

不同机型机收对制种玉米质量和产量损失的影响

张有富¹, 侯 婷¹, 张安顺¹, 王小军², 杨 苗¹, 孔东升³

(1. 河西学院农业与生态工程学院, 甘肃 张掖 734000; 2. 河西学院物理与机电工程学院, 甘肃 张掖 734000;

3. 河西学院乡村振兴研究院, 甘肃 张掖 734000)

摘 要: 目前, 甘肃张掖玉米制种成本的不断上涨促使生产迫切需要机械化以降低成本。在制种玉米的机械化收获中, 为了实现张掖制种玉米低损机械化收获, 选取国内主流的7种不同机型进行制种玉米机收对比试验。结果表明, 收穗-扒皮两段式4YZS-4A的子粒损失率1.74%, 产量损失率1.58%, 产量损失133.80 kg/hm², 机收子粒破损率0.94%, 均最低; 种子发芽率达100%, 是适合制种玉米收获的最佳机型。4YZB-4F的子粒损失率3.81%, 产量损失率3.20%, 产量损失277.95 kg/hm², 机收子粒破损率1.19%, 种子发芽率97.33%, 是收穗-扒皮一段式机型中最好的机型。

关键词: 玉米; 机械化收获; 机损率; 破损率; 发芽率

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effect of Different Harvester Models on Seed Quality and Yield Loss in Maize Seed Production

ZHANG You-fu¹, HOU Ting¹, ZHANG An-shun¹, WANG Xiao-jun²,

YANG Miao¹, KONG Dong-sheng³

(1. College of Agriculture and Ecological Engineering, Hexi University, Zhangye 734000;

2. College of Physics and Electromechanical Engineering, Hexi University, Zhangye 734000;

3. Rural Revitalization Research Institute, Hexi University, Zhangye 734000, China)

Abstract: The rising cost of seed production in Zhangye, Gansu, has prompted an urgent need for mechanization to reduce expenses. In the mechanized harvesting of maize seed production, 7 kinds of domestic main maize harvester models were selected for a comparative test to achieve low-loss mechanized harvesting. The results showed that the maize harvester 4YZS-4A had the lowest grain loss rate of 1.74%, yield loss rate of 1.58%, yield loss of 133.80 kg/ha, grain damage rate of 0.94%, and the seed germination rate reached 100%, which was the two-stage machine of ear harvesting-bract peeling and the best model suitable for maize hybrids harvest. In contrast, the maize harvester 4YZB-4F had the grain loss rate of 3.81%, the yield loss rate of 3.20%, the yield loss of 277.95 kg/ha, the seed damage rate of 1.19%, and the seed germination rate of 97.33%, which is the best model of proceed simultaneously in the ear harvesting-bract peeling.

Key words: Maize; Mechanized harvest; Mechanical damage rate; Damaged seeds rate; Germination rate

录用日期: 2024-05-07

基金项目: 农业农村部制种玉米全程机械化科研基地项目(2105-000000-20-01-849645)、甘肃省高等学校青年博士基金项目(2022QB-155)、甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2022CYZC-62)、河西学院博士科研启动金项目(KY-QD2022007)

作者简介: 张有富(1977-), 男, 甘肃民勤人, 博士, 副教授, 研究方向为玉米遗传育种、玉米种子生产。

E-mail: zyf4391504@163.com

孔东升为本文通信作者。

玉米生产全程机械化是我国玉米生产的主要发展方向, 主要包括耕、种、管、收4个环节^[1]。随着人工成本逐步走高, 制种玉米生产也向全程机械化发展。甘肃省张掖市目前已成为我国玉米制种的核心区域, 每年的制种面积保持在7万~10万hm², 生产的玉米杂交种占我国玉米用种量的45%以上^[2-4]。自2020年开始, 张掖市制种玉米成本快速上涨。至2023年, 代繁费约18 000元/hm², 人工去雄工价涨到300~480元/d, 人工收获220元/d。制种成本的不断上涨促使生产迫切需要机械化以降低成本。机械化

