

金针菇多糖复合重组肉脯的研制

李登龙^{1,2,3}, 吴斌^{1,2,3}, 王玉涛^{1,3}, 刘学铭², 张业辉², 张友胜², 朱明军^{1,3,4}, 程镜蓉^{2,4}

(1. 喀什大学生命与地理科学学院, 新疆喀什 844000) (2. 广东省农业科学院蚕业与农产品加工研究所, 农业农村部功能食品重点实验室, 广东省农产品加工重点实验室, 广东广州 510610) (3. 叶尔羌绿洲生态与生物资源研究高校重点实验室, 新疆喀什 844000) (4. 华南理工大学生物科学与工程学院, 广东广州 510006)

摘要: 本论文将金针菇多糖加入肉脯中, 研究金针菇多糖、肥肉和白砂糖的添加量对肉脯总体接受程度的影响。通过单因素和响应面法探究金针菇多糖鸡肉脯的最佳配方条件, 并对成品的质构、色泽、氧化特性及体外抗氧化活性展开分析。结果表明, 金针菇多糖鸡肉脯的最佳配方为: 鸡胸肉 850.00 g/kg、盐 20.00 g/kg、复合磷酸盐 3.00 g/kg、木瓜蛋白酶 5.00 mL/kg、金针菇多糖 3.00 g/kg、肥肉 100.95 g/kg、白砂糖 107.59 g/kg。添加金针菇多糖后, 肉脯的硬度 (13367.92 N)、咀嚼性 (11048.72 N·cm)、亮度 (L^* 值: 36.10) 和黄度 (b^* 值: 18.03) 显著下降; 产品的氧化程度得到有效控制, 成品的羰基和 TBARS 值分别为 0.50 nmol Trolox/mg pro 和 0.33 MDA mg/100 g, 相比对照组分别降低了 35.90% 和 82.20%。与此同时, 产品还表现出良好的抗氧化活性 (ABTS 清除率: 48.61 nmol Trolox/mg pro; DPPH 清除率: 62.85%; FRAP 值: 45.17 nmol Trolox/mg pro)。本研究有助于提高传统鸡肉脯的附加值, 同时可为功能性肉制品的开发提供理论依据。

关键词: 肉脯; 金针菇多糖; 抗氧化; 响应面; 功能性食品

文章编号: 1673-9078(2020)01-198-205

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.1.028

Preparation Study of Chicken Jerky Reconstituted by *Flammulina velutipes* Polysaccharide Complex

LI Deng-long^{1,2,3}, WU Bin^{1,2,3}, WANG Yu-tao^{1,3}, LIU Xue-ming², ZHANG Ye-hui², ZHANG You-sheng², ZHU Ming-jun^{1,3,4}, CHENG Jing-rong^{2,4}

(1. College of Life and Geographical Sciences, Kashi University, Kashi 844000, China) (2. Sericultural & Agri-Food Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Functional Foods, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Guangdong Key Laboratory of Agricultural Products Processing, Guangzhou 510610, China) (3. The Key Laboratory of Ecology and Biological Resources in Yarkand Oasis at Colleges & Universities under the Department of Education of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashi University, Kashi 844000, China) (4. School of Biology and Biological Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract: In this study, *Flammulina velutipes* polysaccharide was added into chicken jerky, and its overall quality resulted from the addition of *Flammulina velutipes* polysaccharide, fat and white granulated sugar was studied. Single factor and response surface methodology were combined to explore its optimal formulation and the texture, color, oxidation characteristics and antioxidant activity of the developed products were investigated. The results showed that the optimal formula of the chicken jerky enriched with *Flammulina velutipes* polysaccharide was 850.00 g/kg chicken breast, 20.00 g/kg salt, 3.00 g/kg compound phosphate, 5.00 mL/kg papain, 3.00 g/kg *Flammulina velutipes* polysaccharide, 100.95 g/kg fat and 107.59 g/kg sugar. After the addition of *Flammulina velutipes* polysaccharide, the hardness (13367.92 N), chewability (11048.72 N·cm), brightness (L^* : 36.10) and yellowness (b^* : 18.03) of preserved meat were remarkably decreased. Besides, the oxidation degree of product was effectively controlled since the carbonyl and TBARS value of the products were 0.50 nmol Trolox/mg pro and 0.33 MDA mg/100 g, respectively, which were 35.90% and 82.20% lower than those of the control. Meanwhile, the product also showed good

收稿日期: 2019-08-01

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (2018A030313202; 2018A030313796); 广州市科技计划项目 (201704020054; 201807010080; 201806040007); 广东省农业厅项目 (2018LM2154); 广东省科技计划项目 (2017A040405036)

作者简介: 李登龙(1993-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工; 共同第一作者: 吴斌(1992-) 男, 硕士研究生, 研究方向: 农产品加工

通讯作者: 朱明军(1969-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 发酵工程; 共同通讯作者: 程镜蓉(1988-), 女, 助理研究员, 研究方向: 农产品加工

antioxidant activity (ABTS scavenging ability: 48.61 nmol Trolox/mg pro; DPPH scavenging ability: 62.85%; FRAP value: 45.17 nmolTrolox/mg pro, respectively). The present study is helpful to improve the added value of traditional chicken jerky and provide theoretical basis for the development of functional meat products.

