

微波和臭氧处理对果脯的杀菌效果及品质变化分析

谢家文¹, 倪泽平², 郭美媛¹, 郭卓钊¹, 宋贤良^{2*}

(1. 广东康辉集团有限公司, 广东潮州 521000) (2. 华南农业大学食品学院, 广东广州 510642)

摘要: 该研究探究了微波与臭氧处理对四种果脯优势霉菌芽枝状枝孢霉 (*Cladosporium velox*)、暗黄青霉 (*Penicillium citreonigrum*)、菌核青霉 (*Penicillium sclerotiorum*)、细极链格孢 (*Alternariae nuissima*) 的抑菌效果及果脯理化品质的影响。结果表明, 微波与臭氧处理均可显著抑制霉菌生长, 抑菌率随微波功率, 微波时间, 臭氧通入时间增加而增大。当微波功率为 630 W, 微波时间为 20 s 时, 四种霉菌抑菌率最高均达到 100%。当通入臭氧 10 min 时, 抑菌效果最佳, 芽枝状枝孢霉、暗黄青霉、菌核青霉、细极链格孢的抑菌率分别达到 73.17%、80.87%、83.33%、91.02%。微波和臭氧处理均对果脯理化品质具有一定影响, 随着随微波功率, 微波时间, 臭氧通入时间增加, 果脯水分含量、水分活度、总糖含量和色差值均呈下降趋势。研究结果为微波和臭氧技术在果脯杀菌中的应用提供了理论支撑和参考依据。

关键词: 果脯; 优势霉菌; 微波; 臭氧; 杀菌

文章编号: 1673-9078(2023)07-138-144

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.7.1043

Sterilization Effect and Quality Change Analysis of Preserved Fruits Treated by Microwave and Ozone

XIE Jiawen¹, NI Zeping², GUO Meiyuan¹, GUO Zhuozhao¹, SONG Xianliang^{2*}

(1. Guangdong Kanghui Corporation, Chaozhou 521000, China)

(2. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: In this study, the sterilization effect of microwave and ozone treatments on four dominant molds in preserved fruits, *Cladosporium velox*, *Penicillium citreonigrum*, *Penicillium sclerotiorum*, and *Alternariae nuissima* and the influences of the treatments on the physicochemical quality of preserved fruits were investigated. The results showed that both microwave and ozone treatments could significantly inhibit the growth of mold, and the inhibition rate increased with the increases of microwave power, microwaving time and ozone injection time. The inhibition rates of four kinds of molds reached 100% when the microwave power was 630 W and microwaving time was 20 s. When the ozone injection time was 10 min, the mold-inhibitory effect was the best, with the inhibition rates of *Cladosporium velox*, *Penicillium citreonigrum*, *Penicillium sclerotiorum* and *Alternariae nuissima* reaching 73.17%, 80.87%, 83.33% and 91.02%, respectively. Both microwave and ozone treatments had certain effects on the physicochemical quality of preserved fruits. The moisture content, water activity, total sugar content and color difference value of preserved fruits all decreased with the increases of microwave power, microwaving time and ozone treatment time. The results provide a theoretical support and reference basis for the application of microwave and ozone technologies in the sterilization of preserved fruits.

Key words: preserved fruit; dominant mold; microwave; ozone; sterilization

引文格式:

谢家文, 倪泽平, 郭美媛, 等. 微波和臭氧处理对果脯的杀菌效果及品质变化分析[J]. 现代食品科技, 2023, 39(7): 138-144.

XIE Jiawen, NI Zeping, GUO Meiyuan, et al. Sterilization effect and quality change analysis of preserved fruits treated by microwave and ozone [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(7): 138-144.

收稿日期: 2022-08-20

基金项目: 广东省科技厅扬帆计划项目 (2017YT05H077); 广东省重点领域研发计划项目 (2020B020225006)

作者简介: 谢家文 (1995-) 男, 硕士, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: xiejw8426560@163.com

通讯作者: 宋贤良 (1969-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: songxl2000@163.com

果脯是我国一类具有悠久历史的特色休闲类食品,其主要以水果为原料经过漂洗、盐腌、渗糖、调味、烘干等工艺制成,具有口感清爽、风味独特、营养丰富等特点^[1]。但果脯生产中长时间的渗糖工艺容易导致微生物发酵从而影响品质。工业上常通过二氧化硫熏蒸或亚硫酸盐溶液浸泡的方法来提高原料的保藏性^[2]。但这些方法在抑制微生物的同时,容易造成原料中亚硫酸盐含量和 SO₂ 残留超标,危害人体健康^[3,4]。因此,在果脯生产过程中需要引入一种绿色、安全、高效的杀菌技术,以减少果脯霉变的概率,这对提高果脯加工保藏品质,降低产业经济损失具有重要意义。

