

菌体蛋白替代鸡胸肉的炸鸡块品质变化

曾艳, 张学文, 李德茂, 王钦宏, 孙媛霞*

(中国科学院天津工业生物技术研究所工业酶国家工程实验室, 国家合成生物技术创新中心, 天津 300308)

摘要: 为探究菌体蛋白在肉制品领域的应用可行性, 使用菌体蛋白替代不同比例的鸡胸肉制作炸鸡块, 并对获得的炸鸡块进行营养组成、烹饪损失、色泽、质构特性以及感官评价测试。结果表明: 菌体蛋白替代 20%~60% 鸡胸肉制作的炸鸡块产品, 蛋白含量在 21.12 g~18.78 g/100 g, 脂肪含量在 9.98~10.48 g/100 g, 膳食纤维含量在 2.22~5.23 g/100 g。随着菌体蛋白比例增加, 炸鸡块的烹饪损失由 19.19% 减小到 16.28%, 硬度由 4.48 N 升高到 5.97 N, 弹性呈现先升高后降低的趋势。菌体蛋白替代 20% 鸡胸肉的炸鸡块与无菌体蛋白的产品相比, 营养组成差异小, 嫩度无差异 ($p>0.05$), 但亮度 (L^* 67.60) 增加, 咀嚼性与弹性分别提高 43.95% 与 17.95% ($p<0.05$), 感官评价接受度良好。综上所述说明菌体蛋白可用于制备新型炸鸡块产品, 研究能够为菌体蛋白作为动物蛋白替代的应用开发提供技术支持。

关键词: 菌体蛋白; 炸鸡块; 营养组成; 质构特性; 感官品质

文章编号: 1673-9078(2023)01-152-159

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.1.0073

Quality Change of Fried Chicken Nuggets with Chicken Breast Substituted by Mycoprotein

ZENG Yan, ZHANG Xuewen, LI Demao, WANG Qinrong, SUN Yuanxia*

(National Engineering Laboratory for Industrial Enzymes, Tianjin Institute of Industrial Biotechnology, Chinese Academy of Sciences, National Technology Innovation Center of Synthetic Biology, Tianjin 300308, China)

Abstract: To explore the application feasibility of mycoprotein in meat products, mycoprotein was used to replace different proportions of chicken breast during the preparation of fried chicken nuggets. The nutritional composition as well as the cooking loss, color, texture properties and sensory scores of the products were evaluated. The results showed that the contents of protein, fat and total dietary fiber for the fried chicken nuggets with 20%~60% of chicken breast replaced by mycoprotein were 21.12~18.78 g/100 g, 9.98~10.48 g/100 g and 2.22~5.23 g/100 g, respectively. With an increase in the proportion of mycoprotein, the cooking loss of fried chicken nuggets decreased from 19.19% to 16.28%, the hardness increased from 4.48 N to 5.97 N, with the elasticity showing a trend of initial increase then decrease. Compared to the product without mycoprotein, the chicken nuggets with 20% chicken breast replaced by mycoprotein had a slightly different nutritional composition and essentially identical tenderness ($p>0.05$), although its brightness (L^* 67.60) increased and its chewiness and elasticity increased by 43.95% and 17.95%, respectively ($p<0.05$), resulting in good sensory acceptance. Taken together, mycoprotein can be used in production of new fried chicken nuggets. Thus, this study provides technical support for the application and development of mycoprotein as a substitute/alternative for animal protein.

Key words: mycoprotein; chicken nuggets; nutritional composition; texture characteristics; sensory quality

引文格式:

曾艳, 张学文, 李德茂, 等. 菌体蛋白替代鸡胸肉的炸鸡块品质变化[J]. 现代食品科技, 2023, 39(1): 152-159

ZENG Yan, ZHANG Xuewen, LI Demao, et al. Quality change of fried chicken nuggets with chicken breast substituted by mycoprotein [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(1): 152-159

收稿日期: 2022-01-19

基金项目: 天津市合成生物技术创新能力提升行动项目 (TSBICIP-KJGG-004); 国家重点研发计划项目 (2021YFC2101403)

作者简介: 曾艳 (1982-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 功能食品生物制造, E-mail: zeng_y@tib.cas.cn

通讯作者: 孙媛霞 (1963-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 稀少糖与天然活性物质生物制造, E-mail: sun_yx@tib.cas.cn

随着生活水平提高,肉类消费迅速增长。鸡肉肉质细嫩,蛋白质丰富,脂肪和胆固醇含量低,能量密度小,是人类肉类食品的重要组成。据统计 2020 年全球肉鸡总产量达到 10 082.7 万 t, 其中我国肉鸡产量为 1 388 万 t, 肉鸡生产增量居世界首位, 鸡肉在我国已成为仅次于猪肉的第二大肉类消费品^[1]。自二十世纪 50 年代美国康奈尔大学 Barbut^[2]对外公开了将鸡肉块磨碎,并用面包屑包裹的炸鸡块食谱以来,炸鸡块流行不衰,如快餐巨头麦当劳与肯德基就分别拥有经典产品麦乐鸡与黄金鸡块。