Key words: meat jerky; *Flammulina velutipes* polysaccharide; antioxidant; response surface methodology; functional food

肉脯是一种传统的风味肉制品,因其独特的色、香、味、形及携带方便和耐储存等特点,深受国内外消费者的青睐,具有良好的发展前景。然而传统的肉脯的脂质和糖类含量较高,与现代人追求的“低脂、低糖、低热量”健康饮食相悖^[1,2],导致了减肥人士和高血压患者等这一部分消费者的流失^[3]。此外,由于肉脯脂质含量高,在加工和储藏过程中容易产生氧化,造成肉制品的腐败;同时,油脂的氧化往往与蛋白质的氧化相伴,过量的蛋白质氧化往往对产品的质构及色泽带来不利影响。为了提升传统肉制品的品质和营养价值,人们开始尝试将一些植物(如蔬菜、水果)与肉制品进行复配,以改善传统肉制品类单一、附加值低的缺陷。近年来,人们研究发现许多植物提取物富含多酚、多糖及黄酮等活性成分,将其加入肉制品中,有望提升产品的风味,改善产品的品质,甚至可以赋予产品一定的功能特性。如李玉郎^[4]等人将鼠尾草加入猪肉脯中,发现肉脯的感官品质和抗氧化能力得到了显著提高;陈美铤^[5]等人将乌龙茶粉与传统的猪肉脯进行结合,克服了猪肉脯高脂肪、口味单一的不足,同时提高了产品的食用价值和营养价值。

鸡肉是一种高蛋白、低固醇及低热量的肉类。其氨基酸种类丰富,易于消化吸收,营养成分接近人体的需求,具有增强体力,强壮身体的功能^[6]。因此,以鸡肉为载体,辅以某些具有保健功能的植物成分,有望进一步提高产品的品质,丰富肉制品的营养价值。

金针菇(*Flammulina velutipes*)是一种常见的食药两用菌,营养价值高,富含氨基酸、纤维素及多糖。其中,金针菇多糖(*Flammulina velutipes* polysaccharide, FVP),作为金针菇的主要活性成分之一,是通过糖苷键连接单糖而成的多聚物,主链为 β -D-(1 \rightarrow 3)-葡聚糖^[7]。研究表明,金针菇多糖具有抗氧化、抗高血脂、免疫调节、抗癌细胞活性和保护肝脏细胞的功能,同时还能够保湿美容以及增强学习记忆力,正日益成为功能性食品等行业研究的热点^[8]。

鉴于此,本研究将金针菇多糖加入到肉脯中,对其最适生产工艺进行优化,并对产品品质展开分析,旨在开发一种营养健康且具有一定抗氧化功能的肉脯。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料与试剂

鸡胸肉购于山东春雪集团;猪肥肉、白砂糖、食盐购于广州华润万家超市;金针菇多糖(含量 $\geq 30.00\%$)购于上海康舟真菌多糖有限公司;木瓜蛋白酶(800.00 U/mg)购于上海源叶生物科技有限公司;TBARS、DPPH、ABTS和FRAP试剂盒购于南京建成生物公司研究所;其他试剂购于天津市大茂化学试剂厂。

1.2 仪器与设备

UV-1800紫外-可见分光光度计,日本岛津;PB-10酸度计,德国赛多利斯科学仪器公司;TGL-16M冷冻高速离心机,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;T25D均质机,德国IKA集团;UltraScan VIS色度仪,美国Hunter Lab;肉类水分测定仪,深圳冠亚水分仪科技有限公司;TA-Xt.PLUS英国SMS;酶标仪Gen5,美国BioTek;WRH热泵干燥机,广东威尔信实业有限公司。

1.3 实验方法

1.3.1 鸡胸肉脯配方

850.00 g鸡胸肉、150.00 g猪肥肉、90.00 g白砂糖、20.00 g盐、3.00 g复合磷酸盐、5.00 mL木瓜蛋白酶(5000.00 U/g)、(0.00、1.00、3.00、5.00、7.00 g)金针菇多糖,其中未添加金针菇多糖的肉脯设为空白对照组。

1.3.2 原料肉预处理

将鸡胸肉和猪肥肉去除筋膜、切成块,放于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 冰箱冰冻30 min,分别绞成肉糜。

1.3.3 鸡胸肉制作工艺

鸡胸肉和猪肥肉 \rightarrow 搅拌(30 min) \rightarrow 真空腌制(15 min) \rightarrow 摊片 \rightarrow 烘制($55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、70.00%湿度) \rightarrow 烤制($150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、3 min) \rightarrow 去边角 \rightarrow 切片 \rightarrow 真空包装

1.3.4 最佳配方的单因素试验

在基础配方的基础上,以金针菇多糖添加量(A)、肥肉添加量(B)、白砂糖添加量(C)为试验因素,最后通过对肉脯的感官评价来分析最佳配方。

1.3.5 响应面试验设计

根据相关性以及显著性分析结果,在单因素实验

基础上筛选出显著影响综合品质评分的因素,以总体接受程度为响应值,具体试验因素水平见表1。

表1 响应面试验设计与因素

因素	水平		
	-1.00	0.00	1.00
A 金针菇多糖添加量/(g/kg)	1.00	3.00	5.00
B 肥肉添加量/(g/kg)	50.00	100.00	150.00
C 白砂糖添加量/(g/kg)	90.00	110.00	130.00

