DOI:10.12161/j.issn.1005-6521.2026.16.013

玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠工艺优化及品质分析

付源,郑克勇,张再冉,聂瑞,聂文*
(滁州学院 现代农业与食品工程学院,安徽 滁州 239000)

摘　要:为开发营养均衡、色香味俱佳的新型香肠,该文以鸡胸肉为主要原料,添加滁菊粉、玉木耳粉和玉米淀粉等辅料,经过腌制、混合和灌制等工艺制作玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠。在单因素试验基础上,通过正交和响应面试验,以硬度、弹性、咀嚼性和感官评分为指标,确定最优配方和熟制工艺。结果表明:最优配方为玉木耳粉与滁菊粉质量比 9∶1、玉木耳粉与滁菊粉添加量 2%、大豆蛋白添加量 6% 和玉米淀粉添加量 4%;最优熟制工艺为蒸煮温度 85 ℃、蒸煮时间 12 min 和烘烤时间 12 min;按此条件制成的玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠感官评分为 82.4,且色泽鲜明、结构紧密、风味独特。

关键词:玉木耳;滁菊;低脂香肠;工艺优化;品质

Optimization of the Process and Quality Analysis of Compound Low-fat Chicken Sausage with *Auricularia cornea* and Chuzhou Chrysanthemum

FU Yuan, ZHENG Keyong, ZHANG Zairan, NIE Rui, NIE Wen*
(College of Modern Agriculture and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, Anhui, China)

Abstract: To develop a nutritionally balanced novel sausage with good color, aroma, and taste, this study used chicken breast as the main raw material, supplemented with Chuzhou chrysanthemum powder, *Auricularia cornea*, corn starch and other ingredients. Low-fat chicken sausages incorporated with *Auricularia cornea* and Chuzhou chrysanthemum were prepared via marination, mixing, and stuffing. Using hardness, springiness, chewiness and sensory score as evaluation indices, single-factor experiments combined with orthogonal and response surface tests were carried out to optimize the formulation and cooking process.The results showed that the optimal formulation was as follows: the mass ratio of *Auricularia cornea* powder to Chuzhou chrysanthemum powder was 9∶1, with a total addition level of 2%, soy protein addition of 6%, and corn starch addition of 4%. The optimal cooking conditions were steaming at 85 ℃ for 12 min followed by baking for 12 min. The low-fat chicken sausage prepared under these conditions obtained a sensory score of 82.4, with a bright color, compact texture and distinctive flavor.

Key words: *Auricularia cornea*; Chuzhou chrysanthemum; low-fat sausage; process optimization; quality

引文格式:
付源,郑克勇,张再冉,等. 玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠工艺优化及品质分析[J]. 食品研究与开发,2026,47(16):104-113.
FU Yuan, ZHENG Keyong, ZHANG Zairan, et al. Optimization of the Process and Quality Analysis of Compound Low-fat Chicken Sausage with *Auricularia cornea* and Chuzhou Chrysanthemum[J]. Food Research and Development, 2026, 47(16): 104-113.

香肠通常由肉馅、盐、糖、硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐、天然香料和其他食品添加剂混合制成。香肠种类多样,包括猪肉香肠、牛肉香肠、鸡肉香肠等。香肠作为一种广泛食用的肉制品,因口味独特鲜美、食用方

基金项目:安徽省高等学校科研计划项目(2023AH051632、2024AH051416);滁州学院 2024 年度科研启动基金项目(2024qd41)
作者简介:付源(1991—),女(汉),讲师,博士,研究方向:食品科学。
*通信作者:聂文(1993—),男(汉),讲师,博士,研究方向:食品科学。

便、易于保存而受到人们的欢迎，在许多国家和地区均有生产和消费。传统香肠中脂肪及胆固醇含量高，缺少维生素、膳食纤维、多糖等功能成分，摄入大量饱和脂肪酸会增加患多种慢性病的风险，如肥胖、高血压、结肠癌、心血管疾病和冠心病等[1-3]。世界卫生组织和美国药品管理局也建议人们要减少脂肪和饱和脂肪酸的摄入量[4]。因此，亟需开发一种营养价值高且脂肪含量低的健康香肠。

玉木耳（*Auricularia cornea*）是由吉林农业大学团队驯化的可稳定遗传的毛木耳自然突变纯白色菌株[5-6]，为高产且优质的食用菌新品种[7-8]。目前，玉木耳产量远超黑木耳，仅次于香菇，且含有丰富的天然多糖、膳食纤维、氨基酸和多种微量元素[9]。玉木耳多糖具有抗氧化、护肝、抗肿瘤活性和抗糖尿病等功效[10-13]。玉木耳相关产品包括玉木耳抗疲劳饮料[14]、玉木耳红豆复合乳饮料[15]、玉木耳馒头[16]等。将玉木耳用于其他食品添加剂中进行营养强化的研究较少，以玉木耳为主要成分的玉木耳复合香肠研究鲜见。因此，开发以玉木耳为基础原料的食品是当前的研究重点[17]。

滁菊为菊科植物菊的干燥头状花序，是安徽滁州地方特色农产品，名列中国“四大药菊”之首，除具有极高的观赏价值外，还具有很好的食用价值和药用价值，是著名的药食同源性植物[18]。滁菊不仅富含人体所需的氨基酸和铁、锌、硒等多种微量元素及黄酮类、酚酸类等抗氧化成分，还含有挥发油、多糖等生理活性成分，具有抗菌消炎、抗氧化、保护心血管等生理功效，存在较高利用价值[19]。近年来，滁菊主要被作为茶饮原料开发利用，这种单一利用方式难以实现其经济与营养价值的最大化。作为优质药食同源资源，滁菊在食品精深加工领域的相关研究仍较为匮乏。在香肠类产品研发中引入滁菊，不仅可提升香肠的营养价值与健康属性，还能赋予产品独特的品质特征与标志性风味。

因此，本试验以鸡肉为主要原料，制备玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠，探究玉木耳粉与滁菊粉质量比与添加量、玉米淀粉添加量、大豆蛋白添加量以及蒸煮时间、蒸煮温度和烘烤时间对香肠食用品质的影响，通过单因素试验、正交和响应面优化试验，得出香肠最佳配方和熟制条件，以期丰富香肠品种、促进玉木耳和滁菊资源的转化利用。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

鸡胸肉、玉木耳、滁菊、羊肠衣、大豆蛋白、玉米淀粉、食盐、胡椒粉、白砂糖、味精、陈皮粉、葱粉、姜粉、大蒜粉、磷酸盐、卡拉胶、维生素C（vitamin C，V_C）粉：市售。

