

# 鲜食玉米采后保鲜技术研究进展

陈少青<sup>1,2</sup>, 王红伟<sup>1</sup>, 郑馥燕<sup>1</sup>, 马丽丽<sup>1</sup>, 范文广<sup>2</sup>, 左进华<sup>1\*</sup>

(1. 北京市农林科学院农产品加工与食品营养研究所, 北京 100097;

2. 兰州理工大学生命科学与工程学院, 兰州 730050)

**摘要:** 玉米属于全谷物范畴, 兼具粮和果两类食物特性, 富含蛋白质、淀粉、果糖以及多种矿物质等。随着人民生活水平的提升, 消费者对玉米口感和品质的要求进一步提升。鲜食玉米则因其甜、香、糯以及营养价值高等特点备受人们青睐。目前, 我国鲜食玉米总种植面积高居全球第一。但鲜食玉米采收具有季节性, 并且采后呼吸旺盛, 采后贮藏过程中易发生褐变、霉变、虫害、苞叶变黄以及甜度下降等品质劣变问题, 进而影响其食用价值和经济价值。保鲜技术的应用能够有效降低鲜食玉米采后呼吸强度以及营养物质的流失, 维持鲜食玉米的感官品质、酶活性和芳香物质含量。因此, 本文对鲜食玉米采后品质劣变问题和保鲜技术 2 个方面进行详细阐述, 旨在为鲜食玉米采后贮藏保鲜技术研究提供理论参考。

**关键词:** 鲜食玉米; 采后贮藏; 品质劣变; 保鲜技术

## Research progress on postharvest fresh-keeping technology of fresh corn

CHEN Shao-Qing<sup>1,2</sup>, WANG Hong-Wei<sup>1</sup>, ZHENG Yan-Yan<sup>1</sup>, MA Li-Li<sup>1</sup>,  
FAN Wen-Guang<sup>2</sup>, ZUO Jin-Hua<sup>1\*</sup>

(1. Institute of Agri-food Processing and Nutrition, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China; 2. School of Life Science and Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

**ABSTRACT:** Corn belongs to the whole grain category and has properties of both grains and fruits. It's rich in protein, starch, fructose, and minerals. With the improvement of people's living standards, consumers have further improved their requirements for the taste and quality of corn. Therefore, fresh corn is favored by people due to its sweet, fragrant and waxy taste, as well as its high nutritional value. China is the world's largest grower of fresh corn, but fresh corn is seasonal and it breathes vigorously during postharvest storage, which can lead to issues of quality deterioration, such as browning, mildewing, pest damage, yellowing, and loss of sweetness, affecting both its edible and economic value. To address these issues, fresh-keeping technology can be applied to reduce respiration and nutrient loss and maintain the sensory quality, enzyme activity, and aroma of fresh corn. Therefore, this paper elaborated postharvest quality deterioration and preservation technology of fresh corn in detail, aiming to provide a theoretical reference for the research on postharvest storage and preservation technology of fresh corn.

**KEY WORDS:** fresh corn; postharvest storage; quality deterioration; preservation technology

**基金项目:** 现代农业产业技术体系北京市创新团队项目(BAIC02-2023)、北京市农林科学院协同创新中心建设项目(KJ CX201915)、国家大宗蔬菜产业体系建设项目(CARS-23)

**Fund:** Supported by the Beijing Innovation Consortium of Agriculture Research System (BAIC02-2023), the Collaborative Innovation Center of Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences (KJ CX201915), and the China Agriculture Research System of MOF and MARA (CARS-23)

\*通信作者: 左进华, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品贮藏与保鲜。E-mail: zuojinhua@126.com

\*Corresponding author: ZUO Jin-Hua, Ph.D, Professor, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, No.50 Zhanghua Road, Haidian District, Beijing 100097, China. E-mail: zuojinhua@126.com

## 0 引言

鲜食玉米,是指在乳熟期采收的新鲜果穗,用作食用或加工,像水果一样的玉米,又称为水果玉米。目前,鲜食玉米的种类也逐渐趋向于多元化和特色化,其类型主要有甜玉米、糯玉米以及甜糯玉米<sup>[1]</sup>。甜玉米是由控制淀粉合成的关键基因发生自然突变而产生的鲜食玉米品种,目前已发现的能够调控胚乳糖分的基因有 *su1*、*su2*、*sh1*、*sh2*、*bt1*、*bt2*<sup>[2]</sup>;糯玉米是一种胚乳突变型玉米,它是由于第9号染色体59号位点上能够控制玉米胚乳直链淀粉合成的隐形糯质基因 *wxwx* 的隐性突变而产生的新性状<sup>[3]</sup>;甜糯玉米则是由甜质和糯质两种基因在同一果穗上表达调控产生,具有既甜又糯的独特风味口感<sup>[4]</sup>。鲜食玉米作为一种中高端果蔬,具有独特的风味和营养价值,比普通玉米口感更甜、更糯、更嫩。鲜食玉米籽粒富含蛋白质、淀粉、果糖以及多种矿物质和维生素,具有降低胆固醇、防止硬脉血管堵塞、抗氧化、降血糖等功效<sup>[5]</sup>。同时,鲜食玉米也是目前种植业结构调整中备受关注的果蔬兼用经济型作物之一,如今我国已成为全球最大的鲜食玉米生产国和消费国。据统计显示,我国鲜食玉米的种植面积在2020年达到2200亩,产量约2420t,2021年2268亩,产量约达2494.8t,位居世界第一。南方鲜食玉米种植大省主要为云南、广西和四川,中部主要种植省份分布在湖北、浙江和江苏,而黑龙江则是北方鲜食玉米种植大省。

鲜食玉米在生理成熟前采收,采收后的玉米籽粒水分和糖分含量较高,极易受到多重环境因素如:温度、环境湿度以及周围气体成分影响,而发生强烈的呼吸作用。随着贮藏时间延长,呼吸作用会使鲜食玉米中营养物质含量发生变化,糖类物质会被迅速分解,失重率增加,风味和品质也会相应下降<sup>[6]</sup>。有研究表明,鲜食玉米常温放置2d后,可溶性糖含量至少下降50%<sup>[7]</sup>。因此,鲜食玉米采后保鲜技术的研究尤为重要。目前,许多研究者针对鲜食玉米采后可能出现的品质劣变问题如:甜度下降、虫害、褐变、霉变、苞叶色度变化以及籽粒失水皱缩等,已研发出一系列的鲜食玉米采后保鲜技术,主要包括:热烫法、预冷法、气调保鲜、涂膜法、包装保鲜、辐照保鲜、生物保鲜剂以及化学保鲜等。