1.3.6 质构测定

参考曲笑飞的方法^[9]略加改动,采取TPA模式对肉脯进行质构测试,采用P/50探头,测前速度为1.00 mm/s,测试速度为1.00 mm/s,测后返回速度为1.00 mm/s,探头上升高度为30 mm,压缩程度为25%,触发力5 g,间隔时间为5 s,用两块肉脯(30 mm×30 mm×4 mm)叠加一起测试,每组6次重复,结果取其平均值。测定指标:硬度(N)、粘聚性(NS)、弹性(cm)和咀嚼性(N·cm)。

1.3.7 色差的测定

采用UltraScan VIS色度仪测定样品表面色泽,测定前用校准板($L^*=97.42$, $a^*=-0.75$, $b^*=1.31$)对色差仪进行校准,每组样品有6个平行组,记录 L^* 、 a^* 、 b^* 值。

1.3.8 水分含量的测定

采用冠亚肉类水分仪测定样品的水分含量,每个样品测3次记录取平均值。

1.3.9 脂质氧化程度(TBARS)测定

TBARS测定参照Zhang L等方法^[10]并略加改动。取2.00 g肉脯加入18.00 mL生理盐水于高速均质搅拌机均质(10000.00 r/min, 30.00 s)后,取0.20 mL均质液,依次加入0.20 mL 8.10% SDS、1.50 mL 乙酸缓冲液(pH值3.50)、1.50 mL 0.80% TBA溶液及0.60 mL 蒸馏水,漩涡振荡30 s,放入95 °C水浴锅中水浴1 h,10000 r/min离心5 min,在532 nm下测吸光值。用1,1,3,3-四乙氧基丙烷(TEP)制作标准曲线,得到丙

二醛(MDA)的含量值。

1.3.10 蛋白质氧化测定

蛋白质含量测定参照李耀妹的方法^[11]略加改动。取样品均质滤液1.00 mL,加入4.00 mL双缩脲试剂,37 °C水浴30.00 min,在540 nm下测吸光值。用牛血清蛋白制备标准曲线,得到蛋白质含量。

蛋白质羰基测定参照Oliver C N等方法^[12]略加改动。取2.00 g样品加入18.00 mL生理盐水均质、离心、过滤、得到滤液。取0.10 mL滤液,样品组加入0.50 mL含有2,4-二硝基苯肼(DNPH)的2.00 mol/L HCl溶液,对照组加入0.50 mL 2.00 mol/L HCl溶液(37 °C水浴30 min),然后加0.50 mL 20% TCA溶液,振荡、离心、弃上清,用乙醇-乙酸乙酯(V/V=1/1)洗涤3次后,用6.00 mol/L盐酸胍溶解(37 °C水浴15 min),稀释1倍,在370 nm下测吸光值,以牛血清蛋白为标准,双缩脲法测定蛋白质含量。摩尔消光系数22000 L/(mol·cm),计算公式如下:

$$\text{nmol羰基/mg pro} = \frac{2 \times 10^6 \times (\text{测定管 } OD_{370} - \text{对照管 } OD_{370})}{22.0 \times 10^3 \times \text{蛋白质浓度}}$$

1.3.11 抗氧化性能测定

DPPH自由基清除能力测定参照Bouaziz等人的方法^[13]略加改动。样品组:取20 μL均质滤液加入180 μL 1 mmol/L DPPH溶液(溶于无水乙醇),对照组:取20 μL均质滤液加入180 μL无水乙醇,避光反应30 min,在517 nm下测吸光值,得到样品组与对照组的差值。用Trolox试剂制作标准曲线,DPPH自由基清除能力表示为样品nmol/mg prot。

ABTS自由基清除能力和FRAP抗氧化活性的测定参照总抗氧化能力测试盒说明书测定。

1.3.12 感官评价

根据Savadkoochi等人方法^[14]略加改变,鸡肉脯的感官评价采用9分制。聘请20名专业人员进行感官评价,要求评定人员12 h内不吸烟,不饮酒,不食用辛辣等刺激性食物,评定人员保持一定的距离并且不相互交谈。

表2 感官评价评分标准

Table 2 Scoring criteria for sensory evaluation

指标	评分标准
色泽(9.00分)	光泽感好,诱人视为好;光泽感差视为不好
香气(9.00分)	香气浓郁视为好,香味不突出视为不好
口感(9.00分)	肉脯软嫩,味道较好,咸甜适当,不油腻视为好; 肉脯较硬,味道一般或者差,偏甜或偏咸,油腻视为不好
组织状态(9.00分)	质地均匀,有弹性视为好;质地一般,弹性差视为不好

