

超高压处理对奶油奶酪质构、风味及货架期的影响

Effect of ultra-high pressure treatment on the texture, flavor and shelf life of cream cheese

张园园¹ 刘振民² 郑远荣²

ZHANG Yuanyuan¹ LIU Zhenmin² ZHENG Yuanrong²

(1. 上海电力大学, 上海 201306; 2. 光明乳业股份有限公司研究院乳业生物技术国家重点实验室, 上海 200436)

(1. Shanghai University of Electric Power, Shanghai 201306, China; 2. State Key Laboratory of Dairy Biotechnology, Technical Center, Bright Dairy and Food Co., Ltd., Shanghai 200436, China)

摘要:目的: 确定超高压(HHP)处理奶酪的最适条件。方法: 以自制奶油奶酪为研究对象, 探究超高压处理压力对奶油奶酪质构、风味及货架期的影响。通过质构仪、固相微萃取—气相色谱质谱联用仪及菌落计数法分别对奶酪的质构、风味物质、微生物等进行测定。结果: 经 HHP 处理后, 奶油奶酪的硬度、黏性、耐咀嚼性呈降低趋势; 当处理压力为 300 MPa 时, 奶酪的弹性达到最高, 比未处理奶酪增加了 14.0% ($P < 0.05$); 当处理压力 ≥ 400 MPa 时, 奶酪挥发性物质的含量和种类明显降低, 且 200, 300 MPa 处理奶酪与未处理奶酪均位于第一主成分区域; HHP 处理人工染菌后的奶油奶酪, 其菌落数显著下降 ($P < 0.05$), 且处理压力越大, 杀菌效果越好; 当 HHP 处理压力 ≥ 300 MPa 时, 奶酪的货架期从 7 d 延长至 21 d。结论: 经 HHP 处理的奶油奶酪有良好的质地和风味, 且其货架期有效延长。

关键词: 超高压处理; 奶油奶酪; 质构; 风味; 货架期

Abstract: Objective: This study aimed to determine the optimal conditions for ultra-high pressure (HHP) cream cheese.

Methods: The influence of non-thermal processing pressure on the texture, flavor and shelf life of homemade cream cheese were explored. By using the texture profile analysis (TPA), solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (SPME-GC-MS), and colony counting method, the texture, flavor substances, and microorganisms of cheese were identified

基金项目: 上海市国资委企业创新发展和能级提升项目(编号: 2022013)

作者简介: 张园园, 女, 上海电力大学助理研究员, 硕士。

通信作者: 郑远荣(1983—), 男, 光明乳业股份有限公司研究院乳业生物技术国家重点实验室教授级高级工程师, 硕士。

E-mail: Zhang0yuan1yuan@163.com

收稿日期: 2023-04-20 **改回日期:** 2023-07-25

and evaluated. **Results:** After HHP treatment, the hardness, adhesiveness, and resilience of cream cheese decreased. The springiness of cheese reached the highest at 300 MPa, significantly increasing by 14.0% ($P < 0.05$). When the pressure is more than or equal to 400 MPa, the content and species of volatile substances in cheese are significantly reduced. Principal component analysis showed that 200 and 300 MPa treated cheese and unpressurized cheese were both in the first principal component area. After HHP treatment of artificially dyed cream cheese, the number of bacterial colonies decreased significantly ($P < 0.05$), and the greater the treatment pressure, the better the bactericidal effect. When the HHP treatment pressure is greater than or equal to 300 MPa, the shelf life of cheese was effectively extended from 7 days to 21 days. **Conclusion:** The cream cheese treated by HHP has a good texture and original flavor while effectively extending the shelf life.

Keywords: high hydrostatic pressure (HHP); cream cheese; texture; flavor; shelf life

奶油奶酪是北美最著名的软质奶酪之一, 被广泛用作调味酱和奶酪蛋糕等产品的原料^[1]。Song 等^[2]发现, 奶油奶酪在食品行业中的经济作用越来越重要, 预计到 2026 年全球奶酪市场规模将达 601 亿元。奶油奶酪属于新鲜奶酪, 质地柔软, 脂肪含量和水分活度较高, 但货架期较短^[3]。近年来, 为了实现奶油奶酪的商业无菌化, 在室温下加工的奶油奶酪需要经过 121 °C/5 min 高温处理才能达到灭菌的目的^[4-5]。然而, 强烈的热处理不可避免地破坏了食品的营养价值、颜色、质地和风味^[6]。

超高压技术作为新型非热加工技术, 可以极大地保障食品的品质和安全性, 对于促进奶酪制品的开发和推广具有重大的现实意义^[7]。姜珠等^[8]研究表明, 超高压(HHP)

处理能增强奶酪网络结构的稳定性,且在150 MPa和450 MPa下的奶酪黏弹性较好。HHP处理可有效缩短奶酪的成熟时间,通过降低发酵剂微生物数量和蛋白质水解速率来延长干酪贮藏期,通过改善奶酪的流变特性和质构特性来提高干酪品质^[9]。Evert-Arriagadak等^[10]发现,HPP处理(300,400 MPa/5 min)能够将新鲜奶酪的货架期延长至21 d,且对奶酪风味的影响甚微。

