2018, this paper analyzed the quality of mechanical grain harvesting and main factors that affected the grain harvest quality. The results showed that, high grain breakage rate and loss rate were the main quality problems of maize mechanical harvesting in southwest China. The average grain broken rate was 7.41%, and the average total grain loss rate was 5.84%. The grain broken rate and total grain loss rate were both higher than the national standard of 5% [“Technical requirements for maize combine harvester”(GBT-21961-2008)]. There was significant positive correlation between grain breakage rate, impurity rate and grain moisture content, while ear loss rate and total grain loss rate were significantly negative correlation with grain moisture content. Reducing the grain moisture content was beneficial to reduce the grain breakage rate and impurity rate, while it increased the ear loss rate and total grain loss rate. Mechanical grain harvesting quality of maize was different among regions, varieties and combine harvesters. According to the ecological characteristics of maize production region, Carrying out the research on suitable varieties, harvesting conditions and grain harvesting machines were the key measurements to promote the rapid development and application of maize mechanical grain harvesting technology.

Key words: Maize; Mechanical grain harvesting; Broken rate; Impurity rate; Grain loss rate

录用日期: 2019-10-02

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0300307, 2017YFD0301704)

作者简介: 孔凡磊, 副教授, 博士, 从事玉米高产高效栽培技术研究。Tel: 028-86290870 E-mail: kflstar@163.com

袁继超为本文通讯作者。Tel: 028-86290870 E-mail: yuanjichao5@163.com

西南玉米区是我国三大玉米主产区之一,玉米机械化收获率不足2%,玉米收获以人工收穗为主^[1]。玉米机械粒收是采用联合收获机械一次作业完成摘穗、脱粒、清选的收获方式,通过减少了果穗储运、晾晒、脱粒等作业环节,不仅能降低劳动强度、节约人力成本,还可降低晾晒、脱粒过程中的子粒霉烂与损失,是我国玉米机械收获的发展方向^[2,3],也是西南玉米收获方式实现人工收获向子粒收获跨越式发展的必由之路。因此,分析当前西南玉米机械粒收质量现状及其影响因素,对推动机械粒收技术在本区域推广应用具有重要意义。

玉米子粒破碎率、杂质率、损失率为机械粒收质量的主要评价指标^[4]。李少昆团队对北方玉米区机械粒收质量的研究表明^[5,6],北方玉米区子粒破碎率平均达到8.63%、8.56%,杂质率为1.27%,损失率为4.12%,其中破碎率普遍高于≤5%(GBT-21962—2008)的国家标准。玉米子粒破碎率高是我国北方玉米机械粒收技术发展的“瓶颈”性问题^[7]。收获时子粒含水率是影响机械粒收质量的主要原因^[8,9],随子粒含水率降低破碎率先降低后升高,杂质率逐渐降低并趋于稳定,落粒率先降低后升高。子粒含水率相近的不同品种机械粒收破碎率和杂质率存在显著差异,这主要是由于不同玉米品种子粒和穗轴力学特性存在较大差异^[10,11]。同时收获机型号、运行

速度、操作人员等因素也对粒收质量产生一定影响^[12]。当前我国玉米机械化粒收技术研究主要在北方玉米区开展,西南玉米区的相关研究尚属空白。2017~2018年在西南玉米区的四川、重庆、贵州和云南等地开展机械粒收技术试验示范工作,基于获得的890组机械粒收质量数据,分析西南玉米区子粒破碎率、杂质率、损失率等粒收质量现状,并从区域生态、子粒含水率、品种和收获机型上探讨影响粒收质量的因素,为西南玉米机械粒收技术的发展提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验概况

本研究基于2017年和2018年在西南玉米区的四川、重庆、贵州和云南4个省市开展的不同区域类型玉米机械粒收试验与示范工作,玉米收获季节进行田间实测。不同区域玉米类型分别为四川夏玉米、四川春玉米、重庆春玉米、贵州春玉米和云南夏玉米,参试品种包括西南玉米各亚区主栽品种和北方玉米品种粒收1号、郑单958、爱农001共计50余个品种,基本可以代表当前西南玉米生产主要品种和模式,共获得890组机械子粒收获质量样本数据(表1)。

表1 西南玉米区械粒收试验
Table 1 Experiment information of mechanical grain harvesting in southwest maize region

