

农产品贮藏加工

菠菜采后保鲜包装技术研究进展

慕钰文, 冯毓琴, 魏丽娟, 李翠红

(甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所, 兰州 730070)

摘要: **目的** 通过介绍国内外针对菠菜的贮藏保鲜包装技术, 以及其对菠菜采后生理生化、营养成分、硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响, 为菠菜贮藏保鲜及有害物质的控制提供理论参考。**方法** 分析目前主要用于菠菜贮藏保鲜包装的方法, 包括低温、气调、1-MCP处理、辐照、二氧化氯和臭氧等, 同时针对菠菜在贮藏过程中容易积累硝酸盐和亚硝酸盐的问题, 综述不同贮藏方式对菠菜贮藏过程中硝酸盐和亚硝酸盐的影响及调控。**结论** 各种传统贮藏保鲜技术仍存在一定缺陷, 尤其是质量安全问题; 同时要结合基础研究, 明确贮藏方式与菠菜衰老、有害物质的形成机制等的关系, 以期为菠菜贮藏保鲜和质量安全研究提供新的研究方向和思路。

关键词: 菠菜; 贮藏保鲜技术; 硝酸盐; 亚硝酸盐

中图分类号: TS255.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)09-0001-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.09.001

Research Progress on Postharvest Preservation and Packaging Technologies for Spinach (*Spinacia Oleracea* L.)

MU Yu-wen, FENG Yu-qin, WEI Li-juan, LI Cui-hong

(Agricultural Product Storage and Processing Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences,
Lanzhou 730070, China)

ABSTRACT: The work aims to summarize the storage and preservation packaging technologies for spinach at home and abroad and analyze the effects of the technologies on postharvest physiology and biochemistry, nutrient, nitrate and nitrite content of spinach, to provide theoretical reference for spinach storage and preservation and control of harmful substances. The methods used for the storage and preservation of spinach were analyzed, including low temperature, air conditioning, 1-MCP, irradiation, chlorine dioxide and ozone, and the influence and regulation of different storage methods on nitrates and nitrites in spinach were summarized for the problem of nitrate and nitrite accumulation during storage. There are still some defects in various traditional storage and preservation techniques, especially for the quality safety problems. Moreover, the relationship between the storage method and spinach decay and the formation of harmful substances should be made clear in combination with basic research, so as to provide new research direction and ideas for the study of spinach storage preservation and quality safety.

KEY WORDS: spinach; storage and preservation technology; nitrate; nitrite

收稿日期: 2019-10-23

基金项目: 甘肃省农业科学院中青年基金(2017GAAS89); 甘肃省引导科技创新发展专项资金(2019GAAS03); 甘肃省瓜菜产业技术体系(GARS-GC-6); 甘肃省农业科学院科技支撑计划(2017GAAS42)

作者简介: 慕钰文(1987—), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为农产品保鲜加工。

通信作者: 冯毓琴(1968—), 女, 博士, 研究员, 主要研究方向为农产品保鲜加工。

菠菜 (*Spinacia oleracea* L.) 属藜科菠菜属, 富含维生素 C、叶酸和矿物质等营养物质, 作为叶类蔬菜的一种, 菠菜深受人们的欢迎^[1-2]。由于菠菜的叶表面积大、组织脆嫩、含水量高, 通常容易造成采后水分蒸发加快, 易受到机械损伤, 产生大量呼吸热等, 从而引起菠菜黄化、脱帮和腐烂现象的发生, 导致贮运困难^[3]。

菠菜作为一种富氮和喜硝作物, 是人体摄入硝酸盐的主要来源之一^[4]。过量摄入的硝酸盐容易转化为亚硝酸盐, 而亚硝酸盐对人体危害极大, 随饮食进入人体可转化为亚硝胺等有害物质, 导致人体患高铁血红蛋白血症及消化系统癌症的风险增加^[5-7]。通常亚硝酸盐在新鲜蔬菜中含量较低, 但是大多数蔬菜从采收到食用前都会经历一系列贮运过程 (前处理、贮藏、商品化处理、运输和销售等环节), 这些过程对蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐会产生不同程度的影响, 尤其对叶菜的影响最大^[8-9]。

