

文章编号: 0253-4339(2020)03-0083-08  
doi: 10.3969/j.issn.0253-4339.2020.03.083

## 流态冰预冷处理对甜玉米贮藏品质的影响

刘瑶 左进华 高丽朴 史君彦 吴彬 闫志成 王清\*

(北京市农林科学院 蔬菜研究中心 农业部蔬菜产后处理重点实验室 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室  
农业部华北地区园艺作物生物学与种质创新重点实验室 农业部都市农业(北方)重点实验室 北京 100097)

**摘要** 为探究流态冰预冷处理对甜玉米的品质影响, 本实验采用流态冰对采后新鲜甜玉米进行预冷处理, 测定在 0 °C 贮藏期间甜玉米感官指数、可溶性固形物(TSS)、可溶性蛋白含量、可溶性淀粉含量、可溶性总糖含量、维生素 C(Vc) 含量等生理指标, 并结合电子舌和电子鼻, 探究流态冰处理甜玉米对贮藏期间品质的影响。结果表明: 与冷库预冷相比, 流态冰处理可以维持贮藏期间甜玉米的外观品质至 28 d; 缓解甜玉米 TSS、可溶性蛋白、可溶性淀粉、可溶性总糖和 Vc 含量的降解, 保持较高的营养品质; 减缓甜玉米气味和口感的变化。因此运用流态冰预冷技术处理可以有效的保持甜玉米的贮藏品质, 延长贮藏时间。

**关键词** 流态冰; 预冷; 甜玉米, 采后生理; 贮藏品质

中图分类号: TB657.1

文献标识码: A

## Effect of Slurry Ice Precooling Treatment on Quality of Sweet Corn

Liu Yao Zuo Jinhua Gao Lipu Shi Junyan Wu Bin Yan Zhicheng Wang Qing\*

(Vegetable Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Key Laboratory of the Vegetable Postharvest Treatment of Ministry of Agriculture, Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing, Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops(North China), Ministry of Agriculture, Key Laboratory of Urban Agriculture(North), Ministry of Agriculture, Beijing, 100097, China)

**Abstract** Sweet corn (*Zeamays*) was precooled by slurry ice and then stored at 0 °C to determine the effect of slurry ice on the subsequent quality of the corn. Changes of sensory index, total soluble solids (TSS), soluble protein content, soluble starch content, soluble total sugar content, and vitamin C (Vc) content were determined. Compared with the conventional 0 °C treatment, slurry ice maintained the sensory quality of sweet corn to 28 d, inhibited the decomposition and decline of TSS, soluble protein, soluble starch, soluble sugar and Vc contents, maintained the nutritional quality of sweet corn, and retained the smell and taste of sweet corn. Thus, slurry ice precooling can reduce stress-induced damage, while maintaining the storage quality and prolonging the shelf life of sweet corn.

**Keywords** slurry ice; precooling; sweet corn; post-harvest physiology; storage quality

甜玉米又称蔬菜玉米, 是欧美、韩国和日本等发达国家的主要蔬菜之一, 籽粒呈淡黄或白色, 皮薄、香甜、鲜嫩、柔嫩, 水分和含糖量高, 含有丰富的维生素、氨基酸、矿物质和微量元素, 以及降低血液胆固醇的谷胱甘肽、亚油酸等营养物质<sup>[1]</sup>。但由于甜玉米水分和糖含量高, 呼吸旺盛, 营养物质损耗严重, 会导致苞叶变色, 鲜度、嫩度和甜度下降, 皮质增厚, 口感粗糙, 病原微生物滋生, 加快甜玉米腐烂变质, 严重影响甜玉米的食用品质和口感风味<sup>[2-3]</sup>, 缩短贮藏期和货架期。因此, 甜玉米采后快速冷却、降温是甜玉米保鲜的有效方法<sup>[4-5]</sup>。

果蔬采后商品化的重要环节就是预冷。它可以快速地去掉果蔬采后自身携带的田间热, 抑制果蔬呼吸作用, 从而延缓果蔬成熟衰老的速度; 预冷可以增强果蔬的耐储性, 使果蔬更快适应低温贮藏, 减少果蔬冷害的发生; 预冷还可以降低运输和贮藏时的制冷能耗, 节约成本<sup>[6]</sup>。现阶段甜玉米的主要预冷方法有: 真空预冷、冷水预冷、冷库预冷、压差预冷<sup>[7]</sup>, Patrick Cortbaoui<sup>[8]</sup>研究发现真空预冷、冷水预冷、压差预冷、冷库预冷对甜玉米预冷的半冷却时间分别为 12.4 min、16.1 min、47.3 min、436.7 min。张照坤等<sup>[9]</sup>研究发现 4 °C 冷水循环 15~20 min, 预冷的甜玉

基金项目: 国家重点研发计划项目(2016YFD0400901), 国家大宗蔬菜产业体系建设项目(CARS-23)资助。(The project was supported by the National Key R & D Program of China (2016YFD0400901) and the China Agriculture Research System Project (CARS-23).)

