

γ -辐照对椪柑果实保鲜效果的影响

Effects of γ -irradiation on the preservation of Ponkan fruit

罗梦¹ 赵博^{2,3} 陈浩³ 黄敏³

LUO Meng¹ ZHAO Bo^{2,3} CHEN Hao³ HUANG Min³

(1. 延安大学西安创新学院土木工程学院, 陕西 西安 710100; 2. 西南科技大学生命科学与工程学院, 四川 绵阳 621010; 3. 辐照保藏四川省重点实验室, 四川 成都 610101)

(1. College of Civil Engineering, Xi'an Innovation College of Yan'an University, Xi'an, Shaanxi 710100, China; 2. School of Life Science and Engineering, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China; 3. Irradiation Preservation Technology Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu, Sichuan 610101, China)

摘要:以椪柑果实为试材,采用剂量分别为0.25, 0.50, 0.75, 1.00 kGy的 γ -射线进行辐照处理,研究不同强度的 γ -辐照对椪柑果实采后生理生化以及贮藏品质的影响。研究结果显示,用适宜强度的 γ -射线辐照椪柑果实,可以有效降低贮藏过程中椪柑果实的失重率,抑制呼吸强度和丙二醛(MDA)含量的升高,延缓可溶性固形物、可滴定酸和抗坏血酸含量的下降,维持椪柑果实细胞内过氧化物酶(POD)的活性,其中剂量为0.50 kGy的 γ -辐照效果最好。

关键词: γ -辐照; 椪柑; 保鲜; 生理指标

Abstract: Ponkan fruit were used as test materials, which were treated with different doses (0.25, 0.50, 0.75, 1.00 kGy) of γ -irradiation to study the irradiation intensity on the postharvest physiology and biochemistry of the fruit. The results showed that suitable irradiation treatment effectively reduced weight loss ratio of Ponkan fruit, inhibited the respiration intensity and the increase of the malondialdehyde (MDA) content, delayed the decline of soluble solid, titratable acid and Vc content, maintained the activities of peroxidase (POD) in fruits. The best result was obtained when irradiation dose was 0.5 kGy.

Keywords: γ -irradiation; Ponkan fruit; preservation; physiological indicator

中国柑橘资源丰富,以鲜销为主,但柑橘果实成熟期

集中,销售是个难题。目前中国柑橘贮藏保鲜运输技术较落后,不良环境条件引起的生理性病害、病理性病害、机械损伤及三者之间的协同因素,导致每年都有大量果实腐烂。特别是柑橘类果实在采后容易遭受青霉病和绿霉病的侵染^[1-2]。目前,生产上主要采用化学杀菌剂^[3]结合低温^[4]来减少柑橘果实的采后病害并延长其贮藏时间,达到保鲜的目的。但长期使用化学杀菌剂会使病原菌产生抗药性,同时残留的药剂有害健康且污染环境。近年来,辐照作为一种先进的技术被广泛应用于食品保鲜中^[5-6],特别在食品的进出口检疫以及防止食品中食源性致病微生物污染方面,拥有巨大的应用潜力^[7]。世界卫生组织认定,10 kGy以内的辐照对食品是安全的^[8]。目前应用最为广泛的是 γ -射线,它具有极强的穿透力,能量大且均匀,几乎不产生热效应,样品的原有特征可以最大限度地保留,辐照剂量可以调节,对微生物的致死效果极其显著^[9]。如用 γ -射线处理番茄,可以抑制其呼吸作用,限制乙烯的产生、杀死病原微生物,并通过影响蛋白质及生物分子的结构引起相关酶活性发生变化^[10],从而起到贮藏保鲜的作用。

虽然 γ -射线辐照已经被证明对多种果蔬具有保鲜作用^[8],但是在柑橘类水果保鲜上的应用报道很少。本课题组前期发现,柑橘类水果对 γ -辐照比较敏感,过大的剂量容易造成果实伤害。常见的用于食品杀菌和各类果蔬保鲜的辐照剂量在1 kGy以上^[8-10],而1 kGy以上的 γ -辐照会对柑橘类果实造成不同程度的伤害,导致果实表面产生斑点而腐烂。因此,将 γ -辐照应用于柑橘类果实保鲜,精确的剂量控制是关键。本研究拟以四川地区的主产水果——椪柑为试材,通过测定不同剂量 γ -辐照处理后的椪柑果实生理指标的变化,筛选出最适宜椪柑