菠菜作为叶菜研究的代表性蔬菜, 明确菠菜的贮藏保鲜包装技术及其对贮藏过程中菠菜的生理生化、营养成分、硝酸盐和亚硝酸盐积累的影响, 将为有效延长菠菜的货架期、保证品质与质量安全、促进菠菜产业发展产生重要意义。文中重点对低温、气调、1-MCP、辐照、二氧化氯和臭氧等贮藏保鲜包装技术在菠菜贮藏保鲜方面的应用研究进行综述, 同时, 探讨不同保鲜方式对菠菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响及调控, 为蔬菜安全贮藏保鲜提供更加准确的依据, 为改进采后处理方式和工艺提供参考。

1 菠菜的主要贮藏方法

由于果蔬在采收后依然进行着活跃的新陈代谢, 需要消耗自身的营养物质, 导致其营养价值和商品价值降低, 因此保持或减少果蔬贮藏过程中的营养损失是各种贮藏保鲜方法追求的目标。目前, 针对菠菜常见的保鲜方法主要有以下几种。

1.1 低温贮藏

叶菜采收后于常温条件下贮藏时, 会有明显的呼吸高峰出现, 使叶菜提前进入衰老阶段。研究表明, 在一定的温度范围内, 温度每上升 10 °C 将导致衰败速率加快 2~3 倍, 从而加速叶菜的品质劣变、细胞衰老和腐烂^[10]。低温贮藏能够有效抑制叶菜的呼吸强度和微生物的生长, 延缓可溶性糖、维生素 C、叶绿素、蛋白质等营养成分的损耗, 减缓膜脂过氧化及其他与衰老相关的过程, 从而有效减少腐烂, 延长贮藏期^[11-12]。目前, 随着冷链物流技术的发展, 叶菜从田间采收、贮藏和销售至市场的各阶段均保持在低温条件下, 从而有效地保持叶菜的品质。

将菠菜分别贮藏于 2 °C 和 9 °C 时发现, 低温条件可更加有效地延缓过氧化氢酶、抗坏血酸过氧化物酶和谷胱甘肽还原酶活性的降低, 抑制叶绿素降解, 阻止丙二醛含量的上升, 从而延长菠菜的贮藏期^[13]。真空预冷结合低温贮藏对菠菜保鲜具有良好的效果, 能够有效抑制菠菜贮藏过程中叶绿素含量的降低, 保持较好的感官品质^[14]。

1.2 气调贮藏

气调贮藏通过改变贮藏环境中气体成分的比例, 有效地控制果蔬的呼吸作用, 同时抑制病原微生物的活动, 从而有效地保持果蔬的色泽和营养物质^[15]。一般研究认为, 果蔬在较低的 O₂ 浓度和较高的 CO₂ 浓度条件下贮藏时, 呼吸强度和新陈代谢减弱, 乙烯产生减缓, 从而达到延长果蔬贮藏品质和贮藏时间的目的。

研究表明, 贮藏环境中的空气成分特别是 CO₂、O₂ 和乙烯的浓度对叶菜的保鲜效果影响显著。为了在常温下保持菠菜品质, 延长其货架期, 筛选出了适宜于菠菜贮藏的气调条件, 即混合气体 (体积分数) 比例为 O₂(10%)+CO₂(10%)+N₂(80%) 时, 菠菜在常温下可贮藏 8 d, 保鲜效果良好^[16]。