收稿日期: 2019-02-04; 修回日期: 2019-09-10

米可抑制或者杀死大量微生物,延长保鲜期。刘升等<sup>[7]</sup>研究得出经过压差预冷的甜玉米品质变化较小。但是真空预冷和冷水预冷存在设备占用面积大,设备造价高,能耗严重,应用范围受限等问题<sup>[10]</sup>;冷库预冷存在甜玉米冷却不均匀、速度慢的缺陷;压差预冷大批量处理时存在前处理耗时较长等缺点<sup>[11]</sup>。运用流态冰预冷技术可以有效地解决如上问题,减少甜玉米预冷时的损耗,在生产中进行运用。

流态冰也称流体冰、冰浆,是一种可流动的冰,是一种新的冷却(致冷)介质,与传统的制冰技术完全不同,不是直接将水冻结成冰块,而是将无机物的水溶液(如海水)冷却到一定的温度,使水从溶液结晶析出,从而形成细小的球状冰晶,流态冰通常直径只有 0.2~0.8 mm<sup>[12]</sup>。特点是:流态冰冰粒子载冷高、融化潜热大<sup>[13]</sup>,冰粒子细小圆滑、柔顺极易流动,用流态冰冷却蔬菜时可避免蔬菜表面擦伤,最大限度保持蔬菜感官品质及加工性能<sup>[14]</sup>。目前,流态冰技术在海产品保鲜中应用广泛,高萌等<sup>[15-16]</sup>研究了流态冰对鲑鱼保鲜,王强等<sup>[17]</sup>研究了流态冰对南美白对虾感官、理化及质构特性影响等。但流态冰在蔬菜贮藏保鲜中的应用还处于起步阶段。本实验采用流态冰将甜玉米预冷后,在 0℃条件下进行贮藏,研究流态冰预冷处理对甜玉米贮藏品质的影响,为其贮藏保鲜提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与仪器

实验采用北京天安公司当天采收,无机械伤、无病虫害、成熟度一致的完好甜玉米,采用中盐北京市盐业公司食盐。

实验仪器采用日本京都岛津公司 UV-1800 紫外分光光度计;Thermo Fisher Scientific D-37520 台式冷冻高速离心机;北京市长风仪器仪表公司 HW·SY11-K 型电热恒温水浴锅;德国 IKA A11 basic 分析研磨机;北京盈盛恒泰科技有限责任公司电子鼻;日本 In-sent 公司 Insent TS-5000Z 电子舌;弗格森公司流态冰制冰机。

### 1.2 实验方法

将挑选好的整根甜玉米随机装入两个泡沫箱(泡沫箱尺寸为 410 mm×300 mm×270 mm,并提前在底部打出小洞)中,设置两个实验组分别为 CK 组和流态冰组,每个实验组选用 20~25 根甜玉米,在其中的 3 根甜玉米上插入温度计。CK 组将装有甜玉米的泡沫箱直接放入 0℃冷库中贮藏;流态冰组向装有甜玉米的泡沫箱中倒入 8~12 kg 制备的流态冰(加冰量没过甜玉米),随后将玉米箱放入 0℃冷库中贮藏。将两组贮藏 28 d,每 7 d 各取 3 根甜玉米,对玉米粒进行观察及品质指标测定。待测定的部分样品用液氮冷冻,然后放于-80℃的冰箱中保存,用于生理指标的测定。

### 1.3 测定指标和方法

#### 1) 甜玉米温度曲线

选取 3 根甜玉米,分别在甜玉米中插入温度计,每 5 min 记录温度,观测在预冷降温过程中甜玉米的温度变化。

#### 2) 甜玉米感官指数

参考 NY/T 523—2002 中 4.1.1 和 4.1.2 甜玉米品质评分指标执行<sup>[18]</sup>。由 6 人组成的品评小组对甜玉米的 4 个感官指数进行评判,采取总分 12 分制,实验结果取平均值,其中 9~12 分表示优良,5~8 分表示合格,1~4 分表示差,评判标准如表 1 所示。

表 1 甜玉米感官指数评分

Tab.1 The sheet sensory index score of sweet corn

| 类别   | 3 分                       | 2 分                                    | 1 分                                     |
|------|---------------------------|--|---|
| 穗型粒型 | 一致                        | 基本一致                                   | 稍有差异                                    |
| 籽粒   | 排列整齐紧密,具有乳熟时应有的色泽,籽粒柔嫩、皮厚 | 籽粒排列整齐,色泽稍差,籽粒柔嫩性较差,皮较薄                | 籽粒排列基本整齐,有少量籽粒与本品不同,籽粒柔嫩性较差,皮较厚         |
| 秃尖   | 基本无秃尖,无凹陷粒或皱粒,无虫咬,无霉变,无损伤 | 秃尖≤1 cm,凹陷粒或皱粒少于 3 粒,无虫咬,无霉变,损伤率少于 5 粒 | 秃尖≤2 cm,无虫咬,无霉变,凹陷粒或皱粒少于 5 粒,损伤率少于 10 粒 |
| 苞叶   | 苞叶包被完整,新鲜嫩绿               | 苞叶包被完整,新鲜嫩绿                            | 苞叶包被基本完整                                |

#### 3) 甜玉米皱缩颗粒

将每个处理组中甜玉米皱缩粒进行统计汇总。

#### 4) 甜玉米可溶性固形物(TSS)的含量采用手持

阿贝折光仪进行测定。

5) 甜玉米可溶性蛋白含量的测定采用考马斯亮蓝法。

6) 甜玉米可溶性淀粉含量采用酸水解法进行测定。

7) 甜玉米可溶性总糖含量采用蒽酮试剂法进行测定<sup>[19]</sup>。

8) 甜玉米维生素 C 含量采用钼酸铵比色法<sup>[20]</sup>测定。

9) 甜玉米电子鼻的判别分析

两组各取 3 根玉米置于筐中,用保鲜膜密封静置 1 h。顶空取样,测定条件为:传感器清洗时间 80 s,自动调零时间 5 s,样品准备时间 5 s,样品测试时间 120 s,传感室流量 100 mL/min,取第 117 s~119 s 数值,每组测定三次。

