延迟预冷对菠菜冷链流通中营养和品质的影响

尚夔栎[1,2]，刘 升[*1,2]

（1. 上海海洋大学 食品学院，上海 201306；2. 北京市农林科学院 国家蔬菜工程技术研究中心，北京 100097）

摘要：作者以菠菜为原材料，研究延迟预冷对菠菜冷链流通过程中营养和品质的影响。将新鲜菠菜分别放置0、1、5、9 h后，压差预冷至4 ℃，有膜和无膜包装后分别在4 ℃下运输、销售，家庭冷藏保鲜各2 d，测定营养和品质的变化。结果表明：菠菜在4 ℃冷链流通6 d后，延迟预冷0 h有膜包装营养和品质最佳，感官评价为7.2，失重率为4.25%，维生素C、叶绿素、可溶性蛋白质量分数分别为4.66 mg/hg、0.73 mg/g和0.35 mg/g。因此，菠菜采后应在1 h内进行田间预冷，同时结合防雾膜包装进行4 ℃菠菜冷链流通可较好地保持菠菜采后新鲜度和贮藏品质。

关键词：菠菜；延迟预冷；品质；营养

中图分类号：TS 255.36　**文章编号**：1673-1689(2023)05-0050-07　**DOI**：10.3969/j.issn. 1673-1689.2023.05.007

Effect of Delayed Pre-Cooling on Nutrition and Quality of Spinach in Cold Chain Circulation Process

SHANG Kuili[1,2]，*LIU Sheng*[*1,2]

(1. College of Food Science and Technology, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China; 2. National Vegetable Engineering Technology Research Center, Beijing Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Beijing 100097, China)

Abstract: Spinach was utilized as the test material to study the effect of delayed pre-cooling on the nutrition and quality of spinach throughout cold chain circulation process. The fresh spinach was placed for 0, 1, 5, and 9 hours, and then implemented differential pre-cooling to 4 ℃, respectively. The spinach was transported and sold with both film and non-film packaging at 4 ℃. The spinach was also kept refrigerated at home for 2 days, and changes in nutrition and quality were measured. The results showed that after 6 days of cold chain circulation at 4 ℃, the spinach that underwent delayed pre-cooling for 0 hours and was packaged with film achieved the best nutritional and quality results. The sensory evaluation was 7.2, and the weight loss rate was 4.25%. And the mass fractions of vitamin C, chlorophyll, and soluble protein were 4.66 mg/hg, 0.73 mg/g, and 0.35 mg/g, respectively. Therefore, the spinach should be pre-cooled in the field within 1 hour after harvesting, and then packaged with anti-fog film and transported at 4 ℃ using cold chain circulation to maintain the freshness and storage quality of spinach.