收获是玉米制种全程机械化非常重要的一环^[5-6]。

在大田玉米生产中,目前机械化收获模式主要分为4种^[7-8],摘穗+剥皮+脱粒+秸秆粉碎还田4段作业;摘穗、剥皮、秸秆粉碎还田+脱粒二段作业;摘穗、剥皮、秸秆回收+脱粒二段作业;摘穗、剥皮、脱粒、分离清选、秸秆粉碎还田一段作业。大田玉米机收目前主要是以摘穗为主^[9-10],趋势是从穗收向粒收转化^[11]。制种成本高,经济附加值也高^[12],机械粒收相比穗收而言,子粒破损率大^[13],因此,不适合制种玉米收获。穗收时,玉米穗在收割机头部折断时产生的冲击也会造成子粒损失^[14]。因此,进行不同机型穗收实验,研究机损小、机收种子质量高的机型是当下制种玉米收获机械化亟需解决的问题。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地分别位于张掖市甘州区党寨镇党寨村党寨园艺场、临泽县板桥镇西湾村二社、临泽县板桥镇壕洼村三社,种植玉米组合为中科玉505,播种株距15 cm,行距宽窄行60 cm+40 cm,穗位高74 cm。

1.2 试验设计

机收试验以单因素试验设计,研究7种不同收获机型对制种玉米收获的损失率。7种机型来自7个不同生产厂家的品牌。其中,1号机型号为4YZ-6F2,2号机型号为4YZB-4F,3号机型号为PRO1408Y-4,4号机型号为4YZS-4A,5号机型号为4YZB-3B,6号机型号为4YZSJ-4A,7号机型号为4YZ-4B6。4号机摘棒-扒皮分二段进行,田间作业

只摘棒,不扒皮;其他机械均摘棒扒皮同时进行,6号机还同时进行秸秆粉碎,实现穗茎兼收。

1.3 试验方法

机收开始前,用Kett谷物水分测量仪(PM-8188)现场测定水分,测量3次,求平均值,测得收前种子水分平均含量为31%。

机收损失率统计。机收后,按机收行向以2 m²(1 m×2 m)为1个取样点(小区),统计小区株数;按种植平均幅宽从小区地面捡拾落穗、落粒,并统计粒数和称重;每个机型取样3~6点,统计子粒损失率、产量损失率和单位面积产量损失。其中,子粒损失率用小区掉落的子粒数/(小区收获的子粒数+小区掉落的子粒数)估算;产量损失率=小区损失子粒重/(小区收获子粒重+小区损失子粒重)×100%;单位面积产量损失=小区落子粒重/小区面积。

机收破损率统计。在卸料口将各机型收获的果穗随机取样10~20穗,单穗手工脱粒,分别统计每穗的正常种子率、轻损种子率、重损种子率。正常种子指机收后无损种子,轻损种子指机收后种子表面有1~2条裂纹的种子;重损子粒指机收后种子少了1块、子粒压烂或严重变形的种子。

机收种子发芽率统计。将机收破损率统计完的种子,按照不同机型的正常种子、轻损种子、重损种子分别进行发芽试验,统计各级种子发芽率,根据发芽率判断轻损和重损种子是否可作为种子销售。

2 结果与分析

2.1 不同机型机收损失率

表1 不同机型的机收损失率
Table 1 Loss rate of harvesting in different harvester types

机型 Type	子粒损失率 (%) Loss rate of maize kernel	产量损失率 (%) Loss rate of yield	产量损失 (kg/hm ²) Yield loss
No.1	7.66±0.33 a	6.07±0.40 a	622.80±1.84 a
No.2	3.81±0.82 abc	3.20±0.76 ab	277.95±1.06 b
No.3	5.62±1.50 ab	4.78±1.54 ab	602.40±0.70 a
No.4	1.74±0.53 c	1.58±0.52 c	133.80±0.90 b
No.5	2.87±0.69 bc	2.30±0.60 c	224.85±4.41 b
No.6	5.16±1.82 abc	5.71±1.26 ab	589.20±9.80 a
No.7	4.52±1.37 abc	3.83±1.17 ab	565.50±10.27 a

