

茶树花肉脯加工工艺优化及其体外抗氧化活性

陈美铤^{1,2}, 李杨¹, 林银娜³, 李金贵^{3,4}, 胡汉亮⁴, 郭泽镔^{2*}

(1. 漳州科技职业学院 茶与食品科技学院, 福建 漳州 363202; 2. 福建农林大学 食品科学学院, 福建 福州 350002; 3. 漳州天康检测技术有限公司, 福建 漳州 363002; 4. 漳州市休闲食品产业技术研究院, 福建 漳州 363202)

摘要: 为探究最优的茶树花肉脯加工工艺并对茶树花肉脯的体外抗氧化活性进行研究, 以茶树花肉脯为研究对象, 以肉脯的质构特性和感官评分为评价指标, 设计单因素试验对茶树花粉添加量、腌制温度、腌制时间、焙烤温度、焙烤时间 5 个因素进行研究, 并通过响应面优化得到最优工艺条件: 茶树花粉添加量为 5.7%、焙烤温度 180 °C、焙烤时间 23 min, 在此条件下, 茶树花肉脯的硬度为 (216.32±3.21) N, 弹性为 (1.81±0.03) mm, 感官评分为 89.39±1.02。对茶树花肉脯的体外抗氧化活性进行研究, 结果表明: 茶树花肉脯 DPPH 自由基清除率能力、羟自由基清除能力及还原能力均明显优于同质量浓度的普通肉脯, 茶树花肉脯的 DPPH 自由基、羟自由基清除率的 IC₅₀ 分别为 2.98 mg/mL 和 127 mg/mL。综上, 茶树花粉能提高肉脯的抗氧化活性。

关键词: 茶树花; 肉脯; 加工工艺; 质构特性; 抗氧化活性

Processing Condition Optimization and *in vitro* Antioxidant Activity of Tea Flower Pork Jerky

CHEN Meilian^{1,2}, LI Yang¹, LIN Yinna³, LI Jingui^{3,4}, HU Hanliang⁴, GUO Zebin^{2*}

(1. College of Tea and Food Science and Technology, Zhangzhou College of Science & Technology, Zhangzhou 363202, Fujian, China; 2. College of Food Science, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China; 3. Zhangzhou Tiankang Detection Technology Co., Ltd., Zhangzhou 363002, Fujian, China; 4. Zhangzhou Snack Food Industry Technology Research Institute, Zhangzhou 363202, Fujian, China)

Abstract: The processing conditions of tea flower pork jerky were optimized, and the antioxidant activity *in vitro* of tea flower pork jerky was measured. With the texture properties and sensory score of tea flower pork jerky as indicators, single factor tests were conducted to study the effects of five factors: the addition amount of tea pollen, pickling temperature, pickling time, baking temperature, and baking time. The processing conditions were optimized by response surface methodology as the tea pollen addition amount of 5.7% and baking at 180 °C for 23 min. The tea flower pork jerky produced under these conditions had the hardness of (216.32±3.21) N, elasticity of (1.81±0.03) mm, and the sensory score of 89.39±1.02. The DPPH free radical scavenging rate, hydroxyl free radical scavenging rate, and reducing power of tea flower pork jerky were significantly higher than those of common pork jerky at the same concentration. The half maximal inhibitory concentrations (IC₅₀) of tea flower pork jerky against DPPH and hydroxyl free radicals were 2.98 mg/mL and 127 mg/mL, respectively. In summary, tea pollen can enhance the antioxidant activity of pork jerky.

Key words: tea flower; pork jerky; processing condition; texture properties; antioxidant activity

引文格式:

陈美铤, 李杨, 林银娜, 等. 茶树花肉脯加工工艺优化及其体外抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2024, 45(19): 121-131.

CHEN Meilian, LI Yang, LIN Yinna, et al. Processing Condition Optimization and *in vitro* Antioxidant Activity of Tea Flower Pork Jerky[J]. Food Research and Development, 2024, 45(19): 121-131.

基金项目: 福建省科技厅星火项目 (2021S0051)

作者简介: 陈美铤 (1991—), 女 (汉), 讲师, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工、食品检测。

*通信作者: 郭泽镔 (1986—), 男 (汉), 教授, 博士, 研究方向: 食品加工技术、食品营养与化学。

肉脯是我国的传统食品,采用猪、牛等畜禽类精瘦肉,经冷冻后切片、搅拌调味、摊筛、烘干、烤制、切片、包装而成^[1-3]。肉脯具有营养丰富、携带方便、货架期长、口感好等特点,随着人们外出旅游度假、休闲娱乐活动的增多,肉脯类食品越来越受到消费者的青睐^[4-6]。但肉脯较低的含水量不仅使得肉脯质地较硬,同时影响肉脯的弹性和咀嚼性,限制了肉脯的消费群体,因此如何改良、创新肉脯的配方,优化其加工工艺,具有重要意义。

茶树是多年生的木本植物,在我国已有几千年的历史。茶树花是着生于茶树新梢叶腋间的一种两性花,茶树花已于2013年被卫生部公布成为一种食品新资源^[7-8]。茶树花中富含茶多糖、茶多酚、茶氨酸、黄酮类化合物等物质,并具有很好的抗氧化活性^[9-11]。因此,可将茶树花粉添加到肉脯的加工工艺中,开发出具有茶树花风味的肉脯,并改善肉脯的品质,同时提高肉脯的抗氧化活性。

本文在单因素试验的基础上,采用响应面试验优化茶树花肉脯的加工工艺,探讨茶树花粉添加量、焙烤温度、焙烤时间对茶树花肉脯质构特性及感官评分的影响,确定最佳加工工艺。本研究旨在为茶风味肉脯的开发提供参考依据,同时促进茶树花资源的综合利用。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

福鼎大白茶茶树花、新鲜猪后腿瘦肉、白砂糖、食盐、黑胡椒粉、白胡椒粉、料酒、酱油、蚝油:市售;红曲粉(食品级):江苏味品惠食品有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)、没食子酸、铁氰化钾、三氯乙酸(均为分析纯):上海麦克林生化科技股份有限公司;乙醇、磷酸二氢钠、磷酸氢二钠、邻二氮菲、硫酸亚铁、30%过氧化氢、三氯化铁(均为分析纯):国药集团化学试剂有限公司。

1.2 主要仪器与设备

气流式超微粉碎机(KC-18):瑞安市康源鑫药机有限公司;绞肉机(ZY-5-12S):苏州正台元精密机械有限公司;电子天平(ZA120R4):瑞士梅特勒-托利多仪器有限公司;电烤炉(MB-622+1S+1B)、压片机(SM-520E)、搅拌机(SM-5L):新麦机械(中国)有限公司;质构仪(TMS-Pilot):美国FTC公司;旋转烘干机(LT-005):中山市好运家电器有限公司;离心机(H1850):湖南湘仪实验室仪器开发有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 基本配方

茶树花肉脯基本配方为新鲜猪后腿瘦肉、食盐0.8%、白砂糖8%、黑胡椒粉0.2%、白胡椒粉0.2%、料酒1%、蚝油4%、酱油2.5%、红曲粉0.8%,冻干茶树花粉根据试验需要按比例添加,以上所有配料均按猪肉

的质量比进行添加。

1.3.2 茶树花肉脯的加工工艺

福鼎大白茶茶树花→真空冷冻干燥→粉碎

↓

原料肉预处理→绞肉→腌制→压片、成型→烘干→焙烤→切片→冷却包装

将冻干后的福鼎大白茶茶树花用气流式超微粉碎机粉碎成200目的茶树花粉后添加于绞碎后的肉糜中与配料一同腌制,腌制后置于压片机中压制3 mm厚度的肉片,于50℃的旋转烘干机中烘制60 min后按设定的程序进行焙烤,中途取出翻面、肉脯表面刷蜂蜜水(蜂蜜与水的质量比为1:1),焙烤后的肉脯自然冷却后切成5 cm×3 cm×3 mm,真空包装。

