

不同杀菌方式对即食豆干大豆异黄酮及品质特性的影响

叶 韬^{1,2}, 陈志娜^{1,2}, 叶倩文¹, 刘慧乾¹, 王 云^{1,2}, 陆剑锋^{3,4,5,*}

(1.淮南师范学院生物工程学院, 安徽 淮南 232038; 2.资源与环境生物技术安徽普通高校重点实验室, 安徽 淮南 232038; 3.合肥工业大学食品与生物工程学院, 安徽 合肥 230009; 4.安徽省农产品精深加工重点实验室, 安徽 合肥 230009; 5.农产品生物化工教育部工程研究中心, 安徽 合肥 230009)

摘 要: 为探讨不同杀菌方式对即食豆干品质特性的影响, 考察了巴氏杀菌 (95 °C、30 min)、高温杀菌 (121 °C、15 min)、超高压杀菌 (400 MPa、25 °C、20 min) 和热辅助超高压杀菌 (400 MPa、60 °C、20 min) 对真空包装即食盐卤豆干微生物 (菌落总数、大肠菌群)、质构、色泽、感官品质、持水率以及主要大豆异黄酮组分和含量的影响。结果表明, 经巴氏杀菌、高温杀菌、超高压杀菌和热辅助超高压杀菌处理后, 豆干中的菌落总数分别下降至420、130、180、120 CFU/g, 且未检测出大肠菌群; 巴氏杀菌对豆干质构无显著影响 ($P>0.05$), 但高温杀菌、超高压杀菌以及热辅助超高压杀菌会显著增加豆干的硬度 (分别增加68.04%、36.51%、43.02%) ($P<0.05$); 高温杀菌后豆干的亮度 L 值由80.99显著降低至74.76 ($P<0.05$), 豆干的红绿度 a 值由3.24增加至3.70, 其他杀菌方式处理无显著影响 ($P>0.05$); 巴氏杀菌和热辅助超高压杀菌对豆干的感官评分无显著影响 ($P>0.05$); 未杀菌豆干中总异黄酮含量为1 031.8 $\mu\text{g/g}$ (干基质量), 经巴氏杀菌、高温杀菌和热辅助超高压杀菌后, 豆干中总异黄酮含量分别显著下降至882.3、846.1、893.8 $\mu\text{g/g}$ ($P<0.05$), 但超高压杀菌 (979.3 $\mu\text{g/g}$) 影响不显著 ($P>0.05$), 4种杀菌方式均会造成总苷元型异黄酮含量降低, 且热处理 (巴氏杀菌和高温杀菌) 损失最大。因此, 可以选择热辅助超高压杀菌做进一步研究。

关键词: 即食豆干; 热处理; 超高压加工; 杀菌; 大豆异黄酮; 品质特性

Effect of Different Sterilization Methods on Isoflavone Profile and Quality Characteristics of Ready-to-Eat Dried Soybean Curd (Tofu)

YE Tao^{1,2}, CHEN Zhina^{1,2}, YE Qianwen¹, LIU Huiqian¹, WANG Yun^{1,2}, LU Jianfeng^{3,4,5,*}

(1. School of Bioengineering, Huainan Normal University, Huainan 232038, China; 2. Key Laboratory of Bioresource and Environmental Biotechnology of Anhui Higher Education Institutes, Huainan 232038, China; 3. School of Food and Biological Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 4. Key Laboratory for Agricultural Products Processing of Anhui Province, Hefei 230009, China; 5. Engineering Research Center of Bio-process, Ministry of Education, Hefei 230009, China)

Abstract: In order to explore the effects of different sterilization methods on the quality characteristics of ready-to-eat dried soybean curd (RTE-DSC), the impact of pasteurization (95 °C for 30 min), high-temperature sterilization (HTS; 121 °C for 15 min), high hydrostatic pressure (HHP; 400 MPa and 25 °C for 20 min) and pressure-assisted thermal sterilization (PATS; 400 MPa and 60 °C for 20 min) on the microbial load (total viable and coliform counts), texture, color, sensory quality, water-holding capacity and major soy isoflavone components of RTE-DSC coagulated with magnesium chloride was investigated. Total viable counts of RTE-DSC decreased to 420, 130, 180 and 120 CFU/g, respectively after pasteurization, HTS, HHP and PATS treatments, and no coliform bacteria were detected in all samples. Pasteurization had no significant effect on the texture of RTE-DSC ($P>0.05$), but HTS, HHP and PATS could significantly increase the hardness by 68.04%, 36.51% and 43.02%, respectively ($P<0.05$). The L value of RTE-DSC decreased from 80.99 to 74.76, and the a value increased from 3.24 to 3.70 after HTS; however, the other sterilization methods had no significant effect. In terms of

收稿日期: 2019-03-04

基金项目: 淮南市科技局科技计划项目 (2018A365); 淮南师范学院自然科学重点研究项目 (2017xj02zd)

第一作者简介: 叶韬 (1988—) (ORCID: 0000-0003-3013-2250), 男, 讲师, 硕士, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。

E-mail: yetao430@163.com

*通信作者简介: 陆剑锋 (1976—) (ORCID: 0000-0002-5887-9455), 男, 教授, 博士, 研究方向为农产品加工及贮藏工程。

E-mail: lujf@sibs.ac.cn

sensory score, pasteurization and PATS had no significant effect on RTE-DSC ($P > 0.05$). The content of total isoflavones in unsterilized soybean curd was 1 031.8 $\mu\text{g/g}$ (on dry basis). After pasteurization, HTS and PATS treatment, this value decreased significantly to 882.3, 846.1 and 893.8 $\mu\text{g/g}$ ($P < 0.05$), respectively, but the effect of HHP (979.3 $\mu\text{g/g}$) was not significant ($P > 0.05$). Moreover, all treatments resulted in a decrease in total aglycone isoflavones, and heat treatment (pasteurization and HTS) resulted in greater losses. Therefore, PATS needs further research.