微波杀菌是一种短时高效、绿色安全、杀菌较彻底的食品杀菌技术^[5]。通过利用波长在 1~100 mm 的电磁波穿透物体内部可产生热效应与非热效应,从而破坏微生物细胞结构,导致细胞失活,进而达到杀菌目的^[6]。微波技术在果脯杀菌中广泛应用。于华洋等^[7]对低糖姜脯进行微波照射 120 s,发现霉菌杀灭率达到 84.87%,酵母菌的杀灭率达 69.67%。黄凯信等^[8]探究了双华李和佛手的微波杀菌效果,结果表明微波功率 595 W,微波杀菌时间 50 s 的条件下杀菌效果最佳,双华李与佛手果胚中菌落总数分别为 24 CFU/g 和 16 CFU/g。

除微波杀菌外,臭氧杀菌也是食品杀菌技术的研究热点。臭氧是一种氧的同素异形体,具有强氧化性,可破坏微生物膜结构使其失活^[9]。由于其具有广谱杀菌作用且绿色无污染,是目前食品领域最理想的杀菌方式之一^[10]。肖南等^[11]研究了臭氧对凤梨,姜片,橄榄三种凉果的杀菌效果,结果表明处理 6 h 对凤梨,姜片,橄榄杀菌率分别达到 86.66%、90.40%、97.92%,而处理 24 h,杀菌率均达到 100%。

虽然微波与臭氧技术在果脯杀菌中的应用较为广泛,但其研究主要集中于该技术对于果脯中的菌落总数、真菌数或细菌数的影响,而对于引起果脯霉变的关键优势霉菌的抑制作用却未见报道。

因此本研究以话梅、葡萄干、杏脯三种果脯为原料,研究了不同微波和臭氧处理条件对于三种果脯腐败过程中优势霉菌(芽枝状枝孢霉、暗黄青霉、菌核青霉、细极链格孢)的抑制效果以及果脯理化品质的影响。为开发更加安全高效的果脯杀菌技术奠定基础,进一步推动果脯产业的健康可持续发展。

1 材料与方 法

1.1 实验材料与设备

葡萄干、杏脯、话梅由广东康辉集团提供。马铃薯

薯葡萄糖固体培养基(Potato Dextrose Agar, PDA),马铃薯葡萄糖肉汤培养基(Potato Dextrose Broth, PDB)均购自广东环凯微生物科技公司。葡萄糖、盐酸、3,5-二硝基水杨酸、碘化钾、酚酞、无水乙醇、氢氧化钠等均为分析纯试剂。

G/36DWS 型高压灭菌锅,上海致微仪器有限公司;LRH-250 型恒温生化培养箱,上海一恒科技仪器有限公司;G80F20CN2L-B8 型格兰仕微波炉,广东格兰仕集团有限公司;HD-3A 型智能水分活度测量仪,无锡市华科仪器有限公司;MA45 型红外线快速水分测定仪,济宁立儒佳机电科技有限公司;CR-410 型色差计,日本 KONICA MINOLTA 公司;FL-803A 型臭氧发生器,深圳飞立有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 菌液制备

按照倪泽平等^[12]方法对果脯表面优势霉菌进行分离纯化,得到葡萄干的优势霉菌为芽枝状枝孢霉(*Cladosporium velox*)和暗黄青霉(*Penicillium citreonigrum*),话梅的优势腐败菌为细极链格孢(*Alternariae nuissima*),杏脯的优势腐败霉菌为菌核青霉(*Penicillium sclerotiorum*),将其分别记为 S₁、S₂、H₁、X₁,分别将四种纯种菌株接种于 PDA 斜面上,4 °C 保存备用。从 4 °C 保存的斜面培养基挑取少量优势霉菌菌体转接到 PDA 中,倒置 28 °C 培养 5 d。加 5 mL 无菌水,利用细胞刮板轻轻刮下孢子,再取少量无菌水将其转移至装有数颗玻璃珠的 50 mL 锥形瓶内。将锥形瓶置于 28 °C 恒温振荡器中,震荡 30 min,取 3 mL 孢子悬浮液转移 20 mL PDB 中,180 r/min 培养 48 h,作为第一代菌液备用。吸取 5 mL 第一代菌液加入到 50 mL PDB 中,继续在恒温摇床中震荡培养 48 h,得到浓度稳定在 10⁵~10⁶ CFU/mL 的 S₁、S₂、X₁、H₁ 二代菌液。分别取 20 mL 的二代菌液倒入培养皿内,作为下一步杀菌实验的样品菌液。

