

青花椒保鲜技术研究现状

Research status of *Zmthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc preservation technology

刘慧娟^{1,2} 蔡思进² 谢 姣^{1,2}

LIU Hui-juan^{1,2} CAI Si-jin² XIE Jiao^{1,2}

(1. 贵州医科大学环境污染与疾病监控教育部重点实验室, 贵州 贵阳 550025;

2. 贵州医科大学公共卫生与健康学院, 贵州 贵阳 550025)

(1. *The Key Laboratory of Environmental Pollution Monitoring and Disease Control, Ministry of Education, Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550025, China*; 2. *School of Public Health, Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550025, China*)

摘要:综述了贮藏过程中与鲜青花椒品质劣变相关的主要成分(如叶绿素、挥发油及麻味物质酰胺类物质)的变化,并对青花椒活体保鲜技术(如高温蒸汽瞬时处理、气调冷藏及化学试剂处理)进行了分析,指出后续可对多种保鲜方法相结合的综合保鲜技术进行研究。

关键词:青花椒;品质劣变;活体保鲜技术

Abstract: This paper reviewed the changes of main components such as chlorophyll, volatile oil, numbness substances and amide substances related to the quality deterioration of *Zmthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc during storage. The fresh-keeping technologies of *Zmthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc, such as high-temperature steam instantaneous treatment, air-conditioned refrigeration and chemical reagent treatment, were analyzed, and it was pointed out that the comprehensive fresh-keeping technology combining various fresh-keeping methods could be studied in the future.

Keywords: *Zmthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc; quality deterioration; fresh-keeping technologies

中国花椒种植面积居于世界首位,其品种多达45种,其中种植面积和产量最大的均在西南地区^[1-3]。青花椒(*Zanthoxylum Schmjfolium* Sieb. et Zucc),因纯正浓烈的麻味、清香四溢的气味、青绿色的成熟后果皮等特点广

为闻名。新鲜青花椒晾干后即可直接食用,这也是其最为传统和普遍的食用方法,但由于晾干过程存在着果实风味变化如麻味不均、果皮色泽变暗等缺陷^[4],极不利于青花椒产业的长期发展。

采后果蔬仍是有生命的活体。青花椒采后先经历花椒果实的后熟作用然后进入衰老阶段,氧气、温度、水分、酶及光照等均是导致贮藏过程中青花椒鲜果发生质变的因素^[5-8],质变的后果包括但不限于色泽的黑变或褐变^[9-13],还有麻味的损失。青花椒所含麻味物质主要是不饱和脂肪酸酰胺化合物,而这类化合物的氧化是其麻味物质损失的关键因素^[14]。同时青花椒油胞破裂除了加深褐变程度及麻味物质损失外,还会引起挥发油即青花椒香味品质的全面下降^[15-16]。相关报道^[8]指出,对于青花椒而言,果实的衰老与其褐变的发生相关联,与采摘后随着贮藏时间的延长其褐变程度不断加深相比,褐变现象并不会出现在采摘前;被真空包装处理的青花椒其褐变现象明显减弱,且多酚氧化酶(PPO)活性与其采后贮藏过程中的褐变度之间呈较为显著的相关性。因此,研究拟从青花椒品质相关的主要成分和保鲜技术两个方面,综述青花椒保鲜技术的研究进展,以期为高品质鲜青花椒的研究以及延长其货架期提供依据。

1 贮藏过程中与鲜青花椒品质劣变相关的主要成分的变化

1.1 叶绿素

具有鲜绿色泽的鲜青花椒不仅能够菜肴制作中发挥调味作用,更能提高人们对菜肴的食欲,故而对鲜青花椒关键品质指标——鲜绿色泽的保持变得极为重要。鲜青花椒呈色色素为叶绿素,而叶绿素的降解和脱镁叶绿

基金项目:贵州省科技计划项目(编号:黔科合基础 ZK[2022]一般 365,黔科合基础 ZK[2022]一般 391);黔南州科技局社会发展项目(编号:黔南科合[2018]25号)