基金项目:四川省科技计划应用基础项目(编号:2018JY0531); 辐照保藏四川省重点实验室开放基金(编号:FZBC2017002)

作者简介:罗梦,女,延安大学西安创新学院讲师,硕士。

通信作者:赵博(1979—),男,西南科技大学讲师,博士。

E-mail: bozhao@swust.edu.cn

收稿日期:2019-01-04

果实贮藏保鲜的辐照剂量, 以期为桧柑果实探寻一条安全、高效、环保的保鲜途径。

1 材料和方法

1.1 试验材料

桧柑: 采自西南科技大学附近的一管理良好的果园, 用两剪法采摘, 采摘顺序为先下后上、由外向内, 挑选果形均匀、无病虫害、成熟度一致的桧柑果实;

2,6-二氯酚靛酚溶液、30% 过氧化氢溶液、邻苯二甲酸氢钾、抗坏血酸: 分析纯, 国药集团化学试剂成都有限公司;

愈创木酚、硫代巴比妥酸、聚乙烯吡咯烷酮(PVP)、聚乙二醇 6000(PEG 6000)、聚乙二醇单辛基苯基醚(TritonX-100): 分析纯, 阿拉丁试剂(上海)有限公司。

1.2 试验设备

电子天平: BSA224S 型, 赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

红外线 CO₂ 分析仪: GXH-3010H 型, 北京华云分析仪器有限公司;

紫外分光光度计: EU-2600A 型, 上海昂拉仪器有限公司;

高速冷冻离心机: 5810R 型, 德国 Eppendorf 公司。

1.3 试验方法

将桧柑果实常温下晾晒 2 d, 剔除伤果和病果, 均匀地分为 5 组, 其中一组为空白对照。然后运至中国工程物理研究院核物理与化学研究所辐照中心进行 γ -射线辐照处理, 在前期试验的基础上 4 个处理组的果实分别用剂量为 0.25、0.50、0.75、1.00 kGy 的 γ -射线辐照。辐照结束后立即运回实验室放置于阴凉处贮藏, 整个试验期间室内温度在 5~12 °C, 每隔 5 d 对桧柑果实进行生理指标的测定。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 失重率 从每组样品中选取大小外形相似的 5 个果实, 标记编号。用电子天平称重。每隔 5 d 取样测定 1 次。

1.4.2 可溶性固形物含量 采用手持式折光仪测定。

1.4.3 可滴定酸含量 采用酸碱中和原理^{[11]28-30}进行测定。

1.4.4 抗坏血酸含量 采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法^{[11]34-41}。

1.4.5 呼吸强度 采用红外线 CO₂ 分析仪测定^[12]。

1.4.6 丙二醛含量 参照曹建康等^{[11]154-156}的方法。

1.4.7 过氧化物酶活性 参照曹建康等^{[11]101-103}的方法。

1.5 数据处理与分析

每组试验分别设置 3 个重复, 试验数据取平均值, 应用 SPSS 17.0 软件对试验数据进行显著性分析, $P < 0.05$

表示显著。文中插图均用 Origin 8.5 软件绘制。

2 结果与分析

2.1 对桧柑果实失重率的影响

由图 1 可看出, 在整个贮藏期间, 所有处理桧柑果实的失重率均呈上升趋势, 这是由于果实自身的水分蒸腾作用以及呼吸消耗所导致的。在所有的处理中, 相比于对照, 0.25、0.50 kGy 的 γ -辐照处理均可以不同程度地降低桧柑果实的失重率, 差异显著 ($P < 0.05$), 可能是由于一定剂量的 γ -辐照抑制了某些酶的活性, 延缓了果实采后的生理代谢, 使得营养物质的消耗速度变慢所致。其中当 γ -辐照剂量为 0.50 kGy 时, 桧柑的失重率最低。而当辐照剂量为 1.00 kGy 时, 桧柑果实的失重率高于对照, 在果实的表面可以看到红褐色斑点, 说明辐照剂量过高会对果实造成伤害, 导致果皮产生伤口, 加快水分蒸腾, 从而使得失重率增大, 不利于贮藏保鲜。

