

冰冻对球形花爆裂玉米品质的影响

贾 森¹, 孙淑凤², 史振声²

(1. 绥化学院农业与水利工程学院, 黑龙江 绥化 152061; 2. 沈阳特亦佳玉米科技有限公司, 沈阳 113122)

摘 要: 以球形花爆裂玉米佳球 105 为试验材料, 分别在-10℃、-20℃、-30℃条件下对含水量 15%、18%、21%、24%、27% 的爆裂玉米进行冰冻 20 d 处理, 分析冰冻对球形花爆裂玉米品质的影响。结果表明, 冰冻处理会使爆裂玉米品质下降, -10℃、含水量为 24% 处理会发生果皮分离现象。膨爆倍数随着含水量的升高和温度的降低而降低, 含水量为 24% 时, -10℃、-20℃、-30℃ 处理分别比对照降低 3.0%、3.9%、7.7%; 含水量为 27% 时, -10℃、-20℃、-30℃ 处理分别比对照降低 5.2%、8.4% 和 12.9%。冰冻对玉米花的脆性有明显影响, 当含水量为 24%、27% 时, -30℃ 冰冻条件下玉米花的硬度明显增大, 分别比对照增加 31.6% 和 35.2%, 口感变差。当含水量为 21%、24%、27% 时, 冰冻使果皮脱落量增加, 其中-10℃ 处理脱落量最大, 含水量为 24% 和 27% 处理分别比对照高出 2 倍和 8 倍。当含水量为 24%、27% 时, -10℃ 处理会出现整块果皮的大量脱落。冰冻对玉米粒外观、玉米粒体积、爆花率、花形、成球率影响较小。

关键词: 爆裂玉米; 球形玉米花; 冻害; 品质

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Effects of Freezing on the Quality of Mushroom Popcorn

JIA Sen¹, SUN Shu-feng², SHI Zhen-sheng²

(1. College of Agriculture and Hydraulic Engineering, Suihua University, Suihua 152061;

2. Shenyang Teyijia Corn Technology Co., Ltd., Shenyang 113122, China)

Abstract: In order to analyze the effect of freezing on the quality of the mushroom popcorn using ‘Jiaqiu 105’ mushroom popcorn as the test material, the popcorn with water content of 15%, 18%, 21%, 24% and 27% was subjected to freezing conditions at -10℃, -20℃, and -30℃ for 20 days, respectively. The results showed that the quality of popcorn was decreased by freezing treatment. Peel separation occurred when the condition was -10℃ with 24% water content. The expansion multiples decreased with water content increasing and temperature decreasing, 24% water content, -10℃, -20℃, -30℃ were 3.0%, 3.9%, 7.7% lower than the control, respectively. Water content 27%, -10℃, -20℃, -30℃ treatment compared with the control decreased by 5.2%, 8.4% and 12.9%, respectively. When the water content was 24% or above, the hardness of popcorn increased significantly at -30℃, which was 31.6% and 35.2% higher than that of the control, respectively, and the taste was worse. When the water content was 21% or above, the peeling amount increased, and the peeling amount was the largest at -10℃, and peeling amount was twice and eight times higher for water content of 24% and 27% respectively, compared to the control sample. At the same time, the entire peel would fall off under -10℃ when the water content was 24% or 27%. Freezing has little effect on the appearance, volume, explosive rate, flower shape and spherical popcorn rate of corn kernels.

Key words: Popcorn; Mushroom popcorn; Freeze injury; Quality

录用日期: 2022-06-22

基金项目: 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费项目(YWF 10236220229)、黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划(UNPYSCT-2020203)、绥化学院科研创新团队项目(SIT05002)

作者简介: 贾 森(1986-), 女, 黑龙江呼兰人, 硕士, 主要从事玉米育种与栽培生理研究。E-mail: jiasen8608@163.com
史振声为本文通信作者。E-mail: shi.zhensheng@163.com

爆裂玉米(*Zea mays* L. var. *everta*)是一种专门用于爆制玉米花的玉米类型。爆裂玉米根据爆出的玉米花的花形可分为球形花爆裂玉米、蝶形花爆裂玉米和混合花形爆裂玉米。爆裂玉米产业在美国经久不衰, 在过去 100 多年中平均以每年 5% 的速度持续增长^[1]。近年来, 我国爆裂玉米产业蓬勃发展, 其中球形花爆裂玉米因其形态美观、适于裹糖、口感酥