普通肉脯除不添加冻干福鼎大白茶茶树花粉外,配方与工艺均与茶树花肉脯一致。

1.3.3 茶树花肉脯质构特性测定

参照江月^[3]的方法,并稍作修改。采用质构仪对茶树花肉脯进行质构分析,选择全质构分析模式,设置参数:力量感元500 N,使用432-029探头,测定前使用电脑设置寻找位移零点,探头回升至样品表面的高度为15 mm,形变百分比40%,检测速度30 mm/min,起始力0.75 N,测定间隔时间为4 s。每个样品重复测定3次,取测定平均值作为最终结果。

1.3.4 茶树花肉脯的感官评定

茶树花肉脯的感官评定标准参照GB/T 31406—2015《肉脯》^[12],选取10位具有感官品评基础的人员作为感官品评者,对肉脯进行综合评分,按照25%形态得分、25%色泽得分、12.5%滋味得分、12.5%香气得分、25%杂质得分,以加权方式算得总分,茶树花肉脯的感官评分标准见表1。

表1 茶树花肉脯感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria for tea flower pork jerky

项目	评分标准	评分
形态	片型规则整齐、完整,厚薄基本均匀,可见肌纹,无焦片、生片,无肉眼可见杂质	80~100
	片型规则整齐,厚薄基本均匀,有少量脂肪析出及微小空洞,杂质较少	60~<80
	片型不太规则,不整齐,厚薄不太均匀,有焦片、生片,杂质较多	1~<60
色泽	色泽鲜明均匀,表面油润有光泽	80~100
	色泽良好	60~<80
	色泽较差	1~<60
滋味	滋味鲜美、醇厚、甜咸适中,有茶树花风味	80~100
	滋味良好,有偏甜或偏咸感,茶树花苦涩味较明显	60~<80
	偏甜或偏咸不适口,茶树花苦涩味过重或太淡	1~<60
香气	肉香味纯正,具有茶树花香气	80~100
	肉香味不明显,茶树花香气稍欠缺或偏浓	60~<80
	无肉香,茶树花香气太淡或过于浓郁	1~<60
杂质	无肉眼可见杂质	80~100
	杂质较少	60~<80
	杂质较多	1~<60

1.3.5 茶树花肉脯加工工艺单因素试验

在预试验基础上,确定以对茶树花肉脯质构特性和感官评分影响突出的茶树花粉添加量、腌制温度、腌制时间、焙烤温度、焙烤时间进行试验研究,具体试验方案如表 2 所示。

表 2 茶树花肉脯加工工艺单因素试验设计方案
Table 2 Design of single factor tests of processing conditions of tea flower pork jerky

加工因素	因素水平	控制条件
茶树花粉添加量/%	2、4、6、8、10	腌制温度 0~4 ℃,腌制时间 3 h,焙烤温度 180 ℃,焙烤时间 23 min
腌制温度/℃	0~4、4~8、8~12、12~16、16~20	茶树花粉添加量 6%,腌制时间 3 h,焙烤温度 180 ℃,焙烤时间 23 min
腌制时间/h	1、2、3、4、5	茶树花粉添加量 6%,腌制温度 0~4 ℃,焙烤温度 180 ℃,焙烤时间 23 min
焙烤温度/℃	140、160、180、200、220	茶树花粉添加量 6%,腌制温度 0~4 ℃,腌制时间 3 h,焙烤时间 23 min
焙烤时间/min	19、21、23、25、27	茶树花粉添加量 6%,腌制温度 0~4 ℃,腌制时间 3 h,焙烤温度 180 ℃

1.3.6 茶树花肉脯加工工艺响应面优化试验

在单因素试验的基础上,根据 Box-Behnken 响应面中心组合试验设计原理,选取对茶树花肉脯品质特性影响较为显著的茶树花粉添加量(A)、焙烤温度(B)、焙烤时间(C)3 个因素作为自变量,因硬度、弹性和感官评分是成品肉脯的关键性指标,故以茶树花肉脯的硬度、弹性和感官评分为指标,以 Y 作为响应值,设计三因素三水平的响应面试验,并进行数据拟合优化茶树花肉脯的加工工艺,试验因素及水平设计如表 3 所示。

表 3 响应面试验因素水平
Table 3 Factors and levels of response surface tests

水平	因素		
	A 茶树花粉添加量/%	B 焙烤温度/℃	C 焙烤时间/min
-1	4	160	21
0	6	180	23
1	8	200	25

在响应面分析中,将茶树花肉脯的 3 项检测指标采用 Hassan 方法归一化为 0~1 之间的值^[13-14]。

肉脯硬度指标属于取值越小越佳、弹性和感官评分 2 个指标属于取值越大越好,对其采用 Hassan 方法进行数学转换求得 $D_{\min}$ 和 $D_{\max}$,计算公式如下。

$$D_{\min} = \frac{d_{\max} - d_i}{d_{\max} - d_{\min}}$$

式中: d_i 为每组试验测得的硬度真实值; $d_{\max}$ 为试验组中硬度最大值; $d_{\min}$ 为试验组中硬度最小值。

$$D_{\max} = \frac{d_i - d_{\max}}{d_{\max} - d_{\min}}$$

式中: d_i 为每组试验测得的弹性/感官评分真实值; $d_{\max}$ 为试验组中弹性/感官评分最大值; $d_{\min}$ 为试验组中弹性/感官评分最小值。

参照樊金山等^[15]的方法,将茶树花肉脯的硬度、弹性、感官评分的权重分别设置为 0.3、0.3、0.4,根据下式计算包含硬度、弹性和感官评分的响应值 Y。

$$Y = D_{\min 1} \times 0.3 + D_{\max 1} \times 0.3 + D_{\max 2} \times 0.4$$

式中: $D_{\min 1}$ 为硬度的 $D_{\min}$; $D_{\max 1}$ 为弹性的 $D_{\max}$; $D_{\max 2}$ 为感官评分的 $D_{\max}$ 。

1.3.7 肉脯的体外抗氧化活性测定

参照徐亮^[16]的方法,并稍作修改。以蒸馏水作为提取溶剂,准确称取 10.0 g(精确至 0.000 1 g)经石油醚浸泡脱脂室温晾干的肉脯样品,加入 50 mL 溶剂,在离心机中均质(10 000 r/min,2 min)后,于 50 ℃的条件下超声辅助提取 30 min,冷却后用溶剂定容至 200 mL 过滤,即得肉脯提取液(50 mg/mL),用于肉脯体外抗氧化活性测定。

1.3.7.1 肉脯对 DPPH 自由基清除率的测定

参照 Yamaguchi 等^[17]的方法,并稍作修改。以蒸馏水为溶剂,将肉脯提取液配制成 1.25、2.50、3.75、5.00、6.25 mg/mL 的溶液,在 1.0 mL 不同浓度的样品溶液中加入 3.0 mL DPPH 溶液,充分振荡后,室温条件下避光反应 0.5 h,无水乙醇调零,于 517 nm 处测定吸光度,即样品吸光度 A_1 ;1.0 mL 蒸馏水代替样品与 DPPH 溶液反应,为空白对照组 A_0 ;3.0 mL 无水乙醇代替 DPPH 溶液与样品反应,为样品本底对照组 A_2 。同时测定茶树花肉脯和普通肉脯 DPPH 自由基清除率(D,%),其计算公式如下。

$$D = \frac{A_0 - A_1 + A_2}{A_0} \times 100$$

式中: A_0 表示空白对照组的吸光度; A_1 表示样品组的吸光度; A_2 表示样品本底对照组的吸光度。

1.3.7.2 肉脯对羟自由基清除率的测定

参照师梦楠等^[11]的方法,并作适当修改。以蒸馏水为溶剂,将肉脯提取液配制成 10、20、30、40、50 mg/mL 的溶液,在试管中依次加入 2 mL 磷酸盐缓冲液、1 mL 0.75 mmol/L 邻二氮菲溶液、1 mL 0.75 mmol/L 硫酸亚铁溶液,充分振荡后,加入 1 mL 不同浓度样品溶液,最后加入 1 mL 0.1% 双氧水,摇匀后于 37 ℃的恒温水浴锅中充分反应 1 h 后,在 510 nm 处测定其吸光度,即为样品组吸光度 A_1 ;用 2 mL 蒸馏水代替 1 mL 样品溶液和 1 mL 0.1% 双氧水,为未损伤组 A_0 ;用 1 mL 蒸馏水代替样品溶液,为损伤组 A_2 。同时测定茶树花肉脯

