

# 超高压对湿粉条腐败菌的杀菌效果及品质变化

毕秀芳<sup>1\*</sup>, 陈燕<sup>2</sup>, 焦文成<sup>2</sup>, 王晓琼<sup>2</sup>

(1. 西南民族大学食品科学与技术学院, 四川成都 610041)

(2. 西华大学食品与生物工程学院, 四川成都 610039)

**摘要:** 实验研究了不同超高压条件对湿粉条中腐败霉菌黑曲霉 (*Aspergillus* 305.01 和 *Aspergillus* 305.02) 杀菌效果以及对粉条蒸煮特性的影响。实验结果表明随着处理压力升高和时间延长, 超高压对黑曲霉的杀菌效果增强。经 400 MPa/10 min 的超高压处理后, 粉条的 *Aspergillus* 305.01 与 *Aspergillus* 305.02 均下降了 6.01 个对数值; 与未处理菌悬液相比, *Aspergillus* 305.01 和 *Aspergillus* 305.02 的核酸吸光值分别从 0.03 和 0.04 增加至 0.56 和 0.48、蛋白质吸光值分别从 0.04 和 0.08 增加至 0.70 和 0.44、电导率分别从 0.04 mS/cm 和 0.06 mS/cm 增加至 0.12 mS/cm 和 0.20 mS/cm。在 400 MPa 处理下, 提高超高压处理时间, 电导率、核酸损失和蛋白质损失增多, 表明超高压是通过改变细胞膜的部分功能, 引起胞内核酸、蛋白质和电解质等物质流出, 从而导致细胞死亡。此外, 随着处理时间增加, 粉条的煮沸损失、膨润度增大, 而断条率变化不显著。综合超高压对湿粉条的杀菌效果和蒸煮特性的影响, 400 MPa 处理 10 min 是湿粉条杀菌的较优条件, 为超高压改善湿粉条的杀菌效果和品质提供了理论依据。

**关键词:** 超高压; 湿粉条; 黑曲霉; 蒸煮特性

文章编号: 1673-9078(2024)05-127-133

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.5.0551

## Bactericidal Effect of Ultra-high Pressure on the Spoilage Mold of Wet Starch Vermicelli and Its Induced Quality Changes

BI Xiufang<sup>1\*</sup>, CHEN Yan<sup>2</sup>, JIAO Wencheng<sup>2</sup>, WANG Xiaoqiong<sup>2</sup>

(1. College of Food Science and Technology, Southwest Minzu University, Chengdu 610041, China)

(2. School of Food and Bioengineering, Xihua University, Chengdu 610039, China)

**Abstract:** The effects of different UHP conditions on the inactivation of the spoilage molds, *Aspergillus niger* (*Aspergillus* 305.01 and *Aspergillus* 305.02), in wet starch vermicelli and the cooking characteristics of wet starch vermicelli were studied. The experimental results showed that the inactivation effect of UHP on *Aspergillus niger* increased as the treatment pressure and time increased. After the UHP treatment at 400 MPa/10 min, both the *Aspergillus* 305.01 and *Aspergillus* 305.02 of the vermicelli decreased by 6.01 log<sub>10</sub> CFU/mL. Compared with the untreated bacterial suspensions, the nucleic acid absorbance values corresponding to *Aspergillus* 305.01 and *Aspergillus* 305.02 increased from 0.03 and 0.04 to 0.56 and 0.48, respectively, the protein absorbance values increased from 0.04 and 0.08 to 0.70 and 0.44, respectively, and the conductivity increased from 0.04 mS/cm and 0.06 mS/cm to 0.12 mS/cm and 0.20 mS/cm, respectively. Under the 400 MPa treatment, increasing the UHP treatment time led to increases of conductivity, nucleic acid loss and protein loss. The results showed that UHP could induce the outflow

引文格式:

毕秀芳,陈燕,焦文成,等.超高压对湿粉条腐败菌的杀菌效果及品质变化[J].现代食品科技,2024,40(5):127-133.

BI Xiufang, CHEN Yan, JIAO Wencheng, et al. Bactericidal effect of ultra-high pressure on the spoilage mold of wet starch vermicelli and its induced quality changes [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(5): 127-133.