脆、风味独特而备受青睐^[2]。球形花爆裂玉米的特点是玉米花呈圆球状,玉米花表面光滑或带有龟裂花纹,不仅形状美观而且不易破碎,是专门用来加工焦糖玉米花的品种类型。为了适应裹糖工艺上的要求、提高裹糖效果,并达到理想的产品形状,希望花形越圆越好,球形花比例越高越好,膨爆倍数和爆花率越大越好。爆裂玉米加工品质的好坏首先取决于品种,此外,种植生产、原料加工、仓储保管等技术环节也有较大影响,管控措施不当会使品质降低甚至失去利用价值。关于爆裂玉米品质影响因子的研究已有较多报道,大多集中在玉米品种、种植密度、成熟度、水分、病虫害以及机械损伤等方面^[3,4]。

美国爆裂玉米的种植区域多集中在印第安纳州、艾奥瓦州、内布拉斯加州等北纬41°N~43°N以南的地区,该区域的气候条件可使爆裂玉米收获水分达到16%以下。黑龙江省和内蒙古自治区是我国玉米种植面积最大的省份,人均耕地面积大,适合爆裂玉米的规模化、规范化生产^[5]。目前我国有些爆裂玉米品种可以在黑龙江省第一、第二积温带以及内蒙古与其相似地区达到正常的生理成熟。但这些地区的地理纬度已经到46°N,成熟时水分高达25%,机收所控制的水分含量一般也在20%以上,且秋季降温快、冬季寒冷^[6]。因此,在这些地区发展爆裂玉米是否会受冰冻损害成为人们关注的问题。本研究从东北地区特别是黑龙江省寒带地区的严寒气候出发,就低温冻害对爆裂玉米品质的影响展开研究,揭示冻害对爆裂玉米伤害的程度、影响因子、变化规律以及预防措施,为东北寒冷地区的爆裂玉米生产提供参考。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

供试品种为球形花爆裂玉米佳球105,由沈阳特亦佳玉米科技有限公司提供,2018年通过国家审定,该品种是我国推广面积较大的主推品种。

1.2 试验设计

1.2.1 玉米样品

常规种植下的爆裂玉米,达到生理成熟时立即收获,人工脱粒,将子粒装入网纱袋在室内进行自然风干,经常翻动以使降水均匀,用谷物水分测量仪PM-8188-A随时监测水分。

1.2.2 水分和冷冻处理

当含水量在27%、24%、21%、18%、15%时分别取样,密封后将样品放入-10℃、-20℃、-30℃冰箱低温处理,模拟冰冻。冰冻20 d后取出,放在网纱袋中

在室内条件下风干至含水量15%,密封保存,备用。以标准样品作为对照,标准样品即正常收获后在室内条件下风干至含水量15%的样品,密封保存。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 商业品质测定

玉米粒外观鉴定:对各处理后的玉米粒样品和对照样品的子粒颜色、色泽、果皮、胚等外观做仔细观察。

含水量测定:利用谷物水分测量仪PM-8188-A测定,3次重复。

玉米粒体积测定:称取45 g玉米粒,用100 mL直型量筒进行测量,计算单位重量的玉米粒体积,以mL/g表示,3次重复。

单粒体积测定:按上述方法测量的玉米粒体积计算单粒体积,单粒体积(mL/粒)=玉米粒容积/玉米粒数,3次重复。

粒重测定:随机取100粒玉米称重,3次重复取样,取相近的两个平均数,用g/粒表示。

粒级测定:随机取10 g玉米,计数粒数,3次重复,分大粒、中粒、小粒3级。

1.3.2 加工品质测定

玉米花爆制和玉米花体积测定参照史振声等的测量方法^[7]。

爆花方法:称取玉米粒样品45 g,采用功率1100 W的BM-301型国产气热型爆米花机爆花。首次爆花之前进行预热,每两次爆花停机间隔6~7 min。

爆花率测定:随机取100粒爆花,计数玉米花粒数,3次重复,用百分比(%)表示。

膨爆倍数测定:称取玉米粒样品45 g,爆花,用1 000 mL锥形量筒测量玉米花的体积,3次重复,以倍数表示。计算公式:膨爆倍数=爆花后玉米花体积/爆花前玉米粒体积。

