

DOI: 10.13652/j.spjx.1003.5788.2024.80267

脉冲强光处理对泡泡青半干面贮藏品质的影响

叶濡箫¹ 江 蕾^{1,2} 吕庆云^{1,3,4} 蒋修军^{5,6} 刘亚东⁷

(1. 武汉轻工大学食品科学与工程学院, 湖北 武汉 430023; 2. 武汉商贸职业学院, 湖北 武汉 430205;
3. 农产品加工与转化湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430023; 4. 大宗粮油精深加工教育部重点实验室,
湖北 武汉 430023; 5. 湖北金银丰食品有限公司, 湖北 随州 441300; 6. 湖北香思里食品有限公司,
湖北 随州 441300; 7. 湖北宏信食品股份有限公司, 湖北 红安 438408)

摘要: [目的] 提升泡泡青半干面产品的贮藏品质。[方法] 通过调整处理脉冲能量、脉冲距离以及半干面贮藏时间, 分析各因素对泡泡青半干面贮藏品质的影响。通过对比微生物含量、色差、叶绿素含量、质构特性、水分分布以及蛋白质二级结构等指标, 确定脉冲强光处理泡泡青半干面的最佳参数。[结果] 脉冲强光处理泡泡青半干面的最佳工艺参数为脉冲能量 900 J、脉冲次数 20 次、脉冲距离 5 cm, 此条件下, 有效延长了半干面的保质期。与未处理组相比, 脉冲强光杀菌技术在提升半干面卫生质量的同时, 相同贮藏时间内硬度、咀嚼性等质构品质更好。[结论] 脉冲强光处理是延长泡泡青半干面保质期的有效方法之一。处理后的泡泡青半干面在一定贮藏期内保持了较低的菌落总数和较好的质构特性。

关键词: 脉冲强光; 泡泡青; 半干面; 杀菌; 贮藏品质

Effects of pulsed light treatment on storage quality of semidry noodles in bubble green

YE Ruxiao¹ JIANG Lei^{1,2} LU Qingyun^{1,3,4} JIANG Xiujun^{5,6} LIU Yadong⁷

(1. School of Food Science and Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei 430023, China;
2. Wuhan Institute of Commerce and Trade, Wuhan, Hubei 430205, China; 3. Hubei Key Laboratory for
Processing and Transformation of Agricultural Products, Wuhan, Hubei 430023, China; 4. Key Laboratory of
Grain and Oil Processing, Ministry of Education, Wuhan, Hubei 430023, China; 5. Hubei Jinyinfeng Food
Co., Ltd., Suizhou, Hubei 441300, China; 6. Hubei Xiangsili Food Co., Ltd., Suizhou, Hubei 441300, China;
7. Hubei Hongxin Food Co., Ltd., Hongan, Hubei 438408, China)

Abstract: [Objective] This study aimed to improve the on the storage quality of bubble green semidry noodles. [Methods] By adjusting the treatment pulse energy, pulse distance, and storage time of bubble green semidry noodles, the effects of these factors on the storage quality of bubble green semidry noodles were comprehensively analyzed. By comparing indicators such as microbial content, color difference, chlorophyll content, texture characteristics, moisture distribution, and protein secondary structure, the optimal parameters for pulsed light treatment of bubble green semidry noodles were determined. [Results] The optimal parameters for pulsed light treatment of bubble green semidry noodles were as followed: pulse energy of 900 J, pulse frequency of 20 times, and pulse distance of 5 cm. Under these conditions, effectively extending the shelf life of bubble green semidry noodles. Compared with the untreated group, pulsed light sterilization technology can improve the hygiene quality of semidry noodles and maintain better hardness, chewiness of texture qualities during the same storage time. [Conclusion] Intense pulsed light treatment is one of the effective methods to extend the shelf life of semi-dried Paopaoqing noodles. The semi-dried Paopaoqing noodles after treatment maintained a relatively low total number of colonies and better texture characteristics within a certain storage period.

