

红曲霉制曲对黄豆酱理化指标和感官评价的影响

蒋四强^{1,2}, 邓维琴^{1,2*}, 何素蓉³, 李雄波^{1,2}, 陈功^{1,2}, 王泽亮⁴, 李龙^{1,2}, 范智义^{1,2}, 李婷^{1,2}, 张其圣^{1,2}
(1. 四川省食品发酵工业研究设计院有限公司, 四川成都 611130)(2. 食品微生物四川省重点实验室, 四川成都 611130)(3. 四川省市场监督管理局安全检查技术中心, 四川成都 610017)
(4. 四川省振兴产业技术研究院有限公司, 四川成都 610000)

摘要: 为研究红曲霉混合发酵对黄豆酱品质的影响, 该文首先将米曲霉(郫酿 M003)和红曲霉(PM001)分别制成黄豆曲, 确定最佳制曲时间后, 将两种黄豆曲混合发酵新型黄豆酱, 通过对比分析和感官评价, 对红曲霉混合发酵黄豆酱和传统黄豆酱的品质进行比较。结果表明, 米曲霉和红曲霉的最佳制曲时间分别为 48 h 和 72 h, 两种黄豆曲中淀粉酶、酸性蛋白酶和中性蛋白酶活差异显著 ($P<0.05$)。红曲霉混合发酵黄豆酱总酸、氨基酸态氮和还原糖含量均显著低于传统黄豆酱, 且红曲霉混合发酵黄豆酱中红色素和橙色素含量高于传统黄豆酱, 均在 30.00 U/g 以上, 呈红棕色, 色泽更鲜艳; 米曲霉黄豆曲和红曲霉黄豆曲按照 3:1 的质量比混合发酵的黄豆酱(C)感官评分最高(90.75), 品质更好。综上所述, 红曲霉混合发酵黄豆酱较传统黄豆酱具有更好的色泽和风味品质。该研究可为黄豆酱品质改善提供数据参考。

关键词: 红曲霉; 混合发酵; 传统黄豆酱; 品质比较

文章编号: 1673-9078(2024)08-150-157

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.8.0714

Effects of Monascus Koji-making on the Physical and Chemical Indicators and Sensory Evaluation of Soybean Paste

JIANG Siqiang^{1,2}, DENG Weiqin^{1,2*}, HE Surong³, LI Xiongbo^{1,2}, CHEN Gong^{1,2}, WANG Zeliang⁴,
LI Long^{1,2}, FAN Zhiyi^{1,2}, LI Ting^{1,2}, ZHANG Qisheng^{1,2}

(1.Sichuan Academy of Food and Fermentation Industries Co. Ltd., Chengdu 611130 China)

(2.Sichuan Provincial Key Laboratory of Food Microbiology, Chengdu 611130 China)

(3.Food Safety Inspection Technology Center of Administration for Market Regulation of Sichuan Province, Chengdu 610017 China)(4.Sichuan Zhenxing Industrial Technology Research Institute Co. Ltd., Chengdu 610000 China)

Abstract: To explore the effect of the mixed fermentation of *Monascus* on the quality of soybean paste, soybean koji from *Aspergillus oryzae* (Pi niang M003) and *Monascus* (PM001) were prepared. After determining the optimal koji-making time, the two kinds of soybean koji were mixed and fermented with the new soybean paste, and the quality of the mixed fermented soybean paste with *Monascus* was compared with the traditional soybean paste through comparative analysis and sensory evaluation. The results showed that the optimal koji-making time of *A. oryzae* and *Monascus* was 48 h and

引文格式:

蒋四强,邓维琴,何素蓉,等.红曲霉制曲对黄豆酱理化指标和感官评价的影响[J].现代食品科技,2024,40(8):150-157.

JIANG Siqiang, DENG Weiqin, HE Surong, et al. Effects of monascus koji-making on the physical and chemical indicators and sensory evaluation of soybean paste [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(8): 150-157.

收稿日期: 2023-06-12

项目基金: 中央引导地方科技发展项目; 四川省创新团队; 四川省科技成果转化示范项目(2022ZHCG0016)

作者简介: 蒋四强(1996-), 男, 硕士, 研究方向: 传统发酵食品, E-mail: 1481426771@qq.com

通讯作者: 邓维琴(1990-), 女, 硕士, 工程师, 研究方向: 食品微生物与发酵工程, E-mail: dengweiqin77@163.com

72 h, respectively, and the activity of amylase, acid protease, and neutral protease in the two soybean koji were significantly different ($P < 0.05$). The contents of total acid, amino acid nitrogen, and reducing sugar in the mixed fermented soybean paste were significantly lower than those in the traditional soybean paste, while the contents of red and orange pigment in the mixed fermented soybean paste were higher than those in the traditional soybean paste, all above 30.00 U/g, reddish-brown with a brighter color. The *A. oryzae* and *Monascus* soybean koji based on a 3:1 mass ratio that mixed and fermented soybean paste (C) achieved the highest sensory score (90.75); as well as demonstrating a better quality. In conclusion, *Monascus* mixed fermented soybean paste was found to achieve a better color and flavor quality than traditional soybean paste. These findings provides a basis for future improvements in the quality of soybean paste.

