

香菇鲜味低钠盐的配方研究及其智能感官分析

汪姣玲¹, 樊振南², 唐 雄³, 徐欢欢³, 岳元媛^{1*}

(1. 雪天盐业集团股份有限公司, 长沙 410015; 2. 湖南省轻工盐业集团技术中心有限公司, 长沙 410015;
3. 湖南省井矿盐工程技术研究中心, 长沙 410015)

摘 要: **目的** 优化香菇鲜味低钠盐产品配方, 并对其进行智能感官分析。**方法** 以感官评分为评价指标, 通过单因素试验和正交试验对香菇鲜味低钠盐的产品配方进行研究, 并应用电子鼻与电子舌对最佳配方的气味和滋味特点与普通精制盐、普通低钠盐进行对比分析。**结果** 香菇鲜味低钠盐最佳配方为: 香菇提取物添加量为 0.8‰、白砂糖添加量为 1.0‰、L-苹果酸添加量为 0.5‰、5'-呈味核苷酸二钠添加量为 0.4‰; 感官评分值可达 96.2 分; 含有较为丰富的含硫有机化合物及芳香族化合物。电子舌测定的苦味、涩味、苦味回味和涩味回味均在无味点以下且均低于普通低钠盐, 鲜味和丰富性显著高于其他两款食盐, 咸味高于普通低钠盐, 与精制盐无显著差异。**结论** 优化后的产品保留了食盐的咸味且鲜味突出, 风味及口感俱佳, 明显优于普通精制盐和低钠盐。

关键词: 低钠盐; 香菇提取物; 风味改良; 智能感官

Study on the formula of *Lentinus edodes* flavor low sodium salt and its intelligent sensory analysis

WANG Jiao-Ling¹, FAN Zhen-Nan², TANG Xiong³, XU Huan-Huan³, YUE Yuan-Yuan^{1*}

(1. Snowsky Salt Industry Group Co., Ltd., Changsha 410015, China; 2. Hunan Light Industry and Salt Industry Group Technology Centre Co., Ltd., Changsha 410015, China; 3. Hunan Provincial Research Centre of Well and Rock Salt Engineering Technology, Changsha 410015, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the formula of *Lentinus edodes* flavor low sodium salt product and analyse its quality by intelligent sensory method. **Methods** Taking the sensory score as the evaluation index, the product formula of *Lentinus edodes* flavor low sodium salt was studied by single factor test and orthogonal test, and the odor and taste characteristics of the best formula were compared with ordinary refined salt and low sodium salt by using electronic nose and electronic tongue. **Results** The optimum formula of *Lentinus edodes* flavor low sodium salt was as follows: The amount of *Lentinus edodes* extract was 0.8‰, the amount of white granulated sugar was 1.0‰, the amount of L-malic acid was 0.5‰, and the amount of disodium 5'-flavoring nucleotide was 0.4‰; the sensory score was 96.2; it was rich in sulfur-containing organic compounds and aromatic compounds. The bitterness, astringency, bitter aftertaste and astringent aftertaste measured by electronic tongue were below the tasteless point and lower than ordinary low sodium salt, and the freshness and richness were significantly higher than the other 2 kinds of table salt, and the saltiness was higher than ordinary low sodium salt, which had no significant difference with refined salt.

基金项目: 长沙市科技计划项目(kh1902249)

Fund: Supported by the Changsha Science and Technology Plan (kh1902249)

*通信作者: 岳元媛, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食盐及相关食品研发、标准研究与质量检测。E-mail: 13554829@qq.com

*Corresponding author: YUE Yuan-Yuan, Master, Associate Professor, Snowsky Salt Industry Group Co., Ltd., No.388, Shidaiyangguang Road, Yuhua District, Changsha 410015, China. E-mail: 13554829@qq.com

Conclusion The optimized product retains the salty taste of salt and possess outstanding freshness, good flavor and taste, which is obviously better than ordinary refined salt and low sodium salt.

KEY WORDS: low sodium salt; *Lentinus edodes* extract; flavor improvement; intelligent sensory

0 引言

食盐在人们的日常生活中必不可少,其钠离子对维持血液的渗透压、酸碱平衡、神经肌肉的兴奋性及人体新陈代谢等生理功能起着极为重要的作用^[1-2]。同时,食盐在生活中除调味作用外,它对食品的风味、质构、货架期及加工特性也起着重要作用,但钠盐摄入过多易导致高血压和肾脏等疾病^[3-5]。低钠盐系列产品有效地解决了盐中钠离子过多的问题,低钠盐是一种以氯化钠为载体,添加一定量镁盐、钾盐的食用盐^[6]。以氯化钾代替部分氯化钠,能显著减少钠的摄入,并且钾离子具有扩张血管的作用,能够促使钠离子排泄、减少钠离子和水分滞留,对钠离子摄入过量引发的高血压具有拮抗作用;此外,钾离子有助于保证心肌的自律性、传导性和兴奋性,维持心肌的正常功能,故食用低钠盐有利于身体健康^[7-9]。但氯化钾的咸度不及氯化钠,且有苦味,代替部分氯化钠后,在咸度上可能会有所降低,因此这类非钠化合物常需要与风味改良剂或掩蔽剂共同使用才能获得较好的效果。