基金项目: 湖北省揭榜制粮食科技项目(编号:2023HBLSKJ007); 湖北省重点研发计划项目(编号:2022BAD128); 湖北省中央引导地方科技发展专项(编号:2022BGE247)

通信作者: 吕庆云(1980—), 男, 武汉轻工大学副教授, 博士。E-mail: lqingy2018@whpu.edu.cn

收稿日期: 2024-03-20 **改回日期:** 2024-11-27

Keywords: pulsed light; bubble green; semidry noodles; sterilization; storage quality

由于具有高水分含量和独特口感,半干面容易成为微生物繁殖的温床,导致货架期短,影响食用安全性。尽管目前已有多种保鲜技术,包括物理、化学和生物方法,但均有一定的局限性,如化学保鲜可能带来残留问题,而生物方法的效率可能受限^[1-2]。脉冲强光杀菌技术作为一种新兴的非热杀菌手段,以其瞬时高强度的光能杀灭微生物,具有处理时间短、无残留污染和操作安全等优点,已被应用于柿子^[3]、香肠^[4]和湿米粉^[5]等食品保鲜,但在蔬菜、半干面等领域的研究尚未见报道。

泡泡青是一种特色蔬菜。泡泡青粉通常是以泡泡青为原料经清洗、干燥等加工制成。泡泡青半干面是以泡泡青粉和面粉为主要原料制作而成的半干面条。研究拟分析脉冲强光对泡泡青半干面贮藏品质的影响,包括微生物指标、色差、叶绿素含量、质构特性、水分分布以及蛋白质二级结构等指标,以期为半干面的保鲜提供一种科学、有效的物理处理方法。

1 材料与方法

1.1 试验材料

泡泡青粉:根据吴静仪等^[6]的方法通过冷冻干燥法制备,过100目筛;

面粉:中筋粉,粉质质量指数 88.5 ± 0.71 ,河北金沙河有限公司;

平板技术琼脂、马铃薯葡萄糖琼脂:海博生物科技有限公司;

丙酮等均为国产分析纯。

1.2 仪器与设备

脉冲强光杀菌试验柜:ZW-Y2-D1TA型,深圳市显控科技股份有限公司;

质构仪:TA. TOUCH型,上海保圣实业发展有限公司;

低场核磁:NMI20-040V-I型,苏州纽迈分析仪器股份有限公司;

傅里叶红外光谱仪:NEXUS670型,Thermo Nicolet Corporation;

色差计:CS-10型,杭州彩谱科技有限公司;

紫外分光光度计:TU-1900型,北京普析通用仪器有限责任公司;

酶标仪:Enspire型,美国PerkinElmer公司;

真空冷冻干燥机:LJG-18型,北京松源华兴科技发展有限公司;

立式压力蒸气灭菌锅:YXQ-50SII型,上海博迅实

业有限公司;

生化培养箱:SPX-250B-Z型,上海博迅实业有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 泡泡青半干面制备工艺 参考文献[6]。根据预试验,采用泡泡青粉、面粉、水、食盐等原料,通过和面、醒发(30℃,相对湿度80%,30 min)、压面、切面等步骤制备半干面,制备的生湿面在30℃的烘箱(烘箱加热至100℃杀菌后冷却至30℃)中干燥至水分含量 $(20.0 \pm 1.0)\%$,密封袋内喷酒精杀菌后装袋密封,保存在4℃的冰箱中。泡泡青粉、水、食盐的添加量分别为面粉质量的2.0%,36.0%,1.9%。

1.3.2 泡泡青半干面脉冲强光杀菌处理 固定脉冲能量800 J,脉冲次数15次,脉冲距离10 cm,分别考察脉冲能量(600,700,800,900,1 000 J)、脉冲次数(5,10,15,20,25次)和脉冲距离(5.0,7.5,10.0,12.5,15.0 cm)对泡泡青半干面中菌落总数、霉菌和酵母数的影响。以未经脉冲强光处理的泡泡青半干面作对照,重复3次试验。

1.3.3 脉冲强光对泡泡青半干面贮藏品质的影响 以1.3.2最佳工艺参数处理泡泡青半干面,并于4℃分别贮藏0,3,5,7 d,未处理的泡泡青半干面为对照,分析贮藏品质变化。

1.3.4 微生物指标测定

(1) 菌落总数:根据GB 4789.2—2022。

(2) 霉菌和酵母数:根据GB 4789.15—2016。

1.3.5 杀菌率计算 按式(1)分别计算菌落总数、霉菌和酵母的杀菌率。

$$R = \frac{N - N_0}{N}, \quad (1)$$

式中:

R ——杀菌率,%;

N ——灭菌前的微生物数,个;

N_0 ——灭菌后的微生物数,个。

1.3.6 色差测定 根据徐国良^[7]的方法略修改。将延压好的面片切成 $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$,测定正反面不同位置的颜色值(L^* , a^* 和 b^*)。将包装好的泡泡青半干面于4℃贮藏,间隔7 d取样记录颜色值,并按式(2)计算色差。

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

式中:

ΔE^* ——贮藏一定时间后泡泡青半干面的褐变程度;

ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* ——贮藏一定时间的泡泡青半干面与刚制作的泡泡青半干面的颜色差值。

1.3.7 叶绿素含量测定 根据程玲玲等^[8]的方法,按式(3)~式(5)分别计算总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 含量。

$$C_T = 20.21D_{645} + 8.02D_{663}, \quad (3)$$

$$C_a = 12.7D_{663} - 2.69D_{645}, \quad (4)$$

$$C_b = 22.9D_{645} - 4.68D_{663}, \quad (5)$$

式中:

C_T ——总叶绿素质量浓度,mg/L;

C_a ——叶绿素 a 质量浓度,mg/L;

C_b ——叶绿素 b 质量浓度,mg/L。

1.3.8 质构特性 根据田晓红等^[9]的方法适当修改。取 20 根泡泡青半干面,沸水煮至最佳蒸煮时间,用流动的自来水反复冲洗 3 次。试验参数:P/36R 探头,测前速度 2 mm/s,测试速度 0.8 mm/s,测后速度 0.8 mm/s,应力形变 75%,触发力 0.049 N,两次压缩时间间隔 5 s,数据采集 500 次/s。

1.3.9 水分分布 根据李立华等^[10]的方法适当修改。取 10 g 样品用保鲜膜包裹。测定程序:Q-CPMG 序列,采样时间间隔 2 000 ms,回波时间 0.1 ms,回波个数 1 000,重复扫描次数 8 次,通过 T_2 反演程序得到 T_2 弛豫图谱,重复试验 3 次。

1.3.10 蛋白质二级结构 根据苏靖等^[11]的方法适当修改。将泡泡青半干面冻干磨成粉备用,红外光谱全波扫描 400~4 000 cm^{-1} ,扫描次数 64,每个样品重复 3 次。

1.4 数据处理

采用 Excel 2019、Origin Pro 2021 和 SPSS 20 软件进行数据处理和分析,结果以平均值±标准差表示。利用 PeakFit Version 软件对傅里叶红外图谱进行处理分析,经基线校正后进行高斯去卷积处理,再进行二阶导数曲线拟合,得出二级结构分布图。

2 结果与分析

2.1 脉冲能量对泡泡青半干面杀菌效果的影响

由图 1 可知,脉冲强光能量与泡泡青半干面杀菌效果呈正相关,与王勃等^[12]的研究趋势一致。当脉冲能量为 600~900 J 时,菌落总数、霉菌和酵母杀菌率均呈快速上升趋势。当脉冲能量为 900 J 时,菌落总数杀菌率达 61.29%、霉菌和酵母数杀菌率为 51.72%;当脉冲能量为 1 000 J 时,杀菌率增加不明显。王龔等^[13]认为,脉冲强光杀菌主要是通过光化学效应作用,阻碍 DNA 复制和细胞分裂,从而起到抗菌作用。在 900 J 的脉冲能量下,杀菌率的提升达到一个平台,可能是由于微生物的光敏感性达到饱和,或脉冲强光的穿透能力在一定阈值后趋于平稳。

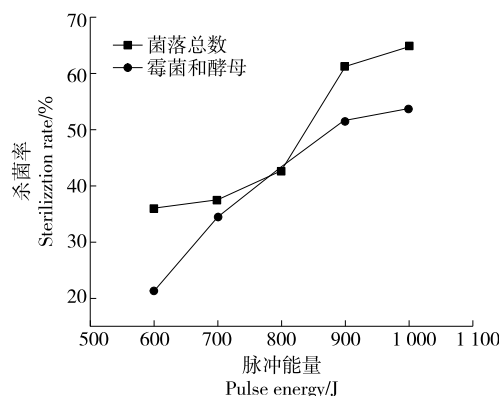


图 1 脉冲能量对泡泡青半干面杀菌效果的影响

Figure 1 Effects of pulse energy on the sterilization of bubble green fresh noodles

