

# 抗氧化型轻食千页豆腐的开发及其贮藏品质研究

赵钜阳, 孙昕萌, 袁惠萍, 熊淳

(哈尔滨商业大学 旅游烹饪学院, 哈尔滨 150030)

**摘要:** **目的** 通过研究不同儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期间品质的影响, 为开发轻食千页豆腐提供实验数据和理论基础。**方法** 对不同贮藏时间下(0、1、3、5、7 d)轻食千页豆腐的质构特性、色差、硫代巴比妥酸值(TBARS)、过氧化物值(POV)、感官品质进行测定, 分析儿茶素添加量对轻食千页豆腐品质和抗氧化效果的影响。**结果** 随着贮藏时间的增加, 轻食千页豆腐的硬度和咀嚼性均呈上升趋势, 胶黏性和弹性呈下降趋势;  $L^*$ 和 $a^*$ 呈上升趋势,  $b^*$ 值呈下降趋势; 添加儿茶素能够减缓POV值和TBARS值的升高, 根据理化指标和感官指标的实验结果可知, 儿茶素添加量(质量分数)为0.03%时, 产品具有较好的抗氧化效果, 感官评分较高。**结论** 儿茶素的添加能有效提高轻食千页豆腐的贮藏期, 使其贮藏品质得到一定改善。

**关键词:** 抗氧化; 轻食千页豆腐; 儿茶素; 贮藏品质

**中图分类号:** TS214.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)09-0107-08

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.09.014

## Development of Antioxidant Light Food Chiba Tofu and Its Storage Quality

ZHAO Ju-yang, SUN Xin-meng, YUAN Hui-ping, XIONG Ting

(College of Tourism and Cuisine, Harbin University of Commerce, Harbin 150030, China)

**ABSTRACT:** The effects of different catechins on the quality of light Chiba tofu during storage were studied to provide experimental data and a theoretical basis for the development of light Chiba tofu. The texture characteristics, color difference, thiobarbituric acid value, peroxide value and sensory quality of light Chiba tofu were measured under different storage times (0, 1, 3, 5 and 7 days). The effects of catechin addition on the quality and antioxidant effect of light Chiba tofu were analyzed. The results showed that with the increase of storage time, the hardness and chewability of light eating Chiba tofu increased, and the viscosity and elasticity decreased;  $L^*$  and  $a^*$  showed an upward trend, and  $b^*$  showed a downward trend; The addition of catechin can slow down the increase of POV and TBARS. Based on the experimental results of physical and chemical indexes and sensory indexes, it is concluded that the product has a better antioxidant effect and higher sensory score when the addition of catechin is 0.03%. Therefore, the addition of catechin can effectively improve the storage period of light Chiba tofu and improve its storage quality.

**KEY WORDS:** antioxidant; light food chiba tofu; catechins; storage quality

收稿日期: 2021-08-19

基金项目: 黑龙江省普通本科高等学校青年创新人才培养计划(UNPYSCT-2020213); 哈尔滨商业大学“青年创新人才”支持计划(2019CX23); 哈尔滨商业大学博士科研启动项目(2019DS60); 烹饪科学四川省高等学校重点实验室资助项目(PRKX201901)

作者简介: 赵钜阳(1987—), 女, 博士, 哈尔滨商业大学副教授, 主要研究方向为大豆蛋白加工、烹饪科学。

近年来,轻食产品逐渐流行,其具有饱腹感高、热量低等特点<sup>[1]</sup>,与传统食物相比,轻食产品既可以满足人体每日所需能量,能够减少脂肪的摄入<sup>[2]</sup>,还可以提高慢性疾病的自愈率。轻食的种类包括谷类、豆类、果仁、水果和蔬菜等<sup>[3]</sup>,其中豆类轻食营养丰富,在降低人体中的胆固醇和稳定血糖等方面有一定成效。目前,轻食豆类食品主要有豆腐、豆乳等。胡兰君等<sup>[4]</sup>研制了轻食黑果枸杞豆腐,制得的轻食豆腐口感弹韧细腻。周范琳等<sup>[5]</sup>研制了轻食荷叶豆乳饮料,在豆乳中加入荷叶后香味宜人,并且没有豆腥味。轻食千页豆腐由大豆分离蛋白(Soybean Protein Isolate, SPI)、转谷氨酰胺酶(Glutamine Transaminase, TG)、淀粉等制成。SPI经过加热后,分子内多肽链展开,疏水基团暴露,导致聚集体生成,聚集体在TG酶的作用下,形成了相对稳定的三维蛋白网络结构,宏观上呈现为千页豆腐凝胶<sup>[6-7]</sup>。在贮藏过程中,轻食千页豆腐极易发生氧化,使得蛋白质结构发生变化,如分子交联及主链断裂等,进而影响SPI的凝胶特性和轻食千页豆腐的品质。

儿茶素是一种多羟基结构的多酚,其抗氧化能力较强<sup>[8]</sup>,在食品领域中应用广泛。研究者们<sup>[9]</sup>发现,加入适量儿茶素可以抑制冷藏骆驼肉在贮藏期内的脂质氧化和微生物生长,并且有效保持产品的感官质量。研究还发现,儿茶素可以改善因脂氧化酶的存在而导致的轻食豆类食品豆腥味问题。例如,寇程程<sup>[10]</sup>发现儿茶素可以改善苹果豆乳饮料中的豆腥味。还有研究表明,儿茶素可抑制豆乳在热加工中生成异味物质<sup>[11]</sup>。目前,将儿茶素应用在豆制品中的研究甚少。由此,文中将具有抗氧化能力的儿茶素<sup>[12]</sup>添加到轻食千页豆腐中,通过测定贮藏期间轻食千页豆腐的质构特性、色差、过氧化物值(Peroxide Value, POV)、硫代巴比妥酸值(Thiobarbituric Acid Reactive Substances, TBARS),以及贮藏期间的感官评价,探究儿茶素对不同贮藏期轻食千页豆腐品质的影响,以期延长千页豆腐的货架期,为开发抗氧化型的轻食千页豆腐提供理论依据。