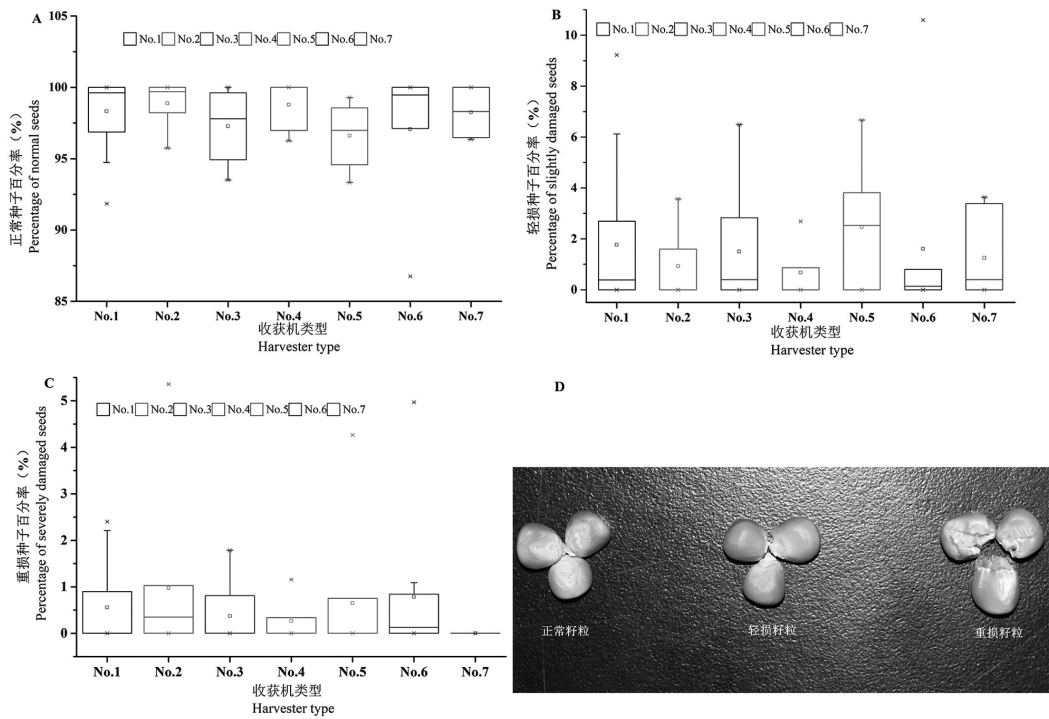
由表1可知,不同机型的子粒损失率在1.74%~7.66%。方差分析表明,子粒损失率4号机最小,和2、5、6、7号机间差异不显著;和1、3号机间有显著差异。1号机子粒损失率最高,达7.66%。

不同机型的产量损失率在1.58%~6.07%。产量损失率4号机最小,和5号机间差异不显著,和其他机型间均有显著差异;1号机产量损失率最大,达6.07%。

产量损失在 133.80 ~ 622.80 kg/hm²。1 hm²产量损失 4 号机最小,仅有 133.80 kg/hm²,和 2、5 号机差异不显著;和 1、3、6、7 号机均达到显著差异,和 1 hm²产量损失最大的 1 号机相比,差距甚至达到 4 倍以上。综合来看,从机收机损角度考虑,4 号机机损最小,2、5 号机机收损失较小,和 4 号机差异不大;1、3、6、7 号机和 4 号机相比,有显著产量损失。

2.2 不同机型机收子粒破损率

将 7 种机型卸料口收获的果穗人工手动脱粒,分别统计每穗的正常种子率、轻损种子率、重损种子率。方差分析表明(图 1),不同机型间,正常种子率、轻损种子率、重损种子率均差异不显著。从中位数和均数来看,均有较大差异。极端最大值和极端最小值遮盖了不同机型间的真实差异。因此,剔除极端值后进行方差分析,结果如表 2。



注:A代表正常种子率;B代表轻损种子率;C代表重损种子率;D代表正常种子、轻损种子、重损种子标准。No.1~No.7代表1号机~7号机。每种机型对应的箱式图中,横线代表数据中位值;最上面的*代表极端最大值,最下面的*代表极端最小值,中间的圆圈代表平均数。
Note: A, the percentage of normal seeds; B, the percentage of slightly damaged seeds; C, the percentage of severely damaged seeds; D, the seed standard of normal seeds, slightly damaged seeds and severely damaged seeds. No.1–No.7 means No.1 harvester to No.7 harvester. In the box plot for each type, the horizontal line represents the median value of the data; the top * represents the extreme maximum value, the bottom * represents the extreme minimum value, and the middle circle represents the average value.