和普通肉脯的羟自由基清除率(O , %), 其计算公式如下。

$$O = \frac{A_1 - A_2}{A_0 - A_2} \times 100$$

式中: A_1 表示样品组的吸光度; A_2 表示损伤组的吸光度; A_0 表示未损伤组的吸光度。

1.3.7.3 肉脯还原能力的测定

参照 Uluata 等^[18]的方法, 并稍作修改。以蒸馏水为溶剂, 将肉脯提取液配制成 10、20、30、40、50 mg/mL 的溶液, 在试管中分别加入 2.5 mL pH6.6 的磷酸缓冲溶液和 2.5 mL 1% 铁氰化钾溶液, 混匀后加入 2.5 mL 不同浓度的样品溶液, 于 50 ℃ 的恒温水浴锅中充分反应 20 min, 水浴结束后, 急速冷却, 往混合液中加入 2.5 mL 10% 的三氯乙酸溶液, 充分振荡后 7 000 r/min 离心 10 min, 取上清液 2.5 mL 于试管中, 再加入 2.5 mL 蒸馏水和 0.5 mL 0.1% 三氯化铁溶液, 反应 10 min 后, 在 700 nm 波长处测定其吸光度, 即为样品组 A_1 。用

2.5 mL 蒸馏水代替样品溶液, 为空白对照 A_0 。同时测定茶树花肉脯和普通肉脯的还原能力(X), 计算公式如下。

$$X = A_1 - A_0$$

1.4 数据分析

所有试验至少进行 3 次, 采用 Design-Expert 12.0 软件进行响应面优化。使用 Microsoft Office Excel 软件对试验数据进行统计处理和误差分析, 试验结果采用平均值±标准差表示, 使用 SPSS 软件进行差异显著性分析和 IC₅₀ 计算。用 Origin 2018 软件进行图形绘制。

2 结果与分析

2.1 茶树花肉脯加工工艺单因素试验

2.1.1 茶树花粉添加量对茶树花肉脯质构特性和感官的影响

茶树花粉添加量对肉脯质构特性和感官评分的影响如表 4 所示。

表 4 茶树花粉添加量对肉脯质构特性和感官评分的影响

Table 4 Effects of tea pollen addition amount on texture properties and sensory score of pork jerky

茶树花粉添加量/%	质构特性						感官评分
	硬度/N	弹性/mm	内聚性	胶黏性/N	回复性	咀嚼性/mJ	
2	271.48±3.99 ^a	1.73±0.03 ^a	0.79±0.05 ^a	214.42±4.33 ^a	0.74±0.06 ^a	402.38±4.10 ^a	75.32±1.87 ^c
4	254.55±6.19 ^b	1.69±0.11 ^{ab}	0.78±0.03 ^a	181.34±3.04 ^b	0.72±0.04 ^a	329.42±4.27 ^b	84.56±2.03 ^b
6	222.71±4.85 ^c	1.70±0.10 ^{ab}	0.79±0.01 ^a	177.42±6.02 ^{bc}	0.70±0.04 ^a	290.38±4.40 ^c	88.76±1.92 ^a
8	209.34±4.77 ^d	1.52±0.05 ^b	0.79±0.04 ^a	170.88±4.03 ^c	0.65±0.05 ^{ab}	259.99±3.76 ^d	69.72±1.75 ^d
10	183.18±3.01 ^e	1.24±0.07 ^c	0.70±0.06 ^a	156.66±2.99 ^d	0.56±0.06 ^b	203.95±5.48 ^e	60.38±1.32 ^e

注: 同列不同小写字母表示同一指标差异显著($P<0.05$)。

由表 4 可知, 肉脯的硬度随着茶树花粉添加量的增加呈现逐渐下降的趋势, 不同茶树花粉添加量对茶树花肉脯的硬度具有显著影响。An 等^[19]研究泡菜粉的添加对猪肉干的影响, 结果表明, 随着猪肉干中泡菜粉含量的增加, 猪肉干的剪切力逐渐降低, 相较于试验组, 对照组需要更大的剪切力。本研究茶树花粉添加量为 2%~6% 时, 肉脯的弹性无显著差异, 当添加量超过 6% 时, 肉脯弹性与添加量呈负相关关系, 并在 10% 时肉脯弹性最小。樊金山等^[15]研究结果表明, 姬松茸粉添加量为 2.5%~12.5% 时, 肉脯的弹性随姬松茸粉添加量的增加而降低, 这与本试验的结果一致。茶树花粉添加量对肉脯内聚性的影响不显著, 茶树花肉脯的胶黏性、回复性和咀嚼性均随茶树花粉添加量的增加呈不断下降的趋势, 这可能是因为茶树花粉的增加, 导致肉脯内部结构的均一性受到了破坏, 故而引起这些指标的下降。茶树花肉脯的感官评分随着茶树花粉添加量的增加呈先上升后下降的趋势, 茶树花粉添加量为 2%~6% 时, 感官评分随茶树花粉添加量的增加显著提高($P<0.05$), 当添加量为 6% 时, 感官评分最

高, 为 88.76±1.92, 超过 6% 后成品肉脯的苦涩味明显, 茶树花风味过于浓郁, 掩盖了肉香味, 不易被接受, 因此感官评分下降明显。李玉邯等^[20]研究发现, 洋葱粉添加量超过 10%, 肉脯洋葱味太重, 失去肉脯原有香气, 从而导致感官评分降低。丁家琪等^[21]研究结果表明, 抹茶粉添加量过高, 抹茶味过浓会掩盖鸭肉风味, 降低肉脯感官评分, 这与本试验结果一致。因此, 选择茶树花粉添加量为 4%、6%、8% 进行后续响应面试验。

2.1.2 腌制温度对茶树花肉脯质构特性和感官的影响

腌制温度对肉脯质构特性和感官评分的影响如表 5 所示。

由表 5 可知, 腌制温度对肉脯质构特性的整体影响较小。随腌制温度的升高, 肉脯的弹性整体降低, 并在 16~20 ℃ 时, 下降到最低值, 0~4 ℃ 与 12~16、16~20 ℃ 腌制肉脯间的弹性存在显著差异, 4~8 ℃ 与 8~12 ℃ 腌制肉脯的弹性无显著差异。肉脯的硬度随着腌制温度的升高而整体呈小幅度的下降, 当腌制温度达 4 ℃ 以上, 肉脯的硬度无显著性差异。肉脯的内聚

表 5 腌制温度对肉脯质构特性和感官评分的影响
Table 5 Effects of pickling temperature on texture properties and sensory score of pork jerky

腌制温度/ °C	质构特性						感官评分
	硬度/N	弹性/mm	内聚性	胶黏性/N	回复性	咀嚼性/mJ	
0~4	224.57±2.97 ^a	1.74±0.03 ^a	0.81±0.03 ^a	203.51±3.43 ^a	0.76±0.03 ^a	285.16±4.21 ^a	87.93±1.36 ^a
4~8	222.63±3.20 ^{ab}	1.70±0.03 ^{ab}	0.77±0.04 ^{ab}	204.19±2.98 ^a	0.75±0.04 ^a	283.44±3.86 ^a	86.25±2.09 ^a
8~12	216.46±3.51 ^{ab}	1.71±0.02 ^{ab}	0.73±0.03 ^{ab}	198.76±3.21 ^a	0.74±0.02 ^a	278.76±3.03 ^{ab}	85.38±2.11 ^a
12~16	215.28±4.09 ^b	1.65±0.05 ^b	0.72±0.04 ^b	200.43±2.59 ^a	0.70±0.03 ^{ab}	271.36±2.88 ^b	84.75±1.91 ^a
16~20	217.31±3.69 ^{ab}	1.43±0.03 ^c	0.73±0.02 ^{ab}	199.34±3.03 ^a	0.63±0.04 ^b	277.36±3.03 ^{ab}	85.29±1.32 ^a

