

# 低功率微波处理对板栗低温贮藏生理及品质的影响

## Effects of low power microwave treatment on physiology and quality of low temperature storage of Chinese chestnut

张淑媛<sup>1</sup> 伍晓聪<sup>1</sup> 金文苹<sup>1</sup>

ZHANG Shu-yuan<sup>1</sup> WU Xiao-cong<sup>1</sup> JIN Wen-ping<sup>1</sup>

郭艳明<sup>1</sup> 张林玉<sup>1</sup> 董明<sup>1,2,3</sup>

GUO Yan-ming<sup>1</sup> ZHANG Lin-yu<sup>1</sup> DONG Ming<sup>1,2,3</sup>

(1. 安徽农业大学茶与食品科技学院, 安徽 合肥 230036; 2. 合肥市农产品加工研究院, 安徽 合肥 230036;  
3. 安徽省农产品加工工程实验室, 安徽 合肥 230036)

(1. College of Tea and Food Science and Technology, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China;  
2. Hefei Agriculture Products Processing and Research Institute, Hefei, Anhui 230036, China;  
3. Anhui Agricultural Products Processing Engineering Laboratory, Hefei, Anhui 230036, China)

**摘要:**采用不同强度的微波处理板栗 3 min, 并于 3 °C 条件下贮藏 180 d, 研究低功率微波处理对板栗的呼吸强度、失重率、腐烂率、还原糖含量、淀粉酶活性、V<sub>C</sub> 含量、过氧化氢酶 (CAT) 活性、过氧化物酶 (POD) 活性和丙二醛 (MDA) 含量的影响。试验结果表明: 65 W/3 min 处理组对 CAT 活性增加抑制效果最好; 130 W/3 min 处理组对 POD 活性下降和 MDA 含量增加有较好抑制效果; 260 W/3 min 处理组能有效降低失重率、腐烂率; 195 W/3 min 处理组对呼吸强度、淀粉酶活性、POD 活性、还原糖含量的上升及 V<sub>C</sub> 的氧化有明显抑制作用, 也能有效降低失重率、腐烂率。综合分析, 低功率微波保鲜板栗的最佳处理条件为 195 W/3 min, 打孔 PE 袋包装, 3 °C 低温冷藏 180 d, 商品率 93%~95%。

**关键词:**板栗; 低功率微波; 生理; 品质

**Abstract:** The Chinese chestnut was treated by different power microwave for 3 min treatments, and stored for 180 days at 3 °C. Studied the effects of low power microwave treatment on respiration intensity, weight loss rate, decay rate, reducing sugar content, amylase activity, V<sub>C</sub> content, catalase activity, peroxidase activity and MDA content in chestnut. Results: The low intensity microwave treatment with 65 W/3 min had the best inhibition effect on catalase activity; the treatment with 130 W/3 min had better inhibition effect

on peroxidase activity and MDA content; the treatment with 260 W/3 min could effectively reduce the weight loss rate and decay rate; the treatment with 195 W/3 min had the best inhibitory effect on increase of respiration intensity, amylase activity and reducing sugar content and decrease of V<sub>C</sub> content and peroxidase activity, it could also effectively reduce the weight loss rate and decay rate. According to the comprehensive analysis results, the best condition of low power microwave treatment was 195 W/3 min, packed in perforated polyethylene bags, and refrigerated at 3 °C for 180 days. Under the conditions, the commodity rate was ranged from 93% to 95%.

**Keywords:** chestnut; low power microwave; physiology; quality

板栗 (*Castanea mollissima Blume*) 属山毛榉科 (Fagaceae) 栗属坚果类植物。中国是板栗的原产国, 板栗资源分布广、品种多, 年产量占世界 50% 以上<sup>[1]</sup>。板栗的贮藏物质主要是淀粉, 含 25.0%~68.3%, 此外还含糖 6.02%~25.23%, 蛋白质 5.7%~12.7%, 脂肪 2.0%~7.4%, 16~18 种氨基酸等, 其中人体必需的有 8 种, 以天冬氨酸最高<sup>[2]</sup>。板栗既可以生食、炒食和煮食, 又能制成糕点、糖果, 香甜味美, 还具有一定的保健功效和治疗肾虚、脾胃虚寒的作用<sup>[3]</sup>。