1.3 1-MCP 保鲜

1-甲基环丙烯(1-MCP)作为一种高效的乙烯受体抑制剂, 已被广泛应用于果蔬、花卉的保鲜中。1-MCP 通过与乙烯紧密结合, 并与其受体竞争, 阻断乙烯反馈调节的生物合成, 可以显著抑制果蔬的呼吸作用, 尤其对呼吸跃变型果实有着明显的作用。目前, 1-MCP 保鲜技术已在叶菜保鲜中得到应用, 1-MCP 处理可以有效延长小白菜、菠菜、芹菜和青花菜等叶菜的货架期, 延缓黄化, 保持色泽和营养品质^[17]。为了更大地发挥 1-MCP 的保鲜作用, 与其他保鲜技术的联合应用已经展开, 1-MCP 结合保鲜剂、冷藏、气调贮藏等在水果中的研究较多, 但是在蔬菜 (尤其是叶菜) 保鲜中的研究较少, 缺乏更多的理论支撑^[18]。

利用不同浓度的 1-MCP 对离体菠菜叶片进行处理, 发现 1-MCP 处理可以有效提高菠菜叶片中叶绿素含量和光系统 II 最高光量子产量, 能够延缓叶片衰老。同时, 经 1-MCP 处理后, 菠菜的乙烯含量呈现先增加后降低的趋势, 叶片中维生素 C 和谷胱甘肽的含量维持在较高水平, 可有效延长菠菜的保鲜期^[19]。通过低强度光脉冲与 1-MCP 结合处理菠菜, 菠菜的抗氧化能力得到显著提升, 采后生理品质得到明显改善^[20]。

1.4 辐照保鲜

辐照保鲜主要利用 X 射线、γ 射线和电子束等对果蔬进行照射, 达到抑制或破坏果蔬上微生物的代谢

和生长的目的,从而延长贮藏期^[21—23]。辐射保鲜具有操作简单、适合规模化生产等特点。目前,辐照技术主要用于鲜切果蔬的研究。

辐照处理(0.25~1.5 kGy)可以显著提高菠菜的生物活性成分,增强抗氧化含量和活性^[24]。通过 UV-A 光照处理鲜切菠菜,使货架期延长至 10 d,减少了微生物数量,降低了水分和可溶性固形物含量,鲜切菠菜的抗氧化能力得到显著提升,延缓了菠菜的衰老进程^[25]。

1.5 臭氧保鲜

臭氧具有强氧化性、广泛的抗菌作用,可以抑制叶菜表面微生物的生长,去除其表面杀虫剂等农药残留,而且臭氧本身会迅速分解,无残留物,能够有效保持果蔬的品质,延长贮藏期^[26—27]。

利用体积分数为 10% 的臭氧对菠菜进行处理发现,臭氧处理对菠菜的感官品质有显著提升,能够有效减缓叶绿素和抗坏血酸含量的降低,提高过氧化物酶、过氧化氢酶及抗坏血酸过氧化物酶活性,使菠菜的货架期得到延长,达到较好的保鲜效果^[28]。有些研究指出,不同浓度臭氧处理会不同程度破坏叶菜中维生素 C 等还原性成分,这可能是由于叶菜表面保护层较薄,臭氧进入叶内会导致还原性成分被氧化^[29]。

1.6 二氧化氯保鲜

ClO₂ 处理可有效抑制叶菜微生物病害的发生,提高抗衰老能力,具有良好的保鲜效果。菠菜经过质量浓度为 75 mg/L ClO₂ 处理后,蔬菜表面霉菌和细菌的杀菌率分别达到 80.85% 和 98.85%,保鲜期可达 12 d^[30]。同时,ClO₂ 处理能够较好地保持鲜切菠菜的丙二醛含量、叶绿素含量和颜色饱和度等^[31]。经 ClO₂ 处理后,可以有效减缓发生机械损伤的菠菜中可溶性固形物和叶绿素含量的降低,而 ClO₂ 处理会降低菠菜贮藏过程中维生素 C 的含量,但差异不显著^[32]。

