

北京春玉米机械粒收质量影响因素研究及品种筛选

李少昆¹, 王克如¹, 裴志超², 周继华², 明 博¹, 高 娇³,
郎文书², 徐向东⁴, 高 尚¹, 谢瑞芝¹, 侯 鹏¹

(1. 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; 2. 北京市农业技术推广站, 北京 100101;
3. 北京市农业机械试验鉴定推广站, 北京 100101; 4. 北京市密云区农业职业技术学校, 北京 101500)

摘 要: 2014~2016 年在北京密云区和延庆区开展 4 个点次 7 组机械粒收试验。结果表明, 破碎率均值为 8.81%, 高于《玉米收获机械技术条件(GB/T 21962-2008)》中规定子粒破碎率应 $\leq 5\%$ 的标准; 杂质率均值为 1.25%, 总损失率为 1.10%, 分别低于 $\leq 3\%$ 和 $\leq 5\%$ 的国标标准。延迟 10 d 收获, 供试 6 个品种玉米子粒含水率均值由 25.9% 降低到 20.9%, 下降了 5 个百分点, 玉米收获质量得到显著改善, 其中破碎率由 5.71% 下降到 3.68%, 降低了 2.03 个百分点。按双向平均作图法筛选出宁玉 524, MC703, 真金 8 号, 登海 9 号和联创 808 等 5 个适宜机械粒收候选品种, 其子粒含水率平均为 23.27%, 较对照郑单 958 低 4.71 个百分点; 平均单产 1 4921.7 kg/hm², 较郑单 958 对照高出 14.87%。

关键词: 玉米; 品种; 子粒含水率; 破碎率; 子粒机械收获

中图分类号: S513.091

文献标识码: A

Study on the Influencing Factors of Maize Mechanical Grain Harvest Quality and Cultivars Selection in Beijing

LI Shao-kun¹, WANG Ke-ru¹, PEI Zhi-chao², ZHOU Ji-hua², MING Bo¹, GAO Jiao³,
LANG Wen-shu², XU Xiang-dong⁴, XIE Rui-zhi¹, HOU Peng¹

(1. Institute of Crop Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences /

Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology, Ministry of Agriculture, Beijing 100081;

2. Beijing Agricultural Technology Extension Station, Beijing 100101;

3. Beijing Agricultural Machinery Experiment Appraisal Popularize Station, Beijing 100101;

4. Beijing Miyun District Agricultural Profession Training School, Beijing 101500, China)

Abstract: 4 points and 7 groups of mechanical grain harvest experiments were carried out in Miyun and Yanqing of Beijing from 2014 to 2016. The results showed that, the mean of broken rate was 8.81% higher than the standard of less than 5% in the technical requirements for maize mechanical harvester(GB/T 21962-2008). The average impurity rate was 1.25%, and the total loss rate was 1.10%, which were lower than the the national standards of less than 3% and 5% respectively. As the harvest time was delayed for 10 days the average value of the grain moisture content of 6 cultivars was reduced from 25.9% to 20.9%. The harvest quality of maize was greatly improved with the broken rate decreasing from 5.71% to 3.68%. According to the two-way average mapping method, we selected 5 maize cultivars suitable for mechanical grain harvest, including Ningyu524, MC703, Zhenjin 8, Denghai9 and Lianchuang808. And the average of grain moisture content of these cultivars was 23.27%, 4.71% lower than that of Zhengdan958(27.75%), and the average yield was 14921.7 kg/ha, 14.87% higher than that of Zhengdan958.