本文对鲜食玉米采后品质劣变问题以及现有的鲜食玉米保鲜方法进行分类与总结,旨在为新型鲜食玉米贮藏保鲜技术研究提供理论参考。

## 1 鲜食玉米采后品质劣变问题

### 1.1 病害

#### 1.1.1 霉变

鲜食玉米发生霉变后,品质和营养价值都会受到影

响,进而失去经济价值和食用价值,还会引发一系列食品安全问题。从田间收获后,其自身会携带一部分真菌,这部分真菌称为田间真菌。而另外一类真菌是其在贮藏期间新感染的,称作储藏真菌<sup>[8]</sup>。随着贮藏时间的延长,田间真菌会逐渐演变为储藏真菌。同时,贮藏环境的温度和湿度是决定真菌生长的重要因素<sup>[9]</sup>。因此,在鲜食玉米贮藏期间,若周围环境中的湿度和温度没有降低到安全值下,就会极易受到黄曲霉、赭曲霉和青霉等其他霉菌的感染,进而产生黄曲霉毒素B<sub>1</sub>(aflatoxin B<sub>1</sub>, AFB<sub>1</sub>)和玉米赤霉烯酮(zearalenone, ZEN)等真菌毒素<sup>[10]</sup>。鲜食玉米表面生长的菌落种类也会受地区的影响,有研究调查不同地区贮藏期的玉米及其种子后发现:在肯尼亚以及伊拉克安巴尔省地区贮藏的鲜食玉米中,出现频率最高的真菌是曲霉,其次是镰刀菌属。而在阿拉伯地区贮藏的鲜食玉米,其优势菌群为镰刀菌<sup>[11-12]</sup>。

#### 1.1.2 穗腐病

玉米穗腐病又称果穗干腐病,它主要是由禾谷镰刀菌和轮枝镰刀菌等其他真菌单独或者复合侵染而导致玉米穗发生腐烂和霉变的一种植物性病害<sup>[13]</sup>。玉米果穗及籽粒均可受此病危害,且病原菌一般都是从穗基部侵染,经茎而后再到果穗。玉米果穗受病菌侵染后,籽粒皱缩干瘪,表面呈暗褐色并失去光泽。被害果穗或籽粒的顶部或中部均会变色,出现粉红色、蓝绿色、黑灰色、暗褐色或黄褐色霉层<sup>[14]</sup>。此外,该病害不仅可在田间发生,还可出现在运输和贮藏过程中。高温、多雨、多雾和潮湿天气最利于病原菌的繁殖和传播<sup>[15]</sup>。

## 1.2 虫害

玉米中含有较高的碳水化合物,因此在贮藏时极易受到病虫侵害,原因有两种:第一种是玉米在采收后自身带有虫卵,当温度、水分等条件适宜时,虫卵就会开始孵化,最终长大成虫,啃食玉米。第二种原因则是玉米采收后发生了机械损伤,进而导致害虫有机可乘。玉米螟虫和玉米象鼻虫是鲜食玉米常见的采后害虫,它可以侵染并啃食采后鲜食玉米的籽粒、玉米壳或玉米棒,最终形成大量的虫洞和粉尘物质,造成谷物产量损失<sup>[16]</sup>。

## 1.3 成熟衰老

玉米采后会苞叶由绿变黄、籽粒表面失水皱缩、色泽以及风味劣变等现象,这也表明玉米进入了成熟衰老阶段,而籽粒质地变硬以及表面皱缩主要是由玉米内部水分和糖分损失造成的<sup>[17]</sup>。

鲜食玉米在贮藏期间容易出现甜度和糯性等风味上的变化。鲜食玉米的糯性主要由淀粉含量决定,甜度与可溶性糖含量有着密切的联系。玉米采后初期,可溶性糖含量随着贮藏时间的延长而下降,淀粉含量则与之相反。这是由于玉米叶片采收后无法向玉米果穗供给蔗糖,因而导

致玉米籽粒中糖度含量的下降<sup>[18]</sup>。HONG 等<sup>[19]</sup>以紫皮甜玉米(purple-pericarp sweetcorn, PPS)为原料研究发现储存时间和温度对糖含量有深远的影响, 储存期间的糖浓度显著下降, 在 23°C 时下降幅度更大。

#### 1.4 褐变

鲜食玉米本身颜色分为白色、黄色和黄白双色。在贮存期间, 长时间存放会导致籽粒表面色度的变化, 严重时会发生褐变现象。若鲜食玉米采收后受到了机械损伤, 也可能导致褐变的发生, 进而影响其外观和品质。目前, 鲜食玉米籽粒褐变机制尚不明确。

## 2 鲜食玉米保鲜技术

鲜食玉米种植面积和产量日益渐增, 是目前最具竞争优势和发展潜力的新兴产业。但在鲜食玉米采后贮藏过程中, 若处于不适宜的贮藏环境, 则会引发一系列的品质劣变现象。针对这些品质劣变问题, 研究者们已研究出各

种保鲜方式应用于鲜食玉米采后保鲜, 均取得良好的成效。不同于现有鲜食玉米保鲜方法综述类文章中所采用的分类方式, 本文将按鲜食玉米保鲜方法的性质进行分类, 将其划分为物理保鲜、化学保鲜以及其他保鲜。

### 2.1 物理保鲜

鲜食玉米采后贮藏中常用的物理保鲜技术有热处理、低温保鲜、气调保鲜、辐照保鲜以及臭氧保鲜等(表 1)。

#### 2.1.1 热处理

温度是影响玉米贮藏性的重要因素之一, 而热处理也是最常见且操作简便的鲜食玉米保鲜技术。热处理是指将采后果蔬置于适当温度下一段时间, 以降低生理代谢相关的酶活性, 并起到抑制病原菌生长繁殖, 延长果蔬的贮藏期的一项保鲜技术。鲜食玉米常见的热处理方式有微波法、蒸汽法和热水热烫法。鲜食玉米采后由于籽粒水分含量过高而容易发生腐烂现象, 因此在贮藏前进行合理的热处理加工是非常有必要的。

表 1 鲜食玉米采后物理保鲜技术及保鲜效果对比  
Table 1 Comparison of postharvest physical preservation techniques and preservation effects of fresh corn

保鲜类型	保鲜方法	最佳保鲜方法	保鲜效果	参考文献
预冷	CK 组、流态冰组	8~12 kg 制备的流态冰(冷库贮藏)	缓解甜玉米可溶性固形物、可溶性蛋白、可溶性淀粉、可溶性总糖等含量的下降, 延长贮藏期至 28 d	[20]
预冷	冷库预冷、压差预冷、流态冰预冷	流态冰预冷	维持甜玉米籽粒中可溶性固形物、可溶性淀粉、葡萄糖、果糖、蔗糖含量以及感官品质, 延缓甜玉米的衰老和苞叶的黄化	[21]
气调保鲜	空气、CO <sub>2</sub> 和 N <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> 包装	维持白糯玉米水分、可溶性糖和粗脂肪的含量, 保证其感官品质	[22]
气调保鲜	CO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> 和 N <sub>2</sub>	体积分数为 90% CO <sub>2</sub> 、5% O <sub>2</sub> 和 5% N <sub>2</sub>	抑制霉菌毒素的产生	[23]
包装保鲜	高水蒸气透过薄膜:高氧气透过薄膜(面积比)=20:0、0:20、1:19、2:18、3:17、4:16、5:15	20:0	延缓可溶性固形物含量的下降, 保持总酸含量以及维生素 C 含量, 延长鲜食玉米保鲜时间	[24]
辐照保鲜	脉冲强光	脉冲能量 300 J, 闪照距离 10 cm, 闪照 32 次	抑制鲜食玉米水分散失, 维持鲜食玉米的营养成分含量, 降低质量损失	[25]
辐照保鲜	紫外灯	紫外灯处理 2 min	抑制鲜食玉米水分散失, 维持鲜食玉米营养成分, 降低质量损失	[25]
辐照保鲜	红外线处理	红外线 3.24 kW/m <sup>2</sup> 处理 150 s 以及 1.27 kW/m <sup>2</sup> 处理 210 s	抑制玉米真菌的生长, 使玉米中黄曲霉完全失活	[26]
辐照保鲜	紫外照射处理	紫外光 10 J/cm <sup>2</sup> (254 nm)	降低成年象鼻虫数量, 减少玉米籽粒损失	[27]
臭氧	0.32 mg/m <sup>3</sup> 臭氧, 20、30、40°C, 处理 30 和 60 min	20°C、60 min、0.15 ppm 臭氧	抑制玉米中真菌的生长, 降低真菌总数和黄曲霉毒素污染	[28]