10) 甜玉米电子舌的测定

两组各取 160 g 冻样,解冻后加入 150 mL 蒸馏水,进行粉碎榨汁,将处理后的混合物在 21 °C、8 000 r/min 转速下离心 30 min,取上层清液进行电子舌的测定。

#### 1.4 数据分析与处理

数据整理采用 Excel 2010 统计分析软件,利用 Origin 9.0 分析与作图,利用 IBM SPSS Statistics 22 软件对数据进行差异显著性检验( $P < 0.05$  为差异显著; $P < 0.01$  为差异极显著)。

### 2 结果与分析

#### 2.1 流态冰处理对甜玉米温度的影响

有研究表明,与其他技术相比,流态冰技术的冻结速度可以大幅度提高,而浸泡冷却的时间可达 60 min 或更长时间<sup>[21]</sup>。本文实验发现流态冰处理的甜玉米,经过 5 h 从初温 26.9 °C 降至 0 °C,CK 组的甜玉米从初温降至最低温度 1.2 °C 要经过 114 h(见图 1)。流态冰处理组的甜玉米降温时间要比 CK 组缩短 109 h,并且会将温度降至 0 °C,温度会长时间保持在 0 °C,快速的将甜玉米降温可以维持甜玉米的贮藏品质,延长其保鲜期<sup>[22]</sup>,并降低甜玉米的机械损伤。

#### 2.2 流态冰处理对甜玉米感官指数的影响

感官指数的评定是判断甜玉米品质及其质量最直观的指标,也是直接影响消费者购买意象的关键因素<sup>[23]</sup>,甜玉米在较低的贮藏温度下能够保持较高的食用品质。如图 2 所示,甜玉米在贮藏期间,其感官指数呈下降趋势,从贮藏第 7 d 开始,流态冰处理组的感官指数明显高于 CK 组,第 14 d 后,流态冰处理组与 CK 组差异极显著( $p < 0.01$ )。在贮藏第 21 d 后,流态冰处理组的甜玉米颗粒饱满,籽粒排列整齐,

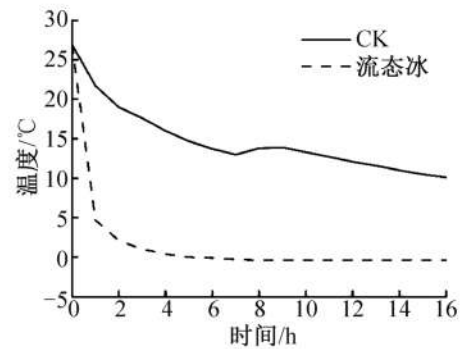


图 1 甜玉米温度曲线

Fig.1 The temperature curve of sweet corn

CK 组的甜玉米籽粒缺水较明显,颗粒排列较为松散。贮藏第 28 d,流态冰组甜玉米商品价值仍然较好,此时 CK 组甜玉米商品价值较低。实验表明流态冰处理可以延长甜玉米的贮藏期,有效维持贮藏期间甜玉米的外观品质。

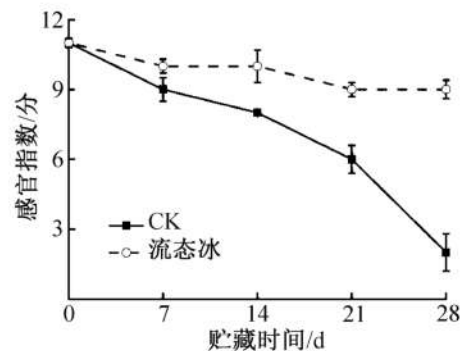


图 2 流态冰对甜玉米感官指数的影响

Fig.2 Effect of slurry ice on Sensory index of sweet corn

#### 2.3 流态冰处理对甜玉米皱缩率的影响

图 3 为甜玉米在贮藏期间的皱缩率,随着贮藏时间的延长,甜玉米会失水,导致颗粒皱缩,影响甜玉米的感官品质。在贮藏前期,CK 组和流态冰处理组甜玉米皱缩较少,在贮藏 21 d 后,CK 组甜玉米粒明显皱缩,皱缩率为 20.04%;而流态冰处理组甜玉米的

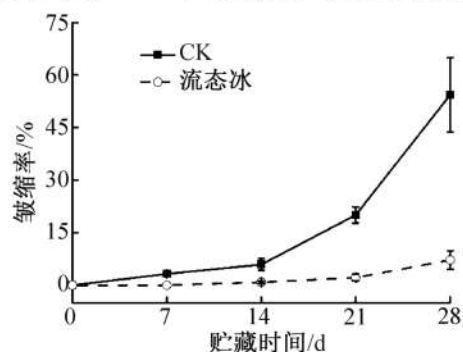


图 3 流态冰对甜玉米皱缩率的影响

Fig.3 Effect of slurry ice on shrinkage rate of sweet corn

皱缩率仅为 2.16%,且差异显著( $P < 0.01$ )。在贮藏末期,CK 组皱缩率明显增高,达到 54.33%,此时甜玉米皱缩明显,商品价值极低,流态冰处理组的甜玉米皱缩率为 7.21%,显著低于 CK 组,仍具有良好的贮藏品质和较高的商品价值。结果表明,经过流态冰预冷处理的甜玉米,贮藏品质较高且失水较少。