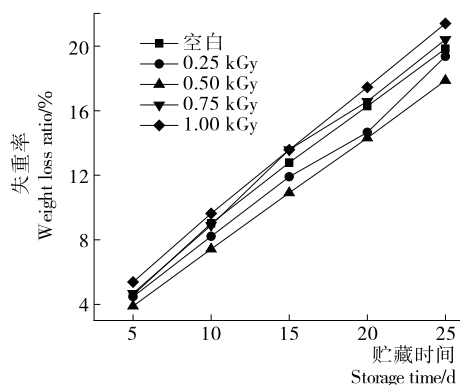


图 1 γ -辐照对桧柑果实失重率的影响

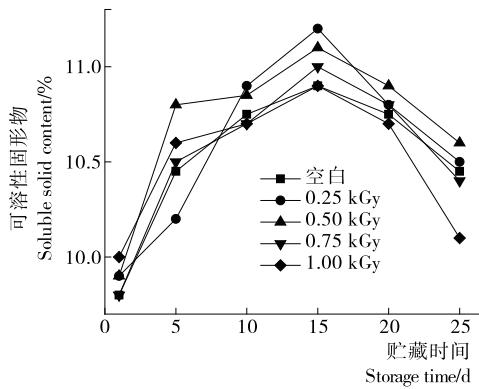
Figure 1 Effect of different doses of γ -irradiation treatment on weight loss ratio of Ponkan fruit

2.2 对桧柑果实可溶性固形物含量的影响

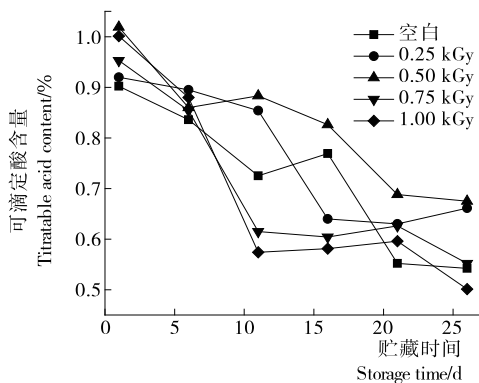
从图 2 可以看出, 不同处理组桧柑果实的可溶性固形物含量在 9.9%~11.0%。这与 Mahmoud 等^[13]在研究 γ -辐照处理蜜橘果实测得的可溶性固形物含量变化的范围一致。在整个贮藏期间, 5 组果实的可溶性固形物含量均呈贮藏前期上升, 贮藏后期逐渐下降的趋势。这主要是由于在贮藏前期果实中的多糖以水解为主, 导致可溶性固形物含量不断增加^[14], 而随着贮藏时间的延长, 呼吸作用不断消耗糖类物质造成可溶性固形物含量不断降低^[15]。到贮藏后期, 0.50、0.75 kGy 处理组的可溶性固形物略高于其他各组处理, 但是各组之间的差异不显著 ($P > 0.05$)。这与 Ornelaspaz 等^[16]的研究结果一致。

2.3 对桧柑果实可滴定酸含量的影响

由图 3 可以看出, 处理组和对照组果实的可滴定酸含量在整个贮藏期间都呈下降趋势, 其中贮藏前期下降速度较快, 而贮藏中后期下降速度变慢。这与万春鹏

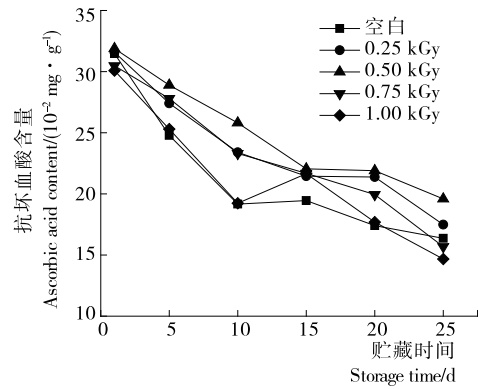
图2 γ -辐照对桧柑果实可溶性固形物含量的影响Figure 2 Effect of different doses of γ -irradiation treatment on soluble solid content of Ponkan fruit

