DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260209001
引用格式: 张智恒, 马佳宁, 孙海誉, 等. 葡萄糖发酵物复合原料在酱腌菜中的应用[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(11): 77–84.
ZHANG ZH, MA JN, SUN HY, *et al*. Application of combination of glucose fermentation products with other raw materials in pickled vegetables [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(11): 77–84. (in Chinese with English abstract).

葡萄糖发酵物复合原料在酱腌菜中的应用

张智恒[1,2*], 马佳宁[1,2], 孙海誉[3], 赵维武[1,2], 刘全亮[4,5*]

(1. 新乡添翊生物科技有限公司, 新乡 453000; 2. 新乡食安通生物科技有限公司, 新乡 453000;
3. 山东元泰生物工程有限公司, 日照 276800; 4. 定西市农业科学研究院, 定西 743000;
5. 定西宽粉产业研究院, 定西 743000)

摘 要: 目的 探究葡萄糖发酵物复合原料对 37 ℃贮藏条件下酱腌菜质量的影响。**方法** 本研究选用食品原料葡萄糖发酵物、食醋粉、大豆膳食纤维, 以腌萝卜为考察对象, 通过单因素实验和 $L_9(3^4)$正交实验, 考察 3 种食品原料单独使用时对酱腌菜感官品质和货架期的影响并得出最佳物理复合比例。**结果** 3 种原料单独使用时, 都可有效改善酱腌菜的感官品质, 抑制酱腌菜菌落总数的升高。3 种原料共同使用——葡萄糖发酵物添加 1.5 g/kg, 食醋粉添加 1.5 g/kg, 大豆膳食纤维添加 4.0 g/kg 时, 可使酱腌菜在 37 ℃条件下贮藏 24 d, 保持良好的感官品质, 菌落总数不超过 5.88 lg(CFU/g), 大肠菌群不超过 2.99 lg(CFU/g), 氨基酸态氮不低于 0.12 g/kg。与使用脱氢乙酸钠达到的货架期时间相同, 优于使用山梨酸钾。**结论** 使用食品原料葡萄糖发酵物、食醋粉、大豆膳食纤维可有效提高酱腌菜在货架期期间的各项品质, 抑制腐败微生物生长, 替代常用化学防腐剂, 为酱腌菜产业绿色升级提供了可靠的方案。

关键词: 葡萄糖发酵物; 食醋粉; 大豆膳食纤维; 酱腌菜

Application of combination of glucose fermentation products with other raw materials in pickled vegetables

ZHANG Zhi-Heng[1,2*], MA Jia-Ning[1,2], SUN Hai-Yu[3], ZHAO Wei-Wu[1,2], LIU Quan-Liang[4,5*]

(1. *Xinxiang Tianyi Biotechnology Co*., *Ltd.*, *Xinxiang* 453000, *China*; 2. *Xinxiang Food Safety Insights Biotech Co*., *Ltd*., *Xinxiang* 453000, *China*; 3. *Yota Bio-Engineering Co*., *Ltd*., *Rizhao* 276800, *China*; 4. *Dingxi Academy of Agricultural Sciences*, *Dingxi* 743000, *China*; 5. *Dingxi Kuanfen Industry Research Institute*, *Dingxi* 743000, *China*)

ABSTRACT: Objective To investigate the effects of glucose fermentation products with other raw materials on the quality of pickled vegetables during storage at 37 ℃. **Methods** The 3 kinds of food raw materials—glucose fermentation products, vinegar powder and soybean dietary fiber were selected. And the pickled radish was as the test object. The effects on the sensory quality and shelf life of pickled vegetables with three food materials used individually were investigated through single-factor experiment. The optimal physical mixing ratio had been

收稿日期: 2026-02-09
基金项目: 东西部科技协作专项(津甘合作、鲁甘合作)(24CXNJO06)
第一作者/*通信作者: 张智恒(1989—), 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品添加剂的应用。E-mail: 973674027@qq.com
***通信作者:** 刘全亮(1987—), 男, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为农产品深加工。E-mail: 312074843@qq.com

determined through an $L_9(3^4)$ orthogonal array design. **Results** When 3 kinds of materials were used alone, the sensory quality of pickled vegetables was improved effectively and aerobic plate count was suppressed. The combination of 3 kinds of materials was 1.5 g/kg of glucose fermentation products, 1.5 g/kg of vinegar powder and 4.0 g/kg of soybean dietary fiber. The pickled vegetables were stored for 24 days at 37 ℃ with satisfactory sensory quality, aerobic plate count no more than 5.88 lg(CFU/g), coliforms no more than 2.99 lg(CFU/g) and amino acid nitrogen no less than 0.12 g/kg. The shelf life achieved was the same as that reached by using sodium dehydroacetate and superior to that achieved by using potassium sorbate. **Conclusion** Various qualities of pickled vegetables are effectively enhanced during their shelf life with the use of glucose fermentation products, vinegar powder and soybean dietary fiber. The common chemical preservatives are replaced to inhibit the growth of spoilage microorganisms. The reliable solution is provided for the green upgrading of the pickled vegetable industry.