Keywords: spinach, delayed pre-cooling, quality, nutritional

收稿日期：2021-10-08

基金项目：北京市科技计划项目(Z191100008619004)。

* **通信作者**：刘 升(1960—)，男，正高级工程师，硕士研究生导师，主要从事果蔬冷链保鲜研究。E-mail：liusheng@nercv.org

菠菜（*Spinacia oleracea* L.）属藜科菠菜属，蛋白质、维生素 C、矿物质等营养物质含量丰富，有较高的营养价值[1]。菠菜叶片薄、表面积大、含水量高，采收后有剧烈的蒸腾和呼吸作用，极易出现叶片萎蔫、衰变，甚至腐烂等现象，造成食用价值和商品价值下降，不利于贮运保鲜[2]。预冷是果蔬采后运输、加工与贮藏过程必不可少的环节[3]。通过预冷能够快速除去采后果蔬的田间热，使果蔬的温度降低，抑制果蔬采后生理生化变化，减轻果蔬的质量损失，使得果蔬的保鲜期和货架期延长[4]。Cantwell 等研究发现，农产品由于特性和环境条件的不同，可以接受的延迟预冷时间也不同[5]。Robbins 等发现果蔬采后延迟预冷会造成果蔬品质下降[6]。Nunes 等研究延迟预冷对草莓理化品质的影响发现，30 ℃下延迟 6 h 后预冷的草莓相较于即时预冷的草莓，失重率增加，品质特征丧失更多[7]。王利斌等研究发现即时预冷比常温放置 6、12 h 后预冷的四季豆和豇豆具有更低的失重率、呼吸强度，以及更高的叶绿素和还原性糖含量[8]。Zhao 等研究延迟预冷对梨冷藏品质的影响发现，延迟预冷会降低梨的营养品质，时间越长，营养品质越低[9]。Bernalte 等研究了 22 ℃下分别延迟预冷 5、15、25 h 对甜樱桃流通后营养品质的影响，结果显示，延迟 15 h 处理的甜樱桃品质最好[10]。李倩倩等研究发现延迟预冷能够减轻“蜜脆”苹果冷害的发生[11]。史君彦等研究发现，20 ℃下使用保鲜袋能够有效抑制菠菜叶绿素和 VC 含量的下降，起到较好的贮藏保鲜效果[12]。钟育富等研究发现防雾膜包装可显著抑制菜心营养品质下降，延长商品寿命至 30 d；而无膜包装菜心在低温下失水萎蔫，仅 4 d 就失去了商品性[13]。作者以菠菜为原材料，研究不同延迟预冷时间和预冷后有无防雾膜包装的菠菜在冷链流通期间的品质变化，探究菠菜可接受的延迟预冷时间，和防雾膜包装对延迟预冷后的菠菜营养品质的作用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜菠菜于 2021 年 6 月 6 日采购后立即送至实验室，挑选长度均一，无损伤、黄化、腐烂的菠菜进行实验。

乙醇、丙酮、盐酸、四水合钼酸、考马斯亮蓝 G-250 等试剂（均为分析纯）：西陇化工股份有限公司产品；防雾膜：上海复命新材料科技有限公司产品。

1.2 仪器与设备

CYYL-36 压差预冷装备：日本樽崎产业株式会社产品；KOITO-PCLH 冷库：日本小糸公司产品；YDHI91610C 多点测温仪：北京昆仑通态自动化软件科技有限公司产品；WSZY-1B 温湿度记录仪：北京天建华仪科技发展有限公司产品；D-37520 台式高速冷冻离心机：德国 Thermo Fisher 公司产品；UV-1800 紫外可见光分光光度计：日本岛津公司产品；HW SY11-K 恒温水浴锅：北京市长风仪器仪表公司产品；LP76070J-Ex 电子分析天平：北京朗科兴业称重设备有限公司产品。

1.3 方法

菠菜分为 4 组，放置于大纸箱内分别延迟 0、1、5、9 h 后进行压差预冷，当菠菜中心温度下降到 4 ℃后停止预冷。将各组预冷后的菠菜分别进行防雾膜包装和无膜包装，放置于 4 ℃冷库模拟运输 2 d，4 ℃冷藏柜销售 2 d，4 ℃家庭冰箱保鲜 2 d，每 2 d 进行取样，用于测定各项指标。

1.4 测定项目与方法计算

1.4.1 菠菜延迟预冷过程中温度变化和预冷速率

采用多点测温仪测定菠菜延迟预冷过程中的温度变化和预冷曲线，每 5 min 记录数据，绘制曲线。

1.4.2 呼吸强度 根据 Chen 等的方法[14]进行测定。每组抽取 5 棵菠菜，放置于 10 L 玻璃密闭容器中，放置 30 min 后，用 GXH-3051 红外线分析器测定容器中的 CO_2 体积分数。

1.4.3 乙烯释放量 根据 Han 等的方法[15]进行测定。每组抽取 5 棵菠菜，放置于 5.2 L 的密闭容器 1 h 后用 Agilent 7820A 气相色谱仪测定。配备 FID 检测器，检测器温度 300 ℃，柱温 50 ℃，进样口温度 250 ℃，载气为 N_2，流量 4.5 mL/min，取样 1 mL，采用面积外标法计算。