## 1 实验

### 1.1 材料和试剂

主要材料和试剂见表1。

### 1.2 仪器

主要仪器见表2。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 轻食千页豆腐制作流程

轻食千页豆腐的制作参考王喜波等<sup>[13]</sup>的方法:在80 mL水中加入5 g玉米淀粉和15 g SPI,并混合均匀,

表1 实验材料和试剂  
Tab.1 Test materials and reagents

原料和试剂	纯度	生产厂家
儿茶素	>98%	合肥博美生物公司
大豆分离蛋白	>98%	临沂山松生物制品有限公司
水	蒸馏水	哈尔滨市文森蒸馏水经销处
大豆油	一级	益海嘉里食品营销有限公司
淀粉	>98%	南京忠来果品食杂有限公司
谷氨酰胺转氨酶	分析纯	山东元泰生物工程有限公司
TBA	分析纯	阿拉丁试剂上海有限公司
盐酸	分析纯	天津市风船化学试剂科技有限公司
三氯乙酸	分析纯	天津市巴斯夫化工有限公司
氢氧化钠	分析纯	天津市风船化学试剂科技有限公司
甲醇	分析纯	天津市富宇精细化工有限公司
氯化钠	分析纯	天津市风船化学试剂科技有限公司
硫氰酸铵	分析纯	天津市风船化学试剂科技有限公司
氯化钡	分析纯	天津市天力化学试剂有限公司
硫酸亚铁	分析纯	天津市巴斯夫化工有限公司
还原铁粉	分析纯	上海麦克林生化试剂有限公司

表2 实验仪器  
Tab.2 Test apparatus

仪器	型号	生产厂家
电子天平	JD200-3	沈阳天平仪器有限公司
质构仪	TMS-Touch 250N	美国 Food Technology Corporation
分光测色计	CM-600d	日本柯尼卡美能达
均质机	T18DS25	德国 IKA
涡流振荡仪	VORTEX 3	德国 IKA
高速离心机	H1850R	湖南湘仪实验室仪器开发有限公司
紫外可见分光光度计	UV-800	上海元析仪器有限公司
电热恒温水浴锅	DK-9S-II	天津市泰斯仪器有限公司
磁力搅拌器	RH B S025	德国 IKA

再慢慢加入0.12 g TG酶,搅拌2 min;加入少量的大豆油、食盐,并搅拌1 min,等待浆液变得细腻、无小气泡;在各处理组中依次添加不同质量分数(0.01%~0.05%),即0.002~0.01 g儿茶素,共5组,搅

拌均匀,以不添加儿茶素的处理组为对照;将浆液铺平在整个托盘上,表面覆盖保鲜膜,放入冰箱(-18℃)冷冻10 h,等待凝固;凝固后取出,再蒸煮40 min,待冷却后再冷冻,装袋后放入冰箱在4℃下冷藏。

### 1.3.2 质构

将轻食千页豆腐解冻至室温后,切成10 mm×30 mm×30 mm形状的块,并放置在质构仪上。采用TPA模式测试,测定速度为4 mm/s,下压距离为20 mm,变形量为30%,采用P50探头,每组样品重复3次实验。

### 1.3.3 色差

将轻食千页豆腐解冻后,切成10 mm×30 mm×30 mm形状的块,用色差仪测定千页豆腐的亮度值( $L^*$ )、红度值( $a^*$ )、黄度值( $b^*$ ),每个样品取3个位置进行测量,测得数据取其平均值。

### 1.3.4 过氧化物值

过氧化物值(POV)的测定参照Vareltzis等<sup>[14]</sup>的方法。在2 g样品中加入15 mL氯仿/甲醇(体积比为2:1)溶液,在11 000 r/min下均质30 s,再加入3 mL质量分数0.5%的NaCl溶液,离心5 min,待溶液分层后,从下层液相中取出5 mL样品,之后依次加入5 mL氯仿/甲醇溶液、25 μL Fe<sup>2+</sup>离子溶液和25 μL硫氰酸铵溶液。混合均匀后在室温下反应5 min,然后在500 nm处测定其吸光值,以还原铁粉作标准曲线( $y=0.2925x+0.0160$ ,  $R^2=0.999$ )。

### 1.3.5 硫代巴比妥酸值

硫代巴比妥酸值(TBARS)参照李暮春等<sup>[15]</sup>的方法测定。称取0.5 g样品,在样品中加入3 mL硫代巴比妥酸溶液和17 mL三氯乙酸溶液,混合均匀后在沸水浴中反应30 min。待样品冷却后,取5 mL样品与5 mL氯仿溶液混合,然后离心10 min(3 000 r/min),取上层清液,在532 nm处测定其吸光值。硫代巴比妥酸值以每千克脂质氧化样品溶液中丙二醛的质量(mg)计算,见式(1)。

$$V_{TBARS} = A_{532}/m \times 9.48 \quad (1)$$

式中: $V_{TBARS}$ 为硫代巴比妥酸值,mg/kg; $A_{532}$ 为溶液的吸光值; $m$ 为样品的质量,g;9.48为常数。

### 1.3.6 感官评价

将千页豆腐在室温下放置30 min后切片装盘,并进行感官评定。评定人员由经过培训并且熟悉千页豆腐特性的10名烹饪专业学生组成(5男5女),参考GB 2712—2014《食品安全国家标准 豆制品》,评价员对随机编码的样品进行评分。评价不同编码的样品时以纯净水漱口,评价标准见表3。