单花直径:随机选取10颗玉米花,直线排列,测其总长度,再除以10,3次重复,以cm表示。

花形测定:按农业部颁《NY/T 523-2020 专用子粒玉米和鲜食玉米》标准规定的方法鉴定和计数花形。

玉米花硬度测定:利用GY-4数显果实硬度计测量,选用直径11 mm的测头压碎玉米花,记录使玉米花压碎时的受力读数,单位N。

脱皮量测定:称取45 g玉米粒,爆花,用万分之一天平称量脱落下来的果皮重量;其中最大块的果皮单个称重,得最大块果皮重量(g/粒)。

整张果皮脱落率测定:45 g玉米粒爆花后,数其

玉米花个数,找出整张果皮脱落的个数,用整张果皮个数除以玉米花个数得整张果皮脱落率,用百分比表示(%)。

1.4 数据处理

采用Microsoft Excel 2017处理数据和作图。

2 结果与分析

2.1 冰冻对球形花爆裂玉米商业品质的影响

2.1.1 冰冻对球形花爆裂玉米外观的影响

通常情况下,玉米种子在高水分条件下遭遇零下低温会形成冻害,使发芽率降低甚至失去价值。作为粮食并不考虑冻害问题,爆裂玉米作为一种特殊而精细的食品原料,冰冻后是否受损直接关系到其商业品质。观察结果表明,冰冻对不同含水量爆裂玉米子粒的色泽、种胚和胚乳均有不同程度的影响,温度越低、含水量越高,冻害越严重。

含水量为24%、27%的高水分处理有明显的冻胀现象,胚部隆起较为明显,其他处理的子粒颜色和

色泽差异不明显。风干后观察比较,不同处理之间较大差异,其中-10℃、含水量达到27%时以及-20℃和-30℃冰冻条件下、含水量达到24%以上时,子粒均会明显失去光泽、果皮颜色变暗、果皮透明度降低,在胚部可以看到明显的果皮与胚发生分离即起泡现象。较低含水量即15%~21%冰冻处理下,无论风干前后的子粒外观均没有明显变化。

2.1.2 冰冻对爆裂玉米子粒大小的影响

颗粒大小是爆裂玉米商业品质的重要指标,一般情况下颗粒大玉米花就大,感官效果就好。在粒度标准中,52~67粒/10 g为大粒,68~75粒/10 g为中粒,76~105粒/10 g为小粒。试验结果表明,低温冰冻对玉米颗粒有一定的冻胀作用但作用较小,各处理间的粒度差异不大(表1),均处于大粒级范围即每10 g玉米在44~47粒。对子粒体积变化的分析表明,随着含水量的增加和温度的降低,子粒体积略有增加但变化不大(图1),其中最大值比对照增加了12.55%。

表1 冰冻处理对爆裂玉米颗粒大小的影响
Table 1 Effect of freezing treatment on grain size of popcorn

含水量(%) Water content	颗粒大小(粒/10 g) Grain size		
	-10℃	-20℃	-30℃
15	46.44	46.67	45.33
18	45.11	46.22	45.56
21	45.78	45.56	45.11
24	45.78	45.78	45.78
27	45.78	44.89	46.00

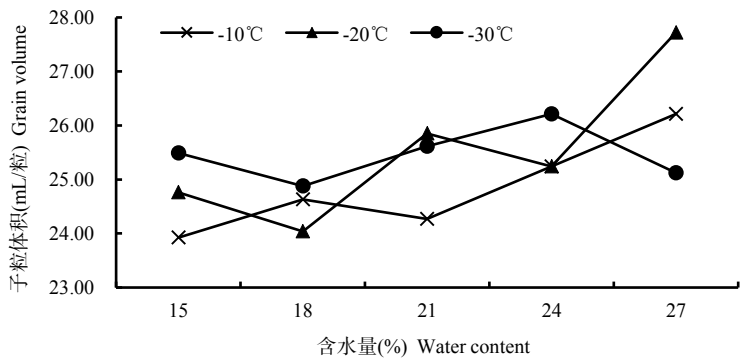


图1 冰冻对爆裂玉米子粒体积的影响

Fig.1 Effect of freezing on grain volume of popcorn

2.2 冰冻对球形花爆裂玉米加工品质的影响

2.2.1 冰冻对爆花率的影响

由表2可见,在-10℃、-20℃、-30℃冷冻条件下,3个含水量处理的爆花率与对照接近,均保持在95%以上水平,与对照差异最大的仅相差1个百分

点,未达到显著水平($P<0.05$),即冰冻对爆花率没有明显影响。

2.2.2 冰冻对球形花爆裂玉米膨爆倍数的影响

膨爆倍数是爆裂玉米加工品质的最重要指标,倍数的高低与玉米花的适口性、加工适合性、成品出

产率、加工成本以及经济效益密切相关。试验结果表明,冰冻对球形花爆裂玉米的膨爆倍数有较大影响,影响的程度与含水量和低温程度有关。膨爆倍数随着含水量的增加而降低,当含水量等于和低于21%时,各处理的膨爆倍数与对照相比差异不大,未达到显著水平;当含水量超过21%时,膨爆倍数则明显低于对照。膨爆倍数随着温度的降低而降低,在