KACHHADIYA 等<sup>[29]</sup>将鲜食甜玉米分别进行工作频率为 2450 MHz~900 W 微波处理 40、50、60、70、80 s, 蒸汽处理 60、90、120、180 s 和 100°C 热水漂烫 30、60、90、120 和 150 s, 对比这 3 种处理方法, 并分析这 3 种不同热处理方法对鲜食玉米的总糖, 抗坏血酸, 水分, 籽粒质量、几何直径和过氧化物酶活性的影响, 结果发现微波热烫中总糖和抗坏血酸的保留更高。此外, SUN 等<sup>[30]</sup>研究调查了 6 kW, 27.12 MHz 的射频(radiofrequency, RF)和 20~80°C 沸水(boiling-water, BW)热烫处理对甜玉米粒的脂氧合酶(lipoxygenase, LOX)活性、理化性质和细胞形态变化的影响, RF 处理组样品比 BW 处理组样品能更好地维持颜色、质地和营养成分。热处理不但能有效降低鲜食玉米籽粒中的水分含量, 延长鲜食玉米的货架期, 还可影响其酶活性, 缓解鲜食玉米采后品质下降的问题, 维持其口感和风味。但长时间热烫处理不仅使得鲜食玉米贮藏环境相对湿度升高, 引发霉变等品质劣变现象, 还会导致鲜食玉米内部活性细胞消失, 营养物质被分化为小分子物质。因此, 需要研究更多更有效的保鲜方法。

#### 2.1.2 低温贮藏

低温保鲜技术包括预冷、冷藏、冻结点保藏以及冷冻保藏 4 种类型。预冷是鲜食玉米的首要关键保鲜环节, 它可除去采收后玉米在进行贮藏、运输和加工之前所产生的田间热。鲜食玉米常见的预冷处理又分为: 冰水预冷、冷库预冷和压差预冷。预冷的温度范围一般为 0~3°C。时文林等<sup>[21]</sup>探究了 0°C 冷库预冷、0°C 压差预冷以及流态冰预冷 3 种不同预冷保鲜技术对鲜食玉米品质的影响, 结果表明流态冰预冷可有效地延缓鲜食玉米的衰老, 降低呼吸速率和乙烯释放量并且能更好地维持其可溶性糖含量和感官品质等。另外, 还有研究表明, 甜玉米经过流态冰预冷处理后, 再放入 0°C 冷库中贮藏 28 d, 能很好地延缓可溶性固形物、可溶性淀粉和可溶性总糖含量的下降, 维持甜玉米的感官品质和营养价值<sup>[20]</sup>。

冷藏是最常用也是应用最广泛的保鲜方法, 冷藏可降低鲜食玉米的呼吸作用, 延缓其生理代谢过程, 进而保证鲜食玉米货架期贮藏品质。有研究表明, 相比于 4°C, 甜玉米在 -1.8°C 条件下进行贮藏能更好地缓解甜玉米苞叶黄化和干枯现象, 减少籽粒水分、香味和甜度的散失<sup>[31]</sup>。

食品的冻结点温度又可称为冰温, 冻结点保鲜是指将果蔬置于特定温度范围内贮藏一段时间的一种保鲜技术, 其温度范围一般是从 0°C 开始到生物体冻结为止。冰温贮藏会影响果蔬乙烯的生成、呼吸强度、质地、营养成分、膜脂氧化进程、感官品质以及微生物的生存<sup>[32]</sup>。此外, 还有研究对比了甜玉米在 4°C 与 -1.8°C 条件下贮藏时的品质变化, 结果发现甜玉米在 -1.8°C 条件下贮藏会更有利于缓解甜玉米苞叶的黄化以及籽粒的失水萎缩、香味和甜度的散失, 并且还能抑制腐败微生物生长繁殖<sup>[31]</sup>。

对鲜食玉米进行 -18°C 下的保鲜称为冷冻保鲜。CALVO-BRENES 等<sup>[33]</sup>研究发现, 相比于 -20°C 以及 4°C 的贮藏条件, 鲜食玉米在 -80°C 下冷冻, 其玉米棒中的类胡萝卜素浓度可以稳定维持 3 个月之久。

#### 2.1.3 控湿保鲜

常见的热处理以及低温处理都无法达到对玉米环境相对湿度的控制, 而贮藏环境的相对湿度(relative humidity, RH)的高低对鲜食玉米采后呼吸作用以及生理指标和芳香物质成分的变化都有着很重要影响<sup>[34]</sup>。较高湿度环境可以缓解鲜食玉米中水分的流失, 延长其出库后的货架期, 但同时过高的湿度也会造成有害微生物的侵袭。

#### 2.1.4 气调保鲜

贮藏环境中的 O<sub>2</sub> 和 CO<sub>2</sub> 浓度对鲜食玉米的呼吸作用以及成熟衰老有着很大的影响。气调保鲜技术指的是通过改变贮藏环境中气体成分比例从而达到延长果蔬货架期的一种保鲜方式。常见的气调保鲜可分为被动气调保鲜(modified atmosphere packaging, MAP)和主动气调保鲜(controlled atmosphere packaging, CAP)两类<sup>[35]</sup>。气调保鲜中常用到的气体有 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 和一些稀有气体等。刘晨等<sup>[22]</sup>研究发现, 相比于空气和 CO<sub>2</sub> 充气介质, 充入 N<sub>2</sub> 包装能更好地保证鲜食玉米的营养价值和感官品质。而高 CO<sub>2</sub> 气调包装(体积分数为 90% CO<sub>2</sub>、5% O<sub>2</sub> 和 5% N<sub>2</sub>), 可抑制霉菌毒素的产生<sup>[23]</sup>。

#### 2.1.5 包装保鲜

包装技术也是通过控制贮藏环境中气体成分比例来达到对鲜食玉米品质维持的一种保鲜技术。选择合适的包装方法对鲜食玉米感官品质的维持有着重要的作用, 常见的包装保鲜技术有微孔膜包装、真空包装以及其他包装技术<sup>[36]</sup>。微孔膜技术指的是在塑料薄膜表面打 0.01~10 μm 的微孔或针孔的薄膜, 或者是对普通薄膜打孔并得到孔径小于 200 μm 薄膜的一种保鲜技术。该保鲜技术能很好地维持鲜食玉米中可溶性固形物、可溶性糖以及维生素 C 含量。相比于未处理的普通薄膜包装, 它具有透气性能好、透气速率可调以及透湿防水的优点<sup>[37]</sup>。