1.7 减压贮藏保鲜

以冷藏和气调贮藏为基础发展起来的减压贮藏技术,通过抽取贮藏环境中一定量的气体,并保持恒定的低压,创造低氧条件,以降低叶菜的呼吸强度,并抑制乙烯的合成,同时推迟营养物质等的消耗,从而延长果蔬的货架期。通过分装式低温等离子体减压保鲜技术对菠菜进行贮藏,在 O₂ 体积分数为 1%~2%,CO₂ 体积分数为 2%~3%,相对湿度为 90%~95%,等离子体发射量为 5 g,贮藏温度为 -1~0℃ 的贮藏条件下,菠菜贮藏期可达 4 个月,货架期为 7~10 d^[33]。该技术针对叶菜贮藏多限于实验室研究阶段,目前还未商业化应用。

2 菠菜包装技术

菠菜采后会受到环境(气体、湿度、温度)微生物和机械损伤等因素的影响,容易发生腐烂、失水、品质下降等现象,因此为了确保菠菜在贮藏流通过程中能够保持较好的品质,在贮藏流通过程中除了采用不同的贮藏保鲜方法外,也需要对菠菜进行合理的保鲜包装。目前,常见的菠菜保鲜包装方式有保鲜袋、功能性保鲜膜、打孔膜包装、气调包装等。

红色纳米二氧化钛改性低密度聚乙烯保鲜袋包装的菠菜与普通 PE 保鲜袋相比,在贮藏过程中能够更好地保持菠菜的感官品质,有效地抑制菠菜中水分的损失,减缓丙二醛含量上升的速度和细胞膜的受损程度。同时,对维持菠菜中营养物质(如叶绿素和抗坏血酸)含量的稳定作用明显,保鲜效果良好^[34]。聚己内酯薄膜对菠菜包装也有着较好的效果,通过聚己内酯薄膜包装可以改善菠菜贮藏过程中的气体环境,对延缓菠菜采后水分散失、叶绿素降解和丙二醛含量的积累作用显著^[35]。采用冷藏与气调包装相结合的方式,使菠菜在贮藏过程中的叶绿素分解减缓,从而提升了其感官品质^[36—37]。通过筛选适宜的打孔膜包装参数可以有效延长菠菜的货架期,提升其感官品质,减缓其营养物质的流失。同时通过打孔膜与保鲜剂相结合的方式,对菠菜的保鲜包装也取得了较好的效果^[38]。

3 贮藏方式对菠菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量的影响

虽然果蔬在采后脱离了原来的生长环境,但仍然进行着呼吸作用,通过适宜的贮藏保鲜方式可以有效减缓果蔬中营养物质的损失。同时,贮藏过程也可能导致一些有害物质的产生和积累,其中硝酸盐和亚硝酸盐的积累已成为世界各国普遍关注的重要问题。我国大部分地区蔬菜的硝酸盐和亚硝酸盐污染不容乐观,尤其以叶类菜最为严重,远高于豆类、菌菇类和瓜果类^[39—40]。

新鲜蔬菜在贮藏过程中,硝酸盐和亚硝酸盐含量的变化严重依赖于温度,在环境温度下比在冷藏条件下更有可能发生改变。Chung 等^[41]发现菠菜、茼蒿、茼菜和不结球白菜在贮藏温度为(22±1)℃时,硝酸盐含量在贮藏至第 3 天时显著降低,而亚硝酸盐含量在贮藏至第 4 天时显著升高;在贮藏温度为(5±1)℃时,硝酸盐和亚硝酸盐含量保持不变。李红等^[42]发现蔬菜在常温、冷藏和冷冻等 3 种条件下贮藏时均会有“亚硝峰”出现,其中叶类亚硝酸盐含量变化最为显著,尤其在贮藏温度较高时亚硝酸盐含量的上升尤为突出。