1.4.4 感官评价 采用 9 分制，根据菠菜的颜色、叶边状态、老化、萎蔫、腐烂等指标进行评价，评价标准见表 1[16-17]。

1.4.5 失重率 采用 Massolo 等的方法[18]进行测定，每次测定重复 3 次，取平均值。

$$R_L=(m_0-m_1)/m_0\times100\%$$

式中：R_L 为失重率，%；m_0 为初始质量，g；m_1 为最终质量；g。

表 1　菠菜的感官评价标准

Table 1　Sensory evaluation criteria of spinach

分值	评价标准
1.0	大约有 30%以上的黄化、老化或萎蔫，叶片出现卷曲,甚至腐烂
3.0	大约有 10%~30%的黄化、老化或萎蔫,叶片出现卷曲
5.0	大约有 10%以内的黄化、老化或萎蔫,叶片出现卷曲
7.0	色泽略微变化,颜色较绿,叶片较平整,极少出现老化、萎蔫、腐烂
9.0	新鲜翠绿,色泽正常,叶片平整无老化、无萎蔫、无腐烂

1.4.6　叶绿素、维生素 C(VC)、可溶性蛋白质量分数和丙二醛(malondialdehyde,MDA)质量摩尔浓度

叶绿素质量分数采用丙酮法[19]测定,VC 质量分数采用钼酸铵比色法[20]测定,可溶性蛋白质量分数采用考马斯亮蓝法[21]测定,MDA 质量摩尔浓度采用硫代巴比妥酸法[22]测定。每次测定重复 3 次,取平均值。

1.5　数据分析

采用 Excel 2010 统计分析软件对基础数据进行整理,Origin 2018 作图,SPSS 25 软件进行分析(单因素方差分析、Tukey 法),$P<0.05$ 为显著差异。