## 1.4 数据处理与作图

采用Statistix 8.0软件分析数据的显著性,使用Sigmaplot 11.0软件进行图表制作。数据采用平均数±标准差的方式表示。

## 2 结果与分析

### 2.1 儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期间质构特性的影响

质构特性是决定轻食千页豆腐嫩度及其感官品质的重要特性。在贮藏期间,轻食千页豆腐的质构特性变化见表4,随着贮藏时间的延长,硬度和咀嚼性均呈逐渐上升的趋势,胶黏性和弹性呈逐渐下降的趋势。在贮藏期间,SPI氧化会导致分子的聚集和络合物的生成<sup>[16]</sup>,从而增大千页豆腐的硬度和咀嚼性。在贮藏后期,硬度随着儿茶素的增加呈现先降后升的趋势,这是因为儿茶素具有连接蛋白分子的作用。随着儿茶素添加量的增大,通过疏水作用或其他相互作用增强了蛋白质凝胶网络<sup>[17-19]</sup>,使儿茶素与蛋白分子连接得更紧密,导致其硬度增加。千页豆腐硬度的增加会导致其口感变差,制作成本也相应提高。由表4可知,在儿茶素的质量分数为0.03%时,千页豆腐所表现出的质构特性最佳,软硬适中。氧化蛋白质发生严重交联和聚集,会阻碍官能团之间的相互作用,

表3 轻食千页豆腐感官评价标准  
Tab.3 Sensory evaluation criteria of light food chiba tofu

评价指标	色泽(20分)	弹韧性(20分)	风味(20分)	口感(20分)	结构状态(20分)
优(15~20分)	呈均匀的淡黄色或乳白色,富有光泽	具有优良的弹性和韧性,在翻折时表面不会发生断裂	具有浓郁的豆香味,无异味	细腻、光滑、韧劲足、有一定咀嚼性	气孔均匀且细密
一般(8~15分)	白色均匀度较差,略有光泽	韧性和弹性较好,在翻折时会造成部分表面撕裂	稍有豆香味,无异味	较细腻、光滑、韧劲一般	有部分大气孔出现,结构中出现部分大聚集体
劣(1~8分)	表面有杂色,较暗淡且不均匀	弹性小,不能轻易翻折	豆香味不足,有豆腥味、油脂味或异味	粗糙、咀嚼无韧劲	气孔分布不均匀,结构粗糙

也会使蛋白质基质中的氢键减少,使得千页豆腐的水分流失,细胞组织间相互作用力减弱,或者结构遭到破坏,最终导致其弹性和胶黏性下降<sup>[19]</sup>。在不同贮藏时间,添加儿茶素后轻食千页豆腐的质构特性均比对照组好( $P<0.05$ ),表明在实际生产中可以添加适量儿茶素来改善轻食千页豆腐的质构特性,进而改善其口感。

## 2.2 儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期间色差的影响

儿茶素本身的颜色为褐色,在实际生产中会影响产品本身的颜色,进而影响消费者对产品的喜爱程度,因此需要测定轻食千页豆腐的色度值。添加不同用量儿茶素的轻食千页豆腐在贮藏过程中 $L^*$ 、 $a^*$ 和 $b^*$ 值的变化情况见表5。随着贮藏时间的延长,各处理组轻食千页豆腐 $L^*$ 值均显著低于贮藏初期( $P<0.05$ )。由于贮藏期间水分含量的降低会导致产品 $L^*$ 值的下降,且随着贮藏时间的延长,在儿茶素添加量为

0.03%时, $L^*$ 值降低的幅度较小,表明添加适量儿茶素能够延缓色泽的降低,较好地稳定产品的色泽,这与高岳等<sup>[20]</sup>研究迷迭香提取物会显著降低鸡胸肉饼的 $L^*$ 值的结论一致。由于儿茶素自身带有颜色,且会发生褐变,对照组与各处理组的初始 $a^*$ 值差异较大,导致添加了儿茶素的轻食千页豆腐的 $a^*$ 值增加。随着贮藏时间的延长,添加了儿茶素的处理组 $a^*$ 值下降得相对缓慢, $b^*$ 值随着贮藏期时间的延长均呈不断增大的趋势。在贮藏期内,儿茶素抗氧化及抑菌作用延缓了轻食千页豆腐变质的速度,处理组 $L^*$ 、 $a^*$ 、 $b^*$ 值的变化速度始终小于对照组,表明儿茶素可以有效抑制轻食千页豆腐色泽的劣变。

## 2.3 儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期间过氧化物值的影响

在加工期间,存在人工添加或残留的少量油脂,其会影响轻食食品贮藏末期的风味与品质。由于儿茶素具有抗氧化性,因此可以将其添加至产品中,以改善

表4 儿茶素添加量对轻食千页豆腐质构特性的影响  
Tab.4 Effect of catechin addition on texture characteristics of light-eating tofu