图1 不同机型收获制种玉米机损率

Fig.1 Loss rate of harvesting in different harvester types in maize seed production

表2 不同机型机收破损率

Table 2 Grain breakage rate of harvesting in different harvester types %

机型 Type	正常种子率 Normal seed rate	轻损率 Slightly damaged seed rate	重损率 Severely damaged seed rate
No.1	98.36±0.49 ab	1.20±0.38 b	0.50±0.16 a
No.2	98.81±0.50 a	0.66±0.29 b	0.53±0.26 a
No.3	98.13±0.91 ab	1.50±0.92 ab	0.37±0.26 a
No.4	99.06±0.45 a	0.68±0.34 b	0.26±0.15 a
No.5	96.89±0.66 b	2.46±0.75 a	0.65±0.41 a
No.6	99.36±0.25 a	0.36±0.18 b	0.28±0.11 a
No.7	98.75±0.60 a	1.25±0.60 ab	0.00±0.00 a

由表2可以看出,4号机收获的子粒破损率只有0.94%,包括轻损和重损;其正常种子率达99.06%,仅略低于6号机。2、4、6、7号机相互间差异不显著,正常种子率均显著高于5号机。机收子粒轻损率5号机最高,达2.46%,1、2、4、6号机显著低于5号机,其中,2、4、6号机的子粒轻损率均低于0.7%。机收子粒重损率7种机型间差异均不显著,最严重的只有0.65%(5号机),7号机的重损率甚至为0。机收子粒破损率均在可接受范围内,由于制种玉米单价较高,为经济效益考虑,5号机不宜用于制种玉米机收。

2.3 不同机型机收种子的发芽率

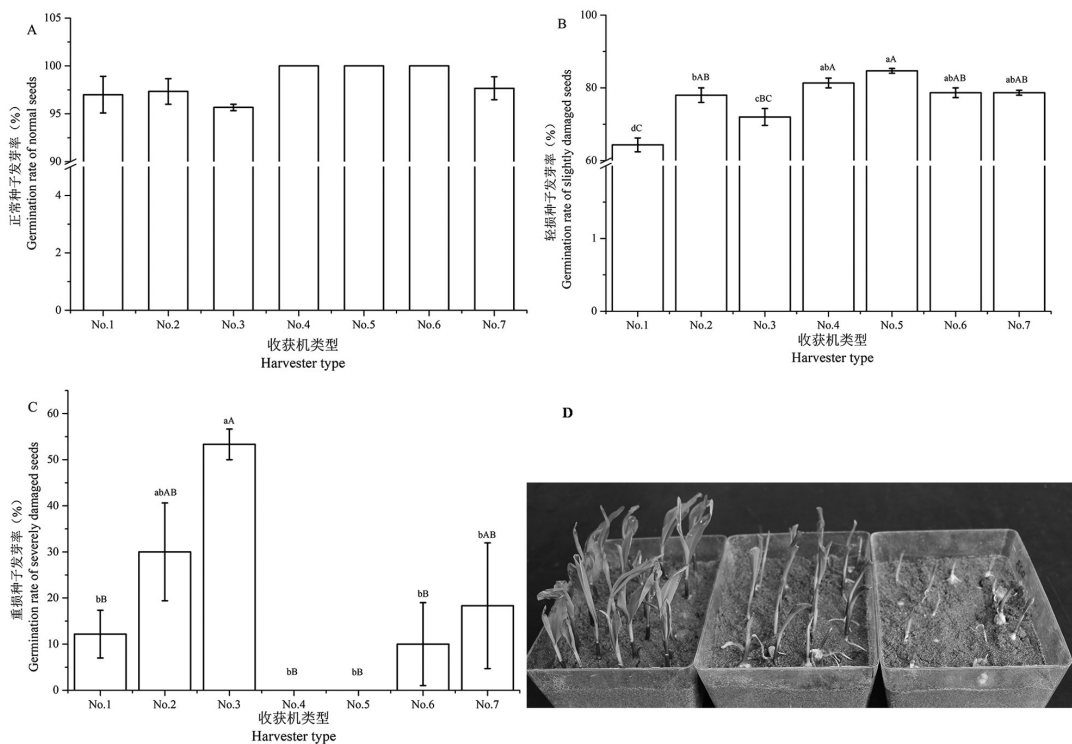
将不同机型收获的种子分为正常种子、轻损种子和重损种子,对3种种子进行发芽试验。结果如图2所示。