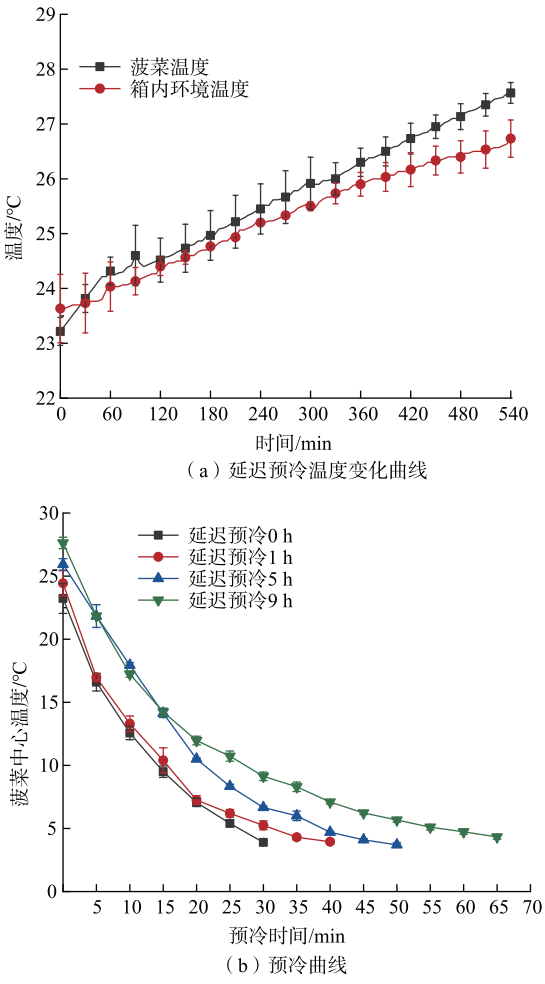
2　结果与分析

2.1　延迟预冷过程的温度和预冷曲线

由图 1 可知,箱内环境初始温度 23.6 ℃,菠菜初始温度为 23.2 ℃。延迟预冷过程中,菠菜由于田间热和呼吸热的堆积,温度一直上升,在 30 min 后菠菜温度超过箱内环境温度。菠菜延迟预冷 1、5、9 h 后,温度分别为 24.3、25.9、27.6 ℃。延迟预冷 1、5、9 h 的菠菜压差预冷至 4 ℃所需的预冷时间分别为 40、50、65 min,高于延迟预冷 0 h 的 30 min。说明延迟预冷会增高菠菜的预冷初温,增加预冷时间。

2.2　延迟预冷对呼吸强度和乙烯释放量的影响

呼吸代谢和乙烯的产生会促进果蔬采后衰老,温度越高果蔬的呼吸强度和乙烯释放量就越多。由表 2 可知,延迟预冷会导致菠菜呼吸强度和乙烯释放量增加,延迟预冷时间越长,呼吸作用越剧烈,乙烯释放量越多,这是由延迟预冷使菠菜的温度增加,新陈代谢旺盛引起的,与万森等的研究结果[23]一致。延迟预冷 1、5、9 h 后呼吸强度由 261.27 mg/(kg·h)分别升高至 264.55、266.37、269.10 mg/(kg·h);乙烯释放量由 0.834 μL/(kg·h) 升高至 0.935、0.957、1.058 μL/(kg·h),差异显著($P<0.05$)。而经压差预冷后菠菜的温度降低,呼吸强度和乙烯释放量都大幅下降,因此菠菜采收后应及时预冷。



(a) 延迟预冷温度变化曲线

(b) 预冷曲线

图 1　延迟预冷过程中菠菜温度变化和预冷曲线

Fig. 1　Temperature change and pre-cooling curve of spinach during delayed pre-cooling

表 2　延迟预冷对菠菜呼吸强度和乙烯释放量的影响

Table 2　Effect of delayed pre-cooling on respiration rate and ethylene release rate of spinach

延迟预冷阶段	呼吸强度/(mg/(kg·h))	乙烯释放量/(μL/(kg·h))
初值(0 h)	261.27	0.834
0 h 预冷后	79.57	0.215
延迟 1 h 后	264.55	0.935
延迟 1 h 预冷后	81.16	0.243
延迟 5 h 后	266.37	0.957
延迟 5 h 预冷后	82.31	0.254
延迟 9 h 后	269.10	1.058
延迟 9 h 预冷后	85.32	0.247

2.3 延迟预冷对感官评价和失重率的影响

感官评价是对菠菜色泽、新鲜度和腐败程度等外观品质最直接的评价[24]。由表 3 可知，菠菜感官评价随流通时间的延长而下降。延迟预冷时间越长，感官评价越差；有膜组感官评价高于无膜组。4 ℃冷链流通 6 d 后，延迟预冷 0 h 有膜组感官评价最高，为 7.2，显著高于其他组（P<0.05）；延迟预冷 9 h 有膜组感官评价为 6.0 高于延迟预冷 0 h 无膜组的 4.5。失重率呈上升趋势（见表 4），延迟时间越长，失重率越高，无膜组的失重率高于有膜组。在 4 ℃冷链流通 6 d 后，延迟预冷 0 h 有膜组失重率为 4.25%，显著低于其余组（P<0.05）；延迟预冷 9 h 有膜组失重率为 6.47%，低于延迟预冷 0 h 无膜组的 6.71%。呼吸作用是影响果蔬失重率的重要因素之一，延迟预冷会增加菠菜的呼吸强度，导致失重率的增加，使菠菜出现萎蔫，感官品质下降。而防雾膜包装能够有效抑制菠菜的失重率，维持菠菜的品质。因此即时预冷结合防雾膜包装可以减缓菠菜感官品质的下降和失重率的增加。