Key words: Maize; Cultivar; Grain moisture content; Kernel broken rate; Mechanical kernel harvest

录用日期: 2018-08-20

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFD0300101、2016YFD0300110)、国家玉米产业技术体系项目(CARS-02-25)、中国农业科学院农业科技创新工程

作者简介: 李少昆(1963-), 男, 新疆石河子人, 研究员, 主要研究方向为玉米栽培与生理。Tel: 13910325766 E-mail: lishaokun@caas.cn

玉米是北京市第一大农作物^[1]。为简化玉米果穗收获后晾晒、脱粒等环节,提高劳动生产率,推广玉米机械粒收技术势在必行。玉米机械粒收技术的推广受到玉米品种、种植技术、收获机械及其作业、烘干及收储运销等一系列因素影响^[2-4]。2014年以来,中国农业科学院作物栽培与生理创新团队和北京市农业技术推广站、北京市农机试验鉴定推广站、密云区及延庆区农业技术推广站、农机推广站合作,开展适宜机械粒收品种的筛选、不同收获时期与收获机械对收获质量的影响及技术集成示范工作。

1 材料与方法

1.1 试验基本情况

2014~2016年在北京密云区和延庆区开展4个点次7组机械粒收试验,包括不同收获时期和收获机械对收获质量影响、机械粒收品种筛选及技术集成示范。征集目前我国生产中表现较好以及当地选育和主栽的28个玉米品种为试材,合计73个点次,进行大区种植,随机排列,每个品种种植面积不少于0.2 hm²,种植行数不少于12行,种植密度60 000~75 000株/hm²,田间管理按当地大田生产。供试品种名称、播种与出苗及收获日期等基本情况见表1。

表1 北京机械粒收试验基本情况
Table 1 The basic experiment information of the mechanical kernel harvest in Beijing

年 份 Year	试验地点 Site	品 种 Cultivar	品种数量 (个) Number of cultivars	播种时间 (月·日) Sowing date	出苗时间 (月·日) Emergence date	收获时间 (月·日) Harvest date	备 注 Remarks
2014	密云云高岭 镇瑶亭村	农华101,郑单958,京科528,京科968,京科665, 丹玉8201,真金8号,联创808,宁玉525,宁玉524, 宁玉735,良玉66,中单909,登海9号,先玉335	15	5·05	5·15	9·24	第一次收获
	密云云高岭 镇瑶亭村	农华101,郑单958,京科528,京科968,京科665, 丹玉8201,真金8号,联创808,宁玉525,宁玉524, 宁玉735,良玉66,中单909,登海9号,先玉335	15	5·05	5·15	10·09	第二次收获
2015	密云云高岭 镇瑶亭村	农华101,郑单958,京农科728,联创808,MC703, 登海618,宁玉524,真金308,DK517,宁玉218, 真金318,裕丰303,中单909,中科玉505, 先玉335,辽单588	16	5·05	5·14	9·29	第一次收获
	密云云高岭 镇瑶亭村	MC703,京农科728,农华101,郑单958,登海618, 联创808	6	5·05	5·14	10·09	第二次收获
	延庆	郑单958,农华101,京科728,MC703,登海618	5	5·06	5·15	10·08	中农博远收获
	延庆	郑单958,农华101,京科728,MC703,登海618	5	5·05	5·15	10·08	收获机A收获
2016	密云区 高岭镇	京农科728,MC703,丰垦139,辽单588,郑单958, 联创808,农华101,辽单575,真金308,登海618, 迪卡159	11	5·05	5·13	9·28	

1.2 测试方法

采取田间机械粒收,并进行收获质量调查。密云试点采用约翰迪尔C230谷物联合收割机配备天人TR-8玉米割台作业,割幅为6行;延庆试点采取不同机型收获机械(中农博远4YL-5和收获机A)对比测试,割幅均为4行。每个品种每次收获面积不小于666.7 m²。子粒水分含量、破碎率、杂质率、田间机收损失率调查方法见柴宗文^[5]。

选择正在机械粒收的田块,从田内选择长势均

匀一致、无缺苗断垄处作为样区,在未收割前数计该区10 m行长的株数计算样地的收获株数、倒伏株、倒折株,连续选取10株,测量株高、穗位高,取下全部果穗穗粒数、穗行数、称量果穗子粒重,选择计算理论产量。分次收获试验各品种单产按首次收获时的测产结果计。