收稿日期: 2023-05-11

基金项目: 西南民族大学科研启动金项目 (RQD2023008); 四川省自然科学基金项目 (2022NSFSC1705)

作者简介: 毕秀芳 (1990-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 果蔬非热加工理论研究、农产品贮藏与加工研究, E-mail: bxf1221@163.com

of intracellular substances such as nucleic acids, proteins and electrolytes, thereby causing cells death, through altering partial function of the cell membrane. In addition, as the processing time prolonged, the boiling loss and swelling degree of the vermicelli increased, whilst the breakage rate changed insignificantly. Based on the effect of UHP on the sterilization effect and cooking characteristics of wet starch vermicelli, the treatment at 400 MPa for 10 min was a better approach for sterilizing wet starch vermicelli, which provides a theoretical basis for UHP to improve the sterilization effect and quality of wet starch vermicelli.

**Key words:** ultra-high pressure; wet starch vermicelli; *Aspergillus niger*; cooking characteristics

粉条是我国民间大众喜爱的传统食品之一,其历史悠久,因各地粉条的制作方法各有不同,粉条又称为冬粉、凉粉等,按照水分含量的不同,又可分为干粉条和湿粉条<sup>[1]</sup>。粉条原料丰富价格便宜,成品口感风味好,在国内和国际市场都很畅销。随着人们对健康、营养、安全方便的需求不断增加,对粉条需求也随之增加。由于湿粉条的水分含量和碳水化合物较高,微生物极易生长繁殖,贮藏期较短,贮藏后期粉条会变酸发霉<sup>[2]</sup>。目前,针对湿粉条的保鲜多为高温高压技术,虽然能延长粉条的保质期,但会影响产品的理化品质和营养成分<sup>[3]</sup>。

超高压技术(Ultra-high Pressure, UHP)又称为高压技术或高静水压技术,是一种冷杀菌技术,通常以水为压力介质,利用100~1 000 MPa的压力对食品进行杀菌<sup>[4]</sup>。相较于热杀菌而言,超高压技术能更好的保持被加工食品的风味组成、营养成分和原有的性状,减少热敏成分的损失,且不会产生蒸煮味<sup>[5,6]</sup>。霉菌对压力较敏感,耐压性较低,超高压可以杀灭食品中的霉菌,有效降低产品初始含菌量,从而延长其货架期,因此超高压被广泛应用于食品灭霉<sup>[7]</sup>。研究表明,苹果汁<sup>[8]</sup>和草莓汁<sup>[9]</sup>经300 MPa超高压处理后,霉菌和酵母菌基本被全部杀灭。郭豪宁等<sup>[10]</sup>研究发现超高压处理对峰甘板栗的霉菌酵母有显著抑制作用,且微生物的抑制及杀灭与超高压水平和处理时间有关。超高压杀菌主要是通过破坏微生物的细胞膜和细胞壁,导致大量细胞质和细胞器流出,最终导致细胞死亡<sup>[11]</sup>,而霉菌的耐压性低,所以超高压对霉菌的杀菌效果较好。然而,超高压处理在食品加工中也存在一定的局限性,如降低食品的硬度。黄欢<sup>[12]</sup>研究发现,超高压处理导致鲜切马铃薯的硬度显著下降( $P<0.05$ )。

目前,超高压被广泛应用于果蔬汁加工和果蔬保鲜,较少应用于鲜湿产品。霉变是湿粉条品质变化的关键因素之一,而超高压对霉菌的杀菌效果较好,此外,非热杀菌可以降低对粉条色泽和粘弹性的影响,保障粉条的品质<sup>[3]</sup>。因此,本研究重点比

较了不同条件下的超高压对湿粉条霉菌的杀灭效果,研究了超高压处理对湿粉条品质特性的影响,为超高压在鲜湿产品中的应用提供一定参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

黑曲霉 *Aspergillus* XHF11462 305.01 及 *Aspergillus* XHF11462 305.02 由本实验室保藏,分离自红薯湿粉条。在马铃薯葡萄糖琼脂(Potato Dextrose Agar, PDA)培养基上划线,在28℃恒温箱中培养36 h得到孢子,于4℃低温保藏。