KEY WORDS: glucose fermentation products; vinegar powder; soybean dietary fiber; pickled vegetables

0 引 言

酱腌菜是以新鲜蔬菜为主要原料，使用腌渍或酱渍工艺制作的蔬菜制品[1]。它的品类和风味多样化，具有鲜、甜、辣、辛、咸、脆、嫩等各种口味，是具有中国特色的传统美食[2]。早期社会的工业化程度不高，酱腌菜作为一种调节蔬菜淡旺季的食品，独特的经济价值使它具有高盐、高糖或高酸等属性[3]。但随着社会的发展，酱腌菜逐渐被保留下来成为人们喜欢的佐餐小菜，并向低盐低糖高营养等方向发展。盐分、糖分等物质的减少，势必引起酱腌菜自身防腐能力的减弱，需要引入食品防腐剂[4]。一般，酱腌菜企业规模都较小，对食品防腐剂的控制管理不够严格，易造成山梨酸钾、脱氢乙酸钠、苯甲酸钠等超标[5]。另外，整个食品行业也在积极探寻天然来源的原料，以替代传统化学添加剂[6]。鉴于以上情况，本研究特选用既能改善风味，又能稳定货架期的新型食品原料，来满足酱腌菜行业清洁标签化的需求[7]。葡萄糖发酵物，是以食用葡萄糖、酵母抽提物为主要原料，经国家规定的可食用益生菌发酵而制得的天然固体食品原料[8]。它含有多种聚氨基酸、多肽和有机酸类，可作用于食品腐败微生物细胞壁，使其破裂，也可降低食品体系中的水分活度，抑制腐败微生物生长[9]。目前，葡萄糖发酵物已用于腌制鸡胸肉，抑制李斯特菌和沙门氏菌的生长；用于辣椒柠檬酱，重点抵御耐渗酵母的侵害。食醋粉，是以玉米糖和蔗糖为培养基、食品益生菌为菌种发酵而成的天然固体醋，富含醋酸、乳酸和多酚等多种活性成分，可以作用于有害微生物，破坏其细胞结构与代谢过程，进而抑制其生长繁殖[10]。食醋粉现已用于鲜湿面领域，以抑制枯草芽孢杆菌、金黄色葡萄球菌引起的鲜湿面发酸发黏。大豆膳食纤维，是以非转基因大豆的副产物大豆皮、大豆渣为原料，经过提纯、分离、干燥、粉碎等处理而得到的纯天然物质[11]。它具有一定的保健性、抑菌性、胶着性和成膜性，可以吸附在食品表面，阻隔空气中的氧气、微生物与食品接触，进而起到稳定货架期的作用[12]。大豆膳食纤维，常与茶多酚、苦瓜多糖等一起使用，在鲜切水果表面涂膜，用以防止氧化和阻止根霉菌、青霉菌的侵袭。

本研究选用葡萄糖发酵物、食醋粉和大豆膳食纤维为原料，来改善酱腌菜的风味和货架期，通过单因素和正交实验，得到 3 者单独使用和最佳添加量复合使用时对酱腌菜质量的影响，以期为酱腌菜产业的创新升级和可持续发展做好铺垫。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

新鲜白萝卜、食用盐、白砂糖、味精、花椒粉、辣椒粉、大豆油、食醋、生抽酱油(原阳县光洋博大百货有限公司)；葡萄糖发酵物(食品级，山东元泰生物工程有限公司)；食醋粉(河南伟创生物科技有限公司)；大豆膳食纤维(食品级，平顶山金晶生物科技股份有限公司)。

乙醇(分析纯，天津市致远化学试剂有限公司)；甲醛溶液(分析纯，烟台市双双化工有限公司)；平板计数琼脂(上海博微生物科技有限公司)；氯化钠(分析纯，佛山西陇化工有限公司)；结晶紫中性红胆盐琼脂、酚酞(天津市众联化学试剂有限公司)；煌绿乳糖胆盐肉汤(广东中山百微生物技术有限公司)；氢氧化钠标准滴定溶液(摩尔浓度 0.0500 mol/L，山东普惠分化学科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

SN-MS-H280D 普通磁力搅拌器、101-2B 电热鼓风干燥箱(上海尚普仪器设备有限公司)；PHS-3E pH 计(上海仪电科学仪器股份有限公司)；DHP-500S 电热恒温培养箱(北京市永光明医疗仪器有限公司)；SPX-250B-ZII 生化培养箱、BXM-85EI 立式压力蒸汽灭菌器、BSC-1360A2 生物安全柜(上海博迅医疗生物仪器股份有限公司)；HH-4 恒温水浴锅(河南日月商用厨具有限公司)；JE3002 电子天平(精度 0.01 g，上海浦春计量仪器有限公司)；DK-II 实验电炉(天

津赛得利斯实验分析仪器制造厂); FA1004 电子天平(精度 0.1 mg, 上海上平仪器有限公司); HX-4GM 拍打式均质器(上海沪析实业有限公司); XJT-TS350 食品脱水机(广州欣加特机械设备有限公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品制备

工艺流程: 原料挑选→清洗切片→烘干→复水切丁→盐腌→脱水拌料→包装。

操作要点: (1)挑选无病虫害、不空心、无机械损伤的白萝卜;

(2)清洗掉表面的泥污, 削叶去须, 不处理皮, 用刀切成 1.0 cm 宽和 1.0 cm 厚的条状, 整齐摆入托盘[13];

(3)干燥箱温度设置为 70 ℃, 温度到达后, 快速将托盘放入, 计时烘干 48 h, 期间每 4 h 翻一次面[14];

(4)干燥后的萝卜条用 1:10(萝卜条与清水质量比)的清水浸泡 2 h, 脱水 1 min, 用刀切成 1 cm^3 的小丁[15];

(5)小丁称重, 加入食盐, 混合均匀, 腌制 24 h, 食盐用量按照 1 kg 小丁添加 15 g;

(6)再次脱水 1 min, 重新称重萝卜丁, 按照 1 kg 萝卜丁添加 4 g 白砂糖、2 g 味精、2 g 花椒粉、20 g 辣椒粉, 混合均匀, 再添加 60 g 熟油(大豆油加热到 160 ℃冷却)、4 g 食醋、4 g 生抽;

(7)包装采用聚乙烯包装袋, 无需抽真空, 但需排空袋内气体, 热封口。

1.3.2 单一原料对酱腌菜质量的影响

3 种食品原料都需先和粉体调味料预混合放大, 然后由粉体调味料带入酱腌菜中。以成品酱腌菜的质量为基准, 分别向酱腌菜中加入 0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 g/kg 的葡萄糖发酵物; 0、0.3、0.6、0.9、1.2、1.5、1.8 g/kg 的食醋粉; 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 g/kg 的大豆膳食纤维。将制作的酱腌菜用无菌的聚乙烯包装袋密闭封存, 放入 37 ℃、相对湿度 70%的生化培养箱中, 72 h 时进行感官评分, 检测菌落总数。