指标	贮藏时间/d	对照组	儿茶素质量分数/%				
			0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
硬度	0	9.31±0.05 <sup>a</sup>	9.32±0.07 <sup>a</sup>	9.30±0.02 <sup>a</sup>	9.20±0.09 <sup>a</sup>	9.20±0.10 <sup>a</sup>	9.28±0.02 <sup>a</sup>
	1	9.62±0.04 <sup>b</sup>	9.52±0.95 <sup>b</sup>	9.43±0.04 <sup>b</sup>	9.38±0.02 <sup>b</sup>	9.36±0.05 <sup>b</sup>	9.32±0.05 <sup>b</sup>
	3	10.35±0.05 <sup>c</sup>	9.87±0.07 <sup>c</sup>	9.80±0.06 <sup>c</sup>	9.63±0.03 <sup>c</sup>	9.82±0.04 <sup>c</sup>	9.71±0.07 <sup>c</sup>
	5	10.81±0.03 <sup>d</sup>	10.59±0.03 <sup>d</sup>	10.51±0.04 <sup>d</sup>	10.03±0.03 <sup>d</sup>	10.36±0.06 <sup>d</sup>	10.48±0.04 <sup>d</sup>
	7	11.10±0.02 <sup>e</sup>	10.88±0.03 <sup>e</sup>	10.83±0.05 <sup>e</sup>	10.34±0.05 <sup>e</sup>	10.47±0.05 <sup>e</sup>	10.52±0.07 <sup>e</sup>
咀嚼性	0	4.48±0.04 <sup>a</sup>	4.51±0.04 <sup>a</sup>	4.50±0.11 <sup>a</sup>	4.47±0.04 <sup>a</sup>	4.50±0.02 <sup>a</sup>	4.52±0.02 <sup>a</sup>
	1	4.78±0.03 <sup>b</sup>	4.73±0.05 <sup>b</sup>	4.75±0.04 <sup>b</sup>	4.62±0.03 <sup>b</sup>	4.76±0.05 <sup>b</sup>	4.65±0.03 <sup>b</sup>
	3	4.97±0.02 <sup>c</sup>	4.90±0.03 <sup>c</sup>	4.84±0.03 <sup>c</sup>	4.81±0.04 <sup>c</sup>	4.81±0.02 <sup>c</sup>	4.82±0.03 <sup>c</sup>
	5	5.35±0.06 <sup>d</sup>	5.23±0.04 <sup>d</sup>	5.16±0.02 <sup>d</sup>	5.02±0.02 <sup>d</sup>	5.07±0.03 <sup>d</sup>	5.07±0.01 <sup>d</sup>
	7	5.73±0.04 <sup>e</sup>	5.63±0.03 <sup>e</sup>	5.48±0.02 <sup>e</sup>	5.33±0.05 <sup>e</sup>	5.40±0.05 <sup>e</sup>	5.35±0.04 <sup>e</sup>
胶黏性	0	3.96±0.01 <sup>a</sup>	3.97±0.01 <sup>a</sup>	3.97±0.02 <sup>a</sup>	4.01±0.01 <sup>a</sup>	4.01±0.01 <sup>a</sup>	3.99±0.01 <sup>a</sup>
	1	3.65±0.01 <sup>b</sup>	3.65±0.05 <sup>b</sup>	3.70±0.02 <sup>b</sup>	3.82±0.03 <sup>b</sup>	3.82±0.04 <sup>b</sup>	3.89±0.02 <sup>b</sup>
	3	3.44±0.03 <sup>c</sup>	3.50±0.09 <sup>c</sup>	3.55±0.05 <sup>c</sup>	3.60±0.02 <sup>c</sup>	3.61±0.03 <sup>c</sup>	3.71±0.04 <sup>c</sup>
	5	3.16±0.04 <sup>d</sup>	3.14±0.05 <sup>d</sup>	3.25±0.02 <sup>d</sup>	3.33±0.04 <sup>d</sup>	3.33±0.02 <sup>d</sup>	3.30±0.02 <sup>d</sup>
	7	2.83±0.03 <sup>e</sup>	2.93±0.02 <sup>e</sup>	3.04±0.06 <sup>e</sup>	3.17±0.03 <sup>e</sup>	3.16±0.01 <sup>e</sup>	3.14±0.03 <sup>e</sup>
弹性	0	3.45±0.02 <sup>a</sup>	3.43±0.01 <sup>a</sup>	3.43±0.02 <sup>a</sup>	3.45±0.02 <sup>a</sup>	3.41±0.02 <sup>a</sup>	3.42±0.01 <sup>a</sup>
	1	3.25±0.02 <sup>b</sup>	3.28±0.01 <sup>b</sup>	3.32±0.03 <sup>b</sup>	3.34±0.01 <sup>b</sup>	3.26±0.02 <sup>b</sup>	3.28±0.02 <sup>b</sup>
	3	3.02±0.02 <sup>c</sup>	3.20±0.02 <sup>c</sup>	3.16±0.01 <sup>c</sup>	3.23±0.02 <sup>c</sup>	3.19±0.02 <sup>c</sup>	3.16±0.02 <sup>c</sup>
	5	2.78±0.03 <sup>d</sup>	3.02±0.03 <sup>d</sup>	3.06±0.02 <sup>d</sup>	3.10±0.02 <sup>d</sup>	3.06±0.02 <sup>d</sup>	3.04±0.02 <sup>d</sup>
	7	2.63±0.04 <sup>e</sup>	2.72±0.02 <sup>e</sup>	2.84±0.04 <sup>e</sup>	2.86±0.02 <sup>e</sup>	2.80±0.02 <sup>e</sup>	2.81±0.03 <sup>e</sup>

