

## 夏玉米机械粒收质量影响因素分析

李璐璐<sup>1</sup>, 雷晓鹏<sup>1,2</sup>, 谢瑞芝<sup>1</sup>, 王克如<sup>1</sup>, 侯鹏<sup>1</sup>, 张凤路<sup>2</sup>, 李少昆<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院作物科学研究所/农业部作物生理生态重点实验室, 北京 100081; <sup>2</sup>河北农业大学, 河北保定 071000)

**摘要:** 【目的】机械粒收是玉米生产的发展方向, 收获质量是影响其推广应用的主要因素。中国玉米机械粒收还处于起步阶段, 目前在西北和东北等春播玉米区推广应用面积较大, 黄淮海夏播玉米区正在积极开展试验示范。本研究通过分析黄淮海夏玉米机械粒收质量及其影响因素, 为该技术的推广应用提供支持。【方法】2013—2015年累计选用了23个玉米品种, 在黄淮海典型代表区河南新乡开展试验研究。2013年和2015年在收获期分别进行2次机械收获, 2014年1次机械收获。收获当天测定各个品种的收获前籽粒含水率, 并调查测产。机械收获后从机仓随机取一定量籽粒样品, 立即测定收获后籽粒含水率, 然后手工分拣样品, 测定籽粒破碎率和杂质率; 收获后, 在田间选取3个代表性样区, 调查落穗损失和落粒损失。【结果】2013—2015年, 籽粒破碎率共调查131个样点, 结果显示, 收获时玉米籽粒含水率在20.80%—41.08%, 籽粒破碎率变幅为4.98%—41.36%, 籽粒破碎率随着籽粒含水率的提高明显升高; 破碎率低于8%的有38个样点, 占比29.01%, 籽粒含水率低于26.92%时, 收获的玉米籽粒能够满足破碎率8%以下的要求。机收杂质率共调查134个样点, 杂质率0.37%—5.28%, 杂质率低于3%的样点有107个, 占比79.85%, 杂质率也随着籽粒含水率的升高而增加; 2013—2014年, 籽粒含水率低于28.27%时, 杂质率能够低于3%的国家标准; 2015年收获时籽粒含水率虽然较高, 但杂质率均在3%以下。田间损失率共调查108个样点, 变幅为0.18%—2.85% (落穗率和落粒率), 均能满足国家标准, 损失率不是影响机械收获质量的限制因素。在本试验条件下, 籽粒含水率低于26.92%时, 破碎率和杂质率分别低于8%和3%, 田间损失率也符合国家标准, 能够满足机械粒收质量要求。研究还发现, 籽粒含水率相近的不同品种之间, 机械收获的破碎率和杂质率也存在显著差异, 表明品种固有的理化特性对机械收获质量也有影响。【结论】收获时的籽粒含水率是影响机械粒收质量的关键因素, 在相同籽粒含水率条件下, 品种之间收获质量表现出显著差异。由于年际间热量等条件的不同, 收获时的籽粒含水率存在一定幅度的变动, 但通过选择适宜品种、科学安排播种和收获时间, 以河南新乡为代表的黄淮海夏玉米区完全能够保证玉米机械粒收质量。

**关键词:** 玉米; 机械粒收; 收获质量; 籽粒含水率

## Analysis of Influential Factors on Mechanical Grain Harvest Quality of Summer Maize

LI LuLu<sup>1</sup>, LEI XiaoPeng<sup>1,2</sup>, XIE RuiZhi<sup>1</sup>, WANG KeRu<sup>1</sup>, HOU Peng<sup>1</sup>, ZHANG FengLu<sup>2</sup>, LI ShaoKun<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology, Ministry of Agriculture, Beijing 100081; <sup>2</sup>Hebei Agricultural University, Baoding 071000, Hebei)

**Abstract:** 【Objective】Mechanical grain harvest is the developing direction of maize production, and harvest quality is the main factor affecting its popularization and application. This harvest way in China is still in the preliminary stage. The application areas are larger in the Northwest and Northeast China while experimental demonstration is just actively carried out in Huang-Huai-Hai summer corn area. In this study, the influence factors on harvesting quality of mechanical grain harvest in summer maize

收稿日期: 2016-10-04; 接受日期: 2017-03-16

基金项目: 国家自然科学基金 (31371575)、国家玉米产业技术体系项目 (CARS-02-25)