注:总体接受程度=色泽×0.3+香气×0.3+口感×0.3+组织状态×0.2。

1.3.13 统计分析

试验结果均做3次重复,试验数据采用SPSS 19.0进行Duncan分析,Origin 9.0做图。

2 结果与分析

2.1 单因素试验结果分析

2.1.1 不同金针菇多糖添加量对肉脯品质的影响

由表3可知,随着金针菇多糖添加量的增加,其感官评分先增后减。添加金针菇多糖后,肉脯的色泽、香味、口感和组织状态得到了改善,具体表现为色泽和香味先增加后减小;当金针菇多糖添加量为5.00 g/kg时,产品的色泽和口感评分达到最大值分别为6.62和7.08;超过5.00 g/kg后,各方面指标得分开始下降,这与陈美铤^[5]关于乌龙茶风味猪肉脯的加工工艺研究结果相似;当金针菇多糖添加量为3.00 g/kg时,产品的组织状态和总体可接受度的评分达到最高值,分别为7.20和6.96,这可能与其本身的颜色、气味和结构有关。因此,在后续响应面试验中,选择金针菇多糖添加量范围为1 g/kg~5 g/kg。

表3 金针菇多糖添加量对肉脯感官评价的影响

Table 3 Effect of *Flammulina velutipes* polysaccharide on the sensory evaluation of the chicken jerky

金针菇多糖添加量/(g/kg)	色泽	香味	口感	组织状态	总体接受程度
0.00	5.69	5.92	6.23	6.77	6.12
1.00	6.31	6.38	6.15	6.85	6.38
3.00	6.62	6.85	6.80	7.20	6.96
5.00	6.62	6.85	7.08	7.00	6.88
7.00	6.00	5.75	6.75	6.50	6.28

表4 肥肉添加量对肉脯感官评价的影响

Table 4 Effect of fat content on the sensory evaluation of the chicken jerky

肥肉添加量/(g/kg)	色泽	香味	口感	组织状态	总体接受程度
0.00	7.40	5.80	5.40	6.30	6.26
50.00	7.20	7.00	6.20	6.00	6.62
100.00	6.80	6.70	7.50	6.80	6.99
150.00	6.63	6.25	7.38	6.13	6.68
200.00	6.00	6.63	6.75	5.88	6.33

表5 糖添加量对肉脯感官评价的影响

Table 5 Effects of added sugar on the sensory evaluation of chicken jerky

白砂糖添加量/(g/kg)	色泽	香味	口感	组织状态	总体接受程度
50.00	6.69	6.62	6.92	6.77	6.76
70.00	6.92	6.88	6.81	7.27	6.95
90.00	7.30	7.27	6.77	6.92	7.06
110.00	7.10	6.85	6.85	7.54	7.05
130.00	6.90	6.94	7.22	7.00	7.02

2.1.2 不同肥肉添加量对肉脯品质的影响

由表4可知,随着肥肉添加量的增加肉脯色泽得分会持续下降,然而肉脯的香味和口感得分显著提高。这主要是因为肥肉里面含有较多脂肪酸,经过热加工处理后产生系列风味物质,从而改善了肉脯香味;与此同时,肥肉能有效防止加工过程中产品水分的流失,避免产品硬而柴的口感^[15]。整体而言,随着肥肉添加量增加,其感官评分先增后减,当肥肉添加量为100.00 g/kg时,肉脯的总体可接受程度评分达到最高值,为6.99。据产品总体接受度评分结果,在后续响应面优化试验中选取肥肉添加量范围为50.00~150.00 g/kg。

2.1.3 不同白砂糖添加量对肉脯品质的影响

由表5可知,随着白砂糖添加量的增加,其感官评分先增后减。这是因为白砂糖能有效抑制肉脯加工过程中脂肪酶和磷脂酶的活力,从而减缓脂质的降解与氧化^[16]。同时,由于白砂糖本身甜度高,在热加工过程中与蛋白质产生美拉德反应,故对改善产品的质构、色泽及风味产生显著影响。总体而言,当白砂糖添加量为90.00 g/kg时,肉脯的总体可接受程度评分达到最高为7.06。在后续响应面试验中,选取90.00~130.00 g/kg作为白砂糖添加量的考察范围。

2.2 响应面优化分析

2.2.1 Box-Behnken 试验设计

根据上述单因素实验结果，以金针菇多糖添加量（A）、肥肉添加量（B）、白砂糖添加量（C）为试验因素，以总体接受程度（Y）为响应值，设计试验如表 6 所示，方差分析见表 7。

该拟合模型相关系数 $R^2=0.96$ 说明相应值（总的接受程度）的变化有 96.05% 来源于所选变量。回归方程能够较好地描述各因素与相应值之间的关系，可以利用该回归方程确定来最佳配方。以金针菇多糖添加量、肥肉添加量和白砂糖添加量为试验的 3 个因素，以总体接受程度 Y 为考察指标，对试验结果进行多元回归拟合，经分析得到多元回归方程为： $Y=6.658+0.01A+0.00875B-0.02625C-0.0525AB+0.0775AC-0.005BC-0.5515A^2-0.239B^2-0.109C^2$ 。

由表 7 可知，该回归模型的 $p=0.01<0.10$ 显著，说明回归模型达到显著水平且可信度较高；该模型中，相关系数 $R^2=0.96$ 接近 1.00，说明模型有较高的可信度；方程二次项 A^2 、 B^2 影响显著，故三因素影响顺序为 $A>B>C$ 。