Keywords: ready-to-eat dried soybean curd; thermal treatment; high hydrostatic processing; sterilization; isoflavone; quality characteristics

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190304-040

中图分类号: TS201.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630 (2020) 07-0124-07

引文格式:

叶韬, 陈志娜, 叶倩文, 等. 不同杀菌方式对即食豆干大豆异黄酮及品质特性的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(7): 124-130.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190304-040. <http://www.spkx.net.cn>

YE Tao, CHEN Zhina, YE Qianwen, et al. Effect of different sterilization methods on isoflavone profile and quality characteristics of ready-to-eat dried soybean curd (tofu)[J]. Food Science, 2020, 41(7): 124-130. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20190304-040. <http://www.spkx.net.cn>

豆干是豆腐干的简称, 它是熟豆浆经添加凝固剂、挤压脱水而成的含水分较低的各种形状的产品, 属于非发酵豆制品。将豆干在卤汤中卤制, 经过或不经调味、过油、拌料, 得到具有一定滋味的卤制豆腐干(有地区称作茶干)^[1]。卤豆干美味可口, 深受广大消费者的喜爱。然而豆干营养丰富, 容易滋生微生物, 从而导致腐败变质, 使其货架期通常较短^[2]。为了延长卤豆干保质期, 方便其市场流通, 需要对卤制(调味)的豆干进行包装、杀菌, 得到预包装食品, 也称作即食豆干、休闲豆干^[3]。目前, 即食豆干已成为豆制品加工企业的主要休闲产品之一, 其生产量和销售量在逐年增加^[4]。

即食豆干在生产过程中, 原料白干、所在的加工环境、加工设备和加工人员等各因素都可能给即食豆干产品带来微生物污染, 而杀菌工艺是控制成品微生物含量的最后一道关键工艺^[5-6]。为保证即食豆干在贮藏、运输和销售中达到所要求的微生物标准, 前期本课题组采用了高温灭菌(121 $^{\circ}\text{C}$ 、30 min)进行了处理^[2]。然而, 高温灭菌处理会导致豆干口感变差、香气下降等品质劣变的问题^[7], 因此, 需要对即食豆干生产过程中现有的杀菌工艺进行改良, 以改善产品品质。周先汉等^[8]报道称采用巴氏杀菌(80 $^{\circ}\text{C}$ 、20 min)处理茶干具有较好的杀菌效果, 再配合乳酸链球菌素(0.1 g/kg)可以有效地延长茶干的货架期。陈浩^[9]采用响应面法优化法得到酸浆豆干(豆清蛋白发酵液点浆)超高压杀菌的最佳工艺参数为438 MPa、21 min、61 $^{\circ}\text{C}$, 并比较了超高压杀菌、巴氏杀菌和高温灭菌对休闲豆干质构和感官属性的影响。Huang等^[10]比较了高温杀菌(105 $^{\circ}\text{C}$ 、20 min)和过氧化氢浸泡(体积分数0.25% H_2O_2 溶液浸泡10 min)对石膏豆干的影响时发现, 高温灭菌能够使得石膏豆干中的菌落总数降低3个对数值, 且热处理杀菌后豆干中大豆异黄酮

的损失要小于过氧化氢浸泡组。然而, 关于热处理和超高压处理对盐卤豆干品质特性影响的相关报道较少, 尤其是杀菌方式对于豆干中生物活性成分大豆异黄酮组分和含量的影响鲜见报道。

为探讨不同杀菌方式对即食豆干品质特性的影响, 本实验研究了传统的热杀菌工艺(巴氏杀菌和高温杀菌)、典型的冷杀菌工艺(超高压杀菌)以及热辅助高压杀菌对即食盐卤豆干微生物、感官指标以及生物活性成分大豆异黄酮的影响, 旨在为即食盐卤豆干的品质改良提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

大豆为市售东北大豆; 盐卤(MgCl_2 , 食品级)天津瑞泽顺畅化工科技有限公司; 大豆苷元(daidzein)、染料木黄酮(genistein)、大豆苷(daidzin)、黄豆黄素(glycitein)、染料木苷(genistin)和黄豆黄苷(glycitin)标准品 上海阿拉丁生化科技股份有限公司。

甲醇、乙腈、乙酸(均为色谱纯) 上海安谱实验科技股份有限公司; 胰蛋白胨、琼脂、酵母浸膏、葡萄糖(均为分析纯) 北京奥博星生物技术公司。

1.2 仪器与设备

FDM-100-40型自动分离磨浆机 镇江新区鑫宝机械厂; 76-1A型恒温水浴锅 金坛市白塔新宝仪器厂; 数显豆腐压榨机由实验室自组装; SQP型分析天平赛多利斯科学仪器(北京)有限公司; DZ-500型多功能真空包装机 南通彩星工贸有限公司; HPPL2-600/0.6型超高压设备 天津华泰森淼生物工程技术股份有限公司;

YT-48A型白度色度仪 杭州研特科技有限公司; TA.XT PLUS型物性测试仪 英国Stable Micro Systems公司; YM50CM型高压灭菌锅 上海三申医疗器械有限公司; e2695型高效液相色谱仪 (配有2998紫外检测器) 美国Waters公司。

1.3 方法

1.3.1 豆干的制备

取1 000 g大豆, 按豆水质量比1:3于室温 (25 ℃) 下浸泡18 h, 豆水比1:6磨浆, 调整可溶性固形物质量分数至8%, 加热并煮沸 (100 ℃) 5 min, 加干大豆质量2%的盐卤, 于85 ℃下点浆, 保温蹲脑15 min, 入模, 以5 MPa压榨30 min, 切分成3.5 cm×3.5 cm×0.5 cm小块后进行卤制, 豆干和卤水的质量比为1:4, 卤水中含有食盐3% (质量分数, 下同)、白砂糖4%、味精1%、辣椒0.6%、花椒0.3%、八角0.5%、小茴香0.3%、生姜0.3%、牛肉膏0.2%, 水浴锅中90 ℃煮制20 min, 40 ℃热风干燥20 min后真空包装。

