

四川省夏玉米机械化籽粒收获质量及其影响因素

赵波¹ 詹小旭¹ 李小龙¹ 吴雅薇¹ 柯永培² 袁继超¹ 孔凡磊^{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, 四川 温江 611130;

2. 四川农大正红生物技术有限责任公司, 四川 双流 610213)

摘要 为明确四川省夏玉米机械化粒收质量现状及主要影响因素,2017—2018年对四川省大面积主推的20余个玉米品种开展机械粒收试验,测定各参试品种植株性状、果穗性状及每次收获各品种的茎秆、穗轴、籽粒含水率,籽粒和穗轴力学强度,机械粒收质量。结果表明:1)2年收获的籽粒含水率为10.14%~37.16%,90.00%的测试样本籽粒含水率在29.00%以下;破碎率为5.80%,未达到 $\leq 5.00\%$ 的国家标准;杂质率为2.56%,符合 $\leq 3.00\%$ 的国家标准;落粒率为1.02%。收获推迟可降低籽粒含水率,能提高玉米机械粒收质量;2)破碎率在品种间差异明显,主要受籽粒含水率和籽粒力学强度的影响;穗轴是杂质的主要成分,杂质率与穗轴含水率及力学强度关系密切;随籽粒含水率的降低,落粒率呈逐渐降低的趋势。四川省单作夏玉米可满足机械粒收对籽粒含水率的要求,选用生育后期脱水快、籽粒物理力学特性适宜、穗轴力学强度小、韧性强、株高及穗位高适宜的品种,并根据气候条件及作物衔接情况适时晚收,来提高四川省夏玉米机械粒收质量。

关键词 四川夏玉米; 机械粒收; 含水率; 破碎率; 影响因素

中图分类号 S372

文章编号 1007-4333(2019)04-0031-10

文献标志码 A

Mechanical grain harvesting quality of summer maize in Sichuan and its influencing factors

ZHAO Bo¹, ZHAN Xiaoxu¹, LI Xiaolong¹, WU Yawei¹, KE Yongpei², YUAN Jichao¹, KONG Fanlei^{1*}

(1. College of Agronomy/Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology and Cultivation in Sichuan Province,

Sichuan Agricultural University, Wenjiang 611130, China;

2. Sichuan Nongda Zhenghong Bio. Co., Ltd., Shuangliu 610213, China)

Abstract The aim of this study was to clarify the present situation and main influencing factors of mechanized grain harvesting quality of summer maize in Sichuan Province. From 2017 to 2018, mechanical grain harvesting experiments were carried out on more than 20 maize varieties in Sichuan Province. The plant traits, ear traits, organ moisture content, mechanical strength of grain and cob, and mechanical grain harvesting quality of the tested varieties were investigated. The results showed that: 1) The grain moisture content harvesting in two years ranged from 10.14% to 37.16%, the grain moisture content in 90.00% of test samples was below 29.00%. The average broken rate was 5.80%, which was higher than the national standard of $\leq 5.00\%$. The average impurity rate was 2.56%, which was lower than the national standard of $\leq 3.00\%$, and the average grain loss rate was 1.02%. Postponed harvesting reduced grain moisture content and significantly improved mechanical grain harvesting quality. 2) The broken rate, which was significantly different among varieties, was mainly affected by grain moisture content and grain mechanical strength. Cob was the main component of impurity, and the impurity rate was closely related to the cob moisture content and mechanical strength. The grain loss rate gradually decreased with the decrease of grain moisture content. Sichuan net-cropping summer maize could meet the requirement of mechanical grain harvesting for grain moisture

收稿日期: 2019-05-28

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

第一作者: 赵波, 硕士研究生, E-mail: sicauzb4633@163.com

通讯作者: 孔凡磊, 副教授, 主要从事农作制度与玉米高产高效栽培技术研究, E-mail: kflstar@163.com

content. The varieties with fast dehydration in late development period, suitable physical and mechanical characteristic of grain, low mechanical strength and strong toughness of cob, suitable plant and ear height were selected. According to climatic conditions and crop cohesion, in time and late harvest is necessary to improve the mechanical grain harvesting quality of Sichuan summer maize.

Keywords summer maize in Sichuan; mechanical grain harvesting; moisture content; broken rate; influencing factors

2010年我国玉米种植面积突破3 330万 hm^2 ,已成为全国种植面积第一的农作物^[1]。其中四川省种植面积在西南玉米生产区第一,全国第九。受种植模式和生产生态条件限制,当前四川省玉米生产仍然以人工穗收、晾晒脱粒为主要的收获方式,存在劳动力成本高、效益效率低和晾晒困难的问题,导致种粮大户普遍存在生产经营亏损的问题。同时,传统的套作(三熟春播)玉米生产由于难以解决机械化问题,适合机械化作业的单作两熟夏玉米得到了快速发展,推广应用面积逐年增加。采用机械粒收可显著提高生产效率,降低人工成本,是四川省玉米机械化生产的迫切需求,开展四川省夏玉米机械粒收研究迫在眉睫。玉米机械粒收破碎率、杂质率和损失率为评价机械粒收质量的主要指标^[2-3]。国内外相关研究表明,破碎率、杂质率、损失率与机械粒收籽粒含水率、品种、收获机型、田间倒伏(倒折)率等关系密切^[4-11]。受农民种植习惯的影响,四川省的玉米品种主要以高秆大穗晚熟品种为主,而玉米机械粒收要求株型适宜、早熟脱水快的品种^[2,12]。

