

豇豆采后保鲜技术的研究进展

韩丽春^{1,2}, 王正荣^{1,3}, 王清², 左进华², 郑鄢燕^{2*}

(1. 河北工程大学生命科学与食品工程学院, 河北邯郸 056107) (2. 北京市农林科学院农产品加工与食品营养研究所, 果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室, 农业农村部蔬菜采后处理重点实验室, 北京 100097)
(3. 邯郸市天然产物与功能食品开发重点实验室, 河北邯郸 056107)

摘要: 豇豆在我国各地广泛种植, 属于消费量较高的豆类蔬菜。其营养丰富, 富含蛋白质、碳水化合物、维生素和矿物质元素, 经济价值较高。但是, 豇豆属于季节性蔬菜, 销售具有季节性和区域性的限制, 又因果荚组织幼嫩、呼吸强度很高, 采后极易产生成熟衰老、锈斑化、冷害等问题, 导致品质降低、营养成分流失、腐烂变质, 严重影响食用价值。保鲜技术的应用可以对豇豆采后的营养品质、感官品质、酶活性等起到一定的作用, 达到保持豇豆良好品质风味、延长货架期的目的。因此, 该研究从物理保鲜技术、化学保鲜技术两个方面对豇豆的采后保鲜研究进行了总结, 旨在为豇豆采后贮藏保鲜技术研究提供理论参考, 缓解局部产量过剩、供过于求的局面, 改变豇豆采后保鲜的现状。

关键词: 豇豆; 采后生理; 品质变化; 保鲜技术

文章编号: 1673-9078(2023)06-321-330

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.6.0724

Research Progress on Postharvest Preservation Technologies of Cowpea

HAN Lichun^{1,2}, WANG Zhengrong^{1,3}, WANG Qing², ZUO Jinhua², ZHENG Yanyan^{2*}

(1.College of Life Sciences and Food Engineering, Hebei University of Engineering, Handan 056107, China)
(2.Institute of Agri-food Processing and Nutrition, Beijing Key Laboratory of Fruits and Vegetable Storage and Processing, Key Laboratory of Vegetable Postharvest Processing, Ministry of Agriculture and Rural Areas, Beijing Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)
(3.Handan City Key Laboratory of Natural Products and Functional Food Development, Handan 056107, China)

Abstract: Cowpea is widely planted in various parts of our country and belongs to legume vegetable with high consumption. It is rich in nutrients, and high in proteins, carbohydrates, vitamins and minerals, with a high economic value. However, cowpea is a seasonal vegetable, and its sales are seasonally and regionally restricted. Because the pod tissue is young and tender, and the respiratory intensity is very high, it is easy to cause postharvest problems such as ripening and senescence, rust spotting and chilling injury, causing quality reduction, nutrient loss, decay and deterioration, thereby affecting seriously the edible value. The application of preservation technologies can play a certain role in the nutritional quality, sensory quality and enzyme activity of postharvest cowpea, so as to maintain the good quality and flavor of cowpea and prolong its shelf life. Therefore, this paper summarizes the research on postharvest preservation of cowpea from two aspects i.e. physical preservation technologies and chemical preservation technologies, in order to provide a theoretical reference for the research on postharvest storage and preservation technologies of cowpea, alleviate the situation of local excess production and oversupply, and change the current situation of postharvest preservation of cowpea.

Key words: cowpea; postharvest physiology; quality change; fresh-keeping

引文格式:

韩丽春,王正荣,王清,等.豇豆采后保鲜技术的研究进展[J].现代食品科技,2023,39(6):321-330.

HAN Lichun, WANG Zhengrong, WANG Qing, et al. Research progress on postharvest preservation technologies of cowpea [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(6): 321-330.

收稿日期: 2022-06-08

基金项目: 北京市农林科学院协同创新中心建设 (KJCX201915); 北京市农林科学院创新能力建设专项 (KJCX20210437; KJCX20210402)

作者简介: 韩丽春 (1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工与贮藏, E-mail: hanlichun1998@163.com

通讯作者: 郑鄢燕 (1987-), 女, 博士, 助理研究员, 研究方向: 农产品采后保鲜与加工, E-mail: zhengyanyan@iapn.org.cn

豇豆 (*Vigna unguiculata*) 是指豆科豇豆属中的可食用草本植物, 一般为 1 年生缠绕、草质藤本或近直立草本植物, 别名菜豇豆、长豇豆、挂角豆、角豆、带豆、姜豆等, 多数以嫩豆荚和豆粒为食用部位, 营养丰富^[1-3], 原产于非洲, 是亚洲、非洲、欧洲南部、中美洲、和南美洲等地的重要园艺作物^[2-5]。豇豆分为普通豇豆、短荚豇豆、长荚豇豆 3 个栽培亚种, 按茎的生长习性还可分为矮生、半蔓生和蔓生 3 种类型, 其中短荚豇豆属于硬荚种, 食用豆粒; 长荚豇豆是软荚种, 豆荚长且较丰满, 主要以豆荚作为蔬菜食用^[1,6,7]。我国种植的豇豆主要是普通豇豆及长荚豇豆。普通豇豆的产区主要有河南、广西、山西、陕西、山东、安徽、内蒙古等地; 长荚豇豆的产区主要有四川、湖南、山东、江苏、安徽、广西、浙江、福建、河北、辽宁及广东等地^[7]。我国长荚豇豆 3~8 月份均可种植, 多在温热的夏、秋季采收, 年种植面积约 33.3 万 hm^2 , 产值 4 亿多元^[6,8]。

豇豆富含蛋白质、碳水化合物、多种维生素和矿物质元素, 经济价值较高, 此外, 豇豆也含大量的蛋白质、尼克酸、钙、磷、铁和维生素 B1、维生素 B2 及糖类, 膳食纤维等^[9-11]。豇豆还具有药用价值, 其所含有的酚类物质、抗氧化成分可以消除活性氧, 从而达到抗衰老的目的, 还可以促进胃肠道的消化, 同时较为适合患有高血脂、心血管疾病、肿瘤疾病等群体食用^[12-14]。

豇豆色泽嫩绿、豆荚肥厚、味道鲜美且极富营养价值, 深受广大消费者喜爱。其中以豆荚菜用的豇豆品种一般在温热的夏、秋季采收上市, 但其组织幼嫩、呼吸强度高而极不耐贮, 常温下, 一般货架期只有 2~3 d, 采后若不及时进行商品化处理或贮藏温度不当, 短时间内就会出现失水萎蔫、衰老、空壳、腐烂、木质纤维化、锈斑化等现象, 造成极大的经济损失, 且在预冷和冷链运输过程中易受不适当的低温影响发生冷害现象, 从而导致豇豆腐烂变质, 失去商品价值^[13]。研究表明, 豇豆在 8~10 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏可以明显延长其货架期, 达到较好的贮藏效果。目前豇豆由于采收不当、采后商品化处理技术落后、贮运条件不适宜及贮藏加工能力不足等原因, 在贮藏、运输和销售等环节中损耗率高达 15%~25%, 给种植户和流通商带来严重的经济损失, 其中, 豇豆的采后成熟衰老、锈斑和冷害是造成其采后损耗的主要原因。因此, 为减少采后贮藏、流通和销售过程中的损失, 延长市场供应期和供应范围, 维持豇豆的食用品质和营养价值, 研发豇豆采后品质劣变的调控技术尤为重要^[13,15]。