1.3.3 正交实验

根据单一原料对酱腌菜质量的影响结果, 以葡萄糖发酵物添加量、食醋粉添加量、大豆膳食纤维添加量为因素, 以感官评分和菌落总数为评判指标, 设计 4 因素 3 水平正交实验, 由表 1 所示。

表 1　正交实验设计及因素水平

Table 1　Orthogonal experimental design and factor level

水平	因素			
	A(葡萄糖发酵物添加量)/(g/kg)	*B*(食醋粉添加量)/(g/kg)	*C*(大豆膳食纤维)/(g/kg)	*D*(空列)
1	1.0	0.9	3.0	1
2	1.5	1.2	4.0	2
3	2.0	1.5	5.0	3

1.3.4 3 种原料最佳添加量对酱腌菜质量影响的验证

通过正交实验得到的最佳添加量: 葡萄糖发酵物添加 1.5 g/kg, 食醋粉添加 1.5 g/kg, 大豆膳食纤维添加 4.0 g/kg, 为方便后续验证, 可以将 3 种原料按照 21.43%、21.43%、57.14%的比例先物理混合, 做成复合原料, 此时复合原料在酱腌菜中的添加量为 7.0 g/kg。用复合原料制作酱腌菜, 同时制作未添加复合原料的酱腌菜作为空白对照, 添加 1.0 g/kg 山梨酸钾和添加 0.3 g/kg 脱氢乙酸钠的 2 组作为化学防腐剂对照。将 4 种酱腌菜分别密封包装, 放入 37 ℃、相对湿度 70%的生化培养箱中进行加速实验。在 0、3、6、12、15、21、24 d 时间点取样, 进行感官评价, 并检测氨基酸态氮、菌落总数、大肠菌群、沙门氏菌、金黄色葡萄球菌。

1.3.5 感官评价

参照牛广财等[16]的方法并做了适当修改。以 6 名食品专业人员作为感官评价小组, 分别从色泽、形态、气味、滋味 4 个方面进行感官评定, 打出评分值, 取平均值, 具体各项标准见表 2。

表 2　感官评分标准

Table 2　Sensory evaluation criteria

项目	评分标准	感官评分/分
色泽 (20 分)	有光泽, 色泽橙黄, 辣椒粉呈现应有的红色	16~20
	色泽较黄, 较新鲜	10~15
	色泽黯淡无光, 有发黑或长毛等异常现象	0~9
形态 (30 分)	形态饱满, 脆嫩, 有嚼劲	24~30
	形态较饱满, 生脆, 无嚼劲	16~23
	形态明显萎缩, 难以咀嚼	0~15
气味 (30 分)	具有该产品所特有的香味, 无不良异味	24~30
	香味较淡, 不协调	16~23
	气味不正常, 有哈喇味或霉味等怪味	0~15
滋味 (20 分)	滋味适中、协调, 有鲜味	16~20
	滋味一般, 无鲜味	10~15
	有发酸或发馊等异味	0~9

1.3.6 微生物检测

菌落总数按照 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》检测; 大肠菌群按照 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》检测; 沙门氏菌按照 GB 4789.4—2024《食品安全国家标准 食品微生物学检验 沙门氏菌检验》检测; 金黄色葡萄球菌按照 GB 4789.10—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 金黄色葡萄球菌检验》检测。

1.3.7 理化检验

氨基酸态氮按照 GB/T 5009.54—2003《酱腌菜卫生标准的分析方法》检测。

1.4 数据处理

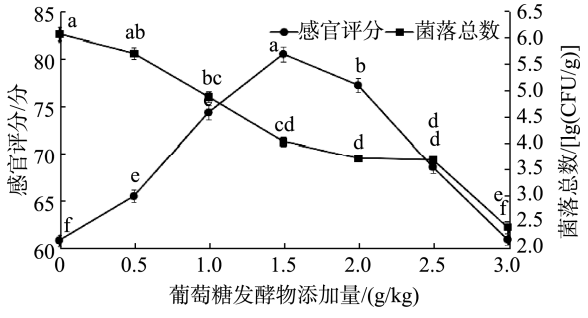
数据分析采用 IBM SPSS Statistics 25 进行，采用单因素方差分析结合多重比较法，以 0.05 作为显著性差异的临界值。制作图表采用 WPS 表格 12.1.0.24657 进行。

2 结果与分析

2.1 葡萄糖发酵物添加量对酱腌菜质量的影响

食品的感官是呈现给消费者的最直接的因素，也是决定消费者购买欲望的重要因素[17]。感官评价不合格，即使其他指标符合相关标准，也不会被消费者认可和接受[18]。葡萄糖发酵物添加量对感官评分的影响具有显著性(P<0.05)。由图 1 可知，随着葡萄糖发酵物添加量的提高，酱腌菜的感官评分呈现先增加后降低的趋势。在葡萄糖发酵物添加量为 1.5 g/kg 时，酱腌菜感官评分达到最大值 80.6 分。这是由于葡萄糖发酵物富含聚氨基酸、多肽和有机酸，这些成分可以使游离水转化为结合水，具有一定的保持水分的作用；同时，3 种成分也具有抑制腐败微生物的效果，能减少因为微生物增殖引起的异味、变色和形态萎缩等[19]。这和孔萱等[20]研究的相一致，葡萄糖发酵物可以代替大部分的脱氢乙酸钠，在卤煮鸡胸肉冷藏期内能较好地维持产品的品质，使感官评分处于较高水平。葡萄糖发酵物自身具有发酵风味，也含有酸性物质，添加量大时会影响酱腌菜风味，造成不协调。