玉米机械粒收的相关研究集中于北方地区,西南玉米生产区鲜见相关报道。本研究选用四川省大

面积主推的20余个玉米品种,于2017—2018年开展分期玉米机械粒收试验,分析机械粒收质量指标与植株性状、果穗性状、器官含水率、籽粒及穗轴力学强度间的关系,旨在明确四川省夏玉米机械粒收质量现状及粒收质量的主要影响因素,以期为该区域夏玉米机械粒收技术的研究、推广以及宜机械粒收品种的选育提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

于2017—2018年在四川省中江县辑庆镇试验基地($31^{\circ}03' \text{N}$, $104^{\circ}68' \text{E}$)开展试验研究。参试品种采用60 cm等行距种植,每品种种植3行,行长25 m,3次重复,随机排列,密度为45 000株/ hm^2 。在玉米成熟期进行机械粒收,2017年于8月27日和9月15日,2018年于9月8日和9月16日收获,收获机型为久保田4LZY-1.8B,配套家家乐4YG-4A玉米收割台(3行收割,60 cm+60 cm+60 cm),参照“玉米收获机械 试验方法”(GBT-21961—2008)^[13]标准调查各参试品种机械粒收质量。田间管理同当地实际生产,参试品种、播种日期和收获日期,见表1。

表1 试验基本情况

Table 1 Information of the experiments

年份 Year	品种个数 No. of cultivars	品种 Cultivar	播种时间/ (月-日) Sowing date	收获时间/ (月-日) Harvest date
2017	20	正红 505、中单 808、渝单 8 号、荣玉 1510、瑞玉 11、渝单 30、丹玉 336、正红 6 号、郑单 958、粒收 1 号、渝豪单 6 号、仲玉 3 号、成单 30、正红 211、正红 431、先玉 1171、延科 288、国豪玉 7 号、华试 919、蠡玉 16 号	05-15	08-27,09-15
2018	15	正红 431、奥玉 3111、先玉 1171、正红 505、粒收 1 号、正红 6 号、中玉 335、延科 288、联创 808、丹玉 336、仲玉 3 号、渝单 8 号、渝单 30、荣玉 1510、郑单 958	05-17	09-08,09-16

1.2 测定项目与方法

1.2.1 植株、果穗性状

于吐丝期每个参试品种选择 30 株代表性植株

(分为 3 个重复,每重复 10 株),分别量取株高、穗位高和茎粗。于生理成熟期每个参试品种选择 30 个代表性果穗(分为 3 个重复,每重复 10 个),用电子

游标卡尺测量果穗中部直径,然后人工脱粒,再测量穗轴中部直径。

1.2.2 籽粒、穗轴和茎秆含水率

每次收获前,在规定的收获区域内随机取样长势一致的15株植株,分为3个重复,再人为进行植株分离,分为茎秆和果穗,并将果穗脱粒,分为籽粒和穗轴,再称取籽粒、穗轴和茎秆的鲜重,85℃烘干至恒重,称干重,计算含水率。

$$\text{含水率} = \frac{\text{鲜重} - \text{干重}}{\text{鲜重}} \times 100\%$$

1.2.3 籽粒、穗轴力学强度

从测定籽粒含水率的样品(经充分混匀)中随机选取完整籽粒90粒,用石家庄艾沃士科技有限公司生产的玉米茎秆强度测定仪(型号:AWOS-SL0,500 N量程),采用截面为1 cm²的圆形探测头测定并记录玉米籽粒立面和侧面被测头恰好压碎时的最大值。每一品种籽粒各面分别测定45粒,每15粒为1个重复,共3次重复。

测定并记录穗轴被折断时的最大值,测定5个穗轴,3次重复;同时采用截面为1 cm²的圆形探测头测定并记录穗轴被测头压碎时的最大值,测定5个穗轴,3次重复。

1.2.4 机械粒收质量

每次分品种收获后,将收获机机仓内全部籽粒抽空并装袋。将装袋籽粒充分混匀后随机取2 kg(W_h),取3次(分为3个重复);参照“玉米收获机械试验方法”(GBT-21961—2008)^[13],人工去除非籽粒部分,并称取非籽粒部分质量(W_z),再拣出机器损伤、有明显裂纹及破皮的籽粒,分别称出破碎籽粒质量(W_s)及样品籽粒总质量(W_i),按以下公式计算籽粒破碎率(Z_s)、杂质率(Z_z)。将非籽粒部分(杂质)按穗轴、茎秆、残渣、其他进行组别分类。

$$Z_s = W_s / W_i \times 100\%$$

$$Z_z = W_z / W_h \times 100\%$$

在每个品种完成机械粒收后随机选取3个测试区域,每个区域取2 m长一个割幅宽(3行玉米),收集区域内的所有的落粒,然后称取籽粒重量,按照区域面积计算单位面积的落粒率。

$$\text{落粒率} = \frac{\text{单位面积田间落粒重}}{\text{单位面积实收产量}} \times 100\%$$

1.3 数据处理

采用 Excel 2013 对数据进行处理, SPSS

Statistics 17.0 软件进行统计分析, Origin 9.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 2017 和 2018 年四川省夏玉米机械粒收质量