2.2 脉冲次数对泡泡青半干面杀菌效果的影响

由图 2 可知,随着脉冲次数的增加,泡泡青半干面杀菌率逐渐增加。当脉冲次数由 20 次增加至 25 次时,泡泡青半干面菌落总数杀菌率上升不明显,与唐明礼等^[14]的研究结果一致。表明脉冲次数的增加提高了杀菌率,但当脉冲次数达到 20 次后,杀菌率增加速度放缓。这可能是微生物已被有效杀灭,进一步增加脉冲次数并不会带来额外的杀菌效益,同时也避免了过度处理对产品品质造成的损害。

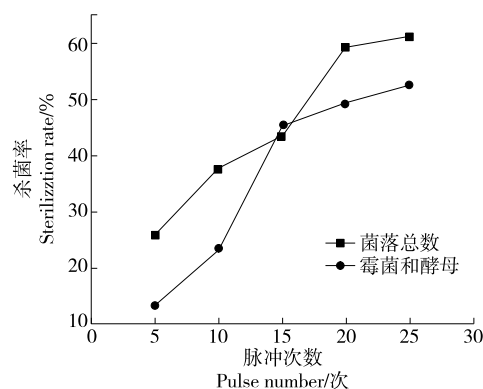


图 2 脉冲次数对泡泡青半干面杀菌效果的影响

Figure 2 Effects of pulse times on the sterilization of bubble green fresh noodles

2.3 脉冲距离对泡泡青半干面杀菌效果的影响

由图 3 可知,泡泡青半干面菌落总数、霉菌和酵母的杀菌率随脉冲距离的增加而降低,与 Li 等^[15]的研究结果一致。随着脉冲距离的增加,泡泡青半干面霉菌和酵母的杀菌率下降趋势最为明显。当脉冲距离为 5 cm 时,泡泡青半干面的杀菌率最高,菌落总数杀菌率为 68.71%、霉菌和酵母杀菌率为 56.00%。表明脉冲距离越近,杀菌效

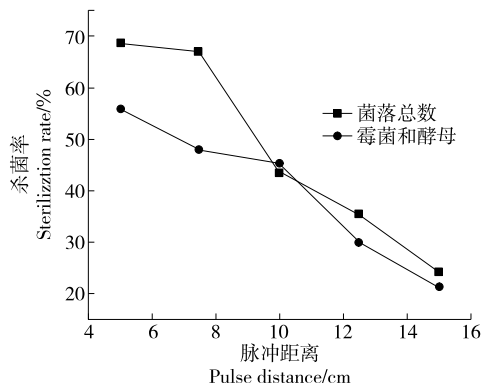


图3 脉冲距离对泡泡青半干面杀菌效果的影响

Figure 3 Effects of pulse distance on the sterilization of bubble green fresh noodles

果越好。这可能是由于脉冲强光的强度随着距离的增加而衰减。然而,过近的距离可能会对产品造成热损伤或其他不利影响,因此在确定最佳脉冲距离时需要平衡杀菌效果和产品质量保护。

2.4 脉冲强光对泡泡青半干面色泽的影响

由表1可知,脉冲强光处理对泡泡青半干面色差值未产生显著影响。Alexandra等^[16]发现,低剂量脉冲强光不会对鲜切苹果的色泽造成影响。贮藏过程中,对照组和脉冲强光处理的泡泡青半干面的褐变程度基本一致,与Pataro等^[17]的研究结论类似。

2.5 脉冲强光对泡泡青半干面叶绿素含量的影响

由图4可知,无论是贮藏初期还是贮藏过程中,对照

组和脉冲强光处理组的泡泡青半干面的叶绿素含量曲线差异较小,与色差值的变化趋势一致。4℃贮藏过程中,泡泡青半干面叶绿素含量随贮藏时间的延长而降低。

2.6 脉冲强光对泡泡青半干面质构特性的影响

由图5可知,当贮藏时间为0,3,5 d时,脉冲强光处理的泡泡青半干面的硬度显著高于未处理组,说明脉冲强光杀菌技术可在不影响成品感官品质情况下达到灭菌保鲜的目的^[12,18]。随着贮藏时间的延长,泡泡青半干面的硬度、咀嚼性均呈不同程度的降低,而对照组经脉冲强光处理后在相同贮藏时间的硬度、咀嚼性等质构特性保持较好。