全自动灌肠机：永康市锐燃智能科技有限公司；JRJ绞肉机：廊坊峻畅家居有限公司；KSEM50N-G7C蒸烤一体箱：广东格兰仕微波炉电器制造有限公司；AKD-S5水分测定仪：上海析莱伯仪器有限公司；PHS-3C pH计：杭州米科传感技术有限公司；TA.XT Plus C质构仪：厦门超技仪器设备有限公司；FA1204B电子天平：上海越平科学仪器制造有限公司；NH300色差仪：深圳市三恩驰科技有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠工艺流程

玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠制备工艺流程见图1。

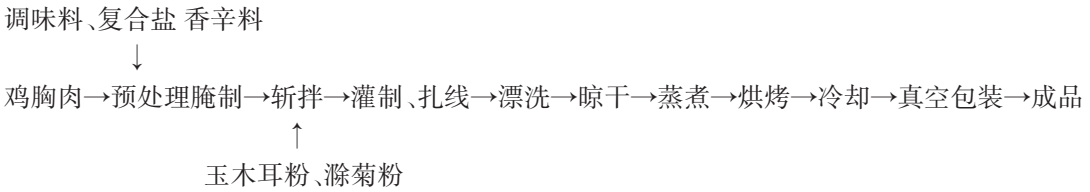


图1 玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠制备工艺流程

Fig.1 Preparation process of low-fat chicken sausage compound with *Auricularia cornea* and Chuzhou chrysanthemum

1.2.2 玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠制备

将干燥的玉木耳和滁菊粉碎后过80目筛，制得玉木耳粉和滁菊粉。以鸡胸肉糜质量为基准，添加2%食盐、0.4%味精、3%白砂糖、1.3%胡椒粉、0.4%陈皮粉、0.1%葱粉、0.1%姜粉、0.4%大蒜粉、0.3%磷酸盐、0.3%卡拉胶、0.08%V_C粉，冰水适量，添加一定量玉木耳粉、滁菊粉、玉米淀粉、大豆蛋白制备香肠，在一定条件下蒸煮后180 ℃烘烤，得到成品香肠。

1.2.3 配方单因素试验

根据基础配方，以鸡胸肉糜质量为基准，考察玉木耳粉与滁菊粉质量比（1∶1、3∶1、5∶1、7∶1、9∶1）、玉木耳粉与滁菊粉添加量（2%、4%、6%、8%、10%）、玉米淀粉添加量（2%、4%、6%、8%、10%）、大豆蛋白添加量（2%、4%、6%、8%、10%）对香肠弹性、硬度、咀嚼性、感官评分的影响。

1.2.4 配方正交试验设计

根据配方单因素试验结果，选择玉木耳粉与滁菊粉添加量（A）、玉米淀粉添加量（B）和大豆蛋白添加量（C）3个因素进行正交试验，确定复合低脂鸡肉香肠的最佳配方工艺。正交试验因素与水平见表1。

表 1　正交试验因素与水平

Table 1　Factors and levels of orthogonal experiment

水平	A 玉木耳粉与滁菊粉添加量/%	B 玉米淀粉添加量/%	C 大豆蛋白添加量/%
1	2	4	2
2	4	6	4
3	6	8	6

1.2.5　综合评分计算

正交试验加权综合评分按照以下公式进行计算。

$$y'' = 0.2y'_1 + 0.2y'_2 + 0.2y'_3 + 0.5y'_4$$

$$y'_x = (y_x - y_{x\min}) / (y_{x\max} - y_{x\min}) \times 100$$

式中：y''为综合评分；y_x 为正交试验的实测值；$y_{x\min}$ 为正交试验中的最小值；$y_{x\max}$ 为正交试验中的最大值；x 为 1、2、3、4，分别对应硬度、弹性、咀嚼性、感官评分。

1.2.6　熟制工艺单因素试验

在最优配方基础上，烘烤温度设为 180 ℃，以蒸煮时间（6、8、10、12、14 min）、蒸煮温度（55、65、75、85、95 ℃）和烘烤时间（6、8、10、12、14 min）3 个因素进行单因素试验，以硬度、弹性、感官评分为评价指标，考察各因素对复合低脂鸡肉香肠品质的影响。

1.2.7　熟制工艺响应面试验设计

在单因素试验基础上，选取蒸煮时间（A）、蒸煮温度（B）、烘烤时间（C）3 个影响因素进行响应面试验，确定复合低脂鸡肉香肠的最佳熟制工艺。响应面因素与水平见表 2。

表 2　响应面试验因素与水平

Table 2　Factors and levels of response surface experiment

水平	A 蒸煮时间/min	B 蒸煮温度/℃	C 烘烤时间/min
−1	8	65	8
0	10	75	10
1	12	85	12

1.2.8　指标测定

1.2.8.1　蛋白质含量、脂肪含量、水分含量、pH 值、脂肪酸含量和氨基酸含量

复合低脂鸡肉香肠的蛋白质含量、脂肪含量、水分含量、pH 值、脂肪酸含量和氨基酸含量测定分别参照 GB 5009.5—2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》[20]、GB 5009.6—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》[21]、GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》[22]、GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》[23]、GB 5009.168—2016《食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定》[24]和 GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》[25]中的方法进行。

1.2.8.2　色差值

参考 Fu 等[26]方法并略作修改。使用色差仪进行颜色测量，首先使用校准板校准色差仪，然后测定香肠切面 L^*值（亮度）、a^*值（红度）、b^*值（黄度），样品在 0°、90°、180°、270°各测一次，重复测定 3 次，取其平均值，按照下列公式计算总色差（ΔE）。

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

式中：ΔL^*、Δa^*、Δb^*分别表示待测样和标准样的亮度、红度、黄度差值。

1.2.8.3　质构

参照 Fu 等[27]方法并略作修改。质构仪选用 P/0.5 探头，参数设置：测前速度、测中速度、测后速度分别为 5.0、1.0、5.0 mm/s；触发类型为 Auto，触发力为 5.0 g，压缩比为 50%，循环次数为 2 次。

1.2.8.4　微生物指标

玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠的菌落总数和大肠杆菌参照 GB 4789.2—2022《食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定》[28]和 GB 4789.3—2025《食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数》[29]进行测定。

1.2.8.5　感官评价

邀请 10 名经过筛选与培训的人员（男女比例 1∶1，年龄在 20~50 岁之间）组成感官评价小组，在食品感官分析实验室内对样品的气味、口感、接受度和组织状态进行评分。样品采用 3 位随机数字编码，随机顺序呈送给评价员，每次评价后以清水漱口。感官评价标准见表 3。