风味改良剂或风味掩蔽剂是指本身不具有咸味,但用于咸味剂中能提高咸味剂的咸度、减弱或遮掩其苦涩味和不良味感的口感改良剂。常用于非钠代用盐的风味改良剂及掩蔽剂有氨基酸、核苷酸、乳酸盐、酵母提取物、天然甜味剂及有机酸味剂等^[6]。香菇是一种重要的食药兼用的栽培真菌,它不仅含有多种营养成分^[10-11],而且常用来改善产品风味。香菇蛋白中至少含有16种氨基酸,氨基酸总量达5.557%,是构成香菇鲜味的主要来源之一^[12],其呈味氨基酸谷氨酸能与食盐结合形成L-谷氨酸钠,具有强鲜味;丙氨酸具有一定甜味,与鸟苷酸、谷氨酸等鲜味物质搭配能使鲜味倍增,提升食物口感和味道,这为以香菇为原料进行混合调味盐的生产提供了思路^[13-15]。樊振南等^[16]利用香菇提取液制备的香菇风味调味盐具有良好的感官风味。张婷婷等^[17]研究发现通过复合酶解工艺生产的香菇调味基料含有丰富的呈鲜物质及营养成分,具有优良的感官品质。李延年^[18]以鲜香菇、草菇为主要原料开发的复合食用菌酱产品风味佳、色泽光亮、咀嚼性好。但目前研究中有关于利用香菇鲜味物质辅助减钠的研究相对较少。本研究在普通低钠盐的基础上,通过优化香菇提取物和风味改良剂添加量得到减盐不减咸、咸鲜合一、营养美味相结合的香菇鲜味低钠盐产品,以期助力国家“三减三健”和解决食盐产品附加值低的问题提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

低钠盐(氯化钾含量30%,湖南省湘衡盐化有限责任公司);香菇提取物(氨基酸态氮含量 ≥ 20 g/kg,实验室自制);白砂糖、L-苹果酸、5'-呈味核苷酸二钠(食品级,东莞市百维食品化工原料实业有限公司)。

1.2 仪器与设备

ES-E 210B 电子天平(精度0.0001 g,天津市德安特传感技术有限公司);CH-100 槽形混合机(常州品正干燥设备有限公司);PEN3 电子鼻(德国Airsense公司);SA402B 电子舌(日本INSENT公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 单因素试验

(1) 香菇提取物添加量选择

根据前期试验结果,选用非碘晶纯低钠盐为原料,分别添加白砂糖1.0‰、L-苹果酸0.5‰、5'-呈味核苷酸二钠0.4‰及香菇提取物0.2‰、0.4‰、0.6‰、0.8‰、1.0‰、1.2‰,制备不同配比的香菇鲜味低钠盐样品,依据感官评分标准对样品进行感官评分。

(2) 白砂糖添加量选择

选用非碘晶纯低钠盐为原料,分别添加L-苹果酸0.5‰、香菇提取物0.8‰、5'-呈味核苷酸二钠0.4‰及白砂糖0.6‰、0.8‰、1.0‰、1.2‰、1.4‰、1.6‰,制备不同配比的香菇鲜味低钠盐样品,依据感官评分标准对样品进行感官评分。

(3) L-苹果酸添加量选择

选用非碘晶纯低钠盐为原料,分别添加白砂糖1.0‰、5'-呈味核苷酸二钠0.4‰、香菇提取物0.8‰及L-苹果酸0.1‰、0.3‰、0.5‰、0.7‰、0.9‰、1.1‰,制备不同配比的香菇鲜味低钠盐样品,依据感官评分标准对样品进行感官评分。

(4) 5'-呈味核苷酸二钠添加量选择

选用非碘晶纯低钠盐为原料,分别添加白砂糖1.0‰、L-苹果酸0.5‰、香菇提取物0.8‰及5'-呈味核苷酸二钠0.1‰、0.2‰、0.3‰、0.4‰、0.5‰、0.6‰,制备不同配比的香菇鲜味低钠盐样品,依据感官评分标准对样品进行感官评分。