地 点 Region	参试品种 Tested cultivar	样本数(个) Number of sample	收获机型 Harvesting machine
四川中江 夏玉米	奥玉3111、成单30、丹玉336、国豪玉7号、华试919、蠡玉16、粒收1号、联创808、荣玉1510、瑞玉11、先玉1171、延科288、渝单30、渝单8号、渝豪6号、正红211、正红431、正红505、正红6号、郑单958、中单808、中玉335、仲玉3号	220	久保田 4LZY-1.8B
四川南充 春玉米	粒收1号、先玉1171、渝单30、渝单8号、正红431、正红505、正红6号、郑单958、中玉335、仲玉3号、众望玉88	74	艾禾 4LZT-4.0ZB
重庆潼南 春玉米	帮豪58、必胜118、成单30、迪卡M9、贵单8号、金穗33、金穗33、粒收1号、黔1403、荣玉1510、先玉1171、新玉503、渝单30、渝单39、渝单50、渝单8号、渝豪单6号、正红431、正红505、正红6号、郑单958、中单808、中单901、中玉335、仲玉3号、资玉6号	268	沃德 4LZ-3.0E
贵州安顺 春玉米	爱农001、金玉306、金玉579、金玉838、金玉838、金玉932、靖单12、靖单14、靖单15、靖丰18、靖玉1号、粒收1号、黔单16号、荣玉1510、先玉1171、新中玉801、宣黄单17号、渝单8号、珍禾99、正红431、正红6号、郑单958、仲玉3号、筑黄127/S02、筑黄99M/21	180	雷沃 4LZ-4G1
云南红河 夏玉米	宝玉9号、佛单7号、华兴单88、金粒1号、金玉99、靖单12、靖单14、靖单15、靖丰18、粒收1号、五谷3861、先玉1171、先玉696、新中玉801、宣黄单17号、雅玉69、渝单8号、正大619、正红431、郑单958、中玉335	148	久保田 4LZY-1.8B

1.2 项目调查与方法

1.2.1 子粒含水率及杂质率、破碎率

机收前随机取收获区域内长势一致果穗 10~15 个,手工脱粒称鲜重计为 FW,85℃烘干至恒重,称干重计为 DW,计算子粒含水率。机收后取机仓内收获的子粒样品 1~2 kg,手工分拣将其分为子粒和非子粒两部分;子粒部分称重计为 KW,非子粒部分称重计为 NKW;再将子粒部分分为完整子粒和破碎子粒并分别称重,完整子粒重计为 KW1,破碎子粒重计为 BKW。

$$\text{子粒含水率} = \frac{\text{FW} - \text{DW}}{\text{FW}} \times 100\%$$

$$\text{杂质率} = \frac{\text{NKW}}{\text{KW1} + \text{NKW}} \times 100\%$$

$$\text{破碎率} = \frac{\text{BKW}}{\text{KW1} + \text{BKW}} \times 100\%$$

1.2.2 落穗率、落粒率和机收损失率

在已收割地块随机选取 3 个样点,每个样点取 5 m 长一个割幅宽(3 行玉米)面积作为样区,收集样区内所有的落穗和落粒,并分别称其子粒重,并按样区面积计算单位面积的落穗粒重和落粒重,单位面积落粒重计为 SKW,单位面积落穗粒重计为 GKW,并根据单位面积产量计算落粒损失率、落穗损失率。

$$\text{机收落粒损失率} = \frac{\text{SKW}}{\text{单位面积产量}} \times 100\%$$

$$\text{机收落穗损失率} = \frac{\text{GKW}}{\text{单位面积产量}} \times 100\%$$

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2013 和 SPSS Statistics17.0 软件对数据进行处理和统计分析,Origin2017 作图。

2 结果与分析

2.1 西南玉米机械粒收质量现状

由表 2 可见,西南地区玉米机械粒收 890 个样本子粒含水率分布范围 14.40%~57.54%,平均为 26.66%,变异系数为 22.09%;子粒杂质率分布范围 0.13%~13.61%,均值为 2.18%,低于≤3%的国标“玉米收获机械技术条件”(GBT-21961—2008)要求;破碎率分布范围 0.10%~36.52%,均值为 7.41%,高于≤5%的国标(GBT-21961—2008)要求;落粒损失率分布范围 0.03%~9.35%,平均为 1.57%;落穗损失率分布范围 0~40.00%,平均为 5.63%。机收总损失率分布范围 0.12~40.88%,均值为 5.84%,高于≤5%的国标(GBT-21961—2008)标准。机收损失率主要由落粒和落穗两部分组成,其中落粒、落穗损失分别占总损失率的 26.80%和 73.20%。总体来看,西南玉米收获时子粒含水率分布范围跨度大,机械粒收质量指标的变异系数均较高,表明玉米机械粒收质量在区域、品种、收获机型间和收获条件变化较大。