1.3 品种分类与筛选方法

按单产水平和收获时子粒含水率2个指标,采用双向平均作图法将测试品种划归为4类^[6]。

1.4 调查数据的统计分析方法

调查样本数据处理及统计分析采用 Excel 2003 和 SPSS 19.0 软件进行。

2 结果与分析

2.1 收获质量总体状况

玉米机械收获质量指标主要包括破碎率、杂质率和田间损失率,在《玉米收获机械技术条件(GB/T 21962-2008)》中规定子粒破碎率应≤5%,杂质率≤

3%,田间损失率≤5%。对在密云区开展的 5 组机械粒收试验 63 个样本测试结果表明(表 2),子粒含水率均值为 24.15%;破碎率均值为 8.81%,其中有 3 组测试的均值大于 5%,最高的(密云 2016 年)达到 24.4%;杂质率均值为 1.25%,且 5 组测试杂质率均值均低于≤3%国家标准;产量损失量均值为 224.25 kg/hm²,总损失率为 1.10%,小于≤5%国家标准。由上可见,子粒破碎率偏高是目前北京春玉米机械粒收存在的主要质量问题。

表 2 玉米机械粒收收获质量
Table 2 The harvest quality of maize mechanical kernel harvest

地 点	收获时间	项 目	子粒含水率(%)	产 量	破碎率(%)	杂质率	总损失量(kg/hm ²)	总损失率
Site	Harvest date	Item	Grain moisture content	(kg/hm ²) Yield	Kernel broken rate	(%) Impurity rate	Total amount of loss	(%) Total loss rate
北京密云	2014/9/24	平均值	24.4±2.1	13 576.0±1 423.6	5.8±1.1	1.3±0.7	363.1±293.0	2.6±2.1
		极差	20.6-28.2	10 737.0-16 027.5	3.8-7.8	0.5-2.9	8.3-1387.7	0.1-10.3
	2014/10/9	平均值	22.7±2.6	13 576.0±1 423.6	6.9±2.5	1.5±1.1	155.5±149.4	1.1±1.0
		极差	18.8-26.9	10 737.0-16 027.5	3.8-12.2	0.1-3.4	9.2-551.8	0.1-4.1
北京密云	2015/9/29	平均值	25.8±2.6	12 583.9±1 762.1	4.7±1.8	1.5±0.6	55.5±29.9	0.4±0.2
		极差	22.6-31.4	9 140.7-15 569.6	2.7-8.3	0.4-2.8	13.0-113.2	0.1-0.8
	2015/10/9	平均值	19.2±2.1	12 583.9±1 762.1	3.7±0.6	1.2±0.4	19.4±10.0	0.14±0.07
		极差	17.6-23.7	9 140.7-15 569.6	2.7-4.6	0.7-1.7	5.0-31.3	0.03-0.23
北京密云	2016/9/28	平均值	26.1±2.0	12 632.9±1 163.7	24.4±6.9	0.6±0.5	—	—
		极差	23.4-29.9	10 779.0-15 069.0	14.6-33.2	0.1-2.5	—	—
	合计	平均值	24.15±3.11	13 115.55±1 574.48	8.81±8.02	1.25±0.86	224.25±290.85	1.10±1.75
		极差	17.6-31.5	9 140.7-16 027.5	2.67-33.22	0.05-3.37	5.0-1387.7	0.04-10.36

2.2 不同时期收获对玉米收获质量的影响

利用 2015 年 9 月 29 日和 10 月 9 日两次收获结果数据分析表明(表 3),延迟 10 天收获,供试 6 个品种玉米子粒含水率均值由 25.9%降低到 20.9%,下降了 5 个百分点;玉米收获质量得到明显改善,破碎

率、落粒量显著下降。其中,子粒破碎率均值由 5.71%下降到 3.68%,降低了 2.03 个百分点;杂质率降低了 0.43 个百分点;落粒量也由 78.75 kg/hm²下降到 19.35 kg/hm²,降低了 59.4 kg/hm²。以上表明,玉米适期收获可以明显改善收获质量。