1.3.2 豆干的杀菌处理

按表1所示条件对真空包装豆干分别进行巴氏杀菌、高温杀菌、超高压杀菌、热辅助超高压杀菌, 将杀菌后的豆干放于4 ℃冷藏待测。

表1 即食豆干的杀菌处理方式

杀菌方式	处理条件
对照组	不处理
巴氏杀菌	95 ℃、30 min
高温杀菌	121 ℃、15 min
超高压杀菌	400 MPa、25 ℃、20 min
热辅助超高压杀菌	400 MPa、60 ℃、20 min

1.3.3 微生物检验

细菌总数测定按GB/T 4789.2—2016《食品安全国家标准 食品卫生微生物学检验 菌落总数测定》执行, 大肠菌群测定按GB/T 4789.3—2016《食品安全国家标准 食品卫生微生物学检验 大肠菌群计数》执行。

1.3.4 即食豆干质构的测定

采用TPA模式对样品进行质构测定。每种杀菌样品取10份, 测定豆干的硬度、弹性、黏聚性、咀嚼性、回复性。选择P/36R探头, 进行力量校准, 再进行高度校准, 将待测样品放于载物台上, 使探头正对样品, 选择触发类型为Auto, 触发力为10 g, 测定前运行速率为1 mm/s, 测定时运行速率为2 mm/s, 测定后运行速率为1 mm/s, 压缩程度为25%, 两次间隔时间为5 s。

1.3.5 即食豆干色泽的测定

每种样品取大小厚薄均匀的10份, 测定各样品色差。色度仪使用前先用黑板调零, 再用白板校准, 校准数据应与白板盖上的数据一致。将样品放入样品槽中,

测量样品的色泽参数L值 (亮度: 0为黑, 100为白); a值 (红绿度: 负值表示绿色程度, 正值表示红色程度); b值 (黄蓝度: 负值表示蓝色程度, 正值表示黄色程度)。

1.3.6 感官评价

以食品专业的师生共10人组成评定小组, 参照DB34/T 720.2—2009《地理标志产品 八公山豆腐 豆腐干》中的感官评价部分制定评定标准 (表2)。分别从色泽、滋味与气味和组织形态3个方面对即食豆干进行感官评定, 各项所占权重分别为0.3、0.4和0.3。

表2 即食豆干感官评定标准

Table 2 Criteria for sensory evaluation of ready-to-eat dried soybean curd

指标	标准 (评分)		
色泽	色泽正常 (80~100分)	色泽较正常 (60~80分)	色泽不正常 (0~60分)
滋味与气味	香气正常, 适口, 无异味 (80~100分)	香气较正常, 较适口, 无异味 (60~80分)	香气不正常, 不适口, 略有异味 (0~60分)
组织形态	形状完整、均匀, 软硬适宜, 表面结皮均匀 (80~100分)	形状较完整、较均匀, 软硬较适宜, 表面结皮较均匀 (60~80分)	形状不完整、不均匀, 软硬不适宜, 表面结皮不均匀 (0~60分)

1.3.7 即食豆干持水率的测定

参照贺云^[11]的方法, 稍有修改。准确称取2.000 g豆干置于带有小孔的5 mL离心管中, 记录此时的质量 m_1 , 套上10 mL的离心管后, 于5 000 r/min下离心15 min, 称量离心后的豆干和5 mL离心管的质量, 记为 m_2 。离心后样品的质量与离心前样品质量的比值定义为持水率, 按下式计算。

$$\text{持水率}/\% = \frac{2 - (m_1 - m_2)}{2} \times 100$$

式中: m_1 为离心前样品和离心管的质量/g; m_2 为离心后样品和离心管的质量/g。

1.3.8 即食豆干大豆异黄酮含量的测定

参照马玉荣^[12]的方法, 略有修改。样品的制备: 准确称取冷冻干燥后的豆干样品2.000 g放于5 mL的离心管中, 加入3 mL体积分数80%甲醇溶液, 超声处理30 min, 体积分数80%甲醇溶液定容至5 mL, 以5 000 r/min离心15 min, 取上清液过0.22 μm微孔滤膜待测。

高效液相色谱检测条件: 检测波长为260 nm; 柱温为34 ℃; 进样量为20 μL; 流动相为A: 体积分数0.1%乙酸-水溶液, B: 体积分数0.1%乙酸-乙腈溶液; 梯度洗脱程序为0~5 min, 15% A、85% B; 6~35 min, 15%~25% A、85%~75% B; 36~40 min, 50% A、50% B; 41~45 min, 50% A、50% B; 46~50 min, 50%~15% A、50%~85% B; 51~55 min, 15% A、85% B。

将大豆苷元、染料木黄酮、大豆苷、黄豆黄素、染料木苷和黄豆黄苷标准品溶解于体积分数80%甲醇溶液, 超声处理30 min, 过0.22 μm的微孔滤膜, 得到储备溶液。