粉条由四川省薯霸食品有限公司提供,为红薯湿粉条,水分含量为50.94%,规格:长约15.48 cm、宽约1.68 cm、厚约0.31 cm。

氯化钠(分析纯),国药集团化学试剂有限公司;马铃薯葡萄糖琼脂,北京奥博星生物技术有限责任公司。

### 1.2 仪器与设备

GI54DWS 立式自动压力蒸汽灭菌器,致微(厦门)仪器有限公司;DS-11A 数显电导率仪,上海雷磁创益仪器仪表有限公司;TGL-16 冷冻离心机,湖南湘仪赛德仪器有限公司;UV-2200 紫外分光光度计,上海美谱达仪器有限公司;BL23 光学显微镜,上饶天策莱光仪器有限公司;HPP600MPa-5L 超高压设备,上海沃迪智能装备股份有限公司。SW-CJ-2F 双人双面净化工作台,苏州安泰空气技术有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 菌悬液的制备与处理

将分离鉴定后的黑曲霉进行平板涂布接种,于28℃恒温培养36 h后,取出培养基置于超净台,每个平板用200 mL 无菌生理盐水冲洗孢子,制成浓度为 $10^6$ ~ $10^7$  CFU/mL 菌悬液并用封口膜封好备用。吸取15 mL 制备好的菌悬液于灭菌后的真空袋

中, 并封好备用。

### 1.3.2 超高压处理

选取不同压力(300、400 MPa)和不同时间(0、2、4、6、8、10 min)处理真空包装的菌悬液, 测定菌落总数。

### 1.3.3 粉条接菌处理

将60 g湿粉条用体积分数为75%的乙醇溶液浸泡15 min后, 取出湿粉条置于超净台, 在室温条件下晾干(30 min); 再将湿粉条放入制备好的200 mL菌悬液中浸泡10 min, 浸泡后取出粉条, 装入灭菌后的真空袋中, 封好真空袋, 在400 MPa超高压条件下处理2~10 min, 以未经超高压处理的接种粉条作为对照, 并进行重复实验。

### 1.3.4 菌落总数的测定

对超高压处理前后的菌悬液和粉条进行菌落总数的测定, 参考国家标准GB4789.2-2016。结果以对数值表示。

### 1.3.5 菌悬液电导率、紫外吸光度值的测定及显微镜结构变化

细胞膜通透性的测定参考张添菊<sup>[13]</sup>的方法并稍加修改, 吸取20 mL菌悬液于真空袋并密封, 在400 MPa超高压处理0、2、10 min。再吸取1 mL超高压处理的菌悬液, 使用光学电子显微镜观察放大4×10倍的菌体形态。再将15 mL超高压处理的悬浮液在8 000 r/min下离心15 min去除菌体, 取上清液于紫外分光光度计260和280 nm处测定吸光值( $A_{260}$ 和 $A_{280}$ ), 用于估算核酸和蛋白质的含量<sup>[14]</sup>, 并使用电导率仪测上清液的电导率。

### 1.3.6 粉条蒸煮特性

#### 1.3.6.1 粉条断条率的测定

粉条断条率的测定参考Wang等<sup>[15]</sup>的方法并稍加修改, 将经过超高压(400 MPa/2~10 min)处理的粉条取出, 取20根长度为10 cm的粉条加入到900 mL沸水中, 沸水中煮5 min滤去水分, 记录总条数。以未经超高压处理的粉条为对照, 并进行重复实验, 按照公式(1)进行断条率计算。

$$R = \frac{X-20}{20} \times 100\% \quad (1)$$

式中:

$R$ —断条率, %;

$X$ —粉条煮后的总条数。

#### 1.3.6.2 粉条膨润度及煮沸损失

粉条膨润度及煮沸损失的测定参考Wang等<sup>[15]</sup>的方法, 将经过超高压(400 MPa/0~10 min)处理的粉条取出, 剪成4 cm左右, 在105 °C常压下干燥4 h, 测定干物质质量 $W_1$ 。在100 mL沸水中加热15 min后捞出, 经迅速冷却、去除粉条表面水分后, 测定含水物质量 $W_2$ 。最后以105 °C烘4 h, 测定干物质质量 $W_3$ 。按照公式计算粉条膨润度及煮沸损失。

$$B = \frac{W_2}{W_3} \times 100\% \quad (2)$$

$$K = \frac{W_1 - W_3}{W_1} \times 100\% \quad (3)$$

式中:

$B$ —膨润度, %;

$K$ —煮沸损失, %;

$W_1$ —煮沸前干物质质量, g;

$W_2$ —含水物质量, g;

$W_3$ —煮沸后干物质质量, g。

### 1.3.7 数据统计分析

试验数据采用Origin 8.5进行统计并绘图; 采用SPSS 25.0软件进行统计分析, 组间数据采用单因素方差分析(ANOVA),  $P < 0.05$ 表示差异显著。所有实验重复四次。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同超高压处理压力和时间的灭菌效果

由图1a、b可以看出, 当压力为300 MPa时, 黑曲霉菌数呈现先快速减少(0~6 min)后缓慢下降的趋势(6~10 min), 经300 MPa/6 min处理后*Aspergillus* 305.01、*Aspergillus* 305.02分别下降了1.89和2.78个对数值。吕长鑫等<sup>[16]</sup>也有类似发现, 随着超高压时间的延长(350 MPa、5~25 min), 超高压处理对南果梨汁中菌落总数的灭菌效果呈先快后慢的降低趋势。提高压力到400 MPa时, 随着时间的增加, 霉菌与酵母总数显著减少( $P < 0.05$ ), 当处理时间为10 min达到最大减少值, *Aspergillus* 305.01、*Aspergillus* 305.02分别减少6.54和6.15个对数值。400 MPa/10 min处理后的菌悬液中黑曲霉菌数低于其他条件处理结果。

相同处理时间下, 提高压力可以增强超高压对黑曲霉的灭菌效果( $P < 0.05$ ); 相同压力下, 延

长处理时间可以增强超高压对黑曲霉的灭菌效果 ( $P < 0.05$ )。余洋洋等<sup>[17]</sup>研究发现增加超高压压力,可显著降低南酸枣泥中霉菌与酵母数数量 ( $P < 0.05$ )。宋永程等<sup>[18]</sup>研究发现川菜熟食的霉菌和酵母总数随着超高压处理压力和时间增加呈显著降低趋势。以上结果均表明,增加超高压处理压力和时间可以增强对霉菌的杀菌效果,压力的逐渐增加导致细菌细胞对压力的敏感性降低,并更快地使病原体失活<sup>[19]</sup>。

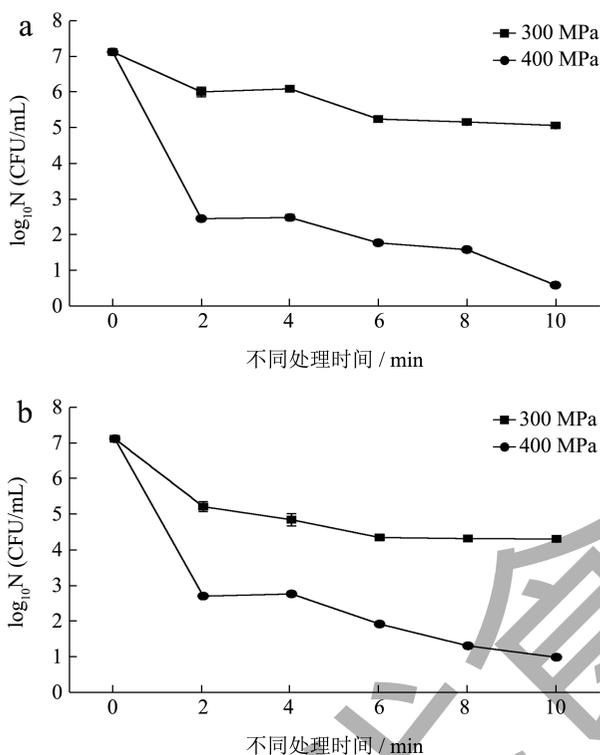


图1 不同超高压压力和时间对菌悬液中黑曲霉的影响

Fig.1 Effect of different UHP pressures and time on *A. niger* of mold suspension

注: (a) *Aspergillus* 305.01; (b) *Aspergillus* 305.02.