研究拟以200,300,400,500 MPa/10 min为HHP处理条件,室温下探究超高压处理对奶油奶酪质构、风味和货架期的影响,旨在阐述并分析HHP处理对奶油奶酪的影响过程与机制,确定HHP处理奶酪的最适条件,为超高压技术在奶酪工业化生产中的应用提供依据。

1 材料与设备

1.1 材料

奶油奶酪:自制;

氯化钠、 Na_2HPO_4 :分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

平板计数琼脂(PCA)培养基、乳酸链球菌培养基M17琼脂(M17)培养基、马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基、0.85%灭菌生理盐水:国药集团化学试剂有限公司;

CHOOZIT MM100 *Lactococcus lactis subsp. Lactis*、*Lactococcus lactis subsp. lactis cremoris*、*Lactococcus lactis subsp. lactis biovar. Diacetylactis* 发酵剂:丹尼斯克公司。

1.2 仪器与设备

超高压设备:FPG7100型,英国STANDTETD FLUID POWER公司;

隔水式恒温培养箱:GNP-9270型,上海精宏实验设备有限公司;

电子天平:BSA42025-CW型,赛多利斯(上海)贸易有限公司;

立式电热压力灭菌锅:LD ZX-40 A I型,上海申安医疗器械厂;

质构分析仪:TA.XTplus型,超技仪器有限公司;

固相微萃取(SPME):50/30 μm DVB/CAR/PDMS型,美国Sigma-Aldrich公司;

气相色谱-质谱联用仪(GC-MS):7890A-5975C型,美国安捷伦公司;

恒温水浴箱:GFL1013型,德国GFL公司;

超净工作台:TH-CB-402型,英国Labconco公司。

1.3 试验方法

1.3.1 奶油奶酪制备工艺

原料乳(脂肪含量33%)→标准化(55 $^{\circ}\text{C}$ /10 MPa)→巴氏杀菌→冷却(30 $^{\circ}\text{C}$)→添加发酵剂→酸化(pH 4.7)→凝乳切割→保温搅拌→吊袋排乳清(10~12 h)→拌盐(0.5%)→压模成型→无菌包装

1.3.2 超高压处理 将奶油奶酪切成成长正方体(5 cm×5 cm×5 cm),抽真空包装,依次置于超高压腔中(高压介质为水和丙二醇混合物),以未超高压处理的奶酪作对照组。超高压处理组在不同压力(200,300,400,500 MPa)下处理10 min,处理环境为25 $^{\circ}\text{C}$ 的中试车间,加压处理后的奶酪于4 $^{\circ}\text{C}$ 贮藏。

1.3.3 质构测定 采用TPA二次下压法。将制备好的样品于4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱平衡30 min,为确保数据的准确性,测试在5 min内完成,每组奶酪平行测定6次。探头类型为P/0.5R,测前速率1 mm/s,测试速率1 mm/s,测后速率5 mm/s,下压距离5 mm,触发力0.009 8 N,并利用质构分析仪自带软件Exponent 5.0进行处理,获得奶酪的硬度、黏性、弹性、内聚性、耐嚼性和回复性等功能特性数据。

1.3.4 风味物质测定 参照王磊等^[11]的方法。

(1) 色谱条件:色谱柱为DB-wax(30 m×0.25 mm×0.25 μm);进样温度260 $^{\circ}\text{C}$;不分流;载气为氦气;流量为1 mL/min;程序升温为40 $^{\circ}\text{C}$ 保持5 min,以5 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至250 $^{\circ}\text{C}$,保持5 min。

(2) 质谱条件:离子源温度230 $^{\circ}\text{C}$;四级杆温度150 $^{\circ}\text{C}$;电离方式为 EI^+ ,70 eV;扫描方式为全扫描;质量范围20~400 amu。气相色谱质谱数据处理由ChemStation Integratorr系统完成,化合物经NIST 2011谱库检测匹配,选取相似度 ≥ 80 的物质,通过峰面积归一法计算目标化合物的相对百分含量。

1.3.5 货架期微生物检测

(1) 人工染菌组试验:称取5 g奶油奶酪于灭菌后的聚乙烯袋中,共5份,每份滴加1 mL乳酸菌菌悬液(接种量为 2.6×10^7 CFU/mL),真空包装后于4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱过夜,进行HHP处理,以未经HHP处理的染菌样品为对照组。

(2) 微生物超标评测标准:按GB 5420—2021执行。

(3) 菌落总数:按GB 4789.2—2022执行。

(4) 霉菌、酵母数:按GB 4789.15—2016执行。

(5) 乳酸菌数:按GB 4789.35—2016执行。

1.3.6 数据处理 采用Excel、SPSS等软件进行数据处理,并进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 HHP处理对奶油奶酪质构的影响

由表1可知,HHP处理的奶油奶酪的硬度、黏性、耐嚼性呈下降趋势。HHP处理可以减弱奶酪酪蛋白的疏水作用^[12],使得基质中的水分子之间的距离减小,水分子渗透并附着在酪蛋白内部的氨基酸上,从而改变酪蛋白的性质,随着酪蛋白胶粒直径的变小,奶酪中的水分增加^[13-14]。在500 MPa/10 min处理条件下,奶酪的硬度显著提高(提高了14.1%),压力过大会导致水分渗出,奶酪的含水量降低,使奶酪基质更加紧凑,达到硬化的效

表 1 HHP 处理对奶油奶酪质构的影响[†]