作者简介:刘慧娟,女,贵州医科大学讲师,博士。

通信作者:谢姣(1985—),女,贵州医科大学副教授,博士。

E-mail: lxj4516@126.com

收稿日期:2022-05-28 **改回日期:**2022-09-20

素的产生可能是导致青花椒色泽指标发生劣变的原因^[17]。陈科伟等^[18]研究表明,干燥对青花椒叶绿素的影响主要包括:①快速干燥(50℃)能在短时间内抑制叶绿素降解相关的酶活性,有效地对青花椒进行了护色;②油胞破损的青花椒在干燥过程中则很快出现变色,即使采用快速干燥其干青花椒颜色也会变为黑褐色,究其原因可能是破损油胞在一定程度上影响了脱镁叶绿素 a 氧化酶降解途径中脱镁叶绿素 a 之后的降解反应,使呈黑褐色的脱镁叶绿素 a 和焦脱镁叶绿素 a 在青花椒中累积。综上,保鲜青花椒在贮藏过程中因非酶褐变而引起的色泽劣变主要与青花椒油胞破裂后引起的叶绿素降解有关。

1.2 挥发油

对于青花椒而言,其香气的关键来源是挥发油,亦可称为精油,它们是具有较小分子量、特定气味、能够随着水蒸汽蒸出的一类挥发性油状液体物质,属植物源次生代谢物。程志敏等^[19]研究了重庆、贵州、四川、云南 4 个产地的青花椒果皮中提取的青花椒精油,发现芳樟醇(18.86%~22.00%)、柠檬烯(9.56%~14.84%)、 β -月桂烯(5.79%~12.70%)、桉烯(5.49%~8.93%)和 β -蒎烯(3.33%~6.41%)含量均普遍较高。赵驰等^[20]研究表明,青花椒挥发油中主要成分为芳樟醇、D-柠檬烯、伪柠檬烯、4-松油烯醇、 β -月桂烯等,其含量分别占总峰面积的 30.69%,14.55%,9.08%,3.95%,3.88%。说明鲜青花椒挥发油中含量较高的成分主要为萜烯类和醇类。此外,张国琳^[21]研究发现,4℃下冷藏的保鲜青花椒中挥发油的成分为烯、醇、酮类等,其中主要化学成分为芳樟醇、D-柠檬烯和 β -水芹烯,其相对含量分别为 47.59%,21.79%,14.99%,共占总含量的 84.37%。张艺^[16]研究表明,油胞是否破损是影响青花椒香味品质的关键所在,对于青花椒而言,与油胞完整相比,油胞破损的青花椒在贮藏过程中挥发油受损严重。综上,青花椒在冷藏后含量相对较高的挥发油组分仍然为萜烯类和醇类,但其相对含量的排序发生了变化,如冷藏后挥发油组分相对含量排名第 3 的为 β -水芹烯,而鲜青花椒则为伪柠檬烯;此外,青花椒表面的油胞破损,会在其贮藏过程中引起香气成分即挥发性成分(挥发油)的变化。

1.3 酰胺类物质

麻味属于花椒重要的风味特征,同时也是评价其品质的重要指标^[22]。对于麻味而言,酰胺类物质是青花椒的主要呈味成分,主要存在于青花椒果皮中^[23]。青花椒来源的酰胺类物质主要为链状不饱和脂肪酸酰胺化合物,以山椒素类(主要为 α -山椒素、 β -山椒素和 γ -山椒素)为代表,具有强烈的刺激性^[16,24]。有关青花椒麻味物质的差异报道^[22]表明,不同产地和品种的青花椒之间麻味物质呈明显差异。此外,青花椒麻味物质在贮藏过程中也极易被氧化进而造成麻味物质的损失^[14],分析其原因

可能是麻味物质结构中存在对氧气较为敏感的共轭三烯结构^[25]。与破碎青花椒相比,整粒青花椒在贮藏过程中其麻味物质含量显著增加,贮藏过程中真空包装青花椒中的麻味物质也较非真空包装的显著增加^[26]。Yang 等^[27]分析了羟基- α -山椒素室温条件下在乙醇溶液中的降解情况以及紫外条件的施加对其降解情况的影响,发现 70%的羟基- α -山椒素室温条件下可在 24 h 内消失,而紫外暴露可使其在 4 h 内全部消失。以上结果提示青花椒麻味物质即酰胺类物质在贮藏过程中容易发生氧化等反应,继而其麻味受到较大程度的影响。