等^[17]研究肉桂提取物对脐橙的保鲜效果时取得的结果一致。柑橘类果实中的可滴定酸主要有柠檬酸、苹果酸和酒石酸等,其中以柠檬酸为主。而柠檬酸作为三羧酸循环的中间物可以参与呼吸代谢被消耗,随着贮藏时间的延长含量逐渐减少。整体来看,一定剂量的 γ -辐照可以有效地延缓桧柑果实中可滴定酸的分解,保持果实良好营养品质,特别是 0.50 kGy 辐照处理组的果实其可滴定酸含量在整个贮藏中后期均高于对照,差异显著 ($P < 0.05$)。而过高剂量的 γ -辐照则不利于果实有机酸的保存。

图3 γ -辐照对桧柑果实可滴定酸含量变化的影响Figure 3 Effect of different doses of γ -irradiation treatment on titratable acid content of Ponkan fruit

2.4 对桧柑果实抗坏血酸含量的影响

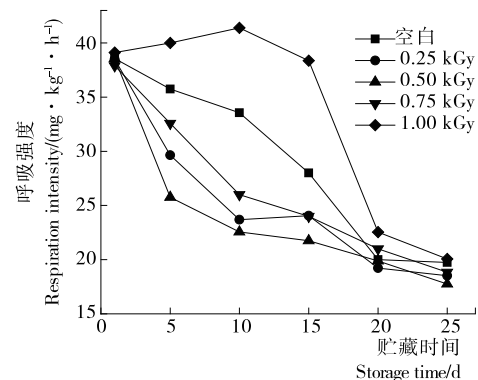
从图4可以看出,各处理的抗坏血酸含量随着贮藏时间的延长而下降,这主要是由于随着贮藏时间的延长,抗坏血酸被氧化而逐渐减少。其中 0.25, 0.50 kGy 两个辐照处理组的果实抗坏血酸含量在整个贮藏期间明显高于对照组,差异显著 ($P < 0.05$)。而 1.00 kGy 辐照组果实抗坏血酸含量在贮藏后期甚至低于对照组,可见过高剂量的 γ -辐照对桧柑果实抗坏血酸的保存是不利的。综合

图4 γ -辐照对桧柑果实抗坏血酸含量变化的影响Figure 4 Effect of different doses of γ -irradiation treatment on ascorbic acid content of Ponkan fruit

分析,0.50 kGy 剂量的 γ -辐照可以有效地延缓桧柑果实抗坏血酸在贮藏期间的降解,有利于保持其品质。

2.5 对桧柑果实呼吸强度的影响

由图5可看出,几乎所有 γ -辐照处理以及对照果实的呼吸强度在贮藏期间总体上均呈下降趋势,说明桧柑是典型的非跃变型果实。其中 1.00 kGy 辐照组果实的呼吸强度在贮藏前期略有上升,可能是辐照剂量过高对果实造成伤害,形成了伤呼吸而导致。而其他各组辐照处理均能不同程度的降低果实的呼吸强度,其中 0.50 kGy 处理组抑制呼吸的效果最好,可能是因为果蔬经过一定剂量的 γ -辐照后,和呼吸相关的酶活性被抑制从而导致呼吸代谢受到抑制^[18]。

图5 γ -辐照对桧柑果实呼吸强度的影响Figure 5 Effect of different doses of γ -irradiation treatment on respiration intensity of Ponkan fruit

2.6 对桧柑果实丙二醛含量的影响

由图6可知,随着贮藏时间的延长,各辐照处理组和对组果实的丙二醛含量均有所增加,与邓利珍等^[19]研究川芎提取物对脐橙的保鲜效果时得到的结果一致。其中 0.25, 0.50 kGy 辐照处理组果实的丙二醛含量在整个贮藏期间低于对照组果实,差异显著 ($P < 0.05$)。说明适