Table 1 Effects of HHP pressure variable on the texture of cream cheese

处理条件	硬度/N	黏性/(N·s)	弹性	内聚性	耐咀嚼性/N	回复力
对照组	3.96±0.13 ^b	-1.68±0.24 ^b	0.64±0.07 ^b	0.39±0.06 ^a	1.15±0.20 ^b	0.12±0.02 ^a
200 MPa/10 min	3.98±0.10 ^b	-1.65±0.18 ^b	0.70±0.04 ^a	0.32±0.03 ^a	0.90±0.25 ^b	0.11±0.02 ^{ab}
300 MPa/10 min	3.92±0.13 ^b	-1.64±0.22 ^b	0.73±0.07 ^a	0.38±0.02 ^a	0.94±0.13 ^b	0.10±0.01 ^{ab}
400 MPa/10 min	3.70±0.02 ^b	-1.19±0.14 ^a	0.49±0.02 ^c	0.41±0.04 ^a	0.98±0.27 ^b	0.11±0.02 ^{ab}
500 MPa/10 min	4.52±0.17 ^a	-1.09±0.14 ^a	0.47±0.03 ^c	0.39±0.02 ^a	1.45±0.19 ^a	0.08±0.01 ^b

[†] 字母不同表示差异显著($P < 0.05$)。

果。张园园等^[15]研究表明,HHP 处理对奶酪的硬度和耐咀嚼性有显著影响,与未经 HHP 处理的相比分别降低了 31%,39%,且压力越高下降越显著($P < 0.05$)。Okpala 等^[16]发现新鲜奶酪的黏着性随 HHP 处理压力的增加(100~300 MPa)而降低,与研究结果一致。当处理压力为 300 MPa 时,奶酪的弹性达到最大,与未经 HHP 处理的相比增大了 14.0%($P < 0.05$)。Evert-Arriagada 等^[17]研究发现,加压处理的奶酪更不易变形,且有更好的弹性。奶酪的质地取决于蛋白质网络和脂肪填充颗粒的性质^[18],压力引起的弹性变化归因于蛋白分子非共价相互作用和酪蛋白与钙平衡的复杂变化^[17]。当 HHP 处理压力 ≤ 400 MPa 时,奶酪的内聚性和回复力无显著变化。综上,300 MPa/10 min 处理的奶酪硬度适中,弹性较高且易于咀嚼。

2.2 HHP 处理对奶油奶酪风味物质的影响

由表 2 可知,经 SPME 萃取和 GC-MS 分析后共检出 54 种挥发性物质,其中烃类 29 种,酮类 7 种,醇类 6 种,醛

类 4 种,酯类 6 种,酸类 2 种。在奶油奶酪顶空检测分析中,酮是最丰富的挥发性化合物,其对奶酪风味贡献最大,其次是酯类,酯类化合物是奶油奶酪中重要的香味成分,主要贡献水果香气和甜味。当 HHP 处理压力 ≤ 400 MPa 时,奶酪中酮类的种类多于对照组,但其含量略低于对照组。当 HHP 处理压力 ≥ 500 MPa 时,其挥发性物质的种类和含量均明显降低。当 HHP 处理压力为 200,300 MPa 时,奶酪的挥发性成分几乎不受影响。

酮类化合物风味独特,阈值较低,对奶油奶酪风味形成起着非常重要的作用^[19]。由表 3 可知,乙偶姻是含量最高的酮,其次是庚酮和戊酮。乙偶姻是奶油奶酪中最重要的特征香气之一,是乳酸乳球菌和明串珠菌属柠檬酸代谢的产物,具有浓郁的奶油、脂肪、黄油样香气^[10]。当 HHP 处理压力 ≥ 400 MPa 时,乙偶姻含量显著降低($P < 0.05$),HHP 处理可以降低发酵微生物的数量^[20],从而抑制乙偶姻的合成,导致其含量降低。庚酮具有新鲜的奶油味和类似梨的水果香味,戊酮可赋予奶酪果香

表 2 HHP 处理对奶油奶酪风味的影响

Table 2 Effects of HHP pressure variable on flavor of cream cheese

处理条件	酮类物质		酯类物质		醛类物质		醇类物质		酸类物质	
	种类	含量/%	种类	含量/%	种类	含量/%	种类	含量/%	种类	含量/%
对照酪	6	20.43	6	2.36	4	2.40	6	0.76	2	0.23
200 MPa/10 min	6	17.12	5	1.84	4	1.58	5	0.68	2	0.25
300 MPa/10 min	7	17.32	5	1.89	4	1.71	6	0.78	2	0.21
400 MPa/10 min	7	16.65	5	0.57	4	1.72	4	0.41	1	0.11
500 MPa/10 min	7	10.57	3	0.36	3	0.65	3	0.33	0	0.00

表 3 HHP 处理对奶油奶酪酮类化合物含量的影响[†]