联系方式: 李璐璐, Tel: 18611748642; E-mail: lilulu19910818@163.com. 通信作者李少昆, E-mail: lishaokun@caas.cn

were analyzed to provide supports for popularization and application of the technology. 【Method】From 2013 to 2015, twenty three different maize cultivars were planted in Xinxiang, Henan. Twice harvests were conducted in 2013 and 2015 and once in 2014. The moisture content and yield were measured before harvest. When mechanical harvest was finished, kernel samples were taken out from the harvester to investigate the moisture content immediately. Then, the grain broken rate and the impurity rate were measured in laboratory by hand-picked method. The ear and kernel loss rates were investigated in the field sample areas after harvest. 【Result】From 2013 to 2015, the results from 131 samples showed that corn kernel moisture content ranged from 20.80% to 41.08% and grain broken rate was between 4.98% and 41.36%. Grain broken rate increased with the rising grain moisture content. There were 38 samples that broken rate was below 8%, accounting for 29.01%. When kernel moisture content was under 26.92%, the broken rate could confirm to the standard of 8%. The results from 134 samples showed that the impurity rate was between 0.37% and 5.28%. There were 107 samples with impurity rate below 3% which accounted for 79.85%. The impurity rate also increased with the rising grain moisture content. From 2013 to 2014, the impurity rate did not meet the standard of 3% until grain moisture content was below 28.27% while the impurity rate was all below 3% with grain high moisture content in 2015. The loss rate from 108 samples ranged from 0.18% to 2.85% all of which confirmed to the national standard. Therefore, the loss rate didn't limit the mechanical harvest quality. In this experiment, when kernel moisture content was lower than 26.92%, the broken rate and the impurity rate were below 8% and 3%, respectively, and the loss rate met the national standard simultaneously, which could ensure the quality of mechanical grain harvest. The study also found that there were significant differences in the broken rate and the impurity rate among different cultivars, representing the importance of proper cultivar. 【Conclusion】Corn moisture content is the key factor for the quality of the grain mechanical harvest. Significant differences existed in harvest quality among cultivars when grain moisture contents were similar. Because of different growing conditions such as temperature between years, the grain moisture contents at harvest were different, but it is feasible for Huang-Huai-Hai summer maize region represented by Xinxiang, Henan to ensure the quality of grain mechanical harvest by choosing the adapted cultivars and adopting appropriate sowing and harvesting time.

**Key words:** maize; grain mechanical harvest; harvest quality; grain moisture content

## 0 引言

【研究意义】收获是玉米种植中最繁重的环节，也是目前玉米全程机械化的“瓶颈”。相对于机械穗收，粒收具有作业环节少，生产效率高、劳动强度低的优势。美国等西方发达国家在 20 世纪 70 年代后已大面积推广应用机械粒收技术<sup>[1]</sup>。与之相比，中国的玉米机械粒收技术还处于起步阶段。

【前人研究进展】前人研究表明，影响机械粒收技术推广应用的限制因素包括品种、收获机具、耕作模式、生产规模、农户意识等，其中收获质量的影响最为显著<sup>[2-4]</sup>。玉米机械粒收的质量指标主要包括籽粒破碎率、杂质率和损失率，损失率又包括落穗率和落粒率<sup>[5]</sup>。国内外相关研究表明玉米籽粒含水率显著影响机械收获破碎率，且含水率越高，破碎率越大<sup>[6-8]</sup>。适合机械粒收的品种应该满足早熟、耐密、抗倒和籽粒脱水快的要求<sup>[9-10]</sup>，且农机和农艺相结合可推动该技术的应用<sup>[1,11-12]</sup>。本团队前期研究证实，影响玉米机械粒收质量的主要因素是籽粒含水率，且籽粒破碎率和杂质率随着含水率的升高显著增加<sup>[13-14]</sup>；田间损失率随含水率增加明显上

升<sup>[14]</sup>，当籽粒含水率在 15% 以下时机收，田间损失率因落粒率增大而增大<sup>[13]</sup>；此外，不同机型、不同机器及其维护和作业也是影响玉米粒收质量的重要因素<sup>[15]</sup>。【本研究切入点】玉米收获以人工收穗或机械收穗为主，转变该区玉米收获方式势在必行。该区小麦/玉米一年两作，玉米生长发育时间受到农时的限制，收获时籽粒含水率高，影响了机械粒收质量和该技术在本地区的推广应用。【拟解决的关键问题】河南新乡位于黄淮海地区中部，是典型的夏播玉米区，本研究通过在新乡连续 3 年的试验研究，探讨影响夏玉米机械粒收质量的因素，以为黄淮海夏玉米机械粒收的推广和应用提供理论和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

试验于 2013—2015 年在中国农业科学院河南新乡综合试验站（北纬 35°18′，东经 113°54′）进行。试验地前茬为冬小麦，供试土壤为黏质壤土，前茬小麦秸秆全部粉碎还田，用当地普通播种机贴茬播种，行宽 60 cm，种植密度 67 500 株/hm<sup>2</sup>。供试品