为缓解动物蛋白生产面临的环境资源压力,解决人口增长可能导致的动物蛋白供应缺口,近年来,全球对动物替代蛋白的需求呈持续上升趋势。植物蛋白、微生物蛋白以及动物细胞培养蛋白作为动物替代蛋白备受关注^[3,4]。为减少鸡肉使用量,提高产品品质,降低生产成本,大豆蛋白、小麦蛋白、豌豆蛋白、大米蛋白等植物蛋白以及富含蛋白的花生粉、豇豆粉等植物原料也已被应用于炸鸡块制作^[5-7]。通过微生物发酵方式获得的真菌菌体蛋白,除生产要求对土地依赖性小,不受季节气候影响外,还具有氨基酸均衡、营养丰富、不含异味的优势,在替代蛋白行业表现出众^[8]。如替代动物肉类最具影响力的真菌蛋白食品 QuornTM,目前隶属菲律宾 Monde Nissin Corporation 公司,其以 *Fusarium venenatum* 镶片镰孢菌菌体蛋白为原料,1985 年在英国上市销售,90 年代产品拓展到欧洲市场。2002 年美国食品药品监督管理局(FDA)批准镶片镰孢菌菌体蛋白为一般公认安全后,QuornTM产品进入美国。截至目前,QuornTM的镶片镰孢菌菌体蛋白食品已在 17 个国家/地区销售,产品销售份额超过 50 亿份,全球市场价值评估达到近 2.14 亿欧元,预期未来年增长率在 20%^[9-11]。然而,尽管 Monde Nissin Corporation、Prime Roots、Meati Foods 等公司都推出了真菌菌体蛋白的植物基炸鸡块,将菌体蛋白与动物肉混合做为主要原料制备肉制品的报道却甚少。而且与植物蛋白不同,关于菌体蛋白对植物基或混合型肉制品营养组成与口感质构影响的研究也不多见。如瑞典 Bor & 大学 Roustas 等^[12]与 Hellwig 等^[13]虽然通过招募志愿者人群对以米曲霉以及间型脉孢菌菌体为主要原料制备的植物基真菌汉堡肉饼进行了感官评定,却没有关注产品的营养组成,针对产品的组织结构的感官评分也缺少仪器分析数据支持。

鉴于微生物菌体蛋白作为动物蛋白替代的应用报道甚少,本实验通过测试菌体蛋白以不同比例取代鸡胸肉应用于炸鸡块时的产品营养组成变化以及烹饪损失、色差、质构特性与感官评价指标,探讨菌体

蛋白对炸鸡块品质的影响,旨在拓展菌体蛋白的应用范围,为新型炸鸡块的研究开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 原料

农京盛选冷优冻鸡胸肉,山东省聊城市东泰食品有限公司;清源五谷鸡蛋,河北沧县淞清源禽蛋产品配送中心;中粮初萃东北玉米胚芽油,江苏金太阳粮油股份有限公司;中盐加碘精制盐,中盐天津市长芦盐业公司;京糖优级白砂糖,北京糖业烟酒集团有限公司;味多美洋葱粉、大蒜粉、白胡椒粉,上海味多美食品有限公司;小黏人玉米淀粉,天津九品莲花调味品有限公司;特瑞肯炸鸡裹粉,河北先丰食品科技有限公司;菌体蛋白干粉根据专利^[14]制备。镶片镰孢菌 TB01 按照 5%的接种量接种到发酵培养基(2.6 g/L 二水柠檬酸钠、2.52 g/L 硝酸钾、2.88 g/L 磷酸二氢铵、1.6 g/L 磷酸二氢钾、0.2 g/L 七水硫酸镁、0.1 g/L 二水氯化钙、50 g/L 葡萄糖),在 30 °C、250 r/min 下培养 48 h 后,离心收集菌体。菌体经洗涤后复溶,升温至 68 °C 加热 40 min,再升温至 90 °C 加热 10 min 脱核酸。随后再次离心收集菌体,通过冷冻干燥、粉碎过筛(80 目)获得菌体蛋白。经测试,菌体蛋白含 51.67% 蛋白质、31.83% 膳食纤维、5.41% 脂肪、3.53% 水分与 3.24% 灰分(m/m)。

1.2 主要仪器设备

PL203 型电子天平,梅特勒-托利多(上海)有限公司;TMS-Pro 型物性分析质构仪,美国 FTC 公司;YS4560 型分光测色仪,深圳市三恩时科技有限公司;T18 高速分散机,德国 IKA 公司;SU8010 冷场发射扫描电子显微镜,日本 Hitachi 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 炸鸡块配方

炸鸡块配方详见表 1,相关配料添加比例参考文献并经前期试验优化确定^[15-18]。

1.3.2 炸鸡块制作工艺

鸡胸肉解冻后,去除表面可见脂肪与筋膜,切成均匀肉丁,放入绞肉机中搅拌成肉泥。在保持整个混合过程温度低于 12 °C 的条件下,将鸡肉泥与相应比例的菌粉、冰水、盐、糖、胡椒粉、大蒜粉、洋葱粉、淀粉混合,快速搅打 2 min 后,加入蛋清搅打 2 min,再加入玉米油继续搅打 2 min。所得糊状物用保鲜膜包裹卷成长条置于 U 型饼干模具中定型后,放入 -20 °C

冰箱冷冻 1 h, 取出切块裹粉, 180 °C 下油炸 4 min。

表 1 炸鸡块配方

Table 1 Ingredients of chicken nuggets

配料添加量/g	菌体蛋白替代鸡胸肉比例(g/g 干质量)			
	0%	20%	40%	60%
鸡胸肉	200	160	120	80
菌体蛋白	0	11	22	34
冰水	0	29	58	86
玉米淀粉	25	25	25	25
玉米油	10	10	10	10
盐	2	2	2	2
糖	1	1	1	1
胡椒粉	1	1	1	1
大蒜粉	1	1	1	1
洋葱粉	1	1	1	1
蛋清	7.5	7.5	7.5	7.5