表 3 不同时期收获对玉米收获质量的影响
Table 3 The effects of different harvest time on maize harvest quality

品 种 Cultivar	子粒含水率(%) Grain moisture content		破碎率(%) Kernel broken rate		杂质率(%) Impurity rate		落粒量(kg/hm ²) Grain loss weight	
	9·29	10·09	9·29	10·09	9·29	10·09	9·29	10·09
农华 101	24.8	20.0	5.73	3.87	1.77	1.62	80.70	8.25
郑单 958	27.8	24.9	2.80	2.67	2.17	1.08	64.80	31.35
京农科 728	25.0	20.4	4.78	3.22	0.91	1.46	53.25	5.10
联创 808	24.4	19.3	8.33	4.62	1.47	1.72	55.95	17.85
MC703	27.4	20.6	5.02	3.89	0.86	0.68	113.25	30.00
登海 618	26.1	20.4	7.60	3.82	2.79	0.84	104.70	23.70
均 值	25.9 a	20.9 b	5.71 a	3.68 b	1.66 a	1.23 a	78.75 a	19.35 b

2.3 不同收获机械作业对玉米收获质量的影响

2台不同型号收获机械对比试验结果表明(表5),不同收获机械之间收获质量存在显著差异,其中,收获机A收获玉米破碎率和杂质率分别达到20.58%和1.015%,较中农博远分别高出8.83和0.435个百分点;落粒量低出66.3 kg/hm²。不同玉米品种之间破碎率、杂质率和落粒量也存在显著差异,其中,郑单958破碎率最高,达到18.46%,较最低的

农华101高出3.79个百分点;杂质率最高的郑单958(1.90%)较最低的MC703(0.28%)高出1.62个百分点;落粒量最高的登海618达到318.45 kg/hm²,较最低的郑单958高出281.25 kg/hm²。此外,不同收获机械和品种在破碎率、杂质率方面存在显著互作关系。由此可见,收获机械对玉米收获质量存在显著的影响。

表4 不同收获机械的玉米收获质量
Table 4 The maize harvest quality of different harvest machinery

品 种 Cultivar	破碎率(%) Kernel broken rate			杂质率(%) Impurity rate			落粒量(kg/hm ²) Grain loss weight		
	中农博远	收获机A	均 值	中农博远	收获机A	均 值	中农博远	收获机A	均 值
郑单958	13.83	23.08	18.46 a	1.82	1.98	1.90 a	44.55	30.00	37.20 d
农华101	10.58	18.75	14.67 c	0.32	1.39	0.85 b	190.05	78.45	134.25 bc
京科728	15.00	18.75	16.88 ab	0.27	0.91	0.59 c	123.00	27.00	75.00 cd
MC703	11.67	18.75	15.21 b	0.20	0.37	0.28 d	185.55	136.05	160.80 b
登海618	7.67	23.58	15.63 bc	0.28	0.43	0.36 d	348.45	288.45	318.45 a
均值	11.75 a	20.58 b		0.58 b	1.015 a		178.35 a	112.05 b	

表5 不同收获机械的玉米收获质量方差分析
Table 5 The variance analysis of maize harvest quality of different harvest machineries

类 型 Type	误差来源 Source of error	自由度 DF	平方和 Sum of square	均 方 Mean square	F值 F value	P值 P value	R ² 值 R ² value
破碎率	收获机型	1	780.278	780.278	215.99	<0.000 1**	0.903**
	品 种	4	73.722	18.431	5.1	0.002 9**	
	品种×收获机型	4	159.389	39.847	11.03	<0.000 1**	
	误 差	30	108.375	3.612			
杂质率	收获机型	1	1.911	1.911	60.9	<0.000 1**	0.948**
	品 种	4	13.816	3.454	110.07	<0.000 1**	
	品种×收获机型	4	1.320	0.3300	10.52	<0.000 1**	
	误 差	30	0.941	0.031			
落粒量	收获机型	1	195.364	195.364	8.52	0.006 6**	0.736**
	品 种	4	1 670.252	417.563	18.2	<0.000 1**	
	品种×收获机型	4	52.714	13.178	0.57	0.683	
	误 差	30	688.146	22.938			