种以当前生产主栽品种为主, 其中, 2013 年 10 个, 2014 年 11 个, 2015 年 11 个 (表 1)。大区种植,

田间随机排列。为便于机械收获的调查, 每个品种播种两个收获割幅以上宽度, 行长 200 m 以上。其

表 1 试验选用的玉米品种信息

Table 1 Information of selected maize varieties

序号 Number	品种 Cultivar	种植年度 Crop year	审定信息 Audited information	亲本 Parent	生育期 Growth period
1	郑单 958 Zhengdan958	2013、2014、2015	国审玉 20000009 State trial corn 20000009	郑 58×昌 7-2 Zheng58×Chang7-2	96 天 黄淮海夏播 96 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
2	先玉 335 Xianyu335	2013、2014、2015	国审玉 2004017 State trial corn 2004017	PH6WC×PH4CV	98 天 黄淮海夏播 98 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
3	农华 101 Nonghua101	2013、2015	国审玉 2010008 State trial corn 2010008	NH60×S121	100 天 黄淮海夏播 100 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
4	中单 909 Zhongdan909	2013、2015	国审玉 2011011 State trial corn 2011011	郑 58×HD586 Zheng58×HD586	101 天 黄淮海夏播 101 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
5	中种 8 号 Zhongzhong8	2013、2014	豫审玉 2010008 Henan trial corn 2010008	CR2919×CRE2	101 天 黄淮海夏播 101 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
6	滑玉 15 Huayu15	2013	豫审玉 2009006 Henan trial corn 2009006	HF2458-1×C712	99 天 黄淮海夏播 99 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
7	德单 121 Dedan121	2013	豫审玉 2013014 Henan trial corn 2013014	HG58×T 昌 7-2	97—103 天 黄淮海夏播 97-103 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
8	德单 5 号 Dedan5	2013	豫审玉 2010021 Henan trial corn 2010021	5818×昌 7-2 5818×Chang7-2	100 天 黄淮海夏播 100 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
9	登海 11 号 Denghai11	2013	国审玉 2001005 State trial corn 2001005	DH65232×DH40	97 天 黄淮海夏播 97 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
10	登海 618 Denghai618	2014	鲁农审 2013010 Shandong trial corn 2013010	521×DH392	106 天 黄淮海夏播 106 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
11	宁玉 525 Ningyu525	2014	国审玉 2008003 State trial corn 2008003	宁晨 62×宁晨 39 Ningchen62×Ningchen39	129 天 东北早熟春玉米区 129 days, spring maize in Northeast area
12	宁玉 721 Ningyu721	2014、2015	滇审玉 2011005 Yunnan trial corn 2011005	宁晨 26×宁晨 137 Ningchen26×Ningchen137	127 天 东华北春玉米区 127 days, spring maize in Northeast and North China
13	良玉 66 号 Liangyu66	2014	辽审玉 2008365 Liaoning trial corn 2008365	M54×S121	129 天 辽宁省春播 129 days, spring maize in Liaoning province
14	迪卡 517 Dika517	2014	鲁农审 2014015 Shandong trial corn 2014015	D1798Z/HCL645	105 天 黄淮海夏播 105 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
15	联创 808 Lianchuang808	2014、2015	国审玉 2015015 State trial corn 2015015	CT3566×CT3354	102 天 黄淮海夏播 102 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
16	金 9913 Jin9913	2013	冀审玉 2016005 Hebei trial corn 2016005	H823×L42082	101 天, 黄淮海夏播 101 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
17	MC812	2014	京审玉 2015003 Beijing trial corn 2015003	京 B547×京 2416 Jing B547×Jing 2416	103 天 黄淮海夏播 103 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
18	DL1101	2014	—	—	—
19	京农科 728 Jingnongke728	2015	国审玉 2012003 State trial corn 2012003	京 MC01×京 2416 Jing MC01×Jing 2416	98 天 京津唐夏播 98 days, summer maize in Beijing, Tianjin and Tangshan
20	裕丰 303 Yufeng303	2015	国审玉 2015010 State trial corn 2015010	CT1669×CT3354	102 天 黄淮海夏播 102 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
21	中科玉 505 Zhongkeyu505	2015	豫审玉 2016002 Henan trial corn 2016002	CT1668×CT3354	98—104 天 黄淮海夏播 98-104 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
22	农华 816 Nonghua816	2015	国审玉 2015016 State trial corn 2015016	7P402×B8328	101 天 黄淮海夏播 101 days, summer maize in Huang-Huai-Hai
23	禾田 1 号 Hetian1	2015	黑审玉 2012034 Heilongjiang trial corn 2015016	B10194×合 344 B10194×He344	115 天 黑龙江第三积温带 115 days, the third accumulated temperature zone in Heilongjiang

生育期来自品种审定公告 Growth period is from variety certification announcement

他管理措施同当地大田生产。收获机为福田雷沃谷神 GE50, 配套喜盈盈 4YB-4 半喂入玉米籽粒收获割台, 割幅 4 行, 收割速度  $0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。2013 年分别在 9 月 25 日和 10 月 12 日进行 2 次收获, 2014 年在 10 月 9 日进行 1 次收获, 2015 年分别在 9 月 26 日和 10 月 8 日进行 2 次收获。

### 1.2 数据调查

生长发育情况记录: 记录田间生长情况, 吐丝期选择代表性区域, 调查株高、穗位高等。

大田测产: 选择长势均匀一致处作为样区, 在收割前调查 10 m 行长的株数, 计算收获密度。同时在此区域内连续选择 20 穗, 调查行粒数、穗行数, 计算平均单穗粒数, 脱粒后用 PM8188 水分测定仪测定机械收获前含水率, 并测定百粒重, 计算理论产量。