真空包装也称减压包装, 它是将包装容器中的空气全部抽出并进行密封, 使容器内部处于高度减压的水平。真空包装技术可以很好地维持甜、糯玉米果穗原有的新鲜度、色泽、风味及营养成分。为了避免鲜食玉米在真空包装过程中营养流失或者胀袋等问题的发生, 可将准备进行真空包装前的鲜食玉米放置在营养液中浸泡<sup>[38]</sup>。其他包装技术有常见的单层膜保鲜和复合膜保鲜技术。LIU 等<sup>[39]</sup>发现由高氧气透过薄膜(oxygen permeable film, OPF)与高水蒸气透过薄膜(water vapor permeable film, WPF)两种功能性膜按照不同比例制成的复合膜可以有效降低甜玉米的呼吸速率和蒸腾速率, 并维持甜玉米可溶性固形物、维生素 C 和 TA 的含量。此外, 刘辉等<sup>[24]</sup>使用面积比例分别为

20:0、0:20、1:19、2:18、3:17、4:16、5:15 的 WPF 和 OPF 制作成功保鲜包装袋 PMAP, 并用于采摘后甜玉米贮藏保鲜。结果表明, 高水蒸气透过薄膜对甜玉米保鲜效果更好。并且, 在相对湿度为 60%、温度为 25°C 的贮藏条件下, 包装袋内 O<sub>2</sub> 含量迅速降低、CO<sub>2</sub> 含量迅速升高, 甜玉米的货架期延长至 4~5 d。

### 2.1.6 辐照技术

辐照技术是一种物理保鲜技术, 它指的是利用一系列高能且穿透性强的射线对物体进行照射进而达到消毒灭菌效果的一种保鲜技术。大多数的辐照都能使真菌灭活, 辐射剂量以及真菌的生长特点是灭活效果的决定性因素<sup>[40]</sup>。玉米贮藏过程中应用到的较为常见的辐照技术有微波辐射、红外线辐射以及紫外线辐射等<sup>[41]</sup>。SMITH 等<sup>[26]</sup>利用红外辐射处理玉米样品, 研究结果发现设定参数分别为: 处理时间 150 s、强度 3.24 kW/m<sup>2</sup> 和处理时间 210 s、强度 1.27 kW/m<sup>2</sup> 的红外辐照处理都可以灭活玉米当中的黄曲霉。FERREIRA 等<sup>[27]</sup>利用 UV-C 辐射处理玉米贮藏中所侵染的玉米象鼻虫, 发现 UV-C 辐射可使得成年象鼻虫的数量降低, 并减少玉米籽粒的损失。

### 2.1.7 臭氧保鲜

臭氧具有强氧化性, 其灭活微生物主要有两种机制, 第一种是通过氧化分解微生物酶系中的巯基来有效地抑制微生物的生长。第二种是通过将多不饱和脂肪酸氧化成酸过氧化物<sup>[42]</sup>。臭氧分解所释放出的新生态氧可破坏微生物的细胞膜和细胞壁, 并使其内部蛋白变性, 代谢过程紊乱, 最终达到杀菌防腐的保鲜效果<sup>[43]</sup>。PORTO 等<sup>[44]</sup>研究发现, 质量浓度为 20~60 mg/L 的气态臭氧可有效降低玉米粒中的黄曲霉毒素含量, 抑制微生物的生长繁殖。此外, 在 20°C 条件下利用浓度为 0.32 mg/m<sup>3</sup> 的气态臭氧处理玉米 60 min 可抑制玉米中真菌的生长, 降低真菌总数和黄曲霉毒素污染<sup>[28]</sup>。

## 2.2 化学保鲜技术

物理保鲜技术虽具有高效、安全以及无毒等特点, 但是部分物理保鲜技术所需设备操作烦琐, 且投资成本大。因此, 化学保鲜技术的应用可有效缓解这一问题。鲜食玉米采后常见的化学保鲜技术有防霉剂和涂膜保鲜等。表 2 详细介绍了鲜食玉米采后化学保鲜技术保鲜效果对比。

表 2 鲜食玉米采后化学保鲜技术及保鲜效果对比  
Table 2 Comparison of postharvest chemical preservation techniques and preservation effects of fresh corn

保鲜类型	保鲜方法	最佳保鲜方法	保鲜效果	参考文献
稀土元素	0、100、500、1000、2000 μg/kg 氯化镧	2000 μg/kg 氯化镧	提高玉米生活力, 降低脂肪酸值, 保持玉米原有的色泽和气味	[45]
抗菌肽	0.075、0.15、0.3 g/kg 辣椒籽抗菌肽、2.26 g/kg 丙酸钙、0.3 g/kg 那他霉素	0.15、0.3 g/kg 辣椒籽抗菌肽与 2.26 g/kg 丙酸钙、0.3 g/kg 那他霉素标准添加量	可有效抑制霉菌生长, 降低脂肪酸值	[46]
复合防霉剂	肉桂醛和异硫氰酸烯丙酯联合	300 μL/L(异硫氰酸烯丙酯: 肉桂醛, 1:5)	使玉米中的真菌数量降低至检测限值以下, 可用于玉米防霉	[47]
防霉剂	乳酸菌素粗提液: 10 mL (10%)、20 mL (20%)、30 mL (30%)	10%的乳酸菌素粗提液	抑制玉米中各种霉变真菌生长, 减缓霉变周期和霉变程度	[48]
抗氧化剂	CK 组、竹叶提取物组	竹叶提取物	降低鲜食玉米中水分和质量的散失, 维持可溶性糖含量, 延缓鲜食玉米的老化, 抑制微生物的生长代谢, 延长鲜食玉米货架期	[49]
精油	大蒜精油	2~10 μL/L 大蒜精油	抑制真菌的生长, 提升玉米的保藏性	[50]
精油	罗勒精油( <i>Ocimum. basilicum</i> )	无光, 温度 ≤ 20°C	杀灭害虫, 具有对玉米链球菌成虫的杀虫潜力	[51]
复合精油	肉桂、牛至和柠檬草复合精油	肉桂、牛至和柠檬草的复合精油: (Z)-柠檬醛(33.44%)、(E)-柠檬醛(32.88%)、香芹酚(19.84%)、柠檬烯(4.29%)和肉桂醛(3.76%)	抑制黄曲霉毒素真菌的活性	[52]
复合精油	肉桂醛、柠檬醛、丁香酚和薄荷醇复合精油	肉桂醛、柠檬醛、丁香酚和薄荷醇 = 3:3:2:2 (V:V:V:V)	抑制产毒真菌的生长繁殖, 防止玉米霉菌毒素的污染	[53]
涂膜保鲜	0.5%、1.0%和 1.5%壳聚糖涂膜	低温条件(4±2)°C, 1.0%壳聚糖涂膜	抑制甜玉米呼吸强度, 延缓失重率上升和水分的散失, 维持可溶性总糖、可溶性蛋白和可溶性淀粉含量	[54]

### 2.2.1 化学保鲜剂

防腐剂是常见的化学保鲜手段,可有效抑制鲜食玉米中霉菌的生长。韩玉竹等<sup>[46]</sup>研究发现,在玉米中添加 0.15、0.3 g/kg 辣椒籽抗菌肽或者标准添加量的那他霉素、丙酸钙都能够抑制霉菌生长,降低脂肪酸值。还有研究表明在玉米中添加比例为 1:5 的异硫氰酸烯丙酯和肉桂醛或 10%的乳酸菌素粗提液,也能够抑制玉米中各种霉变真菌生长,减缓霉变周期和霉变程度<sup>[47-48]</sup>。