表 3　感官评价标准

Table 3　Sensory evaluation criteria

指标	评价标准	评分
气味	有浓郁的香气	21~30
	香气不明显	11~<21
	有异味	0~<11
口感	咀嚼性好，口味适中	31~40
	咀嚼性一般，口感一般	21~<31
	咀嚼性差，口感差	0~<21
接受度	满意	7~10
	一般	3~<7
	不满意	0~<3
组织状态	切面平整均匀，气孔大小一致，内聚性好	15~20
	切面较均匀，气孔细密不均匀，内聚性一般	9~<15
	切面粗糙，气孔大，内部松散	0~<9

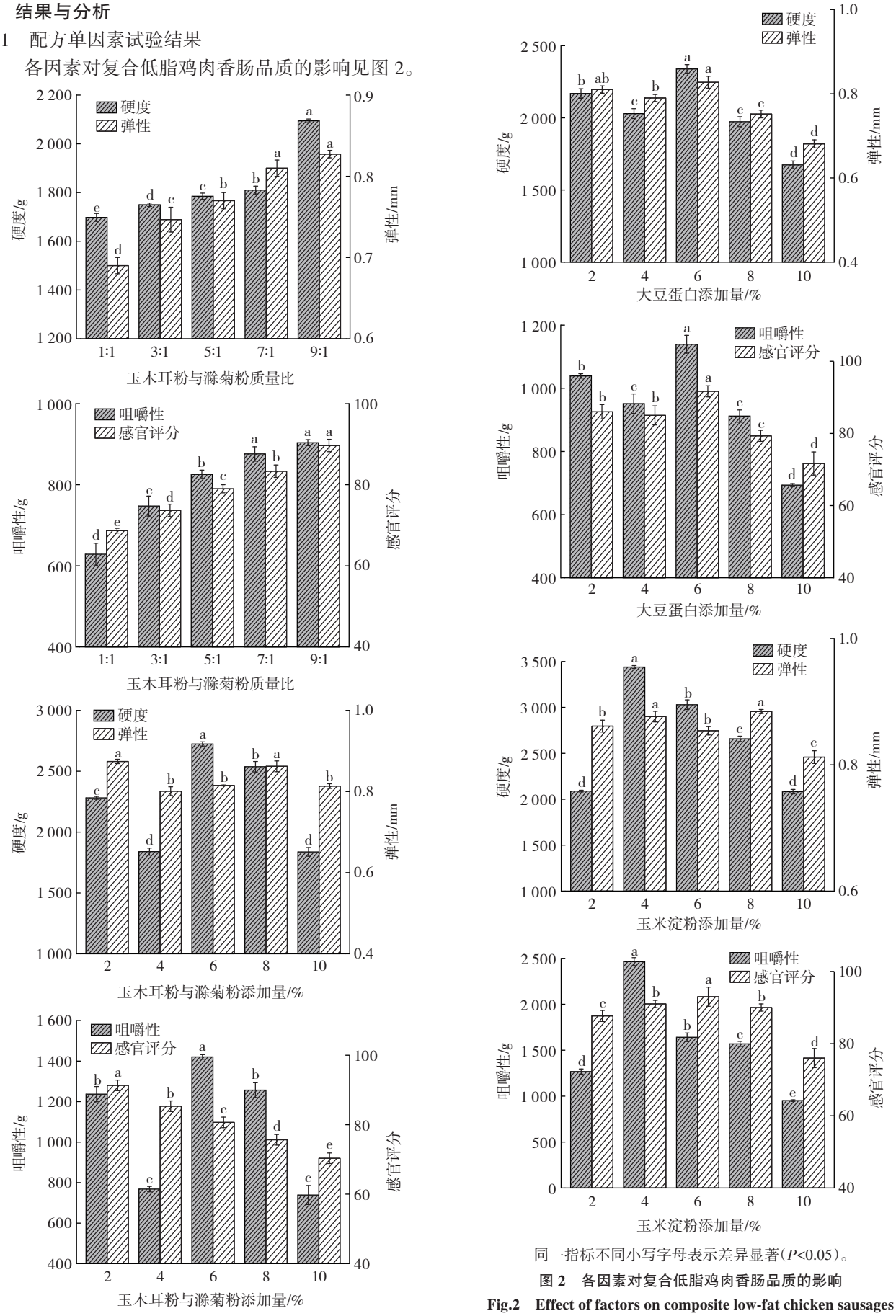
1.3　数据处理

试验数据采用 Design-Expert 8.0 软件和 Origin 9.0 进行分析，用 SPSS 26.0 进行数据显著性分析，$P<0.05$ 为差异显著。

2 结果与分析

2.1 配方单因素试验结果

各因素对复合低脂鸡肉香肠品质的影响见图 2。



同一指标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。

图 2 各因素对复合低脂鸡肉香肠品质的影响

Fig.2 Effect of factors on composite low-fat chicken sausages

如图 2 所示，当玉木耳粉与滁菊粉质量比增大时，香肠的硬度、弹性、咀嚼性和感官评分均逐渐增大。当玉木耳粉与滁菊粉质量比为 9∶1 时，香肠的硬度、弹性、咀嚼性和感官评分明显高于其他组。可能是由于玉木耳和滁菊多糖的高黏性特性，将其作为胶态填充入鸡肉肌原纤维凝胶中，并通过蛋白质与多糖的复合相互作用，增加香肠蛋白的结构密度，增加了鸡肉肌纤维蛋白的凝胶密度，进而改善了香肠的凝胶特性，从而使香肠的硬度、弹性和咀嚼性得到了提升[30]。因此，玉木耳粉与滁菊粉质量比为 9∶1 时，香肠品质最佳。

随着玉木耳粉与滁菊粉添加量增大，香肠的硬度、弹性和咀嚼性均呈先减小后增大再减小的趋势，感官评分逐渐减小。玉木耳粉与滁菊粉添加量为 2% 时，香肠的弹性和感官评分明显高于其他组；玉木耳粉与滁菊粉添加量为 6% 时，香肠的硬度和咀嚼性显著高于其他组（$P<0.05$）。玉木耳粉与滁菊粉添加量为 2% 时，肌原纤维蛋白表面的疏水性降低，阻碍了肌原纤维蛋白之间发生交联作用，破坏了肌原纤维蛋白凝胶结构的稳定，导致水分、脂肪流失，使香肠硬度较小[31]。因此，选取玉木耳粉与滁菊粉添加量为 2%、4%、6% 进行正交试验。