Table 3 Effects of HHP pressure variable on ketone compounds of cream cheese

处理条件	戊酮/%	庚酮/%	壬酮/%	乙偶姻/%	十一烷酮/%	辛酮/%
对照组	3.33±0.42 ^a	6.49±0.77 ^a	3.25±0.75 ^a	6.53±0.04 ^a	0.33±0.12 ^a	0.50±0.01 ^a
200 MPa/10 min	2.91±0.01 ^a	5.90±0.18 ^a	1.01±0.01 ^b	6.55±0.05 ^a	0.28±0.02 ^a	0.04±0.01 ^{bc}
300 MPa/10 min	2.83±0.07 ^a	6.21±0.16 ^a	1.19±0.11 ^b	6.49±0.02 ^a	0.30±0.01 ^a	0.06±0.13 ^b
400 MPa/10 min	1.99±0.28 ^b	7.47±1.37 ^a	1.60±0.21 ^b	5.10±0.02 ^b	0.31±0.03 ^a	0.08±0.01 ^{bc}
500 MPa/10 min	0.66±0.01 ^c	3.40±0.72 ^b	0.91±0.20 ^b	5.24±0.05 ^b	0.19±0.02 ^b	nd

[†] 字母不同表示差异显著($P < 0.05$);nd 为未检出。

及轻微的牛奶香气^[21]。当 HHP 处理压力 ≤ 300 MPa 时,庚酮和戊酮含量稳定。

酯类具有花香和果香,阈值较低,可以中和酸类浓度过高产生的刺激性气味,使奶酪的风味更加柔和,其也是奶酪中的重要风味物质^[22-23]。由表 4 可知,己酸乙酯检出含量最高,其具有强烈的果香和酒香香气,并有苹果、菠萝、香蕉样的香气^[24],当处理压力 ≤ 300 MPa 时,其含

量无显著性变化。内酯是醇酸经脱水酯化形成的一种环状结构,比较稳定,不容易分解,这也是 HHP 处理对酯类含量基本无影响的原因。丁位癸内酯(δ -癸内酯)已被描述为奶油奶酪最重要的内酯^[21];丁位十二内酯具有桃子的香气,在低浓度下呈奶油气味^[25];这两种内酯在加压处理前后无显著变化。

由表 5 可知,当 HHP 处理压力 ≤ 300 MPa 时,奶酪

表 4 HHP 处理对奶油奶酪酯类化合物的影响[†]

Table 4 Effects of HHP pressure variable on esters compounds of cream cheese

处理条件	己酸乙酯/%	己酸烯丙酯/%	羟基辛酸内酯/%	丁位癸内酯/%	丁位十二内酯/%
对照组	1.45±0.19 ^a	0.08±0.01 ^b	nd	0.22±0.01 ^a	0.09±0.01
200 MPa/10 min	1.35±0.03 ^a	0.11±0.01 ^a	0.04±0.01 ^b	0.25±0.04 ^a	0.09±0.02
300 MPa/10 min	1.38±0.07 ^a	0.10±0.01 ^{ab}	0.05±0.01 ^a	0.26±0.01 ^a	0.10±0.01
400 MPa/10 min	0.09±0.02 ^b	0.10±0.01 ^{ab}	0.06±0.01 ^a	0.24±0.02 ^{ab}	0.08±0.02
500 MPa/10 min	nd	nd	0.04±0.01 ^a	0.24±0.01 ^{ab}	0.08±0.04

† 字母不同表示差异显著($P < 0.05$);nd 为未检出。

醛类、醇类和酸类的主要挥发性物质未受到显著影响。醛类物质通常具有较低的阈值并对奶酪整体风味有显著贡献^[26]。己醛是奶油奶酪中主要的醛,具有生的油脂、青草气和苹果香味^[27]。苯甲醛是由色氨酸或苯丙氨酸转化而来,对奶酪整体良好风味的形成有重要作用,其能表现出杏仁味^[28],当 HHP 处理压力为 300,400 MPa 时,其含量呈增长趋势。奶酪中的醇类一般是通过乳糖代谢、氨基酸代谢、甲基酮还原等途径产生^[22],2-戊醇能呈甜味、水果味和坚果味^[29],当 HHP 处理压力为 200~400 MPa

时其含量显著提高($P < 0.05$),在某种程度上促进了奶酪中醇类的合成代谢。1-辛醇具有柠檬气味,2-十二醇略有月下香及紫罗兰的香气,具有微弱但很持久的油脂气息^[30],HHP 处理前后二者含量稳定。酸类化合物的存在有利于奶酪风味的释放,这在奶酪风味和气味中起着重要的作用^[31]。乙酸能够赋予奶油奶酪强烈的酸味,己酸赋予奶酪中等到强烈的类似山羊奶气味^[11],当 HHP 处理压力 ≤ 300 MPa 时,酸类物质含量稳定。

由图 1 可知,第一主成分解释了 48.1% 的变量,第二

表 5 HHP 处理对奶油奶酪其他风味物质的影响[†]

Table 5 Effects of HHP pressure variable on other flavor substances of cream cheese

处理条件	己醛/%	壬醛/%	苯甲醛/%	2-戊醇/%	1-辛醇/%	1-己醇/%	2-十二醇/%	乙酸/%	己酸/%
对照组	1.14±0.03 ^a	1.01±0.02 ^a	0.06±0.02	0.07±0.01 ^b	0.26±0.02	0.22±0.01	0.04±0.01	0.18±0.13	0.05±0.08
200 MPa/10 min	1.12±0.02 ^a	0.23±0.02 ^c	0.06±0.01	0.13±0.01 ^a	0.25±0.01	0.21±0.03	0.05±0.03	0.18±0.03	0.07±0.02
300 MPa/10 min	1.12±0.13 ^a	0.26±0.00 ^c	0.09±0.01	0.13±0.02 ^a	0.24±0.02	0.19±0.01	0.05±0.02	0.15±0.21	0.05±0.01
400 MPa/10 min	1.03±0.04 ^b	0.37±0.01 ^b	0.07±0.02	0.13±0.03 ^a	0.21±0.06	nd	0.04±0.01	0.11±0.06	nd
500 MPa/10 min	nd	0.38±0.07 ^b	0.06±0.02	0.09±0.01 ^{ab}	0.19±0.03	nd	0.05±0.03	nd	nd