### 1.3 机械粒收质量评价

在测试地块, 随机取收获机机仓内收获的籽粒样品约 2 kg, 用 PM8188 水分测定仪测定含水率, 然后手工分拣将其分为籽粒和非籽粒两部分; 对籽粒部分称其重量并计为 KW1, 非籽粒部分称重计为 NKW; 再根据籽粒的完整性, 将其分为完整籽粒和破碎籽粒并分别称重, 完整粒部分重量计为 KW2, 破碎粒重量计为 BKW。

$$\text{杂质率}(\%) = [\text{NKW} / (\text{KW1} + \text{NKW})] \times 100$$

$$\text{籽粒破碎率}(\%) = [\text{BKW} / (\text{KW2} + \text{BKW})] \times 100$$

在测定收获速度的收割段选取 3 个样点, 每个样点取 2 m 长一个割幅宽 (4 行玉米) 的面积, 收集样点内的落穗和落粒, 测定落穗、落粒重。将理论产量、落穗和落粒重分别折合成单位面积数值, 计算产量损失率:

$$\text{产量损失率}(\%) = (\text{单位面积田间落粒重} + \text{单位面积田间落穗籽粒重}) / \text{单位面积产量} \times 100。$$

### 1.4 气候因素

试验点 2013 年、2014 年和 2015 年玉米生育季节以及常年 (1992—2015 年平均) 气象数据见表 2。数据显示, 2013 年玉米生育季节 (第 1、2 组) 积温明显偏高、降水偏少, 其中, 积温较常年增加 236.0—287.1℃, 降水减少 64.5—88.3 mm。2014 年玉米生育季节积温接近常年, 但降水量偏高、日照时数偏短。2015 年玉米生育季节积温和日照时数略高于常年, 降水量则低于常年平均水平。

### 1.5 数据处理与分析

采用 SPSS Statistics 17.0 和 Excel 2007 软件进行数据处理与分析。

表 2 试验点气候条件

Table 2 Climatic conditions of the experimental station

组别 Group	生育期 Growth period	积温 Accumulated temperature (°C)	降水 Precipitation (mm)	日照时数 Duration of solar radiation (h)
1	2013/6/15-2013/9/25	2815.9	314.3	582.0
	1992-2015 6/15-9/25	2579.9	378.8	593.1
2	2013/6/15-2013/10/12	3163.0	314.3	682.0
	1992-2015 6/15-10/12	2875.9	402.6	672.1
3	2014/6/12-2014/10/9	2916.9	451.5	562.1
	1992-2015 6/12-10/9	2907.2	398.1	683.4
4	2015/6/10-2015/9/26	2813.9	319.5	658.0
	1992-2015 6/10-9/26	2730.9	383.0	637.6
5	2015/6/10-2015/10/8	3061.7	327.1	715.2
	1992-2015 6/10-10/8	2941.7	399.6	694.9

## 2 结果

### 2.1 籽粒破碎率与含水率的关系

2013—2015 年共 131 个样点的调查显示, 籽粒破碎率变幅为 4.98%—41.36%。按 GB1353—2009 玉米国标<sup>[16]</sup>三等玉米破碎率 8% 的标准, 调查范围内破碎率低于 8% 的有 38 个样点, 占比 29.01%; 破碎率高于 8% 的有 93 个样点, 占比 70.99%。

收获时玉米籽粒含水率在 20.80%—41.08%, 参照谢瑞芝等<sup>[14]</sup>的数据分析方法, 将玉米机械收粒的籽粒破碎率与含水率的关系分为两个阶段, 籽粒含水率大于 27.10% 时, 籽粒含水率对破碎率的影响明显增加 (图 1)。籽粒含水率低于 26.92% 时, 收获的玉米籽粒能够满足破碎率 8% 以下的要求。2015 年收获时玉米籽粒含水率均在 27.53% 以上, 破碎率在 8.75% 以上, 籽粒破碎率随含水率的增加呈线性增加 (图 2)。

### 2.2 籽粒杂质率与含水率的关系

2013—2015 年 134 个样点的杂质率变幅为 0.37%—5.28%。根据 GB/T 21962—2008<sup>[17]</sup>标准, 杂质率应控制在 3% 以下, 调查范围内杂质率低于 3% 的样点有 107 个, 占比 79.85%; 高于 3% 的样点有 27 个, 占比 20.15%。

2013 和 2014 年, 杂质率与籽粒含水率的关系可以分为两个阶段 (图 3), 籽粒含水率大于 28.39% 时, 籽粒含水率对杂质率的影响明显增加。2013 和 2014 年试验条件下籽粒含水率低于 28.27% 时, 杂质率低

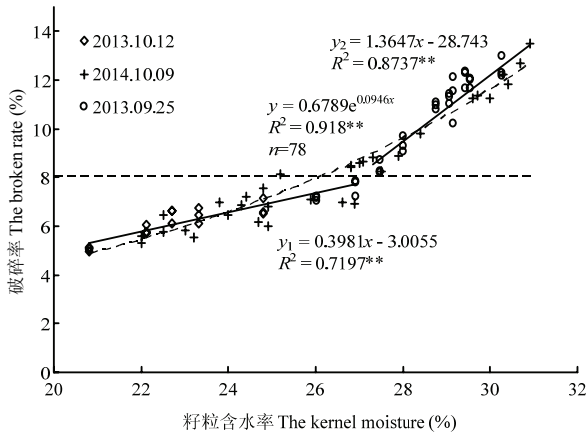


图 1 2013 和 2014 年籽粒含水率与破碎率  
Fig. 1 The relationship between the kernel moisture and the broken rate in 2013 and 2014