从正常种子的发芽率来看(图2),7种机型机收种子的发芽率均在95%以上,且机型间差异均不显著。证明7种机型所收的正常种子均达到了单粒播种的标准。4号机、5号机和6号机机收,正常种子的

发芽率均达到100%。方差分析表明,不同机型间机收种子轻损种子发芽率差异显著,5号机机收种子发芽率显著高于1、2、3号机,和4、6、7号机间差异不显著。7种机型机收种子的轻损种子发芽率在64.3%~84.7%,均未达到国家标准,只有5号机机收种子勉强接近国家标准。7种机型收获的轻损种子均不能作为种用,需经过种子精选剔除。不同机型机收的重损种子的发芽率最高为53%(3号机),最低只有10%(6号机)。4、5号机收获的种子没有重损种子,另外几种机型收获的重损种子发芽率均远低于国家标准,因此,重损种子不能作为种用,也需经过种子精选剔除。

3 结论与讨论

制种玉米较高的单价,决定了制种企业非常关注收获损失率。在机械化收获过程中,田间扒皮会造成子粒飞溅田间,无法捡拾,从而造成较大的经济损失。同时,在田间扒皮过程中,由于为保证生产进



注:A代表正常种子发芽率,其中,NO.4、NO.5、NO.6机型的发芽率均达到了100%;B代表轻损种子发芽率;C代表重损种子发芽率;D代表正常种子、轻损种子、重损种子发芽情况。NO.1–NO.7:1号机–7号机。竖线为标准误;小写字母代表5%水平差异显著性;大写字母代表1%水平差异显著性。

Note: A, Germination rate of normal seeds, among which, the germination rate of NO.4, NO.5 and NO.6 harvesters reached 100%; B, Germination rate of slightly damaged seeds; C, Germination rate of severely damaged seeds; D, Germination situation of normal seeds, slightly damaged seeds and severely damaged seeds. NO.1–NO.7: NO.1 harvester to No.7 harvester. The vertical line represents standard error. Lowercase letters represent significant differences at the 5% level; Capital letters represent significant differences at the 1% level.

图2 不同机型收获种子发芽率

Fig.2 Seeds germination rate of harvesting by different harvester types

度,收穗-扒皮一体机转速较快,会造成子粒严重损伤^[15-17],从而导致破损子粒易受霉菌感染^[18]。在加工厂机械扒皮,飞溅种子可以捡拾,同时不受收获季节限制,扒皮速率可调,子粒破损率低于田间扒皮。

7种机型收获的对比试验中可以看出,田间带苞叶收穗的收穗-扒皮二段式4号机,其子粒损失率、产量损失率和单位面积产量损失均小于其他机型;种子破损率仅略低于6号机,达99%以上;正常种子发芽率达到100%,显著优于其他机型。说明苞叶很好地保护了扒皮时的子粒飞溅和子粒破损,大大降低了机收损失率和子粒破损率,显著减少了种子机收产量损失,保证了种子的芽率。和4号机相比,1、3、6、7号机的产量损失达到600 kg/hm²。因此,从机损来看,制种玉米机械收获,选收获-扒皮二段的4号机为最佳;其次,应选和4号机相比,单位面积产量损失差异不显著的收穗-扒皮一段的2、5号机,能将经济效益损失降到最低。