为此, 本文以菜用豇豆为主, 综述了豇豆采后主

要的品质劣变问题, 总结了近年来豇豆采后贮藏保鲜技术, 包括物理保鲜技术: 热处理、预冷与低温贮藏、气调保鲜、超声波、光照保鲜、不同包装材料处理等; 化学保鲜: 1-甲基环丙烯 (1-MCP)、6-苄基腺嘌呤 (6-BA)、茉莉酸甲酯 (MeJA)、涂膜保鲜等处理, 并对豇豆采后保鲜技术进行了总结与展望, 旨在为豇豆贮藏保鲜技术研究提供理论参考。

1 采后品质劣变问题

1.1 成熟衰老

豇豆采后会出现萎蔫、褪色、空壳等成熟衰老的现象, 表明豇豆进入衰老阶段, 其中温度是影响成熟衰老的重要因素。新鲜豇豆色泽鲜嫩, 光泽润亮, 豆荚比较饱满、含水量较高, 常温条件下贮运容易失水萎蔫、干瘪皱缩, 出现空壳现象, 豆荚颜色也会由于叶绿素的流失由深绿色变为黄色, 同时豆荚表面会出现锈斑直至整体腐烂, 失去经济价值。张福平^[16]的研究表明: 室温下, 豇豆在贮藏 4 d 后, 失水率高达 64.17%, 贮藏 6 d 时, 叶绿素含量下降了 98.5 mg/kg , 豆荚黄化严重, 贮藏 6 d 时, 含水量仅有 24.75%, 商品果只有 9.5%, 许多豆荚出现萎蔫、干瘪、腐烂等现象, 失去商品价值。

1.2 锈斑化

锈斑是豇豆采后贮藏保鲜中常见的品质劣变问题, 产生锈斑的原因有两个, 一是锈病导致的锈斑, 二是豆荚自身新陈代谢导致的锈斑。豇豆在种植期间容易产生由担子菌亚门锈病目豇豆属单胞锈菌引起的真菌性病害, 病原菌孢子会潜伏侵染豇豆果实, 采收后在温度较高且潮湿的环境贮藏时孢子会滋生导致锈斑病, 从而导致豆荚表面出现褐色片状斑点; 采后豇豆自身多酚氧化酶活性和酚类物质的新陈代谢, 也会导致豆荚表面产生褐色锈斑状物质^[17,18]。锈斑的产生与贮存环境有极大的关系, 湿度、温度、气体组成等都会影响锈斑的出现, 研究表明低温条件下贮藏可有效减少豇豆锈斑的产生, 但 8 $^{\circ}\text{C}$ 是豆荚出现锈斑的临界温度, 低于 8 $^{\circ}\text{C}$ 锈斑产生速率加快^[19]。锈斑的产生会在短时间内蔓延至整体并迅速腐烂变质, 导致豆荚失去食用价值和商品价值, 如何控制锈斑的生成是豇豆采后品质保持重要研究问题。

1.3 冷害现象

豇豆在低于 8 $^{\circ}\text{C}$ 的温度下贮藏容易发生冷害现象, 受到冷害的豆荚表面可能会出现水浸状凹陷斑、

锈斑和病原体引起的疾病等多种症状^[20-23]。冷害主要是由膜脂失衡引起的，脂肪酸去饱和度降低则会导致膜脂失衡。此外，豆类蔬菜的最佳贮藏温度是9~10℃，与8℃的贮藏条件相比，豇豆在3℃低温贮藏时会促进豆荚营养成分的流失，如叶绿素、可溶性蛋白、淀粉及可溶性糖，木质化程度也会升高，同时也会导致冷害现象的发生^[24]。说明贮藏温度的选择，对豇豆贮藏品质有较大的影响。

1.4 采后病虫害问题

豇豆象虫[bruchid (*Callosobruchus maculatus*)]是所有豇豆品种储存中的主要世界性害虫，尤其是在热带和亚热带地区，这种害虫通过降低豇豆种子的质量引起重大损害并造成经济损失^[25,26]。它们渗透到完全成熟的豆荚、田间的谷物和收获后的储藏过程中。雌性进入种子后在种皮上产卵，种子通过取食胚粒和胚乳变成蛹而发育，并通过羽化成成虫来完成其生命周期，被侵染和损坏的种子会穿孔，导致种子重量减轻^[25]。象虫在储存过程中会造成豇豆大约60%或更高的损失^[25,27]。

锈病是豇豆常见的病害问题，锈病的病原菌为担

子菌亚门锈病目豇豆属单胞锈菌 (*Uromyces vignae* Barcl)，属于真菌性病害。豇豆锈病不仅侵染叶片，也会导致豆荚染病，沾染孢子的豆荚会产生黄色或褐色斑点状物质，对豇豆的品质造成影响^[18,28]。

2 豇豆采后保鲜技术

豇豆作为夏秋季市场上常见的豆类蔬菜，其需求量很大，仅广西自治区其常年稳定生产面积就可以达到4万hm²^[29]。在全国蔬菜大流通的背景下，对蔬菜产品的耐贮运性，尤其是对外销型的豇豆耐贮运性也提出了更高的要求。豇豆作为主要的北运蔬菜，至少需要两周以上的保鲜期，才能满足市场所需。而豇豆属于呼吸跃变型蔬菜，采后呼吸旺盛，如不及时采取贮藏保鲜措施，豆荚极易出现萎蔫、黄化、锈斑等现象，严重会腐烂变质，从而丧失商品性。此外，不适当的低温会导致豇豆冷害现象，使得豆荚表面出现水浸状凹陷斑等。采后保鲜技术的使用能更好的保持豇豆贮藏品质，延长货架期(图1)。

豇豆采后保鲜技术的研发主要解决成熟衰老、锈斑和冷害问题，包括物理保鲜技术和化学保鲜技术两个大类。



图1 豇豆采后贮藏保鲜技术的调控模型

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

2.1 物理保鲜技术

豇豆采后保鲜中常用的物理保鲜技术主要有热处理、预冷与低温贮藏、气调保鲜、超声波、光照保鲜和不同包装材料处理等(表1)，可有效保持豇豆采后品质，延长货架期。

2.1.1 热处理

采后热处理是指果蔬在采后使用适宜的温度进行短时间处理，目的是杀死或抑制果实表皮附着的微生物，并诱导细胞内一些酶活性发生改变，以达到贮藏保鲜的效果，热处理常用热空气、热蒸汽、热水浸泡3种处理方式。采后热处理是一种安全性高、简便有效的保鲜技术，因其处理过程无化学残留的特点，经常被应用于果蔬的采后处理^[31]。