## 2.4 流态冰处理对甜玉米可溶性固形物的影响

可溶性固形物(TSS)主要是可溶性糖,其含量的高低直接反映了甜玉米的品质和商品价值,是判断甜玉米贮藏效果的一个重要指标<sup>[24]</sup>。由图 4 可知流态冰处理组和 CK 组的 TSS 含量在贮藏期间总体呈先下降后上升的趋势,但流态冰处理组的 TSS 含量始终高于 CK 组。TSS 含量下降的主要原因与甜玉米的呼吸有关,呼吸代谢活动旺盛,自身营养物质被大量消耗,TSS 含量下降<sup>[25]</sup>,贮藏前 14 d,CK 组甜玉米的温度高于流态冰处理组,甜玉米呼吸较旺盛,TSS 被大量消耗,此时两组差异显著( $P < 0.05$ )。之后甜玉米 TSS 含量上升,这是因为失水所引起的<sup>[26]</sup>,CK 组甜玉米失水较为严重,所以从第 14 d 后,TSS 含量大幅度上升,但仍低于流态冰处理组。实验表明,流态冰处理可以延缓 TSS 含量的下降,延缓甜玉米贮藏期间的品质的下降。

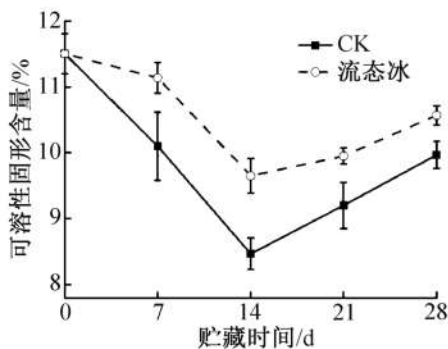


图 4 流态冰对甜玉米可溶性固形物的影响

Fig.4 Effect of slurry ice on TSS content of sweet corn

## 2.5 流态冰处理对甜玉米可溶性蛋白含量的影响

可溶性蛋白是维持甜玉米生命活动的重要营养物质,能够提高甜玉米籽粒保水能力和抗寒性<sup>[3]</sup>。由图 5 可知流态冰处理组和 CK 组甜玉米的可溶性蛋白含量总体呈下降趋势,流态冰处理组的可溶性蛋白含量始终高于 CK 组。初值玉米的可溶性蛋白含量为 1.60 mg/g,之后 CK 组的数值快速下降,流态冰组有小幅上升,两组含量均于第 14 d 达到最低值,流态冰组与 CK 组分别为 1.55 mg/g 和 1.36 mg/g,之

后小幅度上升,但始终低于初值。第 7 d,流态冰处理组甜玉米的可溶性蛋白有小幅上升,可能由于贮藏期间,玉米冷冻产生伤害刺激一些细胞合成蛋白来修复伤害<sup>[27]</sup>,CK 组的蛋白合成低于蛋白流失,因此含量下降。由于贮藏 21 d 后,甜玉米粒皱缩升高,水分明显下降,导致甜玉米蛋白含量有上升趋势。流态冰处理组和 CK 组两组可溶性蛋白含量差异极显著( $P < 0.01$ ),表明流态冰处理甜玉米可以有效缓解甜玉米可溶性蛋白含量的下降,提高贮藏品质。

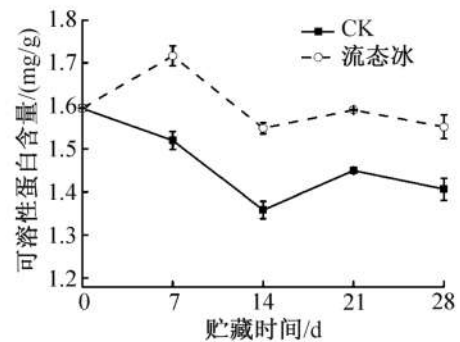


图 5 流态冰对甜玉米可溶性蛋白含量的影响

Fig.5 Effect of slurry ice on soluble protein content of sweet corn

## 2.6 流态冰处理对甜玉米可溶性淀粉含量的影响

可溶性淀粉含量在甜玉米的籽粒生命活动中至关重要,如图 6 所示流态冰处理组和 CK 组的可溶性淀粉含量呈先升高后下降趋势,并于第 7 d 达到峰值,分别为 0.24%、0.19%,这是因为甜玉米贮藏期间,部分可溶性糖转变为可溶性淀粉。贮藏第 7 d 后,由于甜玉米维持呼吸等活动,可溶性淀粉降解<sup>[28]</sup>,流态冰处理组和 CK 组的可溶性淀粉含量均下降,但流态冰处理组始终高于 CK 组,且两组差异显著( $P < 0.05$ )。实验表明,流态冰处理可以有效的延缓甜玉米可溶性淀粉含量的下降,维持甜玉米贮藏品质。

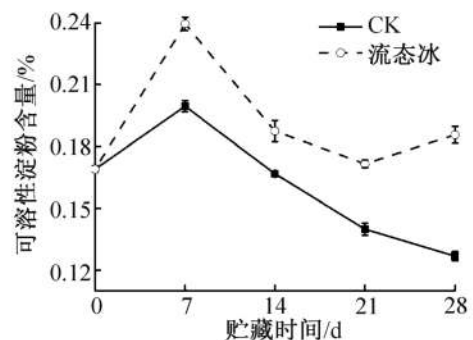


图 6 流态冰对甜玉米可溶性淀粉含量的影响

Fig.6 Effect of slurry ice on starch content of sweet corn

## 2.7 流态冰处理对甜玉米可溶性总糖含量的影响

甜玉米中可溶性总糖含量较高,是食用时甜味的主要来源,在贮藏期间可溶性总糖含量受呼吸作用、淀粉水解、水分损失等因素的影响而发生变化<sup>[29]</sup>。由图 7 可知流态冰处理组和 CK 组可溶性总糖含量呈现先下降后上升的趋势,贮藏前 14 d 可溶性总糖转变为可溶性淀粉,大量消耗,同时伴随着呼吸作用。由于 CK 组的呼吸作用高于流态冰处理组,因此流态冰处理组的可溶性总糖含量下降速率小于 CK 组,并于第 14 d 达到最低值 8.98% 和 7.24%。贮藏第 14 d 后,由于甜玉米发生失水现象,可溶性总糖含量小幅度升高,但流态冰处理组可溶性总糖的含量始终高于 CK 组。实验表明流态冰处理可以延缓可溶性总糖含量的降低。