2.4 适合机械粒收玉米品种筛选

利用子粒含水率和单产两个关键指标按双向平均作图法,对供试4组(密云试点2014年9月24日第1次收获和10月9日第2次收获,2015年9月29日收获,2016年9月28日收获)测试品种分别进行分类后再统计,结果表明(表6),在2个以上点次稳定表现出产量高于平均值、含水率低于平均值的品种(处于第Ⅱ象限)有5个,分别为宁玉524,MC703,真金8号,登海9号和联创808,其子粒含水率平均为23.27%,

较对照郑单958(27.75%)低4.71个百分点;平均单产14 921.7 kg/hm²,较郑单958对照高出14.87%,可作为玉米适宜机械粒收候选品种。处于第Ⅲ象限的品种共3个,包括先玉335,丹玉8201和宁玉735,平均含水率20.6%,较对照郑单958低7.15个百分点;平均单产11 762.97 kg/hm²,较对照低9.45%。这些品种多表现出脱水快的特点,但单产水平低于平均值,可以在热量资源不足地区种植,或作为热量资源充分地区的搭配品种。仅参加了一个点次试验且表现

较好的品种共有6个,其中包括产量高、含水率低的品种迪卡517;早熟性好、但产量低于平均值的宁玉218、真金318、中科玉505、丰垦3号和迪卡159,建议下年进一步进行测试。

此外,农华101、京科968、宁玉525、登海618表现出产量水平高于平均值、子粒含水量高于平均值,可以作为高产品种植。

表6 适宜机械粒收玉米品种总体筛选结果
Table 6 The screened maize cultivars suitable for mechanical grain harvest

类 型 Type	品种(所处象限) Cultivar(Quadrant)	含水率(%) Moisture content	产量(kg/hm ²) Yield
子粒含水率低于平均值、产量高于平均值,适宜粒收品种	宁玉524(Ⅱ,Ⅱ,Ⅱ)	22.9	1 4812.4
	MC703(Ⅱ,Ⅱ)	24.8	1 3425.4
	真金8号(Ⅱ,Ⅱ)	22.1	1 6027.5
	登海9号(Ⅱ,Ⅱ)	22.4	1 5421.5
	联创808(Ⅱ,Ⅱ,Ⅱ,Ⅰ)	23.0	1 4921.7
	平均	23.04	1 4921.7
子粒含水率低于平均值、产量低于平均值,较适宜粒收品种	迪卡517(Ⅱ)	24.4	1 5569.6
	先玉335(Ⅲ,Ⅲ,Ⅲ)	21.5	1 1302.4
	丹玉8201(Ⅲ,Ⅲ)	20.6	1 2457.5
	宁玉735(Ⅲ,Ⅲ)	19.7	1 1529.0
	平均	20.6	1 1762.97
子粒含水量高于平均值、产量高于平均值	宁玉218(Ⅲ)	23.7	1 1560.2
	真金318(Ⅲ)	24.4	1 0944.4
	中科玉505(Ⅲ)	24.9	9140.7
	丰垦3号(Ⅲ)	23.4	1 0779.0
	迪卡159(Ⅲ)	25.3	1 1689.5
	农华101(Ⅰ,Ⅰ,Ⅰ,Ⅰ)	26.1	1 3730.0
	京科968(Ⅰ,Ⅰ)	27.1	1 4454.0
	宁玉525(Ⅰ,Ⅰ)	24.3	1 3744.5
	登海618(Ⅰ,Ⅱ)	26.4	1 3743.4
	平均	25.98	1 3917.96
对 照	郑单958(Ⅰ,Ⅳ,Ⅳ,Ⅳ)	27.75	1 2990.38