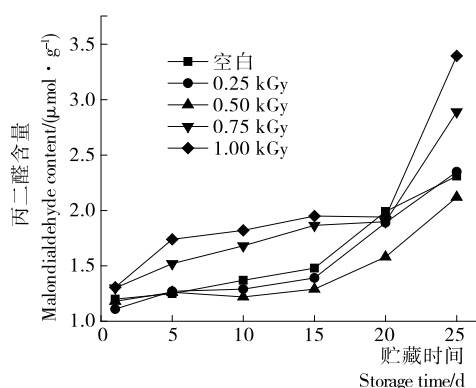


图 6 γ -辐照对桄柑果实丙二醛含量的影响

Figure 6 Effect of different doses of γ -irradiation treatment on malondialdehyde content of Ponkan fruit

宜强度的 γ -辐照能够在一定程度上抑制桄柑果实细胞的膜脂过氧化作用,有利于其贮藏保鲜,其中辐照剂量为 0.50 kGy 时效果最好。而 0.75, 1.00 kGy 辐照处理组果实的丙二醛含量则明显高于对照组果实,说明辐照剂量过高,会对果实产生伤害导致代谢紊乱。

2.7 对桄柑果实过氧化物酶活性的影响

从图 7 可以看出,桄柑果实的过氧化物酶活性在贮藏期间呈先上升,达到活性高峰后再下降的趋势。其中 0.25, 0.50 kGy 辐照处理组的果实过氧化物酶活性在整个贮藏期间明显高于其他各组,差异显著 ($P < 0.05$),说明适宜强度的 γ -辐照能促进桄柑果实过氧化物酶活性升高,使其维持较高的水平,有利于清除活性氧,延缓果实衰老进程。而 1.00 kGy 辐照组的果实其过氧化物酶活性在贮藏期间甚至低于对照,说明过高的辐照强度不利于果实的贮藏保鲜。

3 结论

为了探寻安全环保的桄柑贮藏保鲜方式,研究了不

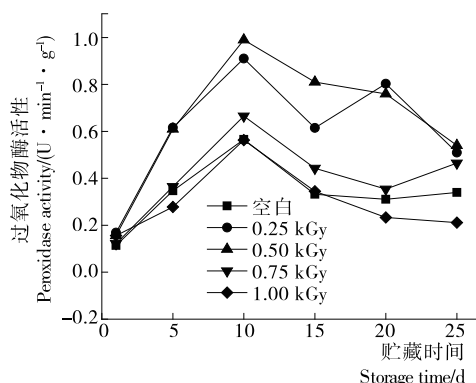


图 7 γ -辐照对桄柑果实过氧化物酶活性的影响

Figure 7 Effect of different doses of γ -irradiation treatment on peroxidase activity of Ponkan fruit

同强度的 γ -辐照对桄柑果实采后生理特性的影响,结果表明,一定强度的 γ -辐照处理可有效降低贮藏过程中桄柑果实的失重率,抑制呼吸强度和丙二醛含量的升高,延缓可溶性固形物、可滴定酸和抗坏血酸含量的下降,维持桄柑果实细胞内过氧化物酶的活性,有效维持桄柑果实在贮藏期间的感官品质和营养价值,其中剂量 0.5 kGy 的 γ -辐照效果最好。此前,国内外关 γ -辐照在柑橘类果实保鲜上的应用研究很少,究其原因主要是柑橘类果实对 γ -辐照很敏感,过高的剂量容易造成果实伤害反而不利于保鲜,本研究的结果也证实了这一点。因此,精确控制辐照剂量在桄柑果实保鲜上非常重要。至于较小的辐照剂量对于其他柑橘类果实保鲜是否有效有待进一步研究。