用进样器吸取25 μL 的样品溶液于液相色谱仪中检测1 h,再分别与标准品的峰面积进行比较,得出各种杀菌处理条件下对豆干中大豆异黄酮的影响。

1.4 数据处理与分析

每个实验指标至少重复3次,使用SPSS 17.0软件中的Duncan多重比较进行差异显著性分析($P<0.05$),并用Origin Pro 8.0软件作图。

2 结果与分析

2.1 杀菌方式对即食豆干灭菌效果的影响

压制成型的白干经过卤制、干燥和真空包装后得到待灭菌产品,干燥过程中的设备、真空包装中的手工装袋以及车间空气等各因素都可能会导致即食豆干污染微生物,因此杀菌工序是控制即食豆干卫生品质的关键工序。表3为杀菌方式对即食豆干灭菌效果的影响,包装后的豆干菌落总数达到76 000 CFU/g,经巴氏杀菌、超高压杀菌、热辅助超高压杀菌、高温杀菌后,菌落总数分别下降至420、180、120、130 CFU/g,且均未检出大肠菌群(数据未列出),均低于DB34/T 720.2—2009中对菌落总数和大肠菌群的限量(750 CFU/g和150 MPN/100 g),也符合GB 2712—2014《食品安全国家标准 豆制品》中关于大肠菌群的限量。因此,选择的杀菌方式均有较好的杀菌效果。

表3 杀菌方式对即食豆干灭菌效果的影响

Table 3 Effect of sterilization methods on the sterilization efficiency of ready-to-eat dried soybean curd

杀菌方式	菌落总数/(CFU/g)	灭菌率/%
对照组	$7.6 \times 10^4 \pm 183^a$	
巴氏杀菌	420 ± 40^b	99.45 ^a
超高压杀菌	180 ± 10^c	99.76 ^b
热辅助超高压杀菌	120 ± 20^c	99.84 ^c
高温杀菌	130 ± 20^c	99.83 ^c

注:同列肩标小写字母不同表示存在显著差异($P<0.05$),表4~6同。

2.2 杀菌方式对即食豆干质构的影响

即食豆干的质构特性是评判产品感官质量的重要依据^[3],由表4可知,不同杀菌方式主要影响豆干的硬度和咀嚼性,而对其他指标影响不显著($P>0.05$)。与对照组相比,巴氏杀菌对盐卤豆干硬度和咀嚼性无显著影响,超高压杀菌、热辅助超高压杀菌、高温杀菌会显著增加豆干的硬度(分别增加36.51%、43.02%、68.04%)($P<0.05$)。陈浩^[9]在研究杀菌方式对湘式休闲豆干(酸浆豆干)品质影响时发现,超高压杀菌和高温杀菌分别使得豆干的硬度增加56%、135%,而巴氏杀菌影响不显著,本研究结果与其类似。Lee等^[13]在研究热处理

(高于100 $^{\circ}\text{C}$)对大豆分离蛋白豆腐质构影响时报道称,高温引起豆腐硬度的变化一方面是由于豆腐凝胶在高温下水分含量下降;另一方面是高温促使7S和11S大豆蛋白(豆腐的主要蛋白)之间产生了二硫键的交联,使得豆腐的硬度增加,且热处理的温度越高,水分丢失越多,二硫键交联越多。Prestamo等^[14]应用超高压(400 MPa、30 min、5 $^{\circ}\text{C}$)对豆腐进行保鲜时发现高压处理后豆腐的凝胶网状结构变的更加紧凑,这可能是由于7S和11S大豆蛋白的亚基在压力的作用下展开,形成了坚实的凝胶网状结构,使得豆腐的硬度增大。因此,高温和超高压杀菌会增加豆干的硬度。

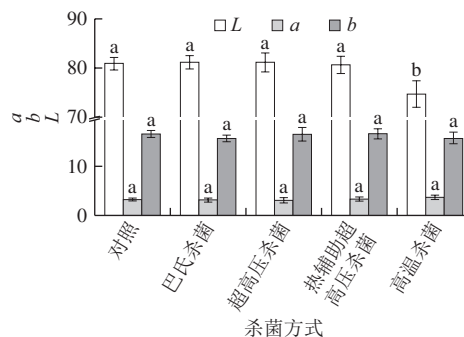
表4 杀菌方式对即食豆干质构特性的影响

Table 4 Effect of sterilization methods on the texture of ready-to-eat dried soybean curd

杀菌方式	硬度/g	弹性/mm	黏聚性	咀嚼性/g	回复性/mm
对照组	$6\,272.63 \pm 1\,152.53^a$	0.955 ± 0.038^a	0.915 ± 0.016^a	$5\,493.65 \pm 1\,116.71^a$	0.446 ± 0.059^a
巴氏杀菌	$8\,208.05 \pm 1\,473.05^{ab}$	0.971 ± 0.009^a	0.903 ± 0.015^a	$7\,190.36 \pm 1\,253.51^{ab}$	0.460 ± 0.043^a
超高压杀菌	$8\,562.83 \pm 668.79^{bc}$	0.983 ± 0.011^a	0.905 ± 0.007^a	$7\,622.57 \pm 633.59^b$	0.480 ± 0.038^a
热辅助超高压杀菌	$8\,971.44 \pm 1\,374.49^{bc}$	0.994 ± 0.011^a	0.906 ± 0.015^a	$8\,090.71 \pm 1\,286.23^b$	0.497 ± 0.047^a
高温杀菌	$10\,540.36 \pm 1\,986.76^c$	0.960 ± 0.044^a	0.893 ± 0.023^a	$9\,062.52 \pm 2\,010.61^b$	0.508 ± 0.013^a

2.3 杀菌方式对即食豆干色泽的影响

色泽是消费者选择即食豆干的重要感官属性之一,由图1可知,巴氏杀菌、超高压杀菌、热辅助超高压杀菌对豆干的色泽(L 、 a 、 b 值)无显著影响($P>0.05$)。然而,高温杀菌会显著影响豆干的色泽,与对照组相比,豆干的亮度 L 值由80.99显著降低至74.76($P<0.05$),豆干的红绿度 a 值由3.24增加至3.70,但统计学上差异不显著($P>0.05$),表明高温灭菌后的豆干色泽变得灰暗,红色略微加深。王磊等^[7]研究发现,高温杀菌(116 $^{\circ}\text{C}$ 、30 min)能够使得酱香豆腐干的亮度 L 值损失8.10%,本研究结果与其类似,这可能是由于豆干在高温下发生美拉德反应而产生的色泽变化^[15]。因此,高温杀菌对即食豆干色泽的影响较大。