注: a—e 表示同一处理组在不同贮藏时间的显著性差异( $P<0.05$ )。

表 5 儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期间色差的影响  
Tab.5 Effect of catechin addition on color difference of light food chiba tofu during storage

色差	贮藏时间/d	对照组	儿茶素质量分数/%				
			0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
$L^*$	0	66.98±0.27 <sup>a</sup>	65.35±1.00 <sup>a</sup>	63.49±1.33 <sup>a</sup>	63.54±1.03 <sup>a</sup>	64.10±0.37 <sup>a</sup>	64.55±0.72 <sup>a</sup>
	1	64.10±0.48 <sup>b</sup>	63.76±0.95 <sup>b</sup>	63.05±1.38 <sup>b</sup>	62.70±1.11 <sup>b</sup>	63.39±0.89 <sup>b</sup>	63.10±0.46 <sup>b</sup>
	3	57.37±0.45 <sup>c</sup>	58.68±0.78 <sup>c</sup>	57.32±0.98 <sup>c</sup>	58.83±0.74 <sup>c</sup>	60.06±0.18 <sup>c</sup>	60.07±0.57 <sup>c</sup>
	5	54.89±0.56 <sup>d</sup>	55.44±1.20 <sup>d</sup>	56.44±0.96 <sup>d</sup>	56.00±2.19 <sup>d</sup>	56.31±1.60 <sup>d</sup>	57.81±0.49 <sup>d</sup>
	7	53.64±0.27 <sup>e</sup>	53.64±1.13 <sup>e</sup>	53.66±0.96 <sup>e</sup>	55.49±0.51 <sup>e</sup>	55.24±0.75 <sup>e</sup>	55.87±0.58 <sup>e</sup>
$a^*$	0	3.08±0.05 <sup>a</sup>	3.56±0.27 <sup>a</sup>	3.46±0.06 <sup>a</sup>	3.71±0.04 <sup>a</sup>	3.85±0.09 <sup>a</sup>	4.09±0.04 <sup>a</sup>
	1	2.71±0.04 <sup>b</sup>	3.13±0.09 <sup>b</sup>	3.16±0.08 <sup>b</sup>	3.52±0.04 <sup>b</sup>	3.63±0.04 <sup>b</sup>	3.83±0.05 <sup>b</sup>
	3	2.48±0.05 <sup>c</sup>	2.66±0.13 <sup>c</sup>	2.84±0.08 <sup>c</sup>	3.24±0.05 <sup>c</sup>	3.43±0.04 <sup>c</sup>	3.54±0.04 <sup>c</sup>
	5	1.98±0.04 <sup>d</sup>	2.46±0.07 <sup>d</sup>	2.62±0.05 <sup>d</sup>	2.88±0.07 <sup>d</sup>	3.27±0.09 <sup>d</sup>	3.34±0.06 <sup>d</sup>
	7	1.70±0.02 <sup>e</sup>	2.19±0.01 <sup>e</sup>	2.44±0.06 <sup>e</sup>	2.70±0.06 <sup>e</sup>	2.91±0.05 <sup>e</sup>	3.16±0.06 <sup>e</sup>
$b^*$	0	12.64±0.07 <sup>a</sup>	12.47±0.09 <sup>a</sup>	12.47±0.02 <sup>a</sup>	12.40±0.04 <sup>a</sup>	12.43±0.06 <sup>a</sup>	12.38±0.03 <sup>a</sup>
	1	13.09±0.08 <sup>b</sup>	13.12±0.05 <sup>b</sup>	13.06±0.06 <sup>b</sup>	12.85±0.08 <sup>b</sup>	12.70±0.07 <sup>b</sup>	12.51±0.04 <sup>b</sup>
	3	14.29±0.12 <sup>c</sup>	13.99±0.06 <sup>c</sup>	13.70±0.10 <sup>c</sup>	13.49±0.05 <sup>c</sup>	13.34±0.04 <sup>c</sup>	12.83±0.05 <sup>c</sup>
	5	15.41±0.22 <sup>d</sup>	15.40±0.06 <sup>d</sup>	14.90±0.10 <sup>d</sup>	14.56±0.04 <sup>d</sup>	14.13±0.02 <sup>d</sup>	13.16±0.59 <sup>d</sup>
	7	16.71±0.21 <sup>e</sup>	16.37±0.06 <sup>e</sup>	15.92±0.03 <sup>e</sup>	15.47±0.05 <sup>e</sup>	14.90±0.06 <sup>e</sup>	14.28±0.03 <sup>e</sup>

注: a—e 表示同一处理组在不同贮藏时间的显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

此类现象。过氧化物值和硫代巴比妥酸值可以用来表征产品的抗氧化程度<sup>[21]</sup>。由图 1 可知, 各组中的过氧化物值均随着贮藏时间的增加而显著增加 ( $P < 0.05$ )。其中, 对照组的过氧化物值高于其他各处理组, 说明在贮藏期间儿茶素对轻食千页豆腐中的