表1 豇豆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 cowpea

保鲜类型	保鲜方法	最佳保鲜方法	保鲜效果	文献
热处理	45 °C 30 min、50 °C 10 min、50 °C 20 min、50 °C 30 min 4 种不同热水处理	50 °C 热水处理 20 min、1 °C 贮藏	可抑制呼吸强度、质膜相对透性、POD 和 PPO 活性，维持营养品质、PAL 活性，延缓采后衰老速度，延长贮藏期和保持风味品质	[30]
热处理	温度 (70、80 和 90 °C) 和时间 (1、2、4、6、8 和 10 min) 热烫处理	70 °C 4 min 的热烫处理	保持和改善了豇豆的物理特性，抑制 POD 的活性，可达到抑菌的效果	[13]
热处理	35 °C、40 °C、45 °C 热空气处理 12 h	40 °C 热空气处理 12 h 后，4 °C 贮藏	可抑制失重率、木质素含量、质膜相对透性，维持叶绿素含量、PAL 活性，延长贮藏期	[31]
预冷	0 °C 冰水预冷 7 min、4 °C 冷水预冷 7 min、4 °C 冷库预冷 4 h	4 °C 冷水预冷处理 7 min，8 °C 贮藏	可抑制失重率、相对电导率、乙烯释放量和 MDA 的积累，维持感官品质、维生素 C、叶绿素含量、可溶性蛋白质含量、TSS 含量、CAT、POD 的活性	[32]
预冷+气调	常温 (温度 (20.5±4.5) °C、相对湿度 72%) 下放置 0 h (即时预冷)、6 h 和 12 h	即时通风预冷 (0 h) 至中心温度 9.0 °C，3% O ₂ +1% CO ₂ +96% N ₂ (V/V)，9 °C、80% 湿度贮藏	可抑制失重率、呼吸强度、锈斑发生率、纤维素含量、氧化胁迫，维持较高的感官评价得分、还原糖含量、叶绿素含量、抗氧化能力，延缓衰老，保持品质	[33]
低温贮藏	--	8 °C，9 °C 和 10 °C 贮藏	抑制失重率、腐烂率、呼吸强度、纤维素含量，维持叶绿素含量、维生素 C 含量、细胞膜的完整性	[34] [35]
变温贮藏	4 °C 1 d+室温、4 °C 2 d+室温、4 °C 3 d+室温、4 °C 1 d+10 °C 1d+室温、4 °C 2 d+10 °C 1 d+室温、4 °C 3 d+10 °C 1 d+室温处理	4 °C 3 d+室温 和 4 °C 3 d+10 °C 1 d+室温	可抑制 MDA 积累、活性氧自由基的产生、减轻过氧化损伤，维持较好的感官品质、叶绿素含量、TSS 含量、APX、CAT、POD 和 PPO 活性	[36]
低温预贮+自发气调	--	PE 保鲜袋包装，10 °C 的冷库预贮 2 d，转至 4 °C 冷库贮藏	控制冷害的发生，抑制失重率、相对电导率和 MDA 积累，维持维生素 C 含量、TSS 含量、POD 活性、细胞膜的完整性、外观品质，增强自身的抗氧化能力	[37]
自发气调包装	(30~35)、15、10 °C 温度贮藏和气调包装后 15、10 °C 温度贮藏	气调包装后 10 °C 贮藏	抑制呼吸强度和失重率，维持细胞膜相对透性、可溶性固形物、蛋白质和维生素的含量，保持较好的硬度和外观品质，延长保鲜期 16 d	[38]
气调包装	气调贮藏 [气体成分: 3% O ₂ +1% CO ₂ +96% N ₂ (V/V); 温度: (9.0±0.5) °C] 和冷藏 (温度 (9.0±0.5) °C)	气调贮藏 (气体成分: 3% O ₂ +1% CO ₂ +96% N ₂ (V/V); 温度: (9.0±0.5) °C)	可以降低质量损失率、腐烂率和纤维素的积累，保持较高的还原糖和叶绿素含量; 抑制豇豆的呼吸强度，减少超氧阴离子、过氧化氢和 MDA 的积累	[39]
包装材料	0.03 mm PE 膜、CO ₂ 高渗透性保鲜膜、纳米膜、PVC 膜和专用膜折口包装，15 °C、相对湿度 85%	CO ₂ 高渗透性保鲜膜和纳米膜包装，15 °C 贮藏	可抑制失重率、MDA 积累、POD 活性、活性氧的损伤，维持维生素 C 含量、TSS 含量、可溶性蛋白质含量、细胞膜的完整性、CAT 活性，延缓衰老	[40]
包装材料	0.03 mm 的聚乙烯塑料薄膜、0.02 mm 的特种塑料薄膜、0.02 mm 的特种塑料薄膜打孔三种包装袋	12 °C，0.02 mm 透湿薄膜包装	可抑制失重率、纤维素含量，维持叶绿素含量和维生素 C 含量	[41]
超声波处理	30 °C 分别超声 10、15、20、25、30 min，功率 180 W、频率 40 kHz	超声波处理 10 min	除菌效果好，机械造成的损失较小，抑制失重率，对维生素 C 无明显破坏作用	[42]
超声波处理	--	低功率超声波 10 min、紫外线照射 40 min	抑制微生物的生长，维持维生素 C 含量、可溶性蛋白质含量	[15]
LED	--	光照强度为 40 μmol·m ⁻² ·s ⁻¹ 的 LED 白光和蓝光照射 (整个贮藏期间均接受照射)，15 °C 贮藏	抑制失重率、锈斑发生率、MDA 的积累、活性氧损伤，维持外观品质、叶绿素含量、细胞膜完整性、总酚含量、TSS 含量、POD 和 CAT 酶活性	[43]

研究表明, 热处理可以抑制果蔬贮藏过程中产生的多种不利影响, 主要包括减少病虫害的危害, 促进乙烯等代谢产物的挥发和分解, 抑制与成熟衰老相关酶的活性, 同时降低某些氧化酶如多酚氧化酶(PPO)、苯丙氨酸氧化酶(PAL)和过氧化物酶(POD)活性, 抑制组织褐变, 改善果蔬贮藏品质^[44,45]。豇豆采用50℃热水处理20 min, 可以抑制豇豆的呼吸强度、POD和PPO活性、质膜相对透性, 延缓豇豆豆荚采后衰老速度和营养品质的下降, 提高豇豆在采后贮藏期间的商品果率^[30]。豇豆采用70℃热水处理4 min可以保持豇豆的物理特性, 抑制POD活性, 可达到抑菌的效果, 延长保质期, 且漂烫后在贮藏期间豇豆的pH值和酸度变化不大^[13]。赵宇璜^[31]研究发现, 豇豆由40℃热空气处理12 h, 可以延缓组织失水速率、抑制质膜相对透性、延缓叶绿素流失速度, 有利于延长豇豆贮藏期, 提高经济价值。

2.1.2 采后预冷与低温贮藏

采后预冷是果蔬采后流通关键步骤, 刚采摘的果蔬会带有田间热, 预冷处理能够将其释放出来, 使果蔬采后代谢活动迅速降低, 以维持果蔬自身品质、减少营养物质损失、延长贮藏保鲜时间。