1.3.2 正交优化试验

根据单因素试验结果,选用香菇提取物(A)、白砂糖(B)、L-苹果酸(C)和5'-呈味核苷酸二钠添加量(D)为试验因

素, 进行 $L_9(3^4)$ 正交试验, 试验因素和水平见表 1, 采用感官评分进行评价, 使得到的产品的外观、口感、鲜味、咸味为最佳, 确定最佳配方。

1.3.3 感官评价

感官评价人员: 感官分析人员的筛选参照相关标准^[19]进行, 筛选出男女各 6 名身体健康、嗅觉与味觉敏感性好的感官评价员组成品尝小组。

感官评价条件: 感官评定的场所应为固定且隔离开来的实验室, 室内干净整洁、不受外界干扰、无异味, 环境温度 25℃、湿度 65% 左右。评价员在评定期间身体应处于健康状态, 避免吃浓香食物及使用强气味的化妆品, 评价时评价员之间不能进行沟通, 避免影响他人^[20]。

感官评价方式: 采用定量描述检验中的量值法^[21], 每个评价员单独对样品进行打分, 评价标准见表 2。记录所有评价员对样品的外观、口感、咸味、鲜味评分结果。

感官评价步骤: 称取一定量样品, 蒸馏水溶解后, 配成 0.8% 的溶液, 并以相同质量分数的非碘晶纯低钠盐溶液作为标准参比液。每次品尝前应用 35℃ 温水漱口, 两次品尝间隔 20 min, 然后由品尝小组依据评分标准表 2, 分别对样品的外观、口感、咸味、鲜味进行评价, 评分结果取 12 人评分的平均值, 最后依据评分结果筛选出最佳配方的香菇鲜味低钠盐^[22]。

1.3.4 电子鼻测定

电子鼻技术是一种新型仿生嗅觉检测技术, 具备快速、无损等优点^[23-24]。采用电子鼻测定产品风味, 参考樊振南等^[25]的方法并略作修改: 取样品 2 g 置于 50 mL 顶空进样瓶, 4℃ 密封 1 h, 25℃ 平衡 30 min 后置于电子鼻测试。参数设置为: 样品准备 5 s, 采样间隔 1 s, 传感器自动清洗 120 s, 传感器归零 5 s, 进样流量 400 mL/min, 测试 80 s, 重复 5 次(各传感器的名称及性能描述见表 3)。

表 1 正交试验因素和水平表
Table 1 Factors and levers of orthogonal test

水平	因素			
	A 香菇提取物/%	B 白砂糖/%	C L-苹果酸/%	D 5'-呈味核苷酸二钠/%
1	0.6	0.8	0.3	0.3
2	0.8	1.0	0.5	0.4
3	1.0	1.2	0.7	0.5

表 2 香菇鲜味低钠盐感官评分标准
Table 2 Sensory evaluation standards of *Lentinus edodes* flavor low sodium salt

分值	性状描述			
	外观	口感	咸味	鲜味
0~20 分	颗粒状, 深土黄色并有褐色颗粒	苦涩味、异味极强, 完全无法接受	基本无咸味	基本无鲜味
21~40 分	颗粒状, 深土黄色	苦涩味、异味很强, 勉强能够接受	咸味较淡, 咸度低于标准参照品	鲜味较淡
41~60 分	颗粒状, 土黄色	苦涩味、异味明显, 但能够接受	咸味适中, 咸度与标准参照品相当	鲜味适中
61~80 分	颗粒状, 微黄	可品尝出一定的苦涩味、异味	咸味较强, 咸度稍高于标准参照品	鲜味较强
81~100 分	颗粒状, 白色	基本品尝不出苦涩味、异味	咸味强烈, 咸度明显高于标准参照	鲜味强烈

表 3 PEN3 电子鼻传感器阵列及其性能特点
Table 3 Sensor array and its performance characteristics of PEN3 electronic nose

序号	传感器名称	敏感物质	参考物质及检出限
S1	W1C	芳香成分	甲苯, 10 mg/kg
S2	W5S	氮氧化物	二氧化氮, 1 mg/kg
S3	W3C	氨水、芳香类化合物	苯, 10 mg/kg
S4	W6S	对氢气有选择性	氢气, 100 μg/kg
S5	W5C	烷烃、芳香类化合物及极性小的化合物	丙烷, 1 mg/kg
S6	W1S	甲烷	甲烷, 100 mg/kg
S7	W1W	硫化物、含硫有机化合物	硫化氢, 1 mg/kg
S8	W2S	乙醇及部分芳香族化合物	一氧化碳, 100 mg/kg
S9	W2W	芳香族化合物、有机硫化物	硫化氢, 1 mg/kg
S10	W3S	烷烃	甲烷, 100 mg/kg

1.3.5 电子舌测定

采用电子舌测定产品滋味, 利用与味蕾细胞工作原理相类似的人工脂膜传感技术, 认知并表征味强度及味特征^[26-27]。样品测试方法为: 准确称取 0.4 g (± 0.0003 g) 样品, 完全溶解于 100 mL 基准液中, 取样 35 mL 上机测试, 重复测定 4 次。