表 3 延迟预冷对菠菜感官评价的影响

Table 3 Effect of delayed pre-cooling on sensory evaluation of spinach

处理阶段	延迟预冷 0 h		延迟预冷 1 h		延迟预冷 5 h		延迟预冷 9 h	
	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜
预冷前	9.0	9.0	9.0	9.0	8.7	8.7	8.5	8.5
预冷后	9.0	9.0	9.0	9.0	8.7	8.7	8.4	8.4
运输 2 d	8.8	8.3	8.4	8.0	7.7	7.3	7.6	7.1
销售 2 d	8.0	6.9	7.1	6.5	7.0	5.3	6.6	4.8
家庭保鲜 2 d	7.2	4.5	6.6	4.0	6.4	3.1	6.0	2.5

表 4 延迟预冷对菠菜失重率的影响

Table 4 Effect of delayed pre-cooling on weight loss rate of spinach

单位：%

处理阶段	延迟预冷 0 h		延迟预冷 1 h		延迟预冷 5 h		延迟预冷 9 h	
	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜
预冷前	0	0	0.32	0.32	0.47	0.47	0.61	0.61
预冷后	1.57	1.57	1.65	1.65	1.91	1.91	2.10	2.10
运输 2 d	1.74	2.66	2.30	3.10	2.69	4.25	2.87	4.81
销售 2 d	3.59	4.72	4.03	5.16	4.55	7.31	5.11	7.21
家庭保鲜 2 d	4.25	6.71	4.65	7.65	6.01	9.88	6.47	10.36

2.4 延迟预冷对叶绿素和 VC 质量分数的影响

叶菜类蔬菜的黄化与叶绿素密切相关，叶绿素降解会导致蔬菜色泽变差，商品价值下降[25]。VC 能够反映菠菜抗逆能力，可以作为评判菠菜品质的指标之一[26]。由表 5 和表 6 可知，流通过程中，叶绿素和 VC 质量分数呈下降趋势；延迟预冷时间越长，叶绿素和 VC 质量分数下降越快，这与王利斌等研究延迟预冷对四季豆的结果[8]一致。有膜组叶绿素和 VC 质量分数高于无膜组。4 ℃冷链流通 6 d 后，延迟预冷 0 h 有膜组的菠菜叶绿素和 VC 质量分数分别为 0.73 mg/g 和 4.66 mg/hg，显著高于其他组（P<0.05），保留率分别为 90.12% 和 80.76%；延迟预冷 9 h 有膜组叶绿素和 VC 质量分数分别为 0.64 mg/g、3.84 mg/hg，与延迟预冷 0 h 无膜组的 0.65 mg/g、3.91 mg/hg 差异不显著。因此，即时预冷结合防雾膜包装可以抑制叶绿素的分解和 VC 的降解。

2.5 延迟预冷对可溶性蛋白质量分数和 MDA 质量摩尔浓度的影响

菠菜中的可溶性蛋白含量高低反映了代谢活动的强弱[27]，随着菠菜的衰变，其含量会快速下降。由表 7 可知，可溶性蛋白质量分数呈下降趋势，延迟预冷时间越长，可溶性蛋白质量分数越低，无膜组可溶性蛋白质量分数低于有膜组，差异显著（P<0.05）。4 ℃冷链流通 6 d 后，延迟预冷 0 h 有膜组的菠菜可溶性蛋白质量分数最高，为 0.35 mg/g，保留率为 74.47%；延迟预冷 9 h 有膜组可溶性蛋白质量分数为 0.29 mg/g，与延迟预冷 0 h 无膜组的0.31 mg/g 差异不显著。MDA 会产生氧化自由基，造成果蔬细

表 5　延迟预冷对菠菜叶绿素质量分数的影响

Table 5　Effect of delayed pre-cooling on the mass fraction of spinach chlorophyll　单位:mg/g