当大豆蛋白添加量增大时，香肠的硬度、弹性、咀嚼性和感官评分均呈现先减小后增大再减小趋势。大豆蛋白添加量为 6% 时，香肠的硬度、弹性、咀嚼性和感官评分明显高于其他组，主要是因为大豆蛋白具有凝胶特性[32]，6% 添加量充分发挥大豆蛋白凝胶特性且香肠口感最佳，香气最浓。少量的大豆蛋白无法充分发挥其凝胶特性，过量又会破坏本身凝胶体系的稳定性，导致凝胶强度降低，香肠口感不佳，感官评分降低，也在一定程度上影响了香肠的弹性[33]。综上，选取大豆蛋白添加量为 2%、4%、6% 进行正交试验。

当玉米淀粉添加量增加时，香肠的硬度、弹性、咀嚼性和感官评分整体呈先增大后减小趋势，与 Li 等[34]研究结果相似。当玉米淀粉添加量为 4% 时，香肠的硬度和咀嚼性显著高于其他组（$P<0.05$）；玉米淀粉添加量为 6% 时，香肠的感官评分达到最大值；玉米淀粉添加量为 8% 时，香肠的弹性达到最大值。因此，选取玉米淀粉添加量为 4%、6%、8% 进行正交试验。

2.2 配方正交试验结果

正交试验结果见表 4。

表 4 复合低脂鸡肉香肠配方正交试验结果

Table 4 Orthogonal test results of compound low-fat chicken sausage formula

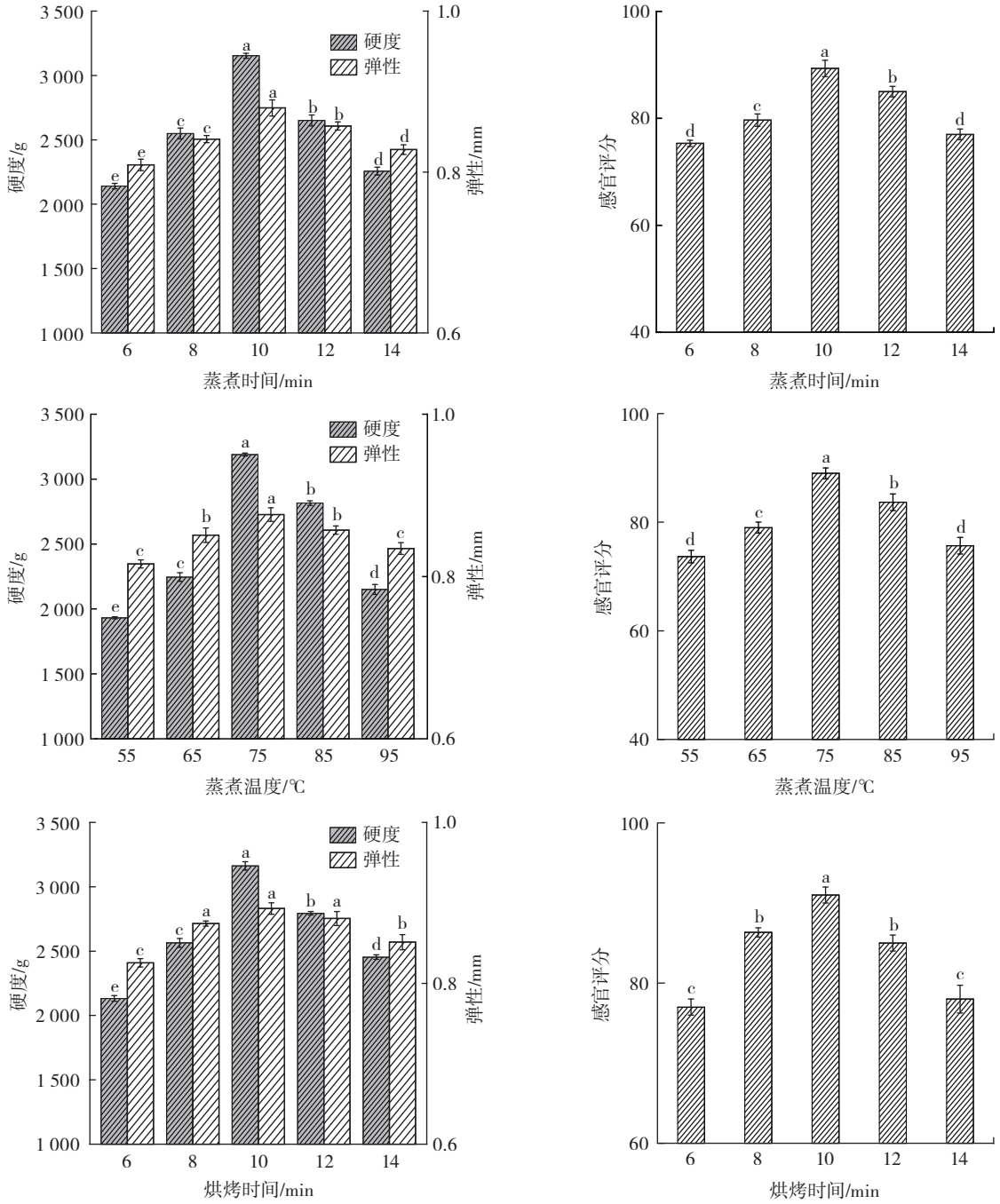
序号	A	B	C	D（空列）	y_1 硬度/g	y_2 弹性/mm	y_3 咀嚼性/g	y_4 感官评分	y''综合评分
1	1	1	1	1	2 232.75	0.88	1 247.89	87.00	0.80
2	1	2	2	2	2 775.92	0.88	1 462.18	86.33	0.92
3	1	3	3	3	3 033.16	0.88	1 654.15	85.00	0.91
4	2	1	2	3	2 532.38	0.85	1 254.50	80.33	0.54
5	2	2	3	1	2 198.72	0.84	1 130.53	70.67	0.44
6	2	3	1	2	2 007.21	0.85	1 040.72	70.00	0.14
7	3	1	3	2	2 274.13	0.86	1 395.61	73.67	0.39
8	3	2	1	3	1 865.68	0.85	1 186.62	69.33	0.12
9	3	3	2	1	1 564.04	0.88	1 018.15	72.67	0.26
K_1	2.62	1.72	1.06	1.49					
K_2	1.11	1.48	1.71	1.44					
K_3	0.77	1.31	1.73	1.57					
k_1	0.87	0.57	0.35	0.50					
k_2	0.37	0.49	0.57	0.48					
k_3	0.26	0.44	0.58	0.52					
极差 R	0.61	0.13	0.23	0.04					
较优水平	A_1	B_1	C_3	D_3					