1.3.6 数据处理

采用 Statistical Product and Service Solutions 22.0 软件进行数据分析; 采用电子鼻自带的 Winmuster 软件对数据进行采集分析; 采用电子舌自带的 Taste Analysis System Application 软件对数据进行采集分析。

2 结果与分析

2.1 香菇提取物添加量对感官评分的影响

香菇提取物中含有氨基酸、核苷酸等成分, 这些成分对苦味具有掩蔽作用, 能够改善食盐替代物的不良味觉^[28-30]。香菇提取物添加量在 0.2‰~0.8‰ 范围内, 香菇鲜味低钠盐的感官评分值随着香菇提取物添加量的增加而升高, 当香菇提取物添加量大于 0.4‰ 后, 感官评分增幅变大, 这可能是因为香菇提取物中的鲜味物质达到口腔感知的阈值后, 产品风味开始得到改善, 当香菇提取物添加量增大到 0.8‰ 时, 产品感官评分达最大值, 但当香菇提取物添加量超过 0.8‰ 时, 感官评分开始下降, 这主要因为香菇提取物影响了低钠盐原有的色泽。故选用香菇提取物添加量 0.6‰、0.8‰、1.0‰ 作为正交试验的 3 个水平。

2.2 白砂糖添加量对感官评分的影响

白砂糖能抑制非钠代用盐的苦涩味、掩蔽其异味, 但用量过大会留有余甜。白砂糖添加量在 0.6‰~1.0‰ 范围内, 随着白砂糖添加量的增加, 香菇鲜味低钠盐的感官评分值不断升高, 当白砂糖添加量增大到 1.0‰ 时, 产品感官评分达最大值, 说明在一定范围内甜味可以改善感官质量,

但白砂糖添加量超过 1.0‰ 时, 产品感官评分下降, 这是因为糖含量过高, 产品出现甜腻感。故选用白砂糖添加量 0.8‰、1.0‰、1.2‰ 作为正交试验的 3 个水平。

2.3 L-苹果酸添加量对感官评分的影响

L-苹果酸是一种天然的功能性有机酸味剂, 口感柔和, 自身带有约 1/3 的食盐咸味, 可用作肾脏病人的代盐剂^[31-32]。L-苹果酸添加量在 0.1‰~0.5‰ 范围内, 随着 L-苹果酸添加量的增加, 香菇鲜味低钠盐的苦涩味明显降低, 感官评分值同步不断升高, 当 L-苹果酸添加量增大到 0.5‰ 时, 产品感官评分达最大值, 已基本品尝不出苦味, 但 L-苹果酸添加量超过 0.5‰ 时, 感官评分呈现下降趋势, 这是由于酸涩味的凸显, 导致舌头对咸味感知的敏感度降低, 影响产品咸度。故选用 L-苹果酸添加量 0.3‰、0.5‰、0.7‰ 作为正交试验的 3 个水平。

2.4 5'-呈味核苷酸二钠添加量对感官评分的影响

5'-呈味核苷酸二钠不仅增加鲜味, 还通过阻止人体的味觉感受器在遇到苦味物质时释放味觉特异性蛋白的方式发挥苦味抑制作用^[28]。5'-呈味核苷酸二钠添加量在 0.1‰~0.4‰ 范围内, 随着 5'-呈味核苷酸二钠添加量的增加, 香菇鲜味低钠盐的感官评分值不断升高, 这是由于随着鲜度的增加, 产品适口性逐渐增强, 当 5'-呈味核苷酸二钠添加量增大到 0.4‰ 时, 产品感官评分达最大值, 但 5'-呈味核苷酸二钠添加量超过 0.4‰ 时, 产品感官评分呈现下降趋势, 这可能因为鲜味过重使口腔产生干涩感, 降低了产品综合感官。故选用 5'-呈味核苷酸二钠添加量 0.3‰、0.4‰、0.5‰ 作为正交试验的 3 个水平。

2.5 香菇鲜味低钠盐配方优化正交试验结果与分析

根据单因素试验结果, 选用香菇提取物、白砂糖、L-苹果酸和 5'-呈味核苷酸二钠添加量为试验因素, 以感官评分值为考核指标, 正交试验结果如表 4 所示。

表 4 正交试验设计及结果
Table 4 Design and results of orthogonal test

试验号	A 香菇提取物/‰	B 白砂糖/‰	C L-苹果酸/‰	D 5'-呈味核苷酸二钠/‰	感官评价
1	1	1	1	1	72.4
2	1	2	2	2	94.3
3	1	3	3	3	82.2
4	2	1	2	3	90.5
5	2	2	3	1	89.8
6	2	3	1	2	87.3
7	3	1	3	2	89.3
8	3	2	1	3	84.7
9	3	3	2	1	85.1