由于板栗产地多为丘陵山地, 在板栗生长期的防治很难奏效, 且板栗果实含水量高, 呼吸强度大, 采后生理代谢旺盛, 极易霉烂变质、发芽、失重, 耐贮性能差, 因而板栗采摘后的贮藏问题亟待解决<sup>[4-5]</sup>。

近年来, 有关低功率微波的研究在国内外是一个讨论的热点。低功率微波处理主要是由于电磁场辐射产生的非热

**基金项目:**安徽省大别山区农林特色产业协同创新中心项目资助

**作者简介:**张淑媛, 女, 安徽农业大学在读硕士研究生。

**通信作者:**董明 (1958—), 男, 安徽农业大学副教授, 硕士。

E-mail: dongm58@163.com

收稿日期: 2017-01-12

生物效应,对果实细胞膜的结构与功能、细胞的信息传导以及果实成分之间的相互作用产生影响和干扰,被认为是一种新型的食品保鲜方式<sup>[6-8]</sup>。但是,目前在果蔬贮藏保鲜方面,尚无低功率微波保鲜机理的系统报道,仅有对猕猴桃<sup>[9]</sup>、草莓<sup>[10]</sup>、蓝莓<sup>[11]</sup>、香菇<sup>[12]</sup>、黄冠梨<sup>[13]</sup>等进行低功率微波贮藏保鲜的相关研究报道。

微波保鲜技术与常规保鲜方法相比具有潜在的优势,低功率微波可以实现非热连续照射,处理简单且安全。现有文献资料尚无采用低功率微波处理板栗(种子类)的保鲜生理相关报道。本研究拟采用相同处理时间的不同低功率微波照射预处理,考察微波对板栗采后生理和品质的影响,旨在探索微波处理板栗的冷藏技术新方法,开创安全有效的果蔬保鲜处理新途径。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

板栗:大红袍,选用2015年10月份采收的安徽大别山区,在生理成熟期采收,采收后立即运回实验室。由于刚采收的板栗含水量大,自身温度较高,所以要进行“发汗”处理,即置于通风避光的室内摊晾3~4 d,然后剔除杂质、蛀虫、腐烂、机械损伤及未成熟的,用好果进行试验;

包装袋:厚0.03 mm的聚乙烯(PE)打孔保鲜袋,港新包装有限公司;

3,5-二硝基水杨酸、愈创木酚:化学纯,国药集团化学试剂有限公司;

四水合酒石酸钾钠、氢氧化钠、二水合草酸、抗坏血酸、30%过氧化氢、碳酸氢钠、三氯乙酸、柠檬酸、柠檬酸钠、可溶性淀粉、乙酸、无水乙酸钠、聚乙二醇6000、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠:分析纯,西陇化工股份有限公司;

聚乙烯吡咯烷酮:分析纯,合肥新恩源生物技术有限公司;

重蒸酚:生化试剂,北京索莱宝科技有限公司;

2,6-二氯酚靛酚钠:生化试剂,生工生物工程(上海)股份有限公司。

### 1.2 主要仪器

微波系统:SAM-255型,美国CEM公司;

组合式冷库:LR20-AZK型,中国常州银雪制冷设备有限公司;

高速冷冻离心机:LR20-A型,北京雷勃尔冷冻离心机有限公司;

离心机:DL-5-B型,上海安亭科学仪器厂制造;

紫外分光光度计:UV-5800PC型,上海元析仪器有限公司;

便携式红外CO<sub>2</sub>气体检测仪:GT-2000型,深圳市科尔诺电子科技有限公司。

### 1.3 试验方法

1.3.1 微波处理条件的筛选 分别以不同输出功率和处理时间进行微波处理单因素试验,处理后迅速测温,并切果检

查板栗果肉淀粉糊化和褐变情况,初步筛选出微波不同功率和时间的组合对板栗果实的影响,确定本试验的微波预处理的强度范围。

1.3.2 微波处理方法 根据确定好的微波处理方式,利用微波系统处理原料,每个处理组用量为5 kg左右,每个处理重复3次,由于微波载波盘大小限制,每次铺满载波盘处理(1 kg左右),对照组不作任何处理。然后用打孔并标记的PE袋将冷却后的板栗包装并装箱。贮藏于温度3℃、相对湿度85%~92%的冷库中,每30 d取样测定各项指标。