水分等于或低于21%时各温度处理之间差异较小且未达到显著水平;继续增加含水量则不同温度之间的差异拉大,达到显著水平。含水量为24%时,-10℃、-20℃、-30℃处理分别比对照降低3.0%、3.9%、7.7%;含水量为27%时,-10℃、-20℃、-30℃处理分别比对照降低5.2%、8.4%和12.9%(图2)。

表2 冰冻对球形花爆裂玉米爆花率的影响
Table 2 Effect of freezing on the explosive rate of mushroom popcorn

含水量(%) Water content	爆花率(%) Mushroom rate			
	25℃(CK)	-10℃	-20℃	-30℃
15	99.51 a	98.56 a	99.05 a	99.02 a
18	--	99.01 a	98.56 a	99.51 a
21	--	99.03 a	99.02 a	99.51 a
24	--	99.51 a	99.03 a	98.54 a
27	--	98.54 a	99.50 a	99.52 a

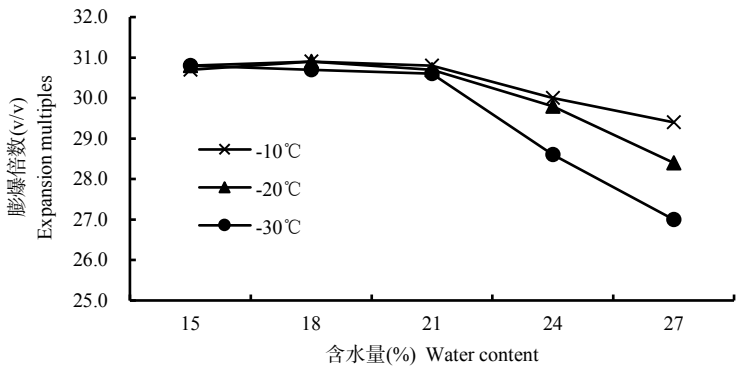


图2 冰冻对球形花爆裂玉米膨爆倍数的影响
Fig.2 Effect of freezing on the expansion multiples of mushroom popcorn

2.2.3 冰冻对球形花爆裂玉米花直径大小的影响
玉米花直径大小也是重要的品质指标,花大则外形美观、加工时用糖量较少、酥脆度好。由图3可见,冰冻对单花直径大小有一定影响但作用不大。

玉米花直径随着含水量的增加而减小,当含水量超过21%之后随着含水量的增加降低幅度增大;玉米花直径随着温度的降低而减小,其中-10℃与-20℃的变化趋势一致,达到-30℃时降低幅度拉大。总体

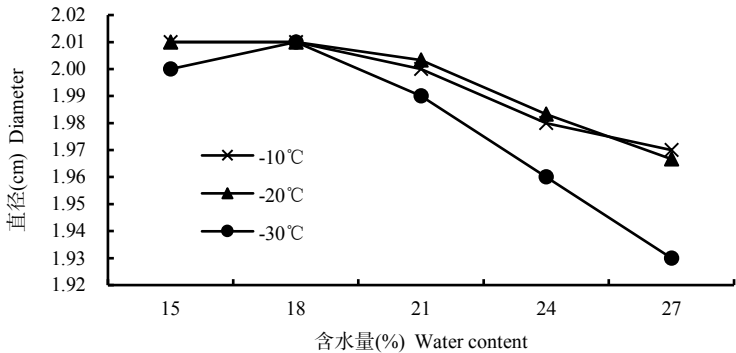


图3 冰冻对球形玉米花直径大小的影响
Fig.3 Effect of freezing on the diameter of mushroom popcorn

上分析,冰冻对玉米花直径的影响较小,含水量为21%、24%、27%时,-10℃、-20℃、-30℃处理比对照降低的幅度仅在0.5%~4.0%。

2.2.4 冰冻对球形花爆裂玉米成球率的影响

球形花爆裂玉米的球形率是衡量其质量优劣的首要指标。球形率的高低不仅涉及到产品品相而且影响到生产成本和口感。球形花比率越高,外观越

好,裹糖越容易、越均匀,用糖量越少,出产率越高,成本越低。由表3可以看出,不同的冰冻处理其成球率均有所降低,但幅度不大,最多的仅比对照降低4.3个百分点,且与冰冻的温度变化关系不大。对玉米花外形观察表明,在-30℃、27%含水量的低温高水处理下,玉米花表面反而表现出更加细腻光滑、纹理变浅的有利效果。