表 4(续)

试验号	A 香菇提取物/%	B 白砂糖/%	C L-苹果酸/%	D 5'-呈味核苷酸二钠/%	感官评价
K_1	82.967	84.067	81.467	82.433	
K_2	89.200	89.600	89.967	90.300	
K_3	86.367	84.867	87.100	85.800	
R	6.233	5.533	8.500	7.867	
最佳组合	A_2	B_2	C_2	D_2	

从表 4 的极差分析可知, $R_C > R_D > R_A > R_B$, 各因素对香菇鲜味低钠盐感官评分高低影响顺序为: L-苹果酸>5'-呈味核苷酸二钠>香菇提取物>白砂糖, 根据各水平平均值 K 得出香菇鲜味低钠盐最佳配比为 $A_2B_2C_2D_2$, 即香菇提取物添加量为 0.8‰、白砂糖添加量为 1.0‰、L-苹果酸添加量为 0.5‰、5'-呈味核苷酸二钠添加量为 0.4‰。经过验证性试验, 最佳配比的香菇鲜味低钠盐感官评分达 96.2 分, 产品呈颗粒状, 颜色微黄, 基本品尝不出苦涩味、异味, 咸味强烈, 鲜味明显高于标准参照。

2.6 电子鼻对比分析

采用电子鼻将 2.5 最佳配比的香菇鲜味低钠盐与普通低钠盐、普通精制盐进行电子鼻风味对比分析, 风味雷达图和主成分分析见图 1 和图 2。结果表明, 香菇鲜味低钠盐在传感器 S7、S9 处均有非常明显的响应值差异, 根据表 3 判断, 香菇鲜味低钠盐中含有较为丰富的以硫化氢为代表的含硫有机化合物及芳香族化合物等。主成分分析(principal component analysis, PCA)第一和第二主成分贡献率之和接近 99.02%, 说明包含了很大的信息量, 基本上涵盖了样本的大部分原始信息, 香菇鲜味低钠盐的香气成分与普通精制盐和普通低钠盐差距较大, 而普通精制盐和普通低钠盐香气成分类似, 这可能因为添加的香菇提取物具有特殊风味导致的。

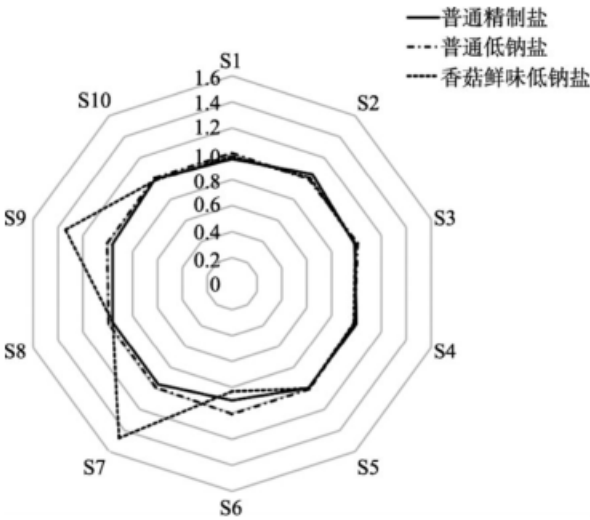


图 1 电子鼻雷达图
Fig.1 Radar map of electronic nose

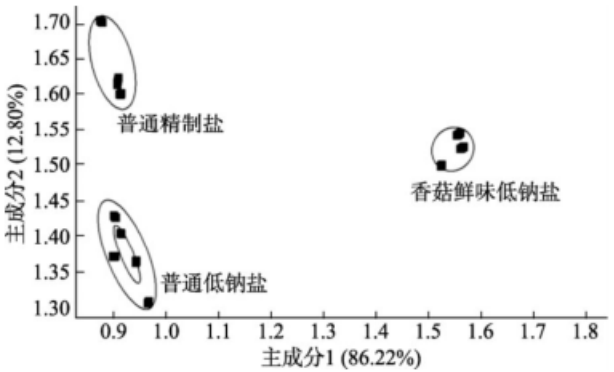


图 2 不同盐产品的主成分分析图
Fig.2 Principal component analysis of different salt products

2.7 电子舌对比分析

通过电子舌对香菇鲜味低钠盐、普通低钠盐与普通精制盐进行滋味分析, 从图 3 和表 5 可以看出, 普通低钠盐略有苦味、涩味、苦味回味和涩味回味, 而香菇鲜味低钠盐苦味、涩味、苦味回味和涩味回味均在无味点以下, 说明经过风味干预可以有效控制普通低钠盐可能带来的口感不适; 香菇鲜味低钠盐鲜味值 1.06 和丰富性值 0.22 显著高于普通精制盐的-0.10 和-0.11 及普通低钠盐的-0.14 和-0.05, 咸味值 6.08 略高于普通低钠盐, 与精制盐无显著差异, 这说明产品在增加鲜味的同时, 可以在一定程度上增强咸味的感知; 酸味值与其余两款盐产品强度值之差小于 1, 通过感官鉴评的方法无法区分开来^[33], 并且感官评价员未品尝出酸味。