机械收获时剧烈碰撞会导致子粒发生裂纹或严重损伤。子粒损伤后,会影响发芽,或导致芽苗不正常,最终影响产量。制种玉米种子主要做种用,因此,降低机收子粒破损率,对于制种玉米而言有非常重要的意义。机收比较试验表明,机收子粒破损率以5号机机收种子最高,达3.11%,显著高于2、4、6、7号机。子粒破损虽然不影响产量,但会严重影响种子发芽。对制种玉米而言,破损种子必须通过精选剔除,较高的子粒破损率将大大减少制种企业的收益。因此,从子粒破损率考虑,应选择6、4号机机收种子,机损均低于1%;其次选择2、7号机,机损仅为1.2%。

发芽率分析表明,7种机型收获的种子中,正常种子发芽率均达到了单粒播种标准(93%),完全符合种用要求。轻损种子和重损种子芽率均没有达到国标,不能做种用。但由于这两类种子在收获种子中所占比例分别小于2.5%、0.65%,且可以通过精选过程剔除,不影响整体机收种子的质量。从发芽率综合比较来看,4、5、6号机正常种子芽率均达到100%,其收获的种子质量最优。其次为1、2、7号机,正常种子芽率均达到97%以上,3号机略低,为95.67%。

试验综合来看,两段式收获的4号机,相比其他机型,其子粒损失率1.74%,产量损失率1.58%,产量损失133.80 kg/hm²,机收子粒破损率0.94%,均最低,同时种子发芽率达到100%,是适合制种玉米收获的最佳机型。因此,采用两段式收获的4号机是最适合制种玉米收获的机型。若进行一段式收获,

相对其他一段式机型,2号机的机收损失率3.81%,产量损失率3.20%,产量损失277.95 kg/hm²,机收子粒破损率1.19%,种子发芽率97.33%,是收穗-扒皮一段式机型中最好的机型。

我国尚没有专门的制种玉米收获机械,目前的收获机械均是在大田玉米收获机械上改进而来。影响机收损失和子粒破损的主要零件为分禾器和摘穗辊、剥皮辊等^[19-20]。同时,不同水分下,机收损失率也有很大差异^[21]。我国玉米机收时含水量普遍较高,主要采用收穗-扒皮两段式进行^[22],制种玉米粒收或水分太低均会造成破损率大大增加,因此,制种玉米采用较高水分(30%),并采用收穗-扒皮两段式收获,可大大降低子粒损失率和种子破损率,同时保证较高的发芽率。

制种玉米是高投入的产业,较高的种子价格,决定了对机收机损的较高要求。通过7种机型的机收损失(率)、机收子粒破损率、机收种子发芽率的比较,机收损失(率)较小的机型为4、5、2号机,均适合制种玉米收获。特别是4号机,其子粒损失率、产量损失率、产量损失均较小。机收破损率6、4、2、7号机收获的正常种子百分率显著高于5号机;6、2、4、1号机收获的轻损率显著低于5号机。综合比较,6、4、2号机机收破损率较低。机收种子发芽率结果表明,轻损种子和重损种子的机收种子发芽率均未达国标,不能作为种子使用。而正常种子发芽率均在95%以上,均达到了单粒播种的标准。4、5、6号机正常种子芽率最为突出,均达到100%。综合来看,制种玉米采用收穗-扒皮二段式收获,4号机为最佳机型;采用收穗-扒皮一段式收获,2号机为最佳机型。

参考文献:

- [1] 欧阳安,樊晨龙,赵慧慧,等.玉米全程机械化现状与装备研究进展[J].中国农机化学报,2022,43(6):207-214.
OUYANG A, FAN C L, ZHAO H H, et al. Present status and equipment research progress of maize full-mechanized production[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(6): 207-214. (in Chinese)
- [2] 闫宏昱.张掖国家级玉米制种基地生产经营模式探讨[J].中国种业,2022(2):64-66.
YAN H Y. Discussion on production and management mode of national maize seed production base in Zhangye[J]. Chinese Seed Industry, 2022(2): 64-66. (in Chinese)
- [3] 王亚军,蒙立明,张振国,等.张掖市、昌吉州制种基地考察报告[J].中国种业,2022(4):48-50.
WANG Y J, MENG L M, ZHANG Z G, et al. Investigation report of seed production base in Zhangye City and Changji Prefecture[J]. Chinese Seed Industry, 2022(4): 48-50. (in Chinese)