表 2 西南玉米子粒收获质量指标统计

Table 2 The statistical description of maize grain harvesting quality in southwest maize region %

调查指标 Investigative index	平均值 Average	最大值 Max	最小值 Min	极 差 Range	变异系数(%) CV
子粒含水率	26.66	57.54	14.40	43.15	22.09
杂质率	1.66	13.61	0.07	13.54	97.17
破碎率	7.41	36.52	0.10	36.42	69.48
落粒损失率	1.57	9.35	0.03	9.32	79.34
落穗损失率	5.63	40.00	0.00	40.00	96.19
总损失率	5.84	40.88	0.12	40.76	82.66

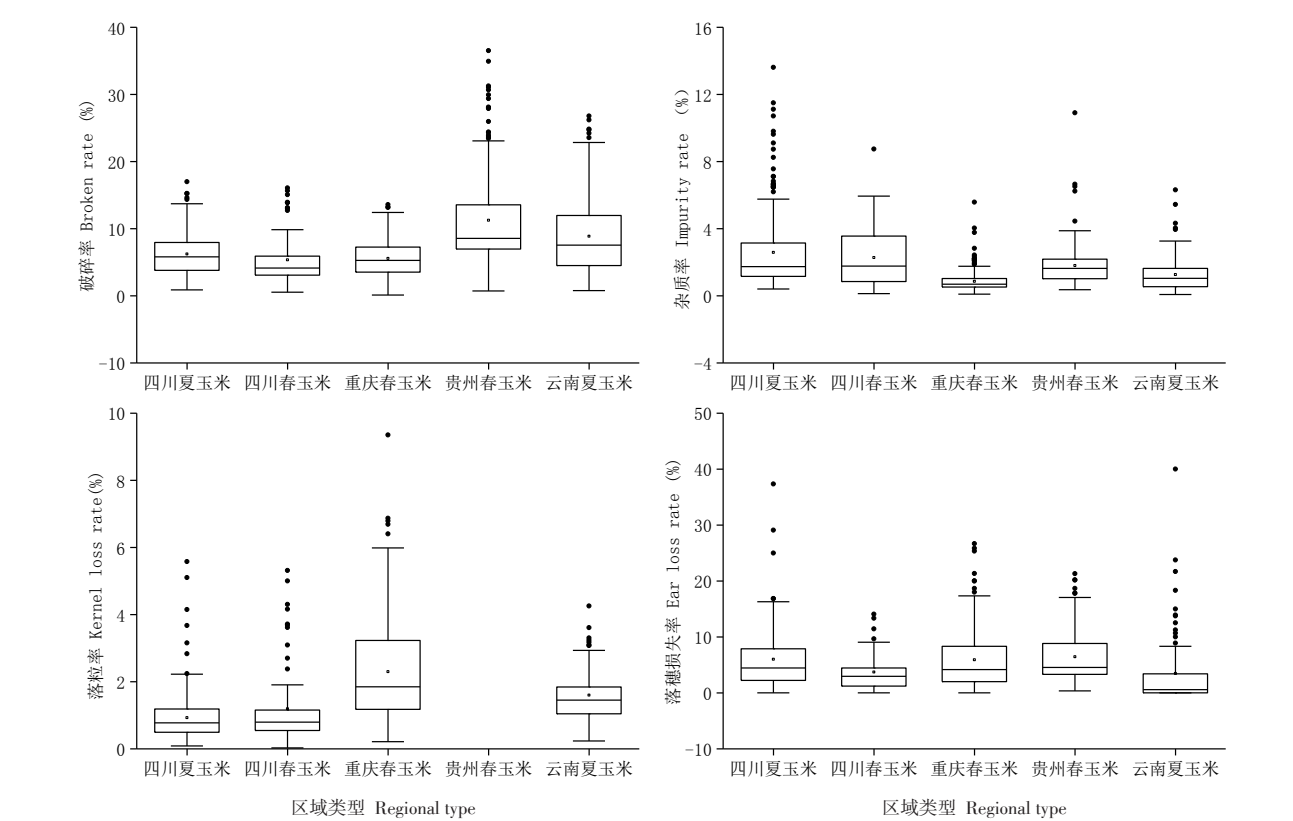
2.2 不同区域玉米机械粒收质量

从图 1 可以看出,不同区域玉米机械粒收质量存在差异。各区域子粒破碎率均高于 5%,四川夏玉米、四川春玉米、重庆春玉米、贵州春玉米和云南夏玉米破碎率平均值分别为 6.23%、5.33%、5.56%、11.26%和 8.87%,四川夏玉米、四川春玉米和重庆春玉米破碎率低于 8%。测试样本破碎率高于 5%和 8%的占比分别为 65.06%和 32.47%。杂质率以重庆春玉米最低,为 0.86%,且各区域杂质率平均值均达到≤3%的国标(GBT-21961—2008)要求。测试样本

杂质率高于 3%的占比 12.81%。四川夏玉米、四川春玉米、重庆春玉米和云南夏玉米落粒损失率平均值分别为 0.93%、1.19%、2.30%、1.60%。四川夏玉米、四川春玉米、重庆春玉米、贵州春玉米和云南夏玉米落穗损失率平均值分别为 6.00%、3.72%、5.91%、6.45%、3.47%、5.63%。

从机械粒收总损失率看(表 3),云南夏玉米测试样本总损失率平均为 4.21%,达到≤5%的国标(GBT-21961—2008)要求,其他区域总损失率平均值均高于 5%。西南地区春玉米机收总损失率的变异系数

总体小于夏玉米,四川春玉米总损失率分布范围为0.3%~19.39%,重庆春玉米为0.12%~27.99%,贵州春玉米为0.35%~21.31%,四川夏玉米总损失率分布范围为0.18%~40.17%,云南夏玉米为0.24%~40.88%。西南区测试样本总损失率高于5%和10%的占比分别为44.38%和15.33%。



注:箱形图中箱体部分代表50%(25%~75%)样本的分布区域,为四分位区间(IQR)。两端线为Tukey法判定的合理观测样本边界。箱体
内实线为样本中位数,“•”为异常值点,“□”为样本均值。
Note: The main box called IQR contains fifty percent samples in Box-whisker Plot. The two sidelines mean the reasonable sample border in