范林林等^[32]研究了三种预冷方法, 结果发现4℃冷水预冷处理对豇豆的品质保持最好, 其次是冰水预冷, 再次则是冷库预冷, 豇豆使用冷水预冷进行处理, 其感官品质的下降得到缓解, 失重率、相对电导率、乙烯释放量和丙二醛(MDA)积累随之得到抑制, 过氧化氢酶(CAT)、POD的活性相应提高, 豇豆含有的一些营养成分的降解会受到抑制, 如TSS、维生素C、叶绿素、可溶性蛋白质等。研究表明, 豇豆在采后即时预冷可以延缓衰老的速率, 延长贮藏保鲜时间, 采后的豇豆进行即时预冷后在贮藏流通销售期间其质量损失率、呼吸强度、锈斑产生率都会得到延缓, 还原糖和叶绿素含量流失速率减慢, 可以得到较好的食用品质^[33]。

低温贮藏可以有效抑制豇豆采后的新陈代谢、微生物的生长, 从而减少其黄化、锈斑、萎软腐烂的发生, 延缓其衰老, 延长保鲜期。但贮藏温度低于8℃临界贮藏温度时容易发生冷害, 导致代谢失调, 有研究表明豇豆在低于8℃的条件下贮藏容易发生冷害, 前期豆荚表面的锈斑会加重, 组织变软, 后期冷害现象加重豆荚表面会出现水浸状凹陷斑, 组织崩溃, 色泽变暗, 失去本身应有品质^[19]。于珊珊^[34]认为豇豆最佳贮藏温度为(8±1)℃, 此条件下豇豆可贮藏12 d, 不会产生腐烂变质现象。张福平^[35]的研究则表明豇豆在10℃的条件下贮藏能够降低失重率, 抑制呼吸强度, 减缓豆荚中维生素C和叶绿素含量的下降, 维持

细胞膜完整性, 豇豆的贮藏期也可以延长至12 d。

史君彦等^[36]采用变温贮藏的方法对豇豆的采后生理特性进行研究, 结果表明, (4℃贮藏3 d+室温贮藏)和(4℃贮藏3 d+10℃贮藏1 d+室温贮藏)处理可以使豆荚保持良好的品质特性, 延缓TSS和叶绿素含量的流失, 维持POD、PPO、抗坏血酸过氧化物酶(APX)和CAT活性, 抑制MDA的积累、活性氧自由基的产生, 以减轻过氧化的损伤。

2.1.3 气调保鲜

气调包装保鲜有两种, 一是利用贮藏期间果蔬自身的呼吸作用影响包装内的气体环境, 随着呼吸作用的发生包装内氧气降低、二氧化碳升高, 果蔬自身的呼吸代谢和营养成分消耗受到抑制, 果蔬后熟衰老的现象得到延缓, 延长其贮存期; 二是通过调节贮藏初始包装内的气体组分, 达到抑制果蔬腐烂和变质的目的, 延长其货架期^[39,40]。

范林林等^[37]的研究表明采用低温预冷和自发气调结合的保鲜方法, 对于豇豆有较好的保鲜效果, 可以抑制豆荚相对电导率的上升、失重率、冷害率和MDA的积累, 可以维持TSS的含量、细胞膜的完整性、抗坏血酸的含量以及良好的外观品质, 还可以增强自身的抗氧化能力和POD的活性, 与对照组相比可以延长3~4 d的货架期。对比豇豆在15、10℃温度贮藏和气调包装后在相同温度下贮藏寿命, 15℃时气调包装可以提高5 d, 10℃时可以提高8 d, 且10℃气调贮藏豆荚的失重率仅为12.63%, 好果率达96.2%, 营养品质损失也较少^[38]。

王利斌等^[39]研究气调贮藏和冷藏两种豇豆保鲜方式, 结果表明气调更有利于豇豆的贮藏保鲜。在气调袋中充入3% O₂+1% CO₂+96% N₂ (V/V), 并在温度为(9.0±0.5)℃的环境下冷藏, 以冷藏温度为(9.0±0.5)℃的处理组为对照。贮藏30 d后, 气调的豇豆失重率和腐烂率分别为2.11%和5.33%, 而冷藏的豇豆失重率和腐烂率分别为4.21%和24.67%。此外气调贮藏的豇豆其还原糖、叶绿素含量也高于冷藏处理的豇豆。

2.1.4 不同包装材料处理

不同特性包装材料对果蔬的保鲜效果也有差异, 选取合适的包装可以抑制果蔬的失重率、呼吸速率, 减轻霉菌和细菌对自身影响, 降低新陈代谢速度, 达到延缓果蔬衰老进程、腐败变质以及延长贮存期目的^[46]。

豇豆在室温下贮藏, 使用CO₂高渗透性保鲜膜和纳米膜处理均能抑制豆荚失重率、MDA积累、POD活性和活性氧损伤产生, 维持维生素C、TSS和可溶性蛋白质含量以及细胞膜完整性, 增强CAT活性, 达

到延缓豇豆衰老进程的目的^[40]。陈刚等^[41]研究表明在(12±2)℃的条件下贮藏豇豆,采用0.02 mm透湿薄膜袋包装,对于降低豆荚失重率有较好的效果,还可以维持叶绿素和维生素C含量,延缓纤维素积累,但对锈斑产生没有明显的抑制效果。

2.1.5 超声波处理

超声波是一种辅助杀菌方式,应用于新鲜果蔬的清洗过程中,可以抑制蔬菜中微生物的生长。鲜切豇豆使用超声波处理10 min,除菌效果好,机械造成的损失较小,对维生素C无明显破坏作用,贮藏期间组织失水率缓慢,其食用品质优良,适用于贮藏保鲜^[42]。虽然超声波清洗除菌率高,安全高效,机械损伤较小,但是存在消毒不彻底的问题,因此超声波处理常与其他杀菌技术复合使用。有研究表明采用低功率超声波(清洗10 min)、紫外线(照射40 min)来处理豇豆,可降低豇豆中维生素C流失速率,减缓可溶性蛋白质含量的下降,抑制豆荚表面霉菌和细菌的生长,达到杀菌的目的^[15,47,48]。

2.1.6 光照保鲜处理

可见光照射处理可有效调节植物的新陈代谢,通过调控叶绿体衰老进程、呼吸作用和光合作用产生糖类物质、形成ATP、抑制果蔬组织内乙烯的释放量,进而延缓组织衰老的进程^[49]。史君彦等^[43]在整个15℃贮藏期使用光照强度为40 μmol·m⁻²·s⁻¹的LED白光和蓝光两种单色光照射处理豇豆,研究结果表明:LED光照处理可以维持豇豆良好的外观品质,可以抑制豆荚失重率、锈斑发生率、MDA积累以及活性氧对组织细胞的损伤,可以维持细胞膜完整性、TSS含量、叶绿素含量以及较好的总酚含量,提高POD和CAT活性,其中在光照强度同为40 μmol·m⁻²·s⁻¹时,LED白光保鲜效果优于LED蓝光。