## 2.2 超高压对接种粉条的灭菌效果研究

由图2可看出,用400 MPa超高压处理接种粉条时,黑曲霉菌数随加压时间的增加先快速下降后缓慢下降。处理时间10 min时, *Aspergillus* 305.01、*Aspergillus* 305.02均达到最低,均下降了6.01个对数值。而菌悬液经过400 MPa/10 min超高压处理后, *Aspergillus* 305.01、*Aspergillus* 305.02分别下降了6.54和6.15个对数值。以上结果表明超高压对菌悬液和接种粉条的灭菌效果基本一致,说明超高压处理效果与样品呈现的状态无关,同样的处理条件能达到相同程度的灭菌效果,超高压处理会引起微生物细胞变化,包括抑制关键酶、抑制蛋白质合

成,细胞形态和细胞膜的改变,最终导致细胞死亡有关<sup>[20]</sup>。

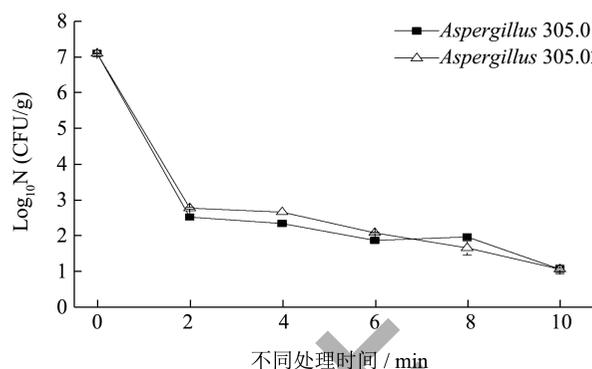


图2 不同加压时间对湿粉条中黑曲霉的影响

Fig.2 Effect of different UHP time on *A. niger* of wet starch vermicelli

## 2.3 超高压处理对粉条霉菌蛋白泄露、核酸泄露和电导率的影响

### 2.3.1 超高压处理对粉条霉菌蛋白泄露和核酸泄露的影响

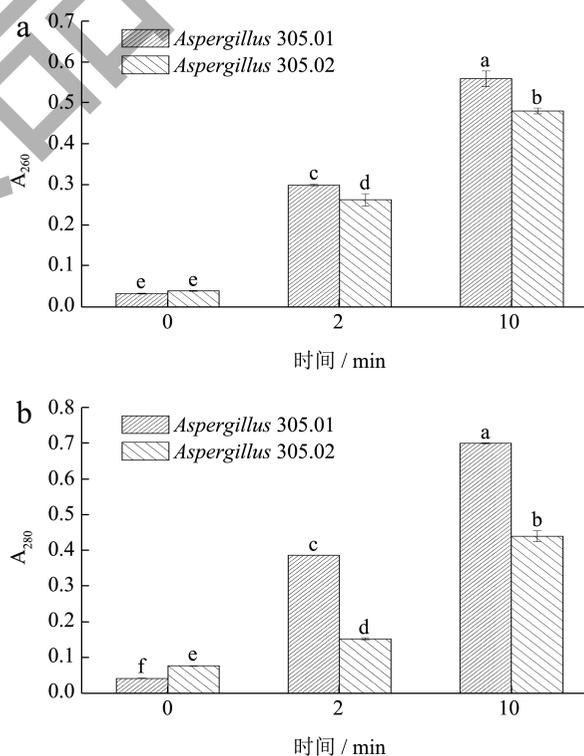


图3 不同加压时间对黑曲霉核酸(a)和蛋白质(b)泄露的影响

Fig.3 Effect of different UHP time on nucleic acid and protein leakage of *A. niger*