处理阶段	延迟预冷 0 h		延迟预冷 1 h		延迟预冷 5 h		延迟预冷 9 h	
	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜
预冷前	0.81	0.81	0.79	0.79	0.76	0.76	0.74	0.74
预冷后	0.80	0.80	0.78	0.78	0.75	0.75	0.71	0.71
运输 2 d	0.78	0.73	0.75	0.73	0.72	0.71	0.69	0.64
销售 2 d	0.75	0.70	0.72	0.67	0.69	0.61	0.67	0.59
家庭保鲜 2 d	0.73	0.65	0.69	0.59	0.67	0.55	0.64	0.51

表 6　延迟预冷对菠菜 VC 质量分数的影响

Table 6　Effect of delayed pre-cooling on the mass fraction of VC in spinach　单位:mg/hg

处理阶段	延迟预冷 0 h		延迟预冷 1 h		延迟预冷 5 h		延迟预冷 9 h	
	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜
预冷前	5.77	5.77	5.58	5.58	5.24	5.24	4.94	4.94
预冷后	5.76	5.76	5.47	5.47	5.12	5.12	4.87	4.86
运输 2 d	5.38	4.84	5.02	4.55	4.81	4.26	4.31	4.02
销售 2 d	4.87	4.39	4.66	4.17	4.39	4.04	3.97	3.56
家庭保鲜 2 d	4.66	3.91	4.39	3.71	4.20	3.60	3.84	3.45

胞膜损伤,因此可以作为评估菠菜品质的指标之一[28]。由表 8 可知,在流通过程中,MDA 质量摩尔浓度呈上升趋势，延迟时间越长,MDA 质量摩尔浓度越高,无膜组 MDA 质量摩尔浓度高于有膜组,差异显著(P<0.05)。4 ℃冷链流通 6 d 后,延迟预冷0 h 有膜组的菠菜 MDA 质量摩尔浓度最低,为 1.19 nmol/g;延迟预冷 9 h 有膜组 MDA 质量摩尔浓度为 1.75 nmol/g，与延迟预冷 0 h 无膜组的 1.64 nmol/g 差异不显著。即时预冷和防雾膜包装能够抑制采后菠菜的生理代谢,延缓菠菜的衰老。

表 7　延迟预冷对菠菜可溶性蛋白质量分数的影响

Table 7　Effect of delayed pre-cooling on the mass fraction of soluble protein in spinach　单位:mg/g

处理阶段	延迟预冷 0 h		延迟预冷 1 h		延迟预冷 5 h		延迟预冷 9 h	
	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜
预冷前	0.47	0.47	0.44	0.44	0.41	0.41	0.39	0.39
预冷后	0.44	0.44	0.43	0.43	0.40	0.40	0.36	0.36
运输 2 d	0.41	0.38	0.40	0.36	0.36	0.35	0.35	0.31
销售 2 d	0.39	0.33	0.36	0.30	0.35	0.28	0.32	0.24
家庭保鲜 2 d	0.35	0.31	0.33	0.28	0.32	0.26	0.29	0.22

表 8　延迟预冷对菠菜 MDA 质量摩尔浓度的影响

Table 8　Effect of delayed pre-cooling on MDA molality of spinach　单位:nmol/g

处理阶段	延迟预冷 0 h		延迟预冷 1 h		延迟预冷 5 h		延迟预冷 9 h	
	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜	有膜	无膜
预冷前	0.55	0.55	0.63	0.63	0.72	0.72	0.82	0.82
预冷后	0.45	0.45	0.63	0.63	0.74	0.74	0.84	0.84
运输 2 d	0.69	0.86	0.72	0.99	1.25	1.49	1.46	1.61
销售 2 d	0.86	1.11	0.97	1.27	1.37	1.65	1.54	2.00
家庭保鲜 2 d	1.19	1.64	1.43	1.89	1.58	2.09	1.75	2.27