2 青花椒活体保鲜技术

2.1 高温蒸汽瞬时处理

青花椒因其独特的生理生化与形态结构特征而适用于热处理方法达到其保鲜效果,如热处理不仅可有效抑制青花椒的酶促褐变、杀死青花椒表面存在的微生物而起到杀菌效果,还可抑制其香气和麻味的损失^[8]。曾剑超等^[28]研究指出,护绿及烫漂等相关处理能够明显减缓青花椒的色泽劣变,一般情况下,处理后的青花椒可于常温条件下 8~10 d 不变色,而 4℃低温贮藏更是能够显著延长其不变色时间,一般可达 1 个月。然而热水烫漂因时间过长容易引起花椒表面的油胞在此过程中发生破裂而使挥发油及麻味物质损失,而高温蒸汽短时处理青花椒则在很大程度上减少了以上物质的损失。姚佳^[8]发现,高温蒸汽瞬时处理可显著降低过氧化物酶(POD)活性,而载料量、蒸汽压力及处理时间是影响青花椒高温蒸汽瞬时处理后挥发油含量的显著性因素,最佳的热处理条件为载料量 2 720.00 g/m²、蒸汽压力 0.35 MPa、处理时间 13.00 s,此条件下挥发油含量为 0.39 mL/20 g(为预测值的 95.24%)。综上,高温蒸汽瞬时处理可有效抑制青花椒中的 POD 酶活性及其相关营养物质如挥发油等的损失。

2.2 气调冷藏

气调冷藏包括气调和冷藏两种效果,能够同时借助环境气体介质成分和低温两种条件来达到对包括呼吸作用在内的果蔬生理活动进行抑制的效果。目前,气调包装由于具有可减少贮藏损失(呼吸作用的减弱、蒸腾作用的减缓以及营养成分的损耗关键在于对 O₂ 和 CO₂ 浓度的调节)、延长货架期等优点而被应用于果蔬贮藏保鲜等方面^[24,29]。对于采摘后的花椒而言,呼吸作用是对其生命活动进行描述的一个关键指标,而无氧呼吸由于会产生乙醛、乙醇及乳酸等物质会毒害花椒生理组织容易使花椒品质发生劣变(如腐烂现象的发生、异味的产生等),故而能否采取有力的措施将花椒贮藏环境中的氧气控制在合理水平以同时达到抑制有氧呼吸和无氧呼吸的目的是决定保鲜效果的关键所在^[29]。蒋云华^[29]研究发现,韩

城大红袍花椒中小环境的最优气调保鲜组合为经 NaCl 溶液(质量分数为 1.0%)浸泡 30 min, 晾干 10 min, 4 °C 下, 5% O₂、8% CO₂ 和 87% N₂ 的气调比例下, 其保鲜效果最佳。李一卓^[24] 研究指出, 青花椒气调冷藏的最佳工艺为臭氧消毒 30 min, 随后以 1% 壳聚糖涂膜, 且气调包装中的最适气体比例为 5% O₂、15% CO₂ 和 80% N₂, 该条件不仅能较好地延缓青花椒的色泽劣变, 还能够有效地降低其腐烂率和失重率, 使货架期长达 1 个月。

此外, 减压贮藏也是一种常见的气调冷藏方法, 其原理相对特殊, 首先, 将果蔬提前放置在密闭容器或库内, 随后空气被真空泵部分抽除以达到将容器或库内气压维持在一定水平的目的, 与此同时借助压力调节器将相对湿度为 80%~100% 的新鲜空气输送至容器或库内以保证气体的不断交换、环境湿度的相对恒定以及压力的动态平衡^[8,30]。由此看来, 即使是这种特殊的低压条件下的气调冷藏方法, 同样需要借助降低环境氧含量来达到降低或抑制果蔬呼吸作用的目的, 以此来降低如乙烯、乙醇等有害气体在果蔬贮藏过程中的累积, 进而达到延长货架期的目的^[8]。曾建超等^[28] 研究发现, 青花椒最优的护绿处理方案和真空包装条件为先以 0.2% 柠檬酸、0.3% 抗坏血酸溶液浸泡 45 min 随后于 90 °C 烫染 1 min, 再加以 25 s 的真空处理, 200 °C 热封处理 3 s, 处理后的样品能够保证常温条件下 8~10 d 不变色, 而 4 °C 低温贮藏的施加可以进一步延长货架期, 使其保持 1 个月不变色。宋莹莹^[26] 研究表明, 铝箔材料因具有较好的隔水、隔氧、遮光功能, 故利用铝箔袋密封及真空包装青花椒后, 能更好地防止其麻味物质等成分发生氧化和分解等反应(相对于仅铝箔袋密封的青花椒而言), 较大程度地延缓青花椒的品质变化, 有利于鲜青花椒的长期贮藏。综上, 气调保鲜应用于青花椒活体保鲜方面, 不仅可延缓其品质劣变如降低青花椒腐烂率、失重率及延缓色泽的变化, 还可延长其货架期。