### 1.4 检测项目及方法

1.4.1 呼吸强度 每个处理组分别随机取出10个板栗分装在PE袋中,专用于检测呼吸强度。在贮藏温度下检测其呼出的CO<sub>2</sub>浓度,称取果实鲜重,读取分析仪的流量计数,根据式(1)计算呼吸强度。重复检测3次。

$$R = \frac{F \times 60 \times C \times 10^{-6} \times 44 \times 273}{W \times 22.4 \times (273 + t)}, \quad (1)$$

式中:

R——呼吸强度,mg/(kg·h);

F——分析仪流量计数,mL/min;

C——二氧化碳浓度测定值,mg/mL;

t——贮藏温度,℃;

W——果实鲜重,kg。

### 1.4.2 果实品质测定

(1) 还原糖含量:采用3,5-二硝基水杨酸法<sup>[14]</sup>。

(2) V<sub>C</sub>含量:采用分光光度计法<sup>[15]</sup>。

每个指标平行测定3次,取其平均值。

### 1.4.3 果实生化指标测定

(1) 淀粉酶活性测定:采用分光光度计法<sup>[16]101-103</sup>。

(2) 过氧化物酶活性的测定:采用分光光度计法<sup>[17]</sup>。

(3) 过氧化氢酶活性测定:按GB/T 23195—2008执行。

(4) 丙二醛(MDA)含量的测定:采用硫代巴比妥酸显色法<sup>[16]154-156</sup>。

1.4.4 腐烂率 分别计算各处理组中板栗总数及霉变或腐烂果个数,并按式(2)计算板栗腐烂率<sup>[18]</sup>。

$$r = \frac{N}{N_0} \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

r——腐烂率,%;

N——腐烂板栗数;

N<sub>0</sub>——板栗取样总数。

### 1.4.5 失重率 按式(3)计算质量损失率。

$$L = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

L——失重率,%;

m<sub>1</sub>——贮藏前质量,g;

m<sub>2</sub>——贮藏后质量,g。

1.4.6 数据统计分析 数据统计采用Excel软件;显著性分析采用PASW软件,绘图工具采用Origin软件。

## 2 结果与讨论

### 2.1 微波处理条件的筛选

以实测微波处理板栗中心温度 $\leq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为选择依据,忽略微波处理的热效应,可视为其作用以非热效应为主<sup>[19]</sup>,且板栗仁未出现淀粉糊化与褐变现象。由图 1 可知,微波处理时间一定时,果心温度与微波功率呈正相关;微波功率一定时,果心温度与处理时间呈正相关。微波处理功率、处理时间分别小于 325 W、3 min 时,板栗果肉中心温度均低于 32  $^{\circ}\text{C}$ ,且果心均未发生褐变。因此,确定微波处理方式为处理时间 3 min,处理功率 65,130,195,260,325 W。

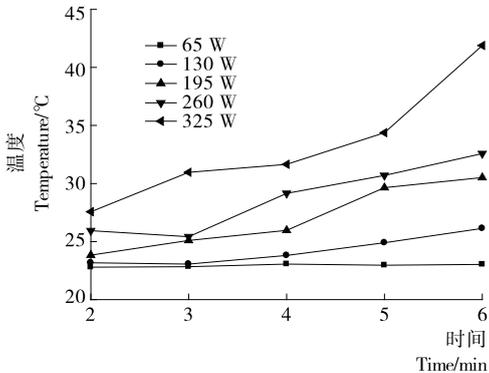


图 1 微波输出功率与时间对果心温度的影响

Figure 1 Effect of microwave output power and time on core temperature of chestnut

### 2.2 微波处理对板栗生理指标的影响

2.2.1 呼吸强度 由图 2 可知,从整体上来看,不同功率微波处理的板栗呼吸强度变化趋势基本相同,均为先下降再上升。0~90 d 呼吸强度下降,90~150 d 呼吸趋于平缓,150~180 d 呼吸强度有上升趋势。除了 195 W 处理组,其他组呼吸强度基本高于对照组。在整个贮藏过程中,325 W 处理组的呼吸强度一直高于对照组,与对照组差异极显著( $P < 0.01$ ),说明较高功率的微波处理对板栗呼吸作用有促进作用;195 W 处理组的呼吸强度一直低于对照组,与对照组差异显著( $P < 0.05$ ),反映出低功率微波处理对板栗的呼吸作用有一定的抑制作用,可能是低功率的微波处理产生的非热