表2所示,2017年夏玉米机械粒收籽粒破碎率为4.91%和4.27%,符合国家“玉米收获机械技术条件”(GBT-21962—2008)^[3]破碎率标准($\leq 5.00\%$);杂质率为4.40%和1.90%;落粒率为1.30%和0.39%;籽粒含水率为27.06%和14.29%。2018年破碎率为8.00%和6.00%,未达到 $\leq 5.00\%$ 的国家标准;杂质率为2.32%和1.62%,符合国家“玉米收获机械技术条件”(GBT-21962—2008)^[3]杂质率标准($\leq 3.00\%$);落粒率为1.38%和1.00%;籽粒含水率为24.98%和22.92%。籽粒含水率的变异系数在4次收获中均明显低于其他3项调查指标,且随着籽粒含水率的下降,破碎率的变异系数有降低的趋势。

表3可知,2017年2次机械粒收符合破碎率标准($\leq 5.00\%$)的样本占比为60.00%和70.00%,杂质率符合标准($\leq 3.00\%$)的样本占比为40.00%和80.00%,籽粒含水率符合 $\leq 28.00\%$ 的样本占比为60.00%和100.00%;2018年2次机械粒收符合破碎率标准($\leq 5.00\%$)的样本占比为24.44%和42.22%,杂质率符合标准($\leq 3.00\%$)的样本占比为73.33%和88.89%,籽粒含水率符合 $\leq 28.00\%$ 的样本占比为75.56%和95.56%。可见,品种间机械粒收质量存在差异,随着收获时期的延迟,籽粒含水率下降,各机械粒收指标均降低,达到国家标准要求的占比增加。

2.2 关于玉米机械粒收质量指标的相关性

表4可知,破碎率与籽粒含水率呈极显著正相关,与籽粒立面、侧面压碎强度分别呈极显著和显著负相关,与其余指标间相关性不显著;杂质率与籽粒含水率、穗轴含水率、株高、穗位高、穗轴压折强度呈极显著正相关,与籽粒立面压碎强度呈极显著负相关,与其余指标间相关性不显著;落粒率与籽粒含水率呈极显著正相关,与茎秆含水率呈显著负相关,与其余指标间相关性不显著。

2.3 影响籽粒破碎率的因素分析

图1可知,随着籽粒含水率的下降机械粒收破碎率逐渐降低,两者间符合线性关系,当籽粒含水率 $\leq 20\%$,不同品种间破碎率差异逐渐缩小,在籽粒含

表2 夏玉米机械粒收质量

Table 2 Mechanical grain harvest quality of summer maize

年份 Year	收获时间 Harvest date	调查指标 Variability	样本量 Number	最大值/% Maximum	最小值/% Minimum	平均值/% Average	极差/% Range	变异系数 CV
2017	08-27	破碎率 Broken rate	40	12.90	1.19	4.91	11.71	65.28
		杂质率 Impurity rate	40	9.10	1.39	4.40	7.71	55.39
		落粒率 Grain loss rate	40	5.09	0.08	1.30	5.01	91.57
		籽粒含水率 Grain moisture content	40	37.16	17.87	27.06	19.29	21.54
	09-15	破碎率 Broken rate	40	8.90	1.67	4.27	7.23	45.11
		杂质率 Impurity rate	40	3.90	0.75	1.90	3.15	53.31
		落粒率 Grain loss rate	40	0.79	0.13	0.39	0.66	42.92
		籽粒含水率 Grain moisture content	40	20.95	10.14	14.29	10.81	21.46
2018	09-08	破碎率 Broken rate	45	15.24	2.68	8.00	12.56	45.56
		杂质率 Impurity rate	45	7.11	0.49	2.32	6.62	71.91
		落粒率 Grain loss rate	45	2.54	0.45	1.38	2.09	39.84
		籽粒含水率 Grain moisture content	45	31.55	19.72	24.98	11.83	13.15
	09-16	破碎率 Broken rate	45	11.01	2.58	6.00	8.43	38.78
		杂质率 Impurity rate	45	6.48	0.40	1.62	6.08	77.86
		落粒率 Grain loss rate	45	2.12	0.33	1.00	1.79	43.93
		籽粒含水率 Grain moisture content	45	28.57	17.37	22.92	11.20	11.40