低温结合其他贮藏方式对菠菜贮藏过程中硝酸

盐和亚硝酸盐含量的影响亦有较多的研究。李岩等^[43]研究结果发现,低温密闭气体环境能够有效降低菠菜中硝酸盐和亚硝酸盐的积累。马超等^[44]发现自发气调包装结合低温贮藏蔬菜的硝酸盐与亚硝酸盐含量随贮藏时间的延长呈波状起伏趋势,且在包装结合低温贮藏时蔬菜中硝酸盐和亚硝酸盐含量达到最低。慕钰文等^[32]研究发现,采用 ClO_2 结合低温处理可以有效减缓菠菜贮藏过程中硝酸盐和亚硝酸盐的生成。采用电解氧化水处理新鲜菠菜时发现,菠菜在贮藏过程中的亚硝酸盐含量得到显著降低,比对照组低 30%~40%,而贮藏过程中硝酸盐含量的变化不明显,采用电解氧化水处理后新鲜菠菜中的亚硝酸盐含量降低,这可能是由硝酸盐还原酶的失活和微生物数量的减少引起^[45]。

4 结语

叶菜受其组织结构和生理特性等的影响,容易腐烂,导致其采后品质下降迅速,贮藏期较短。目前,国内外关于叶菜(尤其是菠菜、芹菜、香菜)的采后生理和贮藏保鲜技术的研究已有很多,其贮藏保鲜的各种难题也已基本得到解决。随着人们生活水平的日益提高,食品品质和质量安全问题已受到广泛关注,因此,寻求天然、安全、有效的保鲜包装方法将成为以后的发展方向,特别是尚处于发展阶段的超高压、辐照、臭氧等新兴贮藏保鲜技术与传统贮藏保鲜技术的配合应用,将对提升蔬菜贮藏保鲜效果起到重要作用。

良好的贮藏保鲜方法可以有效地保存果蔬中的营养物质,但是关于菠菜采后生理(如呼吸类型、衰老机制及贮藏过程中有害物质的产生机理等)方面的研究鲜有报道。随着系统生物学技术的不断进步和成熟,组学技术已开始应用于果蔬采后和贮藏保鲜问题的研究上,通过这些新兴学科间的交叉领域,将新技术和传统采后生理研究的方法有机结合起来,为果蔬采后生物学基础研究提供了有力工具。目前,国内外学者已采用转录组、蛋白质组、代谢组等多组学相结合的方法,在果蔬病虫害防治、果实品质分析和采后生理等方面做了相关研究。通过多组学联合可以更加全面和深入地了解分子调控网路,从而成为系统研究分析蔬菜采后老化、有害物质形成机制最直接、最有效的方法,为贮藏保鲜技术在叶菜上的应用奠定理论基础。

参考文献:

[1] KOH E, CHAROENPRASERT S, MITCHELL A E. Effect of Organic and Conventional Cropping Systems on Ascorbic Acid, Vitamin C, Flavonoids, Nitrate, and

Oxalate in 27 Varieties of Spinach (*Spinacia oleracea* L)[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2012, 60(12): 3144—3150.

[2] FAVELL D J. A Comparison of the Vitamin C Content of Fresh and Frozen Vegetables[J]. Food Chemistry, 1998, 62(1): 59—64.

[3] 王文生, 杨少桢. 果品蔬菜保鲜包装应用技术[M]. 北京: 印刷工业出版社, 2008: 234.

WANG Wen-sheng, YANG Shao-hui. Packaging Technology to Maintain Freshness in Fruits and Vegetables[M]. Beijing: Printing Industry Press, 2008: 234.

[4] PENNINGTON J A T. Dietary Exposure Models for Nitrates and Nitrites[J]. Food Control, 1998, 9(6): 385—395.

[5] ANJANA S U, IQBAL M. Nitrate Accumulation in Plants, Factors Affecting the Process, and Human Health Implications. A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2007, 27(1): 45—57.

[6] LUNDBERG J O, WEITZBERG E, GLADWIN M T. The Nitrate-nitrite-nitric Oxide Pathway in Physiology and Therapeutics[J]. Nature Reviews Drug Discovery, 2008, 7(2): 156—167.

[7] SONG P, WU L, GUAN W. Dietary Nitrates, Nitrites, and Nitrosamines Intake and the Risk of Gastric Cancer: a Meta-analysis[J]. Nutrients, 2015, 7(12): 9872—9895.