相同指标不同杀菌方式小写字母不同表示存在显著差异($P<0.05$),下同。

图1 杀菌方式对即食豆干色泽的影响

Fig. 1 Effect of sterilization methods on the color of ready-to-eat dried soybean curd

2.4 杀菌方式对即食豆干感官特性的影响

表5 杀菌方式对即食豆干感官特性的影响

Table 5 Effect of sterilization methods on sensory attributes of ready-to-eat dried soybean curd

杀菌方式	色泽	滋味与气味	组织形态	总分
对照组	83.33±4.08 ^a	83.00±7.21 ^{ab}	88.33±2.58 ^a	84.70±4.00 ^a
巴氏杀菌	84.83±5.36 ^a	87.33±5.02 ^a	89.17±1.68 ^a	87.13±3.92 ^a
超高压杀菌	78.17±5.76 ^{ab}	78.33±4.71 ^{bc}	82.50±2.06 ^b	79.53±3.38 ^b
热辅助超高压杀菌	81.17±6.07 ^{ab}	86.67±3.81 ^a	86.50±3.82 ^a	84.96±3.67 ^a
高温杀菌	75.00±3.10 ^c	74.00±3.09 ^c	76.00±2.00 ^c	74.90±2.19 ^c

由表5可知,巴氏杀菌和热辅助超高压杀菌对豆干色泽、滋味与气味以及组织形态方面感官评分无显著影响($P>0.05$)。然而,超高压和高温杀菌会显著降低豆干的评分($P<0.05$),其中高温杀菌影响最大,豆干的感官评分最低。陈浩^[9]研究发现,超高压杀菌后的豆干(豆清蛋白发酵液凝固)感官评分(92.8)稍低于未处理组(94.3),但差异不显著($P>0.05$),本研究结果与其稍有不同,这可能是由于制备豆干的原料和选用的凝固剂不同而造成的。高温杀菌后豆干的感官品质严重下降,主要表现在色泽变暗、颜色加深,豆香味减弱,口感粗糙,组织形态变差,这可能是由于高温下发生了蛋白变性、美拉德反应等复杂的变化导致,本研究结果与杨倩^[16]研究中发现的现象一致。因此,巴氏杀菌和热辅助超高压杀菌能在一定程度上减少豆干感官品质的变化。

2.5 杀菌方式对即食豆干持水率的影响

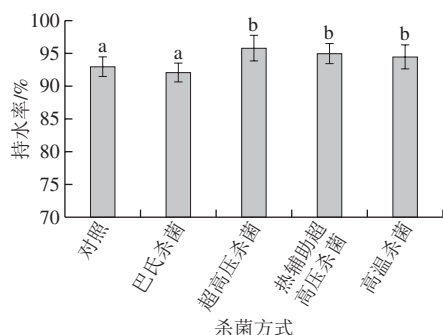


图2 杀菌方式对即食豆干持水率的影响

Fig. 2 Effect of sterilization methods on the water-holding capacity of ready-to-eat dried soybean curd

持水率是分析即食豆干在离心力的作用下保留水分的情况,能够反映豆干保持水分的能力。由图2可知,对照组盐卤豆干的持水率为92.94%,与对照组相比,巴氏杀菌后豆干的持水率无显著变化($P>0.05$),超高压、热辅助超高压和高温灭菌后盐卤豆干的持水率显著提高($P<0.05$)。豆干是一种大豆蛋白凝胶,凝胶中的少部分水与蛋白质、多糖的功能基团相结合,大部分水分(约90%)被锁定在凝胶网状结构中^[15],大豆蛋白凝胶网状结构影响着即食豆干的持水率^[17]。不同杀菌方

式处理后可能会导致大豆蛋白凝胶的微观结构发生变化,而最终影响到即食豆干的持水率。巴氏杀菌对持水率无显著影响,推测其对豆干凝胶微观结构的影响较小,而超高压、热辅助超高压和高温灭菌等处理会显著改变豆干的持水率,所以这3种处理可能会对豆干凝胶微观结构有较大的影响。本部分关于杀菌方式对豆干持水率影响的结果与豆干质构、色泽以及感官属性部分的结果保持一致。

2.6 杀菌方式对豆干中大豆异黄酮含量的影响

大豆异黄酮被报道具有多种生理活性,如分子结构上的酚羟基使其具有抗氧化作用,化学结构与雌激素极为相似,具有类雌激素活性,能缓解更年期综合征^[12],降低血液中胆固醇和低密度脂蛋白含量而减少心血管疾病的发病率^[18-19]。此外,也有报道称大豆异黄酮对激素相关性肿瘤(乳腺癌、结肠癌和前列腺癌)具有明显的抑制作用^[20]。然而,Fernandez-Lopez等^[21]则报道称从健康角度考虑,大豆异黄酮精确的安全摄入量还需要进一步研究。因此,大豆异黄酮是即食豆干中值得关注的生物活性成分。大豆异黄酮在豆制品中以苷元和糖苷(葡萄糖苷型、丙二酰基葡萄糖苷型、乙酰基葡萄糖苷型)的形式存在(共计12种单体同系物),苷元型包括大豆苷元、染料木黄酮(又称金雀异黄酮)和黄豆黄素^[22]。