由表 4 可知，影响复合低脂鸡肉香肠综合评分的先后顺序为玉木耳粉与滁菊粉添加量>大豆蛋白添加量>玉米淀粉添加量，最优配方参数组合为 $A_1B_1C_3$，即玉木耳粉与滁菊粉添加量 2%、玉米淀粉添加量 4%、大豆蛋白添加量 6%，此条件下香肠的综合评分为 0.93，高于任一组正交试验。

2.3 熟制工艺单因素试验结果

蒸煮温度、蒸煮时间和烘烤时间对复合低脂鸡肉香肠品质的影响见图 3。

由图 3 可知，随蒸煮时间延长，香肠的硬度、弹性和感官评分呈先增大后减小的趋势。蒸煮时间为 10 min 时，香肠的硬度、弹性和感官评分达最大值，且显著高于其他组（$P<0.05$）。在蒸煮前期，香肠中水分蒸发，使得蛋白质变性并凝固，结构紧密，硬度增大；在蒸煮过程中，蛋白质之间交联作用增强，香肠弹性增大；蒸煮时间继续延长时，可能会导致香肠中部分蛋白质发生水解和过度变性，结构松散，交联结构破坏，硬度和弹性降低[35]。因此，选取蒸煮时间 8、10、12 min



同一指标不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

图 3 蒸煮温度、蒸煮时间和烘烤时间对复合低脂鸡肉香肠品质的影响

Fig.3 Effects of cooking temperature, cooking time and baking time on the quality of compound low-fat chicken sausage

进行响应面试验。

当蒸煮温度升高时,香肠的硬度、弹性和感官评分呈现先增大后减小的趋势。蒸煮温度为 75 ℃时,香肠的硬度、弹性和感官评分达最大值,且显著高于其他组(P<0.05)。在蒸煮前期,随着蒸煮温度升高,香肠中蛋白质开始变性且凝固,使得香肠结构紧密,硬度和弹性增加。然而,当蒸煮温度持续升高时,可能引起蛋白质发生过度变性,导致结构松散,水分流失,使得香肠的硬度和弹性降低[36]。何宇洁[37]在研究液熏香肠加工工艺时也得出了类似结果。综上,选取蒸煮温度 65、75、85 ℃进行响应面试验。

随烘烤时间延长,香肠的硬度、弹性和感官评分呈现先增大后减小的趋势。烘烤时间为 10 min 时,香肠的硬度、弹性和感官评分达最大值。这些变化可以归因于烘烤过程中香肠表面水分的流失。随着烘烤时间的延长,香肠表面的水分逐渐蒸发,导致香肠的整体硬度和弹性增大。烘烤时间继续延长时,可能会导致香肠表面逐渐干燥和脆弱,硬度和弹性降低。综上,选取

烘烤时间 8、10、12 min 进行响应面试验。

2.4 熟制工艺响应面试验结果

2.4.1 响应面试验结果和方差分析

采用 Design-Expert 8.0 软件进行响应面试验的设计，以感官评分为响应值，试验结果如表 5 所示。

表 5 响应面试验结果

Table 5 Response surface test results

试验号	*A* 蒸煮时间	*B* 蒸煮温度	*C* 烘烤时间	*Y* 感官评分
1	−1	0	−1	65.0
2	1	0	−1	68.7
3	0	0	0	87.7
4	−1	1	0	76.0
5	0	0	0	88.7
6	0	0	0	88.3
7	1	−1	0	70.3
8	0	1	1	85.7
9	1	1	0	78.7
10	1	0	1	81.0
11	0	0	0	89.0
12	−1	−1	0	65.7
13	0	−1	−1	64.0
14	0	0	0	86.3
15	0	1	−1	68.0
16	−1	0	1	75.3
17	0	−1	1	71.0

对表 5 数据进行回归方程的拟合分析，根据软件给出的结果建立起复合低脂鸡肉香肠感官评分的二次多项式回归模型为 $Y=88.00+2.09A+4.68B+5.91C-0.475AB+0.50AC+2.68BC-7.50A^2-7.83B^2-8.00C^2$。方差分析结果见表 6。

表 6 方差分析结果

Table 6 Results of analysis of variance

来源	平方和	自由度	均方	*F* 值	*P* 值	显著性
模型	1 373.83	9	152.65	188.7	<0.000 1	**
A	34.86	1	34.86	43.1	0.000 3	**
B	174.85	1	174.85	216.14	<0.000 1	**
C	279.66	1	279.66	345.72	<0.000 1	**
AB	0.902 5	1	0.902 5	1.12	0.325 9	
AC	1	1	1	1.24	0.302 9	
BC	28.62	1	28.62	35.38	0.000 6	**
A^2	236.84	1	236.84	292.78	<0.000 1	**
B^2	257.81	1	257.81	318.71	<0.000 1	**
C^2	269.47	1	269.47	333.12	<0.000 1	**
残差	5.66	7	0.808 9			
失拟项	1.1	3	0.367 5	0.322 4	0.810 3	
纯误差	4.56	4	1.14			
总误差	1 379.49	16				