由图3a、b可看出, *Aspergillus* 305.01、*Aspergillus* 305.02的核酸和蛋白质吸光度值随超高压处理时间

的增加而显著增加 ( $P < 0.05$ )。超高压处理 10 min 后 *Aspergillus* 305.01 和 *Aspergillus* 305.02 的核酸和蛋白质吸光度值达到最大, 与未处理菌悬液相比, 核酸吸光值分别从 0.03 和 0.04 增加至 0.56 和 0.48, 而蛋白质吸光值分别从 0.04 和 0.08 增加至 0.70 和 0.44。在之前的研究中也发现有相似的发现<sup>[21,22]</sup>, 廖巧明<sup>[21]</sup>研究发现阪崎克罗诺杆菌经 400 MPa/10 min 超高压处理后, 细胞的胞外核酸和蛋白质的浓度分别为空白对照组的 1.13 倍和 4.25 倍。超高压处理后核酸和蛋白质含量的增加, 可能是因为超高压破坏了霉菌细胞壁及细胞膜。超高压会破坏微生物的核膜和线粒体外膜, 细胞膜的通透性发生改变<sup>[23]</sup>, 因此细胞中的蛋白质核酸等内容物流出, 导致菌悬液中紫外吸光物质增加。

### 2.3.2 超高压处理对粉条霉菌电导率的影响

由图 4 可看出, 超高压处理 2 min 后, *Aspergillus* 305.01、*Aspergillus* 305.02 的电导率增加, 与未处理相比, 分别从 0.04 mS/cm 和 0.06 mS/cm 增加至 0.12 mS/cm 和 0.20 mS/cm。且随着加压时间的增加出现显著增加 ( $P < 0.05$ ), 在 10 min 时电导率达到最大值, 与未处理相比分别增加了 0.19 mS/cm 和 0.31 mS/cm。蓝蔚青等也有相似发现, 腐败希瓦氏菌菌液的电导率随着超高压处理压力的增加而增加, 经 400 MPa/9 min 超高压处理后, 细胞培养液的电导率值增加了 3.3 mS/cm<sup>[24]</sup>。粉条霉菌悬浮液电导率增加可能是因为超高压处理改变了细菌细胞膜的通透性, 菌体内的无机盐等物质发生泄露<sup>[25]</sup>。

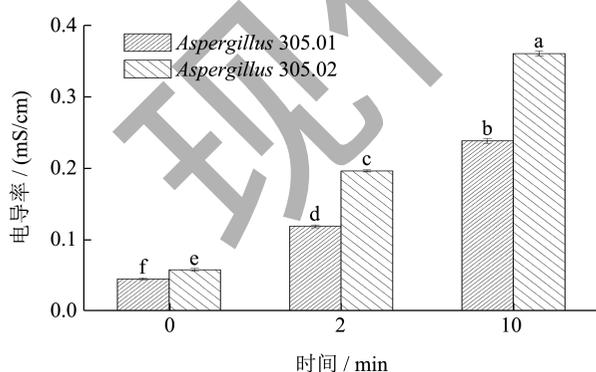


图 4 不同加压时间对黑曲霉电导率的影响

Fig.4 Effect of different UHP time on conductivity of *A. niger*

### 2.3.3 超高压处理对粉条霉菌形态的影响

由图 5 可看出, 与空白处理相对比, *Aspergillus* 305.01、*Aspergillus* 305.02 原本菌丝较连贯, 随加

压时间增加霉菌菌丝与孢子分离, 菌丝断裂, 且加压时间越长, 菌丝和孢子断裂分离的更加彻底。超高压加压时间越长, 黑曲霉细胞被破坏的更彻底, 黑曲霉活跃度及生长环境受到抑制, 进一步达到灭菌效果。

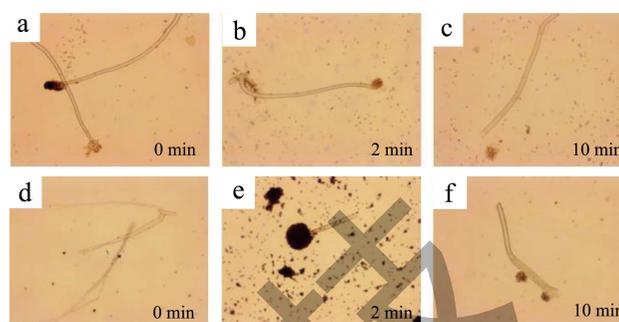


图 5 超高压处理后湿粉条霉菌显微镜图

Fig.5 Microscope diagram of spoilage mold of wet starch vermicelli after UHP treatment