菌落总数指的是食品经过一些列的处理、培养后，所得到的每单位样品中形成的微生物菌落的数量，它体现了食品的新鲜程度或者加工过程中污染微生物的程度[21]。葡萄糖发酵物添加量对菌落总数的影响具有显著性(P<0.05)。图 1 显示，在葡萄糖发酵物添加量达到 1.5 g/kg 之前，随着葡萄糖发酵物添加量的增加，菌落总数呈现快速下降趋势；随后添加量在 1.5~2.5 g/kg 区间时，菌落总数下降趋势变缓；继续增加添加量，菌落总数陡然降低。



注：图中不同小写字母表示组间具有显著性差异(P<0.05)，下图同。

图 1 葡萄糖发酵物添加量对酱腌菜感官评分和菌落总数的影响(n=3)

Fig.1 Effects of additive amount of glucose fermentation products on sensory evaluation and aerobic plate count of pickled vegetables (n=3)

酱腌菜在腐败过程中，其中的微生物种类和数量呈现动态变化，主要的优势腐败菌为不动杆菌属和芽孢杆菌属[22]。芽孢杆菌属遇到恶劣环境时，能形成芽孢，具有一定的抗逆能力[23]。葡萄糖发酵物添加量达不到 2.5 g/kg 时，无法突破芽孢外面多层厚而致密的细胞壁结构[24]，就不能对芽孢造成有效伤害。综上，整体观察图 1 中菌落总数曲线趋势，可知葡萄糖发酵物的添加，能显著降低菌落总数，对引起酱腌菜腐败的微生物具有抑制作用，对比曲线的两端，葡萄糖发酵物添加量分别为 0 和 3.0 g/kg 时，菌落总数由 6.08 lg(CFU/g)降至 2.40 lg(CFU/g)。综合考虑葡萄糖发酵物添加量对酱腌菜感官评分和菌落总数的影响，葡萄糖发酵物最优添加量为 1.5 g/kg。

2.2 食醋粉添加量对酱腌菜质量的影响

有机酸是食醋粉的重要组成成分，食醋粉在喷雾干燥的过程中，挥发性的有机酸大量损失，不挥发性的有机酸，得到富集[25]。这种效应造就了食醋粉独特的口感，也使食醋粉具有抗菌、抗炎等效果[26]。食醋粉添加量对酱腌菜感官评分和菌落总数的影响具有显著性(P<0.05)。如图 2 所示，食醋粉添加量对感官评分的影响呈现先上升后下降的趋势。在添加量达到 1.2 g/kg 之前，随着食醋粉添加量的增加，感官评分呈现明显上升趋势，尤其在 0.3 g/kg 至 1.2 g/kg 区间，几乎呈线性增加。当食醋粉添加量到达 1.2 g/kg 时，酱腌菜感官评分达到最大值 78.8 分。此时食醋粉呈现的独特风味与酱腌菜自身的风味相融合，口感协调；食醋粉中含有的多酚黄酮类物质、川芎嗪等具有抗氧化作用[27]，也可维持酱腌菜的色泽、气味在较佳的状态。食醋粉的添加量继续增大时，酸味开始遮蔽部分其他风味，造成口感、气味不协调，感官评分开始下降。

食醋粉中的各种活性物质对造成酱腌菜腐败变质的微生物具有一定抑制作用[28]。菌落总数随着食醋粉添加量的增加，呈现下降趋势，在添加量达到 0.6 g/kg 之前，下降趋势较缓；在添加量到达 0.6 g/kg 甚至更高时，下降趋势明显。综合考虑食醋粉添加量对酱腌菜感官评分和菌落总数的影响，食醋粉最优添加量为 1.2 g/kg。

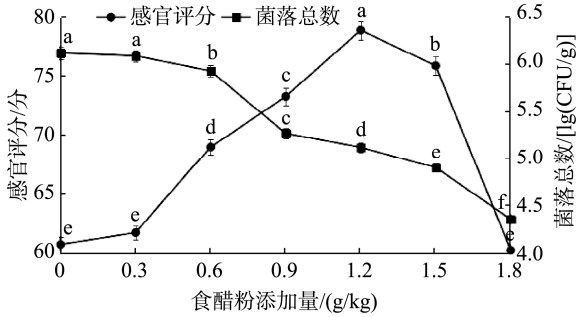


图 2 食醋粉添加量对酱腌菜感官评分和菌落总数的影响(n=3)

Fig.2 Effects of additive amount of vinegar powder on sensory evaluation and aerobic plate count of pickled vegetables (n=3)

2.3　大豆膳食纤维添加量对酱腌菜质量的影响

由图 3 可知，大豆膳食纤维添加量对酱腌菜感官评分和菌落总数具有显著影响(P<0.05)。大豆膳食纤维的添加量对感官评分的影响曲线呈现反“S”型。在添加量小于 1.0 g/kg 时，大豆膳食纤维不能在酱腌菜表面形成有效保护层来隔绝外部不良因素侵袭，甚至其含有的少量糖蛋白还会促进酱腌菜的氧化，造成随着添加量的增加，感官评分反而下降[29]。在大豆膳食纤维添加量在 1.0~3.0 g/kg 区间时，随着大豆膳食纤维添加量的增加，感官评分陡然增加。此时，大豆膳食纤维能在酱腌菜表面形成有效隔绝层，阻隔氧气和微生物接触产品；同时，具有的持水性和黏稠性也使酱腌菜在一定时间内维持饱满的状态，并且锁定风味不散失[30]。继续增加大豆膳食纤维添加量处于 3.0~5.0 g/kg 区间时，感官评分增高趋势不明显，这是由于大豆膳食纤维成膜性和持水性已趋于饱和，对感官评分的影响减小。当大豆膳食纤维添加量大于 5.0 g/kg 时，由于大豆膳食纤维自身的味道和口感，造成酱腌菜呈现微量腥味、口感粗糙，感官评分开始下降。