注: 菌体蛋白的添加量通过测试鸡胸肉含水量, 按照鸡胸肉干重为 28% 进行折算。

1.3.3 营养成分测试

烹饪后的炸鸡块蛋白质含量按照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》中的凯氏定氮法测定; 总脂肪含量按照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准食品中脂肪的测定》中的索氏抽提法测定; 膳食纤维含量按照 GB 5009.88-2014《食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定》中的酶重量法进行测定; 水分含量按照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准食品中水分的测定》中的直接干燥法测定; 灰分含量按照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》中的灼烧法测定。每个样品重复测定 3 次, 取平均值。

1.3.4 pH 值测定

参考文献, 称取 10 g 制作的生鸡块与 50 mL 超纯水混合, 利用高速分散机在最低速下处理 1 min, 放置 30 min, 将校准后的 pH 电极直接插入其中, 待稳定后读数^[19]。每个样品重复测定 6 次, 取平均值。

1.3.5 烹饪损失测定

参考宋福香等^[20]的方法, 称重记录鸡块油炸前的质量 w_1 , 进行油炸, 油炸结束后用厨房用纸吸去样品表面油分冷却至室温, 称重记录鸡块油炸后的质量 w_2 , 每个样品重复测定 6 次, 取平均值。按下式计算烹饪损失率 (A, %) :

$$A = \frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.6 色差测定

参考佟宗航等^[21]的方法, 将经较准白板校正的色差仪垂直放在油炸鸡块表面或横切表面, 分别记录 L^* 、

a^* 、 b^* 值作为所测样品的亮度、红度和黄度。每个样品重复测定 6 次, 取平均值。

1.3.7 质构测试

将油炸后的样品, 切成约 1 cm×1 cm×1.5 cm 的长方体, 物性分析质构仪进行质构测定。参数设定为: P/45 探头, 测量速度 1 mm/s, 形变量 40%, 触发类型自动, 触发力 0.15 N, 2 次压缩时间间隔 5 s。测定硬度、内聚性、弹性、胶黏性、咀嚼性、粘附性。每个样品重复测定 6 次, 取平均值。

1.3.8 剪切力测试

将样品用单刀探头沿纤维横向切割, 利用物性分析质构仪测定剪切力值。参数设定为: 测定速度 1 mm/s。测后速度 2 mm/s, 触发力 0.15 N。每个样品重复测定 6 次, 取平均值。

1.3.9 扫描电镜观察

参考 Yulianti 等^[22]的方法, 烹饪后的炸鸡块经冷冻干燥后, 小心切成小块, 用导电双面胶贴在样品托上。在 1.0 kV 的加速电压下以 300 倍放大率对样品进行观察拍照。

1.3.10 感官评价

参考施帅等^[23]的方法, 选择 10 名经过食品专业系统培训的学生 (男女比例 5:5) 组成评定小组, 对炸鸡块的滋味、色泽、气味与口感进行感官评价。评分标准见表 2。

表 2 炸鸡块感官评分标准

Table 2 Sensory evaluation standards of chicken nuggets

评价指标	评分标准	分值/分
滋味	油炸滋味饱满, 余香浓	8~10
	油炸风味较协调, 余香适中	4~7
	味道平淡或有焦苦味, 无余香	0~3
色泽	表面呈金黄色, 色调较均匀	8~10
	表面呈浅黄色或黄褐色, 色调较均匀	4~7
	表面呈白色或褐色, 色调不均匀	0~3
气味	肉味浓郁, 伴有油脂香和油炸的香味	8~10
	肉味平淡, 香气不足	4~7
	有明显的焦糊味道, 几乎无肉味	0~3
口感	肉品内部多汁性好, 煎炸感明显	8~10
	咀嚼略有咬劲, 有煎炸感	4~7
	肉质韧性大难嚼碎, 无煎炸感	0~3

注: 评分标准参考施帅等^[23]的方法。

1.3.11 数据处理

采用 Microsoft Excel 2013 软件处理组数据, 数据表示为平均值±标准差。采用 IBM SPSS Statistics 22 软件通过单因素分析多重比较进行显著性分析, $p < 0.05$ 表示差异具有显著性。

2 结果与讨论

菌体蛋白替代部分鸡胸肉所制炸鸡块烹饪后的基本营养物质组成如表 3 所示。随着替代比例增加,使用了菌体蛋白的炸鸡块与只使用鸡胸肉的炸鸡块两者化学组成差异变大,产品的蛋白质质量分数降低,与微量元素相关的灰分质量分数降低,而脂肪质量分数有所升高,总膳食纤维质量分数增加 ($p < 0.05$)。菌体蛋白替代比例为 60% 时,炸鸡块的蛋白质质量分数为 18.78%,脂肪质量分数为 10.48%,总膳食纤维质量分数为 5.23%,灰分质量分数为 2.04%。Albuquerque 等^[24]测试了来自市售不同品牌的炸鸡块在工业预炸、

油炸和烘烤加工后的营养组成变化,发现烹饪后的炸鸡块蛋白质质量分数为 12.0%~22.5%,水分质量分数为 41.3%~58.1%,脂肪质量分数为 10.9%~22.7%,灰分质量分数为 1.48%~2.45%。与此对比,菌体蛋白替代部分鸡胸肉所制炸鸡块能够满足市场销售产品的营养组成要求,而且菌体蛋白替代鸡胸肉后炸鸡块的蛋白质与灰分质量分数能够维持在较高水平,脂肪质量分数维持在较低水平。尽管菌体蛋白的蛋白质质量分数低于鸡胸肉(约占干重的 85%),却含有较高质量分数的膳食纤维^[25],大量具有持水持油作用膳食纤维的存在可能是烹饪后的炸鸡块脂肪与水分质量分数随菌体蛋白替代比例增加而增加的主要原因。