† 字母不同表示差异显著($P < 0.05$);nd 为未检出。

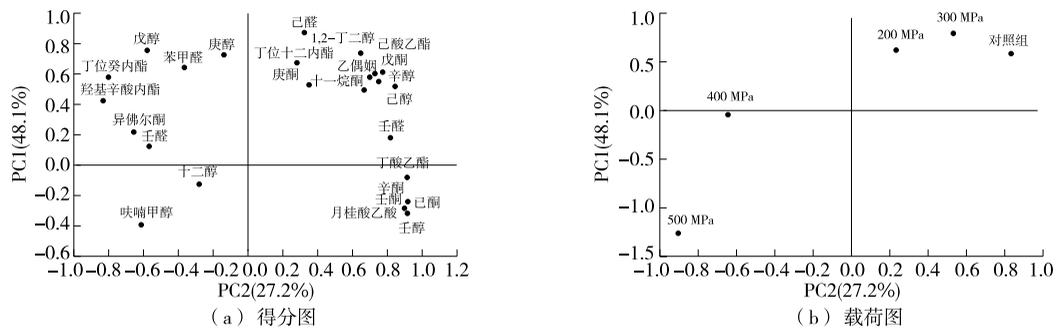


图 1 挥发性风味物质主成分分析结果

Figure 1 Score plot and factor loading of principle components analysis of volatile compounds

主成分解释了 27.2% 的变量。当 HHP 处理压力为 200, 300 MPa 时, 其奶酪与对照组处在相近的风味区域内, 说明适宜的压力处理可以保持奶酪原有的风味物质, 在某种程度上还可以改善其风味。

2.3 HHP 处理对货架期的影响

奶油奶酪是一种新鲜的软质奶酪, 营养丰富, 易受微生物影响。超高压的杀菌效果主要是通过诱导微生物细胞形态、细胞壁、细胞膜发生变化, 改变其生化反应和遗传机制来实现杀菌的目的。由图 2(a) 可知, 奶酪加压后菌落数显著下降 ($P < 0.05$), 且 HHP 处理压力越大, 杀菌效果越好。当 HHP 处理压力为 300 MPa 时, 菌落总数下降了 3 个对数值 ($P < 0.05$)。沈梦琪等^[32]研究表明, 600 MPa/15 min/30 min 的处理条件能够显著杀灭生牛

乳中的微生物, 在 2~6 °C 贮藏 30 d 后, 其微生物数量才超出评测标准。由图 2(b) 可知, 当 HHP 处理压力 ≥ 300 MPa 时, 贮藏期内未检测到微生物。未加压的奶酪在贮藏 1 周后微生物超标且不能食用。由图 2(c) 可知, 微生物在贮藏期内的变化趋势与乳球菌的相似, 当 HHP 处理压力为 300 MPa 时, 其杀菌效果显著 ($P < 0.05$), 实现了延长奶酪货架期的目的。霉菌和酵母类是乳制品中常见的腐败菌, 尤其是软质新鲜奶酪如奶油奶酪^[33]。由图 2(d) 可知, 与对照组相比, HHP 处理明显减少了微生物初始数量, 贮藏第 0 天, 300 MPa 处理的霉菌、酵母总数降低了 1.54 lg(CFU/g) ($P < 0.05$)。当 HHP 处理压力 ≥ 300 MPa 时, 奶酪的货架期由 7 d 延长至 21 d, HHP 处理能有效延长奶油奶酪的货架期。