3 讨 论

适宜粒收品种筛选是机械粒收技术推广的一个重要环节。收获时子粒含水率偏高导致较高的破碎率是当前影响我国玉米机械粒收技术推广的重要制约因素^[7-8],单产水平是品种产量潜力及其抗病性、抗逆能力的综合表现。本文采用子粒含水率和单产水平两个指标,采用双向平均作图法对供试品种进行了分析,初步筛选出产量水平高、子粒脱水快的宁玉524、MC703、真金8号、登海9号和联创808等5个品种作为北京春玉米适宜机械粒收品种。这些品种子粒含水率平均为23.27%,较对照郑单958(27.75%)低4.71个百分点;平均单产14 921.7 kg/hm²,较郑单958对照高出14.87%。此外,与传统生产人工和机械穗收相比,机械粒收玉米对品种的抗倒性能、耐/抗穗腐病、玉米螟能力及落穗性提出了更高

的要求,因此,还需要对品种的这些特性开展进一步的鉴定。

子粒含水率高不仅造成破碎,而且增大烘干成本、增加安全贮藏的难度,已经成为一个重要的经济性状。本文研究表明,破碎率均值为8.81%,是目前北京春玉米机械粒收存在的主要质量问题。根据国内外研究表明,破碎率高与收获时子粒含水率偏高有关,受基因型、环境因素、收获机械类型及作业、栽培措施等影响^[9],破碎率最低的子粒含水率一般处于18%~23%^[10-15]。在北京春玉米区,后期光照条件、热量资源较好,目前熟期品种一般在9月上旬至中旬达到生理成熟期,尚有1个多月的时间可用于田间站秆脱水。本文不同收获期的研究也表明,当收获时期由9月29日延迟到10月9日,供试品种子粒含水率均值由25.9%下降到20.9%,子粒破碎率可由5.71%下降到3.68%,收获质量明显改善。因此,

需要进一步根据当地热量资源条件,确定适宜的收获时期,充分挖掘当地热量资源,实现玉米产量和收获质量的协调。

参考文献:

- [1] 裴志超,周继华,郎文书,等.北京市适宜机收粒春玉米品种筛选研究[J].农业科技通讯,2016(4):107-111.
Pei Z C, Zhou J H, Lang S W, et al. Screening of spring maize varieties suitable for harvesting in Beijing[J]. Bulletin of Agricultural Science and Technology, 2016(4): 107-111. (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),2017,35(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 Shihezi University, 2017, 35(3): 265-272. (in Chinese).
- [3] 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)
- [4] 王克如,李少昆.玉米子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)
- [5] 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)
- [6] 王克如,李少昆,王延波,等.辽宁中部适宜机械粒收玉米品种的筛选[J].作物杂志,2018(3):97-102.
Wang K R, Li S K, Wang Y B, et al. Research on maize cultivar screening suitable for mechanical grain harvest in the middle Liaoning Province[J]. Crops, 2018(3): 97-102. (in Chinese)
- [7] 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)
- [8] 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)
- [9] 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(1): 114-116. (in Chinese)
- [10] Hadi G, Kasa S, Racz F. Changes in the water content of maize varieties after physiological maturity[J]. Acta agronomica hungarica, 2009, 57(1): 41-46.
- [11] 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.
- [12] Chowdhury M H, Buchele W F. The nature of corn kernel damage inflicted in the shelling crescent of grain combines[J]. Transactions of the ASAE, 1978: 610-614.
- [13] Paulsen M R. Corn breakage susceptibility as a function of moisture content[J]. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 1983, 83: 30-78.
- [14] Hall G E, Johnson W H. Corn kernel crackage induced by mechanical shelling[J]. Transactions of the ASABE, 1970, 13(1): 51-55.
- [15] 宋卫堂,封俊,胡鸿烈.北京地区夏玉米联合收获的试验研究[J].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[J]. Trans. CSAM, 2005, 36(5): 45-48. (in Chinese)

(责任编辑:栾天宇)