2.7 脉冲强光对泡泡青半干面水分分布的影响

由图6可知,脉冲强光对泡泡青半干面的水分弛豫时间无显著影响。贮藏后,低场核磁共振分布图峰信号强度明显减弱,与Chen等^[19]的研究结果相似。由表2可知,脉冲强光处理组和对照组的各部分水分与总水分峰面积比值无显著变化。随着贮藏时间的延长,泡泡青半干面的 A_{21} 降低, A_{22} 、 A_{23} 增加,说明部分强结合水向弱结合水或自由水转移^[20]。

2.8 脉冲强光对泡泡青半干面蛋白质二级结构的影响

由图7和表3可知,脉冲强光对泡泡青半干面蛋白质二级结构无影响。4℃下贮藏7 d后,泡泡青半干面傅里叶红外光谱图特征峰光吸收均减弱。贮藏7 d后,脉冲强光组和对照组的 β -折叠、 α -螺旋含量明显降低,无规卷曲、 β -转角含量增加。田芳等^[5]研究表明,脉冲强光处理在货

表1 脉冲强光对泡泡青半干面色泽的影响

Table 1 Effects of pulsed light on the color of bubble green fresh noodles

组别	L^*	a^*	b^*	$\Delta E^*_{0-3 d}$	$\Delta E^*_{0-5 d}$	$\Delta E^*_{0-7 d}$
脉冲组	52.75±0.55	-16.20±0.63	33.15±0.53	2.83±0.24	4.87±0.62	7.98±1.32
对照组	53.05±0.11	-17.39±0.10	34.58±0.31	2.91±0.43	5.56±0.15	8.73±0.63

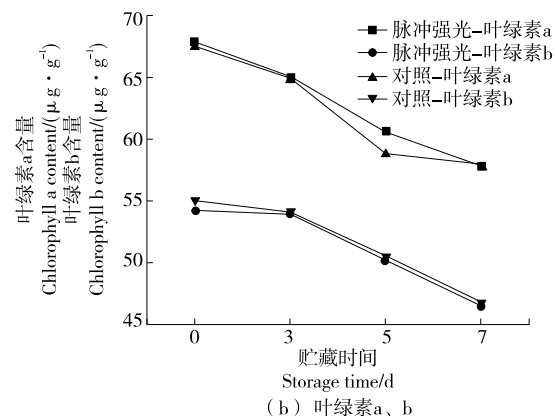
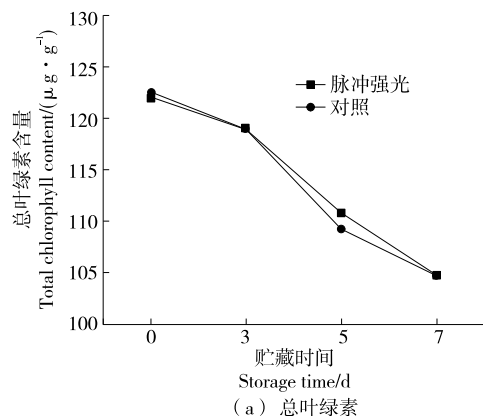


图4 脉冲强光对泡泡青半干面叶绿素含量的影响

Figures 4 Effects of pulsed light on chlorophyll content of bubble green fresh noodles