1.2.2 微波处理对霉菌的杀菌效果及果脯品质的影响

将制备的菌液放置在微波炉内,设置不同微波功率与微波时间处理菌液,采用平板计数法统计霉菌的菌落数,按下列公式计算抑菌率。

$$C = \frac{A - B}{A} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

A——处理前霉菌数,CFU/mL;

B——处理后霉菌数,CFU/mL;

C——抑菌率,%。

从同一生产批次中挑选形态、大小、色泽基本一致的葡萄干(约30 g)、杏脯(约100 g)、话梅(约18 g)3种果脯平铺于玻璃平皿底部。将果脯放置在微波炉内按设定的微波功率与微波时间进行杀菌处理并测定其理化指标。

试验时在固定微波时间15 s,微波功率630 W的基础上,分别考察微波功率(350、420、490、560、630 W),微波时间(5、10、15、20、25 s)对霉菌的杀菌效果及果脯品质影响。

1.2.3 臭氧处理对霉菌的杀菌效果及果脯品质的影响

臭氧处理装置如图1所示,杀菌容器与臭氧发生器通过管道连接,容器底部放置一台风扇,便于容器内气体流动,菌液或凉果样品放置托架中心,维持容器恒温恒湿(25 °C, 50%),实验前,通入臭氧15 s以排除容器内的空气,密闭容器分别通入臭氧0.5、1、2、5、10 min后取出样品测定抑菌率与果脯品质。

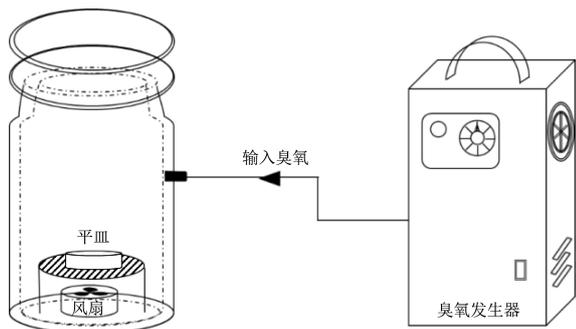


图1 臭氧杀菌装置

Fig.1 Ozone sterilization device

1.2.4 果脯品质指标测定方法

1.2.4.1 水分含量测定

参考于华洋等^[7]的方法测定果脯水分含量。

1.2.4.2 水分活度测定

参考黄凯信等^[8]的方法测定果脯水分活度。

1.2.4.3 总糖含量的测定

参考肖南等^[11]的方法测定果脯的干基总糖含量。

1.2.4.4 色泽的测定

参考董艳等^[14]的方法,根据式(2)计算色差 ΔE 值。

$$\Delta E = (a^{*2} + b^{*2} + L^{*2})^{1/2} \quad (2)$$

式中:

ΔE ——色差值;

a^* ——红绿度;

b^* ——黄蓝度;

L^* ——亮度。

1.3 数据分析

所有实验平行重复三次,结果以平均值 \pm 标准差

的形式表示,利用 Excel 2016 与 Origin 2019 进行数据分析与图像绘制。

2 结果与分析

2.1 微波处理对果脯杀菌效果及品质影响

2.1.1 微波处理对霉菌抑菌效果的影响

微波处理对四种霉菌菌液的抑菌效果如图2所示。在图2a中,当微波功率为350 W时,霉菌S₁、S₂、X₁、H₁的抑菌率分别为28.72%、35.50%、26.47%、42.86%。随着微波功率的增大,优势霉菌的抑菌率也随之增加,微波功率升至630 W时,霉菌S₁、S₂、X₁、H₁的抑菌率达到最大,分别为92.25%、68.28%、100%、100%。这是由于微波功率越高,非热效应中的高频作用越强,从而破坏细胞结构,进而抑制霉菌生长^[13]。如图2b所示,固定微波功率为630 W,随着微波处理时间的延长,四种优势霉菌的抑菌率急剧升高。处理20 s时,霉菌S₁、S₂、X₁、H₁的抑菌率均达到100%,进一步增加微波处理时间,抑菌率保持不变。这是由于此时微波热效应占据主导作用,导致食品内部温度高于微生物的耐受程度从而造成其细胞死亡^[14,15]。