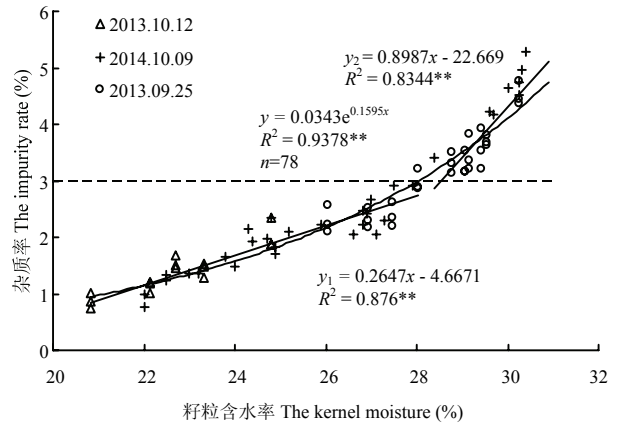


图 3 2013 和 2014 籽粒含水率与杂质率  
Fig. 3 The relationship between the kernel moisture and the impurity rate in 2013 and 2014

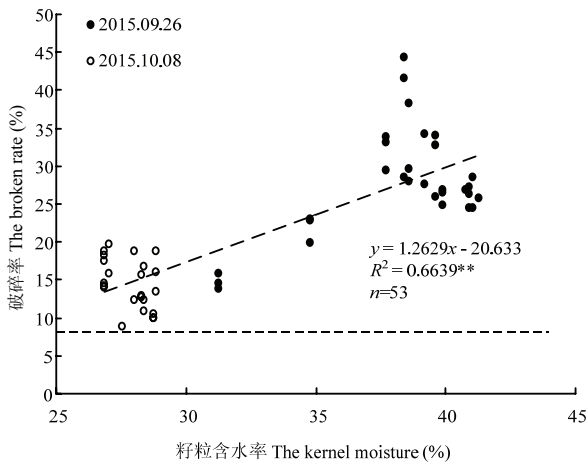


图 2 2015 年籽粒含水率与破碎率  
Fig. 2 The relationship between the kernel moisture and the broken rate in 2015

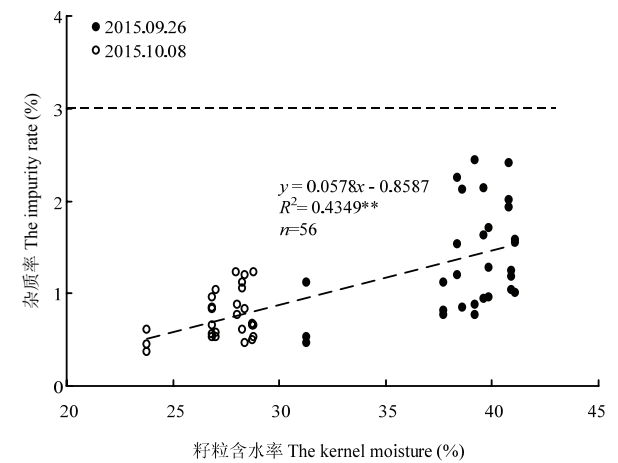


图 4 2015 籽粒含水率与杂质率  
Fig. 4 The relationship between the kernel moisture and the impurity rate in 2015

于 3%；2015 年收获时籽粒含水率虽然较高，但杂质率均在 3%以下（图 4），能够满足国家标准。

### 2.3 田间损失率与籽粒含水率的关系

2013—2015 共调查 108 个样点，田间损失率（落粒率与落穗率）在 0.18%—2.85%之间。玉米机械收粒的田间损失率与籽粒含水率的关系如图 5 所示，随着籽粒含水率的增加，田间损失率有增加的趋势。根据 GB/T 21962—2008 标准，收获的田间损失率应控制在 5%以下，调查范围内的田间损失率

均能满足国家标准。

### 2.4 品种间机械粒收质量的差异

研究发现，即使籽粒含水率相近，不同品种进行机械籽粒收获时的破碎率和杂质率也存在明显差异。表 3 列出了 3 年内在同一收获时期、籽粒含水率相近的不同品种收获质量的差异。5 组不同品种的破碎率差值在 3.55%—8.74%之间，杂质率差值相对较小，为 0.20%—2.47%；且随着籽粒含水率的增大，品种间破碎率差值有增大趋势。

表 3 相同籽粒含水率时不同品种间收获质量的差异

Table 3 Differences in the harvest quality among cultivars at the same level of kernel moisture