Tukey method. The solid line in box positions the sample median. “•” Stands for the outlier. “□” Stands for the average.

图1 不同区域玉米机械粒收质量变化
Fig.1 Mechanical grain harvesting quality of maize in different regions

表3 玉米子粒收获总损失率统计
Table 3 The statistical description of total loss rate with maize grain harvesting %

区域类型 Regional type	平均值 Average	最大值 Max	最小值 Min	极 差 Range	变异系数 CV
四川夏玉米	6.95	40.17	0.18	39.99	85.21
四川春玉米	5.41	19.39	0.30	19.09	81.90
重庆春玉米	5.67	27.99	0.12	27.87	63.94
贵州春玉米	6.45	21.31	0.35	20.96	70.59
云南夏玉米	4.21	40.88	0.24	40.64	142.10
西南玉米	5.84	40.88	0.12	40.76	82.66

2.3 机械粒收质量指标与子粒含水率的相关性

相关分析表明(表 4),子粒破碎率、杂质率、落穗损失率和总损失率与子粒含水率呈极显著相关关系,其中破碎率、杂质率与子粒含水率呈正相关,落穗损失率、总损失率与子粒含水率呈负相关,说明适

宜的子粒含水率是提高机械粒收质量的关键。破碎率与杂质率呈极显著正相关关系。落粒损失率、落穗损失率与总损失率均呈极显著正相关,其中落穗损失率与总损失率的关系最密切,说明落穗损失是机械粒收损失的主要因素。

表 4 子粒含水率和机收质量指标间的相关系数

Table 4 The correlation coefficient between grain moisture content and quality of mechanical grain harvesting

指 标 Index	破碎率 Broken rate	杂质率 Impurity rate	落粒损失率 Kernel loss rate	落穗损失率 Ear loss rate	总损失率 Total loss rate
杂质率	0.32**				
落粒损失率	0.12	0.08			
落穗损失率	-0.12	0.08	0.10		
总损失率	-0.09	0.06	0.26**	0.99**	
子粒含水率	0.51**	0.15*	0.12	-0.39**	-0.35**

注:*在 0.05 水平上差异显著,**在 0.01 水平上差异显著。
Note: * represents significant at the 0.05 probability level, ** represents significant at the 0.01 probability level.