植物精油也是鲜食玉米常见的化学保鲜剂,植物精油有着绿色环保、天然、易降解且低残留等特点<sup>[41]</sup>。鲜食玉米贮藏中常见的植物精油有肉桂精油、大蒜精油、丁香精油以及柠檬草精油等<sup>[50]</sup>。研究发现,柠檬草精油可以抑制玉米黄曲霉的生长,且抑菌率达 100%<sup>[51]</sup>。罗勒精油在无光和温度小于等于 20°C 的条件下使用,能够杀灭害虫,并具有对玉米链球菌成虫的杀虫潜力<sup>[52]</sup>。同时,复合植物精油防腐剂也能更好地抑制微生物的生长繁殖,从而延长鲜食玉米的保存时间。例如,由 33.44% (Z)-柠檬醛、32.88% (E)-柠檬醛、19.84% 香芹酚、4.29% 柠檬烯和 3.76% 肉桂醛组合而成的肉桂、牛至和柠檬草的复合精油可抑制黄曲霉毒素真菌的活性<sup>[53]</sup>。除此之外,有研究使用传统的平板计数技术评估复合精油(肉桂醛、柠檬醛、丁香酚和薄荷醇=3:3:2:2, V:V:V:V)对真菌生长和贮藏玉米中真菌毒素产生的抑制作用,发现复合精油能够显著减少真菌数量并控制玉米中霉菌毒素的污染<sup>[54]</sup>。

### 2.2.2 涂膜保鲜

涂膜保鲜是指在鲜食玉米表面以浸渍、涂抹、喷洒等方式涂上一层纯天然、无毒、无害的大分子多糖蛋白类、脂类物质等,形成一层薄薄的透明被膜。涂膜保鲜可以缓解鲜食玉米营养物质的损失,抑制呼吸作用,同时减少蒸腾作用的发生以及微生物和病原菌的侵染。有研究表明,在(4±2)°C 环境下,分别用 0.5%、1.0% 和 1.5% 壳聚糖涂膜处理甜玉米,其中 1.0% 壳聚糖涂膜处理组所处理的玉米品质效果更佳<sup>[55]</sup>。

### 2.3 其他保鲜技术

鲜食玉米采后保鲜技术除常见的物理和化学保鲜技术外,还有其他保鲜技术如:生物保鲜以及多种保鲜技术联合处理(表 3)。

生物保鲜剂指的是从动物或者微生物中提取的天然或者利用生物工程技术改造而获得的安全、无毒、无害的保鲜剂。它有抑制酶活性、杀死腐败菌、抗氧化以及防止外来腐败菌入侵等功效。并且,生物保鲜剂与物理技术如:辐照、微波、超声波、超高压、高压脉冲电场等联合使用,相比于保鲜技术的单一使用具有更好的保鲜效果<sup>[58]</sup>。

保鲜技术的协同使用比单一处理可以更有效地保持鲜食玉米的品质。靳志强等<sup>[56]</sup>分别利用强度为 5 mW/cm<sup>2</sup> 的短波紫外线、质量浓度为 18 mg/L 臭氧以及微波等技术处理玉米,最终结果表明三者组合处理能够有效杀灭玉米中的霉菌并对玉米进行脱毒,并且维持玉米的品质。还有研究表明,200 mg/L 的 ClO<sub>2</sub> 杀菌复合 15 mg/mL COS 涂膜处理,有较好的抑菌效果,能够延缓苯丙氨酸解氨酶活力的上升,降低苯丙烷代谢水平和过氧化物酶活力,从而减少木质素积累<sup>[57]</sup>。

### 2.4 小结

近年来,随着人们自身健康意识的增强,鲜食玉米因其新鲜绿色、优质安全、营养健康等特点,倍受消费者们喜爱。从国内外鲜食玉米研究进展来看,鲜食玉米产业具备巨大的市场潜力。但是,鲜食玉米的收获具有季节性和区域性。因此,其采后保鲜环节是鲜食玉米后期进行加工并顺利流向消费市场的第一层保护伞。目前鲜食玉米保鲜技术研究比较集中,按性质分为物理保鲜、化学保鲜和其他保鲜。保鲜技术种类繁多,但大都围绕着降低鲜食玉米的呼吸作用、抑制病原微生物的生长繁殖和控制贮藏环境中的温度、湿度等环境因子展开的(图 1)。相对来说,物理保鲜所需设备复杂、处理过程烦琐并且投资大,但具有无污染、无残留等特点。常见的化学保鲜方法有防腐剂、植物精油处理以及涂膜保鲜。其中,防腐剂对霉菌有极强的特异性,且具有无毒、长效等优点。植物精油属于天然的防腐剂,绿色、无毒且有良好的抗菌功效。但是,缺点是其挥发性较强,并且需在鲜食玉米未遭受污染前使用才能更好地发挥功效。涂膜保鲜技术能够有效地抑制鲜食玉米水分的流失以及呼吸作用的发生。涂膜技术的关键点在于涂膜剂的选取。目前,鲜食玉米常见的涂膜剂有壳聚糖、

表 3 鲜食玉米其他保鲜技术及保鲜效果对比

Table 3 Comparison of other preservation technologies of fresh corn

保鲜类型	保鲜方法	最佳保鲜方法	保鲜效果	参考文献
复合保鲜处理	60 s (UV-C)、18 mg/L 臭氧(O <sub>3</sub> )熏蒸 3 h、50°C 微波处理 5 min (MW)	MW-UV/O <sub>3</sub>	降低霉变玉米的霉菌孢子数量以及 AFB <sub>1</sub> 含量,维持玉米品质	[56]
复合保鲜处理	对照组、ClO <sub>2</sub> 杀菌处理组、COS 涂膜处理组、ClO <sub>2</sub> -COS 处理组	200 mg/L ClO <sub>2</sub> 杀菌复合 15 mg/mL COS 涂膜处理	抑菌,降低木质素积累速率、过氧化物酶活力、苯丙烷代谢水平,降低多酚含量并使其维持在较低水平	[57]