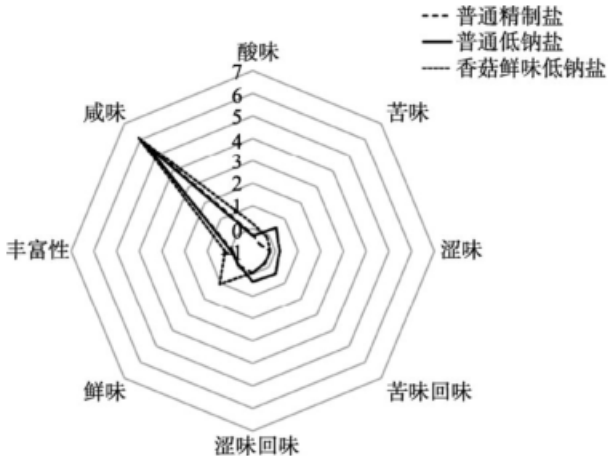


图 3 电子舌雷达图
Fig.3 Radar map of electronic tongue

表 5 电子舌试验数据
Table 5 Test data of electronic tongue

样品	酸味	苦味	涩味	苦味回味	涩味回味	鲜味	丰富性	咸味
普通精制盐	-0.26	-0.57	-0.23	-0.26	-0.05	-0.10	-0.11	6.11
普通低钠盐	-0.32	0.46	0.19	0.42	0.35	-0.14	-0.05	5.56
香菇鲜味低钠盐	0.22	-0.12	-0.22	-0.24	-0.05	1.06	0.22	6.08

注: 所有数据均是基准溶液(人工唾液)为标准的绝对输出值, 电子舌测试人工唾液的状态模拟人口腔中只有唾液时的状态; 人工唾液的 8 个味觉测定值均接近 0; 酸味值低于-13 为无味值, 咸味值低于-6 为无味值。

3 结论与讨论

香菇鲜味低钠盐最佳配比为香菇提取物添加量为 0.8%、白砂糖添加量为 1.0%、L-苹果酸添加量为 0.5%、5'-呈味核苷酸二钠添加量为 0.4%, 在此条件下, 香菇鲜味低钠盐感官评分达 96.2 分, 产品呈颗粒状、颜色微黄, 基本品尝不出苦涩味、异味, 咸味强烈, 鲜味明显高于标准参照。与普通精制盐和普通低钠盐相比, 产品含有较为丰富的含硫有机化合物及芳香族化合物; 电子舌测定的苦味、涩味、苦味回味和涩味回味均在无味点以下且均低于普通低钠盐, 鲜味和丰富性显著高于其他两款食盐, 咸味略高于普通低钠盐, 与精制盐无显著差异, 酸味与其余两款盐产品之差小于 1, 通过感官品评无法区分。香菇鲜味低钠盐的研究, 在一定程度上缓解了由于普通低钠盐带有金属苦涩味导致消费者购买意愿降低的问题, 同时有减钠增咸的效果, 产品符合国家“三减三健”的号召, 为进一步完成全民减盐计划提供了理论依据和实践经验。

参考文献

[1] 赵岑. 猪肉低钠替代盐的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2015.
ZHAO Q. Study on low sodium substitute salt in pork [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.

[2] 付蕾. 补充不同组成成分运动饮料对耐力运动体液平衡指标的影响[D]. 上海: 上海体育学院, 2015.
FU L. Effects of sports drinks containing different components on fluid balance during endurance training [D]. Shanghai: Shanghai University of Sport, 2015.

[3] 王红艳, 勾萌, 肖蓉, 等. 钠离子通道疾病及其抑制剂生物学功能研究进展[J]. 生物工程学报, 2014, 30(6): 875-890.
WANG HY, GOU M, XIAO R, et al. Progress in the sodium channelopathies and the biological functions of voltage-gated sodium channel blockers [J]. Chin J Biotechnol, 2014, 30(6): 875-890.

[4] 郭秀云, 张雅玮, 彭增起. 食盐减控研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(21): 374-378.
GUO XY, ZHANG YW, PENG ZQ. Research progresses in reduction and control of salt intake [J]. Food Sci, 2012, 33(21): 374-378.