注:同列不同小写字母表示同一指标差异显著(P<0.05)。

性、胶黏性、回复性和咀嚼性随腌制温度的升高而呈小幅度的起伏。随腌制温度的升高,茶树花肉脯的感官评分整体出现缓慢下降的趋势,这可能是因为不同温度所产生的温度差,使得肉脯的品质发生改变,茶树花肉脯在 0~4 °C 低温腌制条件下感官评分最高,不同腌制温度间茶树花肉脯的感官评分无显著差异。苏婷等^[22]研究表明,腌制温度对草鱼的感官评分影响较大,随着腌制温度的升高,感官评分呈下降趋势,草鱼的最佳腌制温度为 4 °C。叶路漫^[23]研究发现,腌制温度越

高,金鲳鱼制品的感官评分越低,与本试验的结果一致。低温条件下腌制能够抑制肌肉组织酶的活性和降低各种生化反应的速度,同时起到抑制微生物生长与繁殖的作用,综上,腌制温度为 0~4 °C 时,茶树花肉脯的品质更佳。

2.1.3 腌制时间对茶树花肉脯质构特性和感官的影响
腌制时间对茶树花肉脯质构特性和感官评分的影响如表 6 所示。

由表 6 可知,不同腌制时间对茶树花肉脯的硬度

表 6 腌制时间对肉脯质构特性和感官评分的影响
Table 6 Effects of pickling time on texture properties and sensory score of pork jerky

腌制时间/h	质构特性						感官评分
	硬度/N	弹性/mm	内聚性	胶黏性/N	回复性	咀嚼性/mJ	
1	270.31±3.34 ^a	0.95±0.05 ^c	0.74±0.04 ^a	210.56±2.88 ^a	0.63±0.03 ^a	387.35±4.11 ^a	77.13±1.57 ^d
2	258.38±3.50 ^b	1.01±0.04 ^c	0.71±0.04 ^a	189.55±3.41 ^b	0.68±0.02 ^a	335.96±3.86 ^b	82.65±1.86 ^{bc}
3	228.36±2.97 ^d	1.74±0.06 ^a	0.77±0.03 ^a	176.32±3.05 ^{cd}	0.74±0.04 ^a	287.45±3.36 ^d	89.38±2.01 ^a
4	210.24±3.67 ^c	1.28±0.10 ^b	0.73±0.02 ^a	170.68±2.76 ^d	0.63±0.09 ^a	252.64±3.67 ^c	85.34±1.25 ^b
5	243.14±4.03 ^c	1.21±0.03 ^b	0.72±0.06 ^a	183.44±4.03 ^{bc}	0.63±0.03 ^a	311.83±4.67 ^c	80.01±1.38 ^{cd}

注:同列不同小写字母表示同一指标差异显著(P<0.05)。

具有显著影响。腌制时间为 1~4 h 时,随腌制时间的延长,肉脯的硬度不断降低,并在腌制时间 4 h 时,硬度最小,当腌制时间为 5 h 时,肉脯的硬度反而增大,这可能是因为随腌制时间的延长,肉糜中的肌原纤维发生断裂,经腌制肌肉中的盐溶性蛋白溶出,降低了肉脯的硬度,而腌制时间过长可能使蛋白质的聚集变性、水分含量下降,故而引起硬度变大^[24]。腌制时间为 1~3 h 时,肉脯的弹性与腌制时间呈正相关,当腌制时间为 3 h 时,肉脯的弹性最佳,腌制时间超过 3 h 后,弹性随腌制时间的延长明显降低,这可能是由于前期腌制时间不足,肌蛋白质转变不充分,成品肉脯弹性、韧性不佳,而腌制后期肌肉中的肌原纤维和弹性蛋白发生降解,导致肉的弹性下降。徐慧^[25]研究结果表明,腌制时间对肉脯的口感具有重要的决定作用,腌制时间不足,蛋白质溶出不充分,成品肉脯口感粗糙、弹性及韧性差,与本试验的研究结果基本一致。成品肉脯的内

聚性和回复性受腌制时间的影响不显著,胶黏性和咀嚼性随腌制时间的延长先降低后增加,这可能是因为腌制前期肉脯的硬度下降,弹性增大,故而该 2 项指标呈下降趋势,腌制后期肉脯的水分含量下降,导致胶黏性和咀嚼性变大。

腌制时间为 1~3 h 时,感官评分与腌制时间呈正相关关系,腌制时间为 3 h 时,茶树花肉脯的感官评分为 89.38±2.01,超过 3 h 时,感官评分显著下降。户天星等^[26]研究表明,随着腌制时间的延长,手撕牛肉的感官评分先增加后降低,这与本试验的研究结果基本一致。腌制是改善肉脯品质的一个重要环节,能使肉脯呈现更好的色泽和风味。腌制时间长短是影响肉脯品质的重要因素,腌制时间不足,肉制品内部渗透和扩散环节无法平衡,产品难以入味,腌制时间过长又将导致蛋白质的凝胶性质发生改变,同时易造成脂肪与蛋白质的过度氧化,对产品产生负面影响^[27]。综上,腌制时

间为 3 h 时,茶树花肉脯拥有更好的品质。

2.1.4 焙烤温度对茶树花肉脯质构特性和感官的影响

焙烤温度对茶树花肉脯质构特性和感官评分的影响如表 7 所示。

由表 7 可知,肉脯的硬度和咀嚼性随焙烤温度的升高先增加而后出现显著下降的趋势,这可能是由于焙烤温度的升高,肉脯的干燥速率提高,肌肉纤维蛋白由于发生热变形形成三维凝胶网络结构,水分蒸发速

表 7 焙烤温度对肉脯质构特性和感官评分的影响
Table 7 Effects of baking temperature on texture properties and sensory score of pork jerky

焙烤温度/℃	质构特性					感官评分	
	硬度/N	弹性/mm	内聚性	胶黏性/N	回复性		咀嚼性/mJ
140	189.13±4.65 ^c	1.16±0.06 ^c	0.75±0.02 ^{ab}	140.23±3.45 ^d	0.60±0.06 ^b	176.92±2.55 ^d	70.21±2.03 ^c
160	214.51±3.28 ^b	1.44±0.03 ^b	0.77±0.02 ^a	165.82±4.33 ^c	0.62±0.04 ^b	244.41±4.08 ^c	79.13±2.12 ^b
180	220.86±5.31 ^b	1.58±0.05 ^a	0.77±0.02 ^a	178.01±4.55 ^b	0.76±0.09 ^a	270.20±4.21 ^b	88.75±1.35 ^a
200	264.03±5.13 ^a	1.60±0.08 ^a	0.80±0.02 ^a	284.93±2.53 ^a	0.60±0.04 ^b	388.25±4.51 ^a	80.38±1.66 ^b
220	143.45±3.76 ^d	1.53±0.03 ^{ab}	0.71±0.02 ^b	105.07±1.11 ^e	0.50±0.04 ^b	155.85±5.34 ^c	65.32±1.42 ^d

注:同列不同小写字母表示同一指标差异显著($P<0.05$)。

率加快,致使成品肉脯的水分含量低,质地紧密、硬度变大、咀嚼性升高,当焙烤温度达 220 ℃时,由于焙烤温度过高,蛋白质变性速度过快致使表面形成一层硬壳,肉脯水分蒸发受阻,内部出现空洞,故而成品肉脯的硬度和咀嚼性急剧下降^[28]。梅谭^[29]研究表明,在 110~210 ℃的焙烤范围内,随着焙烤温度的升高,羊肉脯的硬度不断变大,与本试验的结果基本一致。焙烤温度为 140~160 ℃时,肉脯的弹性随焙烤温度的升高显著增大,焙烤温度超 180 ℃后,弹性无显著变化。对肉脯的胶黏性和咀嚼性而言,焙烤温度从 140 ℃升高至 200 ℃,这 2 个指标值显著增加,当焙烤温度超过 200 ℃时,肉脯胶黏性和咀嚼性均显著下降。肉脯的回复性随焙烤温度的上升呈先增加后下降的趋势,并在 180 ℃时,回复性达最高。