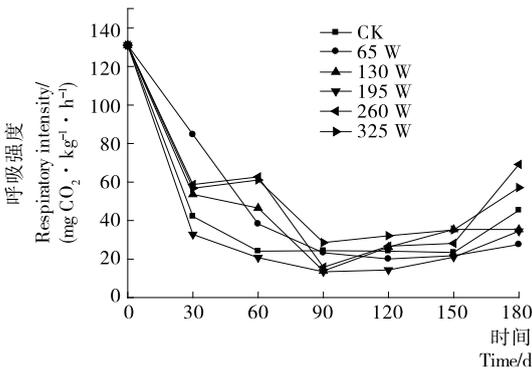


图 2 不同功率微波处理对板栗呼吸强度的影响

Figure 2 Effect of different power microwave treatments on respiration rate of chestnut

效应,抑制了某些酶的活性,降低了生理代谢速率,维持了细胞膜结构的完整性,抑制了呼吸强度。

2.2.2 淀粉酶活性 由图 3 可知,在贮藏期间,淀粉酶活性整体呈上升趋势。0~60 d 淀粉酶活性快速上升,可能是呼吸强度仍较大,还需要消耗大量还原糖,此时需要较多淀粉酶分解淀粉来提供能量;60~150 d 淀粉酶活性缓慢上升,此时呼吸强度趋于平缓,无需太多能量;150~180 d 淀粉酶活性再次快速上升,由于板栗开始腐败,淀粉酶活性增大,降解淀粉,破坏板栗的品质。所有处理组淀粉酶活性基本低于对照组,除了 325 W 处理组,且 195 W 处理组的淀粉酶活性一直低于对照组,且存在显著差异( $P < 0.05$ ),说明适当的微波处理能降低淀粉酶活性。

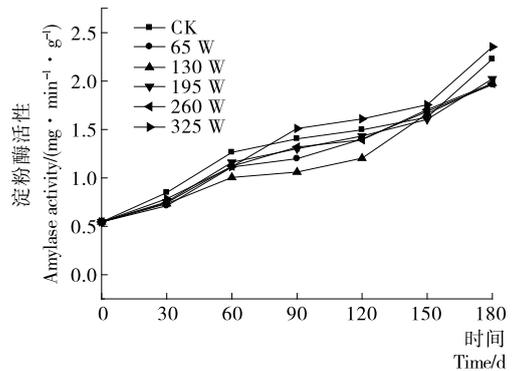


图 3 不同功率微波处理对板栗淀粉酶活性的影响

Figure 3 Effect of different power microwave treatments on amylase activity of chestnut

2.2.3 过氧化氢酶活性 由图 4 可知,对照组和处理组的过氧化氢酶活性均先升后降,转折点在 90 d。其中 260 W 和 325 W 处理组酶活性高于对照组,且 325 W 与对照组存在显著差异( $P < 0.05$ ),可能是微波处理功率较高使得板栗品质变化迅速,体内自由基增加过快,从而诱使过氧化氢酶活性增加比较明显;65,130,195 W 处理组的酶活性基本低于对照组,可能是适当功率微波处理使得细胞膜的通透性增加,酶活性降低。综上,适当的微波处理可以降低酶活性。

2.2.4 过氧化物酶活性 由图 5 可知,贮藏期间,板栗的 POD 活性均呈先上升后下降的趋势,除了 65,130 W 处理组

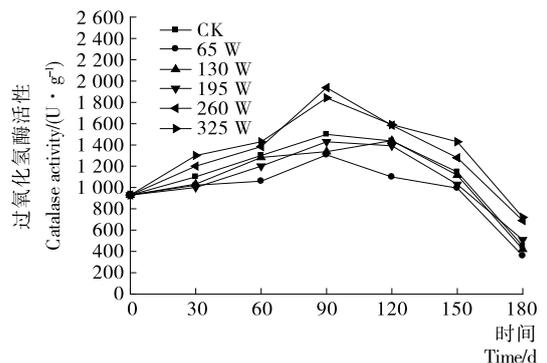


图 4 不同功率微波处理对板栗中 CAT 酶活性的影响

Figure 4 Effect of different power microwave treatments on CAT activity of chestnut