2.2 化学保鲜技术

豇豆化学保鲜常用技术有1-MCP、6-BA、茉莉酸甲酯、涂膜保鲜等处理。以下将介绍几种主要技术在豇豆保鲜中的应用(表2)。

2.2.1 1-MCP处理

1-MCP是一种乙烯受体结合剂,可结合乙烯受体,阻止乙烯与其受体结合,通过抑制果蔬组织中乙烯与受体的正常结合,达到阻止乙烯诱导产生的催熟作用^[62]。1-MCP能不同程度地降低和延迟跃变型果蔬乙烯和呼吸跃变峰的出现以及抑制非跃变型果蔬乙烯的产生和释放,能够延缓果蔬组织的软化,使果蔬保持一定的硬度,能延缓叶绿素的流失,推迟绿色向黄绿色的转变,保持良好品质,延长果蔬的保鲜期^[63]。豇豆在15℃的条件下贮藏,采用1-MCP结合CO₂高

渗透性膜MAP进行处理,可以抑制MDA的积累、活性氧自由基的损伤、POD和CAT的活性,维持维生素C、TSS、可溶性蛋白质的含量和细胞膜的完整性,有效的保持豇豆的品质特性,抑制了衰老进程,对豇豆有较好的保鲜效果^[50]。

2.2.2 6-BA处理

6-BA是一种人工合成的细胞分裂素类化合物,能够抑制植物的呼吸速率,控制乙烯的合成,有效保持果蔬的色泽、硬度等品质,抑制叶绿素和蛋白质降解,缓解果蔬采后衰老的发生^[15]。前人研究豇豆使用不同浓度6-BA处理对贮藏保鲜效果的影响,(7.8±2)℃的条件下,使用10 mg/kg和20 mg/kg 6-BA处理,豆荚中叶绿素含量、可溶性糖含量和蛋白质含量的流失得到抑制,纤维化的速度得到缓解,豇豆成熟衰老的进程受到抑制,从而延长了豇豆的贮藏期^[51]。

2.2.3 茉莉酸甲酯处理

茉莉酸甲酯(Methyljasmonate, MeJA)是一种天然植物生长调节因子,具有较强挥发性,能修复果蔬外来机械损伤,促进果蔬营养成分有效积累,提高果蔬营养价值,延长其贮藏期^[17]。有研究表明MeJA处理可以降低豇豆锈斑发生率,抑制豆荚呼吸强度,延缓水溶性果胶含量、MDA含量以及细胞膜相对渗透率的上升,维持较高原果胶含量^[17]。在4℃下储存的豇豆,使用1 μmol/L MeJA处理可以降低果实冷害,维持豇豆感官品质,抑制相对电导率、失重率以及MDA积累,减少TSS、抗坏血酸、叶绿素含量下降,可以诱导包括CAT和POD在内的抗氧化酶活性,抑制PPO活性^[52]。

2.2.4 涂膜保鲜处理

涂膜保鲜是将保鲜剂通过浸渍、涂膜、喷洒等方法涂到果蔬的表面,形成一层薄膜,阻隔空气的透过率,控制果实呼吸,杀死或抑制果实表面细菌和霉菌的生长繁殖,以此阻止腐烂变质,从而达到控制果实衰老进程、延长果蔬保鲜贮藏的目的^[53]。研究表明使用200 mg/kg茶多酚+质量分数5%的大豆分离蛋白溶液得到的涂膜液处理豇豆,可明显降低豇豆的呼吸强度和组织失水率,维持叶绿素和维生素C的含量,抑制豆荚纤维素增加和细胞膜相对透性上升,可使豇豆低温贮藏的保鲜期从6d延长至12d^[54,64]。冯传佐等^[55]的研究则表明在8℃的环境下贮藏豇豆,使用质量分数2%壳聚糖+30 μg/mg 6-BA+0.3 g/kg脱氢醋酸钠复合涂膜保鲜剂处理,能较好地延长豇豆的贮藏周期。除此之外,还有研究表明海藻酸钠和羧甲基纤维素钠涂膜处理鲜切豇豆,可以减缓维生素C和叶绿素的流失,降低豆荚呼吸速率,维持较高的TSS含量和POD活性,减少MDA积累^[56]。

表2 豇豆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 cowpea

保鲜类型	保鲜方法	最佳保鲜方法	保鲜效果	文献
1-MCP+CO ₂ 高渗透性膜 MAP	--	1-MCP, CO ₂ 高渗透性膜包装, 15 °C	抑制 MDA 积累、POD 和 CAT 活性、活性氧自由基的损伤和酶促褐变, 维持维生素 C、TSS 含量和可溶性蛋白质含量, 抑制衰老进程	[50]
6-BA	0、10、20、30 mg/kg 的 6-BA 溶液中处理 15 min	10 mg/kg 和 20 mg/kg 6-BA 处理 15 min, 7.8 °C 贮藏	可抑制纤维化, 维持叶绿素含量、可溶性糖含量和蛋白质含量, 抑制成熟衰老的进程, 延长贮藏期	[51]
茉莉酸甲酯	--	1 μmol/L 的 MeJA 处理 10 min, 4 °C	降低冷害, 抑制失重率、相对电导率、MDA 积累、PPO 的活性, 维持感官品质、TSS 含量、维生素 C 含量、叶绿素含量、CAT 和 POD 在内的抗氧化酶活性	[52]
涂膜保鲜	--	200 mg/kg 茶多酚添加 m=5% 的大豆分离蛋白溶液 20 min, 7 °C	抑制呼吸强度、失重率、纤维化和细胞膜相对透性, 维持维生素 C、叶绿素含量, 贮藏期延长 6 d	[53] [54]
涂膜保鲜	--	m=2% 的壳聚糖+30 μg/mg 6-BA+0.3 g/kg 的脱氢醋酸纳复合涂膜保鲜剂处理 5 s, 8 °C	延长豇豆的贮藏期	[55]
涂膜保鲜	--	海藻酸钠和羧甲基纤维素钠涂膜处理 1 min, 4 °C	抑制呼吸速率、MDA 的积累, 维持维生素 C、叶绿素含量、TSS 含量和 POD 活性	[56]
水杨酸	0.5、1.0 mmol/L 的水杨酸溶液浸泡 20 min	1.0 mmol/L 的水杨酸处理 20 min, 3 °C 贮藏	可抑制水浸状凹陷斑扩大、细胞膜透性、MDA 积累, 维持叶绿素含量、POD 和 CAT 活性	[23]
油菜素内酯	0.5、1、2、4、8 μmol/L BR 溶液浸泡 10 min	1 μmol/L BR 处理 10 min, 4 °C 贮藏	可抑制失重率、MDA 积累、PPO 活性、冷害率, 维持 TSS 含量、CAT、POD 活性, 延长贮藏保鲜	[57]
精胺	0、0.1、0.2 mmol/L 的精胺中浸泡 5 min	0.2 mmol/L 精胺处理 5 min, 15 °C 贮藏	可抑制活性氧的损伤, 维持豆荚良好的外观品质、叶绿素含量、组织水分、营养成分, 延长货架期	[58]
胡椒碱	0.01%、0.03%、0.05%、0.07%、0.09% (m/m) 的胡椒碱浸泡 5 min	m=0.07% 的胡椒碱处理 5 min, 室温贮藏	可抑制失重率、pH, 维持维生素 C 含量、总糖含量, 保鲜期可由 4 d 延长到 6 d	[59]
钙	1% CaNO ₃ 浸泡处理 0、10、20、30 min	m=1% CaNO ₃ 处理 20 min, 20 °C 贮藏	可抑制失重率、相对电导率、木质素含量, 维持叶绿素含量	[60]
腐胺	--	8 mmol/L 腐胺浸泡处理 10 min, 4 °C	抑制失重率、PPO 的活性, 维持维生素 C 含量、叶绿素含量、总酚含量以及 POD、CAT 和 APX 在内的抗氧化酶活性, 延缓衰老	[61]