- [4] 靳炜. 张掖玉米制种基地生防菌的分离鉴定及生防效应分析[D]. 南京:南京农业大学, 2019.
- [5] 辛尚龙. 立辊式玉米摘穗机理与关键技术研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2020.
- [6] 李克鸿. 间隙可调组合式玉米摘穗机构设计与试验研究[D]. 北京:中国农业大学, 2018.
- [7] ZHANG K, WANG L M, SI H L, et al. Maize stalk rot caused by *Fusarium graminearum* alters soil microbial composition and is directly inhibited by *Bacillus siamensis* isolated from rhizosphere soil[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2022, 13: 986401.
- [8] 陈志. 玉米全价值收获关键技术与装备[M]. 北京:科学出版社, 2014: 1-181.
- [9] 晓琳. 我国玉米联合收获机技术发展:任重而道远[J]. 农业机械, 2010(7): 32, 34, 38, 40.
XIAO L. The development of corn combine harvester technology in China: There is still a long way to go[J]. *Agricultural Machinery*, 2010(7): 32, 34, 38, 40. (in Chinese)
- [10] 靳范, 赵玉仙. 浅谈玉米收获机械化技术应用与发展[J]. 新疆农机化, 2010(5): 36-38.
JIN F, ZHAO Y X. Discussion on the application and development of maize harvesting mechanization technology[J]. *Xinjiang Agricultural Mechanization*, 2010(5): 36-38. (in Chinese)
- [11] 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)
- [12] 景琦, 刘春青. 我国玉米种业供需形势与市场价格分析[J]. 中国种业, 2021(7): 5-7.
JING Q, LIU C Q. Analysis of supply and demand situation and market price of maize seed industry in China[J]. *Chinese Seed Industry*, 2021(7): 5-7. (in Chinese)
- [13] 贾琳. 适宜机械粒收玉米品种子粒脱水速率及相关性状的研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学, 2018.
- [14] PAULSEN M, PINTO F, DE SENA J R D, et al. Measurement of combine losses for corn and soybeans in Brazil[J]. *Applied Engineering in Agriculture*, 2014, 30(6): 841-855.
- [15] SOTNAR M, POSPISIL J, MARECEK J, et al. Influence of the combine harvester parameter settings on harvest losses[J]. *Acta Technologica Agriculturae*, 2018, 21(3): 105-108.
- [16] YANG L, CUI T, QU Z, et al. Development and application of mechanized maize harvesters[J]. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2016, 9(3): 15-28.
- [17] 刘磊, 杜岳峰, 栗晓宇, 等. 基于离散元法的种子玉米剥皮过程子粒损失分析与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(S2): 28-38.
LIU L, DU Y F, LI X Y, et al. Analysis and experiment on kernel loss of seed corn during peeling based on DEM[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2022, 53(S2): 28-38. (in Chinese)
- [18] 林杰, 王发赢, 姚艳春, 等. 基于 GoogLeNet 的玉米子粒破损及霉变在线辨识方法[J]. 中国农机化学报, 2023, 44(10): 87-92.
LIN J, WANG F Y, YAO Y C, et al. Online identification method of corn kernel damage and mildew based on GoogLeNet[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2023, 44(10): 87-92. (in Chinese)
- [19] 杜岳峰, 朱忠祥, 宋正河, 等. 小型玉米收获机分禾与摘穗装置性能仿真[J]. 农业机械学报, 2012, 43(S1): 100-105.
DU Y F, ZHU Z X, SONG Z H, et al. Simulation of divider and snapping roll for small-scale corn harvester[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2012, 43(S1): 100-105. (in Chinese)
- [20] 刘磊, 杜岳峰, 栗晓宇, 等. 基于离散元法的种子玉米剥皮过程子粒损失分析与试验[J]. 农业机械学报, 2022, 53(S2): 28-38.
LIU L, DU Y F, LI X Y, et al. Analysis and experiment on kernel loss of seed corn during peeling based on DEM[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 2022, 53(S2): 28-38. (in Chinese)
- [21] 杨立权. 切流横轴流玉米脱粒系统设计及试验研究[D]. 郑州:河南农业大学, 2018.
- [22] 中华人民共和国国家标准(GB/T 21962-2020), 玉米收获机械, 2020.

(责任编辑: 栾天宇)