2.3 化学保鲜

青花椒含麻味物质即不饱和脂肪酸酰胺化合物, 这类物质极易被氧化, 对青花椒的风味损失较大且外观颜色也受其影响^[14,22], 故通常使用抗氧化剂处理防止其酸败变质、减缓色素在贮藏期的褐变程度。此外, 青花椒的保鲜研究中除了以常用的麻味物质、挥发油等成分作为指标外, 颜色也是衡量青花椒保鲜质量的一种关键的感官指标^[31]。目前, 化学试剂主要作为护绿剂(如醋酸锌等)、抗氧化剂(如抗坏血酸)等应用于青花椒活体保鲜方面^[8,24], 如姚佳^[8] 研究表明, 以 0.70% 柠檬酸、0.80% 抗坏血酸、0.05% 醋酸锌对青花椒进行 60 min 的浸泡, 不仅能够达到最佳的护色目的, 还能够延长青花椒的货架期。李一卓^[24] 研究表明, 采用 400 mg/L 的醋酸锌溶液护绿, 20 mL 质量浓度为 5 g/L 的抗坏血酸溶

液灌注并真空包装, 100 °C 杀菌 8 min, 可较好地钝化相关酶的活性达到护绿效果, 并能使青花椒在室温下的货架期延长至 2 个月。综上, 研究护绿剂、抗氧化剂等化学试剂的组合方案有利于青花椒保鲜最佳工艺条件的开发。

3 结论与展望

针对鲜青花椒贮藏过程中的品质劣变的变化, 利用高温蒸汽瞬时进行青花椒的杀菌及钝化酶的活性处理、气调冷藏技术调控氧气的含量抑制无氧呼吸带来的损害以及化学试剂(如护绿剂、抗氧化剂延缓因氧气)等因素均对青花椒具有较好的活体保鲜效果。但以上单一的保鲜技术也不可避免地有各自的缺陷, 且不同的保鲜方法都有各自更适用的范围, 这些都在一定程度上影响了其对青花椒的保鲜效果。目前, 存在于市面上的青花椒多为传统方法制备的干制品, 虽然也有经真空包装的低温冻藏的鲜青花椒, 但成本较高、能耗较大, 既不利于长时贮运, 也未被消费者广为接受。因此, 采用多种保鲜方法相结合的综合保鲜技术(如高温蒸汽瞬时处理鲜青花椒后进行化学试剂中护绿及抗氧化处理, 再结合气调冷藏等)将是有效提升青花椒在保鲜过程中的品质, 优化保鲜工艺的有效方法。