通常情况下,豆干中的大豆异黄酮主要以苷元型和葡萄糖苷型的形式存在,其他形态的大豆异黄酮含量较少^[23]。王春娥等^[24]研究发现,豆腐加工过程中,经浆渣分离后在豆渣中损失14.85%的异黄酮,压榨过程在黄浆水中损失67.83%的异黄酮,最后仅有17.32%的异黄酮从原料大豆中进入豆腐(约639.89 $\mu\text{g/g}$),其中大豆苷元、染料木黄酮、黄豆黄素(苷元型)和大豆苷、染料木苷、黄豆黄苷(葡萄糖苷型)6种异黄酮的含量为558.77 $\mu\text{g/g}$,占大豆异黄酮总量的87.32%,这可能是由于在煮浆过程中热不稳定的丙二酰基和乙酰基葡萄糖苷型大豆异黄酮会转化成葡萄糖苷型^[22],因此,可以使用3种苷元型和3种葡萄糖苷型的异黄酮来分析即食豆干杀菌过程中大豆异黄酮的变化。

表6 杀菌方式对即食豆干中大豆异黄酮含量的影响

Table 6 Effect of sterilization methods on isoflavone contents of ready-to-eat dried soybean curd

杀菌方式	大豆苷含量/ ($\mu\text{g/g}$)	染料木苷含量/ ($\mu\text{g/g}$)	黄豆黄苷含量/ ($\mu\text{g/g}$)	大豆苷元含量/ ($\mu\text{g/g}$)	染料木黄酮含量/ ($\mu\text{g/g}$)	黄豆黄素含量/ ($\mu\text{g/g}$)	总大豆异黄酮含量/ ($\mu\text{g/g}$)	总苷元含量/ ($\mu\text{g/g}$)
对照组	118.4±5.1 ^a	238.1±31.1 ^a	60.3±2.0 ^a	310.6±27.9 ^a	300.2±9.6 ^a	4.4±0.2 ^a	1031.8±26.9 ^a	615.2±37.2 ^a
巴氏杀菌	137.1±20.9 ^a	312.2±24.6 ^a	84.1±15.9 ^{ab}	183.7±28.5 ^a	149.4±20.5 ^a	15.9±9.8 ^a	882.3±86.3 ^a	348.9±32.2 ^a
超高压杀菌	130.6±11.6 ^a	262.7±9.1 ^b	80.9±13.4 ^{ab}	86.6±34.1 ^a	225.9±10.1 ^a	59.5±15.3 ^a	846.1±39.9 ^a	372.0±26.2 ^a
热辅助超高压杀菌	139.3±50.2 ^a	311.2±4.2 ^a	80.6±18.4 ^{ab}	194.1±20.5 ^a	212.9±23.0 ^a	41.3±12.0 ^a	979.3±76.0 ^a	448.3±53.9 ^a
高温杀菌	49.4±6.9 ^b	273.5±3.9 ^a	97.0±27.7 ^b	235.9±9.4 ^a	230.2±14.2 ^a	7.9±2.0 ^a	893.8±49.3 ^a	474.0±21.5 ^a

由表6可知,对照组豆干中6种大豆异黄酮的总量为1031.8 $\mu\text{g/g}$ (干基质量),与对照相比,巴氏杀菌、高

温短时杀菌和热辅助高压杀菌后总大豆异黄酮含量分别显著下降至882.3、846.1、893.8 $\mu\text{g/g}$ ($P<0.05$), 但超高压杀菌对即食豆干总大豆异黄酮含量的影响(979.3 $\mu\text{g/g}$)不显著($P>0.05$)。因此,除了超高压处理,其他几种灭菌方式均会导致即食豆干中总大豆异黄酮含量的下降。此外,所采用的杀菌方式均会造成苷元型总大豆异黄酮含量的降低,其中热处理(巴氏杀菌和高温短时灭菌)损失最大,其次是超高压杀菌和热辅助超高压杀菌。

巴氏杀菌后即食豆干中的染料木苷含量由238.1 $\mu\text{g/g}$ 显著增加至312.2 $\mu\text{g/g}$ ($P<0.05$),但大豆苷元和染料木黄酮的含量分别由310.6 $\mu\text{g/g}$ 和300.2 $\mu\text{g/g}$ 显著降低至183.7 $\mu\text{g/g}$ 和149.4 $\mu\text{g/g}$ ($P<0.05$),两种苷元型异黄酮含量的降低最终导致总大豆异黄酮含量的下降。高温灭菌后,葡萄糖苷型异黄酮含量变化不显著($P>0.05$),大豆苷元和染料木黄酮含量分别显著降低至86.6 $\mu\text{g/g}$ 和225.9 $\mu\text{g/g}$,其中大豆苷元损失较大。Grün等^[18]研究热处理(80~100 $^{\circ}\text{C}$ 、0~40 min)对石膏豆腐大豆异黄酮影响时发现,豆腐中大豆异黄酮的总量(染料木黄酮和大豆苷元系列)随着加热时间的延长显著减少,温度越高减少幅度越大,大豆苷元的损失是总大豆异黄酮含量下降的主要原因,100 $^{\circ}\text{C}$ 加热30 min后大豆苷元损失65.5% (由48.975 mg/g降低至16.898 mg/g),本研究结果与其类似。

热处理过程中即食豆干中的大豆异黄酮发生复杂的化学变化,苷元衍生物(葡萄糖苷、乙酰葡萄糖苷和丙二酰葡萄糖苷异黄酮)在加热过程中也可转化为苷元和其他衍生物类型,如丙二酰葡萄糖苷型经脱羧反应可转化为乙酰基葡萄糖苷,丙二酰和乙酰基葡萄糖苷型可通过脱酯化反应转化为葡萄糖苷而导致葡萄糖苷型异黄酮含量的上升^[25],葡萄糖苷型异黄酮会降解产生相应的苷元而导致苷元型异黄酮含量的上升^[26],苷元型异黄酮会在加热过程中发生降解^[27]。因此,热处理过程中葡萄糖苷型和苷元型异黄酮的降解和生成会影响其最终含量。此外,豆干杀菌过程中会损失约总质量2%的水分^[7],大豆异黄酮也会溶解到水中而导致豆干中大豆异黄酮的损失^[18]。