表 6 响应面分析方案及结果

Table 6 Program and experimental results of response surface analysis

试验号	A	B	C	总体接受程度
1	5.00	100.00	130.00	5.97
2	5.00	150.00	110.00	5.80
3	3.00	150.00	90.00	6.35
4	1.00	50.00	110.00	5.83
5	1.00	150.00	110.00	5.83
6	3.00	100.00	110.00	6.70
7	5.00	100.00	90.00	5.99
8	3.00	150.00	130.00	6.41
9	1.00	100.00	90.00	6.18
10	3.00	50.00	130.00	6.28
11	1.00	100.00	130.00	5.85
12	3.00	50.00	90.00	6.20
13	5.00	50.00	110.00	6.01
14	3.00	100.00	110.00	6.64
15	3.00	100.00	110.00	6.62
16	3.00	100.00	110.00	6.69
17	3.00	100.00	110.00	6.64

注：A 金针菇多糖添加量（g/kg）、B 肥肉添加量（g/kg）、C 白砂糖添加量（g/kg）。

表 7 回归方程方差分析

Table 7 Regression equation analysis of variance						
方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	P 值 Prob> F	显著性
A	0.00	1.00	0.00	0.08	0.79	
B	0.00	1.00	0.00	0.06	0.81	
C	0.01	1.00	0.01	0.54	0.48	
AB	0.01	1.00	0.01	1.09	0.33	
AC	0.02	1.00	0.02	2.37	0.17	
BC	1.00	1.00	1.00	0.01	0.92	
A2	1.28	1.00	1.28	126.34	0.00	**
B2	0.24	1.00	0.24	23.73	0.00	**
C2	0.05	1.00	0.05	4.94	0.06	
模型	1.73	9.00	0.19	18.91	0.00	**
失拟	0.07	3.00	0.02	18.05	0.01	**
误差	0.00	4.00	0.00			
总和	1.80	16.00				

注：**表示差异极显著（ $p<0.01$ ）， $R^2=0.96$ 。

2.2.2 响应面分析

当白砂糖添加量为 110.00 g/kg 时，金针菇多糖和肥肉添加量的交互作用如图 1 所示。随着金针菇多糖和肥肉添加量的增大，产品整体接受度均呈现出先上升后下降的趋势。当肥肉添加量为 100.00 g/kg，金针菇多糖添加量为 3.00 g/kg 时，产品的总体接受程度有最大值。与肥肉添加量的登高线密度变化情况相比，沿着金针菇多糖添加量的等高线密度变化较高，说明金针菇多糖添加量对肉脯的总接受程度影响大于肥肉添加量，其等高线呈椭圆形，说明金针菇多糖添加量和肥肉添加量对总的接受程度交互作用显著。

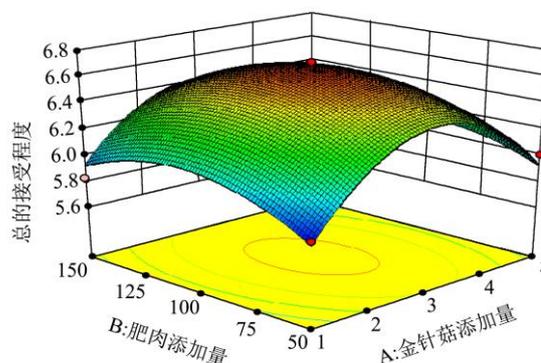


图 1 金针菇多糖和肥肉添加量交互作用对总的接受程度的影响

Fig.1 The effect of *Flammulina velutipes* polysaccharide and fat dosage on overall acceptance

当肥肉添加量为 100.00 g/kg 时，金针菇多糖和白砂糖添加量的交互作用如图 2 所示。随着金针菇多糖

和白砂糖添加量的增大, 总体接受程度均呈现出先升高后下降的趋势。当白砂糖添加量为 110.00 g/kg, 金针菇多糖添加量为 3.00 g/kg 时, 总体接受程度有最大值。沿着金针菇多糖添加量的等高线密度变化较白砂糖添加量的高, 说明金针菇多糖添加量对肉脯的总接受程度的影响大于白砂糖添加量, 其等高线呈椭圆形, 说明金针菇多糖添加量和白砂糖添加量对总的接受程度交互作用显著。

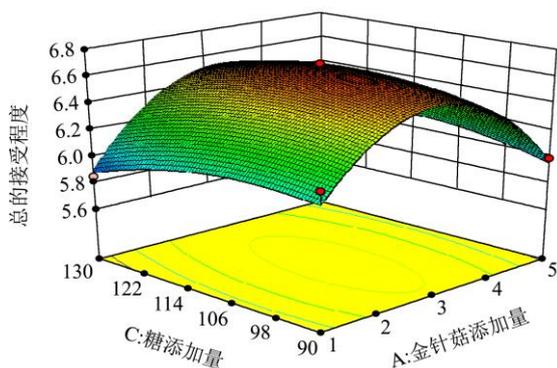


图2 金针菇多糖和糖的添加量交互作用对总的接受程度的影响

Fig.2 The effect of *Flammulina velutipes* polysaccharide and granulated sugar dosage on overall acceptance