参考文献

- [1] 熊汝琴, 王维飞, 王锐, 等. 昭通产青花椒麻味素含量测定[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(14): 192-194.
XIONG R Q, WANG W F, WANG R, et al. Determination of the Content of Numb-taste Components in Zhaotong Zanthoxylum schinifolium Sieb. et Zucc [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(14): 192-194.
- [2] 王纪辉, 陈应福, 侯娜, 等. 源自不同产地青花椒主要特征品质分析[J]. 食品工业, 2018, 39(8): 322-325.
WANG J H, CHEN Y F, HOU N, et al. Analysis of main characteristics of Zanthoxylum schinifolium Sieb. et Zucc from different areas[J]. The Food Industry, 2018, 39(8): 322-325.
- [3] 任得元, 董育公, 张聪珍, 等. 室温贮藏时间对花椒品质特征的影响研究[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(4): 51-55.
REN D Y, DONG Y G, ZHANG C Z, et al. Effect of storage at normal temperature on the quality of Zanthoxylum bungeanum [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(4): 51-55.
- [4] 郭君雅, 田呈瑞. 花椒开发利用的现状 & 前景分析[J]. 食品研究与开发, 2008, 29(8): 167-170.
GUO J Y, TIAN C R. The present exploitation and foreground analysis of Zanthoxylum [J]. Food Research and Development, 2008, 29(8): 167-170.
- [5] 贾利蓉, 赵志峰, 雷绍荣, 等. 汉源青花椒挥发油的成分分析[J]. 食品与机械, 2008, 24(3): 105-108.
JIA L R, ZHAO Z F, LEI S R, et al. Analysis of chemical

- components of volatile oil from Hanyuan *Zanthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc[J]. *Food & Machinery*, 2008, 24(3): 105-108.
- [6] 杨兵, 梅小飞, 阚建全. 热泵干制对青花椒色差和品质的影响及工艺优化[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(12): 140-145.
YANG B, MEI X F, KAN J Q. Effects of heat pump drying on chromatism and quality of *Zanthoxylum L.* and process optimization[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2019, 45(12): 140-145.
- [7] 杨凌, 谈涛, 孙华富, 等. 微波烫漂对青花椒酶活性与品质的影响[J]. *四川林业科技*, 2019, 40(2): 53-57.
YANG L, TAN T, SUN H F, et al. The effect of microwave blanching on enzyme activity and quality of *Zanthoxylum schinifolium* [J]. *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2019, 40(2): 53-57.
- [8] 姚佳. 青花椒贮藏技术研究及褐变机理初探[D]. 雅安: 四川农业大学, 2011: 4, 15-21, 41.
YAO J. Study on the storage technology and exploring on the enzymatic browning mechanism of *Zanthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc[D]. Yaan: Sichuan Agricultural University, 2011: 4, 15-21, 41.
- [9] 陈江琳, 沈旭, 孙美. 干花椒保鲜研究进展[J]. *中国食品*, 2019(5): 127.
CHEN J L, SHEN X, SUN M. Research progress in preservation of dried *Zanthoxylum bungeanum*[J]. *China Food*, 2019(5): 127.
- [10] 边甜甜, 司昕蕾, 曹瑞, 等. 花椒麻味物质提取、分离、纯化及生理活性研究进展[J]. *中国中医药信息杂志*, 2017(12): 133-136.
BIAN T T, SI X L, CAO R, et al. Research progress in extraction, separation, purification and biological activities of *Sanshoolin Zanthoxylif Pericarpium* [J]. *Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine*, 2017(12): 133-136.
- [11] 朱建朝, 周娅琼, 马君义, 等. RP-HPLC法测定陇南9个品种花椒麻味物质的含量[J]. *食品工业科技*, 2019(11): 260-264.
ZHU J C, ZHOU Y Q, MA J Y, et al. Determination of the contents of numb-taste components in 9 kinds of longnan pepper by RP-HPLC[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019(11): 260-264.
- [12] CHENG M J, YANG C H, LIN W Y, et al. Chemical Constituents from the Leaves of *Zanthoxylum Schinifolium*[J]. *Journal of the Chinese Chemical Society*, 2013, 49(1): 125-128.