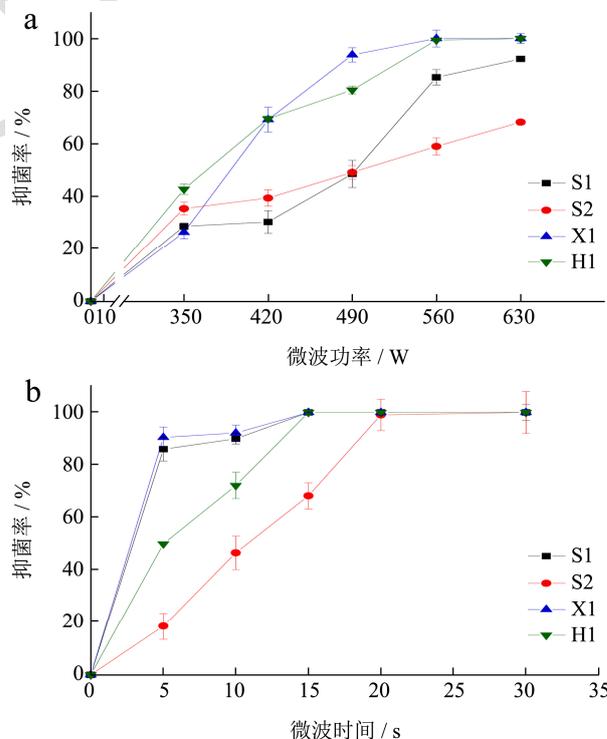


图2 微波处理的抑菌性

Fig.2 Bacteriostatic property of microwave treatment

2.1.2 微波处理对果脯理化品质的影响

如图3a所示,当微波功率由350 W增加至630 W时,话梅、葡萄干、杏脯3种果脯的水分含量由原来

的 23.67%、13.60%、26.91% 分别下降至 20.17%、9.42%、20.81%。廖亮等^[16]研究表明将杏脯水分含量控制在 20%±1% 范围内时, 放置 180 d 内霉菌对其影响较小, 而水分含量在 24% 左右时, 杏脯极易受到霉菌侵染, 微生物稳定性较差。这表明微波处理除了具有杀灭霉菌的作用外, 还可通过降低果脯的水分含量, 达到抑制微生物繁殖的目的。如图 2b 所示, 不同微波功率处理对于葡萄干、杏脯的水分活度影响较大, 随着微波功率增加, 葡萄干和杏脯的水分活度逐渐下降, 功率为 630 W 时达到最低, 分别为 0.50 和 0.69。而对话梅的影响较小, 水分活度仅下降了 0.02。果脯水分的损失主要是因为微波产生的热效应破坏了物料内部的蒸汽压, 使部分自由水被蒸发, 导致水分含量与水分活度下降^[17]。王爽等^[18]研究也得到类似的结果, 对低糖杏脯微波处理 120 s 时对霉菌的平均杀灭率为 85.51%, 但造成果脯水分损失, 当杏脯失水率为 6.65%, 水分活度为 0.65~0.80 时, 储藏期间细菌的生长繁殖受到抑制, 同时果脯具有较好的感官品质。

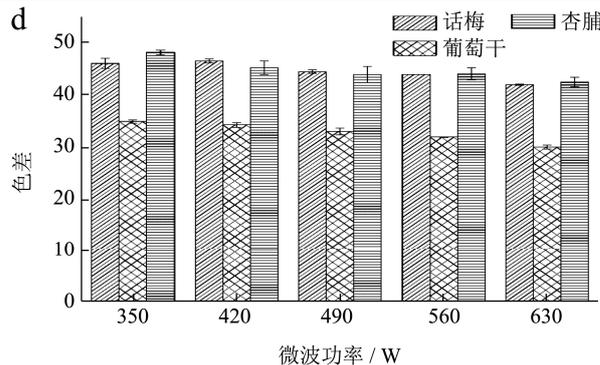
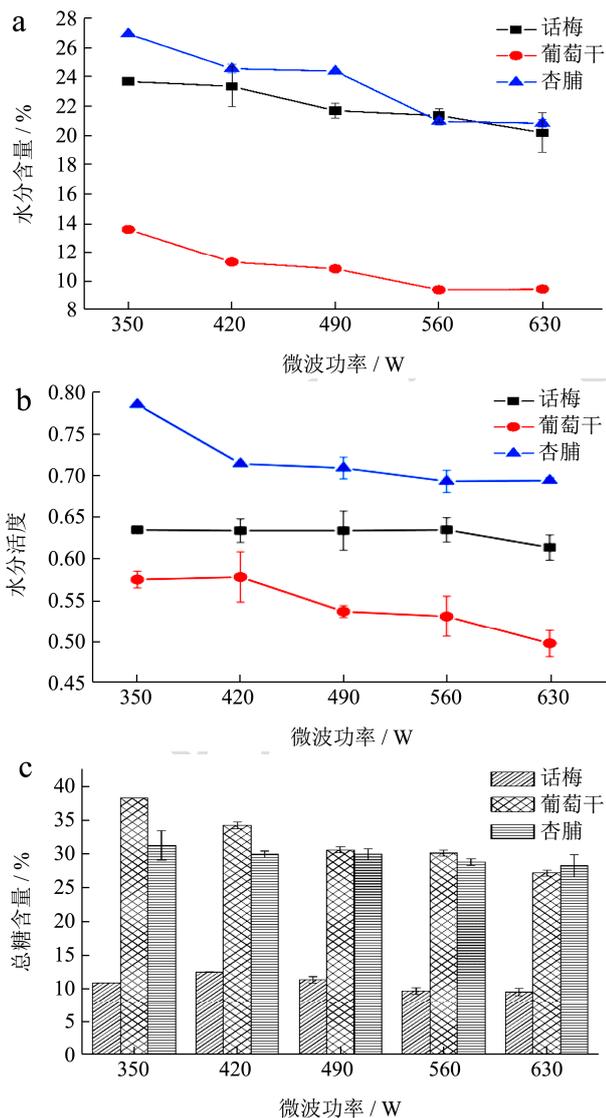