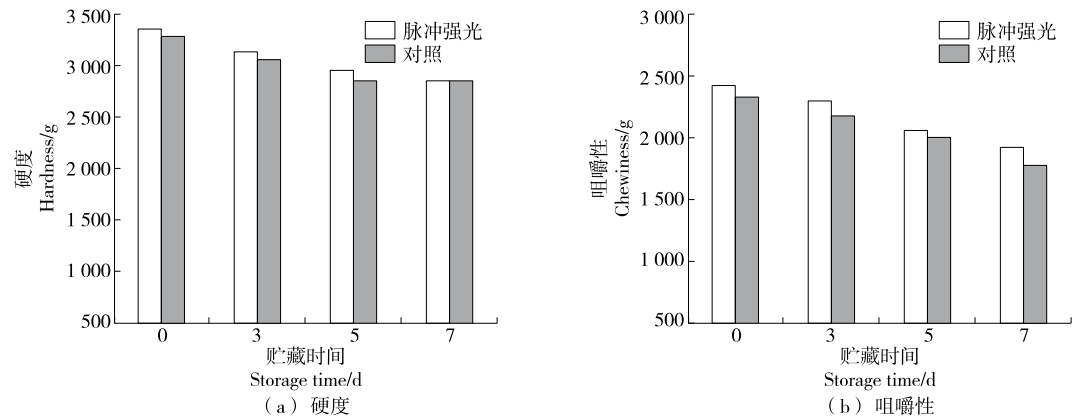


图 5 脉冲强光对泡泡青半干面质构特性的影响
 Figure 5 Effects of pulsed light on quality of bubble green fresh noodles

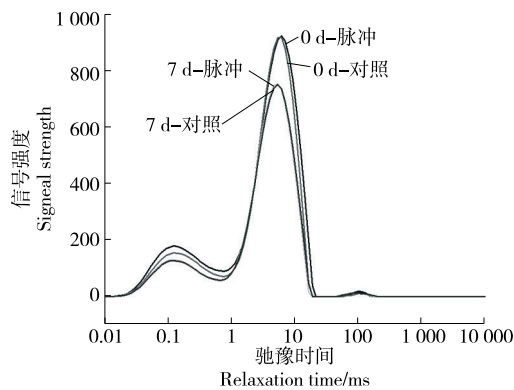


图 6 脉冲强光对泡泡青半干面水分弛豫时间的影响
 Figure 6 Effects of pulsed light on moisture relaxation time of bubble green fresh noodles

色泽、叶绿素含量、质构特性、水分分布和蛋白质二级结构均未产生显著影响,表明该技术是一种温和的非热处理方法,适合于对热敏感的食品进行保鲜。

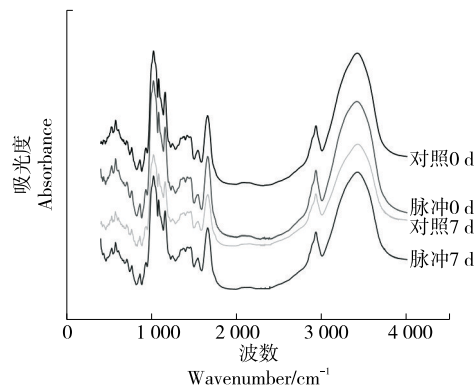


图 7 泡泡青半干面傅里叶红外光谱图
 Figure 7 Fourier infrared spectra of bubble green fresh noodles

架期内对湿米粉稳定性无显著影响,不会影响湿米粉品质,与试验结果一致。

在品质分析方面,脉冲强光处理对泡泡青半干面的

表 2 脉冲强光对泡泡青半干面水分分布的影响						
Table 2 Effects of pulsed light on moisture distribution of bubble green fresh noodles						
组别	第 0 天			第 7 天		
	A_{21}	A_{22}	A_{23}	A_{21}	A_{22}	A_{23}
脉冲组	20.93±0.06	78.54±0.08	0.53±0.02	18.60±0.59	80.29±0.11	0.73±0.01
对照组	20.00±0.58	79.46±0.61	0.55±0.03	18.39±0.30	80.86±0.33	0.74±0.02

表 3 脉冲强光对泡泡青半干面蛋白质二级结构含量的影响 [†]								
Table 3 Changes in protein secondary structure content of bubble green fresh noodles by pulsed light								
组别	第 0 天				第 7 天			
	β -折叠	无规卷曲	α -螺旋	β -转角	β -折叠	无规卷曲	α -螺旋	β -转角
脉冲组	30.44±0.14	18.05±0.57 ^a	13.15±1.15	27.89±0.63	29.60±0.08	18.21±1.08	12.39±0.07	31.28±0.36
对照组	30.57±0.41	19.07±1.03 ^b	14.00±0.63	28.31±0.12	30.20±0.43	18.32±0.62	11.98±0.06	31.67±0.50