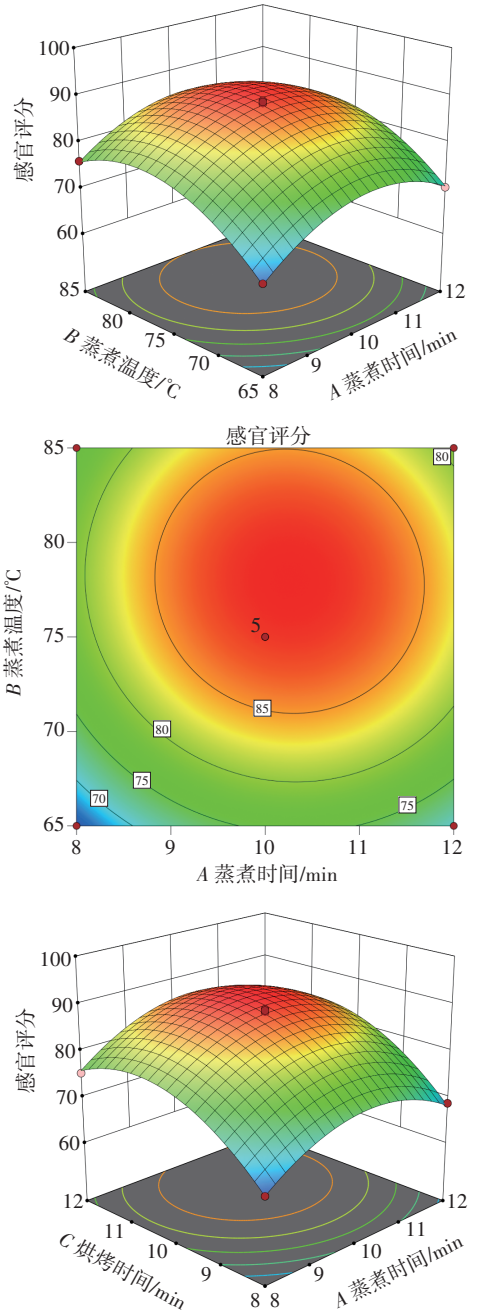
注：**表示影响极显著（$P<0.01$）。

由表 6 可知，回归模型极显著（$P<0.000\ 1$），同时模型失拟项不显著（$P=0.810\ 3>0.05$）；回归系数 $R^2=0.995\ 9$，校正决定系数 $R^2_{Adj}=0.990\ 6$，变异系数 1.17%。由显著性分析可知，*A*、*B*、*C*、A^2、B^2、C^2 和交互项 *BC* 对香肠感官评分的影响极显著（$P<0.01$）。由 *F* 值可知，各因素对香肠感官评分影响程度为烘烤时间（*C*）>蒸煮温度（*B*）>蒸煮时间（*A*）。

2.4.2 响应面交互作用分析

为进一步研究相关因素之间的交互作用，利用 Design-Expert 8.0 软件绘制响应面三维曲面和等高线进行直观分析。各因素交互作用对感官评分影响的响应面和等高线见图 4。

由图 4 可知，烘烤时间（*C*）与蒸煮温度（*B*）的交互作用曲线较陡，说明这 2 个因素交互作用对感官评分影响显著，与方差分析结果一致。



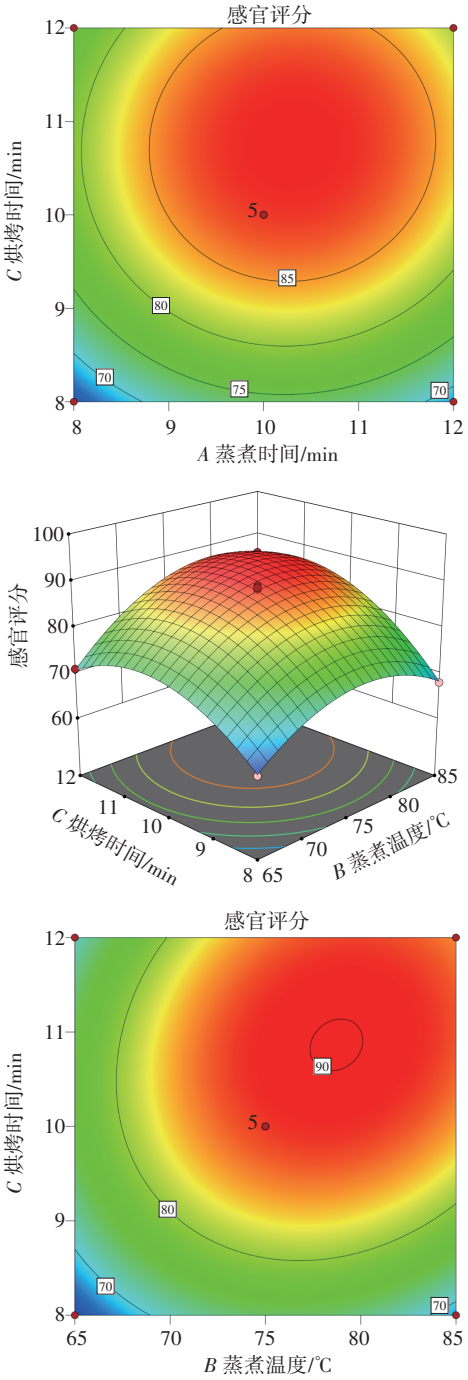


图 4　各因素交互作用对感官评分影响的响应面

Fig.4　Response surface of the interaction of various factors on sensory score

2.4.3　最优熟制工艺验证试验

使用 Design-Expert 8.0 软件得出玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠熟制工艺最佳参数为蒸煮时间 11.58 min、烘烤时间 12 min、蒸煮温度 84.8 ℃，感官评分预测值为 82.2。鉴于试验操作的可行性，将工艺参数修正为蒸煮温度 85 ℃、蒸煮时间 12 min、烘烤时间 12 min，进行 3 次平行验证试验，最终得到感官评分为 82.4，与预测值相差较小，证实该模型有效。

2.5　产品品质指标分析

根据最优配方和最优熟制工艺制作香肠并对其进行品质指标测定，结果见表 7~表 10。

表 7　香肠品质指标

Table 7　Sausage quality indexes

项目	蛋白质含量/(g/100 g)	脂肪含量/(g/100 g)	水分含量/(g/100 g)	pH 值	L^*值	a^*值	b^*值	ΔE
国家标准	≥14	≤55	≤38.0					
检测结果	19.67±0.23	4.89±0.14	34.20±0.12	5.80±0.06	63.61±0.23	5.41±0.05	16.52±0.07	2.56±0.01

表 8　脂肪酸测定结果

Table 8　Determination results of fatty acids

脂肪酸	相对含量/%	脂肪酸	相对含量/%
肉豆蔻酸(C14)	1.40±0.03	硬脂酸(C18)	7.13±0.23
15 烷酸(C15)	0.68±0.02	油酸(C18:1)	32.17±0.79
棕榈酸(C16)	19.36±0.21	亚油酸(C18:2)	34.64±0.68
棕榈油酸(C16:1)	1.66±0.05	亚麻酸(C18:3)	2.96±0.04

表 9　氨基酸测定结果

Table 9　Determination results of amino acids

mg/100 g

氨基酸		含量
必需氨基酸	缬氨酸	0.87±0.01
	苏氨酸	3.55±0.06
	赖氨酸	133.81±5.08
	甲硫氨酸	15.34±0.10
	异亮氨酸	23.13±0.07
	亮氨酸	80.22±1.20
	苯丙氨酸	33.74±0.24
	组氨酸	0.81±0.04
非必需氨基酸	丝氨酸	5.81±0.05
	精氨酸	8.77±0.03
	甘氨酸	8.86±0.10
	天冬氨酸	5.33±0.07
	谷氨酸	246.01±7.82
	丙氨酸	14.78±1.02
	脯氨酸	8.66±0.45
	半胱氨酸	0.33±0.01
	酪氨酸	31.10±0.89