- [13] TSAI I L, LIN W Y, TENG C M, et al. Coumarins and antiplatelet constituents from the root bark of *Zanthoxylum schinifolium* [J]. *Planta Medica*, 2000, 66(7): 618-623.
- [14] JUN D Y, KIM J S, PARK H S, et al. Apoptogenic activity of auraptene of *Zanthoxylum schinifolium* toward human acute leukemia Jurkat T cells is associated with ER stress-mediated caspase-8 activation that stimulates mitochondria-dependent or -independent caspase cascade[J]. *Carcinogenesis*, 2007, 6: 1 303-1 313.
- [15] 孙丙寅, 康克功, 李利平, 等. 青花椒与红花椒主要营养成分的比较研究[J]. *陕西农业科学*, 2006(3): 29-30.
SUN B Y, KANG K G, LI L P, et al. A comparative study on the main nutritional components of *Zanthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc and *Z. bungeanum* Maxim [J]. *Shaanxi Journal of Agricultural Sciences*, 2006(3): 29-30.
- [16] 张艺. 青花椒干燥和贮藏时色泽变化与其特征成分的关系研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014: 11, 39-41.
ZHANG Y. Study on the relationship between color change and characteristic components during dry and storage in green Prickleyash[D]. Chongqing: Southwest University, 2014: 11, 39-41.
- [17] 张爱科. 青花椒的色素及其色泽劣变的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2009: 39-44.
ZHANG A K. Studies on the pigment and its colour of deterioration of *Zanthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc [D]. Chongqing: Southwest University, 2009: 39-44.
- [18] 陈科伟. 青花椒干燥时叶绿素的酶降解机理及其护色技术的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2012: 7-8.
CHEN K W. Study on enzymatic degradation of chlorophyll in Green Prickleyash and its protective coloration during drying process[D]. Chongqing: Southwest University, 2012: 7-8.
- [19] 程志敏, 陈彦荣, 王建辉, 等. 青花椒精油对致龋菌的体外抑菌活性[J]. *食品科学*, 2022, 43(21): 70-77.
CHENG Z M, CHEN Y R, WANG J H, et al. Antibacterial activity of *Zanthoxylum schinifolium* essential oils against cariogenic bacteria *in vitro*[J]. *Food Science*, 2022, 43(21): 70-77.
- [20] 赵驰, 董玲, 张凤菊, 等. 青花椒精油抑制蜡样芽孢杆菌的活性与机理[J]. *食品科学*, 2022, 43(17): 64-73.
ZHAO C, DONG L, ZHANG F J, et al. The activity and mechanism of *Zanthoxylum schinifolium* essential oils against *Bacillus cereus*[J]. *Food Science*, 2022, 43(17): 64-73.
- [21] 张国琳. 基于风味成分的花椒品质评价研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2014: 67.
ZHANG G L. Quality evaluation of *Zanthoxylum bungeanum* based on the flavor components[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2014: 67.
- [22] 杨瑞丽. 不同处理和贮藏条件对花椒及其制品麻味物质稳定性影响的研究[D]. 邯郸: 河北工程大学, 2018: 5.
YANG R L. The study on the stability of numb-taste of *Zanthoxylum* and its product in different treatments and storage conditions[D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2018: 5.
- [23] 魏钰钰. 花椒麻味物质对2型糖尿病大鼠蛋白质代谢影响的机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021: 8-17.
WEI X Y. Mechanism study on the effect of *Zanthoxylum* alkylamides on protein metabolism in type 2 diabetic rats [D]. Chongqing: Southwest University, 2021: 8-17.
- [24] 李一卓. 鲜青花椒保鲜及其农残降解技术的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011: 2-15, 25-46.
LI Y Z. Studies on the preservation technology of fresh *Zanthoxylum schinifolium* Sieb. et Zucc and degradation technology of pesticides on *Z. S.* Sieb. et Zucc[D]. Chongqing:

Southwest University, 2011: 2-15, 25-46.

[25] BRYANT B P, MEZINE I. Alkylamides that produce tingling paresthesia activate tactile and thermal trigeminal neurons[J]. Brain Research, 1999, 842(2): 452-460.

[26] 宋莹莹. 花椒贮藏过程中麻味物质含量降低机理的初步研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014: 28-38.

SONG Y Y. The preliminary studies on the mechanism of decrease in the content of numb taste components in *Z. Schinifolium* L.[D]. Chongqing: Southwest University, 2014: 28-38.

[27] YANG X G. Aroma constituents and alkylamides of red and green huajiao (*Zanthoxylum bungeanum* and *Zanthoxylum schinifolium*)[J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2008, 56(5): 1 689-1 696.

[28] 曾剑超, 马力. 青花椒保鲜技术的研究[J]. 西华大学学报(自然科学版), 2007, 26(2): 51-53, 56.

ZENG J C, MA L. Study on preservation technology of *Zanthoxylum Schinifolium* Sieb. et Zucc[J]. Journal of Xihua University (Natural Science Edition), 2007, 26(2): 51-53, 56.

[29] 蒋云华. 大红袍花椒小环境气调保鲜技术研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2013: 19-21, 52.

JIANG Y H. Study on the preservation quality of Dahongpao pepper treated in modified atmosphere packaging conical flasks [D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2013: 19-21, 52.

[30] 常燕平. 减压贮藏新技术的研究与发展前景[J]. 粮油加工与食品机械, 2002(2): 8-9.

CHANG Y P. Research and development prospects of new technologies for decompression storage [J]. Cereals and Oils Processing (Electronic Version), 2002(2): 8-9.

[31] 刘锁兰, 高从元. 青花椒化学成分的研究[J]. 药科学报, 1991, 26(11): 836-840.

LIU S L, GAO C Y. Study on the chemical constituents of *Zanthoxylum Schinifolium* Sieb. et Zucc[J]. Acta Pharmaceutica Sinica, 1991, 26(11): 836-840.

(上接第 36 页)

[21] XIE M Y, HAO X T, JIANG X, et al. Ultrasound-assisted dual-cloud point extraction with high-performance liquid chromatography-hydrate generation atomic fluorescence spectrometry for mercury speciation analysis in environmental water and soil samples[J]. Journal of Separation Science, 2021, 44(12): 2 457-2 464.

[22] 余益军, 孙兆海, 鲜放鸣, 等. 浊点萃取在环境有机分析中的影响因素及应用[J]. 理化检验: 化学分册, 2008, 44(7): 696-700.

YU Y J, SUN Z H, XIAN F M, et al. Recent progress on the application of cloud point extraction to the analysis of environmental organic pollutants[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis, 2008, 44(7): 696-700.

[23] 张弛, 宋莹, 潘家荣, 等. 气相色谱-质谱大体积进样法测定果汁中 90 种农药残留[J]. 分析化学, 2015, 43(8): 1 154-1 161.

ZHANG C, SONG Y, PAN J R, et al. Determination of 90 pesticide residues in fruit juices using QuEChERS cleanup and programmable temperature vaporizer-based large volume injection by gas chromatography-mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Analytical Chemistry, 2015, 43(8): 1 154-1 161.

(上接第 60 页)

[42] WU T, ZHAO J, DING M, et al. Preparation of selected spice microparticles and their potential application as nitrite scavenging agents in cured *Tilapia* muscle[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2020, 55(9): 3 153-3 161.

[43] FRAQUEZA M J, LARANJO M, ALVES S, et al. Dry-cured meat products according to the smoking regime: Process optimization to control polycyclic aromatic hydrocarbons [J]. Foods, 2020, 9(1): 91.

[44] ZHONG A, CHEN W, DUAN Y, et al. The potential correlation between microbial communities and flavors in traditional fermented sour meat[J]. LWT, 2021, 149: 111873.

[45] 刘乃梁. 公共危机的社会共治: 制度逻辑与法治进路[J]. 江西财经大学学报, 2020(6): 114-124.

LIU N L. Social co-governance in public crisis: System logic and legal path [J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2020(6): 114-124.

(上接第 80 页)

[23] CHEN K, CHEN D X, SUN X S, et al. Container ocean-transportation system design with the factors of demand fluctuation and choice inertia of shippers [J]. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016, 95: 267-281.

[24] 卢燕, 罗青华, 魏克新. PLC 实现的模糊 PID 控制器及在高炉布料系统中的应用[J]. 天津理工大学学报, 2008(2): 73-75.

LU Y, LUO Q H, WEI K X. The fuzzy PID controller realized by PLC and its application in blast furnace distribution system[J]. Journal of Tianjin University of Technology, 2008(2): 73-75.

[25] 丰会萍, 胡亚南, 闫琛钰, 等. 基于 TIA Portal 的多功能茶叶包装机控制系统设计[J]. 食品与机械, 2017, 33(7): 85-88.

FENG H P, HU Y N, YAN C Y, et al. Design of control system for multifunctional tea packaging machine based on TIA Portal[J]. Food & Machinery, 2017, 33(7): 85-88.

[26] RAJKUMAR K, THEJASWINI K, YUVASHRI P. Automation of sustainable industrial machine using PLC[J]. Journal of Physics Conference Series, 2021, 1 979(1): 012049.