表 3 菌体蛋白对炸鸡块化学组成与 pH 值的影响

Table 3 Effects of mycoprotein on the chemical composition and pH of chicken nuggets

	菌体蛋白替代鸡胸肉比例/%			
	0	20	40	60
蛋白质/(%, g/g)*	21.87±0.04 ^a	21.12±0.03 ^b	20.14±0.02 ^c	18.78±0.03 ^d
脂肪/(%, g/g)	9.84±0.06 ^a	9.98±0.04 ^b	10.13±0.18 ^c	10.48±0.12 ^d
总膳食纤维/(%, g/g)	0.72±0.04 ^a	2.22±0.04 ^b	4.16±0.08 ^c	5.23±0.11 ^d
水分/(%, g/g)	49.53±0.17 ^a	49.18±0.19 ^a	50.04±0.21 ^b	50.56±0.08 ^c
灰分/(%, g/g)	2.33±0.03 ^a	2.22±0.05 ^a	2.14±0.03 ^c	2.04±0.02 ^d
pH 值	5.95±0.01 ^a	5.97±0.32 ^a	6.01±0.44 ^b	6.10±0.01 ^c

注:同行右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ($p < 0.05$); *蛋白质使用凯氏定氮法测定,换算系数为 6.25。

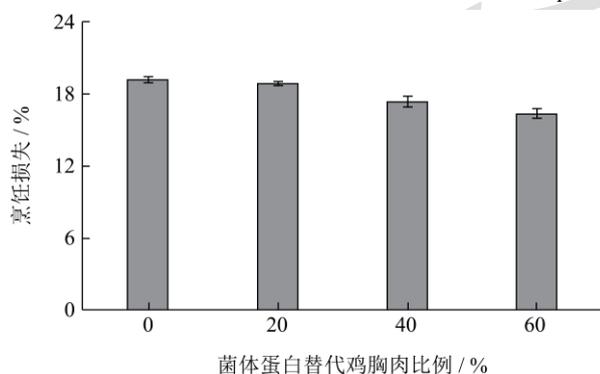


图 1 菌体蛋白对炸鸡块烹饪损失的影响

Fig.1 Effect of mycoprotein on the cooking loss of chicken nuggets

pH 值会影响蛋白质的乳化、凝胶等加工性能,进而影响肉制品的质构特性。实验结果显示 60% 的鸡胸肉被菌体蛋白替代后,鸡块的 pH 值从 5.95 上升到 6.10 ($p < 0.05$)。与 20% 的菌体蛋白作用效果类似,Devatkal^[16]将 10% 的高粱粉替代小麦粉用于炸鸡块制作,发现鸡块的 pH 值仅从 5.95 上升为 5.97,无显著变化 ($p > 0.05$)。Shoaiib 等^[6]则发现植物蛋白会导致炸鸡块产品 pH 值下降。添加 12% 的豌豆蛋白和 12% 的大米蛋白时,鸡块的 pH 值会从原配方的 6.53 分别下降至 5.85 和 5.62。Zaini 等^[26]将青豆替代鸡胸肉用于

炸鸡块,产品的 pH 值明显提高 ($p < 0.05$),青豆替代比例从 0% 增至 12%,炸鸡块的 pH 值从 6.24 上升到 6.43。其推测较高的膳食纤维含量是导致添加青豆后炸鸡块 pH 值上升的原因。膳食纤维对肉制品 pH 值的影响与其自身的化学组成相关。如 Golge 等^[27]发现富含果胶的橙子纤维会明显降低炸鸡块的 pH 值,富含葡聚糖的菊粉纤维却能提高炸鸡块的 pH 值。菌体蛋白含有大量以葡聚糖与碱性几丁质为主要成分的膳食纤维,虽然鸡肉中的动物蛋白被替代后可能导致 pH 值下降,葡聚糖与几丁质膳食纤维却可以促使产品 pH 值上升,两者共同作用决定了菌体蛋白替代比例不同下的鸡块 pH 值变化。

烹饪损失是高脂肪食物如肉制品加工生产中的重要考察因素。加热条件下,肉制品凝胶结构中的蛋白质与水、脂肪以及其他配料的结合平衡被破坏,肉汁发生流失,直接影响产品的口感^[28]。研究表明烹饪损失与炸鸡块的组成成分、形状尺寸以及加工条件的诸多因素有关,包括鸡块中的脂肪含量、盐含量、膳食纤维或植物蛋白含量、油炸温度与油炸时间等^[29,30]。实验结果表明,菌体蛋白替代 20% 鸡胸肉时的炸鸡块烹饪损失与不发生替代的情况对比无明显差异 ($p > 0.05$)。但菌体蛋白替代比例增至 40% 与 60% 时,

炸鸡块烹饪损失明显降低 ($p < 0.05$)。Yeater 等^[5]报道组织化植物蛋白包括大豆组织蛋白与小麦组织蛋白的添加不会改变炸鸡块的烹饪损失,甚至有增加产品烹饪损失趋势。而 Zaini 等^[26]将青豆作为膳食纤维替代鸡胸肉用于炸鸡块,除观察到产品 pH 值升高外,还发现炸鸡块烹饪损失明显减少。与菌体蛋白以及炸鸡块营养组成测试结果相应,鉴于膳食纤维具有较好的持油性与保水性,推断鸡块中膳食纤维含量随菌体蛋白添加增长至一定程度时,降低了炸鸡块的烹饪损失。