大豆膳食纤维在较高添加量时可以抑制酱腌菜菌落总数的增长，主要依赖于它的胶着性、成膜性和微量寡糖的抑菌性[31]。由图 3 可知，大豆膳食纤维添加量低于 3 g/kg 时，由于整体抑菌性能的不足，菌落总数下降趋势十分有限。当大豆膳食纤维添加量大于 3.0 g/kg 时，随着大豆膳食纤维添加量的增加，菌落总数呈现明显下降趋势。综合考虑经济因素、大豆膳食纤维添加量对酱腌菜感官评分和菌落总数的影响，大豆膳食纤维最优添加量为 4.0 g/kg。

2.4　正交优化实验

根据单因素实验结果，以葡萄糖发酵物添加量、食醋粉添加量、大豆膳食纤维添加量为因素，以感官评分和菌落总数为评判指标，采用正交实验优化 3 种原料复合使用时的最佳添加量，如表 3 所示。通过极差分析可得，各因素对两项指标的影响主次情况不存在差异，影响程度都是 $A>B>C$。每个指标分析最佳复合添加量：当以感官评分为指标时，K 越大，感官评分越高，此时最佳添加量为 $A_2B_3C_2$；当以菌落总数为指标时，K 越小，菌落总数越低，此时最佳添加量为 $A_2B_3C_2$。两种最优组合相同，即葡萄糖发酵物的添加量为 1.5 g/kg，食醋粉的添加量为 1.5 g/kg，大豆膳食纤维的添加量为 4.0 g/kg。

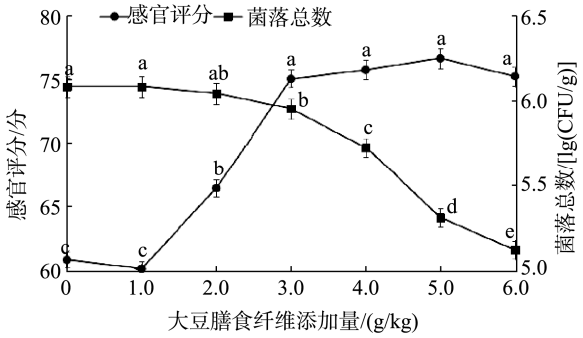


图 3　大豆膳食纤维添加量对酱腌菜感官评分和菌落总数的影响(n=3)

Fig.3　Effects of additive amount of soybean dietary fiber on sensory evaluation and aerobic plate count of pickled vegetables (n=3)

采用 IBM SPSS Statistics 25 软件对正交实验数据进行分析，结果如表 4 和表 5 所示。葡萄糖发酵物添加量、食醋粉添加量对感官评分和菌落总数的影响显现出极显著性(P<0.01)，大豆膳食纤维添加量只对菌落总数的影响显

表 3　正交实验结果

Table 3　Results of orthogonal experiment

	组号	A(葡萄糖发酵物添加量)/(g/kg)	B(食醋粉添加量)/(g/kg)	C(大豆膳食纤维)/(g/kg)	D(空列)	感官评分/分	菌落总数/[lg(CFU/g)]
	1	1	1	1	1	80.2	4.76
	2	1	2	2	2	82.3	4.53
	3	1	3	3	3	84.2	4.34
	4	2	1	2	3	93.7	2.64
	5	2	2	3	1	95.5	2.58
	6	2	3	1	2	97.3	2.18
	7	3	1	3	2	85.7	3.76
	8	3	2	1	3	87.7	3.40
	9	3	3	2	1	90.5	3.08
感官评分	K_1	246.7	259.6	265.2	266.2		
	K_2	286.5	265.5	266.5	265.3		
	K_3	263.9	272.0	265.4	265.6		
	R	13.3	4.1	0.4	0.3		
菌落总数	K_1	13.63	11.16	10.34	10.42		
	K_2	7.40	10.51	10.25	10.47		
	K_3	10.24	9.60	10.68	10.38		
	R	2.08	0.52	0.14	0.03		

表 4 正交实验方差结果(感官评分)
Table 4 Variance results of orthogonal experiment (sensory evaluation)

方差来源	离差平方和	自由度	均方	*F*	*P*	显著性
A(葡萄糖发酵物添加量)	265.627	2	132.813	1897.333	0.001	**
B(食醋粉添加量)	25.647	2	12.823	183.190	0.005	**
C(大豆膳食纤维添加量)	0.327	2	0.163	2.333	0.300	
D(空列)	0.140	2	0.070			

注: **表示差异极显著, $P<0.01$, 下同。

表 5 正交实验方差结果(菌落总数)
Table 5 Variance results of orthogonal experiment (aerobic plate count)

方差来源	离差平方和	自由度	均方	*F*	*P*	显著性
A(葡萄糖发酵物添加量)	6.486	2	3.243	4784.475	0.000	**
B(食醋粉添加量)	0.409	2	0.205	301.984	0.003	**
C(大豆膳食纤维添加量)	0.034	2	0.017	25.295	0.038	*
D(空列)	0.001	2	0.001			