注: a-c 为 *Aspergillus* 305.01, d-f 为 *Aspergillus* 305.02。4×10 times。

### 2.4 超高压处理对粉条蒸煮特性的影响

表 1 超高压处理时间对湿粉条蒸煮特性的影响

Table 1 Effect of UHP treatment times on cooking characteristics of wet starch vermicelli

超高压时间/min	煮沸损失/%	膨润度/%	断条率/%
0	3.64 ± 0.08 <sup>c</sup>	111.40 ± 0.08 <sup>f</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
2	4.30 ± 0.17 <sup>d</sup>	116.11 ± 0.28 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
4	6.79 ± 0.00 <sup>c</sup>	119.64 ± 0.00 <sup>d</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
6	6.86 ± 0.10 <sup>c</sup>	121.84 ± 0.21 <sup>c</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
8	8.21 ± 0.00 <sup>b</sup>	124.15 ± 0.00 <sup>b</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>
10	10.47 ± 0.18 <sup>a</sup>	126.11 ± 0.00 <sup>a</sup>	0.00 ± 0.00 <sup>a</sup>

注: 字母不同表示同一列有显著差异 ( $P < 0.05$ )。

由表 1 可知, 随着超高压时间的增加, 粉条的膨润度和煮沸损失显著增加 ( $P < 0.05$ )。超高压处理 10 min 后, 粉条的煮沸损失和膨润度分别为 10.47% 和 126.11%。随着超高压时间的增加, 粉条膨润度的增加表明超高压处理可以提高粉条的复水性。先前的研究中也发现有类似发现, 与非超高压处理所制作的方便熟湿面相比, 超高压处理可提高方便熟湿面复热后的吸水率<sup>[26]</sup>。粉条膨润度和煮沸损失的增加可能是超高压能使含水体系中淀粉粒吸水膨胀, 黏度增加, 实现淀粉的常温糊化<sup>[27]</sup>, 从而导致粉条膨润度及煮沸损失增大。随超高压时间增加,

粉条断条率变化不显著, 各组粉条的断条率均为 0, 但超高压处理的粉条在水煮后变得更加透明。超高压处理能使直链淀粉与支链淀粉或者脂质的相互作用增强, 增加直链淀粉分子聚集, 抑制脂质-淀粉复合物的形成, 使得膨胀度增加<sup>[28]</sup>, 同时膨润度的增加粉条吸水量增大, 使处理后的粉条更加透明。

### 3 结论

以黑曲霉 *Aspergillus* 305.01 和 *Aspergillus* 305.02 为实验菌, 研究不同超高压条件对湿粉条腐败菌的杀菌效果。实验结果得出 400 MPa/10 min 条件下黑曲霉的灭活率达 91.98%。并通过处理后黑曲霉的蛋白核酸泄露和电导率实验, 证实了超高压是通过影响黑曲霉细胞膜的流动性和渗透性而改变细胞膜的部分功能, 引起胞内核酸、蛋白质和电解质等物质流出, 从而导致细胞死亡。同时通过对粉条蒸煮特性的测定得出超高压处理可提升粉条的复水性。综合得出, 400 MPa/10 min 是鲜湿粉条杀菌的较优条件。本文仅研究了超高压处理对粉条霉菌灭菌效果以及粉条蒸煮特性的影响, 未来可以进一步研究超高压处理对粉条贮藏期的品质影响。