表 3 不同收获期粒收质量差异

Table 3 Differences in grain harvest quality at different harvest dates

年份 Year	收获时间 Harvest date	破碎率≤5.00%	杂质率≤3.00%	籽粒含水率≤28.00%
		样本占比/% Broken rate≤5.00% sample proportion	样本占比/% Impurity rate≤3.00% sample proportion	样本占比/% Grain moisture content≤28.00% sample proportion
2017	08-27	60.00	40.00	60.00(40.00)
	09-15	70.00	80.00	100.00(100.00)
2018	09-08	24.44	73.33	75.56(42.22)
	09-16	42.22	88.89	95.56(77.78)

表 4 关于机械粒收质量指标的相关性分析

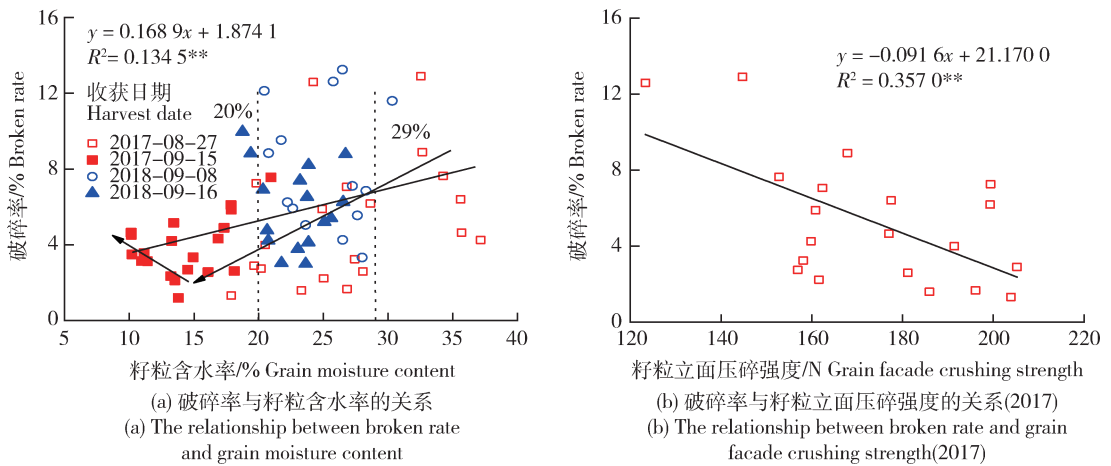
Table 4 Relevance analysis on quality index of mechanical grain harvesting

指标 Index	籽粒含水率 Grain moisture content	穗轴含水率 Cob moisture content	茎秆含水率 Stalk moisture content	株高 Plant height	穗位高 Ear height	茎粗 Stalk diameter
破碎率 Broken rate	0.37**	0.09	0.21	0.31	0.31	-0.05
杂质率 Impurity rate	0.58**	0.54**	0.09	0.67**	0.63**	-0.12
落粒率 Grain loss rate	0.39**	0.21				

指标 Index	果穗直径 Ear diameter	穗轴直径 Cob diameter	籽粒立面 压碎强度 Grain facade crushing strength	籽粒侧面 压碎强度 Grain side crushing strength	穗轴压折 强度 Cob bending strength	穗轴压碎 强度 Cob crushing strength
破碎率 Broken rate	0.17	-0.14	-0.60**	-0.48*	-0.04	0.26
杂质率 Impurity rate	-0.24	0.43	-0.42**	0.22	0.52**	0.21
落粒率 Grain loss rate	-0.25	-0.20	0.13	0.04	0.02	0.31

注：* 表示在 0.05 水平上差异显著，** 表示在 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.



图中箭头表示破碎率在不同籽粒含水率区段的变化趋势;图中虚线表示籽粒含水率 20% 和 29%。

The arrow in the figure shows the change trend of broken rate in different grains moisture content regions. The dotted line in the figure shows the grain moisture content of 20% and 29%.

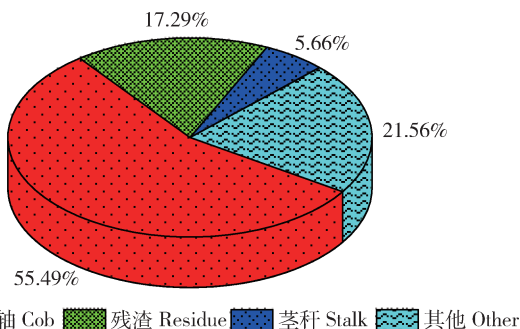
图 1 破碎率与籽粒含水率和立面压碎强度的关系

Fig. 1 The relationship between broken rate and grain moisture content and facade crushing strength

水率低于一定值时,破碎率有升高的趋势;随着籽粒立面压碎强度的升高机械粒收破碎率逐渐降低,两者间符合线性关系,当籽粒立面压碎强度 ≥ 177 N 时进行机械粒收,四川省夏玉米破碎率符合 $\leq 5\%$ 的国家标准。

2.4 影响杂质率的因素分析

四川省夏玉米机械粒收杂质主要由穗轴、残渣、茎秆和其他组成(图 2),其中以穗轴所占比例最高为 55.49%,其次为其他,比例为 21.56%,残渣占比为 17.29%,茎秆占比为 5.66%。可见,机械粒收杂质的主要成分为穗轴。



残渣,玉米植株在机械粒收过程中产生的渣子和灰尘;其他,田间杂草和泥土。

Residue, residue and dust from maize plant during mechanical grain harvesting; Other, field weeds and soil.