[8] MANUELA C, ÂNGELA B, MFÂTIMA B, et al. Contribution of Different Vegetable Types to Exogenous Nitrate and Nitrite Exposure[J]. Food Chemistry, 2010, 120(4): 960—966.

[9] BAHADORAN Z, MIRMIRAN P, JEDDI S, et al. Nitrate and Nitrite Content of Vegetables, Fruits, Grains, Legumes, Dairy Products, Meats and Processed Meats[J]. Journal of Food Composition & Analysis, 2016, 51: 93—105.

[10] 朱东兴, 曾峰丽, 郁达, 等. 叶菜采后生理与贮藏保鲜研究及应用[J]. 保鲜与加工, 2006(1): 3—6.

ZHU Dong-xing, CAO Feng-li, YU Da, et al. Research and Application of Postharvest Physiology and Storage of Leafy Vegetables[J]. Storage & Process, 2006(1): 3—6.

[11] KRAMCHOTE S, SRILAONG V, WONGSAREE C, et al. Low Temperature Storage Maintains Postharvest Quality of Cabbage (*Brassica Oleracea* var *Capitata* L) in Supply Chain[J]. International Food Research Journal, 2012, 19(2): 759—763.

[12] LI D, CHENG Y, DONG Y, et al. Effects of Low Temperature Conditioning on Fruit Quality and Peel Browning Spot in 'Huangguan' Pears during Cold Storage[J]. Postharvest Biology & Technology, 2017, 131:68—73.

[13] 田莹, 侯建设, 李丹. 不同冷藏温度对采后菠菜叶片衰老和活性氧代谢的影响[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(1): 9—14.