### 参考文献

- [1] 郭昊, 孙红男, 马梦梅, 等. 无明矾薯类营养鲜湿粉条研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(19): 6263-6270.
- [2] 陈兵. 鲜湿菠菜粉条的研制及其保鲜的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2016.
- [3] 王淑艳, 王芳, 袁静宇. 因素分析法评价低温杀菌对胡萝卜粉条储藏过程中的品质变化[J]. 保鲜与加工, 2018, 18(2): 66-73.
- [4] SUN Y, ZHANG L, ZHANG H, et al. Effects of two sterilization methods on the taste compositions of sweet and sour spare ribs flavor [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2021, 104: 104143.
- [5] LIU Q, HUANG G, MA C, et al. Effect of ultra-high pressure and ultra-high temperature treatments on the quality of watermelon juice during storage [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(9): 15723.
- [6] HUANG H, WU S, LU J, et al. Current status and future trends of high-pressure processing in food industry [J]. Food Control, 2017, 72: 1-8.
- [7] ROOBAB U, AADIL R, MADNI G, et al. The impact of nonthermal technologies on the microbiological quality of juices: a review [J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2018, 17(2): 437-457.
- [8] CUBEDDU A, FAVA P, PULVIRENTI A, et al. Suitability assessment of PLA bottles for high-pressure processing of apple juice [J]. Foods, 2021, 10(2): 295.
- [9] NAYAK P, RAYAGURU K, KRISHNAN K. Quality comparison of elephant apple juices after high-pressure processing and thermal treatment [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2017, 97(5): 1404-1411.
- [10] 郭豪宁, 赵玉华, 常学东, 等. 超高压对峰甘板栗中主要微生物的影响及其货架期预测[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(10): 189-195.
- [11] WANG X, ZHAI X, ZHANG H, et al. Impact of ultra high pressure on microbial characteristics of rose pomace beverage: a comparative study against conventional heat pasteurization [J]. LWT, 2020, 127: 109395.
- [12] 黄欢. 超高压处理对鲜切马铃薯质地及风味品质的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2020.
- [13] 张添菊. 植物源抑菌剂抗食源性致病菌活性及机理研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2017.
- [14] CHERIF A, REZGUI W, RADDADI N, et al. Characterization and partial purification of entomocin 110, a newly identified bacteriocin from *Bacillus thuringiensis* subsp. *Entomocidus* HD110 [J]. Microbiological Research, 2008, 163(6): 684-692.
- [15] WANG D, FAN D, DING M, et al. Characteristics of different types of starch in starch noodles and their effect on eating quality [J]. International Journal of Food Properties, 2015, 18(11): 2472-2486.
- [16] 吕长鑫, 刘苏苏, 李萌萌, 等. 超高压处理对南果梨汁杀菌效果及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(6): 117-122.
- [17] 余洋洋, 余元善, 陈树鹏, 等. 超高压和热处理对南酸枣泥灭菌效果及贮藏期间品质变化的影响[J]. 食品科技, 2019, 44(9): 38-43.
- [18] 宋永程, 王晓琼, 侯鑫悦, 等. 超高压处理对川菜熟食杀菌效果及品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(19): 161-166.
- [19] PODOLAK R, WHITMAN D, BLACK D. Factors affecting microbial inactivation during high pressure processing in juices and beverages: a review [J]. Journal of Food Protection, 2020, 83(9): 1561-1575.
- [20] UNNI L, CHAUHAN O, RAJU P. High pressure processing of garlic paste: effect on the quality attributes [J]. International Journal of Food Science and Technology, 2014, 49(6): 1579-1585.
- [21] 廖巧明. 超高压对阪崎克罗诺杆菌的杀菌机制研究[D].

- 合肥:合肥工业大学,2021.
- [22] 雷雨晴,郝静怡,吴傲,等.超高压对仙人掌有孢汉逊酵母的损伤机理[J].农业工程学报,2021,37(2):297-303.
- [23] CHEN R, JIN C, LI H, et al. Ultrahigh pressure extraction of polysaccharides from cordyceps militaris and evaluation of antioxidant activity [J]. Separation and Purification Technology, 2014, 134: 90-99.
- [24] 蓝蔚青,张溪,赵宏强,等.超高压处理条件对腐败希瓦氏菌的影响[J].中国食品学报,2020,20(6):122-128.
- [25] SEHRAWAT R, KAUR B, NEMA P, et al. Microbial inactivation by high pressure processing: principle, mechanism and factors responsible [J]. Food Science and Biotechnology, 2021, 30(1): 19-35.
- [26] 李颖.无添加方便熟湿面产业化关键技术研究[D].合肥:合肥工业大学,2019.
- [27] AMSASEKAR A, MOR R, KISHORE A, et al. Impact of high pressure processing on microbiological, nutritional and sensory properties of food: a review [J]. Nutrition & Food Science, 2022, 52(6): 996-1017.
- [28] 张晶.超高压处理对燕麦淀粉/ $\beta$ -葡聚糖复配体系的影响及抑制淀粉老化机制的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2021.

现代食品科技