参考文献

- [1] BOUBAKER H, SAADI B, BOUDYACHE H, et al. Sensitivity of *Penicillium digitatum* and *P. italicum* to Imazalil and Thiabendazole in Morocco [J]. *Plant Pathology Journal*, 2009, 8(4): 152-158.
- [2] SCHENA L, STRANO M C, SANZANI S M, et al. Post-harvest diseases of citrus fruits[J]. *Protezione Delle Colture*, 2011(4): 30-41.
- [3] 李鸿筠, 姚廷山, 王联英, 等. 5 种药剂对柑橘贮藏病害的防控效果评价[J]. *食品工业科技*, 2014, 35 (11): 319-323.
- [4] 王长锋. 储藏条件对柑橘果实品质的影响[D]. 湘潭: 湘潭大学, 2012: 5-38.
- [5] 潘永贵, 钟爱阳, 冯叙桥, 等. 我国果品贮藏保鲜的现状和发展趋势[J]. *食品科学*, 1996(4): 66-67.
- [6] 施培新, 谢宗传. 辐照食品商业化在中国的进展[J]. *核农学通报*, 1995, 16(6): 251-255.
- [7] 哈益明, 施惠栋, 王锋, 等. 电子束食品辐照的研究现状与应用特点[J]. *核农学报*, 2007, 21(1): 61-64.
- [8] PINELA J, BARREIRA J C, BARROS L, et al. Suitability of gamma irradiation for preserving fresh-cut watercress quality during cold storage[J]. *Food Chemistry*, 2016, 206: 50-58.
- [9] 赵晓南, 王成波, 胡少新. 果蔬辐照保鲜技术应用[J]. *黑龙江农业科学*, 2011(8): 151-153.
- [10] PRAKASH A, MANLEY J, DECOSTA S, et al. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes[J]. *Radiation Physics and Chemistry*, 2002, 63: 387-390.
- [11] 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.
- [12] 胡小松, 谢宇雄, 张彤. 红外线 CO_2 分析仪测定果实呼吸强度的探讨[J]. *分析仪器*, 1993(2): 49-52.

(下转第 171 页)

结合P值可知:模型的一次项A和C极显著,二次项 A^2 和 C^2 极显著, B^2 显著表明各因素对水解度的影响不是简单的线性关系。该模型下得到最佳工艺参数为蛋白酶酶解温度42.06℃、蛋白酶pH7.29、纤维素酶添加量0.11%,此时水解度为18.775%。结合实际,调整各因素为蛋白酶酶解温度42℃、蛋白酶pH7.30、纤维素酶添加量0.10%,此时水解度为18.510%,与预测值相差为1.41%,证明了该模型的可靠性。

3 结论

本试验结果表明,制取高氨基酸含量的最优酶解工艺条件为蛋白酶酶解温度42℃、蛋白酶pH7.30、纤维素酶添加量0.10%,此时水解度为18.510%。

多种食用菌复配结合制备鲜菇菌液的方式,不仅有利于协调不同食用菌的氨基酸,同时可以增加产品的功能性,为开发秀珍菇等食用菌深加工产品提供新思路,但是本研究还存在一些不足,虽然水解度比单一采用秀珍菇水解度高^[19],但仍有提高空间,这可能与所选取的食用菌种类有关,后续可以本研究作为基础,开发更多秀珍菇及其他菌类复合的深加工产品,提高氨基酸利用率,增进营养和保健功能。同时,进行单一菌菇酶解制备菇液,得到鲜味液体在气味上尚有不足;如果通过添加部分还原糖,进行美拉德反应,就能够满足气味上的要求。

参考文献

- [1] SILVA S, MARTINS S, KARMAI A, et al. Production, purification and characterisation of polysaccharides from *Pleurotus ostreatus* with antitumour activity[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2012, 92(9): 1 826-1 832.
- [2] 韩建东, 宫志远, 姚强, 等. 金针菇菌渣栽培秀珍菇的营养成分分析[J]. 中国食用菌, 2013, 32(6): 30-35.
- [3] 翁伯琦, 江枝和, 林勇. 不同培养料对秀珍菇子实体营养评价的影响[J]. 食用菌学报, 2002, 9(2): 10-13.
- [4] ZHANG Mei. Heating-induced conformational change of a novel β -(13)-D-glucan from *Pleurotus geestanus*[J]. Biopolymers, 2010, 93(2): 121-131.
- [5] ZHANG An-qiang, XU Mei, LI Fu, et al. Structural eluci-

dation of a novel mannogalactan isolated from the fruiting bodies of *Pleurotus geestanus*[J]. Carbohydrate Polymers, 2013, 92(1): 236-240.