图 2 2017 年第一次机收杂质成分比例

Fig. 2 Proportion of impurity machine harvest for the first time in 2017

图 3 可知,随着籽粒、穗轴含水率的下降杂质率先降低然后逐渐增加,杂质率与籽粒含水率、穗轴含水率间符合二次函数关系。当籽粒含水率 $\leq 28.00\%$ 、穗轴含水率 $\leq 70.00\%$ 时进行机械粒收,杂质率符合 $\leq 3\%$ 的国家标准^[13]。杂质率与株高、穗位高间符合线性关系。对 2018 年参试品种 2 次收获的穗轴力学强度(平均值)与杂质率进行拟合,结果显示,杂质率与穗轴压折强度符合指数函数关系,杂质率与穗轴压碎强度间关系不显著,但是两者呈正相关。

2.5 影响落粒率的因素分析

随着籽粒含水率的下降机械粒收落粒率逐渐降低(图 4),落粒率与籽粒含水率间符合线性关系。

3 讨论与结论

玉米籽粒破碎率、杂质率和损失率为机械粒收质量的主要评价指标。李少昆等^[2]和柴宗文等^[6]通过 6 年试验 1 698 和 2 450 组样本分析表明,北方玉米生产区籽粒破碎率平均达到 8.63% 和 8.56%,均未达到 $\leq 5.00\%$ 的国家标准,杂质率平均为 1.27%,符合 $\leq 3.00\%$ 的国家标准,总损失率平均为 4.12%,符合 $\leq 5.00\%$ 的国家标准,可见我国北方机械粒收存在的主要问题为破碎率偏高,破碎率高也成为我国玉米机械粒收发展的限制性因素^[5,14-15]。李璐璐等^[16]研究表明,随着收获时期的推迟,籽粒含水率逐渐降低,破碎率和落粒率先降低后升高,杂