色泽会直接影响食用者的食欲,是影响消费者对炸鸡块感官评价的重要因素。研究表明消费者非常容易注意到禽肉制品的亮度^[5]。如图 2 所示,随着菌体蛋白在炸鸡块中替代鸡胸肉比例的增加,尽管产品外部的 a^* 值无明显变化 ($p > 0.05$),外部 L^* 值与 b^* 值以及内部的 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值却都出现一定程度的升高,表明添加菌体蛋白,会促使炸鸡块亮度上升,颜色朝着红色、黄色的方向变化。申茜^[31]发现添加绿豆蛋白会提高鸡肉丸产品的 b^* 值,显著降低 L^* 值与 a^* 值, Dogan 等^[32]发现 3% 的小麦分离蛋白会增加炸鸡块的红色色度,导致产品色泽变暗,与之相反,3% 的大豆分离蛋白或 3% 的蛋清会降低红色色度,却提升产品亮度,但这三种蛋白均不会对炸鸡块的 b^* 值产生影响。Kitcharoenthawornchai 等^[33]推测组织化植物蛋白导致炸鸡块产品亮度与红色色度提升、黄色色度降低的现象是由组织蛋白自身粉棕色引起的。由此可见,不同来源的蛋白对炸鸡块色泽造成的影响不同。本研究中的菌体蛋白颜色接近奶白色,对炸鸡块的色泽有提升作用。

炸鸡块的质构特性与其内部蛋白质和碳水化合物形成的凝胶结构特性息息相关,并受凝胶结构中脂肪和水结合的影响。测试结果表明(表 4),菌体蛋白对鸡肉的部分替代会提高炸鸡块的硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性 ($p < 0.05$)。然而,当菌体蛋白的添加从 20% 增长至 60% 时,虽然硬度继续增加,内聚性与胶粘性变化无明显差异,弹性和咀嚼性却开始下降。与此类似,计红芳等^[34]在研究豌豆蛋白对鸡肉肉糜热诱导凝胶品质特性影响时,发现豌豆蛋白添加量从 4% 增加至 12%,鸡肉肉糜凝胶的硬度持续上升,弹性却呈现先升高后降低的趋势。Schmiele 等^[35]则发现无定形纤维素作为膳食纤维添加到肉制品中能显著提高产品的硬度。菌体蛋白与鸡胸肉两者蛋白上的带电氨基酸如谷氨酸、赖氨酸以及天冬氨酸可以通过非共价键作用交联^[36]。同时,菌体蛋白的纤维成分对自由水具有较强的结合能力。随着菌体蛋白添加,原料分子间相互作用的结合力增强,促使炸

炸鸡块的硬度、内聚性、弹性、胶黏性和咀嚼性提高。然而,菌体蛋白添加比例继续增加,会引起产品中蛋白含量减少,蛋白分子间交联变弱,纤维与水分相互作用却仍在增长,产品凝胶网状结构吸水溶胀加剧,内部多孔性遭到破坏,导致弹性降低,受挤压后油炸鸡块难以恢复形变。