[†] 字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

2.9 脉冲强光对泡泡青半干面贮藏过程中微生物数量的影响

由图8可知,脉冲强光能降低泡泡青半干面中菌落总数、霉菌和酵母数。贮藏初期,脉冲强光处理后的泡泡青半干面菌落总数减少了0.55 lg(CFU/g),霉菌和酵母数减

少了0.41 lg(CFU/g)。贮藏过程中,脉冲强光处理组的微生物含量均低于对照组,说明贮藏7 d内脉冲强光处理半干面均具有一定贮藏优势^[21]。因此,微生物含量的显著降低进一步证实了脉冲强光技术在保持食品安全性方面的潜力。

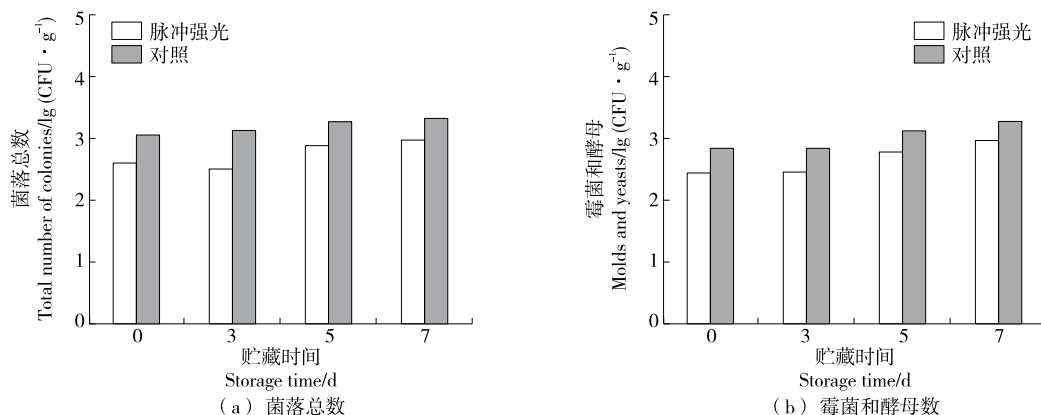


图8 脉冲强光对泡泡青半干面微生物数量的影响

Figure 8 Effects of pulsed bright light on the total number of microorganism of bubble green fresh noodles

3 结论

脉冲强光处理泡泡青半干面的最佳工艺参数为脉冲能量900 J、脉冲次数20次、脉冲距离5 cm,此条件下,脉冲能量、脉冲次数和脉冲距离对泡泡青半干面的杀菌效果有显著影响,其中脉冲能量与杀菌效果呈正相关。脉冲强光处理不仅显著降低了半干面中的微生物含量,在贮藏期间维持了较低的微生物水平,表明该技术在实际应用中具有显著的保鲜优势。此外,脉冲强光处理对半干面的色泽、叶绿素含量、质构特性、水分分布和蛋白质二级结构均未产生不利影响,证实了该技术对产品品质的保护作用。后续应关注该技术在不同食品类型中的适用性,以及在实际生产环境中的实施效果和成本效益分析。

参考文献

- [1] 张庆霞. 非热杀菌技术在生鲜湿面防腐保鲜中的应用研究现状[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(19): 289-294.
- [2] 孙子钦, 王燕, 吴卫国, 等. 生湿面保鲜技术研究现状[J]. 食品与机械, 2019, 35(2): 226-230.
- [3] DENOYA G I, PATARO G, FERRARI G. Effects of postharvest

pulsed light treatments on the quality and antioxidant properties of persimmons during storage[J]. Postharvest Biology and Technology, 2020, 160: 111055.

- [4] UESUGI A R, MORARU C I. Reduction of *Listeria* on ready-to-eat sausages after exposure to a combination of pulsed light and nisin[J]. Journal of Food Protection, 2009, 72(2): 347-353.
- [5] 田芳, 李勇, 唐娇艳, 等. 脉冲强光杀菌技术在湿米粉中的应用研究[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(9): 51-53, 57.
- [6] 吴静仪, 冯红, 吕庆云, 等. 泡泡青蔬菜粉对面粉、面团性质影响及其挂面加工工艺优化[J]. 食品工业科技, 2023, 44(19): 244-251.
- [7] 徐国良. 绿茶生鲜面的品质调控研究[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(8): 19-22.
- [8] 程玲玲, 朱科学, 郭晓娜. 酸度调节剂对菠菜生湿面褐变及品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2022, 37(2): 25-31.
- [9] CHENG L L, ZHU K X, GUO X N. Effects of acidity regulators on browning and quality of fresh spinach noodles[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2022, 37