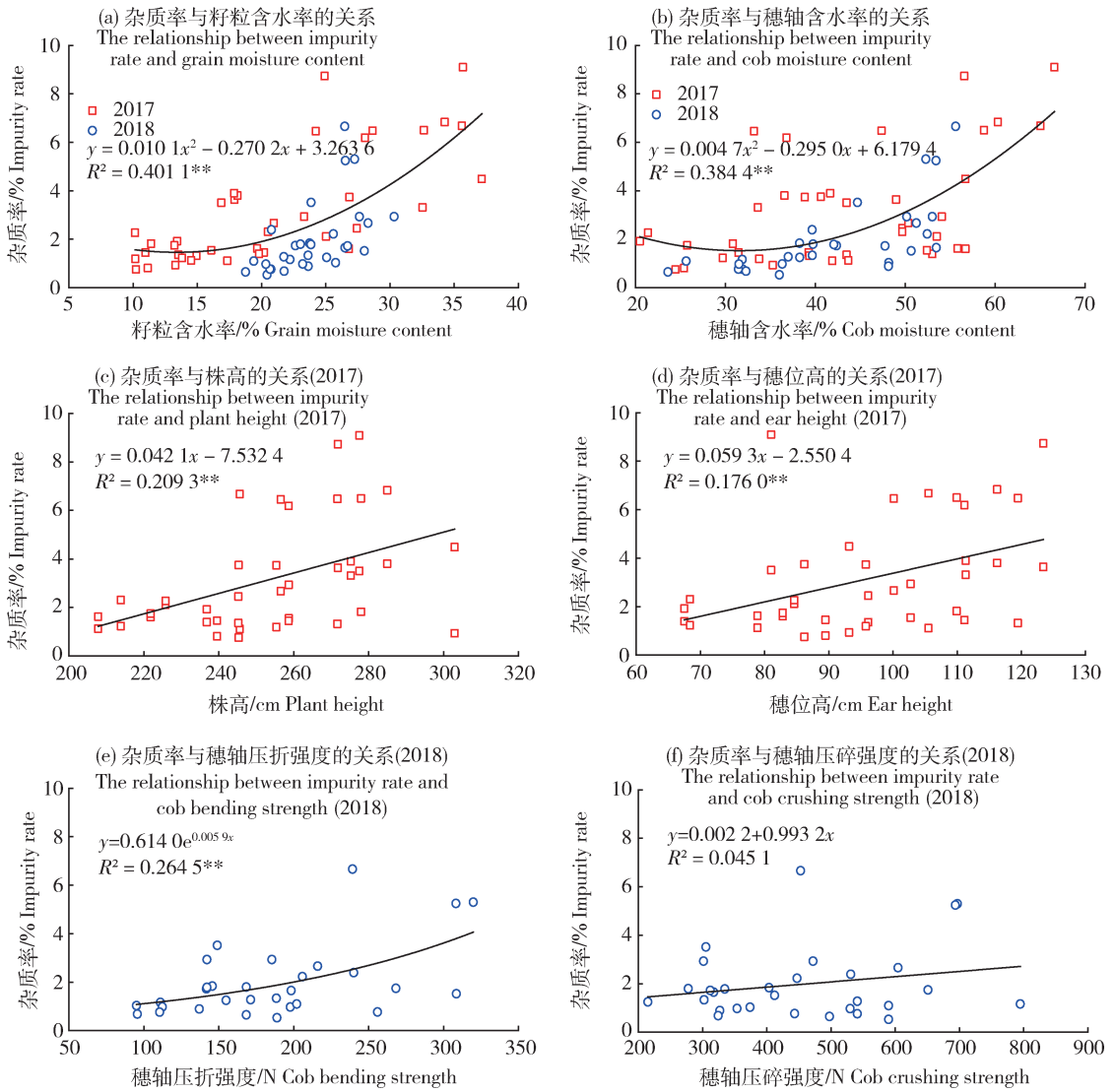


图 3 杂质率与籽粒含水率和穗轴含水率、株高和穗位高、穗轴压折强度和穗轴压碎强度的关系

Fig. 3 The relationship between impurity rate and grain moisture content and cob moisture content, plant height and ear height, cob bending strength and cob crushing strength

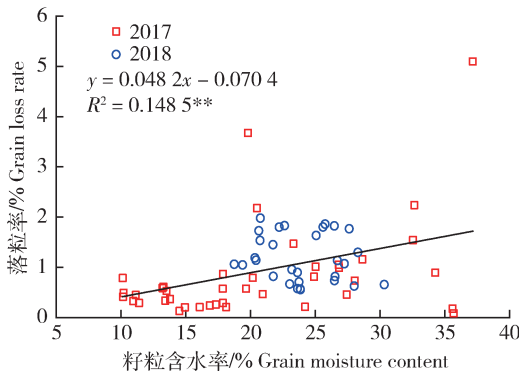


图 4 落粒率与籽粒含水率的关系

Fig. 4 The relationship between grain loss rate and grain moisture content

质率逐渐降低。本研究表明,2年4次收获的破碎率均值为5.80%,未达到 $\leq 5.00\%$ 的国家标准,杂质率均值为2.56%,符合 $\leq 3.00\%$ 的国家标准,落粒率均值为1.02%。2年机械粒收破碎率、杂质率和落粒率均表现出第二次收获值小于第一次收获值。由此可以说明,四川省夏玉米机械粒收存在的主要问题同样为破碎率偏高,且适当延迟收获可有效降低籽粒破碎率、杂质率和落粒率,提高机械粒收质量,同时也能减少晾晒次数和降低烘干成本。

明确影响四川省夏玉米机械粒收的主要因素对于该区夏玉米机械粒收发展具有重要意义。前人研究表明,玉米机械粒收除受外部生态气候因素、栽培

措施等^[8,17-19]的影响,还主要受收获时籽粒含水率、品种、收获机型和操作人员等因素的影响,而其中籽粒含水率被认为是影响机械粒收质量的关键因素^[6,20-25]。本研究在控制同一操作机手、同一收获机型的条件下,对参试品种进行机械粒收试验,调查各参试品种植株性状、果穗性状,每次收获时的器官含水率、籽粒及穗轴的力学强度和机械粒收质量指标。相关性分析表明,破碎率主要受籽粒含水率及籽粒立面压碎强度的影响,杂质率主要受籽粒含水率、穗轴含水率、株高、穗位高和穗轴压折强度的影响,落粒率主要受籽粒含水率的影响。籽粒含水率是影响四川省夏玉米机械粒收破碎率的重要因素,同时籽粒力学强度和破碎率间关系密切,这与前人研究发现籽粒的生物力学特性与机械粒收过程中的脱粒性能关系密切相吻合,破碎率主要受玉米籽粒压碎特性的影响,与籽粒最小破碎力呈负相关^[26-27]。在籽粒含水率较高时玉米籽粒韧性较好,含水率低时玉米籽粒强度较高^[28]。已有研究发现,在籽粒含水率低于一定值时,破碎率呈增加的趋势,这可能是由于随着籽粒含水率下降,籽粒强度增加,但相应籽粒的韧性降低造成的,所以在籽粒力学强度适宜时进行机械粒收能有效降低破碎率^[2,4,6,16]。应进一步开展多品种、多籽粒类型的籽粒物理力学特性及机制研究,为该区玉米机械粒收技术的推广和宜机品种的选育提供科学方向。同时本研究发现,在2年4次机械粒收试验中,机械粒收质量和籽粒含水率在各参试品种间极差和变异系数较大(表2),故通过选择粒收质量较优以及后期脱水快的品种可有效提升机械粒收效率。本研究结果表明穗轴是主要的杂质成分,而穗轴的含水率、压折强度也与杂质率关系密切,拟合的方程分别为 $y_{\text{杂质率}} = 0.0047x_{\text{穗轴含水率}}^2 - 0.2950x_{\text{穗轴含水率}} + 6.1794$ ($R^2 = 0.3844^{**}$), $y_{\text{杂质率}} = 0.6140e^{0.0059x_{\text{穗轴压折强度}}}$ ($R^2 = 0.2645^{**}$)。已有研究认为,落粒率与籽粒含水率呈二次函数关系,随籽粒含水率先降低后升高^[16],而本研究表明,在当前试验条件下,四川省夏玉米机械粒收落粒率与籽粒含水率间呈线性关系,随着籽粒含水率的下降,落粒率逐渐降低。本研究中所有测试样本籽粒含水率在10.14%~37.16%,基本覆盖四川省夏玉米籽粒收获含水率范围。