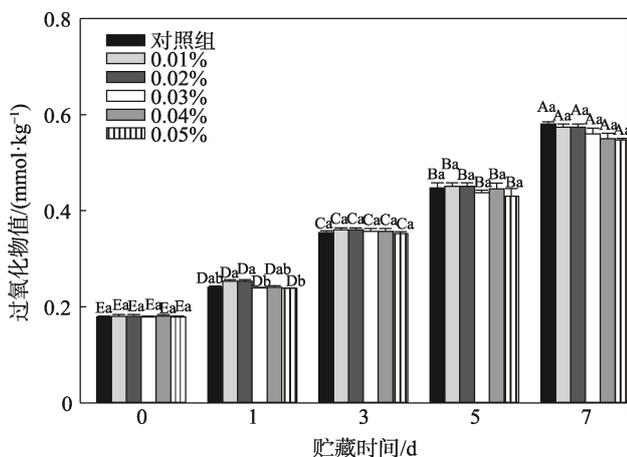


图 1 儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期间过氧化物值的影响

Fig.1 Effect of catechin addition on peroxide value of light food chiba tofu during storage

注: A—E 表示同一处理组在不同贮藏时间差异显著 ( $P < 0.05$ ); a—d 表示同一贮藏期内不同处理组差异显著 ( $P < 0.05$ )。

脂肪氧化有一定的抑制作用。当儿茶素添加量为 0.01%~0.03%时, 抗氧化能力逐渐增强, 当儿茶素添加量超过 0.03%时, 各处理组之间无显著性差异。在贮藏 5 d 时, 添加儿茶素组轻食千页豆腐的氧化程度明显低于对照组, 这是由于儿茶素含有亲水性的酚羟基, 其容易被千页豆腐中的油脂氧化成半醌自由基, 从而提高了抗氧化作用。

## 2.4 儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期间硫代巴比妥酸值的影响

在脂质氧化过程中, 产生的初级产物不稳定, 可快速分解成次级产物, 最终需要测定次级氧化产物<sup>[22-23]</sup>。经不同儿茶素添加量处理的轻食千页豆腐在贮藏过程中  $V_{TBARS}$  值的变化见图 2, 随着贮藏时间的延长, 对照组千页豆腐的  $V_{TBARS}$  值上升速度较快 ( $P < 0.05$ ), 表明千页豆腐贮藏前 7 天不断被氧化。轻食千页豆腐的初始  $V_{TBARS}$  值为 1.83 mg/kg, 贮藏至第 5 天时对照组的  $V_{TBARS}$  值上升到 6.54 mg/kg, 此时与儿茶素添加量为 0.03%、0.04%、0.05%处理组的值相接近。随着添加量的增加,  $V_{TBARS}$  值逐渐减小, 表明儿茶素的添加可以抑制轻食千页豆腐的氧化, 且在添加量为 0.03%时的抑制作用最强。

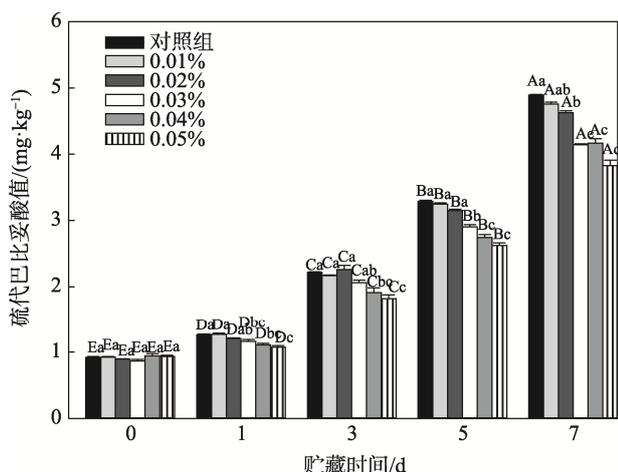


图2 儿茶素添加量对轻食千页豆腐硫代巴比妥酸值的影响

Fig.2 Effect of catechin addition on thiobarbituric acid value of light food chiba tofu

注：A—E表示同一处理组在不同贮藏时间差异显著 ( $P < 0.05$ )；a—d表示同一贮藏期内不同处理组差异显著 ( $P < 0.05$ )。

## 2.5 儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期间感官品质的影响

感官品质是影响消费者购买力的主要原因，按照1.3.6的方法进行感官评价，结果见表6。由表6可知，随着贮藏时间的延长，轻食千页豆腐的色泽由均匀的乳白色变成色泽不均匀的暗黄色；弹性和胶黏性下降；有异味产生，且对照组产生的异味较明显；口感变得粗糙，硬度和咀嚼性增大；组织状态变得粗糙。

由于儿茶素的抗氧化和抗菌特性可以延缓脂肪氧化，有效地抑制微生物的繁殖，并且还减少胺等其他物质的产生，进而改善轻食千页豆腐在贮藏期间的颜色和气味。江连州等<sup>[24]</sup>研究发现，千页豆腐的口感柔软、筋道时，其品质较好。在贮藏时间为7d时，未添加儿茶素的轻食千页豆腐的感官评分最低，此时千页豆腐口感变硬，品质较差。当儿茶素添加量为0.03%时，与其他处理组相比，千页豆腐的感官评分最高，弹性适中。添加过多儿茶素会加深轻食千页豆腐的色泽，从而对消费者的直观感受产生影响。

表6 儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏期感官品质的影响

Tab.6 Effect of catechin addition on sensory evaluation of light food chiba tofu during storage