2.2.5 其他保鲜剂处理

水杨酸 (Salicylic Acid, SA) 是一种广泛存在于高等植物中的简单酚类物质, 能够影响果实的后熟衰老。采后豇豆使用 1.0 mmol/L 浓度水杨酸处理可以有效抑制冷害的发生, 阻止表面水浸状凹陷斑扩大, 使豆荚在冷藏期间可以保持一个良好的贮藏品质, 可以维持豆荚中叶绿素含量、细胞膜完整性、POD 和 CAT 的活性, 抑制 MDA 含量积累^[23]。

油菜素内酯 (Brassinolide, BR) 是一种天然植物激素, 广泛存在于植物的各个组织器官中。范林林^[57]等人研究 1 μmol/L BR 处理对豇豆的影响, 结果表明, 经 BR 处理的豇豆在贮藏过程中能够延缓组织失水率, 抑制 MDA 积累、PPO 活性, 减缓 TSS 含量下降,

提高 CAT、POD 活性, 从而保持豇豆外观品质, 抑制豇豆冷害率的上升, 延长其贮藏保鲜期。

精胺 (Spermine, SPM) 属于多胺的一种, 是一种内源性物质, 果蔬衰老与组织中精胺含量多少有关, 以其作为保鲜剂可以延长果蔬的贮藏期、增强抗逆能力^[58,65,66]。豇豆使用 0.2 mmol/L 精胺处理可以维持豆荚良好的外观品质, 减缓叶绿素、组织水分以及营养成分的流失, 抑制活性氧对豇豆的损伤, 从而延长豇豆的货架期^[58]。

适当浓度的钙处理可以延缓果蔬的衰老和腐烂, 使果蔬维持较好的风味品质, 以达到延长贮藏期的目的。豇豆使用钙处理能有效地降低豆荚的失重率, 抑制相对电导率的上升和纤维素含量的积累, 减缓叶绿素含量的

流失,从而改善豆荚的品质,延长贮藏时间,如使用 $m=1\%$ 的 CaNO_3 溶液浸泡处理豆荚 20 min 有较好的保鲜效果^[60]。使用 $m=0.2\%$ 钙氯化物溶液处理豇豆,可以抑制可溶性蛋白质和 MDA 的含量,将处理后的豆荚放置在低温环境下贮藏,其贮藏期可以延长 15 d^[67]。

研究表明 8 mmol/L 腐胺 (Put) 浸泡处理豇豆可以显著延缓豇豆的衰老,豇豆的感官品质得到了很好的保持,失重率的增加也被抑制,抗坏血酸、叶绿素和总酚含量的下降也被有效地降低,包括 POD、CAT 和 APX 在内的抗氧化酶活性得到提高,PPO 的活性则受到抑制^[61]。

在豇豆的保鲜研究中还应用到胡椒碱 (Piperine),使用 0.07% 胡椒碱处理,可以有效改善豇豆的失重率、pH、Vc 含量、总糖含量,保鲜期可由 4 d 延长到 6 d^[59]。抗坏血酸处理对抑制豆类的酶促褐变特别有效,可以降低霉菌的代谢活性,同时诱导酵母菌的生长,还可以抑制 PPO 和 POD 活性,提高蔬菜中酚类物质的含量,延缓成熟衰老的进程^[68]。此外,活性氯 0.01% 的次氯酸钠、300 mg/L 的丙二酸、 ClO_2 、硝普纳 (SNP)、0.001 $\mu\text{L/L}$ 的乙烯、亚硒酸钠等都能够对豇豆起到较好的保鲜效果^[69-74]。

目前的研究,亦有一些生物保鲜技术的应用,例如对采后豇豆使用柠檬草精油和柠檬醛进行熏蒸可以对豇豆象鼻虫的生殖周期、性行为、脂质组成和生物转化酶的酶活性起到抑制作用;多香果精油对豇豆象鼻虫有很强的趋避效果^[75,76]。精油的使用可以对采后豇豆虫害问题起到明显抑制作用,但对于处理成熟衰老、锈斑化和冷害问题的应用较少,还有待研究。

3 总结与展望

近年来,随着国民对自身健康意识的增强,绿色新鲜、健康营养的蔬菜成为消费者不可或缺的商品,但对于有极强的季节性和区域性的豇豆,想要突破销售时限和销售半径,贮藏保鲜技术的研究就需要不断深入,目前相关的保鲜技术虽然有很大进展,但仍存在一定的局限性。豇豆采后的预冷,商品化处理、贮藏保鲜、运输方法及运输途径等技术体系并不完善,尤其是由于自身生理生化变化引起的品质下降、贮藏保鲜不当导致的冷害、或者是细菌和霉菌的侵染造成的腐烂变质,都对豇豆的经济价值造成巨大的影响。所以未来可从豇豆采后预冷、成熟衰老、锈斑、冷害、腐烂变质、木质纤维化和抗营养因子的演变机理及其调控等方面进行探索。

目前商业化应用的豇豆采后保鲜技术以物理保鲜和化学保鲜研究居多,其中物理保鲜常用的技术有预

冷与低温贮藏、气调保鲜、不同包装材料处理等,化学保鲜常用的技术有 1-MCP、6-BA、茉莉酸甲酯、涂膜保鲜等处理。其中物理保鲜技术不会存在化学污染、对食品营养结构和自然风味不会有太大的影响,但存在设备复杂、操作要求高、投资大的缺点;而化学保鲜技术的保藏性和保藏效果相对较好,但会带来潜在的危害和环境污染。相对而言,生物保鲜技术贮藏环境小,贮藏条件容易控制、处理费用较低、对环境的污染也较小,是目前研究领域所关注的方向。此外,对于不同技术的结合使用也是目前的研究重点,单一的保鲜技术可能对豇豆的贮藏不能达到预期的效果,所以几种技术联合使用更加受到青睐,例如预冷结合气调贮藏、预冷结合 1-MCP 处理、气调包装结合 1-MCP 处理等,但是对于复合保鲜的研究目前还较少,相关的作用机理也还需要研究,所以相关保鲜技术如何在豇豆保鲜上灵活应用还需进一步探究。未来豇豆的贮藏保鲜还需要从生物保鲜技术以及复合保鲜技术等方向进行改进研究。