注:壳寡糖(chitooligosaccharide, COS)。

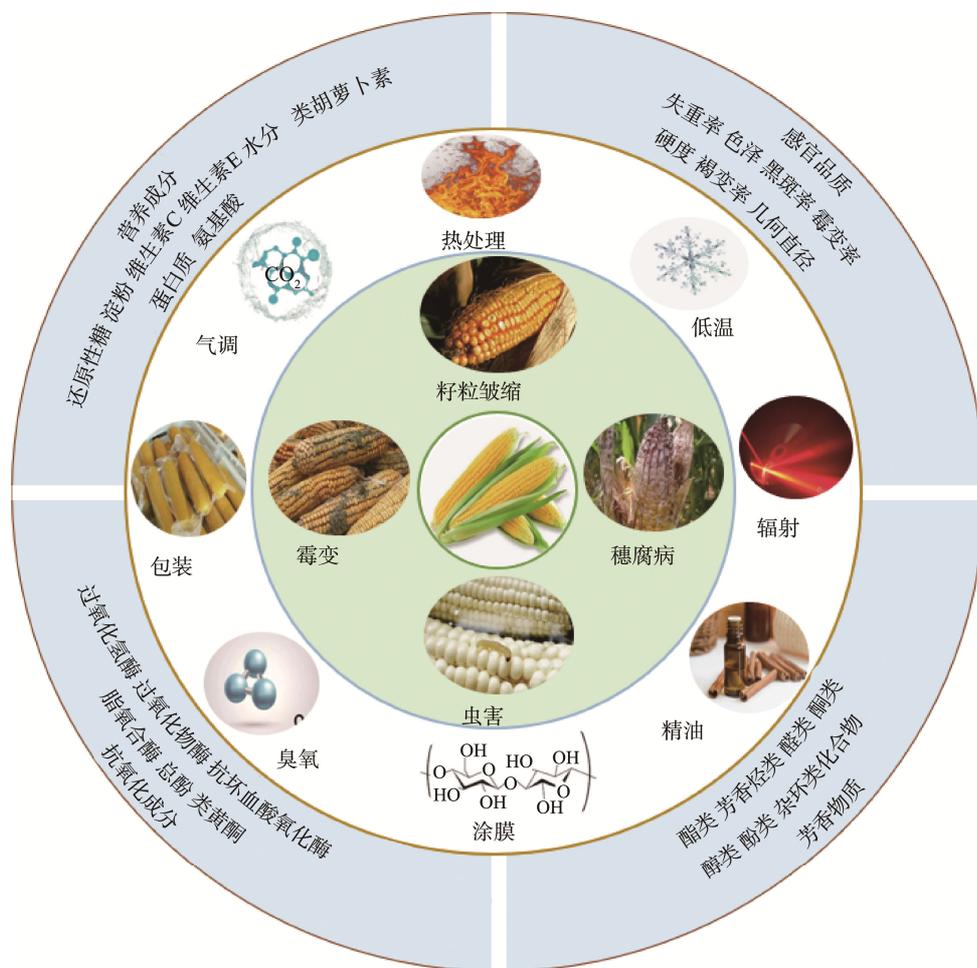


图1 鲜食玉米采收后贮藏保鲜技术的调控模型

Fig.1 Regulation model of postharvest storage of fresh corn using fresh-keeping technology

魔芋葡甘聚糖和植酸等, 许多新型涂膜剂仍有待开发。此外, 涂膜厚度的把控与选取也是一项有待突破技术难点。除物理和化学保鲜技术的单一处理之外, 保鲜技术的联合使用也备受青睐, 它可使鲜食玉米采收后贮藏品质得到更高保障。

### 3 结束语

总的来说, 单一使用这些鲜食玉米保鲜技术, 保鲜效果侧重点各有不同, 在保鲜调控方面也具有各自的局限性。所以, 研发多种保鲜技术联合使用对鲜食玉米生理指标的综合性控制有着至关重要的作用。另外, 鲜食玉米冷链建设如采收预冷、商品化处理、贮藏保鲜、运输和销售等个别环节的空缺, 使得采收后优质的鲜食玉米产品不能够完整地到达消费者手中。因此, 应当大力投资鲜食玉米冷链各个环节的建设。并且仍有许多鲜食玉米新型保鲜技术有待挖掘。例如常压低温等离子体保鲜、生物可降解涂膜保鲜以及纳米保鲜等技术的应用及其调控机制有待研究。除此之外, 加大对鲜食玉米采收后品质劣变机制和保鲜技术

调控机制的研究, 对未来研发出更加安全、无污染的新型鲜食玉米保鲜技术提供了理论依据。

### 参考文献

[1] 李紫琪, 古艳婷, 郭燕枝, 等. 我国鲜食玉米标准体系及营养标准研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(18): 5964–5973.  
LI ZQ, GU YT, GUO YZ, *et al.* Study on the standard system and nutritional standard of fresh corn in China [J]. *J Food Saf Qual*, 2022, 13(18): 5964–5973.

[2] HU Y, COLANTONIO V, MÜLLER BSF, *et al.* Genome assembly and population genomic analysis provide insights into the evolution of modern sweet corn [J]. *Nat Commun*, 2021, 12(1): 1227.

[3] 牛丽影, 沈凌雁, 刘春菊, 等. 鲜食玉米质构特性分析[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(12): 48–53.  
NIU LY, SHEN LY, LIU CJ, *et al.* Analysis of texture characteristics of fresh corn [J]. *Food Res Dev*, 2020, 41(12): 48–53.

[4] 唐贵, 隋冬华, 武新娟, 等. 我国甜糯玉米的育种与生产研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(5): 17–19.  
TANG G, SUI DH, WU XJ, *et al.* Research progress on breeding and