综上所述,在2年机械粒收试验中,四川省夏玉米收获时90.00%测试样本籽粒含水率 \leq 29.00%,

基本满足机械粒收籽粒含水率要求。通过2年的研究,在今后四川省夏玉米生产上应选用生育后期脱水快、籽粒物理力学特性适宜、穗轴力学强度偏小,株高及穗位高适宜的品种,并根据气候条件及作物衔接情况适时晚收,来提高四川省夏玉米机械粒收质量。

参考文献 References

- [1] 刘天金,王玉玺,宁明宇,靖飞,董晓霞,王志敏,刘春青. 我国玉米种业转型升级的路径与策略探讨[J]. 中国种业, 2018(2): 1-7
Liu T J, Wang Y X, Ning M Y, Jin F, Dong X X, Wang Z M, Liu C Q. Discussion on the path and strategy of maize seed industry transformation and upgrading in China [J]. *China Seed Industry*, 2018(2): 1-7 (in Chinese)
- [2] 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(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: Natural Science*, 2017(3): 265-272 (in Chinese)
- [3] GB/T 21962—2008. 玉米收获机械 技术条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
GB/T 21962—2008. Technical Requirements for Maize Combine Harvester [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese)
- [4] 李璐璐,雷晓鹏,谢瑞芝,王克如,侯鹏,张凤路,李少昆. 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, Wang K R, Hou P, Zhang F L, Li S K. Analysis of influential factors on mechanical grain harvest quality of summer maize [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(11): 2044-2051 (in Chinese)
- [5] 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)
- [6] 柴宗文,王克如,郭银巧,谢瑞芝,李璐璐,明博,侯鹏,刘朝巍,初振东,张万旭,张国强,刘广周,李少昆. 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, Xie R Z, Li L L, Ming B,