参考文献

- [1] 张忠武,蒋万,邓正春.我国矮生豇豆育种研究进展[J].现代农业科技,2022,12:35-39.
- [2] 曲春礼.食用豆类作物及其栽培技术[J].农业与技术,2017,37(6):110.
- [3] Ehlers J D, Hall A E. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) [J]. Field Crops Research, 1997, 53(1-3): 187-204.
- [4] Karapanos I, Papandreou A, Skouloudi M, et al. Cowpea fresh pods a new legume for the market: assessment of their quality and dietary characteristics of 37 cowpea accessions grown in southern Europe [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(13): 4343-4352.
- [5] 陈禅友,董元火,张凤银,等.我国豆类植物的研究利用现状与前景[J].江汉大学学报(自然科学版),2012,40(1):77-82.
- [6] 刘琴,黄伟康,符启位,等.99 份长荚豇豆种质资源及其枯萎病抗性相关分析研究[J].种子,2022,41(4):70-80,85.
- [7] 程须珍,王述民.中国食用豆类品种志[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009.
- [8] 施俊生.豆类蔬菜种业管理措施探讨[J].浙江农业科学,2020,61(5):822-824.
- [9] Gerrano A S, Thungo Z G, Shimelis H, et al. Genotype-by-environment interaction for the contents of micro-nutrients and protein in the green pods of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) [J]. Agriculture, 2022, 12(4): 531.
- [10] Morales-Morales A E, Alvarado-Lopez C J, Andueza-Noh R H, et al. Nutritional and nutraceutical quality of cowpea green

- bean (*Vigna unguiculata* L. Walp.) from Yucatan peninsula [J]. *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, 2020, 7(3): e2541.
- [11] Chathuni J, Rizliya V, Afka D, et al. Cowpea: An overview on its nutritional facts and health benefits [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2018, 98(13): 4793-4806.
- [12] HUANG Shirong, LIU Huan, YAN Sinian, et al. Changes in phenolic composition and bioactivity of raw and pickled cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) green pod after *in vitro* simulated gastrointestinal digestion: Original papers [J]. *Food Science and Technology Research*, 2021, 27(5): 769-778.
- [13] Tavares R M D O, Assis C F D, Lima P D O, et al. Blanching effect on the quality and shelf-life characteristics of fresh cowpea grains [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] [J]. *Foods*, 2022, 11(9): 1295.
- [14] Ntasi G, Gutiérrez-Cortines M E, Karapanos I, et al. The quality of leguminous vegetables as influenced by preharvest factors [J]. *Scientia Horticulturae*, 2018, 232: 191-205.
- [15] 左进华,王清,高丽朴.豇豆采后保鲜技术的研究现状[J].农产品加工(学刊),2014,21:52-54.
- [16] 张福平.豇豆贮藏期间的生理变化[J].安徽农业科学,2006,10:2109-2110.
- [17] 李昌宝,辛明,孙宇,等.不同保鲜处理对豇豆贮藏品质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(5):248-254.
- [18] 陈伟达,刘琴,陈禅友.豇豆锈病研究进展[J].江汉大学学报(自然科学版),2016,44(6):509-513.
- [19] 王清雄.不同贮藏温度对豇豆外观保鲜的影响[J].热带农业工程,2017,41(Z1):37-39.
- [20] MIAO Mingjun, TAN Huaqing, LIANG Le, et al. Comparative transcriptome analysis of cold-tolerant and-sensitive asparagus bean under chilling stress and recovery [J]. *PeerJ*, 2022, 10: e13167.
- [21] TAN Huaqing, HUANG Haitao, TIE Manman, et al. Transcriptome profiling of two asparagus bean (*Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*) cultivars differing in chilling tolerance under cold stress [J]. *Plos One*, 2016, 11(3): e0151105.
- [22] ZUO Jinhua, WANG Yunxiang, ZHU Benzong, et al. sRNAome and transcriptome analysis provide insight into chilling response of cowpea pods [J]. *Gene*, 2018, 671: 142-151.
- [23] 丁天,王清,杨娜,等.外源水杨酸处理对采后豇豆抗冷性的影响[J].湖北农业科学,2012,51(12):2505-2508.
- [24] 韩聪,高丽朴,王兆升,等.蔬菜冷害控制的研究进展[J].中国蔬菜,2013,12:1-8.
- [25] Kalpna N, Hajam Y A, Kumar R. Management of stored grain pest with special reference to *Callosobruchus maculatus*, a major pest of cowpea: A review [J]. *Heliyon*, 2022, 8(1): e08703.
- [26] Akovogon D K, Symphorien A, Eric E A, et al. Primary and secondary metabolite compounds in cowpea seeds resistant to the cowpea bruchid [*Callosobruchus maculatus* (F.)] in postharvest storage [J]. *Journal of Stored Products Research*, 2021, 93: 101858.
- [27] Ashamo M O, Ileke K D, Ogunbite O C. Entomotoxicity of some agro-wastes against cowpea bruchid, *Callosobruchus maculatus* (Fab.) [Coleoptera: Chrysomelidae] infesting cowpea seeds in storage [J]. *Heliyon*, 2021, 7(6): e07202.
- [28] 杨巍,曾庆鸿,王洪亮,等.贵州豇豆主要病害及其化学防治方法[J].农技服务,2021,38(12):49-51.
- [29] 赵坤,莫永诚,周作高.广西5个长豇豆品种耐贮性比较试验[J].长江蔬菜,2021,4:50-52.
- [30] 谢晓娜,沈少芸,陈圆圆,等.热水处理对豇豆贮藏品质的影响[J].广东农业科学,2011,38(1):104-107.
- [31] 赵宇璞,刘乐承.热空气处理对豇豆贮藏品质的影响[J].长江大学学报(自科版),2015,12(15):63-66,6.
- [32] 范林林,高丽朴,王清,等.预冷方式对豇豆采后生理特性的影响[J].北方园艺,2015,17:115-119.
- [33] 王利斌,林晨,罗海波,等.预冷时机对四季豆和豇豆品质和生理生化特性的影响[J].食品科学,2018,39(9):232-238.
- [34] 于珊珊.不同贮藏温度对豇豆采后生理和食用品质的影响[J].安徽农业科学,2012,40(12):7395-7397.
- [35] 张福平.温度对豇豆采后保鲜效果影响的研究[J].食品研究与开发,2008,2:146-148.
- [36] 史君彦,王清,高丽朴,等.变温处理对豇豆采后生理特性的影响[J].北方园艺,2017,22:132-137.
- [37] 范林林,王清,夏春丽,等.低温预贮及自发气调对豇豆冷害的控制[J].北方园艺,2016,18:135-138.
- [38] 罗银泳,陈东康,姚詹武,等.自发气调包装对豇豆耐藏性及品质的影响[J].广东农业科学,2006,8:67-69.
- [39] 王利斌,姜丽,石韵,等.气调对豇豆贮藏期效果的影响[J].食品科学,2013,34,10:313-316.
- [40] 史君彦,高丽朴,王清,等.不同保鲜膜包装处理对豇豆的保鲜效果[J].北方园艺,2016,16:125-128.
- [41] 陈刚,王兰菊,马晓.不同包装对贮藏豇豆营养品质的影响[J].安徽农业科学,2009,37(33):16531-16532.
- [42] 燕平梅,苏丽荣,赵惠玲,等.超声波气泡清洗对鲜切豇豆菜品质的影响[J].现代食品科技,2010,26(02):140-144.
- [43] 史君彦,郑秋丽,王清,等.LED光照处理对豇豆采后贮藏品质和生理特征的影响[J].食品工业科技,2018,39(4):250-253,259.
- [44] Susan L, Romina P. Fundamental aspects of postharvest heat