酶活性在 150 d 达到峰值,其他处理组和对照组酶活性均在 90 d 达到峰值。处理组酶活性均高于对照组,且 195 W 和 325 W 处理组酶活性增加较大,与对照组存在显著差异( $P < 0.05$ ),65,130 W 处理组的酶活性在 90 d 之后与对照组存在显著性差异( $P < 0.05$ ),说明适宜的微波处理能抑制板栗 POD 活性的下降,延长贮存期。

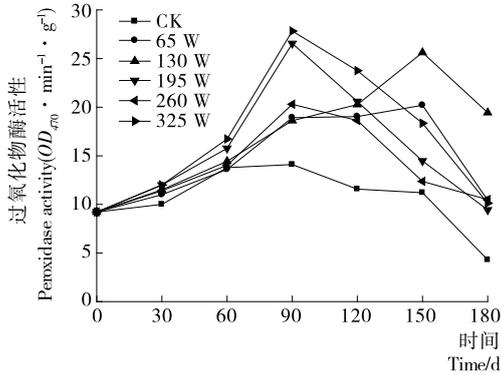


图 5 不同功率微波处理对板栗中 POD 酶活性的影响

Figure 5 Effect of different power microwave treatments on POD activity of chestnut

2.2.5 丙二醛含量 由图 6 可知,处理组和对照组的 MDA 含量均先缓慢上升,达到最大值后急剧下降。其中对照组 65,195,260,325 W 处理组均在 120 d 达到最大,只有 130 W 处理组在 150 d 达到最大。260,325 W 处理组的 MDA 含量在 180 d 之前高于对照组,且存在显著差异( $P < 0.05$ );65,130,195 W 处理组的 MDA 含量在 150 d 之前低于对照组,且存在显著差异( $P < 0.05$ ),并且 130 W 处理组在 120 d 之前是所有处理组中 MDA 含量最低的。综上,适当的低功率微波处理板栗可以抑制 MDA 含量的增加,而较高功率的微波处理反而会促进 MDA 含量的增加。

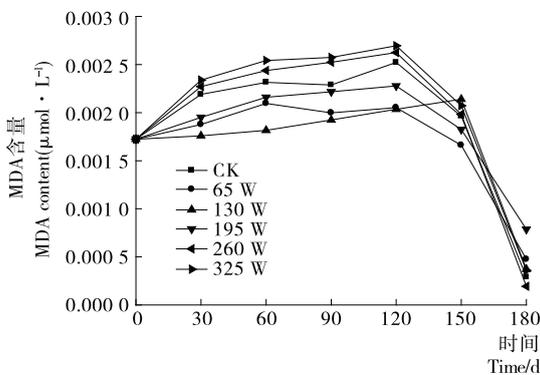


图 6 不同功率微波处理对板栗中丙二醛含量的影响

Figure 6 Effect of different power microwave treatments on MDA of chestnut

### 2.3 微波处理对板栗贮藏品质的影响

2.3.1 还原糖含量 由图 7 可知,0~60 d 还原糖含量略有下降趋势,可能是呼吸作用消耗;60~120 d 还原糖含量快速上升,淀粉开始大量快速分解;120~180 d 上升平缓,淀粉的量已经变少,但仍在继续分解。在贮藏过程中,195,325 W

处理组的还原糖含量低于对照组,且存在显著差异( $P < 0.05$ );在 100 d 左右,260 W 处理组的还原糖含量也低于对照组,说明适当的微波处理可以抑制淀粉分解;而 65,130 W 处理组的还原糖含量分别在 100,40 d 左右时高于对照组,说明过低的微波处理对淀粉的分解并没有抑制作用,反而会有促进作用。

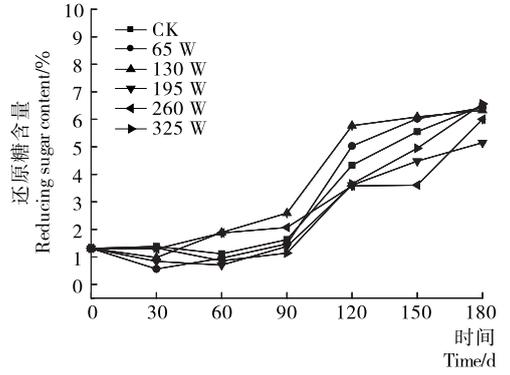


图 7 不同功率微波处理对板栗还原糖含量的影响

Figure 7 Effect of different power microwave treatments on reduced-sugar content of chestnut