- [6] RANOGAJEC A, BELUHAN S, SMIT Z. Analysis of nucleosides and monophosphate nucleotides from mushrooms with reversed phase HPLC[J]. Journal of Separation Science, 2010, 33(8): 1 024-1 033.
- [7] 陈雅平. 酶解法提取秀珍菇有效成分工艺的研究[J]. 农产品加工: 学刊, 2014(7): 33-34, 37.
- [8] 李佳佳. 秀珍菇水解物美拉德反应制备调味核心基料的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2017: 1-3.
- [9] 杨润亚, 李维焕, 吕芳芳. 秀珍菇子实体多糖的提取工艺优化及体外抗氧化性[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(10): 1 093-1 099.
- [10] 张晓玉, 张博, 辛广, 等. 秀珍菇营养成分、生物活性及贮藏保鲜的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(6): 2 314-2 319.
- [11] 马洪艳, 白宝良. 秀珍菇栽培技术[J]. 北方园艺, 2014(13): 140-141.
- [12] 刘会军, 金国庆, 黄亮, 等. 海鲜菇工厂化瓶栽配方的优化[J]. 北方园艺, 2016(20): 142-145.
- [13] 盖钧. 作物育种学各论[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 28-30.
- [14] 王耀松, 邢增涛. 白玉覃营养成分的测定[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 222-224, 228.
- [15] 王丽, 罗红霞, 李淑荣, 等. 海鲜菇氨基酸组成分析及营养评价[J]. 食品工业科技, 2016, 37(21): 338-346.
- [16] BOLORMAA Z, KING M, SEO G, et al. Analysis of nutritional characteristics and physiological functionality of *hypsizygus marmoreus* [J]. The Korean Journal of Mycology, 2012, 40(2): 104-108.
- [17] 薛淑静, 李露, 周明, 等. 基于酶解改性的香菇柄菇松工艺研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(12): 56-59.
- [18] 陈小平, 杨明华, 戴秀爱. 江山秀珍菇产业发展的现状与对策[J]. 食药用菌, 2015(2): 70-71.
- [19] 郁建强, 殷戎一, 黄丹枫, 等. 10个平菇品种的氨基酸分析及蛋白质营养价值比较研究[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 1998(1): 75-78.

(上接第138页)

- [13] MAHMOUD G A, MOHAMED G A, BOTROS H W, et al. Combined effect of gamma radiation, hot water and sodium bicarbonate on quality and chemical constituents of stored mandarin fruits[J]. Archives of Phytopathology and Plant Protection, 2011, 44(11): 1 115-1 127.
- [14] ISMAIL O M, ABD EL-MONIEM E A A, ABD-ALLAH A S E, et al. Influence of some post-harvest treatments on guava fruits[J]. Agriculture & Biology Journal of North America, 2010, 1(6): 1 309-1 318.
- [15] 雷庆, 黄敏, 康菊, 等. 电子束辐照草莓保鲜效果研究[J].

核农学报, 2011, 25(3): 510-513.

- [16] ORNELAS-PAZ J J, MEZA M B, OBENLAND D, et al. Effect of phytosanitary irradiation on the postharvest quality of Seedless Kishu mandarins (*Citrus kinokuni mukakukishu*)[J]. Food Chemistry, 2017, 230: 712-720.
- [17] 万春鹏, 陈楚英, 陈明, 等. 肉桂提取物对赣南脐橙的保鲜效果[J]. 食品工业科技, 2015, 36(17): 317-321.
- [18] FARKAS J. Irradiation for better foods[J]. Trends in Food Science & Technology, 2006, 17(4): 148-152.
- [19] 邓利珍, 刘可, 冷飞凡, 等. 川芎提取液对脐橙的防腐保鲜效果[J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 296-302.