肉脯的感官评分随焙烤温度的升高呈现先升高后下降的趋势,当焙烤温度为 180 ℃,此时肉脯的感官评分显著高于其他焙烤温度对应的肉脯感官评分,为

88.75±1.35。焙烤温度过低,肉脯色泽不美观,质地偏软,肉焙烤香气无法被较好地激发出来,成品肉脯香气较差,而焙烤温度过高,导致肉脯蛋白质变性 & 非酶褐变反应速度过快,肉脯边缘出现焦化现象,口感差,故而感官评分低。周凤超等^[28]研究结果表明,当烘干温度过高时,枇杷风味肉脯的硬度和咀嚼性大,产品感官评分下降。吴震洋等^[30]研究得出猪肉脯的感官评分随焙烤温度的升高出现先升高后降低,这与本试验的研究结果一致。因此,选择焙烤温度为 160、180、200 ℃进行后续响应面试验。

2.1.5 焙烤时间对茶树花肉脯质构特性和感官的影响

焙烤的主要目的是肉脯脱水熟化及赋予其较好的色泽,焙烤时间长短对成品肉脯的硬度、弹性、色泽、口感等具有重要的影响。焙烤时间对茶树花肉脯质构特性和感官评分的影响如表 8 所示。

由表 8 可知,在焙烤时间 19~23 min 时,肉脯的硬度随焙烤时间的延长不断增大,焙烤时间为 23~27 min

表 8 焙烤时间对肉脯质构特性和感官评分的影响
Table 8 Effects of baking time on texture properties and sensory score of pork jerky

焙烤时间/ min	质构特性					感官评分	
	硬度/N	弹性/mm	内聚性	胶黏性/N	回复性		咀嚼性/mJ
19	194.48±4.13 ^c	1.12±0.02 ^d	0.79±0.03 ^a	178.41±3.84 ^c	0.78±0.01 ^a	186.69±6.10 ^c	70.21±1.89 ^c
21	211.09±2.48 ^b	1.36±0.03 ^b	0.82±0.03 ^a	198.83±2.93 ^a	0.73±0.06 ^a	212.56±2.55 ^b	81.33±2.01 ^b
23	226.57±2.79 ^a	1.75±0.04 ^a	0.82±0.02 ^a	205.38±3.10 ^a	0.77±0.03 ^a	253.18±3.05 ^a	89.03±2.02 ^a
25	200.21±2.03 ^c	1.39±0.06 ^b	0.70±0.02 ^b	190.33±2.98 ^b	0.68±0.03 ^{ab}	205.76±3.89 ^b	72.15±1.64 ^c
27	169.36±2.06 ^d	1.24±0.04 ^c	0.68±0.03 ^b	155.46±3.18 ^d	0.62±0.06 ^b	172.24±4.13 ^d	60.31±1.15 ^d

注:同列不同小写字母表示同一指标差异显著($P<0.05$)。

时,肉脯的硬度显著降低。肉脯的弹性随着焙烤时间的延长,先呈增大的趋势,当焙烤时间大于 23 min 时,茶树花肉脯的弹性显著降低,焙烤时间为 23 min 时,肉脯的弹性最佳,这主要是由于焙烤时间过长,导致成

品肉脯内部出现空洞,故而导致硬度和弹性值下降。Yang 等^[31]研究结果表明,肉脯具有较大的剪切力可能与肉脯的肌肉组成和较低水分含量有关,这与本试验的结果基本一致。成品肉脯的内聚性和回复性随焙烤

时间的延长整体呈小幅度的先上升后下降,焙烤时间为 21 min 和 23 min 时,肉脯的内聚性较高,23 min 时肉脯的回复性较好。当焙烤时间为 19~23 min 时,茶树花肉脯的胶黏性和咀嚼性不断增大,超过 23 min 时,该 2 项指标均显著下降,这可能是由于焙烤时间的延长使肉脯中的水分传递到热空气中,在高温条件下肌原纤维蛋白凝胶网络空间结构更紧密,故而肉脯的胶黏性和咀嚼性增强,焙烤时间过长,肉脯内部出现空洞,因此这 2 个指标值下降。

茶树花肉脯的感官评分随焙烤时间的延长先增加后降低,并在 23 min 时感官评分显著高于其他焙烤时间的感官评分,为 89.03 ± 2.02 。赵立等^[32]研究结果表明,焙烤时间在 5 min 前,重组香菇肉脯的感官评分不断升高,超过 5 min 后感官评分不断下降,这与本试验的研究结果基本一致。因此,选择焙烤时间为 21、23、25 min 进行后续响应面试验。

2.2 响应面优化试验

根据单因素试验结果,采用 Box-Behnken 试验,对茶树花肉脯的加工工艺进行优化。以茶树花粉添加量(A)、焙烤温度(B)、焙烤时间(C)为自变量,以 Y 为响应值,进行三因素三水平响应面优化试验,对试验方案中 17 组试验进行研究,得到的结果如表 9 所示。

表 9 响应面试验设计与结果
Table 9 Response surface test design and results

试验号	茶树花粉添加量/%	焙烤温度/℃	焙烤时间/min	硬度/N	弹性/mm	感官评分	Y
1	4	160	23	187.35	1.20	69.14	0.45
2	8	160	23	179.34	1.08	61.49	0.32
3	4	200	23	268.36	1.53	78.49	0.46
4	8	200	23	193.34	1.15	62.56	0.32
5	4	180	21	234.46	1.47	72.03	0.45
6	8	180	21	201.18	1.24	65.55	0.37
7	4	180	25	258.95	1.60	80.05	0.54
8	8	180	25	203.35	1.22	71.03	0.35
9	6	160	21	180.36	1.12	63.12	0.35
10	6	200	21	240.14	1.50	80.21	0.56
11	6	160	25	213.19	1.46	77.87	0.58
12	6	200	25	203.16	1.12	60.3	0.33
13	6	180	23	224.73	1.75	87.38	0.83
14	6	180	23	225.49	1.77	88.21	0.84
15	6	180	23	226.21	1.76	86.94	0.82
16	6	180	23	227.35	1.75	87.93	0.83
17	6	180	23	225.89	1.76	88.10	0.84

运用 Design-Expert 12.0 软件进行回归分析,得到 Y 的标准回归方程: $Y=0.832\ 0-0.066\ 2A-0.003\ 7B+0.007\ 5C-0.002\ 5AB-0.030\ 0AC-0.115\ 0BC-0.234\ 8A^2-0.209\ 8B^2-0.167\ 2C^2$ 。

2.3 响应面模型的方差分析

响应面模型的方差分析见表 10。

表 10 方差分析
Table 10 Analysis of variance

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值	显著性
模型	0.688 6	9	0.076 5	507.62	<0.000 1	**
A	0.035 1	1	0.035 1	232.97	<0.000 1	**
B	0.000 1	1	0.000 1	0.746 4	0.416 2	
C	0.000 4	1	0.000 4	2.99	0.127 6	
AB	0.000 0	1	0.000 0	0.165 9	0.696 0	
AC	0.003 6	1	0.003 6	23.89	0.001 8	**
BC	0.052 9	1	0.052 9	351.00	<0.000 1	**
A ²	0.232 0	1	0.232 0	1 539.55	<0.000 1	**
B ²	0.185 2	1	0.185 2	1 229.10	<0.000 1	**
C ²	0.117 8	1	0.117 8	781.47	<0.000 1	**
残差	0.001 1	7	0.000 2			
失拟项	0.000 8	3	0.000 3	3.69	0.119 7	
纯误差	0.000 3	4	0.000 1			
总和	0.689 6	16				