2.3.2 V<sub>C</sub>含量 由图 8 可知,在贮藏期间,不同处理组及对照组的板栗中 V<sub>C</sub> 含量均逐渐降低。325 W 处理组的 V<sub>C</sub> 含量一直低于对照组,且在 120 d 之后与对照组存在极显著差异( $P < 0.01$ ),应该是微波功率过高,对板栗造成严重损伤,使得板栗腐败提前,营养价值极速下降;195 W 处理组的 V<sub>C</sub> 含量一直高于对照组,且 60~90 d 存在显著差异( $P < 0.05$ ),说明适当的微波处理有利于抑制 V<sub>C</sub> 含量的下降。

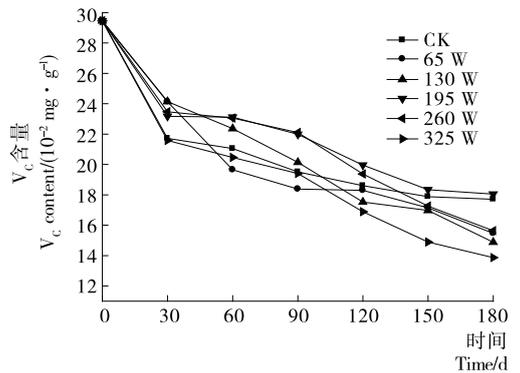


图 8 不同功率微波处理对板栗中 V<sub>C</sub> 含量的影响

Figure 8 Effect of different power microwave treatments on V<sub>C</sub> of chestnut

2.3.3 失重率 由图 9 可知,在贮藏期间板栗的失重率整体呈上升趋势,除了 325 W 处理组的失重率高于对照组,其余处理组的失重率一直低于对照组,且微波处理组与对照组都存在显著差异( $P < 0.05$ ),对照组的失重率达 1.34%,325 W 处理组高达 1.70%,260 W 的失重率仅 0.89%,说明适当的微波处理有利于抑制板栗的失重,而过高功率的微波处理反而加重了板栗的失重。

2.3.4 腐烂率 由图 10 可知,贮藏期间,腐烂率呈上升趋势,其中除了 325 W 处理组的腐烂率高于对照组,高达 11%,

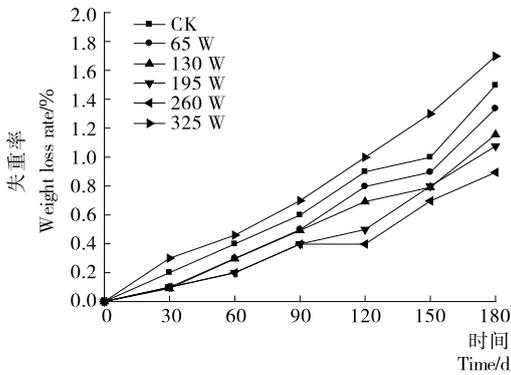


图 9 不同功率微波处理对板栗失重率的影响

Figure 9 Effect of different power microwave treatments on weight loss rate of chestnut

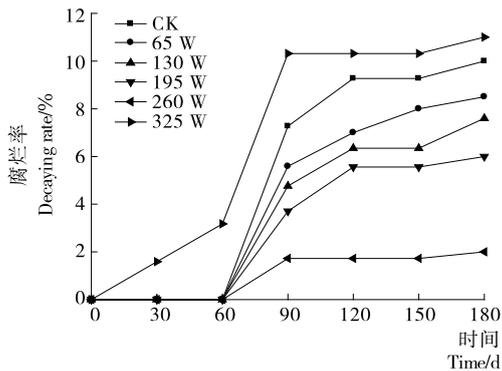


图 10 不同功率微波处理对板栗腐烂率的影响

Figure 10 Effect of different power microwave treatments on decaying rate of chestnut