组别 Group	收获时间 Harvest time	品种 Cultivar	含水率 Moisture (%)	破碎率 Broken rate (%)	杂质率 Impurity rate (%)
1	2014.10.09	DL1101	24.37	9.43**	2.83*
		MC812	24.77	5.88**	2.34*
2	2014.10.09	迪卡 517 Dika517	26.13	3.71**	1.44**
		宁玉 525 Ningyu525	26.30	9.75**	3.91**
3	2015.10.08	郑单 958 zhengdan958	28.77	10.12*	0.60
		农华 816 Nonghua816	28.83	16.05*	0.80
4	2015.10.08	宁玉 721 Ninhyu721	28.30	13.73**	0.92*
		先玉 335 Xianyu335	28.00	22.47**	1.93*
5	2015.09.26	农华 816 Nonghua816	38.10	41.36*	1.66
		联创 808 Lianchuang808	39.92	27.36*	1.36

\*\*和\*分别表示在  $P<0.01$  和  $P<0.05$  水平上差异显著 \*\* and \* represent significance at  $P<0.01$  and  $P<0.05$

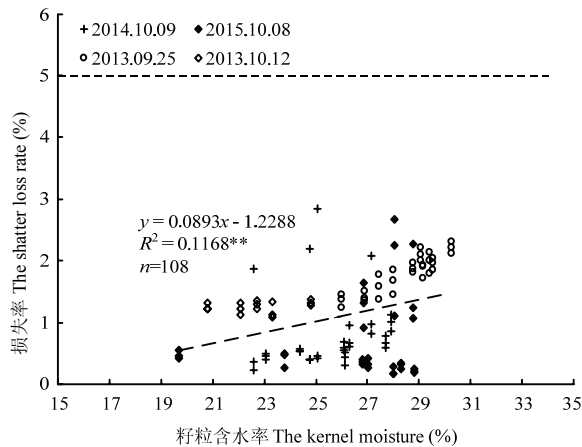


图 5 籽粒含水率与损失率

Fig. 5 The relationship between the kernel moisture and the shatter loss

### 3 讨论

#### 3.1 籽粒含水率与机械粒收质量

玉米收获时籽粒含水率是影响机械粒收质量的关键因素。在本研究条件下, 131 个样点籽粒破碎率变幅为 4.98%—41.36%, 破碎率偏高是制约黄淮海夏玉米机械粒收的主要质量指标。籽粒破碎率随着含水率的升高而升高, 呈现出极显著正相关关系, 这与前人研究结果一致<sup>[6-8,13-14]</sup>。籽粒含水率较高时, 机械脱粒所需的较大分离作用力可能是造成高破碎率的原因之一<sup>[18]</sup>。前人认为籽粒含水率 22%—24% 时为玉米脱粒质量最佳时期<sup>[19]</sup>, 黄淮海地区机械粒收的含水率应小于 28%<sup>[10]</sup>, 本试验结果显示, 黄淮海夏玉米破碎率满

足三等玉米质量要求的籽粒含水率条件应低于 26.92%。除了籽粒含水率对破碎率的影响, 田间损失率也表现出随着籽粒含水率的升高而升高的趋势, 但在调查范围内损失率均未超过国家标准, 表明现阶段损失率不是制约黄淮海夏玉米机械收获质量的主要因素。杂质率同样随着籽粒含水率的增加而增加, 但两者关系在年际间变化较大。2013 和 2014 年籽粒含水率低于 28.27% 时杂质率可满足 3% 的国家标准要求, 而 2015 年在较高的籽粒含水率下杂质率也未超过标准, 分析认为杂质率可能受到收获机械及其作业质量等因素的影响, 需要进一步研究证实。

#### 3.2 品种对机械粒收质量的影响

玉米收获期籽粒含水率受到品种脱水速率<sup>[20-21]</sup>、生育期<sup>[22]</sup>以及环境条件<sup>[23-24]</sup>等的影响。研究还证实, 即使籽粒含水率相近, 不同玉米品种之间破碎率也存在明显差异, 这可能是籽粒本身的理化特性等因素造成的。PAULSEN 等<sup>[25]</sup>研究认为玉米不同品种之间籽粒破碎敏感性存在显著差异。MARTIN 等<sup>[26]</sup>研究表明玉米籽粒大小、类型、结构特征和硬度等影响机械收获的破碎率, 机械收获时大籽粒相对于小籽粒更易受损<sup>[27]</sup>, 且圆形籽粒受损较多, 方形籽粒的顶部容易受损<sup>[18]</sup>; 籽粒中不同的物质组成也会影响机械损伤<sup>[18]</sup>。此外, WAELTI<sup>[28]</sup>研究表明籽粒破损随着穗轴的减小而增大。JENNINGS<sup>[27]</sup>还证实, 虽然不同玉米品种的果皮厚度差异很大, 但是并不影响机械收获质量。因此适宜机械收获的品种除了应该具有籽粒脱水快的特性外, 还应该在籽粒类型、物理特性和化学组成等方面有一定的适应性, 这对品种选育提出了更高的要求。