[5] 严雅丽. 新型植物盐及其对血压的调控作用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
YAN YL. Study on novel plant salt and its regulating effect on blood pressure [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2021.

[6] 张雅玮, 郭秀云, 彭增起. 食盐替代物研究进展[J]. 肉类研究, 2011, 25(2): 36-38.
ZHANG YW, GUO XY, PENG ZQ. A review of research progress in salt substitutes [J]. Meat Res, 2011, 25(2): 36-38.

[7] 朱伟星, 雒敏, 何亚丁, 等. 钾在水产动物中的生理作用和营养代谢功能[J]. 动物营养学报, 2014, 26(5): 1174-1179.
ZHU WX, JU M, HE YD, et al. Physiological and nutrient metabolic functions of potassium in aquatic animals [J]. Chin J Anim Nutr, 2014, 26(5): 1174-1179.

[8] 苏家齐, 祝华萍, 朱长波, 等. 盐度和钠离子/钾离子对凡纳滨对虾幼虾存活与组织结构的影响[J]. 南方水产科学, 2021, 17(5): 45-53.
SU JQ, ZHU HP, ZHU CB, et al. Effects of salinity and Na⁺/K⁺ ratio on survival and histological structure of *Litopenaeus vannamei* [J]. South China Fish Sci, 2021, 17(5): 45-53.

[9] 王良友, 陈慈男, 杜晓甫, 等. 钠钾比值干预法对高血压患者血压控制效果的研究[J]. 中国慢性病预防与控制, 2021, 29(5): 365-368.
WANG LY, CHEN CN, DU XF, et al. Study on the effect of sodium-potassium ratio intervention on blood pressure control in patients with hypertension [J]. Chin J Prev Control Chron Dis, 2021, 29(5): 365-368.

[10] 崔国梅, 许方方, 李顺峰, 等. 香菇精深加工及生物活性研究进展[J]. 中国农学通报, 2021, 37(7): 132-137.
CUI GM, XU FF, LI SF, et al. Deep processing and bioactivity study of *Lentinus edodes*: Research progress [J]. Chin Agric Sci Bull, 2021, 37(7): 132-137.

[11] 陈昭君, 孙培龙, 何荣军. 香菇香味成分分离及分析研究的进展(述评)[J]. 食药菌, 2012, 20(3): 147-151.
CHEN ZJ, SUN PL, HE RJ. Research progress on separation and analysis of aroma components of *Lentinus edodes* [J]. Edible Med Mushrooms, 2012, 20(3): 147-151.

[12] 李治平, 刘娟汝, 陈艳, 等. 不同产地香菇氨基酸组成及营养价值评价[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(3): 167-172.
LI ZP, LIU JR, CHEN Y, et al. Amino acid composition and nutritional value evaluation of *Lentinus edodes* from different habitats [J]. Storage Process, 2020, 20(3): 167-172.

[13] 李延年, 王文亮, 贾凤娟, 等. 香菇呈味物质研究进展及产品开发[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(10): 186-192.
LI YN, WANG WL, JIA FJ, et al. Flavor compounds research progress and product development of *Lentinus edodes* [J]. Food Res Dev, 2021, 42(10): 186-192.

[14] 王文亮, 孙卿, 曹世宁, 等. 香菇风味物质形成机理研究进展[J]. 山东农业科学, 2015, 47(6): 145-147.
WANG WL, SUN Q, CAO SN, et al. Research progress on formation