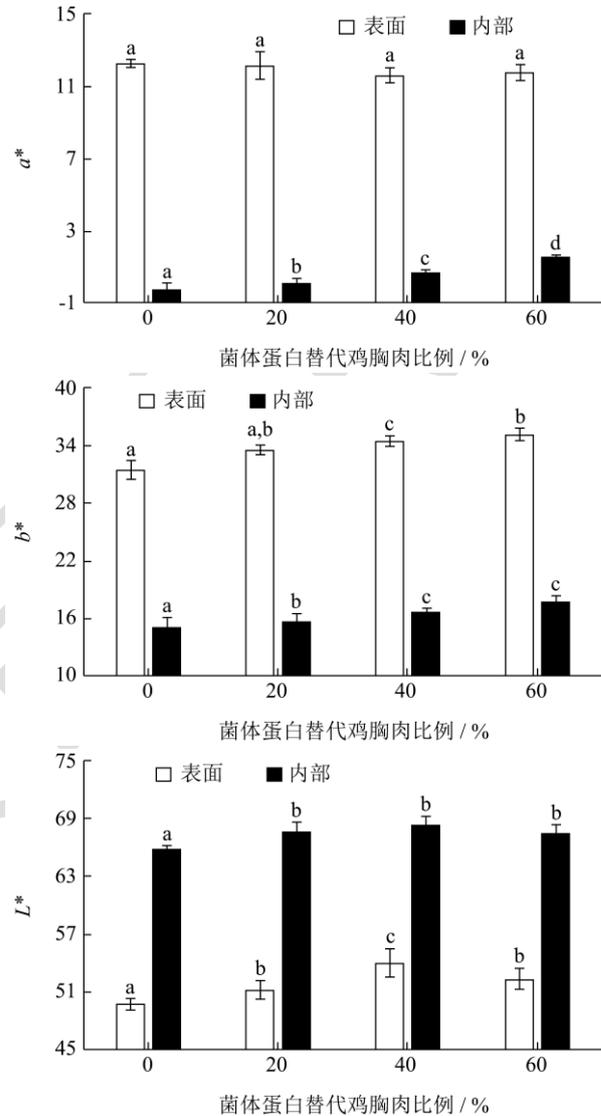


图 2 菌体蛋白对炸鸡块色泽的影响

Fig.2 Effect of mycoprotein on the colour of chicken nuggets

嫩度是鸡肉品质消费满意程度最主要的影响因素。剪切力能在一定程度上反映肉制品的嫩度。剪切力值越小说明鸡肉越嫩。对添加菌体蛋白替代鸡胸肉的炸鸡块产品进行剪切力测定,发现菌体蛋白替代 20% 的鸡胸肉时炸鸡块的剪切力无明显变化,但当菌体蛋白替代比例为 40% 与 60% 时,炸鸡块的剪切力有明显增加,嫩度下降。肉的嫩度与其内部蛋白质分子间相互作用力有关^[37]。此外, Su 等^[38]比较非肉蛋白对法兰克福香肠剪切力的影响时,推测产品添加大豆分离蛋白的剪切力大于添加豌豆分离蛋白的剪切力是因为大豆

分离蛋白具有更好的吸水保水能力。结合炸鸡块的营
养组成变化推断, 菌体蛋白替代引起炸鸡块的蛋白质

含量降低, 纤维含量增加, 提高了产品的吸收保水能
力, 降低了产品的嫩度。

表 4 菌体蛋白对炸鸡块的质构特性影响

Table 4 Effects of mycoprotein on the texture properties of chicken nuggets

质构特性参数	菌体蛋白替代鸡胸肉比例/%			
	0	20	40	60
硬度/N	4.48±0.24 ^a	5.35±0.35 ^b	5.89±0.51 ^c	5.97±0.18 ^c
内聚性(Ratio)	0.76±0.03 ^a	0.80±0.04 ^b	0.80±0.01 ^b	0.80±0.03 ^b
弹性/mm	1.95±0.15 ^a	2.30±0.20 ^b	2.09±0.20 ^{ab}	1.97±0.05 ^a
胶粘性/N	3.74±0.13 ^a	4.41±0.32 ^b	4.54±0.48 ^b	4.85±0.29 ^b
咀嚼性/mj	7.03±0.37 ^a	10.12±0.63 ^b	9.53±0.69 ^b	9.81±0.64 ^b
剪切力/N	27.59±0.43 ^a	27.25±0.32 ^a	28.76±0.44 ^b	29.19±0.45 ^b

注: 同行右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ($p<0.05$)。

表 5 菌体蛋白对炸鸡块的感官评价影响

Table 5 Effects of mycoprotein on the sensory properties of chicken nuggets

感官评价指标	菌体蛋白替代鸡胸肉比例/%			
	0	20	40	60
滋味	7.51±0.38 ^a	7.50±0.32 ^a	5.83±0.63 ^b	4.87±0.48 ^c
色泽	6.40±0.41 ^a	6.05±0.54 ^{ab}	5.65±0.56 ^{b,c}	5.24±0.60 ^c
气味	6.17±0.38 ^a	5.67±0.38 ^b	5.24±0.61 ^c	4.25±0.53 ^d
口感	5.66±0.44 ^a	5.82±0.45 ^a	5.20±0.48 ^b	4.40±0.55 ^c
综合评价	6.47±0.40 ^a	6.31±0.40 ^a	5.44±0.44 ^b	4.63±0.54 ^c

注: 综合评价中色泽、口感、气味和滋味的加权值分别为 0.15、0.25、0.30、0.30。同行右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ($p<0.05$)。

如图 3 所示, SEM 观察发现随着菌体蛋白替代比
例的增加, 炸鸡块微观结构中的脂肪均匀性分布减弱,
网状凝胶中的气孔扩大破裂, 内部结构发生塌陷, 进
一步证明了菌体蛋白替代对炸鸡块质构特性的影响其
根本在于改变了产品的微观结构。

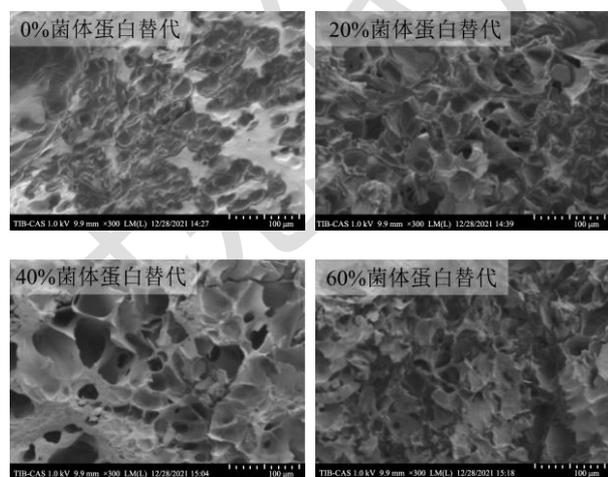


图 3 扫描电镜观察菌体蛋白对油炸鸡块微观结构的影响
Fig.3 Scanning electron microscopic analysis of the effect of
mycoprotein on chicken nuggets