注: *表示差异显著, $P<0.05$。

示出显著性($P<0.05$), 表明正交实验的数据结果具有统计学意义, 也和极差分析的结果相照应。

2.5 产品验证、保质期确定及与化学防腐剂做对比

使用 1.3.4 的方法进行验证实验, 实验组在第 3 d 的感官评分为 98.7, 菌落总数为 1.92 lg(CFU/g), 感官评分比正交实验中其他组别要高, 菌落总数比其他组别要低, 表明得到的 3 种原料最佳添加量有效。由图 4 可知, 在酱腌菜刚制作出来时, 实验组、脱氢乙酸钠组和空白组的感官评分基本相同, 山梨酸钾组感官评分略低, 说明复合原料能与酱腌菜的原始风味相融合, 不会影响感官品质; 脱氢乙酸钠添加量较低, 自身味道也未能影响感官品质; 而山梨酸钾添加量较大, 将自身味道引入了酱腌菜中。随着贮藏时间的增加, 4 组酱腌菜的感官评分都会下降, 但实验组在贮藏 24 d 时仍能保持感官评分为 60.2 分, 最优; 脱氢乙酸钠组第 24 d 时为 56.2 分, 次之; 而山梨酸钾组在第 24 d 时为 46.2 分, 已不能食用; 空白组在第 6 d 时感官评分为 21.2 分, 也不能食用。由图 5 可知, 4 组酱腌菜的菌落总数都会随着时间的增加而增长, 但实验组在第 24 d 时菌落总数可以维持在 5.88 lg(CFU/g), 脱氢乙酸钠组第 24 d 时为 5.82 lg(CFU/g), 山梨酸钾组第 24 d 时为 6.95 lg(CFU/g); 而空白组在第 6 d 时菌落总数已升高到 7.22 lg(CFU/g)。与空白对比, 添加复合原料、脱氢乙酸钠、山梨酸钾都可抑制酱腌菜中的微生物生长, 其中复合原料和脱氢乙酸钠的效果都较优。酱腌菜中的氨基酸态氮是原料蔬菜自身的蛋白质水解、微生物发酵、酶促反应和外源添加共同作用的结果, 其含量高低直接影响酱腌菜的鲜味和营养价值。微生物过度繁殖会导致氨基酸态氮含量降低, 破坏酱腌菜的营养价值, 生成的代谢副产物也会影响酱腌菜的风味[32]。由图 6 可知, 4 组酱腌菜刚做出来时, 实验组的氨基酸态氮就比其他 3 组高, 可能是由于添加的葡萄糖发酵物、食醋粉等发酵原料带入的。随着贮藏时间的增加, 4 组酱腌菜的氨基酸态氮都会降低, 但实验组一直保持在较高含量, 在第 24 d 时仍能达到 0.12 g/kg。GB 2714—2015《食品安全国家标准 酱腌菜》中对酱腌菜中的大肠菌群、沙门氏菌、

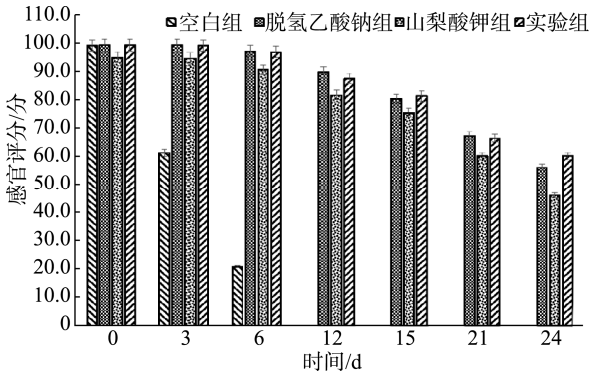


图 4 化学防腐剂、复合原料对酱腌菜感官评分的影响(n=3)
Fig.4 Effects of chemical preservatives and composite raw material on sensory evaluation of pickled vegetables (n=3)

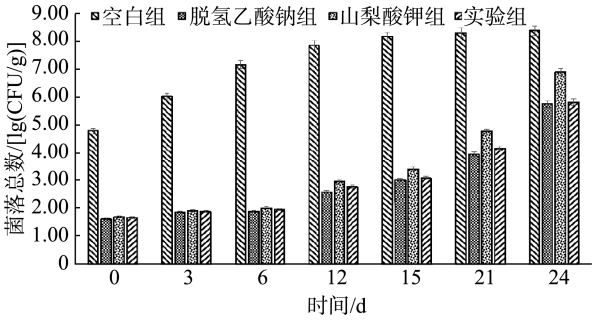


图 5 化学防腐剂、复合原料对酱腌菜菌落总数的影响(n=3)
Fig.5 Effects of chemical preservatives and composite raw material on aerobic plate count of pickled vegetables (n=3)

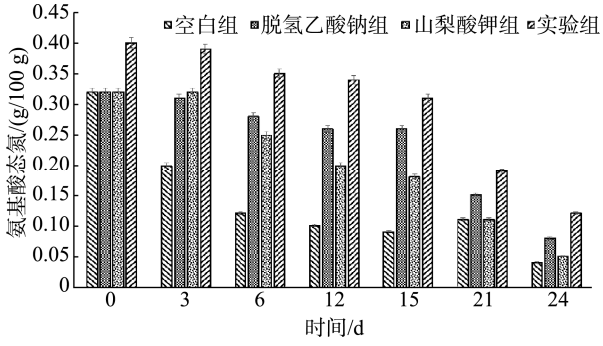


图 6 化学防腐剂、复合原料对酱腌菜氨基酸态氮的影响(n=3)
Fig.6 Effects of chemical preservatives and composite raw material on amino acid nitrogen of pickled vegetables (n=3)

金黄色葡萄球菌的数量都有规定, 四组酱腌菜中均未检出沙门氏菌和金黄色葡萄球菌。由图 7 可知,实验组在第 24 d 时大肠菌群数量达到 2.99 lg(CFU/g), 脱氢乙酸钠组在第 24 d 时为 2.95 lg(CFU/g), 都已接近国家标准的上限; 山梨酸钾组和空白组在第 6 d 已超出国家标准。综上所述, 添加复合配料可以使酱腌菜在 24 d 内维持较好的质量状态。

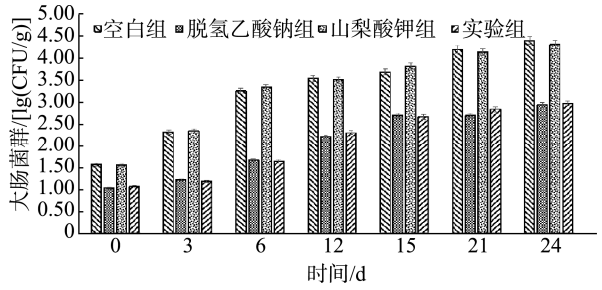


图 7 化学防腐剂、复合原料对酱腌菜大肠菌群的影响(n=3)
Fig.7 Effects of chemical preservatives and composite raw material on coliforms of pickled vegetables(n=3)