- mechanism of flavor compounds in *Lentinus edodes* [J]. Shandong Agric Sci, 2015, 47(6): 145–147.
- [15] 余雄涛, 潘鸿辉, 谢意珍. 食用菌风味物质的研究及应用进展[J]. 中国食用菌, 2013, 32(3): 4–7.
- YU XT, PAN HH, XIE YZ. Research and application progress on flavor substances of edible mushrooms [J]. Edible Fungi China, 2013, 32(3): 4–7.
- [16] 樊振南, 岳元媛, 汪姣玲, 等. 香菇风味调味盐配方研究[J]. 盐科学与化工, 2021, 50(11): 14–17.
- FAN ZN, YUE YY, WANG JL, et al. Study on the formula of mushroom flavor seasoning salt [J]. J Salt Sci Chem Ind, 2021, 50(11): 14–17.
- [17] 张婷婷, 丁妮微, 张宾乐. 香菇酶法制备调味品基料的工艺优化[J]. 食品工业科技, 2021, 42(8): 199–205.
- ZHANG TT, DING RW, ZHANG BL. Process optimization of enzymatic preparation of condiment base material by *Lentinus edodes* [J]. Sci Technol Food Ind, 2021, 42(8): 199–205.
- [18] 李延年. 香菇复配草菇酶解鲜味物质的研究与产品开发[D]. 泰安: 山东农业大学, 2021.
- LI YN. Study on flavor substances of the enzymatic hydrolysate of *Lentinus edodes* mixed with *Volvaria volvacea* and product development [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2021.
- [19] 徐树来, 王永华. 食品感官分析与实验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2010.
- XU SL, WANG YH. Food sensory analysis and experiment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010.
- [20] HARRY TL, HILDEGARDE, HEYMANN. 食品感官评价原理与技术[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- HARRY TL, HILDEGARDE, HEYMANN. Principle and technology of food sensory evaluation [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- [21] 张水华, 徐树来, 王永华. 食品感官分析与实验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- ZHANG SH, XU SL, WANG YH. Food sensory analysis and experiment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.
- [22] 马永强, 韩春然, 刘静波. 食品感官检验[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- MA YQ, HAN CR, LIU JB. Food sensory inspection [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2005.
- [23] 牟心泰, 杜险峰. 电子鼻与电子舌在食品行业的应用[J]. 现代食品, 2020, (5): 118–119, 126.
- MOU XT, DU XF. Application of electronic nose and electronic tongue in food industry [J]. Mod Food, 2020, (5): 118–119, 126.
- [24] 李永杰, 唐月, 李慧瑶, 等. 基于智能感官和气质联用技术研究食盐添加量对风干肠风味特征的影响[J/OL]. 食品科学: 1–16. [2022-02-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210524.0942.034.html>
- LI YJ, TANG Y, LI HY, et al. Analysis of flavor profiles of dry sausages with different NaCl addition levels based on the combination of intelligent sensory technology and gas chromatography-mass spectrometry [J/OL]. Food Sci: 1–16. [2022-02-16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210524.0942.034.html>
- [25] 樊振南, 易翠平, 祝红, 等. 植物乳杆菌发酵对鲜湿米粉品质的影响: II. 食味品质[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(1): 7–12.
- FAN ZN, YI CP, ZHU H, et al. Effects of lactobacillus plantarum fermentation on the quality of fresh and wet rice flour: II. eating quality [J]. J Cere Oils Ass, 2018, 33(1): 7–12.
- [26] 王栋轩, 卫雪娇, 刘红蕾. 电子舌工作原理及应用综述[J]. 化工设计通讯, 2018, 44(2): 140–141.
- WANG DX, WEI XJ, LIU HL. Electronic tongue working principle and its application [J]. Chem Eng Des Commun, 2018, 44(2): 140–141.
- [27] 苏智敏, 黄小平, 刘飞, 等. 电子舌技术在食用盐模糊感官评价中的应用[J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 53–56.
- SU ZM, HUANG XP, LIU F, et al. Application of electronic tongue technology in fuzzy sensory evaluation of edible salt [J]. Food Mach, 2020, 36(8): 53–56.
- [28] 廖帆. 非钠代用盐的开发、口感改良及应用研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- LIU F. Research on the development, taste improvement and application of a non-sodium salt [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.
- [29] 徐斌, 马冬磊, 刘忠. 苦味受体抑制剂研究进展[J]. 中国医药工业杂志, 2015, 46(7): 767–773.
- XU B, MA DL, LIU Z. Research progress in bitter taste receptor inhibitors [J]. Chin J Pharm, 2015, 46(7): 767–773.
- [30] 侯杰, 孙启星, 邓冲, 等. 酵母抽提物风味成分研究进展[J]. 中国酿造, 2018, 37(11): 13–16.
- HOU J, SUN QX, DENG C, et al. Research progress of flavor components in yeast extracts [J]. China Brew, 2018, 37(11): 13–16.
- [31] 吴军林, 吴清平, 张菊梅, 等. L-苹果酸的生物学功能研究新进展[J]. 食品工业, 2015, 36(9): 225–228.
- WU JL, WU QP, ZHANG JM, et al. New studies and progress of biological function of L-malate [J]. Food Ind, 2015, 36(9): 225–228.
- [32] 王仕钰, 张立彦. 有机酸味剂对低钠盐增咸作用的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(6): 370–373.
- WANG SY, ZHANG LY. Enhancing effects of organic acids on saltiness of low-sodium salt [J]. Sci Technol Food Ind, 2012, 33(6): 370–373.
- [33] 刘佳, 黄淑霞, 余俊红, 等. 基于电子舌技术的啤酒口感评价及其滋味信息与化学成分的相关性研究[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(2): 196–201, 206.
- LIU J, HUANG SX, YU JH, et al. Beer taste evaluation using electronic tongue and the relationship between sensor information and flavor compounds [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(2): 196–201, 206.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



汪姣玲, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食盐及相关食品研发。
E-mail: sansewjl@sina.com



岳元媛, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食盐及相关食品研发、标准研究与质量检测。
E-mail: 13554829@qq.com