- treatments [J]. Horticulture Research, 2014, 1(6): 14030.
- [45] Aghdam M S, Bodbodak S. Postharvest heat treatment for mitigation of chilling injury in fruits and vegetables [J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 7(1): 37-53.
- [46] 柳俊超,王丹,马越,等.不同透性包装材料对鲜切豇豆感官品质的影响[J].食品工业,2015,36(1):54-57.
- [47] Aylangan A, Ic E, Ozyardimci B. Investigation of gamma irradiation and storage period effects on the nutritional and sensory quality of chickpeas, kidney beans and green lentils [J]. Food Control, 2017, 80(5): 1-16.
- [48] Armelini J M, Canniatti-Brazaca S G, Spoto M H F, et al. Quantitative descriptive analysis of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under gamma radiation [J]. Journal of Food Science, 2006, 71(1): 8-12.
- [49] 詹丽娟,李颖.光照技术在果蔬采后贮藏保鲜中的应用[J].食品与发酵工业,2016,42(8):268-272,278.
- [50] 史君彦,高丽朴,王清,等.1-MCP结合MAP处理对豇豆保鲜效果的影响[J].湖北农业科学,2016,55(20):5332-5335.
- [51] 马晓,王兰菊,陈刚.6-BA处理对豇豆贮藏效果的影响[J].河南农业科学,2009,8:117-119,124.
- [52] FAN Linlin, WANG Qing, LV Jiayu, et al. Amelioration of postharvest chilling injury in cowpea (*Vigna sinensis*) by methyl jasmonate (MeJA) treatments [J]. Scientia Horticulturae, 2016, 203(1): 95-101.
- [53] 张宇航,王荣荣,邢淑婕.豇豆涂膜保鲜效果的研究[J].食品安全质量检测学报,2015,6(3):775-780.
- [54] 邢淑婕,张宇航,刘开华.含茶多酚的大豆分离蛋白涂膜对豇豆保鲜效果的影响[J].食品工业,2015,36(9):192-195.
- [55] 冯传作,辛建华,童军茂.壳聚糖涂膜保鲜对豇豆生理生化指标的影响[J].安徽农学通报(上半月刊),2012,18(21):87-89.
- [56] 陈学玲,杨晓庆,范传会,等.海藻酸钠和羧甲基纤维素钠涂膜改善鲜切豇豆贮藏特性的比较分析[J].现代食品科技, 2018,34(7):181-186.
- [57] 范林林,高丽朴,王清,等.油菜素内酯对豇豆冷害的控制[J].食品工业科技,2016,37(15):339-343.
- [58] 郑秋丽,王清,高丽朴,等.精胺处理对豇豆采后生理特性的影响研究[J].食品研究与开发,2018,39(1):162-166.
- [59] 梁晓明,李天略,李娟娟,等.胡椒碱对豇豆的保鲜作用研究[J].安徽农业科学,2012,40(2):1017-1019.
- [60] 陈那,张欣,赵宇瑛.硝酸钙处理对采后豇豆荚贮藏质地的影响[J].长江大学学报(自科版),2013,10(23):76-80,10.
- [61] WANG Zhen, WANG Yunxiang, SHI Junyan et al. Effects of putrescine on the postharvest physiology characteristics in cowpea [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(2): 1-9.
- [62] Watkins C B. Overview of 1-methylcyclopropene trials and uses for edible horticultural crops [J]. Hort Science, 2008, 43(1): 86-94.
- [63] 陈刚,马晓.1-甲基环丙烯处理对豇豆贮藏效果的影响[J].食品工业科技,2016,37(18):340-343,366.
- [64] 张宇航,王荣荣,邢淑婕.豇豆涂膜保鲜效果的研究[J].食品安全质量检测学报,2015,6(3):775-780.
- [65] Mahmoud K S, Kazem A, Mohsen B. Postharvest polyamine application alleviates chilling injury and affects apricot storage ability [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2012, 60(36): 8947-8953.
- [66] Valero D, Martínez-Romero D, Serrano M A. The role of polyamines in the improvement of the shelf life of fruit [J]. Trends in Food Science & Technology, 2002, 13(6): 228-234.
- [67] XIE Guofang, Tan S M, Yu L. Effect of calcium chloride treatment on quality of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) [J]. European Journal of Horticultural Science, 2014, 79(1): 16-21.
- [68] Ouzounidou G, Asfi M, Gaitis F. Postharvest application of various chemical factors and their effects on quality characteristics and microbial load of raw beans [J]. Acta Alimentaria, 2012, 41(3): 363-374.
- [69] 刘光财,李鹏昌,李艳艳,等.亚硒酸钠对豇豆品质和活性氧的影响[J].甘肃农业大学学报,2020,55(4):85-91,97.
- [70] Li, Wills, Golding. Interaction of ethylene concentration and storage temperature on postharvest life of the green vegetables pakchoi, broccoli, mint, and green bean [J]. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 2017, 92(3): 288-293.
- [71] 范林林,王清,高丽朴,等.二氧化氯对豇豆采后生理特性的影响[J].北方园艺,2015,24:122-126.
- [72] 范林林,高丽朴,王清,等.外源NO处理对豇豆采后生理特性的影响[J].食品与发酵工业,2015,41(10):191-196.
- [73] 冯晓琴,高丽芳,单树花,等.不同试剂处理对鲜切豇豆生理生化指标的影响[J].食品工程,2009,4:49-52.
- [74] 郭雪松,田丽波,商桑.丙二酸处理对豇豆采后贮藏品质的影响[J].浙江农业学报,2022,34(7):1529-1536.
- [75] Alves M D S, Campos I M, Brito D D M C D, et al. Efficacy of lemongrass essential oil and citral in controlling *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae), a post-harvest cowpea insect pest [J]. Crop Protection, 2019, 119: 191-196.
- [76] P C R K T, M M S C K. Phytochemical profile and bioactivity of essential oil from pimentadioica leaves on cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae): A farmer friendly solution for postharvest pest management [J]. Open Agriculture, 2018, 3(1): 301-309.