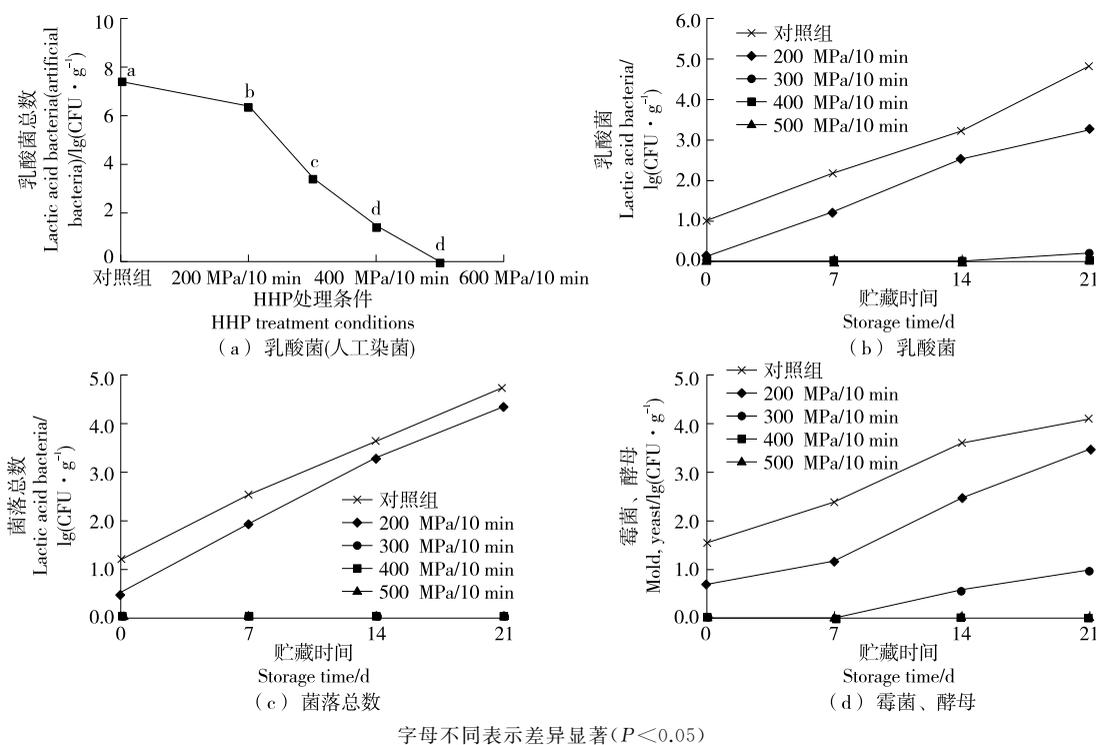


图 2 HHP 处理对奶油奶酪微生物的影响

Figure 2 Effects of HHP pressure variable on microbe of cream cheeses

3 结论

探究了不同超高压处理压力对奶油奶酪质构、风味物质和货架期的影响。结果表明: 超高压处理的奶油奶酪的硬度、黏性、耐咀嚼性呈降低趋势, 当超高压处理压力为 300 MPa 时, 奶酪的弹性达到最高, 与对照组相比增加了 14.0% ($P < 0.05$), 此时奶酪的硬度适中, 弹性较高且更易咀嚼。当超高压处理压力为 400~500 MPa 时, 奶酪中挥发性物质的含量和种类明显降低。超高压处理人工染菌后的奶油奶酪, 其菌落数显著下降 ($P < 0.05$), 且处理压力越大, 杀菌效果越好。当超高压处理压力 ≥ 300 MPa 时, 奶酪的货架期由 7 d 延长至 21 d, 说明超高压处理可以有

效延长奶油奶酪的货架期。综上, 超高压处理奶酪的最佳工艺条件为 300 MPa/10 min。后续可研究超高压处理干酪的应用性能。

参考文献

[1] BRIGHENTI M, GOVINDASAMY-LUCEY S, JAEGLI J J, et al. Behavior of stabilizers in acidified solutions and their effect on the textural, rheological, and sensory properties of cream cheese [J]. Journal of Dairy Science, 2020, 103(3): 2 065-2 076.

[2] SONG B, ZHU P P, ZHANG Y M, et al. Preparation and quality assessment of processed cream cheese by high hydrostatic pressure combined thermal processing and spore-induced germination [J].