- Hou P, Liu Z W, Chu Z D, Zhang W X, Zhang G Q, Liu G Z, Li S K. 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)
- [7] Waelti H. Physical properties and morphological characteristics of maize and their influence on threshing injury of kernels[D]. Ames: Iowa State University, 1967
- [8] Plett S. Corn kernel breakage as a function of grain moisture at harvest in a prairie environment[J]. *Canadian Journal of Plant Science*, 1994, 74(3): 543-544
- [9] Chowdhury M H, Buchele W F. Effects of the operating parameters of the rubber roller sheller[J]. *Transactions of the ASABE*, 1975, 18(3): 482-486
- [10] 薛军, 李璐璐, 谢瑞芝, 王克如, 侯鹏, 明博, 张万旭, 张国强, 高尚, 白氏杰, 初振东, 李少昆. 倒伏对玉米机械粒收田间损失和收获效率的影响[J]. *作物学报*, 2018, 44(12): 1774-1781
- Xue J, Li L L, Xie R Z, Wang K R, Hou P, Ming B, Zhang W X, Zhang G Q, Gao S, Bai S J, Chu Z D, Li S K. Changes of maize lodging after physiological maturity and its influencing factors[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(12): 1774-1781 (in Chinese)
- [11] Johnson W H, Lamp B J, Henry J E, Hall G E. Corn harvesting performance at various dates[J]. *Transactions of the ASABE*, 1963, (6): 268-272
- [12] 王克如, 李少昆. 玉米籽粒脱水速率影响因素分析[J]. *中国农业科学*, 2017, 50(11): 2027-2035
- Wang K R, Li S K. Analysis of influencing factors on kernel dehydration rate of maize hybrids[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(11): 2027-2035 (in Chinese)
- [13] GB/T 21961—2008. 玉米收获机械 试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008
- GB/T 21961—2008. Test method for Maize Combine Harvester [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008 (in Chinese)
- [14] 张向前, 王瑞, 张瑞霞, 郭晓霞, 鉴军帅, 程玉臣, 吴慧, 孙峰成. 内蒙古适宜籽粒机械化收获春玉米品种筛选[J]. *北方农业学报*, 2018(1): 25-29
- Zhang X Q, Wang R, Zhang R X, Guo X X, Jian J S, Cheng Y C, Wu H, Sun F C. Screening varieties suitable for mechanical harvesting of spring maize kernel in Inner Mongolia [J]. *Journal of Northern Agriculture*, 2018, 46(1): 25-29 (in Chinese)
- [15] 薛军, 李璐璐, 张万旭, 王群, 谢瑞芝, 王克如, 明博, 侯鹏, 李少昆. 玉米穗轴机械强度及其对机械粒收籽粒破碎率的影响[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(10): 1868-1877
- Xue J, Li L, Zhang W X, Wang Q, Xie R Z, Wang K R, Ming B, Hou P, Li S K. Maize cob mechanical strength and its influence on kernel broken rate[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(10): 1868-1877 (in Chinese)
- [16] 李璐璐, 薛军, 谢瑞芝, 王克如, 明博, 侯鹏, 高尚, 李少昆. 夏玉米籽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, Wang K R, Ming B, Hou P, Gao S, Li S K. Effects of grain moisture content on mechanical grain harvesting quality of summer maize [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(12): 1747-1754 (in Chinese)
- [17] 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
- [18] Vyn T J, Moes J. Breakage susceptibility of corn kernels in relation to crop management under long growing season conditions[J]. *Agronomy Journal*, 1988, 80(6): 915-920
- [19] Waelti H, Buchele W F. Factors affecting corn kernel damage combine cylinders [J]. *Transactions of the ASABE*, 1969 (12): 55-59
- [20] 谢瑞芝, 雷晓鹏, 王克如, 郭银巧, 柴宗文, 侯鹏, 李少昆. 黄淮海夏玉米籽粒机械收获研究初报[J]. *作物杂志*, 2014(2): 76-79
- Xie R Z, Lei X P, Wang K R, Guo Y Q, Chai Z W, Hou P, Li S K. Research on corn mechanically harvesting grain quality in Huanghuaihai Plain [J]. *Crops*, 2014 (2): 76-79 (in Chinese)
- [21] 柳枫贺, 王克如, 李健, 王喜梅, 孙亚玲, 陈永生, 王玉华, 韩冬生, 李少昆. 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, Wang X M, Sun Y L, Chen Y S, Wang Y H, Han D S, Li S K. Factors affecting corn mechanically harvesting grain quality [J]. *Crops*, 2013(4): 116-119 (in Chinese)
- [22] 万泽花, 任佰朝, 赵斌, 刘鹏, 董树亭, 张吉旺. 不同熟期夏玉米品种籽粒灌浆与脱水特性及其密度效应[J]. *作物学报*, 2018, 44(10): 1517-1526
- Wan Z H, Ren B Z, Zhao B, Liu P, Dong S T, Zhang J W. Grain filling and dehydration characteristics of summer maize hybrids differing in maturities and effect of plant density[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(10): 1517-1526 (in Chinese)
- [23] 高尚, 明博, 李璐璐, 谢瑞芝, 薛军, 侯鹏, 王克如, 李少昆. 黄淮海夏玉米籽粒脱水与气象因子的关系[J]. *作物学报*,

- 2018, 44(12): 1755-1763
- Gao S, Ming B, Li L L, Xie R Z, Xun J, Hou P, Wang K R, Li S K. Relationship between grain dehydration and meteorological factors in the Yellow-Huai-Hai rivers summer maize[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2018, 44(12): 1755-1763 (in Chinese)
- [24] 李璐璐, 谢瑞芝, 王克如, 明博, 侯鹏, 李少昆. 黄淮海夏玉米生理成熟期子粒含水率研究[J]. 作物杂志, 2017(2): 88-92
- Li L L, Xie R Z, Wang K R, Ming B, Hou P, Li S K. Kernel moisture content of summer maize at physiological maturity stage in Huanghuaihai region[J]. *Crops*, 2017(2): 88-92 (in Chinese)
- [25] Zhang L, Liang X G, Shen S, Yin H, Zhou L L, Gao Z, Lv X Y, Zhou S L. Increasing the abscisic acid level in maize grains induces precocious maturation by accelerating grain filling and dehydration[J]. *Plant Growth Regulation*, 2018, 86(1): 65-79
- [26] 蔡超杰, 陈志, 韩增德, 刘贵明, 张宗玲, 郝俊发. 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(4): 192-196
- Cai C J, Chen Z, Han Z D, Liu G M, Zhang Z L, Hao J F. Study on relationship of biomechanical characteristics of corn seed and threshing performance[J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2017(4): 192-196 (in Chinese)
- [27] 李心平, 马义东, 金鑫, 高连兴. 玉米种子仿生脱粒机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2015, 46(7): 97-101
- Li X P, Ma Y D, Jin X, Gao L X. Design and test of corn seed bionic thresher[J]. *Transactions of The Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2015, 46(7): 97-101 (in Chinese)
- [28] 张永丽, 高连心, 刘红力, 李心平. 玉米籽粒剪切破碎的试验研究[J]. 农机化研究, 2007(5): 136-138
- Zhang Y L, Gao L X, Liu H L, Li X P. Experimental study on corn kernel shear crash [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007(5): 136-138 (in Chinese)

责任编辑: 吕晓梅