指标	贮藏时间/d	对照组	儿茶素质量分数/%				
			0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
感官评分	0	89.52±0.62 <sup>a</sup>	88.75±0.8 <sup>a</sup>	88.79±0.77 <sup>a</sup>	88.32±0.88 <sup>a</sup>	87.63±0.07 <sup>a</sup>	86.55±0.82 <sup>a</sup>
	1	85.97±0.50 <sup>b</sup>	86.17±0.75 <sup>b</sup>	87.39±0.34 <sup>b</sup>	87.11±0.82 <sup>b</sup>	85.49±0.15 <sup>b</sup>	84.51±0.64 <sup>b</sup>
	3	79.02±0.50 <sup>c</sup>	79.74±0.25 <sup>c</sup>	81.44±0.77 <sup>c</sup>	82.62±0.82 <sup>c</sup>	81.39±0.18 <sup>c</sup>	79.17±0.60 <sup>c</sup>
	5	72.72±0.51 <sup>d</sup>	73.98±0.63 <sup>d</sup>	75.74±0.53 <sup>d</sup>	75.32±0.25 <sup>d</sup>	75.55±0.04 <sup>d</sup>	74.78±0.66 <sup>d</sup>
	7	61.82±0.56 <sup>e</sup>	64.90±0.48 <sup>e</sup>	64.34±0.46 <sup>e</sup>	66.23±0.76 <sup>e</sup>	64.35±0.95 <sup>e</sup>	63.68±0.26 <sup>e</sup>

注：a—e表示同一处理组在不同贮藏时间的显著性差异 ( $P < 0.05$ )。

## 3 结语

为探究儿茶素添加量对轻食千页豆腐贮藏特性的影响，文中实验测定了贮藏期间轻食千页豆腐的质构特性、色差、过氧化物值、硫代巴比妥酸值及感官品质等指标，结果表明儿茶素的添加能够改善贮藏期间轻食千页豆腐的质构特性，与对照组相比可延缓硬度、咀嚼性的增加，降低其胶黏性、弹性，改善产品色泽，并对氧化初级产物和次级产物的生成有很好的抑制作用。当儿茶素添加量超过0.03%时，儿茶素的保鲜效果达到饱和，且感官评分随添加量的增加逐渐降低。从经济和安全角度考虑，选择儿茶素的添加量为0.03%，将其加入轻食千页豆腐中，以保证最佳的食物品质和保鲜效果。抗氧化型轻食千页豆腐的开发

不仅能够增加轻食产品的种类，还可为千页豆腐的工业化生产提供理论依据。

## 参考文献：

[1] 段丹, 刘慧. “轻食”消费及其影响因素[J]. 食品安全导刊, 2021(22): 114.  
DUAN Dan, LIU Hui. "Light Food" Consumption and Its Influencing Factors[J]. China Food Safety Magazine, 2021(22): 114.

[2] 于佳琦, 朱紫微, 杨慧雯, 等. 轻食需求及其市场现状分析[J]. 食品安全导刊, 2021(21): 181-182.  
YU Jia-qi, ZHU Zi-wei, YANG Yi-wen-jing, et al. Analysis of Light Food Demand and Its Market Situation[J]. China Food Safety Magazine, 2021(21):