超高压杀菌和热辅助高压杀菌后豆干中大豆苷元和染料木黄酮的含量显著下降($P<0.05$)。Jung等^[28]研究发现超高压(400 MPa、25 $^{\circ}\text{C}$ 、10 min)处理豆乳后,豆乳中的大豆异黄酮含量和种类与对照组(未处理)类似,无明显变化,但是热辅助高压(400 MPa、75 $^{\circ}\text{C}$ 、10 min)处理豆乳后,豆乳中大豆异黄酮的组分发生变化,丙二酰葡萄糖苷异黄酮含量下降,葡萄糖苷型含量增加,并认为这可能是由于超高压使介质水的绝热升温而引起的。而Toro-Funes等^[29]研究发现超高压均质(200 MPa、55 $^{\circ}\text{C}$)会导致豆乳中大豆异黄酮含量的升高,并认为这可能是由于高压均质会导致大豆蛋白发生变性而释放出与其结合的大豆异黄酮。此外,超高压处

理也会产生类似于“压榨”的效果,而导致即食豆干水分的损失^[14],损失的水分也会导致大豆异黄酮的损失。因此,超高压和热辅助超高压处理引起即食豆干中大豆异黄酮含量变化的原因可能是由于高压会引起介质“绝热升温”、大豆蛋白变性释放异黄酮以及压榨效应丢失水分。然而,有关不同杀菌方式对即食豆干中大豆异黄酮影响的机制还有待进一步研究。

2.7 能耗分析结果

表7 即食豆干不同杀菌方式的能耗对比
Table 7 Comparison of energy consumption between different sterilization methods for ready-to-eat dried soybean curd

杀菌方式	工作参数	能耗/ (kJ/kg)	折合耗电/ (kW·h/kg)	能耗比/%
巴氏杀菌	95 $^{\circ}\text{C}$ 、30 min	214.13	0.059	72.92
高温杀菌	121 $^{\circ}\text{C}$ 、15 min	293.66	0.082	100.00
超高压杀菌	400 MPa、25 $^{\circ}\text{C}$ 、20 min	35.89	0.010	12.22
热辅助超高压杀菌	400 MPa、60 $^{\circ}\text{C}$ 、20 min	133.91	0.037	45.60

注:不计加热、加压能量损失,设超高压容器的容积利用率为60%。

参考文献[30-31]的计算方法,对即食豆干在不同杀菌条件下的能耗进行估算,结果见表7,高温杀菌、巴氏杀菌、热辅助高压杀菌和超高压杀菌的能耗比分别是100.00%、72.92%、45.60%和12.22%,其中400 MPa超高压处理的能耗仅为高温处理的12.22%,由此可见,超高压杀菌具有非常明显的节能优势。此外,热辅助超高压处理的能耗比为45.60%,也明显低于巴氏杀菌(72.92%)和高温杀菌(100.00%)的能耗比,表明热辅助高压杀菌同样也能在一定程度上大幅节约能耗。因此,从节约能耗方面,两种方式的超高压杀菌处理在即食豆干的工业化生产中均具有较大的应用前景。

3 结 论

在杀菌效果方面,巴氏杀菌(95 $^{\circ}\text{C}$ 、30 min)、高温杀菌(121 $^{\circ}\text{C}$ 、15 min)、超高压杀菌(400 MPa、25 $^{\circ}\text{C}$ 、20 min)和热辅助超高压杀菌(400 MPa、60 $^{\circ}\text{C}$ 、20 min)对即食豆干均具有较好的杀菌效果,杀菌后的产品的菌落总数和大肠菌总数均符合DB34/T 720.2—2009以及GB 2712—2014;在感官指标方面,巴氏杀菌对豆干的质构无显著影响,其他杀菌方式显著增加豆干的硬度和咀嚼性;高温杀菌显著降低豆干的亮度,增加豆干的红绿度,其他杀菌方式无显著影响;超高压杀菌和高温杀菌显著降低豆干的感官评分,可见巴氏杀菌和热辅助高压杀菌有利于保持即食豆干感官品质;在对大豆异黄酮影响方面,巴氏杀菌、高温杀菌和热辅助超高压杀菌显著降低即食豆干中的大豆异黄酮的总含量,但热辅助超高压杀菌有助于减少苷元型总大豆异黄酮含量的损失。此外,对不同杀菌方式的能耗估算结果表明,采用超高压及热辅助超高压处理均具有明显