表3 冰冻对球形花爆裂玉米成球率的影响
Table 3 Effect of freezing on the spherical popcorn rate of mushroom popcorn

含水量(%) Water content	成球数(个/100粒) Mushroom rate			
	CK(25℃)	-10℃	-20℃	-30℃
15	92	91	88	89
18	--	90	87	87
21	--	88	92	90
24	--	86	90	86
27	--	87	92	88
平均值	92	88.4	89.8	88
比CK±(%)	--	-3.9	-2.4	-4.3

2.2.5 冰冻对玉米花脱壳情况的影响

爆裂玉米在爆花过程中会产生果皮脱落现象。优质品种爆花时果皮脱落的较多且细碎,但不同的玉米花加工工艺对皮壳脱落的要求也有细微差异。先爆花后裹糖的加工工艺希望果皮脱落得越干净越好,而不介意每张皮壳的大小。爆花与裹糖同时完成的加工工艺则要求果皮越细碎越好,而脱落下来多少不重要。试验结果表明,冰冻处理对果皮脱落情况有一定影响,但与其他指标变化规律有所不

同。总体上看,果皮脱落量受含水量的影响最大,无论冰冻温度高低,含水量达到和超过21%时果皮脱落量大幅度增加。在5个不同含水量处理中,-10℃低温对果皮脱落的作用最大,其中24%、27%含水量处理是对照及含水量15%、18%处理的3倍和9倍多;脱落的果皮大小方面,在24%、27%含水量的-10℃处理时较其他处理明显增加,整张果皮的脱落率在24%、27%含水量处理时是其他处理的11倍和38倍。

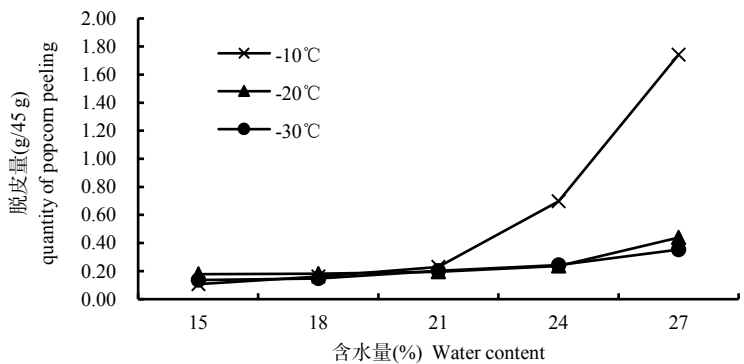


图4 冰冻对球形玉米花脱皮量的影响
Fig.4 Effect of freezing on the quantity of popcorn peeling of mushroom popcorn

2.3 冰冻对玉米花食用品质的影响

酥脆度是衡量玉米花食用品质即口感的最重要指标,优质品种的玉米花口感酥脆、硬度小、咀嚼容易。对玉米花的抗压力测定显示,冰冻处理对玉米

花的硬度有一定影响。当水分达到24%和27%时,在-30℃冰冻条件下玉米花的硬度明显增大,分别比对照增加31.6%和35.2%,含水量在21%之内或在-20℃以上温度时则不发生明显变化(图5)。