图 3 不同微波功率处理对 3 种果脯品质影响

Fig.3 Effect of different microwave power on the quality of three preserved fruits

如图 3c 所示, 话梅总糖含量随微波功率增加呈先上升后下降的趋势, 由 10.86% 升至 12.45% 而后降至 9.48%, 但整体变化幅度不大。而葡萄干总糖含量则大幅下降 11.13%, 这可能是由于微波热效应破坏糖结构中的醛基 (-CHO) 或酮基 (=CO=), 致使糖类分解^[19]。相比之下杏脯总糖含量仅下降 2.96%, 这可能是杏脯面积大, 介质水分布较为均匀, 所以受到热效应影响较小。如图 3d 所示, 3 种果脯话梅、葡萄干、杏脯的色差值 ΔE 均呈下降的趋势, 当微波功率为 350 W 时, 话梅、葡萄干、杏脯的 ΔE 分别为 45.88、34.77、47.99, 当微波功率升至 630 W 时, ΔE 分别降至 41.81、29.89、42.32。说明高功率的微波处理能明显影响果脯色泽, 原因可能是微波热效应使果脯内外部温度升高, 促使果脯发生非酶褐变, 色泽降低^[20]。

如图 4 所示, 随着微波处理时间的增加, 果脯水分含量下降, 微波处理 20 s 时, 话梅、葡萄干、杏脯的水分含量分别下降了 8.35%、3.33%、4.00%, 25 s 时分别下降了 10.12%、4.10%、3.63%。微波时间延长对于话梅、杏脯的水分活度略有起伏, 但整体影响不大, 均降低 0.02。而 25 s 时葡萄干的水分活度从 0.53 降至 0.48。这是由于随着微波时间延长, 果脯内部的温度升高并同时破坏果肉组织结构, 使自由水分加速挥发^[21]。微波处理对于总糖含量影响较大, 3 种果脯的总糖含量都呈现下降趋势, 处理 25 s, 话梅、葡萄干、杏脯分别下降 4.05%、3.85%、5.67%。处理 20 s 时分别下降了 3.73%、1.44%、4.21%。而色差值也随微波时间延长整体处于下降趋势, 但话梅与葡萄干下降幅度较小, 20 s 时分别降低 2.97、2.73, 而杏脯色差值下降 8.55。总糖含量下降与色差变差主要是由于果脯糖类含量较高, 微波热效应促使发生焦糖化反应^[22], 导致果肉开始褐变, 颜色加深。综上, 微波处理果脯 20 s 在达到最高抑菌率的同时维持较好的果脯品质。