3 结 论

本研究将腌萝卜作为酱腌菜的代表, 添加葡萄糖发酵物、食醋粉和大豆膳食纤维, 通过单因素实验, 考察 3 种原料单独使用时对酱腌菜感官评分和菌落总数的影响; 又通过正交优化实验得到最佳复合添加量: 葡萄糖发酵物的添加量为 1.5 g/kg, 食醋粉的添加量为 1.5 g/kg, 大豆膳食纤维的添加量为 4.0 g/kg。添加由此得到的复合原料, 可以使酱腌菜在 37 ℃贮存条件下保存 24 d, 感官评分不低于 60.2 分, 菌落总数不超过 5.88 lg(CFU/g), 大肠菌群不超过 2.99 lg(CFU/g), 氨基酸态氮不低于 0.12 g/kg。与空白和添加山梨酸钾相比, 添加复合原料或脱氢乙酸钠, 都可抑制酱腌菜中菌落总数和大肠菌群的增长, 使保质期达到 24 d。本研究为酱腌菜行业绿色发展提供了科学方案, 满足目前酱腌菜行业清洁标签化的需求。在后续的研究中, 将 3 种原料陆续用于发酵蔬菜制品、蔬菜罐头、蔬菜泥等保鲜, 以期为整个加工蔬菜行业提供天然防腐的新选择。

参考文献

[1] 杨颖, 胡梅, 王望舒, 等. 酱腌菜防腐技术的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2044–2049.
YANG Y, HU M, WANG WS, *et al*. Research progress on antiseptic technology of pickles [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(7): 2044–2049.

[2] 谭静, 周莉, 平洋, 等. 郑州市售散装酱腌菜卫生状况和防腐剂含量检测分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(3): 1171–1174.
TAN J, ZHOU L, PING Y, *et al*. Hygienic status and preservative content detection of bulk pickles sold in Zhengzhou City [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(3): 1171–1174.

[3] 曹宝忠. 影响酱腌菜质量的因素及防腐应注意的问题探讨[J]. 中国酿造, 2011(3): 145–149.
CAO BZ. Investigation on factors affecting the quality of pickles and the main issues for corrosion [J]. China Brewing, 2009(3): 145–149.

[4] ZHANG CC, ZHANG JM, LIU DQ. Biochemical changes and microbial community dynamics during spontaneous fermentation of Zhacai, a traditional pickled mustard Tuber from China [J]. International Journal of Food Microbiology, 2021(347): 109199.

[5] 李格, 余林宇, 张露苗, 等. 岳阳酱腌菜食品添加剂和污染物残留情况分析及质量控制措施建议[J]. 食品与机械, 2025, 41(6): 57–62.
LI G, YU LY, ZHANG LM, *et al*. Analysis of food additives and contaminant residues in Yueyang pickled vegetables and recommendations for quality control measures [J]. Food & Machinery, 2025, 41(6): 57–62.

[6] VARGAS MCA, SIMSEK S. Clean label in bread [J]. Foods, 2021, 10(9): 2054.

[7] PARK MK, LEE H, KIM BK, *et al*. A survey on domestic consumer's awareness of food additives and clean label concept [J]. Food and Life, 2023, 2023(3): 95–103.

[8] 孔萱, 孙海誉, 赵晨曼, 等. 葡萄糖发酵物部分替代脱氢乙酸钠的抑菌特性分析[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(19): 16–22.
KONG X, SUN HY, ZHAO CM, *et al*. Antibacterial properties of partially substituting sodium dehydroacetate with glucose fermentation products [J]. Food Research and Development, 2025, 46(19): 16–22.

[9] BAI XJ, NAKATSU CH, BHUNIA AK. Bacterial biofilms and their implications in pathogenesis and food safety [J]. Foods, 2021, 10(9): 2117.

[10] 陆子谕, 张筱铃, 裘轲惠, 等. 传统酿造食醋浓缩物的物质基础及生物活性研究进展[J]. 生物加工过程, 2025, 23(1): 107–114.
LU ZY, ZHANG XL, QIU KH, *et al*. Research progress on bioactive components and functions of traditional vinegar concentrates [J]. Chinese Journal of Bioprocess Engineering, 2025, 23(1): 107–114.

[11] 魏楠, 赵世航. 大豆膳食纤维改性及在烘焙食品中的应用研究[J]. 现代食品, 2022(1): 32–34.
WEI N, ZHAO SH. Research on modification of soybean dietary fiber and its application in baked food [J]. Modern Food, 2022(1): 32–34.

[12] 张建勋, 谢萱, 田婷婷, 等. 改性方法对豆渣不溶性膳食纤维结构、理化性质及功能特性的影响[J]. 食品工业科技, 2025, 46(10): 154–162.
ZHANG JX, XIE X, TIAN TT, *et al*. Effect on the structure,

physicochemical properties and functional properties of insoluble dietary fiber from soybean residue by modification methods [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(10): 154–162.

[13] 张园园, 王子伟, 张思颖. 信阳萝卜干制作工艺研究[J]. 安徽农学通报, 2021, 27(7): 136–138, 173.
ZHANG YY, WANG ZW, ZHANG SY. Study on the production technology of Xinyang radish [J]. Anhui Agricultural Science Bulletin, 2021, 27(7): 136–138, 173.

[14] 韦强, 郑丽静, 武冬雪. 热风干燥温度对脱水白萝卜品质的影响[J]. 保鲜与加工, 2020, 20(1): 165–169.
WEI Q, ZHENG LJ, WU DX. Effect of hot-air drying temperature on physicochemical properties of dehydrated white radish [J]. Storage and Process, 2020, 20(1): 165–169.