- production of sweet waxy corn in China [J]. *Cere Oils*, 2022, 35(5): 17–19.
- [5] WANG X, XIU W, HAN Y, *et al.* Structural characterization of a non-starch polysaccharide from sweet corn cobs [J]. *J Food Process Pres*, 2022. DOI: 10.1111/jfpp.16571
- [6] 范文广, 陈少青, 周新原, 等. 不同品种鲜食糯玉米采收后贮藏品质及抗氧化酶活性的变化[J/OL]. *食品工业科技*: 1–12. [2023-07-25]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023030261>
- FAN WG, CHEN SQ, ZHOU XY, *et al.* Changes of postharvest storage quality and antioxidant enzyme activity of different varieties of fresh waxy corn [J/OL]. *Sci Technol Food Ind*: 1–12. [2023-07-25]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023030261>
- [7] 王浩, 刘景圣, 郑明珠, 等. 鲜食糯玉米贮藏过程中淀粉含量及相关酶活性变化的研究[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(3): 6–10, 24.
- WANG H, LIU JS, ZHENG MZ, *et al.* Study on changes of starch content and related enzyme activities of fresh waxy corn during storage [J]. *J Chin Cere Oils Assoc*, 2017, 32(3): 6–10, 24.
- [8] 王鹏杰, 祁智慧, 张海洋, 等. 辽宁地区稻谷粮堆真菌分布及演替规律的研究[J]. *中国粮油学报*, 2020, 35(5): 144–151.
- WANG PJ, QI ZH, ZHANG HY, *et al.* Studies on the distribution and succession of fungi in rice and grain piles in Liaoning Province [J]. *J Chin Cere Oils Ass*, 2020, 35(5): 144–151.
- [9] 兰静, 金海涛, 赵琳, 等. 玉米真菌毒素污染与控制技术研究进展[J]. *农产品质量与安全*, 2020, (5): 15–21.
- LAN J, JIN HT, ZHAO L, *et al.* Research progress on pollution and control technology of maize mycotoxins [J]. *Qual Saf Agro-Prod*, 2020, (5): 15–21.
- [10] 杨雪倩, 于慧春, 殷勇, 等. 拉曼光谱法检测玉米中黄曲霉毒素 B<sub>1</sub> 和玉米赤霉烯酮[J]. *核农学报*, 2021, 35(1): 159–166.
- YANG XQ, YU HC, YIN Y, *et al.* Determination of aflatoxin B<sub>1</sub> and zearalenone in maize by Raman spectroscopy [J]. *J Nucl Agric Sci*, 2021, 35(1): 159–166.
- [11] CHERUIYOT R, BIRGEN J, AKWA E. Mycotoxin contamination of stored maize in Kenya and the associated fungi [J]. *Plant Pathol*, 2020, 2: 7–13.
- [12] AL-HUSNAN L, AL-KAHTANI M, FARAG R. Molecular characterization of fumonisin mycotoxin genes of *Fusarium* sp isolated from corn and rice grains [J]. *Sultan Qaboos Univ J Sci*, 2019, 24(2): 78–87.
- [13] DONG C, WU Y, GAO J, *et al.* Field inoculation and classification of maize ear rot caused by *Fusarium verticillioides* [J]. *Bio-Protoc*, 2018, 8(23): e3099.
- [14] 刘金枝. 夏县复播玉米穗腐病的发生与防治[J]. *农业技术与装备*, 2018, (11): 60–61.
- LIU JZ. Occurrence and control of recurrent maize ear rot in Xiaxian County [J]. *Agric Technol Equip*, 2018, (11): 60–61.
- [15] 杜青, 唐照磊, 李石初, 等. 广西玉米穗腐病致病菌株种群构成与毒素化学型分析[J]. *中国农业科学*, 2019, 52(11): 1895–1907.
- DU Q, TANG ZL, LI SC, *et al.* Analysis on population composition and toxin chemical type of *Fusarium oxysporum* caused by corn ear rot in Guangxi [J]. *Sci Agric Sin*, 2019, 52(11): 1895–1907.
- [16] TEFERA T, MUGO S, BEYENE Y. Developing and deploying insect resistant maize varieties to reduce pre-and post-harvest food losses in Africa [J]. *Food Secur*, 2016, 8(1): 211–220.
- [17] 马玉芯, 何余堂, 袁丹丹, 等. 热烫前处理对鲜食玉米贮藏过程中保鲜品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2018, 39(12): 279–283.
- MA YX, HE YT, YUAN DD, *et al.* Effect of blanching pretreatment on the fresh-keeping quality of fresh corn during storage [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2018, 39(12): 279–283.
- [18] 王娟紫, 乔勇进, 王春芳, 等. 鲜食糯玉米采收后生理与保鲜技术的研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2022. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031814
- WANG JZ, QIAO YJ, WANG CF, *et al.* Research progress on post-harvest physiology and fresh-keeping technology of fresh waxy corn [J]. *Food Ferment Ind*, 2022. DOI: 10.13995/j.cnki.11-1802/ts.031814
- [19] HONG H, PHAN A, O'HARE T. Temperature and maturity stages affect anthocyanin development and phenolic and sugar content of purple-pericarp supersweet sweetcorn during storage [J]. *J Agric Food Chem*, 2021, 69(3): 922–931.
- [20] 刘瑶, 左进华, 高丽朴, 等. 流态冰预冷处理对甜玉米贮藏品质的影响[J]. *制冷学报*, 2020, 41(3): 83–90.
- LIU Y, ZUO JH, GAO LP, *et al.* Effect of flow ice pre-cooling on storage quality of sweet corn [J]. *J Refrig*, 2020, 41(3): 83–90.
- [21] 时文林, 赵雅琦, 闫志成, 等. 不同预冷方式对甜玉米贮藏品质的影响[J]. *食品科学*, 2022, 43(15): 218–226.
- SHI WL, ZHAO YQ, YAN ZC, *et al.* Effect of different precooling methods on storage quality of sweet corn [J]. *Food Sci*, 2022, 43(15): 218–226.
- [22] 刘晨, 张铁斌, 马倩影. 白糯玉米货架期内气调包装保鲜研究[J]. *农产品加工*, 2016, (4): 12–14.
- LIU C, ZHANG YB, MA QY. Study on shelf life preservation of white waxy corn by modified atmosphere packaging [J]. *Farm Prod Process*, 2016, (4): 12–14.
- [23] RIUDAVETS J, PONS MJ, MESSEGUER J, *et al.* Effect of CO<sub>2</sub> modified atmosphere packaging on aflatoxin production in maize infested with *Sitophilus zeamais* [J]. *J Stored Prod Res*, 2018, 77: 89–91.
- [24] 刘辉, 李东立, 许文才, 等. 常温下功能集成包装袋在甜玉米保鲜中的应用[J]. *包装工程*, 2020, 41(11): 53–58.
- LIU H, LI DL, XU WC, *et al.* Application of functional integrated packaging bag in sweet corn preservation at normal temperature [J]. *Packag Eng*, 2020, 41(11): 53–58.
- [25] 何余堂, 宋珊珊, 解玉梅, 等. 脉冲强光与紫外辐照对鲜食玉米贮藏品质的影响[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(2): 324–327, 53.
- HE YT, SONG SS, XIE YM, *et al.* Effect of pulsed strong light and ultraviolet irradiation on the storage quality of fresh corn [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(2): 324–327, 53.
- [26] SMITH DL, ATUNGULU GG, WILSON SA, *et al.* Deterrence of