注:**表示影响极显著($P<0.01$)。

由表 10 可知,模型的 F 值为 507.62, P 值<0.000 1,说明该模型极显著,失拟项 $P=0.119\ 7>0.05$,说明未知因素对本试验的影响较小,模型可靠。模型中一次项 A、交互项 AC、BC 及二次项 A²、B²、C²对 Y 的影响极显著,说明各因素对茶树花肉脯响应值 Y 的影响呈二次关系,而不是单纯的线性关系。由 F 值检验可知,各因素对响应值 Y 的影响主次顺序是茶树花粉添加量(A)>焙烤时间(C)>焙烤温度(B)。该模型的决定系数 R²=0.998 5,复合相关系数 R²_{Adj}=0.996 5,预测决定系数 R²_{Pred}=0.981 4,变异系数 2.26%,表明该模型与实际试验的拟合程度好,可信度高,可用于分析和预测各因素对茶树花肉脯加工工艺响应值 Y 的影响。

2.4 各因素交互作用的响应面分析

响应面越陡峭,等高线的疏密分布越不均匀,说明各因素的交互作用越大。各因素交互作用如图 1~图 3 所示。

由图 1~图 3 可知,图 2、图 3 交互作用曲面陡峭,对应的等高线呈疏密不均匀的明显椭圆形,说明茶树花粉添加量和焙烤时间、焙烤温度和焙烤时间之间的交互作用,对茶树花肉脯的响应值 Y 影响极显著,这与方差分析结果一致。AB 间也有一定的交互作用,但不显著。

2.5 茶树花肉脯最佳工艺条件的预测和验证

根据 Design-Expert 12.0 预测模型极值点,结果显示最佳茶树花肉脯加工工艺条件为茶树花粉添加量 5.712%、焙烤温度 179.608 ℃、焙烤时间 23.083 min。

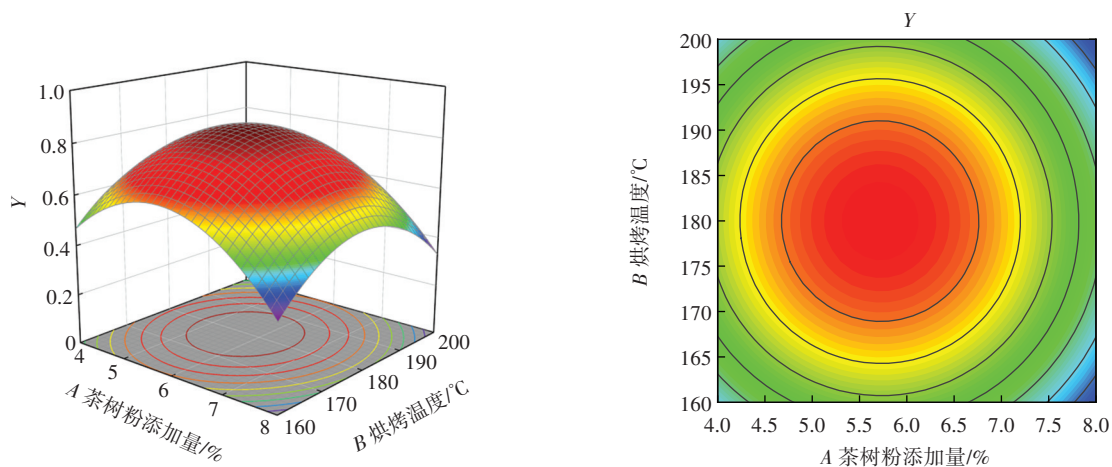


图1 茶树花粉添加量和焙烤温度的交互作用

Fig.1 Interaction between tea pollen addition amount and baking temperature

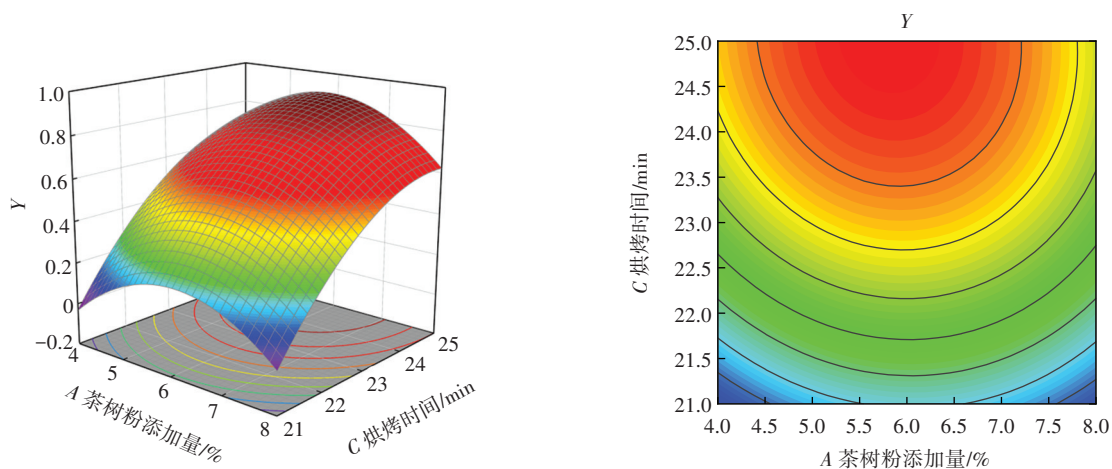


图2 茶树花粉添加量和焙烤时间的交互作用

Fig.2 Interaction between tea pollen addition amount and baking time

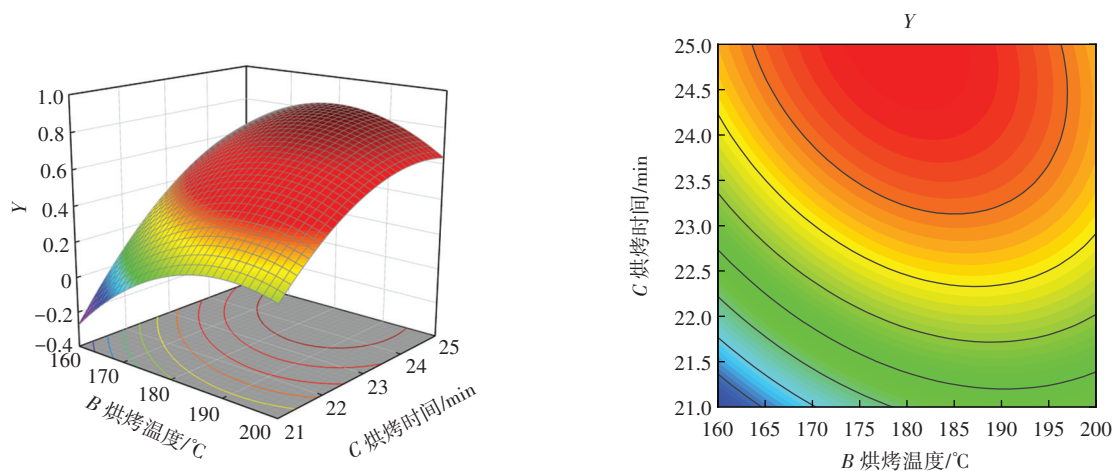


图3 焙烤温度和焙烤时间的交互作用

Fig.3 Interaction between baking temperature and baking time

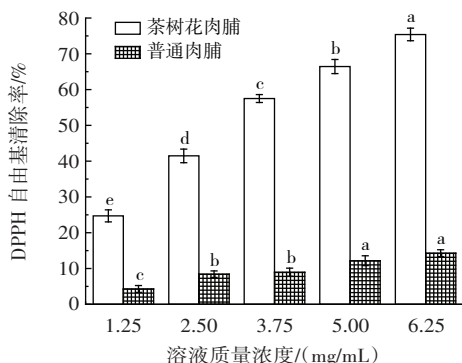
根据实际操作的需要设计验证试验,将最佳加工条件调整为茶树花粉添加量 5.7%、焙烤温度 180℃、焙烤时间 23 min,采用上述优化后的加工条件进行 3 次平