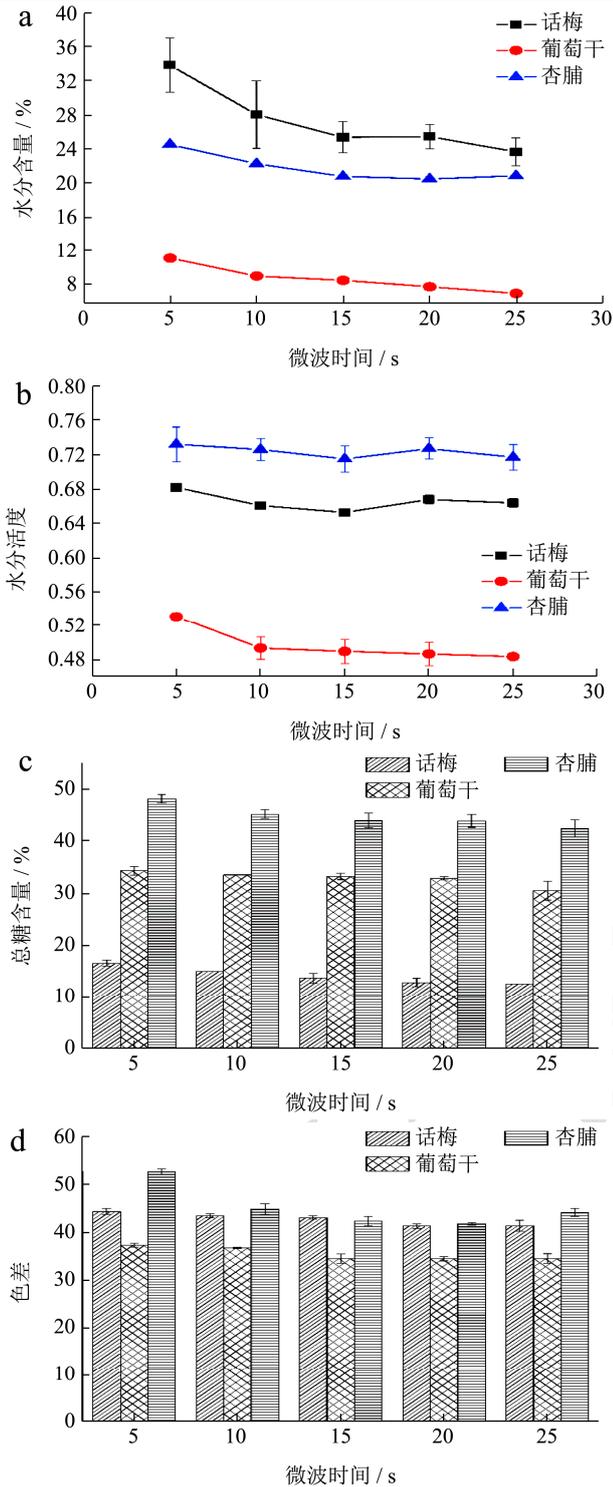


图4 不同微波处理时间对3种果脯品质影响

Fig.4 Effect of different microwave time on the quality of three preserved fruits

2.2 臭氧处理对果脯杀菌效果及品质影响

2.2.1 臭氧处理对霉菌抑菌效果的影响

四种霉菌菌液的臭氧杀菌效果如图5所示。由图5可知, 通入臭氧后, S₁、S₂、X₁、H₁的抑菌率急剧增长, 通入臭氧时间10 min时四种霉菌抑菌率趋于稳

定并达到最高值, 分别为73.17%、80.87%、83.33%、91.02%。王书兰等^[23]研究发现, 随着臭氧处理时间的延长, 脱水蒜片中菌落总数呈显著下降趋势, 处理60 min时抑菌效果达到最佳, 随后抑菌率保持恒定, 这是由于臭氧在常温中半衰期为30~40 min, 所以随着臭氧通入时间的增加, 抑菌率并不会继续增大。这与本研究得到的规律相似。

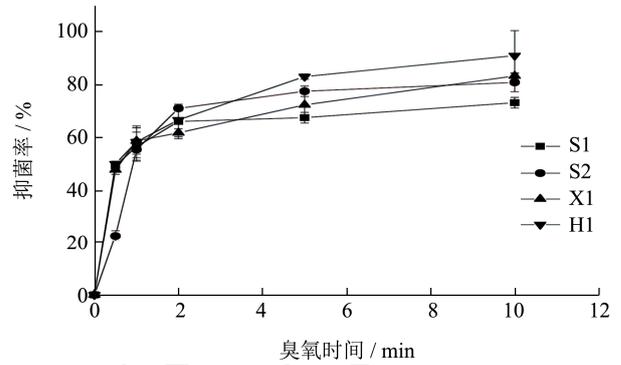
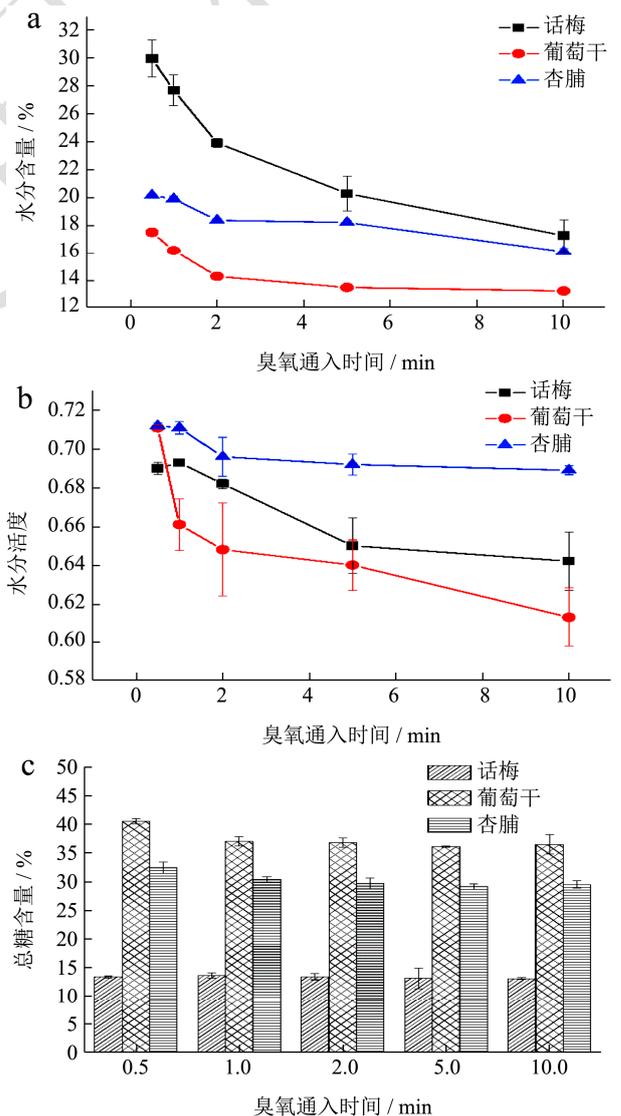