当金针菇多糖添加量为 3.00 g/kg 时, 肥肉和白砂糖添加量的交互作用如图 3 所示。随着肥肉和白砂糖添加量的增大, 总体接受程度均呈现出先升高后下降的趋势。当肥肉添加量为 100.00 g/kg, 白砂糖添加量为 110.00 g/kg 时, 总体接受程度有最大值。沿着肥肉添加量的等高线密度变化较白砂糖添加量的高, 说明肥肉添加量对肉脯的总接受程度的影响大于白砂糖添加量, 其等高线呈圆形, 说明白砂糖添加量和肥肉添加量对总的接受程度交互作用不显著。

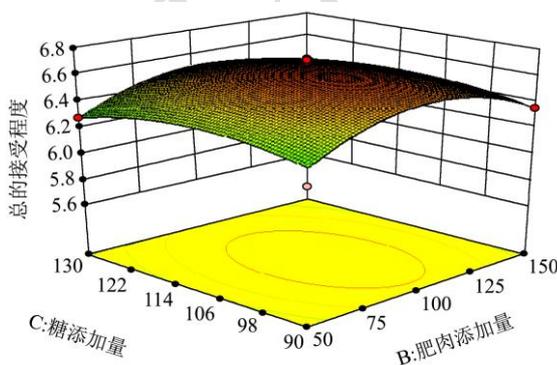


图3 肥肉和糖的添加量交互作用对总的接受程度的影响

Fig.3 The effect of fat and granulated sugar dosage on overall

根据上述分析得出最优添加配方: 金针菇添加量 3.00 g/kg、肥肉添加量 100.95 g/kg、白砂糖添加量 107.59 g/kg。经过试验验证, 此时金针菇多糖复合重

组肉脯的感官评价为 6.85, 接近理论值 6.66, 数据可靠, 有实用价值。

2.3 金针菇多糖肉脯的质构分析

硬度和咀嚼性等质构参数严重影响消费者的可接受度。如表 8 所示, 在金针菇多糖组和对照组中弹性和粘聚性均无显著差异, 而硬度、咀嚼性和恢复力呈现相似的变化。添加了金针菇多糖的肉脯硬度、咀嚼性和恢复力分别为 13367.92 N、11048.72 N·cm 和 0.57 N, 低于对照组 (13769.35 N、12861.33 N·cm 和 0.79 N), 这可能是添加金针菇多糖增强了肉脯保水性、稳定性。此外, 向肉脯中添加金针菇多糖可以保护肌肉膜免受蛋白质和脂质的氧化, 从而保持肌肉纤维的完整性, 降低肉脯的硬度、咀嚼性和恢复力^[17]。与本研究结果相类似, Zhang^[18]等人也发现鼠尾草作为氧化抑制剂能有效改善香肠的硬度。

表 8 产品质构分析

Table 8 Texture analysis of the products

指标	金针菇多糖肉脯组	对照组
硬度/N	13367.92±671.75	13769.35±1302.24
弹性/cm	0.91±0.05	0.98±0.02
粘聚性/(N·S)	0.90±0.02	0.95±0.01
咀嚼性/(N·S)	11048.72±958.65	12861.33±1147.12
恢复力/N	0.57±0.06	0.79±0.02

2.4 金针菇多糖肉脯的色泽分析

色泽可以直观表征肉类和肉制品的品质^[19]。如表 9 所示, 添加了金针菇多糖的肉脯其亮度 (L^*)、黄度 (b^*) 为 36.10 和 18.03 要小于对照组 (46.44 和 25.46), 而添加了金针菇多糖的肉脯红度 (a^* 值) 为 9.42, 高于对照组 (6.86), 这可能与金针菇多糖本身呈乳白色有关, 这与许明映^[20]等人关于金针菇对广式腊肠品质的研究相似。在肉制品加工过程中, 脂质、血红素色素及变性珠蛋白的氧化会造成肉制品色泽的改变, 主要表现为 b^* 值的增加^[21,22]。而本研究发现添加金针菇多糖后, 产品的 b^* 值显著降低, 这说明金针菇多糖能有效抑制上述成分的氧化, 提升产品品质。

表 9 肉脯色泽分析

Table 9 Color analysis of chicken jerky

项目	金针菇多糖肉脯组	对照组
L^*	36.10±0.28	46.44±0.05
a^*	9.42±0.06	6.86±0.11
b^*	18.03±0.06	25.46±0.29