### 3.3 影响机械粒收质量的其他因素

玉米机械粒收质量不仅受籽粒含水率影响,还受到其他众多因素影响。CLONINGER 等<sup>[29]</sup>研究认为机械收获的籽粒破碎随着密度增加而增加,延迟收获并不影响籽粒破碎率,但是落穗损失率因倒伏和机收前田间掉穗而增加。卜俊周等<sup>[30]</sup>研究表明在相同密度下 60 cm 行距配置较 65 cm 行距配置的机械粒收损失率小,收获效率高。本团队前期研究提出影响机械粒收质量的因素还包括种植密度、行距配置和机械作业等<sup>[4]</sup>。王克如等<sup>[15]</sup>认为,机械粒收时不同机型显著影响籽粒破碎率和落粒损失率;同一机型不同机器、不同机手之间作业也会对籽粒破碎率、杂质率和落粒损失率产生显著影响。NGUYEN<sup>[31]</sup>报道,玉米果穗进入脱粒装置时,与转轴之间呈垂直、平行和斜向三个角度。脱粒装置的组配以及籽粒喂入方向等均会影响脱粒质量,脱粒装置在较低的运转速率下,籽粒破碎减小<sup>[18,28]</sup>。相茂国<sup>[32]</sup>研究表明,随着脱粒转速的升高玉米籽粒破碎率先降低后升高,2.99—7.77 m·s<sup>-1</sup> 为适合脱粒速度。本研究调查范围内,虽然 2015 年收获时籽粒含水率较高,但收获的杂质率却远低于 2013 和 2014 年在相应籽粒含水率下的水平,分析认为可能与机械的调试状态和机手作业质量有关。

## 4 结论

连续 3 年的测试表明,收获时的籽粒含水率是影响夏玉米机械粒收质量的关键因素,在相同含水率条件下,品种之间收获质量表现出显著差异。在当前主栽玉米品种熟期、类型及收获机械条件下,籽粒含水率低于 26.92% (27%) 时,籽粒破碎率、杂质率和损失率可分别控制在 8%、3% 和 5% 的国家标准内。通过选择熟期更早、脱水快的品种,控制播期和收获时间,以河南新乡为代表的黄淮海夏玉米区可以实现机械粒收,并保证收获质量。

### References

[1] 耿爱军, 杨建宁, 张兆磊, 张姬, 李汝莘. 国内外玉米收获机械发展现状及展望. 农机化研究, 2016(4): 251-256.  
GENG A J, YANG J N, ZHANG Z L, ZHANG J, LI R S. Discuss about the current situation and future of corn harvest machinery about domestic and abroad. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2016(4): 251-256. (in Chinese)

[2] 雷晓鹏. 黄淮海地区玉米机械收获籽粒可行性研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2015.  
LEI X P. Studies on the feasibility of maize mechanically harvesting

grain in Huanghuaihai Regions[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2015. (in Chinese)

[3] 谢琼, 章惠全, 刘琳. 我国玉米收获机械化发展现状及展望. 农业科技与装备, 2009(6): 104-106.  
XIE Q, ZHANG H Q, LIU L. China corn harvest mechanization technology. *Agricultural Science & Technology and Equipment*, 2009(6): 104-106. (in Chinese)

[4] 柳风贺. 影响玉米机械收粒质量的主要因素研究[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2013.  
LIU F H. Study on the main influencing factors for the quality of mechanical harvesting maize grain[D]. Shihezi: Shihezi University, 2013. (in Chinese)

[5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会. 玉米收获机械 试验方法: GB/T 21961-2008. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China; China National Standardization Management Committee. Test Methods for Maize Combine Harvester: GB/T 21961-2008. (in Chinese)

[6] CHAUDHARY A I. Effect of grain moisture on efficiency of harvesting machinery for oats and corn[D]. Ames: Iowa State University, 1952.

[7] ASHTARI A K. Effect of internal and external damage on deterioration rate of shelled corn[D]. Ames: Iowa State University, 1980.

[8] PLETT S. Corn kernel breakage as a function of grain moisture at harvest in a prairie environment. *Canadian Journal of Plant Science*, 1994, 74(3): 543-544.

[9] 刘世林. 夏播玉米渭单 6000 子粒机械收获的尝试与思考. 中国种业, 2014(4): 30-32.  
LIU S L. Test and thinking of summer corn Weidan 6000 in grain harvest machinery. *China Seed Industry*, 2014(4): 30-32. (in Chinese)

[10] 郭庆辰, 康浩冉, 王丽娥, 刘洪泉, 陈艳花, 白光红, 窦秉德. 黄淮区籽粒机收玉米标准及育种模式探讨. 农业科技通讯, 2016(1): 159-162.  
GUO Q C, KANG H R, WANG L E, LIU H Q, CHEN Y H, BAI G H, DOU B D. The standard of corn grain mechanical harvest and breeding mode in Huang-Huai Region. *Bulletin of Agricultural Science and Technology*, 2016(1): 159-162. (in Chinese)

[11] 郝付平, 陈志. 国内外玉米收获机械研究现状及思考. 农机化研究, 2007(10): 206-208.  
HAO F P, CHEN Z. Actuality of domestic and foreign corn harvester. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 2007(10): 206-208. (in Chinese)

[12] 朱纪春, 陈金环. 国内外玉米收获机械现状和技术特点分析. 农业技术与装备, 2010(4): 23-24.