- Journal of Food Engineering, 2023, 341: 111319.
- [3] 宗学醒, 边燕飞, 李志国, 等. 不同稳定剂对奶油干酪品质的影响[J]. 食品工业, 2022, 43(7): 97-101.
ZONG X X, BIAN Y F, LI Z G, et al. Effect of different stabilizers on the quality of cream cheese [J]. Food Industry, 2022, 43(7): 97-101.
- [4] FOX P F, GUINEET P, COGAN T M, et al. Processed cheese and substitute/imitation cheese products [M]// Fundamentals of cheese science. Springer: Patrick F Fox, 2017: 589-627.
- [5] KAPOOR R, METZGER L E. Process cheese: Scientific and technological aspects: A review[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2008, 7(2): 194-214.
- [6] ZHANG C, YANG G, SHEN P, et al. Inactivation mechanism of slightly acidic electrolyzed water on *Bacillus cereus* spores[J]. Food Microbiology, 2022, 103: 39-51.
- [7] 吴政, 闫清泉, 司阔林, 等. 超高压技术对干酪贮藏期的影响及研究进展[J]. 食品工业, 2022, 43(4): 210-213.
WU Z, YAN Q Q, SI K L, et al. The influence of ultra-high pressure technology on the storage period of cheese and its research progress [J]. Food Industry, 2022, 43(4): 210-213.
- [8] 姜姝, 腾军伟, 刘振民, 等. 超高压处理对再制奶油干酪质构、流变学特性及微观结构的影响[J]. 食品科学, 2021, 42(5): 84-91.
JIANG Z, TENG J W, LIU Z M, et al. Effect of high hydrostatic pressure treatment on the texture, rheology and microstructure of processed cream cheese[J]. Food Science, 2021, 42(5): 84-91.
- [9] OZTURK M, GOVINDASAMY-LUCEY S, JAEGGI J J, et al. Low-sodium Cheddar cheese: Effect of fortification of cheese milk with ultrafiltration retentate and high-hydrostatic pressure treatment of cheese[J]. Journal of Dairy Science, 2015, 98(10): 6 713-6 726.
- [10] EVERT-ARRIAGADA K, HERNÁNDEZ-HERRERO M M, JUAN B, et al. Effect of high pressure on fresh cheese shelf-life [J]. Journal of Food Engineering, 2012, 110(2): 248-253.
- [11] 王磊, 莫蓓红, 刘振民, 等. 8种典型成熟干酪挥发性风味差异性研究[J]. 食品与机械, 2017, 33(4): 33-38.
WANG L, MO B H, LIU Z M, et al. Study on the differences of volatile flavor of eight typical mature cheeses [J]. Food & Machinery, 2017, 33(4): 33-38.
- [12] MUNOZ M, FERNANDEZ D, FRESNO J M, et al. Effect of high hydrostatic pressure processing on the rennet coagulation kinetics and physicochemical properties of sheep milk rennet-induced gels [J]. Journal of Dairy Science, 2023, 106(4): 2 314-2 325.
- [13] JUAN B, TRUJILLO A J, GUAMIS V, et al. Rheological, textural and sensory characteristics of high-pressure treated semi-hard ewes' milk cheese [J]. International Dairy Journal, 2007, 17(3): 248-254.
- [14] 李博, 高鑫, 梅俊. 超高压处理对低脂半硬质干酪质构与风味的影响研究[J]. 食品工业, 2018, 39(9): 208-212.
LI B, GAO X, MEI J. Study on the effect of UHP treatment on the texture and flavor of low-fat semi-hard cheese [J]. Food Industry, 2018, 39(9): 208-212.
- [15] 张园园, 刘振民, 郑远荣, 等. 超高压处理对干酪质构的影响 [J]. 食品与机械, 2017, 33(3): 47-50, 61.
ZHANG Y Y, LIU Z M, ZHENG Y R, et al. Effect of ultra high pressure on the texture of commercial cheese [J]. Food & Machinery, 2017, 33(3): 47-50, 61.
- [16] OKPALA C O R. High pressure processing of fresh cheese [M]. [S.l.]: Charles Okpala, 2010: 101-123.
- [17] EVERT-ARRIAGADA K, HERNÁNDEZ-HERRERO M M, GUAMIS B, et al. Commercial application of high-pressure processing for increasing starter-free fresh cheese shelf-life [J]. LWT-Food Science and Technology, 2014, 55(2): 498-505.
- [18] 石永祺, 梁琪, 宋雪梅, 等. 脂肪含量对牦牛乳硬质干酪质构、流变和微观结构的影响[J]. 食品科学, 2020, 41(20): 14-19.
SHI Y Q, LIANG Q, SONG X M, et al. Effect of fat content on texture, rheology and microstructure of yak milk hard cheese [J]. Food Science, 2020, 41(20): 14-19.
- [19] 范敏, 王梦松, 刘慧, 等. 不同成熟期稀奶油干酪中蛋白质降解及关键风味物质产生的研究 [J/OL]. 食品与发酵工业. (2022-12-14) [2023-02-22]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033995>.
FAN M, WANG M S, LIU H, et al. Study on proteolysis and production of key flavor substances of cream cheese at different maturing stages [J/OL]. Food and Fermentation Industry. (2022-12-14) [2023-02-22]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.033995>.
- [20] NUEZ M, CALZADA J, OLMO A D. High pressure processing of cheese: Lights, shadows and prospects [J]. International Dairy Journal, 2019, 100: 45-58.
- [21] CURIONI P M G, BOSSET J O. Key odorants in various cheese types as determined by gas chromatography-olfactometry [J]. International Dairy Journal, 2002, 12(12): 959-984.
- [22] 卢灏泽, 吕嘉伟, 杨帆, 等. 西藏牦牛奶酪的微生物群落结构与风味物质分析[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(6): 179-186.
LU H Z, LU J W, YANG F, et al. Microbial community structure and flavor analysis of Tibetan yak cheese [J]. Food and Fermentation Industry, 2023, 49(6): 179-186.
- [23] HAO X N, ZHANG J, YANG Y W L, et al. Effect of probiotic *Lactobacillus plantarum* on volatile flavor formation of cheddar cheese [J]. Food Science, 2018, 39(4): 49-58.
- [24] MARILLEY L, CASEY M G. Flavours of cheese products: Metabolic pathways, analytical tools and identification of producing strains [J]. Int J Food Microbiol, 2004, 90(2): 59-139.
- [25] 叶婷婷. 奶油中的极性组分对其香气形成的影响研究[D]. 南宁: 广西大学, 2021: 34-35.
YE T T. Effects of polar components in cream on the odorants of the heated cream [D]. Nanning: Guangxi University, 2021: 34-35.
- [26] 衣宇佳, 田怀香, 郑小平, 等. 同时蒸馏萃取和固相微萃取法提取国产干酪中风味物质[J]. 食品与机械, 2008, 24(2): 65-69.
YI Y J, TIAN H X, ZHENG X P, et al. Simultaneous distillation extraction and solid phase micro-extraction methods for analysis of aroma components in home-made cheese flavor [J]. Food & Machinery, 2008, 24(2): 65-69.