2.4 不同子粒含水率下机械粒收质量差异

子粒含水率是影响机械粒收质量的重要因素。为避免不同收获机型和品种的影响,对同一收获机型同一品种不同子粒含水率下粒收质量进行分析(表 5)。子粒含水率降低,机械粒收破碎率、杂质率均呈明显降低的趋势,落穗损失率和总损失率则呈增加的趋势。可见,子粒含水率对机械粒收质量指标的影响不同,子粒含水率降低有利于降低破碎率和杂质率,但随着植株站秆脱水会增加落穗损失和总损失率。因此,玉米子粒含水率在适宜范围内收

获才能确保较高的粒收质量,过高和过低均不适宜。

2.5 不同玉米品种机械粒收质量差异

对同一收获机型和相近子粒含水率下不同玉米品种粒收质量的分析表明,玉米机械粒收质量在品种间差异显著(表 6)。机收质量各指标在品种间差异显著,4 个品种在子粒含水率相近同一收获机收获下,国豪玉 7 号破碎率最高,杂质率最低;华试 919 杂质率最高;落粒损失率和落穗损失率以延科 288 最高。可见,机械粒收质量在品种间差异显著,且各粒收质量指标在品种间的表现也各不相同。

表 5 不同子粒含水率下机械粒收质量

Table 5 The quality of mechanical grain harvesting in different grain moisture content %

品 种 Cultivar	子粒含水率 Grain moisture content	破碎率 Broken rate	杂质率 Impurity rate	落粒损失率 Kernel loss rate	落穗损失率 Ear loss rate	总损失率 Total loss rate
正红 6 号	33.94 A	1.53 A	7.74 A	0.74 ab	0.53 C	1.27 C
正红 6 号	27.55 B	0.43 B	5.52 B	1.01 a	4.83 B	5.85 B
正红 6 号	23.03 C	0.24 C	2.62 C	0.54 b	13.33 A	13.87 A

注:不同小写字母表示 0.05 水平差异显著,不同大写字母表示 0.01 水平差异显著。下表同。
Note: Different lowercase shows significant at 0.05 level, and different uppercase shows significant at 0.01 level. The same below.

表 6 不同玉米品种机械粒收质量

Table 6 The quality of mechanical grain harvesting in different maize cultivars %

品 种 Cultivar	子粒含水率 Grain moisture content	破碎率 Broken rate	杂质率 Impurity rate	落粒损失率 Kernel loss rate	落穗损失率 Ear loss rate	总损失率 Total loss rate
延科 288	29.79 a	1.39 c	5.15 a	3.67 a	12.41 a	16.09 a
华试 919	29.70 a	3.31 b	6.09 a	1.54 b	4.14 c	5.68 c
国豪玉 7 号	29.76 a	4.62 a	2.25 b	0.42 c	2.42 d	2.84 d
正红 505	29.72 a	1.55 c	2.56 b	0.21 c	10.16 b	10.37 b

2.6 不同机型玉米机械粒收质量差异

对相同品种子粒含水率相近条件下不同收获机型玉米机械粒收质量的分析表明,玉米机械粒收质

量在不同收获机型间也存在显著差异(表 7)。机型间破碎率、杂质率和落粒损失率变异系数较大,落穗损失率和总损失率变异系数较小。可见,不同机型

表7 不同收获机型对玉米机械粒收质量的影响

Table 7 Effects of different machinery on the quality of grain harvesting %

项 目	子粒含水率	破碎率	杂质率	落粒损失率	落穗损失率	总损失率
Item	Grain moisture content	Broken rate	Impurity rate	Kernel loss rate	Ear loss rate	Total loss rate
机型1	28.14	2.31 b	5.24 b	0.96 b	4.97 b	5.93 b
机型2	28.50	3.36 a	3.64 c	2.12 a	4.90 b	7.02 a
机型3	28.08	0.68 d	6.15 b	2.24 a	5.82 a	5.33 b
机型4	28.99	1.51 c	10.04 a	—	5.68 a	—
平均值	—	1.97	6.27	1.77	5.34	6.09
变异系数(%)	—	58.13	43.41	39.85	8.90	13.99