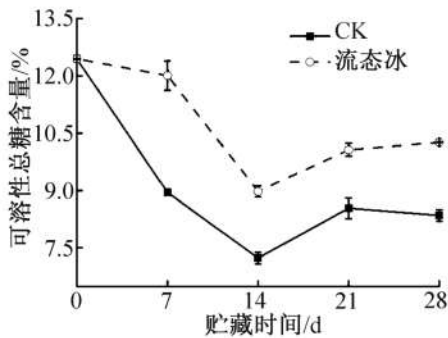


图 7 流态冰对甜玉米可溶性总糖含量的影响

Fig.7 Effect of slurry ice on total sugar of sweet corn

## 2.8 流态冰处理对甜玉米维生素 C 含量的影响

贮藏期间,甜玉米营养物质将被不断代谢降解。以 Vc 为例,甜玉米在贮藏期间 Vc 含量不断下降(如图 8 所示)。在贮藏第 0~7 d 和 14~21 d,流态冰处理组和 CK 组的 Vc 含量快速下降,说明在此前期间,甜玉米 Vc 被消耗最为快速,且两组差异显著( $P < 0.05$ )。贮藏第 21 d,流态冰处理组快速下降,可能是由于玉米骤然失水,叶绿素大幅度下降。贮藏第 28 d,流态冰处理组和 CK 组的甜玉米 Vc 含量分别下降了 29.49% 和 35.59%,表明流态冰处理延缓了甜玉米 Vc 含量的降解,延缓甜玉米的衰老和营养物质的损失。由于 Vc 是植物中具有抗氧化能力的重要活性物质<sup>[30]</sup>,因此在贮藏第 28 d, Vc 含量上升,可能与抗氧化能力的增强有关。

## 2.9 流态冰处理甜玉米的电子鼻判别分析

电子鼻的主成分分析是一种统计方法,可以将系统中多个指标转化为较少几个指标<sup>[31-32]</sup>。图 9 为甜

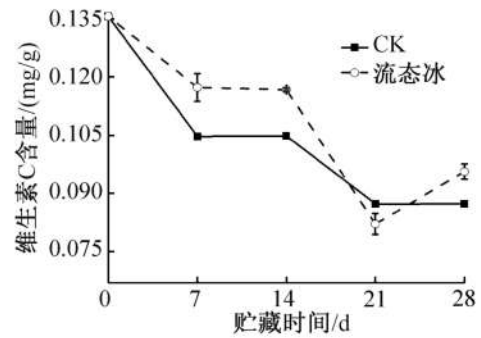


图 8 流态冰对甜玉米维生素 C 含量的影响

Fig.8 Effect of slurry ice on vitamin C content of sweet corn

玉米贮藏第 21 d 和第 28 d 的 PCA 分析图,从图中可以看出,第一主成分 PC1 贡献率为 93.56%,第二主成分贡献率 PC2 为 5.15%,总贡献率为 98.71%,表明两个主成分已经基本代表了样品的主要信息特征<sup>[33]</sup>。单独的圆区域表示同组甜玉米的数据采集点,越接近初值表明该组的甜玉米气味接近初值,变化较小。图 9 可以看出流态冰处理组第 21 d 和第 28 d 均较为接近初值,说明流态冰处理组的甜玉米气味变化较小。CK 组第 28 d 距离初值较远,说明 CK 组甜玉米的气味变化较为明显。电子鼻 PCA 分析可表明,流态冰处理可以很好的保持甜玉米的气味,抑制其气味的变化。

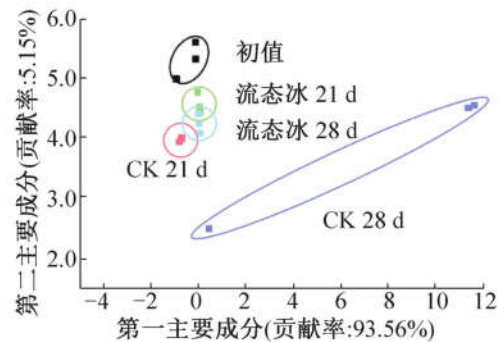


图 9 甜玉米贮藏第 21 d 和 28 d PCA 分析图

Fig.9 PCA score plot of sweet corn during 21 d and 28 d

## 2.10 流态冰甜玉米的电子舌分析

根据甜玉米样品上 9 根传感器的滋味信号响应值,利用软件对信号值进行分析,能够根据各传感器变化程度比较不同样品间的各种滋味的相对强度<sup>[34,35]</sup>。图 10 所示,为甜玉米在贮藏第 28 d 的电子舌雷达图,由图可以直观地看到甜玉米在甜味、苦味、涩味等相关味觉指标的敏感度。与初值相比,流态冰处理组和 CK 组的甜玉米可以较好的维持涩味、甜味及回味指标,虽然苦味、鲜味和咸味下降,但差异不显著。在贮藏第 28 d,流态冰处理组和 CK 组味觉差异