3 结 语

在贮藏过程中,呼吸是果蔬采后品质下降的最主要原因[29]。菠菜采收后具有田间热和呼吸热,如果不即时预冷,将会影响菠菜的品质,在后续的贮藏过程中越加明显,本实验的结果与前人[30-31]的研究结果一致。研究表明,延迟预冷会增加菠菜的品温,使呼吸强度增高和乙烯释放量增大,增强菠菜的生理代谢作用。延迟时间越长,菠菜的感官评价和营养就越低,失重率和 MDA 质量摩尔浓度越高。4 ℃冷链流通 6 d 后,延迟预冷 0 h 有膜流通的菠菜感官评价最高,失重率最小,分别为 7.2、4.25%;VC、叶绿素、可溶性蛋白质量分数最高,分别为 4.66 mg/hg、0.73 mg/g、0.35 mg/g,保留率分别为 80.76%、90.12%、74.47%。

延迟预冷相同时间,有膜组的营养品质比无膜组高。4 ℃冷链流通 6 d 后,延迟预冷 9 h 有膜组与延迟预冷 0 h 无膜组营养品质差异不明显,说明防雾膜包装能够有效改善延迟预冷后菠菜的感官评价和营养品质,减缓菠菜的衰老。

在实际生产应用中,菠菜采收后一般不能立即预冷。对于像菠菜等易腐的叶菜类蔬菜,延迟预冷 0 h 是理想情况,实际生产中不可能实现,延迟 1 h 预冷更接近于实际生产,延迟预冷 1 h 有膜包装的菠菜 4 ℃冷链流通 6 d 后,感官评价,失重率,VC、叶绿素、可溶性蛋白质量分数分别为 6.6、4.65%、4.39 mg/hg、0.69 mg/g、0.33 mg/g,仅次于延迟预冷 0 h 有膜包装。因此菠菜采收后应在 1 h 内预冷,同时在冷链流通过程中使用防雾膜包装,减缓叶绿素、VC 等营养物质的损失,提高菠菜的商品价值。

参考文献:

[1] 冯国军,刘大军. 菠菜的营养价值与功能评价[J]. 北方园艺,2018(10):175-180.
[2] PUERTA-GOMEZ A F,KIM J,MOREIRA R G,et al. Quantitative assessment of the effectiveness of intervention steps to reduce the risk of contamination of ready-to-eat baby spinach with *Salmonella*[J]. **Food Control**,2013,31(2):410-418.
[3] 贺红霞,申江,朱宗升. 果蔬预冷技术研究现状与发展趋势[J]. 食品科技,2019,44(2):46-52.
[4] VENUGOPAL A P,VISWANATH A,GANAPATHY S. A review on importance of on-farm precooling in-handling of fruits and vegetables[J]. **Trends in Biosciences**,2017,10(3):968-970.
[5] CANTWELL M I,THANGAIAH A. Acceptable cooling delays for selected warm season vegetables and melons[J]. **International Symposium on Postharvest Technology in the Global Market**,2012,934:77-84.
[6] ROBBINS J,MOORE P P. Fruit quality of stored,fresh red raspberries after a delay in precooling[J]. **HortTechnology**,1992,2(4):468-470.
[7] NUNES M C N,BRECHT J K,SARGENT S A,et al. Effects of delays to cooling and wrapping on strawberry quality (cv. Sweet Charlie)[J]. **Food Control**, 1995,6(6):323-328.
[8] 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.
[9] ZHAO J,XIE X B,DAI W H,et al. Effects of precooling time and 1-MCP treatment on 'Bartlett' fruit quality during the cold storage[J]. **Scientia Horticulturae**,2018,240:387-396.
[10] BERNALTE M J,SABIO E,HERNÁNDEZ M T,et al. Influence of storage delay on quality of 'Van' sweet cherry[J]. **Postharvest Biology and Technology**,2003,28(2):303-312.
[11] 李倩倩,任小林,安慧珍,等. 1-MCP 和延迟预冷对'蜜脆'苹果冷藏效果的影响[J]. 果树学报,2012,29(3):398-403.
[12] 史君彦,徐冬颖,郑秋丽,等. 不同保鲜袋包装对菠菜采后保鲜效果的影响[J]. 食品研究与开发,2018,39(11):175-179.
[13] 钟育富,刘升,张琪,等. 不同处理方法对冷藏保鲜菜心营养及品质的影响[J]. 食品与发酵工业,2020,46(20):159-163.
[14] CHEN J R,HU Y F,WANG J M,et al. Combined effect of ozone treatment and modified atmosphere packaging on antioxidant defense system of fresh-cut green peppers[J]. **Journal of Food Processing and Preservation**,2016,40(5):1145-1150.
[15] HAN C,ZUO J H,WANG Q,et al. Effects of 1-MCP on postharvest physiology and quality of bitter melon(*Momordica charantia* L.)[J]. **Scientia Horticulturae**,2015,182:86-91.