感官评定结果见表 5。菌体蛋白对鸡胸肉的替代

比例为 20% 时, 炸鸡块的气味评分下降 ($p<0.05$),
口感评分却有上升趋势, 但不明显 ($p>0.05$), 产品
的滋味、色泽以及综合评价较替代前没有明显变化。
替代比例在 40% 与 60% 时, 炸鸡块的各项感官评价指
标明显下滑 ($p<0.05$)。潘治利等^[39]选择不同部位的
牛肉采用相同工艺制作杏鲍菇牛肉菜肴, 发现不同部
位牛肉菜品的色泽和滋味差异不明显, 但气味与组织
口感差异显著。由此可见, 对肉制品而言, 气味与口
感是非常容易被辨析的感官评价指标。肉制品烹饪过
程中产生的风味和香气主要来源于蛋白质参与的美拉
德反应、脂质的热降解以及美拉德-脂质相互作用^[40]。
菌体蛋白对鸡胸肉的替代, 不仅减少了炸鸡块中的蛋
白质含量, 更为重要的是, 其化学组成成分与动物源
蛋白质以及动物源脂肪的显著差异会对产品气味直接
产生重要影响。如 Yeater 等^[5]在炸鸡块配方中加入
10%、20%、30% 与 40% 的大豆组织蛋白或小麦组织
蛋白, 发现添加植物蛋白的混合蛋白型炸鸡块与纯肉
蛋白炸鸡块的色泽和质构性能类似, 但植物蛋白用量
超过 30% 时, 感官评价发现混合蛋白型炸鸡块具有明
显的不愉悦气味。王安琪等^[41]发现鸡肉的口感与咀嚼
性、内聚性、弹性均呈极显著正相关 ($p<0.01$), 其

中咀嚼性和弹性的相关性系数更高。与此一致, 菌体替代蛋白比例为 20% 的炸鸡块样品, 不仅口感测评最佳, 质构分析中的咀嚼性与弹性也优于其他替代比例。不仅如此, Santhi 等^[42]发现炸鸡块添加 10% 富含纤维的燕麦粉后, 整体感官可接受性良好, 但燕麦粉添加量超过 20% 时感官评价得分显著下降。推断随菌体蛋白替代比例不断增加, 其带入炸鸡块中的大量纤维可能会对产品的感官评价造成不良影响。

3 结论

菌体蛋白替代鸡胸肉会改变炸鸡块的营养组成, 导致产品蛋白质含量有降低, 但即使菌体蛋白替代比例增至 60%, 制备的炸鸡块仍满足各项产品营养组成要求。

菌体蛋白替代鸡胸肉会对炸鸡块色泽、质构特性与口感评价造成影响, 而且影响作用与菌体蛋白的化学组成相关。推测除蛋白质外, 菌体蛋白中的纤维也发挥了重要作用。

菌体蛋白替代 20% 鸡胸肉时的炸鸡块, pH 值、烹饪损失以及剪切力与无菌体蛋白替代的产品无差别, 但亮度增加, 咀嚼性与弹性提高, 产品感官评价接受度良好, 说明菌体蛋白可作为有潜力的动物替代蛋白用于鸡肉制品生产。

参考文献

- [1] 辛翔飞, 郑麦青, 文杰, 等. 2020 年我国肉鸡产业形势分析、未来展望与对策建议[J]. 中国畜牧杂志, 2021, 57(3): 217-222
- [2] Barbut S. Convenience breaded poultry meat products - New developments [J]. Trends in Food Science and Technology, 2012, 26(1): 14-20
- [3] Ismail B P, Senaratne-Lenagala L, Stube A, et al. Protein demand: Review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production [J]. Animal Frontiers, 2020, 10(4): 53-63
- [4] Zhang C, Guan X, Yu S, et al. Production of meat alternatives using live cells, cultures and plant proteins [J]. Current Opinion in Food Science, 2022, 43: 43-52
- [5] Yeater M, Casco G, Miller R K, et al. Comparative evaluation of texture wheat ingredients and soy proteins in the quality and acceptability of emulsified chicken nuggets [J]. Poultry Science, 2017, 96(12): 4430-4438
- [6] Shoaib A, Sahar A, Sameen A, et al. Use of pea and rice protein isolates as source of meat extenders in the development of chicken nuggets [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2018, 42(9): e13763
- [7] Prinyawiwatkul W, Mcwatters K H, Beuchat L R, et al. Physicochemical and sensory properties of chicken nuggets extended with fermented cowpea and peanut flours [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1997, 45(5): 1891-1899
- [8] 陈洪雨, 令狐昌丽, 罗颖, 等. 食用真菌蛋白制备及其应用研究进展[J]. 食用菌学报, 2021, 28(6): 188-198
- [9] Finnigan T J A, Wall B T, Wilde P J, et al. Mycoprotein: the future of nutritious nonmeat protein, a symposium review [J]. Current Developments in Nutrition, 2019, 3(6): nzz021
- [10] Hashempour-Baltork F, Khosravi-Darani K, Hosseini H, et al. Mycoproteins as safe meat substitutes [J]. Journal of Cleaner Production, 2020, 253: 119958
- [11] L. ähteenmäki-Uutela A, Rahikainen M, Lonkila A, et al. Alternative proteins and EU food law [J]. Food Control, 2021, 130: 108336
- [12] Rousta N, Hellwig C, Wainaina S, et al. Filamentous fungus *Aspergillus oryzae* for food: From submerged cultivation to fungal burgers and their sensory evaluation - A pilot study [J]. Foods, 2021, 10(11): 2774
- [13] Hellwig C, Gmoser R, Lundin M, et al. Fungi burger from stale bread? A case study on perceptions of a novel protein-rich food product made from an edible fungus [J]. Foods, 2020, 9(8): 1112
- [14] 马延和, 曾艳, 张学文, 等. 一种食用菌丝蛋白加工方法及应用. CN202110638514.X[P]. 2021
- [15] Pathera A K, Riar C S, Yadav S, et al. Effect of dietary fiber enrichment and different cooking methods on quality of chicken nuggets [J]. Korean Journal for Food Science of Animal Resources, 2017, 37(3): 410-417
- [16] Abo-Zaid E M, Saleh F M. Chemical, physical and sensory evaluation of untraditional chicken nuggets formula using taro flour (*Colocasia esculenta* L. Schott) [J]. Journal of Food and Dairy Sciences, 2020, 11(8): 235-239
- [17] Ma'ruf W, Rosyidi D, Radiati L E, et al. Physical and organoleptic properties of nuggets from domestic chicken (*Gallus domesticus*) meat with different corn flours as filler [J]. Research Journal of Life Science, 2019, 6(3): 162-171
- [18] Devatkal S K, Kadam D M, Naik P K, et al. Quality characteristics of gluten-free chicken nuggets extended with sorghum flour [J]. Journal of Food Quality, 2011, 34(2): 88-92
- [19] Faujan N H, Hassan C Z, Arifin N. Physicochemical properties and consumer preference of imitation chicken nuggets produced from chickpea flour and textured vegetable