不明显。结果表明,两种预冷方式均可以维持贮藏期间甜玉米的涩味、甜味和回味。

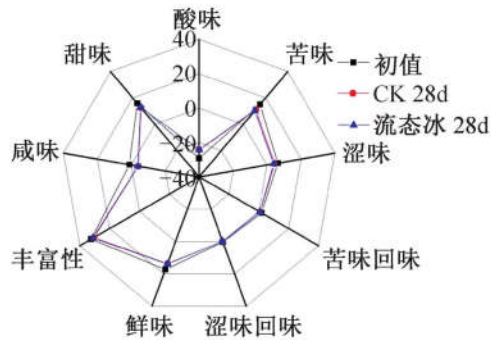


图 10 甜玉米第 28 d 雷达图  
Fig.10 Radar map of sweet corn during 28 d

### 3 结论与讨论

1) 流态冰预冷技术在冷藏保鲜方面展现了其特有优势,多用于海产品的保鲜,但由于流态冰同时兼顾了水的流动性和冰的冷却特征,所以在保鲜蔬菜方面也具有极大的优势,本实验运用流态冰对甜玉米进行预冷处理,一方面可以快速降温,将甜玉米的温度降至 0℃;另一方面,因流态冰的结构特性,在处理甜玉米时,并不会使甜玉米造成机械损伤。运用流态冰技术将甜玉米从 26.9℃的初始温度降至 0℃的时间可缩短至 5 h,比冷库直接降温要缩短 109 h,极大的缩短甜玉米的降温时间,使甜玉米在贮藏时间内减少伤害。

2) 与冷库直接预冷的甜玉米相比,流态冰处理组的甜玉米能够有效地延缓甜玉米苞叶黄化、干枯以及籽粒的失水萎缩。流态冰处理后的甜玉米,贮藏第 28 d 仍具有商品价值,可以有效缓解其生理特性,如 TSS、可溶性蛋白、可溶性淀粉、可溶性总糖和 Vc 含量的降解,维持其品质特性,减少甜玉米的营养成分流失。

3) 甜玉米的气味和口感特征是评价甜玉米商品价值的直观标准。本实验用电子鼻和电子舌检测流态冰预冷和冷库直接预冷的甜玉米,结果表明:通过流态冰处理可以有效延缓甜玉米气味和滋味值的改变,保持甜玉米的品质特征。因此运用流态冰处理甜玉米可有效提高贮藏期间甜玉米的感官品质以及商品价值,延长甜玉米货架期。

本文受北京市农林科学院创新能力建设专项(20180404 和 20180705)资助。(The project was supported by Special Innovation Ability Construction Fund of Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences (20180404 and 20180705).)

### 参考文献

- [1] 张平,王莉,任朝晖,等.采收成熟度对不同品种的甜玉米贮藏过程中碳水化合物含量的影响[J].保鲜与加工,2012,12(5):14-17.(ZHANG Pin, WANG Li, REN Zhaohui, et al. Effect of different harvest maturities on the carbohydrate content of corn with different variations during the storage[J]. Storage and Process, 2012, 12(5): 14-17.)
- [2] 邵金良,袁唯,刘家富,等.甜玉米鲜苞采后贮藏保鲜技术研究[J].玉米科学,2007,15(5):89-93.(SHAO Jinliang, YUAN Wei, LIU Jiafu, et al. Study on the fresh keeping techniques of harvesting sweet maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2007, 15(5): 89-93.)
- [3] 刘晨霞,乔勇进,黄宇斐,等.不同贮藏温度对甜玉米品质的影响[J].农产品加工,2017(6):1-8.(LIU Chenxia, QIAO Yongjin, HUANG Yufei, et al. Effect of different storage temperature on quality of sweet corn[J]. Farm Products Processing, 2017(6): 1-8.)
- [4] 张鹏,鲁晓翔,陈绍慧,等.国内外甜玉米保鲜研究进展[J].保鲜与加工,2013,13(2):61-64.(ZHANG Peng, LU Xiaoxiang, CHEN Shaohui, et al. Research progress of the preservation technology of sweet corn at home and abroad[J]. Storage and Process, 2013, 13(2): 61-64.)
- [5] AHARONI Y, COPEL A, GIL M, et al. Polyolefin stretch films maintain the quality of sweet corn during storage and shelf-life[J]. Postharvest Biology and Technology, 1996, 7:171-176.
- [6] 梁芸志,陈存坤,吴昊,等.不同预冷温度对采后番茄贮藏品质的影响[J].食品研究与开发,2018,39(13):188-200.(LIANG Yunzhi, CHEN Cunkun, WU Hao, et al. Effects of different precooling temperature on the storage quality of postharvest tomato[J]. Food Research and Development, 2018, 39(13): 188-200.)
- [7] 谢玉花,宋洪波,刘升,等.不同销售方法在压差预冷和冷藏运输后对全程冷链甜玉米品质的影响[J].制冷学报,2014,35(5):71-75.(XIE Yuhua, SONG Hongbo, LIU Sheng, et al. Effect of different retailing methods on quality of cold chain sweet corn in cold chain after forced-air cooling and low temperature transportation[J]. Journal of Refrigeration, 2014, 35(5): 71-75.)
- [8] Cortbaoui P. Assessment of precooling technologies for sweetcorn[D]. Montreal: McGill University, 2005:76.
- [9] 张照坤,孙爱国,崔心燕.甜玉米速冻保鲜工艺[J].中国果菜,2016,36(6):10-11.(ZHANG Zhaokun, SUN Aiguo, CUI Xinyan. Technical specification for quick freezing and fresh keeping of sweet corn[J]. China Fruit and Vegetable, 2016, 36(6): 10-11.)