对机械粒收质量的影响主要表现在破碎率、杂质率和落粒损失上。

3 结论与讨论

3.1 子粒破碎率和损失率高是西南玉米机械粒收存在的主要质量问题

对西南5个省市890组样本测试结果表明,在子粒破碎率、杂质率、落粒损失率、落穗损失率和总损失率5项机械粒收质量指标中,杂质率平均为2.18%,低于≤3%的国标“玉米收获机械技术条件”(GBT-21961—2008)要求;破碎率平均为7.41%,机收总损失率平均为5.84%,均高于≤5%的国标要求。可见机收子粒破碎率和损失率高是当前西南玉米机械粒收存在的主要问题。破碎率高不仅降低玉米品质等级和销售价格,同时贮藏过程中易霉变变质^[13-15],已成为当我国玉米机械粒收存在的主要质量问题。造成玉米子粒破碎率高的原因很多,主要包括品种、机械、收获时子粒含水率、栽培措施^[16-19]等。

玉米损失率过高一方面降低玉米子粒收获产量,同时降低农民采用机械粒收机收技术的意愿^[20]。我国北方玉米机械粒收总损失率平均为4.12%,西南地区玉米粒收总损失率平均为5.84%,明显高于国标要求和北方玉米。这可能与西南地区玉米以高秆大穗品种为主,机械收获落穗高有关。西南玉米机收总损失率中落粒损失率平均为1.57%,落穗损失率平均为5.63%,落穗损失占总损失率的73.20%。西南玉米机械粒收质量指标的变异系数均较高,表明机械粒收质量在区域、品种、收获机型间和收获条件变化较大。因此,加强区域生态条件下玉米适宜机械粒收品种和相关配套技术的研究,降低玉米粒收破碎率和损失率是西南地区玉米机械粒收技术发展迫切需要解决的问题。

3.2 适宜子粒含水率是确保机械粒收质量的关键

子粒含水率是影响机械粒收质量的重要因素。

机械粒收破碎率随着子粒含水率降低先降低后升高,子粒破碎率与子粒含水率间符合线性和二次多项式关系^[24]。杂质率随子粒含水率降低逐渐降低并趋于稳定,落粒率随子粒含水率降低呈先降低后升高的趋势。本文对同一收获机型同一品种不同子粒含水率下粒收质量分析表明,子粒含水率对机械粒收质量指标的影响不同,子粒破碎率、杂质率与子粒含水率呈显著正相关,落穗损失率、总损失率与子粒含水率呈极显著负相关。子粒含水率降低有利于降低破碎率、杂质率,但子粒含水率降低会导致落穗损失率和总损失率显著提高,进而降低玉米机械粒收质量和收获效率。生理成熟后玉米植株在田间站秆脱水2~4周才能达到粒收破碎率要求^[24],但会增加玉米倒伏风险进而增加粒收损失。因此,玉米子粒含水率在适宜范围内收获才能兼顾子粒破碎率、杂质率和损失率等质量指标,确保较高的粒收质量,过高和过低均不适宜。

3.3 玉米机械粒收质量存在区域、品种和机型间差异

生态条件、品种和收获机型是影响玉米机械粒收质量的主要因素^[26]。西南不同区域玉米生产生态条件存在明显差异,各区域测试样本破碎率均值均高于≤5%的国标(GBT-21961—2008)要求,四川春玉米和重庆春玉米子粒破碎率较低,贵州春玉米和云南夏玉米破碎率平均分别为11.26%和8.87%,高于其他区域。这可能是由于不同生态条件玉米生长发育特别是子粒发育阶段的气候条件不同,导致不同区域子粒破碎率存在较大差异。西南玉米所有测试样本破碎率高于5%和8%的占比分别为65.06%和32.47%,杂质率高于3%的仅占12.81%。云南夏玉米测试样本总损失率平均为4.21%,达到≤5%的国标要求,其他区域总损失率平均值均高于5%。西南地区春玉米机收总损失率的变异系数总体小于夏玉米,测试样本总损失率高于5%的占比为44.38%。