TIAN Ying, HOU Jian-she, LI Dan. Effects of Differ-

- ent Storage Temperatures on Postharvest Spinach Leaves Senescence and Active Oxygen Metabolism[J]. Storage & Process, 2013, 13(1): 9—14.
- [14] 谢晶, 刘敏. 真空预冷和贮藏温度对菠菜品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2010, 26(5): 1060—1063.
- XIE Jing, LIU Min. Effect of Vacuum Precooling and Storage Temperature on Quality of Spinach[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2010, 26(5): 1060—1063.
- [15] 李建黎, 韩涛, 李丽萍. 我国园艺产品气调保鲜产业的现状及发展对策[J]. 北方园艺, 2007(4): 65—66.
- LI Jian-li, HAN Tao, LI Li-ping. The Present Situation and Development Countermeasure of the Horticultural Product air-conditioned Preservation Industry in China[J]. Northern Horticulture, 2007(4): 65—66.
- [16] 韩春阳, 王建清, 孙炳新, 等. 菠菜常温气调包装研究[J]. 包装工程, 2012, 33(17): 49—52.
- HAN Chun-yang, WANG Jian-qing, SUN Bing-xin, et al. Study on Modified Atmosphere Packaging of Fresh Spinach at Room Temperature[J]. Packaging Engineering, 2012, 33(17): 49—52.
- [17] WATKINS C B. The Use of 1-Methylcyclopropene (1-MCP) on Fruits and Vegetables[J]. Biotechnology Advances, 2006, 24(4): 389—409.
- [18] 孙炳新, 孙海娟, 冯叙桥. 1-MCP 与其他技术联用对果蔬采后贮藏保鲜的研究进展[J]. 食品工业科技, 2014, 35(16): 385—390.
- SUN Bing-xin, SUN Hai-juan, FENG Xu-qiao. Research Advances on 1-MCP Combined with other Preservative Technologies on Storage Quality of Fruits and Vegetables[J]. Science & Technology of Food Industry, 2014, 35(16): 385—390.
- [19] GROZEFF G G, MARÍA E M, FACUNDO G, et al. 1-Methyl Cyclopropene Extends Postharvest Life of Spinach Leaves[J]. Postharvest Biology & Technology, 2010, 55(3): 182—185.
- [20] GERGOFF G, GUSTAVO E., CHAVES, et al. Low Irradiance Pulses Improve Postharvest Quality of Spinach Leaves (*Spinacia oleraceae* L cv *Bison*)[J]. Postharvest Biology & Technology, 77: 35—42.
- [21] 邹伟民, 郑世火, 操君喜, 等. 核辐照菜心保鲜效果的研究[J]. 核农学通报, 1994, 15(3): 130—132.
- ZOU Wei-min, ZHENG Shi-huo, CAO Jun-xi, et al. Effects of Nuclear Irradiated on the Storage and Preservation of Chinese Cabbage[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 1994, 15(3): 130—132.
- [22] NIEMIRA B A. Irradiation Compared with Chlorination for Elimination of *Escherichia coli* O157:H7 Internalized in Lettuce Leaves: Influence of Lettuce Variety[J]. Journal of Food Science, 2008, 73(5): 208—213.
- [23] HAN J, GOMESFEITOSA C L, CASTELLPEREZ E, et al. Quality of Packaged Romaine Lettuce Hearts Exposed to Low-dose Electron Beam Irradiation[J]. LWT-food Science and Technology, 2004, 37(7): 705—715.
- [24] HUSSAIN P R, SURADKAR P, JAVAID S, et al. Influence of Postharvest Gamma Irradiation Treatment on the Content of Bioactive Compounds and Antioxidant Activity of Fenugreek (*Trigonella Foeniculum-graceum* L) and Spinach (*Spinacia Oleracea* L) Leaves[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2015: S1466856415002477.
- [25] 郁杰, 张雨宸, 谢晶. 低强度 UV-A 光循环辐照对 4 °C 下鲜切菠菜品质及抗氧化能力的影响[J/OL]. 食品与发酵工业: 1—13. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021379>.
- YU Jie, ZHANG Yu-chen, XIE Jing. The Effect of Cyclic Irradiation of Low Intensity UV-A on Quality and Antioxidant Capacity of Fresh-cut Spinach at 4 °C [J/OL]. Food and Fermentation Industries: 1—13. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021379>.
- [26] KARACA H, WALSE S S, SMILANICK J L. Effect of Continuous 0.3 $\mu\text{L/L}$ Gaseous Ozone Exposure on Fungicide Residues on Table Grape Berries[J]. Postharvest Biology & Technology, 2012, 64(1): 154—159.
- [27] OLMEZ H, AKBAS M Y. Optimization of Ozone Treatment of Flesh-cut Green Leaf Lettuce[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 90(4): 487—494.
- [28] 徐冬颖, 史君彦, 郑秋丽, 等. 臭氧处理对菠菜采后保鲜效果的影响[J]. 北方园艺, 2018(12): 125—130.
- XU Dong-ying, SHI Jun-yan, ZHENG Qiu-li, et al. Effect of Ozone on Postharvest Storage Quality of Spinach [J]. Northern Horticulture, 2018(12): 125—130.
- [29] ZHANG L, LU Z, YU Z, et al. Preservation of Fresh-cut Celery by Treatment of Ozonated Water[J]. Food Control, 2005, 16(3): 1—283.
- [30] 潘燕. ClO_2 在菠菜贮藏保鲜安全质量控制中的应用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2006: 46.
- PAN Yan. Application of Chlorine Dioxide in Controlling Freshness and Safety of Spinach During Storage[D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2006: 46.
- [31] HODGES D M, FORNEY C F, WISMER W. Processing Line Effects on Storage Attributes of Fresh-cut Spinach Leaves [J]. Hortscience A Publication of the American Society for Horticultural Science, 2000, 35(7): 1308—1311.
- [32] 慕钰文, 李翠红, 冯毓琴, 等. 机械损伤及二氧化氯对菠菜硝酸盐和贮藏品质的影响[J]. 包装与食品机械, 2019, 37(1): 7—21.
- MU Yu-wen, LI Cui-hong, FENG Yu-qin, et al. Effects of Mechanical Damage and Aqueous Chlorine Dioxide on Nitrate and Storage Quality of Spinach[J]. Packaging and Food Machinery, 2019, 37(1): 17—21.
- [33] 王传增, 董飞, 张雪丹, 等. 果蔬减压保鲜贮藏研究进展[J]. 农学报, 2016, 6(3): 68—71.
- WANG Chuan-zeng, DONG Fei, ZHANG Xue-dan, et al. Research Progress on Fruit and Vegetable Decompression Storage[J]. Chinese Countryside Well-off Technology, 2016, 6(3): 68—71.