图5 不同臭氧处理时间抑菌性

Fig.5 Bacteriostasis of different ozone treatment time



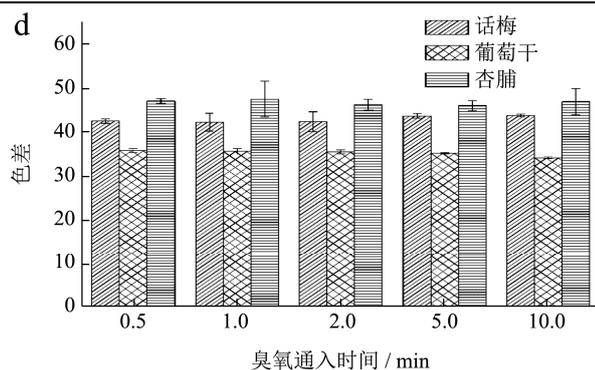


图6 臭氧处理时间对3种果脯品质影响

Fig.6 Effect of ozone treatment time on the quality of three preserved fruits

2.2.2 臭氧处理对果脯品质的影响

由图6可知,臭氧通入时间越长,三种果脯的水分含量越低,通入10 min,话梅、葡萄干、杏脯水分含量分别下降12.65%、4.26%、4.06%,话梅水分损失最大,是由于其表面空隙多,孔径大,利于臭氧进入,使物料内外部产生压力差,自由水有更多流动性,利于蒸腾作用发生^[24]。三种果脯的水分活度均随通入臭氧时间增加而下降,话梅与杏脯分别降低0.05与0.02,其中葡萄干的降幅最大,10 min下降了0.10,这是因为臭氧分子进入凉果内部,破坏了氢键连接的自由水,使其水分活度不断下降^[25,26]。臭氧处理时间对于话梅的总糖含量无显著影响仅降低0.29%,而葡萄干与杏脯的总糖含量在略微下降后逐渐趋于稳定,处理10 min,葡萄干下降了9.13%,杏脯减少了2.93%。通入臭氧后,葡萄干与杏脯的色差略微下降,分别降低1.64和0.13,但话梅的 ΔE 值有略微升高1.21。这与肖南等^[11]研究相似,臭氧处理的凤梨、姜片、橄榄色差值均略微上高,但对于果脯外观品质影响不大。张静林等^[27]研究也发现臭氧对于蒜片的色泽无明显变化,色差值均略微升高可能是因为非酶褐变造成的。

3 结论

本研究探究了不同微波和臭氧处理条件对于果脯中优势霉菌芽枝状枝孢霉、暗黄青霉、菌核青霉、细极链格孢的抑菌效果以及果脯品质的影响。结果表明随微波功率升高、微波处理时间以及臭氧通入时间延长,霉菌抑菌率随之升高。但微波效应使果脯内部自由水蒸发,水分含量与水分活度降低,同时加速了果脯糖类分解与褐变反应,使总糖含量下降,色差值升高。而臭氧分子进入果脯内部促进了蒸腾作用,也导致了果脯水分含量与水分活度下降,同时果脯总糖含量下降,色泽略微变差。综上,微波与臭氧处理均可有效抑制果脯霉菌生长,但都对果脯理化品质造成一