2.5 金针菇多糖肉脯的氧化性分析

肉制品在加工和储藏过程中蛋白质和脂质的氧化不可避免地发生, 过度氧化会造成产品品质的劣变^[23,24]。TBARS 值是反映肉制品脂质氧化的常见指标, 添加金针菇多糖后成品的 TBARS 值为 0.33 MDA mg/100 g, 仅为对照组的 17.84%, 说明金针菇多糖能有效抑制肉脯中脂质氧化; 羰基是蛋白质氨基酸残基侧链氧化的产物^[25], 如表 10 所示添加金针菇多糖后, 产品的羰基值为 0.50 nmol Trolox/mg pro, 显著低于对照组(未添加金针菇多糖)(0.78 nmol Trolox/mg pro), 说明金针菇多糖对产品蛋白质的氧化有良好的抑制作用。与上述结果相一致, 本研究以 ABTS 和 DPPH 自由基清除能力及 FRAP 还原能力对产品抗氧化能力进行评价。发现, 添加金针菇多猪肉脯组的 ABTS 和 DPPH 自由基清除能力及 FRAP 还原能力分别为 48.61 nmol Trolox/mg pro、62.85%和 45.17 nmol Trolox/mg pro, 显著高于对照组(22.94 nmol Trolox/mg pro、61.13%和 33.45nmol Trolox/mg pro), 说明金针菇多糖可以赋予产品良好的体外抗氧化活性。这主要是因为金针菇多糖自身具有一定的·OH 清除力和抗油脂氧化能力^[26,27]。与本研究结果相似, 许多具有抗氧化活性的植物提取物, 如罗汉果^[28], 草莓、黑莓、玫瑰和山楂^[29]以及石榴汁^[30]等植物提取物也能够有效调控肉制品蛋白质氧化程度, 抑制产品中蛋白质羰基的形成。

表 10 肉脯氧化特性分析

Table 10 Oxidation properties of the product

试验指标	金针菇多糖肉脯组	对照组
TBARS/(MDA mg/100 g)	0.33±0.01	1.85±0.10
羰基/(nmol Trolox/mg pro)	0.50±0.02	0.78±0.03
ABTS/(nmol Trolox/mg pro)	48.61±0.30	22.94±0.03
DPPH·清除率/%	62.85±7.17	61.13±3.47
FRAP/(nmol Trolox/mg pro)	45.17±3.29	33.45±0.48

3 结论

本研究首次将金针菇多糖加入到肉脯制作中, 经过单因素和响应面设计得出产品的最佳配方: 鸡胸肉 850.00 g/kg、盐 20.00 g/kg、复合磷酸盐 3.00 g/kg、木瓜蛋白酶 5.00 mL/kg、金针菇多糖 3.00 g/kg、肥肉 100.95 g/kg、白砂糖 107.59 g/kg。产品质构分析结果发现将金针菇多糖添加到肉脯中, 能有效改善产品的口感和风味, 减弱产品脂质和蛋白质的氧化程度, 并赋予产品一定的抗氧化活性。上述研究表明, 金针菇多糖复合重组肉脯是种营养又健康的功能性肉脯, 符合当代消费者对健康食品的追求, 具有潜在的应用前景。

参考文献

- [1] 李泽,段斌.功能性肉制品的研究进展[J].农产品加工, 2012,7:113-115
LI Ze, DUAN Bin. Research and advancement on functional meat products [J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2012, 7: 113-115
- [2] 王俊武,孟俊祥,张丹,等.国内外肉制品加工业的现状与发展趋势[J].肉类工业, 2013,9:52-54
WANG Jun-wu, MENG Jun-xiang, ZHANG Dan, et al. Current situation and development trends of meat processing industry at home and abroad [J]. Meat Industry, 2013, 9: 52-54
- [3] Dimitrakopoulou M A, Ambrosiadis J A, Zetou F K, et al. Effect of salt and transglutaminase (TG) level and processing conditions on quality characteristics of phosphate-free, cooked, restructured pork shoulder [J]. Meat Science, 2005, 70(4): 743-749
- [4] 李玉邯,麻莹,陈宇飞,等.鼠尾草对猪肉脯感官品质和抗氧化性能的影响[J].中国调味品,2016,41(12):55-58
LI Yu-han, MA Ying, CHEN Yu-fei, et al. Effect of *Salvia officinalis* on Sensory quality and antioxidant ability of dried pork slices [J]. China Condiment, 2016, 12: 55-58
- [5] 陈美链.乌龙茶风味猪肉脯的加工工艺研究[J].现代食品,2018,11:163-166
CHEN Mei-lian. Research on processing technology of oolong tea-style pork tart [J]. Modern Food, 2018, 11: 163-166
- [6] 刘晓连,罗瑞明,李亚蕾,等.胡萝卜鸡肉脯加工工艺研究[J].食品科技,2011,36(4):107-112
LIU Xiao-lian, LUO Rui-ming, LI Ya-lei, et al. Research of technology of carrot chicken dried meat processing [J]. Food Science and Technology, 2011, 4: 107-112
- [7] Ishikawa N K, Yamaji K, Tahara S, et al. Highly oxidized cuparene-type sesquiterpenes from a mycelial culture of *Flammulina velutipes* [J]. Phytochemistry, 2000, 54(8): 777-782
- [8] 张圣杰,王文亮,石贤权,等.金针菇多糖生物活性及功能性食品开发[J].中国食物与营养,2013,19(10):62-64
ZHANG Sheng-jie, WANG Wen-liang, SHI Xian-quan, et al. Biological activity and functional foods development of *Fiammulna velutipes* polysaccharides [J]. Food and Nutrition in China, 2013, 19(10): 62-64
- [9] 曲笑飞.芝心牛肉饼加工工艺研究[D].2017,济南:山东农业大学
QU Xiao-fei. The Processing technology research of cheese filling beef patties [D]. Jinan: Shandong Agricultural University, 2017
- [10] Zhang L, Lin Y H, Leng X J, et al. Effect of sage (*Salvia*