- 181-182.
- [3] OUSSALAH A, LEVY J, BERTHEZÈNE C, et al. Health Outcomes Associated with Vegetarian Diets: An Umbrella Review of Systematic Reviews and Meta-Analyses[J]. *Clinical Nutrition*, 2020, 39(11): 3283-3307.
- [4] 胡兰君, 耿扬, 刘梦雨, 等. 黑果枸杞豆腐加工工艺研究[J]. *现代食品*, 2021(16): 107-109.  
HU Lan-jun, GENG Yang, LIU Meng-yu, et al. Study on the Processing Technology of Black Fruit Lycium Barbarum Bean Curd[J]. *Modern Food*, 2021(16): 107-109.
- [5] 周范琳, 于志琴, 韩晶宇, 等. 响应面法优化荷叶豆乳饮料配方的研究[J]. *保鲜与加工*, 2020, 20(6): 84-91.  
ZHOU Fan-lin, YU Zhi-qin, HAN Jing-yu, et al. Study on Formula Optimization of Lotus Leaf Soybean Milk Beverage by Response Surface Analysis[J]. *Storage and Process*, 2020, 20(6): 84-91.
- [6] 王宸之, 陈宇, 万重, 等. 豆腐凝胶成型机理研究进展[J]. *东北农业大学学报*, 2017, 48(10): 88-96.  
WANG Chen-zhi, CHEN Yu, WAN Chong, et al. Research Progress on Gelation Mechanism of Soybean Curd Processing[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2017, 48(10): 88-96.
- [7] 王锦娟, 薛亮, 焦桓. 以“豆腐的制作”畅谈胶体知识与水凝胶的前沿应用[J]. *化学教育*, 2021, 42(17): 1-4.  
WANG Jin-juan, XUE Liang, JIAO Huan. Talking about Colloid Knowledge and the Cutting-Edge Application of Hydrogel with "Tofu Making"[J]. *Chinese Journal of Chemical Education*, 2021, 42(17): 1-4.
- [8] 吴婕煜. 儿茶素脂质体对腊肉脂肪氧化及亚硝胺控制的研究[D]. 杭州: 中国计量大学, 2019: 8.  
WU Jie-yu. Study on Lipid Oxidation and Inhibition of Nitrosamines in Chinese Bacon by Catechin Liposomes[D]. Hangzhou: China University of Metrology, 2019: 8.
- [9] MAQSOOD S, ABUSHELAIABI A, MANHEEM K, et al. Lipid Oxidation, Protein Degradation, Microbial and Sensorial Quality of Camel Meat as Influenced by Phenolic Compounds[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 63(2): 953-959.
- [10] 寇程程. 苹果豆乳的研制及贮藏稳定性研究[D]. 锦州: 渤海大学, 2021: 2.  
KOU Cheng-cheng. Study on the Development and Storage Stability of Apple Soymilk[D]. Jinzhou: Bohai University, 2021: 2.
- [11] 孙钰清, 孔凡玉, 吴继红, 等. 多酚对热处理甜瓜汁挥发性关键异味组分的抑制作用[J]. *食品科学*, 2020, 41(16): 21-28.  
SUN Yu-qing, KONG Fan-yu, WU Ji-hong, et al. Inhibitory Effect of Polyphenols on Key Off-Odor in Thermally Processed Muskmelon Juice[J]. *Food Science*, 2020, 41(16): 21-28.
- [12] WANG Xu-feng, LUO Kai-yun, LIU Shu-tao, et al. Textural and Rheological Properties of Soy Protein Isolate Tofu-Type Emulsion Gels: Influence of Soybean Variety and Coagulant Type[J]. *Food Biophysics*, 2018, 13(3): 324-332.
- [13] 王喜波, 聂鑫, 廖一, 等. 大豆蛋白与千叶豆腐品质特性的关系[J]. *食品科学*, 2020, 41(7): 30-37.  
WANG Xi-bo, NIE Xin, LIAO Yi, et al. Relationship between Soybean Protein and Qianye Tofu Quality[J]. *Food Science*, 2020, 41(7): 30-37.
- [14] VARELTZIS P, HULTIN H O, AUTIO W R. Hemoglobin-Mediated Lipid Oxidation of Protein Isolates Obtained from Cod and Haddock White Muscle as Affected by Citric Acid, Calcium Chloride and pH[J]. *Food Chemistry*, 2008, 108(1): 64-74.
- [15] 李暮春, 孔保华, 孙方达, 等. 肉桂提取物降低哈尔滨风干肠中亚硝胺作用的研究[J]. *现代食品科技*, 2015, 31(3): 228-234.  
LI Mu-chun, KONG Bao-hua, SUN Fang-da, et al. Analyzing the Effect of Cassia Extracts on the Decrease in Nitrosamine Content of Harbin Dry Sausages[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2015, 31(3): 228-234.
- [16] XU Yue, WANG Zhong-jiang, QI Bao-kun, et al. Effect of Oxidation on Quality of Chiba Tofu Produced by Soy Isolate Protein when Subjected to Storage[J]. *Foods (Basel, Switzerland)*, 2020, 9(12): 1877.
- [17] ZHOU Xu-xia, CHEN Ting, LIN Hong-han, et al. Physicochemical Properties and Microstructure of Surimi Treated with Egg White Modified by Tea Polyphenols[J]. *Food Hydrocolloids*, 2019, 90: 82-89.
- [18] 刘振蓉, 吴妮, 赵武奇, 等. 豆腐干超声卤制的响应面试验及工艺优化[J]. *核农学报*, 2021, 35(2): 414-423.  
LIU Zhen-rong, WU Ni, ZHAO Wu-qi, et al. Response Surface Methodology and Process Optimization of Ultrasonic Marinated Dried Bean Curd[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2021, 35(2): 414-423.
- [19] LI Yan-qing, KONG Bao-hua, XIA Xiu-fang, et al. Structural Changes of the Myofibrillar Proteins in Common Carp (*Cyprinus Carpio*) Muscle Exposed to a Hydroxyl Radical-Generating System[J]. *Process Biochemistry*, 2013, 48(5/6): 863-870.
- [20] 高岳, 潘语, 宋京城, 等. 迷迭香提取物对等离子体处理鸡胸肉饼脂质氧化及品质影响研究[J]. *食品科技*, 2021, 46(3): 99-104.  
GAO Yue, PAN Yu, SONG Jing-cheng, et al. Effect of

- Rosemary Extract on Lipid Oxidation and Quality of Cold Plasma-Processed Ground Chicken Patties[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 46(3): 99-104.
- [21] 黄雅莉, 蓝铷师, 侯小露, 等. 茶多酚和火麻油对三黄鸡肉品质和抗氧化性能的影响[J]. *饲料工业*, 2021, 42(15): 48-52.
- HUANG Ya-li, LAN Bi-shi, HOU Xiao-lu, et al. Effects of Tea Polyphenols and Hemp Seed Oil on Meat Quality and Antioxidant Performance of Sanhuang Chicken[J]. *Feed Industry*, 2021, 42(15): 48-52.
- [22] UZUN ÖZCAN A, MASKAN M, BEDIR M, et al. Effect of Ohmic Cooking Followed by an Infrared Cooking Method on Lipid Oxidation and Formation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) of Beef Muscle[J]. *Grasas y Aceites*, 2018, 69(4): 279.
- [23] TURHANS, SARICA OGLUFT, MORTAS M, et al. Evaluation of Color, Lipid Oxidation and Microbial Quality in Meatballs Formulated with Bee Pollen during Frozen Storage[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(3): e12916.
- [24] 江连洲, 冉安琪, 贾子璇, 等. 不同贮藏期大豆蛋白对千页豆腐品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(20): 311-318.
- JIANG Lian-zhou, RAN An-qi, JIA Zi-xuan, et al. Effect of Soy Protein on the Quality of Qianye Tofu in Different Storage Periods[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(20): 311-318.

责任编辑: 彭颀