- [10] THOMPSON A K. Fruit and vegetables: harvesting, handling, and storage[M]. UK: Wiley-Blackwell, 2003:460.
- [11] 刘霞. 不同预冷方法、包装方式、规格和储藏对甜玉米品质的影响[J]. 制冷学报, 2011, 32(5):67-70.(LIU Xia. Effect of different precooling, packagings, specifications and storage on quality of sweet corn[J]. Journal of Refrigeration, 2011, 32(5):67-70.)
- [12] 刘圣春, 王飞波, 孙志利. 流化冰技术及其在食品保鲜等领域的应用[C]//中国制冷学会 2009 年学术年会论文集, 2009, 511-516.(LIU Shengchun, WANG Feibo, SUN Zhili. Slurry ice technology and it's application in the field of food preservation and others[C]//China Academic Journal Electronic Publishing House, 2009, 511-516.)
- [13] 冯家敏, 张宾, 蒋林珍, 等. 流化冰结合防黑剂、抑菌剂对南美白对虾的保鲜效果[J]. 食品科学, 2016, 37(02):244-249.(FENG Jiamin, ZHANG Bin, JIANG Linzhen, et al. Quality preservation of fresh shrimp (*Litopenaeus vannamei*) by employment of slurry ice in combination with bacteriostatic agent and melanosis inhibitor[J]. Food Science, 2016, 37(02):244-249.)
- [14] KAUFFELD M, WANG M J, GOLDSTEIN V, et al. Ice slurry applications[J]. International Journal of Refrigeration, 2010, 33(8):1491-1505.
- [15] 高萌, 张宾, 邓尚贵, 等. 流化冰对于鲣鱼的保鲜效果研究[J]. 海洋与海湾, 2014, 45(5):1023-1029.(GAO Meng, ZHANG Bin, DENG Shanggui, et al. Effect of ice slurry on preservation of skipjack tuna[J]. Oceanologia ET Limnologia Sinica. 2014, 45(5):1023-1029.)
- [16] 高萌, 张宾, 邓尚贵, 等. 流化冰保鲜对鲣鱼蛋白质功能特性的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(22):304-309.(GAO Meng, ZHANG Bin, DENG Shanggui, et al. Effect of slurry ice treatment on functional properties of muscle proteins of skipjack tuna[J]. Food Science, 2014, 35(22):304-309.)
- [17] 王强, 张宾, 马路凯, 等. 流化冰保鲜对冰鲜南美白对虾品质的影响[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10):134-140.(WANG Qiang, ZHANG Bin, MA Lukai, et al. Effect of slurry ice treatment on the quality of fresh *litopenaeus vannamei* [J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 30(10):134-140.)
- [18] 农业部谷物品质监督检验测试中心. NY/T 523—2002 甜玉米[S]. 北京: 中国标准出版社, 2002.(Cereal Quality Supervision and Testing Center. Ministry of Agriculture. NY/T 523—2002 Sweet Corn [S]. Beijing: Standards Press of China, 2002.)
- [19] 曹建康, 姜微波, 赵玉梅. 果蔬采后生理生化实验指导[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2011.(CAO Jianbo, JIANG Weibo, ZHAO Yumei. Study on physiology and biochemistry of fruits and vegetables after harvest[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2011.)
- [20] 张洪军, 潘艳娟, 王建清. 大蒜/肉桂精油复配 PE 膜对双孢菇的保鲜研究[J]. 包装与食品机械, 2015, 33(4):21-25.(ZHANG Hongjun, FAN Yanjuan, WANG Jianqing. Study on *agaricus bisporus* fresh-keeping effect by garlic/cinnamon essential oil compound PE film[J]. Packaging and Food Machinery, 2015, 33(4):21-25.)
- [21] Davies T W. Slurry ice as a heat transfer fluid with a large number of application domains[J]. International Journal of Refrigeration, 2005(28), 108-114.
- [22] 马骏. 甜玉米保鲜与加工技术研究进展[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(4):60-64.(MA Jun. Research progress of preservation and processing technology of sweet corn[J]. Storage and Process, 2013, 13(4):60-64.)
- [23] 徐冬颖, 刘婧, 左进华, 等. 茉莉酸甲酯处理对运输振动后尖椒贮藏品质的影响[J]. 现代食品科技, 2018, 34(09):70-76.(XU Dongying, LIU Jing, ZUO Jinhua, et al. Effect of methyl jasmonate treatment on quality of post-harvest pepper subjected vibration during transportation[J]. Modern Food Science and Technology, 2018, 34(09):70-76.)
- [24] 陈豫, 胡伟, 王宇, 等. 模拟运输振动胁迫对宜宾茵红李生理生化变化的影响[J]. 食品工业科技, 2017, 38(11):309-313.(CHEN Yu, HU Wei, WANG Yu, et al. Effect of simulating transportation vibration stress on changes of physiology and biochemistry of "Yinhong" plum[J]. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38(11):309-313.)
- [25] 钱骅, 陈美龄, 陈斌, 等. 鲜切西兰花减压预处理的保鲜研究[J]. 中国野生植物资源, 2018, 37(3):8-14.(QIAN Hua, CHEN Meiling, CHEN Bin, et al. Effect of hypobaric pretreatments on preservation of fresh cut broccoli [J]. Chinese Wild Plant Resources, 2018, 37(3):8-14.)
- [26] 范新光, 肖璐, 张振富, 等. 减压冷藏和气调冷藏对鲜切西兰花保鲜效果的比较分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2):277-281.(FAN Xinguang, XIAO Lu, ZHANG Zhenfu, et al. Comparative analysis between hypobaric storage and controlled atmosphere storage in the preservation of fresh-cut broccoli[J]. Food Science, 2014, 35(2):277-281.)
- [27] 李天, 王艳颖, 张馨跃, 等. 茉莉酸甲酯处理对鲜切芹菜生理品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(09):120-124.(LI Tian, WANG Yanqing, ZHANG Xinyue, et al. Effects of jasmonic acid methyl ester treatment on the physiological quality of fresh-cut celery[J]. Food Research and Development, 2014, 35(09):120-124.)
- [28] 王春辉, 王清章, 严守雷, 等. 气调对甜玉米贮藏品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4):2305-2307.