- (2): 25-31.
- [9] 田晓红, 谭斌, 吴娜娜, 等. 马铃薯泥和面对挂面品质的影响[J]. 中国食品学报, 2021, 21(8): 193-199.
- TIAN X H, TAN B, WU N N, et al. Effect of cooked mashed potato on dry noodle quality[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(8): 193-199.
- [10] 李立华, 周文化, 邓航. 乳化剂对鲜湿面货架期内水分迁移及热力学影响[J]. 食品科学, 2018, 39(12): 140-145.
- LI L H, ZHOU W H, DENG H. Effects of emulsifiers on moisture migration and thermodynamics in fresh noodles during shelf life[J]. Food Science, 2018, 39(12): 140-145.
- [11] 苏靖, 石晶红, 王金帅, 等. 基于红外光谱分析河套春小麦储藏期蛋白质二级结构变化[J]. 粮食与油脂, 2021, 34(11): 24-27, 35.
- SU J, SHI J H, WANG J S, et al. Changes in secondary structure of Hetao spring wheat protein under storage analyzed by Fourier transform infrared spectroscopy[J]. Cereals & Oils, 2021, 34(11): 24-27, 35.
- [12] 王勃, 赵旭, 朱力杰, 等. 响应面法优化脉冲强光杀灭干豆腐细菌条件的研究[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(2): 92-96, 102.
- WANG B, ZHAO X, ZHU L J, et al. Optimization of pulsed light sterilization conditions of bacterium from dry bean curd using response surface method[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2015, 30(2): 92-96, 102.
- [13] 王龔, 郑勇, 杨开. 脉冲强光在食品杀菌中的应用研究进展[J]. 中国食品学报, 2021, 21(9): 397-408.
- WANG Y, ZHENG Y, YANG K. Research progress on application of pulsed light in food sterilization[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2021, 21(9): 397-408.
- [14] 唐明礼, 王勃, 刘贺, 等. 脉冲强光对煎饼中细菌的杀菌效果的研究[J]. 食品工业科技, 2014, 35(8): 272-275, 282.
- TANG M L, WANG B, LIU H, et al. Study on sterilization effect of pulsed light on bacteria in pancake[J]. Science and Technology of Food Industry, 2014, 35(8): 272-275, 282.
- [15] LI X J, ZHANG J, LIU X L, et al. Effect of pulsed light treatment on the physicochemical properties of wheat flour and quality of fresh wet noodles[J]. Cereal Chemistry, 2022, 99(4): 920-930.
- [16] ALEXANDRA I, LARA M, MICHELA M, et al. Surface decontamination of fresh-cut apple by pulsed light: effects on structure, colour and sensory properties[J]. Postharvest Biology and Technology, 2014, 91: 122-127.
- [17] PATARO G, MUÑOZ A, PALGAN I, et al. Bacterial inactivation in fruit juices using a continuous flow Pulsed Light (PL) system[J]. Food Research International, 2011, 44(6): 1 642-1 648.
- [18] LI M, MA M, ZHU K X, et al. Delineating the physico-chemical, structural, and water characteristic changes during the deterioration of fresh noodles[J]. Food Chemistry, 2017, 216: 174-183.
- [19] CHEN J L, FAN Y Q, ZHANG X G, et al. Effect of antifreeze protein on the quality and microstructure of frozen chicken breasts[J]. Food Chemistry, 2023, 404: 134555.
- [20] QIAO C C, TIAN X H, WANG L X, et al. Quality characteristics, texture properties and moisture migration of fresh brown rice noodles under different storage and temperatures conditions[J]. Journal of Cereal Science, 2022, 104: 103434.
- [21] 张瑞雪, 张文桂, 管峰, 等. 脉冲强光在食品工业中的研究和应用进展[J]. 食品科学, 2017, 38(23): 305-312.
- ZHANG R X, ZHANG W G, GUAN F, et al. Advances in research and application of pulsed light in food industry[J]. Food Science, 2017, 38(23): 305-312.