- officinalis) on the oxidative stability of Chinese-style sausage during refrigerated storage [J]. *Meat Science*, 2013, 95(2): 145-150
- [11] 李耀妹.牛乳蛋白质检测试纸的研制[D].哈尔滨:东北农业大学,2017
LI Yao-shu. Study on the Strip for Detecting Protein of Milk [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017
- [12] Oliver C N, Ahn B W, Moerman E J, et al. Age-related changes in oxidized proteins [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1987, 262(12): 5488
- [13] Bouaziz M, Fki I, Jemai H, et al. Effect of storage on refined and husk olive oils composition: Stabilization by addition of natural antioxidants from Chemlali olive leaves [J]. *Food Chemistry*, 2008, 108(1): 253-262
- [14] Savadkoochi S, Hoogenkamp H, Shamsi K, et al. Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace [J]. *Meat Science*, 2014, 97(4): 410-418
- [15] 王瑞花,陈键初,叶兴乾,等.配送和贮藏条件及二次加热方式对红烧猪肉脂质氧化、挥发性风味物质和脂肪酸组成的影响[J].*中国食品学报*,2017,17(9):157-167
WANG Rui-hua, CHEN Jian-chu, YE Xing-qian. et al. Effect of delivery, storage and reheating procedures on the lipid oxidation, volatile flavor compounds and fatty acid compositions [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 9: 157-167
- [16] 刘瑜彬,葛亚中,孙为正.糖添加量对广式腊肠脂质氧化稳定性及感官品质的影响研究[J].*现代食品科技*,2018, 34(4):215-220
LIU Yu-bin, GE Ya-zhong, SUN Wei-zheng. Effects of sugar addition on the lipid oxidation stability and sensory quality of Cantonese sausage [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(4): 215-220
- [17] Xu L, Zhu M J, Liu X M, et al. Inhibitory effect of mulberry (*Morus alba*) polyphenol on the lipid and protein oxidation of dried minced pork slices during heat processing and storage [J]. *LWT*, 2018, 91: 222-228
- [18] Zhang L, Lin Y H, Leng X J, et al. Effect of sage (*Salvia officinalis*) on the oxidative stability of Chinese-style sausage during refrigerated storage [J]. *Meat Science*, 2013, 95(2): 145-150
- [19] Ferrini G, Comaposada J, Arnau J, et al. Colour modification in a cured meat model dried by Quick-Dry-Slice process and high pressure processed as a function of NaCl, KCl, K-lactate and water contents [J]. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2012, 13: p. 69-74
- [20] 许明映,程镜蓉,刘学铭,等.金针菇对广式腊肠品质的影响[J].*食品科技*,2018.43(4):115-121
XU Ming-ying, CHENG Jing-rong, LIU Xue-ming, et al. Effects of *Flammulina velutipes* on the quality of Cantonese sausage [J]. *Food Science and Technology*, 2018, 43(4): 115-121
- [21] Ganhão R D, Morcuende, M Estévez, et al. Protein oxidation in emulsified cooked burger patties with added fruit extracts: influence on colour and texture deterioration during chill storage [J]. *Meat Science*, 2010, 85(3): 402-409
- [22] Žilić S Kocadağlı, T Vančetović J, et al. Effects of baking conditions and dough formulations on phenolic compound stability, antioxidant capacity and color of cookies made from anthocyanin-rich corn flour [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2016, 65: 597-603
- [23] Dziadek M, Dziadek K, Kopec A, et al. Antioxidant activity of novel PCL/bioactive glass composites enriched with polyphenolic compounds extracted from fruits and leaves of sweet cherry (*Prunus avium* L.) [J]. *Materials Letters*, 2017, 203: 28-31
- [24] Kou X, Wu J, Wang Y, et al. Effects of Hypobaric Treatments on the Quality, Bioactive Compounds, and Antioxidant Activity of Tomato [J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(7): H1816-H1824
- [25] Stadtman E R, R L Levine. Free radical-mediated oxidation of free amino acids and amino acid residues in proteins [J]. *Amino Acids*, 2003, 25(3-4): 207
- [26] 黄琼,黄晓梅,张平,等.金针菇多糖的抗氧化活性[J].*食品研究与开发*,2014.35(4):66-69
HUANG Qiong, HUANG Xiao-mei, ZHANG Ping. et al. Antioxidant activity of polysaccharides from *Flammulina velutipes* [J]. *Food Research and Development*, 2014, 35(4): 66-69
- [27] Kou, X, Wu, J, Wang, Y, et al. Effects of Hypobaric Treatments on the quality, bioactive compounds, and antioxidant activity of tomato [J]. *Journal of Food Science*, 2016, 81(7): 1816-1824
- [28] Cheng J R, Liu X M, Zhang Y S, et al. Protective effects of *Momordica grosvenori* extract against lipid and protein oxidation-induced damage in dried minced pork slices [J]. *Meat Science*, 2017, 133: 26

(下转第 135 页)

现代食品科技