定影响,综合果脯各指标变化情况,最终选择微波功率630 W,微波时间20 s,通入臭氧10 min为最佳果脯杀菌条件,该研究结果为微波与臭氧杀菌技术在果脯加工贮藏过程中的实际应用提供了理论依据。

参考文献

- [1] 白卫东,梁娇,杨婉媛,等.广式果脯的降硫技术研究进展[J].农产品加工,2019,23:86-89.
- [2] 张娟,白雪,肖春玲,等.沙棘陈皮果脯的研制及品质特性分析[J].农产品加工,2019,12:11-15,18.
- [3] 梁喜玲.食品中二氧化硫残留量研究分析及预防措施[J].农产品加工,2021,16:52-54.
- [4] 李海霞,陈俊文,曾晓房,等.蔬菜叶绿体清除广式果脯中二氧化硫效果研究[J].农产品加工,2020,12:21-25.
- [5] Tee K Hock, Girma T Chala, How H Cheng, et al. An innovative hybrid steam-microwave sterilization of palm oil fruits at atmospheric pressure [J]. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2020, 60: 102289.
- [6] 毛雪杰,吴劲锋,李晓伟,等.微波技术对鲜榨西瓜汁杀菌效果的影响分析[J].中国农机化学报,2022,43(1):109-115.
- [7] 于华洋.低糖姜脯的保藏性研究[D].泰安:山东农业大学,2014.
- [8] 黄凯信,王楚茵,许剑华,等.微波杀菌技术在双华李和佛手加工中的应用[J].农产品加工,2019,16:32-34.
- [9] Cheng Gong, Li Zhang, Sun Liming, et al. Application of microwave/electrodeless discharge ultraviolet/ozone sterilization technology in water reclamation [J]. Process Safety and Environmental Protection, 2020, 138: 148-156.
- [10] Glowacz M C R R D. The use of ozone to extend the shelf-life and maintain quality of fresh produce [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2015, 4(95): 662-671.
- [11] 肖南,陈燕华,余小林.臭氧处理对降低3种果脯蜜饯成品SO₂残留量及细菌总数的效果[J].食品与发酵工业,2011,37(12):66-69.
- [12] 倪泽平,孙尧华,宋贤良.凉果中优势腐败霉菌的分离鉴定[J].现代食品科技,2022,38(6):90-95,342.
- [13] 潘志海,郭长凯,栾东磊.即食小龙虾的微波杀菌工艺研究及品质评价[J].食品工业科技,2021,42(21):221-230.
- [14] 董艳.药食两用三七防腐保鲜技术的研究[D].广州:广东工业大学,2016.
- [15] 王爽,周爱梅,杨小斌,等.双华李果脯热泵干燥工艺技术研究[J].食品工业科技,2017,38(12):227-232.
- [16] 廖亮,许建,李瑾瑜,等.低糖杏脯保藏性的研究[J].中国食物与营养,2013,19(5):23-26.
- [17] Pornpipat Yoosa, Ekkachart Hattha, Tanakorn Tantanawat.

- The effects of controlling the residual moisture content in oil palm fruits under microwave sterilization [J]. *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, 2018, 5(1): 63-68.
- [18] 王加园,加卫,何丽红,等.无硫低糖杏脯保藏性研究[J].*现代食品*,2021,13:83-87.
- [19] Maya Sarah, Isti Madinah, Siti Salamah. Response surface methodology to optimize microwave sterilization of palm fruit [J]. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, 1028(1): 012004.
- [20] 李昌宝,辛明,孙宇,等.杀菌方式对低盐腌渍黄瓜的品质影响[J].*食品工业科技*,2020,41(12):14-20.
- [21] 余秀丽.微波杀菌对番木瓜果浆品质的影响研究[D].海口:海南大学,2017.
- [22] 蔡舜扬,李琛,杨应楷.微波灭菌技术在果脯生产中应用的研究[J].*现代食品*,2019,7:63-67.
- [23] 王书兰.臭氧联合过热蒸汽对脱水蒜片减菌效果的研究[D].南京:南京农业大学,2015.
- [24] 刘玉莲.臭氧气体处理对馒头的保鲜效果研究[D].郑州:河南农业大学,2018.
- [25] 李柳燕.臭氧处理对小麦粉品质的影响[D].武汉:武汉轻工大学,2021.
- [26] Pinto L, Palma A, Cefola M, et al. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and gaseous ozone pre-packaging treatment on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of small berry fruit [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2020, 26: 100573.
- [27] 张静林,王书兰,陶阳,等.臭氧处理对脱水蒜片减菌效果及品质的影响[J].*食品工业科技*,2016,37(17):312-315,321.