表 10　微生物指标测定结果

Table 10　Determination results of microbial indicators

项目	菌落总数/(CFU/g)	大肠杆菌/(MPN/100 g)
国家标准	$\leq 10^5$	$\leq 10^2$
检测结果	208	12

由表 7 可知，复合低脂鸡肉香肠的蛋白质含量、脂肪含量以及水分含量均符合相应国家标准要求(GB 5009.5—2016、GB 5009.6—2016、GB 5009.3—2016)。pH 值和色差值与韩蓉等[38]研究结果相似。由表 8 可知，复合低脂鸡肉香肠脂肪酸含量最高的是亚油酸，其次为油酸和棕榈酸。其中亚油酸和油酸是不饱和脂肪酸，棕榈酸是饱和脂肪酸。研究表明，摄入过多的饱和

脂肪酸会导致体内脂肪含量和胆固醇含量升高，增加患心脑血管疾病的风险。De Meira 等[39]认为高不饱和脂肪酸的膳食摄入可以减少脂肪在身体中累积，不饱和脂肪酸有助于维持细胞膜适宜的流动性，降低血液黏稠度。由表 9 可知，复合低脂鸡肉香肠氨基酸组成完整，其中含量最高的是谷氨酸，其次是赖氨酸。谷氨酸是重要的鲜味氨基酸，对香味具有增强作用，因此复合低脂鸡肉香肠味道的鲜美程度高于一般香肠。谷氨酸不仅能治疗肝性昏迷，还能改善儿童智力发育[40]。由表 10 可知，复合低脂鸡肉香肠的菌落总数以及大肠杆菌检测结果符合 GB 2726—2016《食品安全国家标准 熟肉制品》[41]规定。

3 结论

结果表明，香肠最佳配方为玉木耳粉与滁菊粉添加量 2%、玉米淀粉添加量 4%、大豆蛋白添加量 6%；最佳熟制工艺为蒸煮温度 85 ℃、蒸煮时间 12 min、烘烤时间 12 min，此工艺制得的玉木耳滁菊复合低脂鸡肉香肠蛋白质含量、脂肪含量、水分含量、菌落总数和大肠菌数均符合国家标准；脂肪酸组成中油酸和亚油酸含量较高；氨基酸组成完整，其中谷氨酸含量最高；肠体坚实有弹性、切片性好、肉馅紧贴肠衣、肉质细嫩并且口感更适合大众的需求。本研究结果可为低脂香肠的工艺优化提供理论参考和数据支持，便于提高玉木耳、滁菊和鸡肉资源的开发与利用。

参考文献：

[1] BAKER R C, DARELER J, VADEHRA D V. Type and level of fat and amount of in and their effect on the quality of chicken frankfurters[J]. Food Technology, 1969, 35(5): 1365-2621.

[2] CARBALLO J, BARRETO G, COLMENERO F J. Starch and egg white lnfluence on properties of Bologna sausage as related to fat content[J]. Journal of Food Science, 1995, 60(4): 673-677.

[3] YOO S S, KOOK S H, PARK S Y, et al. Physicochemical characteristics, textural properties and volatile compounds in comminuted sausages as affected by various fat levels and fat replacers[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2007, 42(9): 1114-1122.

[4] DE SOUZA PAGLARINI C, DE FIGUEIREDO FURTADO G, HONÓRIO A R, et al. Functional emulsion gels as pork back fat replacers in Bologna sausage[J]. Food Structure, 2019, 20: 100105.

[5] 孔璐怡, 曹宇婷, 何静羽, 等 . 不同木耳膳食纤维提取及产品开发研究进展[J]. 农产品加工, 2024(3): 92-94.
KONG Luyi, CAO Yuting, HE Jingyu, et al. Research progress on extraction and product development of dietary fiber from different types of agaric[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2024(3): 92-94.

[6] 田志佳, 曹露, 王美, 等 . 玉木耳栽培技术及活性成分研究进展[J]. 食用菌, 2024, 46(1): 6-10.
TIAN Zhijia, CAO Lu, WANG Mei, et al. Research progress on cultivation techniques and active components of *Auricularia cornea*[J]. Edible Fungi, 2024, 46(1): 6-10.

[7] 刘彩珍, 吴伯文, 吴杨, 等 . 棕榈丝栽培玉木耳的营养成分分析[J]. 农业与技术, 2024, 44(16): 33-35.
LIU Caizhen, WU Bowen, WU Yang, et al. Analysis of nutritional components of *Auricularia auricula* cultivated with palm silk[J]. Agriculture and Technology, 2024, 44(16): 33-35.

[8] 梁晓君, 廖才学, 黄振勇, 等 . 不同干燥和粉碎方式对玉木耳粉粉体特性和营养成分的影响[J]. 食品工业科技, 2021, 42(1): 96-100, 109.
LIANG Xiaojun, LIAO Caixue, HUANG Zhenyong, et al. Effects of different drying and grinding methods on the powder characteristics and nutritional components of *Auricularia nigricans* powder[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(1): 96-100, 109.

[9] JIANG X T, LI X, LI S, et al. Potential mechanism of probiotic fermentation of *Auricularia cornea* var. Li./blueberry to reduce obesity induced by a high-fat diet[J]. Food Chemistry: X, 2024, 21: 101160.

[10] WANG J, LIU B Y, QI Y, et al. Impact of *Auricularia cornea* var. Li polysaccharides on the physicochemical, textual, flavor, and antioxidant properties of set yogurt[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2022, 206: 148-158.

[11] 李佳荣 . 不同产地玉木耳质量评价及保肝药效学研究[D]. 天津: 天津中医药大学, 2023.
LI Jiarong. Quality evaluation of *Auricularia auricula* from different habitats and pharmacodynamics study on liver protection[D]. Tianjin: Tianjin University of Traditional Chinese Medicine, 2023.

[12] LIN N, LI M M, HAN Z X, et al. Polysaccharides from *Auricularia cornea* var. Li.: Structural alterations during *in vitro* digestion and its potent immunomodulatory properties on macrophages[J]. Food Bioscience, 2024, 59: 104014.

[13] FU Y, WANG L W, JIANG G C, et al. Anti-diabetic activity of polysaccharides from *Auricularia cornea* var. Li[J]. Foods, 2022, 11(10): 1464.

[14] 刘岩 . 玉木耳运动饮料研制及抗运动疲劳功能研究[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(21): 106-110.
LIU Yan. Research on jade fungus sport beverage and its anti-exercise fatigue function[J]. Food Research and Development, 2017, 38(21): 106-110.

[15] 刘楠楠, 孟祥敏, 都凤华 . 玉木耳红豆复合乳饮料的研制[J]. 食品工业, 2018, 39(10): 150-153.
LIU Nannan, MENG Xiangmin, DU Fenghua. Study on the compound milk drink of white mutant strain of *Auricularia fuscosuccinea* and red bean[J]. The Food Industry, 2018, 39(10): 150-153.