- [10] 汤继珍. 色差计法测定溶液颜色[J]. 科技资讯, 2017, 23(4): 183-185.
TANG J Z. Determination of solution color by colorimeter method [J]. Technology Information, 2017, 23(4): 183-185.
- [11] ZHANG J, TAO N, WANG M, et al. Characterization of phospholipids from Pacific saury (*Cololabis saira*) viscera and their neuroprotective activity[J]. Food Bioscience, 2018, 24(20): 12-25.
- [12] 刘悦. 油脂脱色过程及其机理的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2006: 7-10.
LIU Y. Study on the process and mechanism of oil decolorization [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2006: 7-10.
- [13] 陈晨. 类胡萝卜素对叶绿素 a 荧光淬灭和吸收光谱的影响[D]. 长春: 吉林大学, 2019: 15-25.
CHEN C. The effect of carotenoids on fluorescence quenching and absorption spectra of chlorophyll a [D]. Changchun: Jilin University, 2019: 15-25.
- [14] 何文绚. 螺旋藻中类胡萝卜素总量测定方法研究[C]// 第十六届全国分子光谱学学术报告会. 北京: 北京大学出版社, 2010: 2-3.
HE W X. Study on the determination method of total carotenoids in spirulina [C]// The 16th National Symposium on Molecular spectroscopy. Beijing: Peking University Press, 2010: 2-3.
- [15] 朱建龙. 响应面法优化杂鱼油脱色工艺[J]. 中国食品学报, 2017, 17(2): 119-122.
ZHU J L. Optimization of decolorization process for mixed fish oil using response surface methodology[J]. Chinese Journal of Food Science, 2017, 17(2): 119-122.
- [16] 石亮. 球形硅酸镁高效吸附材料的可控制备及其吸附性能研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2021: 20-24.
SHI L. Controllable preparation and adsorption performance of spherical magnesium silicate high-efficiency adsorption materials [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2021: 20-24.
- [17] 耿鹏飞. 鳀鱼油精炼工艺分析研究及其微胶囊释放动力学和氧化动力学研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019: 48-50.
GENG P F. Analysis and study on the refining process of anchovy oil and its microcapsule release and oxidation kinetics[D]. Wuhan: Wuhan Light Industry University, 2019: 48-50.
- [18] 钟南京, 胡坤, 郭娟, 等. 油脂精炼与加工工艺学课程教学探讨[J]. 科教文汇, 2012, 2(1): 57-81.
ZHONG N J, HU K, GUO J, et al. Teaching exploration of oil refining and processing technology course [J]. Science and Education Literature Collection, 2012, 2(1): 57-81.
- [19] MU H L, PORSGAARD T. The metabolism of structured triacylglycerols[J]. Progress in Lipid Research, 2005, 44(6): 430-448.
- [20] MURPHY R C, AXELSEN P H. Mass spectrometric analysis of long-chain lipids[J]. Mass Spectrometry Reviews, 2011, 30(4): 579-599.
- [21] MOTALEBI M, HASHEMI G, MIZANI M, et al. The effects of refining steps on Kilka (*Clupeonella delicatula*) fish oil quality[J]. Iranian Journal of Fisheries Sciences, 2015, 14(2): 382-392.
- [22] 李冲冲. 鱼粉加工副产物中鱼油的精炼及其脂肪酸组成分析[J]. 食品科学, 2015, 36(20): 190-192.
LI C C. Refining and fatty acid composition analysis of fish oil in by-products of fish meal processing[J]. Food Science, 2015, 36(20): 190-192.
- [27] EVERTARRIAGADA K, HERNANDEZHERRERO M M, GALLARDOCHAC N J J, et al. Effect of high pressure processing on volatile compound profile of a starter-free fresh cheese [J]. Innov Food Sci Emerg, 2013, 19(4): 73-78.
- [28] 史瑛, 赵建新, 田丰伟, 等. 天然发酵稀奶油的乳酸菌菌种选育与风味图谱测定[C]// 第九届乳酸菌与健康国际研讨会摘要汇编. 天津: 中国食品科学技术学会, 2014: 71-72.
SHI Y, ZHAO J X, TIAN F W, et al. Isolation and identification of Lactobacillus and flavor profiles determination in natural fermented cream [C]// Compilation of abstracts from the Ninth International Symposium on Lactobacillus and Health. Tianjin: The Chinese Society of Food Science and Technology, 2014: 71-72.
- [29] MCL N, LUBACHEVSKY G, RANKIN S A. A study of the volatile composition of Minas cheese[J]. LWT-Food Science and Technology, 2005, 38(5): 555-563.
- [30] 张国农, 顾敏锋, 李彦荣, 等. SPME-GC/MS 测定再制干酪中的风味物质[J]. 中国乳品工业, 2006(9): 52-56.
ZHANG G N, GU M F, LI Y R, et al. Determination of flavor substances in processed cheese by SPME-GC/MS[J]. China Dairy Industry, 2006(9): 52-56.
- [31] DELGADO F J, GONZALEZ-CRESPO J, CAVA R, et al. Changes in microbiology, proteolysis, texture and sensory characteristics of raw goat milk cheeses treated by high-pressure at different stages of maturation[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 48(2): 268-275.
- [32] 沈梦琪, 岭南, 王猛, 等. 超高压处理对生牛乳中微生物的影响[J]. 中国乳品工业, 2021, 49(1): 31-34, 50.
SHEN M Q, LING N, WANG M, et al. Effects of ultra-high pressure on microorganism in milk[J]. China Dairy Industry, 2021, 49(1): 31-34, 50.
- [33] 朱盼盼. 常温奶酪加工技术研究及产品货架期稳定性评价[D]. 银川: 宁夏大学, 2022: 50.
ZHU P P. Processing technology and shelf life stability prediction of room temperature cheese [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2022: 50.

(上接第 115 页)