行试验,测得的茶树花肉脯的感官评分为 89.39 ± 1.02 ,硬度为 (216.32 ± 3.21) N,弹性为 (1.81 ± 0.03) mm,证明该模型拟合度良好。

2.6 两种肉脯的抗氧化活性对比研究

2.6.1 两种肉脯 DPPH 自由基清除率的对比研究

对普通肉脯和经优化工艺制备得到的茶树花肉脯进行 DPPH 自由基清除率测定,结果如图 4 所示。



不同小写字母表示组内差异显著 ($P < 0.05$)。

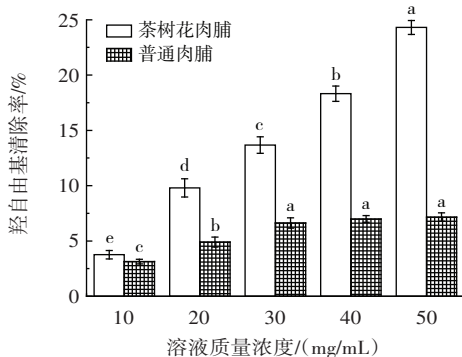
图 4 两种肉脯 DPPH 自由基清除率

Fig.4 DPPH free radical scavenging rates of two pork jerky products

由图 4 可知,溶液质量浓度为 1.25~6.25 mg/mL 时,茶树花肉脯对 DPPH 自由基清除能力随着质量浓度的增加显著增强,普通肉脯的清除活性也与溶液质量浓度呈一定的剂量效应关系,且茶树花肉脯对 DPPH 自由基清除能力明显强于普通肉脯,当肉脯提取液的质量浓度为 6.25 mg/mL 时,茶树花肉脯对 DPPH 自由基清除率为 $(75.39 \pm 1.75)\%$,普通肉脯的 DPPH 自由基清除率为 $(14.28 \pm 0.98)\%$ 。曹媛媛等^[33]研究发现,仙草提取物能够提高猪肉糜的抗氧化能力,当仙草提取物添加量为 4% 时,肉脯的 DPPH 自由基清除率由 55% 提高至 81%,这与本试验的研究结果相近。通过试验数据可求得茶树花肉脯清除 DPPH 自由基的 IC_{50} 为 2.98 mg/mL。

2.6.2 两种肉脯羟自由基清除率的对比研究

对普通肉脯和经优化工艺制备得到的茶树花肉脯进行羟自由基清除率测定,结果如图 5 所示。



不同小写字母表示组内差异显著 ($P < 0.05$)。

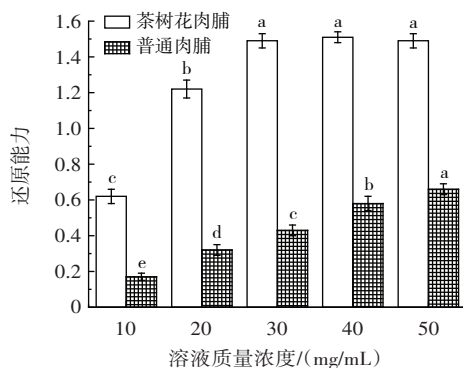
图 5 两种肉脯羟自由基清除率

Fig.5 Hydroxyl radical scavenging rates of two pork jerky products

由图 5 可知,提取液质量浓度为 10~30 mg/mL 时,随着溶液质量浓度的升高,茶树花肉脯和普通肉脯对羟自由基的清除能力显著增强,质量浓度超过 30 mg/mL 后,普通肉脯的清除能力无显著差异,茶树花肉脯的羟自由基清除能力均明显高于同质量浓度的普通肉脯,当肉脯提取液的质量浓度为 50 mg/mL 时,茶树花肉脯的羟自由基清除能力 $[(24.56 \pm 0.85)\%]$ 是同质量浓度普通肉脯 $[(7.12 \pm 0.52)\%]$ 的 3.4 倍。李玉邯等^[20]通过研究发现,洋葱皮能够明显提高肉脯的抗氧化能力,当肉脯中洋葱皮的添加量为 5% 时,肉脯对羟自由基清除率超过 5%。用 SPSS 软件求得茶树花肉脯清除羟自由基的 IC_{50} 为 127 mg/mL。

2.6.3 两种肉脯还原能力的对比研究

对普通肉脯和经优化工艺制备得到的茶树花肉脯进行还原能力测定,结果如图 6 所示。



不同的小写字母表示组内差异显著 ($P < 0.05$)。

图 6 两种肉脯的还原能力

Fig.6 Reducing power of two pork jerky products

由图 6 可知,两种肉脯提取液质量浓度为 10~30 mg/mL 时,随着质量浓度的升高,肉脯的还原能力均显著增强,且茶树花肉脯的还原能力明显高于普通肉脯,当肉脯提取液的质量浓度超过 30 mg/mL 时,茶树花肉脯的还原能力无显著差异。当肉脯提取液的质量浓度为 50 mg/mL 时,茶树花肉脯 (1.49 ± 0.04) 的还原能力是普通肉脯 (0.66 ± 0.03) 的 2.26 倍。Cheng 等^[34]将浓缩桑椹汁添加到猪肉干片的制作中,研究发现肉干片显示出优异的抗氧化活性,与本试验的研究结果相一致。

3 结论

以茶树花肉脯为试验对象,在单因素试验的基础上通过响应面设计优化茶树花肉脯的加工工艺,确定最佳加工工艺参数为茶树花粉添加量 5.7%、焙烤温度 180℃、焙烤时间 23 min,采用上述优化后的加工条件进行平行试验,在此条件下制得的茶树花肉脯感官评分为 89.39 ± 1.02 ,硬度为 (216.32 ± 3.21) N,弹性为 $(1.81 \pm$

0.03) mm。通过体外抗氧化试验研究得出,茶树花肉脯和普通肉脯的抗氧化活性均随着溶液质量浓度的升高而增强,且茶树花肉脯的 DPPH 自由基、羟自由基清除能力和还原能力均明显高于同质量浓度普通肉脯,利用试验数据计算得茶树花肉脯 DPPH 自由基清除率和羟自由基清除率的 IC_{50} 分别为 2.98、127 mg/mL。本研究将传统肉脯与福鼎大白茶冻干茶树花结合开发茶树花肉脯,改善了肉脯品质,提升了肉脯抗氧化活性,有利于拓展茶树花和肉脯的应用范围并提升其产品品质,能够促进茶树花资源的开发利用,提高茶树花的附加价值。

参考文献:

- [1] RAMLI A N M, SUKRI N A M, AZELEE N I W, et al. Exploration of antibacterial and antioxidative activity of seed/peel extracts of Southeast Asian fruit Durian (*Durio zibethinus*) for effective shelf-life enhancement of preserved meat[J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(9): e15662.
- [2] 李登龙, 吴斌, 王玉涛, 等. 金针菇多糖复合重组肉脯的研制[J]. 现代食品科技, 2020, 36(1): 198-205, 135.
LI Denglong, WU Bin, WANG Yutao, et al. Preparation study of chicken jerky reconstituted by *Flammulina velutipes* polysaccharide complex[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(1): 198-205, 135.
- [3] 江月. 牛肉脯系列产品研发及其品质分析[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2019.
JIANG Yue. Development and quality analysis of beef breast series products[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2019.
- [4] REDDY G V, SEN A R, NAIR P N, et al. Effects of grape seed extract on the oxidative and microbial stability of restructured mutton slices[J]. Meat Science, 2013, 95(2): 288-294.
- [5] LU Y Y, HE J, CAO J X, et al. Effect of fermentation by various bacterial strains on quality of dried duck meat slice[J]. International Journal of Food Engineering, 2021, 17(2): 121-129.
- [6] 彭健斌. 发酵羊肉脯工艺优化及货架期预测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
PENG Jianbin. Study on process optimization and shelf life prediction of fermented preserved mutton[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.
- [7] 刘丹. 茶树花生长过程中内含成分变化及茶树花茯砖茶开发研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2019.
LIU Dan. Study on the change of components in the process of tea flower growth and the development of tea flower fuzhuan tea[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2019.
- [8] JIA S S, WANG Y, HU J H, et al. Mineral and metabolic profiles in tea leaves and flowers during flower development[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2016, 106: 316-326.
- [9] CHEN D, DING Y, CHEN G J, et al. Components identification and nutritional value exploration of tea (*Camellia sinensis* L.) flower extract: Evidence for functional food[J]. Food Research International, 2020, 132: 109100.
- [10] WAY T D, LIN H Y, HUA K T, et al. Beneficial effects of different tea flowers against human breast cancer MCF-7 cells[J]. Food Chemistry, 2009, 114(4): 1231-1236.
- [11] 师梦楠, 彭云, 张杰, 等. 云南大叶种茶树花生化成分及体外抗氧化活性研究[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 298-306.
- [12] SHI Mengnan, PENG Yun, ZHANG Jie, et al. Study on biochemical components and *in vitro* antioxidant activities of tea tree flower in Yunnan[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(16): 298-306.
- [12] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 肉脯: GB/T 31406—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Dried meat slice: GB/T 31406—2015[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.
- [13] 郭燕, 邓杰, 任志强, 等. 响应面优化酿酒酵母与窖泥酯化细菌协同发酵产丁酸乙酯和己酸乙酯[J]. 食品科学, 2021, 42(10): 209-217.
GUO Yan, DENG Jie, REN Zhiqiang, et al. Optimization of the production of ethyl hexanoate and ethyl butyrate by cofermentation of *Saccharomyces cerevisiae* and esterifying bacteria from pit mud of Chinese Baijiu using response surface methodology[J]. Food Science, 2021, 42(10): 209-217.
- [14] 吴伟, 崔光华, 陆彬. 实验设计中多指标的优化: 星点设计和总评“归一值”的应用[J]. 中国药理学杂志, 2000, 35(8): 530.
WU Wei, CUI Guanghua, LU Bin. Optimization of multiple indicators in experimental design: Application of star point design and overall evaluation 'normalization value'[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2000, 35(8): 530.
- [15] 樊金山, 张春雨, 曹正, 等. 响应面法优化姬松茸重组猪肉脯加工工艺[J]. 食品科技, 2021, 46(3): 81-87.
FAN Jinshan, ZHANG Chunyu, CAO Zheng, et al. Optimization of processing technology of *Agaricus blazei* Murr. Recombinant pork jerky by response surface methodology[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(3): 81-87.
- [16] 徐亮. 桑椹多酚对猪肉脯品质改良及其机理研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.
XU Liang. Study on the quality improvement of preserved pork by mulberry polyphenols and its mechanism[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019.
- [17] YAMAGUCHI T, TAKAMURA H, MATOBA T, et al. HPLC method for evaluation of the free radical-scavenging activity of foods by using 1, 1-diphenyl-2-picrylhydrazyl[J]. Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry, 1998, 62(6): 1201-1204.
- [18] ULUATA S, ÖZDEMİR N. Antioxidant activities and oxidative stabilities of some unconventional oilseeds[J]. Journal of the American Oil Chemists' Society, 2012, 89(4): 551-559.
- [19] AN K I, CHOI J H, CHOI Y S, et al. Effects of kimchi powder on quality characteristics of semi-dried pork jerky[J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2010, 30(2): 198-205.
- [20] 李玉邯, 陈宇飞, 杨柳, 等. 洋葱粉对猪肉脯品质及抗氧化性能的影响[J]. 中国调味品, 2015, 40(10): 4-6.
LI Yuhuan, CHEN Yufei, YANG Liu, et al. The effect of onion powder on sensory quality and antioxidant activity of pork jerky[J]. China Condiment, 2015, 40(10): 4-6.
- [21] 丁家琪, 白辰雨, 顾泽鹏, 等. 抹茶粉添加量对鸭肉糜脯质构特性和风味品质的影响[J]. 四川农业大学学报, 2022, 40(3): 449-457, 464.
DING Jiaqi, BAI Chenyu, GU Zepeng, et al. Effects of matcha powder supplementation on texture and flavor quality of dried duck meat slice[J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2022, 40(3): 449-457, 464.
- [22] 苏婷, 王辉, 安建超, 等. 真空滚揉腌制对草鱼品质的影响[J]. 肉类工业, 2021(3): 41-45.
SU Ting, WANG Hui, AN Jianchao, et al. Effect of vacuum rolling

- and curing on quality of grass carp[J]. Meat Industry, 2021(3): 41-45.
- [23] 叶路漫. 加工工艺对风干金鲳鱼制品品质作用的研究[D]. 武汉: 武汉轻工大学, 2019.
- YE Luman. Study on the effect of processing technology on the quality of air-dried golden pomfret products[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2019.
- [24] JIANG Q Q, JIA R, NAKAZAWA N, et al. Changes in protein properties and tissue histology of tuna meat as affected by salting and subsequent freezing[J]. Food Chemistry, 2019, 271: 550-560.
- [25] 徐慧. 新型猪肉脯的开发研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2013.
- XU Hui. Development and research of new type pork jerky[D]. Ya'an: Sichuan Agricultural University, 2013.
- [26] 卢天星, 谢姣, 张银, 等. 腌制条件及干燥方法对手撕牛肉品质的影响[J]. 肉类研究, 2011, 25(6): 25-29.
- HU Tianxing, XIE Jiao, ZHANG Yin, et al. Effects curing conditions and drying methods on hand-torn beef quality[J]. Meat Research, 2011, 25(6): 25-29.
- [27] ESTÉVEZ M, XIONG Y L. Intake of oxidized proteins and amino acids and causative oxidative stress and disease: Recent scientific evidences and hypotheses[J]. Journal of Food Science, 2019, 84(3): 387-396.
- [28] 周凤超, 庄惠琼, 沈惠丹, 等. 枇杷风味猪肉脯的加工工艺[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(4): 123-129.
- ZHOU Fengchao, ZHUANG Huiqiong, SHEN Huidan, et al. Research on the processing of dried pork slice with loquat flavor[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(4): 123-129.
- [29] 梅谭. 贵州重组羊肉脯加工工艺及品质研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
- MEI Tan. Study on processing technology and quality of recombinant preserved mutton in Guizhou[D]. Guiyang: Guizhou University, 2019.
- [30] 吴震洋, 潘林菊, 吴小念, 等. 黑布林李子风味猪肉脯加工工艺优化[J]. 食品科技, 2021, 46(7): 136-142.
- WU Zhenyang, PAN Linju, WU Xiaonian, et al. Optimization of processing technology of black brin plum flavor dried minced pork slice[J]. Food Science and Technology, 2021, 46(7): 136-142.
- [31] YANG H S, HWANG Y H, JOO S T, et al. The physicochemical and microbiological characteristics of pork jerky in comparison to beef jerky[J]. Meat Science, 2009, 82(3): 289-294.
- [32] 赵立, 廉嘉欣, 邱慧敏, 等. 重组香菇鸭肉脯的配方和加工工艺优化[J]. 食品研究与开发, 2023, 44(14): 155-162.
- ZHAO Li, LIAN Jiaxin, QIU Huimin, et al. Recipe and processing optimization of reconstituted dried duck meat slice with shiitake mushroom[J]. Food Research and Development, 2023, 44(14): 155-162.
- [33] 曹媛媛, 周仨, 艾民珉, 等. 仙草提取物对猪肉糜脯感官品质和抗氧化特性的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 47-52.
- CAO Yuanyuan, ZHOU Quan, AI Minmin, et al. Effects of hsian-tsao extract on the sensory quality and antioxidant activity of dried minced pork slices[J]. Food Research and Development, 2021, 42(11): 47-52.
- [34] CHENG J R, LIU X M, ZHANG W, et al. Stability of phenolic compounds and antioxidant capacity of concentrated mulberry juice-enriched dried-minced pork slices during preparation and storage[J]. Food Control, 2018, 89: 187-195.

加工编辑: 孟琬星
收稿日期: 2024-04-09