[15] 宋萌, 付强, 时艺翡, 等. ε-聚赖氨酸复配防腐剂在酱腌菜中的应用[J]. 食品科学, 2018, 39(10): 276–282.
SONG M, FU Q, SHI YF, *et al*. Application of combination of ε-ploy-*L*-lysine with other preservatives in pickles [J]. Food Science, 2018, 39(10): 276–282.

[16] 牛广财, 魏文毅, 朱丹, 等. 低盐麻辣风味萝卡干的研制[J]. 包装与食品机械, 2013, 31(1): 62–65.
NIU GC, WEI WY, ZHU D, *et al*. Preparation of spicy-hot pickled radish with low-salt [J]. Packaging and Food Machinery, 2013, 31(1): 62–65.

[17] DE-LIMA AC, ACENA L, MESTRES M, *et al*. Monitoring the evolution of the aroma profile of lager beer in aluminium cans and glass bottles during the natural ageing process by means of HS-SPME/GC-MS and multivariate analysis [J]. Molecules, 2023, 28(6): 2807.

[18] 游恩卓, 贺子倩, 徐欢欢, 等. 响应面法优化调味海带的防腐配方[J]. 食品工业, 2025, 46(4): 27–32.
YOU ENZ, HE ZQ, XU HH, *et al*. Optimization of anti-corrosion formula for seasoned kelp using response surface methodology [J]. The Food Industry, 2025, 46(4): 27–32.

[19] ABEDINI A, SADIGHARA P, ALIZADEH SANIM, *et al*. The impact of synthetic and natural additives on biogenic amine production in food products [J]. Food Bioscience, 2023(56): 103295.

[20] 孔萱, 孙海誉, 赵晨曼, 等. 葡萄糖发酵物部分替代脱氢乙酸钠对卤煮鸡胸肉保藏特性的影响[J/OL]. 食品研究与开发, 16–23. [2025-12-18]. DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.22.003
KONG X, SUN HY, ZHAO CM, *et al*. Influence of partial replacement of sodium dehydroacetate with glucose fermentation products on preservation characteristics of braised chicken breast [J/OL]. Food Research and Development, 16–23. [2025-12-18]. DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.22.003

[21] 曲世超, 徐文英, 薛伟锋, 等. 植物源食品中菌落总数的测量不确定度评定[J]. 中国食品卫生杂志, 2024, 36(4): 383–388.
QU SC, XU WY, XUE WF, *et al*. Evaluation of the uncertainty in measurement of the aerobic plate count in the plant-derived foods [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2024, 36(4): 383–388.

[22] 朱礼, 李慧敏, 袁列江, 等. 酱腌菜主要腐败菌的鉴定与致腐能力分析[J]. 食品与生物技术学报, 2025, 44(7): 114–124.
ZHU L, LI HM, YUAN LJ, *et al*. Identification and spoilage capacity analysis of main spoilage bacteria in pickles [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2025, 44(7): 114–124.

[23] YANG J, PUNIA BANGARS, KHAN MR, *et al*. Biopolymer-based packaging films/edible coatings functionalized with ε-polylysine: New options for food preservation [J]. Food Research International, 2024(184): 114390.

[24] CHU ZJ, WANG HS, DONG B. Research on food preservation based on antibacterial technology: Progress and future prospects [J]. Molecules, 2024, 29(14): 3318.

[25] 王宗敏, 白桦, 王辛禹, 等. 食醋中功能物质及其研究进展[J]. 食品科学, 2023, 44(11): 196–204.
WANG ZM, BAI H, WANG XY, *et al*. Advances in research on functional substances in vinegar [J]. Food Science, 2023, 44(11): 196–204.

[26] DONG HY, XU Y, ZHANG QQ, *et al*. Activity and safety evaluation of natural preservatives [J]. Food Research International, 2024(190): 114548.

[27] WU YF, XIA ML, ZHAO N, *et al*. Metabolic profile of main organic acids and its regulatory mechanism in solid-state fermentation of Chinese cereal vinegar [J]. Food Research International, 2021(145): 110400.

[28] 田广丰. 食用醋粉作为新型食品添加剂的营养特性与功能评价[J]. 现代食品, 2024(4): 135–138.
TIAN GF. Nutritional characteristics and functional evaluation of edible vinegar powder as a novel food additive [J]. Modern Food, 2024(4): 135–138.

[29] 赵晨皓, 刘文豪, 李博, 等. 不同来源豆渣不溶性膳食纤维结构及理化性质比较[J]. 食品工业科技, 2025, 46(5): 118–126.
ZHAO CH, LIU WH, LI B, *et al*. Comparison in the structure and physicochemical properties of soybean dregs insoluble dietary fiber from different sources [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(5): 118–126.

[30] 尹志翔, 王召君, 曾茂茂, 等. 非纤维成分对球磨后大豆膳食纤维物理性质的影响[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(20): 166–171.
YIN ZX, WANG ZJ, ZENG MM, *et al*. Effects of non-fiber components on physical properties of soybean dietary fiber after ball milling [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2020, 48(20): 166–171.

[31] 桂玲, 黄象男, 朱怀梅, 等. 大豆膳食纤维酶解液抑菌性的研究[J]. 华北农学报, 2008(23): 286–288.
GUI L, HUANG XN, ZHU HM, *et al*. Bacteriostatic action of the soybean dietary fiber hydrolysate [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2008(23): 286–288.

[32] 郑连强, 袁先铃, 罗燚. 酱腌菜天然防腐保鲜技术及应用前景展望[J]. 中国调味品, 2021, 46(4): 187–192.
ZHENG LQ, YUAN XL, LUO Y. The natural preservative and fresh-keeping technology and application prospect of pickles [J]. China Condiment, 2021, 46(4): 187–192.

(责任编辑: 蔡世佳 韩晓红)