- [34] 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.
SHI Jun-yan, XU Dong-ying, ZHENG Qiu-li, et al. Effect of Different Preservative Bags on Postharvest Storage Quality of Spinach[J]. Food Research and Development, 2018, 39(11): 175—179.
- [35] 成培芳, 董同力嘎, 春艳, 等. 聚己内酯自发气调包装薄膜对菠菜贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(2): 133—137.
CHENG Pei-fang, DONG Tungalag, CHUN Yan, et al. Effect of Poly (ϵ -Caprolactone) Modified Atmosphere Packaging Film on Postharvest Quality of Spinach[J]. Food and Machinery, 2018, 34(2): 133—137.
- [36] 张乙博, 刘建新, 周婧, 等. 不同气调包装对菠菜冷藏保鲜效果的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(7): 276—279.
ZHANG Yi-bo, LIU Jian-xin, ZHOU Jing, et al. The Impact of Different Modified Atmosphere Packaging Used in Spinach on Preservation Effect in Refrigerated Condition[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(7): 276—279.
- [37] 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: 44.
ZHU Jun-wei. Research on Key Technologies of Low Temperature Preservation of Spinach[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013: 44.
- [38] 王静. 打孔膜包装对叶菜品质的影响[D]. 西安: 西安理工大学, 2017: 37.
WANG Jing. Effects of Perforated Film Packaging on Quality of Fresh Leafy Vegetable[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2017: 37.
- [39] 都韶婷, 金崇伟, 章永松. 蔬菜硝酸盐积累现状及其调控措施研究进展[J]. 中国农业科学, 2010, 43(17): 3580—3589.
DU Shao-ting, JIN Chong-wei, ZHANG Yong-song. Current Situations and Research Progress of Nitrate Pollution in Vegetables and their Regulating Strategies[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(17): 3580—3589.
- [40] KIM S J, ISHII G. Effect of Storage Temperature and Duration on Glucosinolate, Total Vitamin C and Nitrate Contents in Rocket salad (*Eruca sativa* Mill)[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2007, 87(6): 966—973.
- [41] CHUNG J C, CHOU S S, HWANG D F. Changes in Nitrate and Nitrite Content of Four Vegetables during Storage at Refrigerated and Ambient Temperatures[J]. Food Additives & Contaminants, 2004, 21(4): 317—322.
- [42] 李红, 任乃林. 不同储存方式对蔬菜中亚硝酸盐含量变化的影响[J]. 现代食品科技, 2011, 27(5): 499—501.
LI Hong, REN Nai-lin. Change of Nitrite Contents in Vegetables Influenced by Various Storage Methods[J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(5): 499—501.
- [43] 李岩, 冯毓琴. 密闭气体环境对夏菠菜硝酸盐、亚硝酸盐及贮藏品质的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(9): 324—328.
LI Yan, FENG Yu-qin. Effect of Sealed Gas Environment on the Nitrate, Nitrite and Storage Quality of Summer Spinach[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(9): 324—328.
- [44] 马超, 彭莉, 王天文. 气调包装蔬菜贮藏中硝酸盐与亚硝酸盐变化分析[J]. 北方园艺, 2015(7): 119—123.
MA Chao, PENG Li, WANG Tian-wen. Analysis on the Contents of Nitrate and Nitrite of MA Packed Vegetable During Storage[J]. Northern Horticulture, 2015(7): 119—123.
- [45] HAO J, LI H, WAN Y, et al. Effect of Electrolyzed Oxidizing Water Treatment on the Reduction of Nitrite Levels in Fresh Spinach during Storage[J]. Journal of Food Protection, 2015, 78(3): 549—553.