品种是影响机械粒收质量的重要因素,不同品种种子粒破碎敏感度不同^[27]。品种间粒收质量差异显著,且品种在不同粒收质量指标的表现也存在差异。同一机型子粒含水率相近条件下国豪玉7号破碎率最高,杂质率最低;落粒损失率和落穗损失率以延科288最高。可见,机收质量指标在品种间的表现存在不一致性。适宜机械粒收的品种应满足并同时达到机械粒收质量各指标的要求。不同收获机型粒收质量存在显著差异,是影响机械粒收质量的另一个重要因素。对相同品种不同收获机型玉米机械粒收质量的分析表明,不同机型对机械粒收质量的影响主要表现在破碎率、杂质率和落粒损失上,而不同机型落穗损失率和总损失率变异系数较小。由于不同收获机型其脱粒、清选等装置参数和制造工艺不同,脱粒破碎和清选效果不同,导致破碎率、杂质率和落粒损失存在明显差异。因此,在玉米机械粒收研究中要根据不同生态条件,选择适宜机械粒收品种和收获条件的基础上,加强粒收机械的研究,才能推动玉米机械粒收技术的快速发展和应用。

参考文献:

- 钟耕臣,安艳玲.西南丘陵地区玉米机械化收获的现状与发展建议[J].吉林农业,2018(16):32-33.
Zhong G C, An Y L. The current situation and development suggestions of corn mechanized harvesting in hilly areas of southwestern China[J]. Jilin Agriculture, 2018(16): 32-33. (in Chinese)
- 李少昆,王克如,谢瑞芝,等.机械粒收推动玉米生产方式转型[J].中国农业科学,2018,51(10):1842-1844.
Li S K, Wang K R, Xie R Z, et al. Grain mechanical harvesting technology promotes the transformation of maize production mode[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(10): 1842-1844. (in Chinese)
- 李少昆,王克如,谢瑞芝,等.实施密植高产机械化生产实现玉米高产高效协同[J].作物杂志,2016(4):1-6.
Li S K, Wang K R, Xie R Z, et al. Implementing higher population and full mechanization technologies to achieve high yield and high efficiency in maize production[J]. Crops, 2016(4): 1-6. (in Chinese)
- 中华人民共和国质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.玉米收获机械技术条件[S].GB/T 21962-2008.
- 柴宗文,王克如,郭银巧,等.玉米机械粒收质量现状及其与含水率的关系[J].中国农业科学,2017,50(11):2036-2043.
Chai Z W, Wang K R, Guo Y Q, et al. Current status of maize mechanical grain harvesting and its relationship with grain moisture content[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2036-2043. (in Chinese)
- 李少昆,王克如,谢瑞芝,等.玉米子粒机械收获破碎率研究[J].作物杂志,2017(2):76-80.
Li S K, Wang K R, Xie R Z, et al. Grain breakage rate of maize by mechanical harvesting in China[J]. Crops, 2017(2): 76-80. (in Chinese)
- 王克如,李少昆.玉米机械粒收破碎率研究进展[J].中国农业科学,2017,50(11):2018-2026.
Wang K R, Li S K. Progresses in research on grain broken rate by mechanical grain harvesting[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2018-2026. (in Chinese)
- 李璐璐,雷晓鹏,谢瑞芝,等.夏玉米机械粒收质量影响因素分析[J].中国农业科学,2017,50(11):2044-2051.
Li L L, Lei X P, Xie R Z, et al. Analysis of influential factors on mechanical grain harvest quality of summer maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(11): 2044-2051. (in Chinese)
- 李璐璐,薛军,谢瑞芝,等.夏玉米子粒含水率对机械粒收质量的影响[J].作物学报,2018,44(12):1747-1754.
Li L L, Xue J, Xie R Z, et al. Effects of grain moisture content on mechanical grain harvesting quality of summer maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2018, 44(12): 1747-1754. (in Chinese)
- 薛军,李璐璐,张万旭,等.玉米穗轴机械强度及其对机械粒收子粒破碎率的影响[J].中国农业科学,2018,51(10):1868-1877.
Xue J, Li L L, Zhang W X, et al. Maize cob mechanical strength and its influence on kernel broken rate[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2018, 51(10): 1868-1877. (in Chinese)
- 李心平,李玉柱,高吭,等.种子玉米子粒仿生脱粒机理分析[J].农业机械学报,2011,42(2):99-103.
Li X P, Li Y Z, Gao H, et al. Bionic threshing process analysis of seed corn kernel[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(2): 99-103. (in Chinese)
- 柳枫贺,王克如,李健,等.影响玉米机械收粒质量因素的分析[J].作物杂志,2013(4):116-119.
Liu F H, Wang K R, Li J, et al. Factors affecting corn mechanically harvesting grain quality[J]. Crops, 2013(4): 116-119. (in Chinese)
- 郝付平,陈志.国内外玉米收获机械研究现状及思考[J].农机化研究,2007(10):206-208.
Hao F P, Chen Z. Actuality of domestic and foreign corn harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2007(10): 206-208. (in Chinese)
- Dutta K P. Effects of grain moisture, drying methods, and variety on breakage susceptibility of shelled corns as measured by the Wisconsin Breakage Tester[D]. Ames: Iowa State University, 1986.
- Waelti H, Buchele W F. Factors affecting corn kernel damage combine cylinders[J]. Transactions of the ASAE, 1969, 12(1): 55-59.
- Waelti H. Physical properties and morphological characteristics of maize and their influence on threshing injury of kernels[D]. Ames: Iowa State University, 1967.
- 李心平,高春燕,刘赢,等.玉米果穗喂入形式与子粒破碎率的关系研究[J].农机化研究,2013,35(12):137-140.
Li X P, Gao C Y, Liu Y, et al. Study on relationship of feeding form of corn ear and breaking damage rate of corn kernels[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2013, 35(12): 137-140. (in Chinese)
- 王克如,李璐璐,郭银巧,等.不同机械作业对玉米子粒收获质量的影响[J].玉米科学,2016,24(1):114-116.
Wang K R, Li L L, Guo Y Q, et al. Effects of different mechanical operation on maize grain harvest quality [J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(01): 114-116. (in Chinese)