[16] 尚莲姿 . 玉木耳对玉米馒头加工特性的影响研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2019.
SHANG Lianzi. Study on the effect of *Auricularia fuscosuccinea* on processing characteristics of corn steamed bread[D]. Changchun: Jilin Agricultural University, 2019.

[17] MIAO J N, REGENSTEIN J M, QIU J Q, et al. Isolation, structural characterization and bioactivities of polysaccharides and its derivatives from *Auricularia*-A review[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2020, 150: 102-113.

[18] CUI H Y, BAI M, SUN Y H, et al. Antibacterial activity and mechanism of Chuzhou *Chrysanthemum* essential oil[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 48: 159-166.

[19] LIU Y C, LU C F, ZHOU J, et al. *Chrysanthemum morifolium* as a traditional herb: A review of historical development, classification, phytochemistry, pharmacology and application[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2024, 330: 118198.

[20] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局 . 食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定: GB 5009.5—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People′s Republic of China, China Food and Drug Administration. National

food safety standard Determination of protein in food: GB 5009.5—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[21] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局 . 食品安全国家标准 食品中脂肪的测定: GB 5009.6—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Determination of fat in food: GB 5009.6—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[22] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 . 食品安全国家标准 食品中水分的测定: GB 5009.3—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of moisture in food: GB 5009.3—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[23] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会 . 食品安全国家标准 食品 pH 值的测定: GB 5009.237—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard Determination of pH value of food: GB 5009.237—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[24] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局 . 食品安全国家标准 食品中脂肪酸的测定: GB 5009.168—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards Determination of fatty acids in food: GB 5009.168—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[25] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局 . 食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定: GB 5009.124—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standards Determination of amino acids in food: GB 5009.124—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

[26] FU Y, LIU C H, YAN X H, et al. Physicochemical and functional properties of the muscle protein fraction of *Hypomesus olidus*[J]. Food Chemistry, 2022, 16: 100484.

[27] FU Y, ZHANG L, CONG M D, et al. Application of *Auricularia cornea* as a pork fat replacement in cooked sausage[J]. Coatings, 2021, 11(11): 1432.

[28] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局 . 食品安全国家标准 食品微生物学检验 菌落总数测定: GB 4789.2—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard Food microbiological inspection Determination of total bacterial colony: GB 4789.2—2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.

[29] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局 . 食品安全国家标准 食品微生物学检验 大肠菌群计数: GB 4789.3—2025[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
National Health Commission of the People's Republic of China, State Administration for Market Regulation. National food safety standard Food microbiological inspection Enumeration of coliforms: GB 4789.3—2025[S]. Beijing: Standards Press of China, 2025.

[30] 班红玲, 谢文佩, 陈婕兰, 等 . 添加圆苞车前子壳粉的猪肉香肠配方优化及品质特性研究[J]. 食品科技, 2023, 48(8): 105-112.
BAN Hongling, XIE Wenpei, CHEN Jielan, et al. Optimization of recipe and quality characteristics of pork sausage with Psyllium seed husk powder[J]. Food Science and Technology, 2023, 48(8): 105-112.

[31] 郭璐瑶 . 畜禽混合肉肌原纤维蛋白凝胶特性及膳食纤维复合牛肉香肠的开发研究[D]. 长春: 吉林大学, 2024.
GUO Luyao. Characterization of myofibrillar protein gel of livestock and poultry mixed meat and development of dietary fiber composite beef sausage[D]. Changchun: Jilin University, 2024.

[32] 戴媛, 陆红佳, 冷进松, 等 . 豌豆蛋白香肠的制作工艺及其品质研究[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(10): 150-155.
DAI Yuan, LU Hongjia, LENG Jinsong, et al. Study on preparation process and quality characteristics of pea protein sausage[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(10): 150-155.

[33] 马丽媛, 李佳文心, 郭丽, 等 . 金针菇玉米胡萝卜复合香肠的配方及蒸煮损失率研究[J]. 发酵科技通讯, 2024, 53(1): 33-40.
MA Liyuan, LI Jiawenxin, GUO Li, et al. Study on the formula of cooking loss rate of compound sausage of *Flammulina velutipes* corn and carrot[J]. Bulletin of Fermentation Science and Technology, 2024, 53(1): 33-40.

[34] LI Z Y, WANG J Y, ZHENG B D, et al. Effects of high pressure processing on gelation properties and molecular forces of myosin containing deacetylated konjac glucomannan[J]. Food Chemistry, 2019, 291: 117-125.

[35] COMBES S, LEPETIT J, DARCHE B, et al. Effect of cooking temperature and cooking time on Warner-Bratzler tenderness measurement and collagen content in rabbit meat[J]. Meat Science, 2004, 66(1): 91-96.

[36] 王春彦, 康壮丽, 马汉军, 等 . 不同食盐添加量和蒸煮温度对猪肉糜品质的影响[J]. 食品与发酵工业, 2018, 44(3): 194-198.
WANG Chunyan, KANG Zhuangli, MA Hanjun, et al. Effect of salt and temperature on gel characteristics of ground pork[J]. Food and Fermentation Industries, 2018, 44(3): 194-198.

[37] 何宇洁 . 液熏灌肠加工工艺研究及其挥发性风味物质的检测[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2012.
HE Yujie. Processing technology of liquid smoked sausage and analysis of volatile flavors[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2012.

[38] 韩蓉, 白伟娟, 严晶, 等 . 蛹虫草猴头菇复合鸡肉香肠贮藏特性[J]. 食品工业, 2022, 43(11): 153-157.
HAN Rong, BAI Weijuan, YAN Jing, et al. Storage behavior of *Cordyceps militaris* and *Hericium erinaceus* composite chicken sausage[J]. The Food Industry, 2022, 43(11): 153-157.

[39] DE MEIRA J E C, CROVESY L, SANTOS A L A, et al. Unsaturated fatty acids do not have a favourable metabolic response in overweight subjects: Results of a meta-analysis[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 43: 123-130.

[40] 舒妙安, 马有智, 张建成 . 黄鳝肌肉营养成分的分析[J]. 水产学报, 2000, 24(4): 339-344.
SHU Miao'an, MA Youzhi, ZHANG Jiancheng. An analysis of the nutritive composition in muscle of *Monopterus albus*[J]. Journal of Fisheries of China, 2000, 24(4): 339-344.

[41] 国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局 . 食品安全国家标准 熟肉制品: GB 2726—2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China, China Food and Drug Administration. National food safety standard Cooked meat products: GB 2726—2016[S]. Beijing: Standards Press of China, 2016.

责任编辑:冯娜
收稿日期:2025-05-07