- protein [J]. International Food Research Journal, 2018, 25(3): 1016-1025
- [20] 宋福香,计红芳,江开欣,等.油炸对鹅肉理化性质、质构与微观结构的影响[J].食品科学,2017,38(3):136-141
- [21] 佟宗航,李亚敏,高昂等.植物蛋白肉产品品质评价及过敏原分析[J].食品工业科技,2022,43(4):387-395
- [22] Yuliarti O, Kovic T, Yi N J. Structuring the meat analogue by using plant-based derived composites [J]. Journal of Food Engineering, 2020, 288: 110138
- [23] 施帅,张伟,徐海祥,等.微波预油炸鸡胸肉块工艺条件的优化[J].食品工业科技,2016,37(12):283-294
- [24] Albuquerque T G, Oliveira M B P P, Sanches-Silva A, et al. The impact of cooking methods on the nutritional quality and safety of chicken breaded nuggets [J]. Food & Function, 2016, 7(6): 2736-2746
- [25] Finnigan T, Needham L, Abbott C. Mycoprotein: a healthy new protein with a low environmental impact -science direct [J]. Sustainable Protein Sources, 2017: 305-325
- [26] Zaini H B M, Mantihal S, Ng F W Y, et al. The incorporation of green peas as the source of dietary fiber in developing functional chicken nuggets [J]. Journal of Food Processing and Preservation, 2021, 45(5): e15412
- [27] Golge O, Kilinceker O, Koluman A. Effects of different fibers on the quality of chicken meatballs [J]. Journal of Food Safety and Food Quality, 2018, 69(6): 177-183
- [28] Kamani M H, Meera M S, Bhaskar N, et al. Partial and total replacement of meat by plant-based proteins in chicken sausage: Evaluation of mechanical, physico-chemical and sensory characteristics [J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(5): 2660-2669
- [29] Pathare P B, Roskilly A P. Quality and energy evaluation in meat cooking [J]. Food Engineering Reviews, 2016, 8(4): 435-447
- [30] Hwang K E, Choi Y S, Choi J H, et al. Effect of ganghwayakssuk (*Artemisia princeps* Pamp.) on oxidative stability of deep fried chicken nuggets [J]. Food Science and Biotechnology, 2011, 20(5): 1381-1388
- [31] 申茜.绿豆蛋白对鸡肉丸品质的影响[J].食品工业,2021,42(11):184-188
- [32] Dogan S F, Sahin S, Sumnu G. Effects of batters containing different protein types on the quality of deep-fat-fried chicken nuggets [J]. European Food Research and Technology, 2005, 220(5): 502-508
- [33] Kitcharoenthawornchai N, Harnsilawat T. Characterization of meat analogue nugget: effect of textured vegetable protein [J]. Food and Applied Bioscience Journal, 2015, 3(2): 121-129
- [34] 计红芳,李莎莎,张令文等.豌豆蛋白对鸡肉糜热诱导凝胶品质特性与微观结构的影响[J].食品科学,2020,41(4):74-79
- [35] Schmiele M, Mascarenhas M C C N, Da Silva Barretto A C, et al. Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system [J]. LWT - Food Science and Technology, 2015, 61(1): 105-111
- [36] Tamsen M, Shekarchizadeh H, Soltanizadeh N. Evaluation of wheat flour substitution with amaranth flour on chicken nugget properties [J]. LWT - Food Science and Technology, 2018, 91: 580-587
- [37] 刘兴余,金邦荃.影响肉嫩度的因素及其作用机理[J].食品研究与开发,2005,26(5):177-180
- [38] Su Y K, Bowers J A, Zayas J F. Physical characteristics and microstructure of reduced-fat frankfurters as affected by salt and emulsified fats stabilized with nonmeat proteins [J]. Journal of Food Science, 2000, 65(1): 123-128
- [39] 潘治利,于如梦,黄忠民,等.不同部位牛肉对杏鲍菇牛肉菜肴品质的比较分析[J].现代食品科技,2020,36(6):264-273
- [40] Mottram D S. Flavour formation in meat and meat products: a review [J]. Food Chemistry, 1998, 62(4): 415-424
- [41] 王安琪,闫征,王道营,等.炖制鸡肉感官评价与仪器分析指标的相关性[J].肉类研究,2019,33(4):19-23
- [42] Santhi D, Kalaikannan A. The effect of the addition of oat flour in low-fat chicken nuggets [J]. Journal of Nutrition and Food Sciences, 2014, 4(1): 1-4