- Aspergillus flavus* regrowth and aflatoxin accumulation on shelled corn using infrared heat treatments [J]. *Appl Eng Agric*, 2020, 36(2): 151–158.
- [27] FERREIRA CD, ZIEGLER V, SCHWANZ GJT, *et al.* Quality of grain and oil of maize subjected to UV-C radiation (254 nm) for the control of weevil (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) [J]. *J Food Process Preserv*, 2018, 42(2): e13453.
- [28] HIDAYAH N, AHMAD U, WINARTI C. Gaseous ozone to improve quality of corn as feedstuff [C]. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021.
- [29] KACHHADIYA S, KUMAR N, SETH N. Process kinetics on physico-chemical and peroxidase activity for different blanching methods of sweet corn [J]. *J Food Sci Technol*, 2018, 55(12): 4823–4832.
- [30] SUN Y, WANG K, DONG Y, *et al.* Effects of radiofrequency blanching on lipoxygenase inactivation, physicochemical properties of sweet corn (*Zea mays* L.), and its correlation with cell morphology [J]. *Food Chem*, 2022, 394: 133498.
- [31] 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, (12): 1–4, 8.
- LIU CX, QIAO YJ, HUANG YF, *et al.* Effect of different storage temperatures on the quality of sweet corn [J]. *Farm Prod Process*, 2017, (12): 1–4, 8.
- [32] 高庆超, 常应九, 王树林. 冰温贮藏技术在食品保藏中的应用[J]. *包装与食品机械*, 2018, 36(6): 59–63.
- GAO QC, CHANG YJ, WANG SL. Application of ice temperature storage technology in food preservation [J]. *Packag Food Mach*, 2018, 36(6): 59–63.
- [33] CALVO-BRENES P, O'HARE T. Effect of freezing and cool storage on carotenoid content and quality of zeaxanthin-biofortified and standard yellow sweet-corn (*Zea mays* L.) [J]. *J Food Compos Anal*, 2020, 86: 103353.
- [34] HU Y, ZHANG Z, HUA B, *et al.* The interaction of temperature and relative humidity affects the main aromatic components in post-harvest *Torreya grandis* nuts [J]. *Food Chem*, 2022, 368: 130836.
- [35] 何伟. 果蔬气调保鲜技术及其在冷链物流中的应用研究进展[J]. *食品与机械*, 2020, 36(9): 228–232.
- HE W. Research progress on modified atmosphere fresh-keeping technology of fruits and vegetables and its application in cold chain logistics [J]. *Food Mach*, 2020, 36(9): 228–232.
- [36] 安学君, 潘巨忠, 潘舒伟. 鲜食玉米保鲜方法研究进展[J]. *农产品加工*, 2020, (24): 76–78, 82.
- AN XJ, PAN JZ, PAN SW. Research progress of fresh corn preservation methods [J]. *Farm Prod Process*, 2020, (24): 76–78, 82.
- [37] 蔡金龙, 王欲翠, 周学成, 等. 微孔膜果蔬气调保鲜研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(16): 318–323, 29.
- CAI JL, WANG YC, ZHOU XC, *et al.* Research progress in modified atmosphere preservation of fruits and vegetables with microporous membrane [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(16): 318–323, 29.
- [38] 丁峙峰, 李吉龙, 王安安, 等. 水果玉米保鲜技术研究进展[J]. *农产品加工*, 2021, (12): 63–65, 8.
- DING ZF, LI JL, WANG ANAN, *et al.* Research progress of fruit corn preservation technology [J]. *Farm Prod Process*, 2021, (12): 63–65, 8.
- [39] LIU H, LI D, XU W, *et al.* Application of passive modified atmosphere packaging in the preservation of sweet corns at ambient temperature [J]. *LWT-Food Sci Technol*, 2021, 136: 110295.
- [40] AKHILA PP, SUNOOJ KV, AALIYA B, *et al.* Application of electromagnetic radiations for decontamination of fungi and mycotoxins in food products: A comprehensive review [J]. *Trends Food Sci Technol*, 2021, 114: 399–409.
- [41] 彭田园, 高东辉, 李明奇, 等. 玉米储藏过程中的真菌污染及防控技术研究进展[J]. *现代食品*, 2022, 28(12): 134–139.
- PENG TY, GAO DH, LI MQ, *et al.* Research progress on fungal pollution and control technology in corn storage [J]. *Mod Food*, 2022, 28(12): 134–139.
- [42] 韩爱云, 侯惠静, 左晓磊, 等. 臭氧在鸡蛋保鲜中的应用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(21): 215–220.
- HAN AIY, HOU HJ, ZUO XL, *et al.* Research progress on application of ozone in egg preservation [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(21): 215–220.
- [43] 朱庆庆, 孙金才, 倪穗. 臭氧在果蔬保鲜及降解农药方面的研究进展[J]. *中国野生植物资源*, 2017, 36(1): 54–57, 71.
- ZHU QQ, SUN JC, NI S. Research progress of ozone in fruit and vegetable preservation and pesticide degradation [J]. *China Wild Plant Resour*, 2017, 36(1): 54–57, 71.
- [44] PORTO YD, TROMBETE FM, FREITAS-SILVA O, *et al.* Gaseous ozonation to reduce aflatoxins levels and microbial contamination in corn grits [J]. *Microorganisms*, 2019, 7(8): 220.
- [45] 赵玲丽, 吕好新, 王若兰, 等. 稀土元素镧对高温储藏下玉米品质的影响[J]. *粮食与油脂*, 2021, 34(4): 65–67, 78.
- ZHAO LL, LV HX, WANG RL, *et al.* Effect of lanthanum on corn quality under high temperature storage [J]. *Cere Oils*, 2021, 34(4): 65–67, 78.
- [46] 韩玉竹, 赵建军, 陈强, 等. 辣椒籽抗菌肽的安全性评价及其在玉米防霉中的应用[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(10): 155–160.
- HAN YZ, ZHAO JJ, CHEN Q, *et al.* Safety evaluation of capsicum seed antibacterial peptide and its application in corn fungus prevention [J]. *Food Ferment Ind*, 2019, 45(10): 155–160.
- [47] EVANGELISTA AG, BOCATE KCP, MECA G, *et al.* Combination of allyl isothiocyanate and cinnamaldehyde against the growth of mycotoxigenic fungi and aflatoxin production in corn [J]. *J Food Process Preserv*, 2021, 45(9): e15760.
- [48] 江宇航, 辛维岗, 张棋麟, 等. 霉变饲用玉米真菌的分离、鉴定与乳酸菌素对其的防霉抑菌效果[J]. *浙江农业学报*, 2021, 33(7): 1283–1291.
- JIANG YH, XIN WG, ZHANG QL, *et al.* Isolation and identification of moldy feed corn fungi and the antifungal and bacteriostatic effects of lactobactin [J]. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2021, 33(7): 1283–1291.
- [49] 魏林. 竹叶提取物对鲜食玉米保藏效果的影响[J]. *食品科技*, 2022, 47(3): 57–62.
- WEI L. Effect of bamboo leaf extract on preservation of fresh corn [J].

- Food Sci Technol, 2022, 47(3): 57–62.
- [50] BOCATE KP, EVANGELISTA AG, LUCIANO FB. Garlic essential oil as an antifungal and anti-mycotoxin agent in stored corn [J]. LWT-Food Sci Technol, 2021, 147: 111600.
- [51] MARTINAZZO AP, OLIVEIRA FS, SOUZA TCE. Antifungal activity of *Cymbopogon citratus* essential oil against *Aspergillus flavus* [J]. Ciência Natura, 2019, 41: 20.
- [52] MOURA ES, FARONI LRDA, HELENO FF, *et al.* Toxicological stability of *Ocimum basilicum* essential oil and its major components in the control of *Sitophilus zeamais* [J]. Molecules, 2021, 26(21): 6483.
- [53] XIANG F, ZHAO Q, ZHAO K, *et al.* The efficacy of composite essential oils against aflatoxigenic fungus *Aspergillus flavus* in maize [J]. Toxins, 2020, 12(9): 562.
- [54] WANG L, LIU B, JIN J, *et al.* The complex essential oils highly control the toxigenic fungal microbiome and major mycotoxins during storage of maize [J]. Front Microbiol, 2019, 10: 1643.
- [55] 单秀峰, 刘诗扬, 徐方旭. 壳聚糖涂膜处理对甜玉米贮藏期生理及品质的影响[J]. 河南农业, 2017, (2): 50, 2.  
SHAN XF, LIU SY, XU FX. Effects of chitosan coating treatment on physiology and quality of sweet corn during storage [J]. Agric Henan, 2017, (2): 50, 2.
- [56] 靳志强, 王顺喜. 微波、紫外线与臭氧组合技术对霉菌及其毒素的协同影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2018, 46(4): 147–154.  
JIN ZQ, WANG SX. Synergistic effects of microwave, ultraviolet and ozone combined technology on molds and toxins [J]. J Northwest Agric Fore Univ, 2018, 46(4): 147–154.
- [57] 龚魁杰, 陈利容, 祁国栋, 等. ClO<sub>2</sub> 杀菌复合壳寡糖涂膜对鲜食糯玉米的保鲜效果[J]. 食品科学, 2018, 39(21): 279–284.  
GONG KJ, CHEN LR, QI GD, *et al.* Fresh keeping effect of ClO<sub>2</sub> and chitosan oligosaccharide composite coating on fresh glutinous corn [J]. Food Sci, 2018, 39(21): 279–284.
- [58] 张茜, 李洋, 王磊明, 等. 生物保鲜剂在果蔬保鲜中的应用研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(6): 308–316.  
ZHANG X, LI Y, WANG LM, *et al.* Research progress on application of biological preservatives in fruit and vegetable preservation [J]. Sci Technol Food Ind, 2018, 39(6): 308–316.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

### 作者简介



陈少青, 硕士研究生, 主要研究方向为农产品贮藏及保鲜。

E-mail: chenshaoqing0913@126.com



左进华, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品贮藏与保鲜。

E-mail: zuojinhua@126.com