- (WANG Chunhui, WANG Qingzhang, YAN Shoulei, et al. Effect of modified atmosphere on quality of sweet corn during storage[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2011, 39(4):2305-2307.)
- [29] 李崇高, 黄建初, 薛海波, 等. 改性葡甘聚糖/壳聚糖共混膜在甜玉米保鲜中的应用[J]. 食品与机械, 2013, 29(3):202-205.(LI Chonggao, HUANG Jianchu, XIE Haibo, et al. Research on the fresh-keeping of sweet corn with modified konjac glucoman/chitosan blend films[J]. Food and Machinery, 2013, 29(3):202-205.)
- [30] 苗慧莹, 陈浩, 常嘉琪, 等. 葡萄糖和茉莉酸甲酯对芥蓝芽菜芥子油苷积累及其抗氧化特性的影响[J]. 浙江大学学报, 2018, 44(03):327-334.(MIAO Huiying, CHEN Hao, CHANG Jiaqi, et al. Effects of glucose and methyl jasmonate treatments on glucosinolate accumulation and antioxidant attributes in Chinese kale sprouts[J]. Journal of Zhejiang University, 2018, 44(3):327-334.)
- [31] 纪祥洲, 李亮, 桑志成, 等. 电子鼻检测冻藏草莓品质研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(36):304-309.(JI Xiangzhou, LI Liang, SANG Zhicheng, et al. Discriminating the quality of frozen stored strawberries by electronic nose[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2014, 30(36):304-309.)
- [32] 雷春妮, 周围, 蒋玉梅, 等. 热脱附-气相色谱/质谱联用分析鲜食玉米香气成分[J]. 食品工业科技, 2014, 35(02):71-75.(LEI Chunni, ZHOU Wei, JIANG Yumei, et al. Thermal desorption coupled to GC-MS for analyzing aroma components in fresh corn[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(02):71-75.)
- [33] 张鹏, 李江阔, 陈绍慧. 电子鼻对不同贮藏/货架期甜柿判别分析[J]. 食品与生物技术学报, 2015, 34(4):390-395.(ZHANG Peng, LI Jiangkuo, CHEN Shaohui. Electronic nose for discrimination of sweet persimmon within different shelf life[J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2015, 34(4):390-395.)
- [34] 刘佳, 黄淑霞, 余俊红, 等. 基于电子舌技术的啤酒口感评价及其滋味信息与化学成分的相关性分析[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(2):196-201.(LIU Jia, HUANG Shuxia, YU Junhong, et al. Beer mouthfeel evaluation based on electronic tongue technology and the relationship between sensor information and flavor compounds[J]. Food and Fermentation Industries, 2019, 45(2):196-201.)
- [35] 邹光宇, 王万章, 王淼森, 等. 电子鼻/舌融合技术的信阳毛尖茶品质检测研究[J]. 食品科学, 2019, 40(10):279-284.(ZOU Guangyu, WANG Wanzhang, WANG Miaosen, et al. Quality detection of xinyang maojian tea based on the electronic nose and electronic tongue[J]. Food Science, 2019, 40(10):279-284.)

通信作者简介

王清, 女, 博士, 副研究员, 18618256266, E-mail: wangqing@nercv.org. 研究方向: 农产品贮藏与保鲜。

About the corresponding author

Wang Qing, female, Ph.D., Associate Professor, 18618256266, E-mail: wangqing@nercv.org. Research fields: Fruit and Vegetables Storage and Processing.

(上接第 82 页)

- [12] Lee H S, Yoon J I, Kim J D, et al. Evaporating heat transfer and pressure drop of hydrocarbon refrigerants in 9.52mm and 12.70mm smooth tube[J]. International Journal of Heat & Mass Transfer, 2005, 48(12):2351-2359.
- [13] Pamitran A S, Choi K I, Oh J T, et al. Two-phase flow heat transfer of propane vaporization in horizontal minichannels[J]. Journal of Mechanical Science & Technology, 2009, 23(3):599-606.
- [14] Chen J C. Correlation for boiling heat transfer to saturated fluids in convective flow[J]. Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development, 1966, 5(3):322-329.
- [15] Choi K I, Pamitran A S, Oh J T, et al. Pressure drop and heat transfer during two-phase flow vaporization of propane in horizontal smooth minichannels[J]. International Journal of Refrigeration, 2009, 32(5):837-845.
- [16] Fang X, Wu Q, Yuan Y. A general correlation for saturated flow boiling heat transfer in channels of various sizes and flow directions[J]. International Journal of Heat & Mass Transfer, 2017, 107:972-981.

通信作者简介

柳建华, 男, 教授, 上海理工大学, 13817757889, E-mail: lwnlwn\_liu@163.com. 研究方向: 制冷系统优化。

About the corresponding author

Liu Jianhua, Male, Professor, University of Shanghai for Science and Technology, 13817757889, E-mail: lwnlwn\_liu@163.com. Research fields: Refrigeration system optimization.