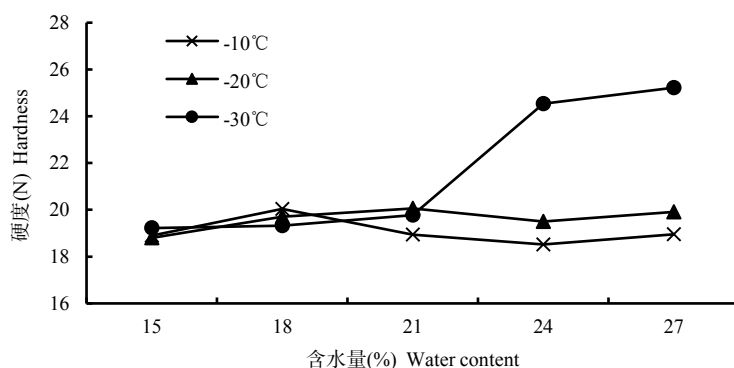


图5 冰冻对球形玉米花硬度的影响

Fig.5 Effect of freezing on the hardness of mushroom popcorn

3 结论与讨论

爆裂玉米含水量达到24%以上时会产生明显的冻胀现象。冰冻对爆裂玉米的子粒体积、粒级、爆花率、玉米花大小没有明显影响;冰冻对球形花爆裂玉米的膨爆倍数影响较大,其变化随着含水量的增加而降低,随着温度的降低而降低。当含水量为24%时,-10℃、-20℃、-30℃处理分别比对照降低3.0%、3.9%、7.7%;含水量为27%时,-10℃、-20℃、-30℃处理分别比对照降低5.2%、8.4%和12.9%。冰冻对球形花爆裂玉米的成球率有一定影响但影响很小,仅比对照降低4个百分点之内,在-30℃、27%含水量处理下,玉米花外观显示出更好的形态。冰冻对玉米花的脆性会产生明显影响,当水分达到24%以上时,在-30℃冰冻条件下玉米花的硬度明显增大,硬度值分别比对照增加31.6%和35.2%,口感变差。当含水量达到和超过21%时,冰冻使果皮脱落量增加,其中-10℃低温对果皮脱落的作用最大,24%、27%含水量处理分别比对照和其他处理高2倍和8倍。同时,-10℃处理在含水量为24%、27%情况下会使一部分果皮呈整块脱落,脱落率是其他处理的11倍和38倍。

低水分的爆裂玉米受低温冰冻后商业品质没有较大变化,只有含水量超过21%时,膨爆倍数、酥脆度和果皮脱落情况才会受较大影响。对于爆裂玉米生产来说,只要在温度降至-10℃前将含水量降至24%以下,在温度降至-20℃前将含水量降至21%以下,就可以保证爆裂玉米良好的商业品质、加工品质和食用品质。

冰冻对子粒的作用主要是物理性的,对于进一步揭示冰冻对爆裂玉米品质损害的机理,还需要从微观角度进行物理性研究。本试验表明,冰冻对爆裂玉米的损害其水分含量转折点在21%~24%,对

于水分临界点的精准确定还需要对含水量试验做更细化的设计。

参考文献:

- [1] 史振声,孙淑凤,王志斌,等.中国爆裂玉米育种三十年[J].玉米科学,2019,27(1):42-45.
SHI Z S, SUN S F, WANG Z B, et al. Thirty years of popcorn breeding in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(1): 42-45. (in Chinese)
- [2] 孙淑凤,张喜华,王志斌,等.球形花爆裂玉米爆花品质影响因子研究[J].玉米科学,2019,27(5):22-27.
SUN S F, ZHANG X H, WANG Z B, et al. Study on influencing factors of mushroom popcorn quality[J]. Journal of Maize Sciences, 2019, 27(5): 22-27. (in Chinese)
- [3] 史振声.我国爆裂玉米科研和产业现状与发展战略[J].玉米科学,2002,10(3):3-6.
SHI Z S. Current situation and development strategy on popcorn research and production in China[J]. Journal of Maize Sciences, 2002, 10(3): 3-6. (in Chinese)
- [4] 李玉玲,姜鸿勋.爆裂玉米的质量标准及膨爆机制[J].作物杂志,2000(4):30-32.
LI Y L, JIANG H X. Quality standard and expanding mechanism of popcorn[J]. Crops, 2000(4): 30-32. (in Chinese)
- [5] 贾 森,潘世纪,郭海滨,等.寒地黑土区爆裂玉米优质高效栽培技术[J].绥化学院学报,2021,41(8):144-147.
JIA S, PAN S J, GUO H B, et al. High quality and efficient cultivation techniques of popcorn in black soil area of cold region[J]. Journal of Suihua University, 2021, 41(8): 144-147. (in Chinese)
- [6] 贾 森,周 宇,何蒙爱,等.寒地爆裂玉米地膜覆盖栽培技术[J].现代农业科技,2020(15):22-23.
JIA S, ZHOU Y, HE M A, et al. Plastic film mulching cultivation technique of popcorn in cold region[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2020(15): 22-23. (in Chinese)
- [7] 孙淑凤,张喜华,史振声.爆裂玉米爆花品质检测方法研究[J].玉米科学,2021,29(5):81-87.
SUN S F, ZHANG X H, SHI Z S. Study on the testing method of corn flake quality of popcorn[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(5): 81-87. (in Chinese)

(责任编辑:栾天宇)