的节能优势。综上,本研究结果可为即食豆干杀菌技术的改良提供参考。然而,有关不同杀菌方式豆干在贮藏中的品质变化以及杀菌中大豆异黄酮含量变化的机制还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 李海涛, 赵良忠, 范柳, 等. 休闲豆干真空脉冲卤制工艺优化[J]. 食品工业科技, 2018, 39(17): 173-179. DOI:10.13386/j.issn1002-0306.2018.17.029.
- [2] 叶韬, 王云, 尹琳琳, 等. 即食豆干加工过程中挥发性风味物质的研究[J]. 现代食品科技, 2016, 32(6): 271-280. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2016.6.042.
- [3] 卜宇芳, 李文强, 谢灵来, 等. 休闲豆腐干贮藏过程中品质变化研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 115-118. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2016.02.030.
- [4] 夏阿林, 夏霞明, 吉琳琳, 等. 低场核磁共振结合化学模式识别方法判别休闲豆干品牌[J]. 农业工程学报, 2018, 34(10): 282-288. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2018.10.036.
- [5] 卜宇芳, 赵良忠, 尹乐斌, 等. 卤豆干生产过程微生物检测及安全控制[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 107-110. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201405021.
- [6] 尹乐斌, 雷志明, 周娟, 等. HACCP在湘派休闲豆干生产中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(5): 1920-1925. DOI:10.3969/j.issn.2095-0381.2017.05.067.
- [7] 王磊, 邓力, 李慧超, 等. 基于CFD数值模拟的豆腐干软罐头杀菌工艺优化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(21): 298-306. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2017.21.037.
- [8] 周先汉, 朱稀隰, 王亚东, 等. 茶干杀菌工艺的研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 199-201. DOI:10.7666/d.y1507980.
- [9] 陈浩. 休闲豆制品超高压杀菌工艺及产品品质研究[D]. 邵阳: 邵阳学院, 2015: 40-50.
- [10] HUANG T C, FU H Y, HO C T, et al. Comparative studies on some quality attributes of firm tofu sterilized with traditional and autoclaving methods[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2003, 51(1): 254-259. DOI:10.1021/jf0206419.
- [11] 贺云. 豆腐酸浆中乳酸菌的分离鉴定及其在酸浆豆腐中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2018: 8-10.
- [12] 马玉荣. 加热及模拟胃肠道消化处理对豆浆活性成分和抗氧化能力的影响[D]. 广州: 华南理工大学, 2014: 1-8.
- [13] LEE K H, EASA A M, ISMAIL N, et al. Effects of thermal treatments on texture of soy protein isolate tofu[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2000, 24(4): 275-286. DOI:10.1111/j.1745-4549.2000.tb00419.x.
- [14] PRESTAMO G, LESMES M, OTERO L, et al. Soybean vegetable protein (tofu) preserved with high pressure[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2000, 48(7): 2943-2947. DOI:10.1021/jf991251y.
- [15] 叶韬, 丁凯丽, 陈志娜, 等. 凝固剂对白玉饺品质特性的影响[J]. 食品与机械, 2018, 34(4): 216-220. DOI:10.13652/j.issn.1003-5788.2018.04.043.
- [16] 杨倩. 调味豆腐干加工及保藏的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2012: 25-36.
- [17] SHEN Y R, KUO M I. Effects of different carrageenan types on the rheological and water-holding properties of tofu[J]. LWT-Food Science and Technology, 2017, 78(1): 122-128. DOI:10.1016/j.lwt.2016.12.038.
- [18] GRÜN I U, ADHIKARI K, LI C, et al. Changes in the profile of genistein, daidzein, and their conjugates during thermal processing of tofu[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2001, 49(6): 2839-2843. DOI:10.1021/jf010028.
- [19] ANDRADE J C, MANDARINO J M G, KUROZAWA L E, et al. The effect of thermal treatment of whole soybean flour on the conversion of isoflavones and inactivation of trypsin inhibitors[J]. Food Chemistry, 2016, 194(1): 1095-1101. DOI:10.1016/j.foodchem.2015.08.115.
- [20] 田笑, 金梅花, 刘莉园, 等. 大豆异黄酮诱导小鼠肝癌移植瘤细胞凋亡的机制[J]. 食品科学, 2018, 39(17): 122-126. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201817020.
- [21] FERNANDEZ-LOPEZ A, LAMOTHE V, DELAMPE M, et al. Removing isoflavones from modern soyfood: why and how?[J]. Food Chemistry, 2016, 210(1): 286-294. DOI:10.1016/j.foodchem.2016.04.126.
- [22] 靳羽慧, 刘长忠, 徐响, 等. 蒸汽爆破对豆渣中大豆异黄酮的影响研究[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(10): 16-20. DOI:10.3969/j.issn.1003-0174.2017.10.003.
- [23] 酆金龙, 程永强, 焦翔, 等. W/O及W/O/W乳液型缓释凝固剂对卤水豆腐品质的影响[J]. 农业机械学报, 2013, 44(9): 162-168. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.09.029.
- [24] 王春娥, 赵团结, 盖钧镒, 等. 大豆异黄酮组分HPLC快速分析及其在豆腐加工中的应用[J]. 作物学报, 2010, 36(12): 2062-2072. DOI:10.3724/SP.J.1006.2010.02062.
- [25] NIAMNUY C, NACHAISIN M, POOMSA-AD N, et al. Kinetic modelling of drying and conversion/degradation of isoflavones during infrared drying of soybean[J]. Food Chemistry, 2012, 133(3): 946-952. DOI:10.1016/j.foodchem.2012.02.010.
- [26] YUE X H, ABDALLAH A M, XU Z, et al. Thermal dynamic properties of isoflavones during dry heating[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(9): 1878-1882. DOI:10.1111/j.1365-2621.2010.02346.x.
- [27] 马玉荣, 黄惠华. 热处理对豆浆中大豆异黄酮含量及降解动力学的影响[J]. 现代食品科技, 2015, 31(1): 26-31. DOI:10.13982/j.mfst.1673-9078.2015.1.006.
- [28] JUNG S, MURPHY P A, SALA I, et al. Isoflavone profiles of soymilk as affected by high-pressure treatments of soymilk and soybeans[J]. Food Chemistry, 2008, 111(3): 592-598. DOI:10.1016/j.foodchem.2008.04.025.
- [29] TORO-FUNES N, BOSCH-FUSTÉ J, VECIANA-NOGUÉS M T, et al. Effect of ultra high pressure homogenization treatment on the bioactive compounds of soya milk[J]. Food Chemistry, 2014, 152(1): 597-602. DOI:10.1016/j.foodchem.2013.12.015.
- [30] 姚佳, 孔民, 胡小松, 等. 高静压杀菌对不同形状果块的黄桃罐头质地的影响[J]. 农业工程学报, 2013, 29(增刊1): 275-285. DOI:10.3969/j.issn.1002-6819.2013.z1.043.
- [31] 朱瑞. 农产品超高压加工过程能耗研究[C]// 中国机械工程学会包装与食品工程分会. 北京: 中国机械工程学会, 2010: 6.