[16] 朱军伟. 菠菜低温保鲜关键技术的研究[D]. 上海:上海海洋大学,2013.
[17] 袁树枝,郭静,史君彦,等. 高湿环境对菠菜采后贮藏品质的影响[J]. 保鲜与加工,2021,21(1):33-39.
[18] MASSOLO J F,CONCELLON A,CHAVES A R,et al. 1-Methylcyclo-propene (1-MCP) delays senescence,maintains quality and reduces browning of non-climacteric eggplant (*Solanum melongena* L.) fruit[J]. **Postharvest Biology and Technology**, 2011,59(1):10-15.
[19] SHI J Y,GAO L P,ZUO J H,et al. Exogenous sodium nitroprusside treatment of broccoli florets extends shelf life,enhances antioxidant enzyme activity,and inhibits chlorophyll-degradation[J]. **Postharvest Biology and Technology**,2016,116:98-104.
[20] 李军. 钼蓝比色法测定还原型维生素 C[J]. 食品科学,2000,21(8):42-45.
[21] 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,2007.
[22] WU Z C,LIU S,ZHAO J,et al. Comparative responses to silicon and selenium in relation to antioxidant enzyme system and the glutathione-ascorbate cycle in flowering Chinese cabbage(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* var. *utilis*) under cadmium stress [J]. **Environmental and Experimental Botany**,2017,133:1-11.
[23] 万森,李喜宏,薛婷,等. 温度对菠菜呼吸特性的影响[J]. 农业机械,2012(12):133-136.
[24] 王雪青,左进华,闫志成,等. 臭氧微纳米气泡处理对菠菜采后保鲜的影响[J]. 食品科学,2020,41(23):190-196.
[25] 杨晓棠,张昭其,庞学群. 果蔬采后叶绿素降解与品质变化的关系[J]. 果树学报,2005,22(6):691-696.
[26] WANG X L,CAI X F,XU C X,et al. Diversity of nitrate,oxalate,vitamin C and carotenoid contents in different spinach accessions and their correlation with various morphological traits[J]. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**,2018,93(4):409-415.
[27] 蔡梅艳,陶乐仁,张婷玉,等. 温湿度对菠菜可溶性蛋白质含量的影响[J]. 江苏农业科学,2013,41(9):250-252.
[28] 张桂霞,王英超,王瑞. 柿果软化过程中丙二醛含量变化的研究[J]. 天津农学院学报,2007(2):27-29.
[29] FONSECA S C,OLIVEIRA F,BRECHT J K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages:a review[J]. **Journal of Food Engineering**,2002,52(2):99-119.
[30] 杜传来,罗海波,戴云云,等. 预冷结合气调对荷兰豆冷藏期间品质的影响[J]. 食品工业科技,2016,37(10):342-346.
[31] BROSNAN T,SUN D W. Precooling techniques and applications for horticultural products :a review[J]. **International Journal of Refrigeration**,2001,24(2):154-170.