- [19] Bauer P J, Carter P R. Effect of seeding date plant density, moisture availability and soil nitrogen fertility on maize kernel breakage susceptibility[J]. *Crop Science*, 1986, 26(6): 1220-1226.
- [20] 高巍,陈志,黄玉祥,等. 吉林省农户采用玉米机械化收获的影响因素分析[J]. *农业机械学报*, 2012, 43(S1): 175-179.
Gao W, Chen Z, Huang Y X, et al. Analysis of influencing factors on farmers' adoption of maize mechanized harvesting in Jilin province[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(S1): 175-179. (in Chinese)
- [21] 李少昆. 我国玉米机械粒收质量影响因素及粒收技术的发展方向[J]. *石河子大学学报(自然科学版)*, 2017, 35(3): 265-272.
Li S K. Factors affecting the quality of maize grain mechanical harvest and the development trend of grain harvest technology[J]. *Journal of Shihezi University*, 2017, 35(3): 265-272. (in Chinese)
- [22] Plett S. Corn kernel breakage as a function of grain moisture at harvest in a prairie environment[J]. *Canada Journal Plant Science*, 1994, 74(3): 543-544.
- [23] 蔡超杰,陈志,韩增德,等. 种子玉米生物力学特性与脱粒性能的关系研究[J]. *农机化研究*, 2017, 39(4): 192-196.
Cai C J, Chen Z, Han Z D, et al. Study on relationship of biomechanical characteristics of corn seed and threshing performance[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017, 39(4): 192-196. (in Chinese)
- [24] 王克如,孔令杰,袁建华,等. 江苏沿海地区夏玉米机械粒收质量与品种筛选研究[J]. *玉米科学*, 2018, 26(5): 110-116.
Wang K R, Kong L J, Yuan J H, et al. Grain quality of maize mechanical kernel harvest and varieties screen in Jiangsu coastal area[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2018, 26(5): 110-116. (in Chinese)
- [25] Moentono M D, Darrah L L, Zuber. Effects of selection for stalk strength on response to plant density and level of nitrogen application in maize[J]. *Hawaii International Conference on System Sciences*, 1984, 1(2): 3265.
- [26] 樊晨龙,崔涛,张东兴,等. 低损伤组合式玉米脱粒分离装置设计与试验[J]. *农业机械学报*, 2019, 50(4): 113-123.
Fan C L, Cui T, Zhang D X, et al. Design and test of low-damage combined corn threshing and separating device[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2019, 50(04): 113-123. (in Chinese)
- [27] 王进军,桑立君. 玉米籽粒机收发展及其与品种的关系[J]. *东北农业科学*, 2020, 45(3): 22-24, 40.
Wang J J, Sang L J. Development of mechanical harvesting of maize grain and its relationship with varieties[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2020, 45(3): 22-24, 40. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)