- ZHU J C, CHEN J H. The current situation of corn harvesting machinery and technical characteristics analysis of domestic and foreign. *Agricultural Technology & Equipment*, 2010(4): 23-24. (in Chinese)
- [13] 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. *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. *Crops*, 2013(4): 116-119. (in Chinese)
- [14] 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. *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. *Crops*, 2014(2): 76-79. (in Chinese)
- [15] 王克如, 李璐璐, 郭银巧, 范盼盼, 柴宗文, 侯鹏, 谢瑞芝, 李少昆. 不同机械作业对玉米子粒收获质量的影响. *玉米科学*, 2016, 24(1): 114-116.
- WANG K R, LI L L, GUO Y Q, FAN P P, CHAI Z W, HOU P, XIE R Z, LI S K. Effects of different mechanical operation on maize grain harvest quality. *Journal of Maize Sciences*, 2016, 24(1): 114-116. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会. 玉米: GB1353-2009. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China; China National Standardization Management Committee. Maize: GB1353-2009. (in Chinese)
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局和中国国家标准化管理委员会. 玉米收获机械 技术条件: GB/T 21962-2008. General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China; China National Standardization Management Committee. Technical Requirements for Maize Combine Harvester: GB/T 21962-2008. (in Chinese)
- [18] JOHNSON D Q. Genetic variability and relationships of physical grain quality traits in BSSS maize[D]. Ames: Iowa State University, 1981.
- [19] 宋卫堂, 封俊, 胡鸿烈. 北京地区夏玉米联合收获的试验研究. *农业机械学报*, 2005, 36(5): 45-48.
- SONG W T, FENG J, HU H L. Experimental study on combine harvesting of summer corn in Beijing area. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2005, 36(5): 45-48. (in Chinese)
- [20] 李璐璐, 谢瑞芝, 范盼盼, 雷晓鹏, 王克如, 侯鹏, 李少昆. 郑单 958 与先玉 335 子粒脱水特征研究. *玉米科学*, 2016, 24(2): 57-61, 71.
- LI L L, XIE R Z, FAN P P, LEI X P, WANG K R, HOU P, LI S K. Study on dehydration in kernel between zhengdan958 and xianyu335. *Journal of Maize Sciences*, 2016, 24(2): 57-61, 71. (in Chinese)
- [21] 杨村, 邹庆道, 田云, 徐志达. 玉米籽粒水分含量的遗传研究. *国外农学-杂粮作物*, 1998, 18(2): 11-14.
- YANG C, ZOU Q D, TIAN Y, XU Z D. Genetic study on maize grain moisture content. *Foreign Agriculture-Cereals Crops*, 1998, 18(2): 11-14. (in Chinese)
- [22] WIDDICOMBE W D, THELEN K D. Row width and plant density effects on corn grain production in the Northern corn belt. *Agronomy Journal*, 2002, 94(5): 1020-1023.
- [23] DAYNARD T B. Relationships among black layer formation, grain moisture percentage, and heat unit accumulation in corn. *Agronomy Journal*, 1972, 64(6): 716-719.
- [24] SCHMIDT J L, HALLAUER A R. Estimating harvest date of corn in the field. *Crop Science*, 1996, 6(3): 227-231.
- [25] PAULSEN M R, HILL L D, WHITE D G, SPRAGUE G F. Breakage susceptibility of corn-belt genotypes. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 1983, 26(6):1830-1836, 1841.
- [26] MARTIN C R, CONVERSE H H, CZUCHAJOWSKA Z, LAI F S, POMERANZ Y. Breakage susceptibility and hardness of corn kernels of various sizes and shapes. *Applied Engineering in Agriculture*, 1987, 3(1): 104-113.
- [27] JENNINGS M V. Genotypic variability in grain quality of corn *Zea mays* L.[D]. America: Iowa State University, 1974.
- [28] WAELTI H. Physical properties and morphological characteristics of maize and their influence on threshing injury of kernels[D]. Ames: Iowa State University, 1967.
- [29] CLONINGER F D, HORROCKS R D, ZUBER M S. Effects of harvest date, plant density, and hybrid on corn grain quality. *Agronomy Journal*, 1975, 67(5): 693-695.
- [30] 卜俊周, 岳海旺, 彭海成, 陈淑萍, 谢俊良. 不同种植行距对玉米生长性状产量及机械化收获效率的影响. *河北农业科学*, 2013(2): 8-9.
- BU J Z, YUE H W, PENG H C, CHEN S P, XIE J L. Effects of different row spacing on growth characters, yield and mechanized harvesting efficiency of maize. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2013(2): 8-9. (in Chinese)
- [31] NGUYEN V T. Breakage susceptibility of blended corn[D]. Ames: Iowa State University, 1982.
- [32] 相茂国. 玉米籽粒直收机械适应性研究[D]. 淄博: 山东理工大学, 2014.
- XIANG M G. Study on the adaptability of corn grain harvesting device[D]. Zibo: Shandong University of Technology, 2014. (in Chinese)

(责任编辑 杨鑫浩)