并且试验初期就有腐烂现象,可能是微波处理的功率过高对板栗造成生理损伤,使其新陈代谢紊乱,抗性降低,外界病原菌得以入侵造成腐烂;其他处理组的腐烂率都低于对照组,且都是从 60 d 之后出现腐烂现象,其中 260 W 处理组的板栗在贮藏 180 d 后的腐烂率只有 2%,明显低于对照组的腐烂率 10%,与对照组存在极显著差异( $P < 0.01$ ),说明过高功率的微波处理会使腐烂率升高,适当功率微波处理有利于降低腐烂率。

### 3 结论

根据预试验要求选择了果心不会发生褐变且温度低于 32 °C 的微波处理条件:微波处理时间 3 min,处理功率 65, 130, 195, 260, 325 W, 探讨低功率微波处理对板栗采后生理生化和贮藏效果的影响。结果表明,适当的低功率微波一次处理对板栗贮藏生理和品质均有一定效果,195 W/3 min 微波处理的效果最显著。过高或过低强度的微波处理反而加快板栗的腐败,减短贮存期,所以此处值得进一步探究,可进一步细化微波强度进行试验。

### 参考文献

- [1] 李琴. 板栗粉的制备及应用研究[D]. 无锡: 江南大学, 2008: 1-2.
- [2] 段飞霞. 板栗贮藏保鲜影响因素及其控制技术研究[D]. 成都:

四川大学, 2006: 1-2.

- [3] 王彦. 板栗验方与食疗[J]. 食品与健康, 2008(10): 40.
- [4] 李艳. 臭氧和减压处理对板栗采后生理变化[D]. 西安: 陕西师范大学, 2006: 1-5.
- [5] 王尚玉, 汪芳安. 板栗乳饮料的研究[J]. 食品科学, 2004, 25(7): 214-215.
- [6] PHILIPPOVA T M, NOVOSELOV V I, ALEKSEEV S I. Influence of microwaves on different types of receptors and the role of peroxidation of lipids on receptor protein shedding[J]. Bioelectromagnetics, 1994, 15(2): 183-192.
- [7] JOCELYN A L, PETER W F, ROBYN A L, et al. Biological effects of electromagnetic fields and mechanisms for the effects of Pulsed microwave radiation on protein conformation [J]. Journal of Theory Biology, 2000, 206(2): 291-298.
- [8] SAEED M A, GILBERT P. Influence of low intensity 2 450 MHz microwave radiation upon the growth of various microorganisms and their sensitivity towards chemical inactivation[J]. Microbios, 1981, 32(129/130): 135-142.
- [9] 戴美娟, 董明, 费莉娟, 等. 不同功率的微波处理对猕猴桃贮藏特性的影响[J]. 食品工业科技, 2014, 35(3): 326-330.
- [10] 费莉娟, 吴玲, 季月月, 等. 低功率微波处理佐贺清香草莓的生物效应[J]. 食品与发酵工业, 2014, 40(4): 200-204.
- [11] 李明霞, 何雨婷, 王琦, 等. 低功率微波处理对蓝莓采后品质变化的影响[J]. 食品研究与开发, 2016(13): 10-14.
- [12] 何雨婷, 郭艳明, 张林玉, 等. 低功率微波处理对香菇采后生理及品质的影响[J]. 食品工业科技, 2016, 37(10): 338-341.
- [13] 郭艳明, 董明, 张林玉, 等. 低能微波处理对黄冠梨果心褐变及贮藏品质的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(11): 102-106.
- [14] 江建丽. 3,5-二硝基水杨酸(DNS)法测定五味子还原糖含量的适宜条件[J]. 海峡药学, 2014, 26(1): 57-60.
- [15] RAHMAN M M, MIZANUR M, KHAN R, et al. Analysis of vitamin C (ascorbic acid) contents in various fruits and vegetables by UV-Spectrophotometry[J]. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research, 2007, 42(4): 417-424.
- [16] 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, 2011.
- [17] ZHANG Zhao-qi, PANG Xue-qun, DUAN Xue-wu, et al. Role of peroxidase in anthocyanin degradation in litchi fruit pericarp [J]. Food Chemistry, 2005, 90(1/2): 47-52.
- [18] 中华全国供销合作总社. GB/T 23195—2008 蜂花粉中过氧化氢酶的测定方法 紫外分光光度法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [19] 顾仁勇, 李志平, 银永忠. 微波结合纳他霉素-魔芋胶涂膜处理对板栗的保鲜效果[J]. 食品科学, 2013, 34(24): 309-312.