Key words: *Monascus*; mixed fermentation; traditional soybean paste; quality comparison

黄豆酱俗称豆酱、大酱，是以黄豆、面粉和食盐为原料，利用米曲霉 (*Aspergillus oryzae*) 制曲后与一定比例盐水混合经长期发酵得到的半流动态传统发酵调味品，具有酱香浓郁、味道鲜美的特点^[1]。传统黄豆酱采用米曲霉单菌制曲发酵，由于酶系较少，使发酵得到的黄豆酱风味相对单一；同时黄豆酱的颜色不够鲜艳，整体呈黄褐色或暗棕色，缺乏光泽。

红曲霉是一种产多种酶系、红曲色素以及醇类物质的发酵微生物，目前以接种于大米制成红曲米而广泛应用于医疗、烹饪等领域。国内将红曲霉多应用于酱油的酿造中，旨在提升酱油的色泽、还原糖、氨基酸态氮，从而提升酱油的风味和色泽^[2]。在豆瓣的研究中，杜木英等^[3]利用红曲霉和米曲霉混合发酵豆瓣酱，使豆瓣酱的感官特性和理化性质得到显著提升。红曲霉在酿酒的应用研究中显示，红曲霉的加入可以显著提高酒体的整体风味，同时使发酵所得酒样清亮透明，呈琥珀色，具有红曲酒特征风味及较爽适的口感。同时 Liang 等^[4]发现红曲混合发酵糯米酒可以显著降低酒体的苦味，提升鲜味和甜味，使糯米酒的感官品质得到改善。由此可见，红曲霉在多种发酵制品中得到广泛应用，且通过混合发酵的方式对产品品质的改善具有显著作用。黄豆酱目前普遍存在风味单一，色泽较差的问题，而国内外关于红曲霉混合发酵黄豆酱的研究较少。有研究表明，单菌制曲后再混合的成曲酶系及酶活优于混合制曲^[5]。因此本研究首先在确定红曲霉和米曲霉最佳制曲时间的基础上，将两种黄豆曲混合进行发酵，探究红曲霉混合发酵对黄豆酱动态理化指标和感官特性的影响，以期为黄豆酱品质的改进提供数据和理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

1.1.1 原料

黄豆、面粉和食盐均购自农贸市场。米曲霉（郫酿 M003）和红曲霉（PM001）由四川省食品发酵工业研究设计院有限公司泡菜调味品与功能微生物研究中心前期筛选鉴定，并分别保藏于广东微生物菌种保藏中心，保藏号分别为 60927 和 60615。

1.1.2 曲精（郫酿 M003）

将麸皮、豆粉和水按照一定质量比均匀混合后，平铺与培养筛上，放入自主研发的种曲机中；经 120~130 °C 高温将灭菌及原料蒸煮灭菌之后，通过抽真空和循环冷水将温度降至 30~35 °C 左右；接种后，调节培养器内的温度、湿度、并输送无菌空气补充氧气对种曲进行扩大培养；在密闭条件下，通过向夹层内通入热水来加热物料实现干燥、经真空上料、筛分和旋风分离后得到曲精 M003。

1.1.3 主要培养基和试剂

马铃薯葡萄糖琼脂培养基（PDA）：生物制剂，北京奥博星生物技术有限责任公司；4-甲基-2-戊醇（色谱纯），阿法埃莎（中国）化学有限公司；无水乙醇（分析纯），成都科隆化学有限公司；乳酸（分析纯），成都克隆化学有限公司。福林酚（分析纯），北京索莱宝科技有限公司；3,5-二硝基水杨酸、甲醛、葡萄糖、氢氧化钠、碳酸钠、三氯乙酸、L-干酪素、盐酸、磷酸氢二钠、磷酸二氢钠均为分析纯，成都市科隆化学有限公司。

1.1.4 主要设备

PHSJ-4F 型 pH 计，梅特勒型 - 托利多国际贸易（上海）有限公司；Multiskan FC 型酶标仪，赛

默飞世尔(上海)有限公司; SW-CJ-2F 超净工作台, 苏州安泰空气技术有限公司; LDZF-75L-H 高压蒸汽灭菌锅, 上海申安医疗器械厂; SPX-150B-4 生化培养箱, 上海博讯实业有限公司医疗设备厂; DZKW-4 恒温水浴锅, 北京中兴伟业仪器有限公司; ESJ200-4A 型分析天平, 沈阳龙腾电子有限公司; TGL-20bR 冷冻离心机, 上海安亭科学仪器厂; VORTEX-2 旋涡混合器, 美国 GENE 公司; KQ-500DE 型超声波清洗仪, 昆山市超市仪器有限公司; Milli-Q 超纯水器, 美国 Millipore 公司。

1.2 红曲霉的活化

将红曲霉接种于含有体积分数为 10% 乙醇和 2% 乳酸的 PDA 平板上, 于 30 °C 培养箱中培养 3~5 d, 直到长出肉眼可见的红色菌落。将长出来的红色菌落通过平板划线重新接种于含醇和酸的 PDA 平板上, 重复划线 2 次, 最后将红曲霉单菌落接种于 PDA 斜面, 30 °C 培养长出明显红色菌落后于 4 °C 保存, 供后续使用。

1.3 黄豆曲及黄豆酱的制作

1.3.1 红曲霉黄豆曲的制作

称取挑选好的黄豆 200 g 置于 70 °C 左右的温水中浸泡 4 h, 沥干后装于 2 L 锥形瓶中, 用 8 层纱布封口后于 121 °C 灭菌蒸煮 20 min; 灭菌后将锥形瓶放入 55~60 °C 烘箱中, 纱布烘干后取出, 待黄豆温度降至常温; 向黄豆中加入质量分数为 15% 的灭菌面粉(以黄豆干重计算); 每个红曲霉斜面中加入 4 mL 无菌水制成悬液, 待面粉和黄豆均匀混合后加入红曲霉悬液(每 100 g 黄豆加 1 mL 悬液), 均匀混合, 置于 30 °C 培养箱制曲 72 h 后取出置于无菌采样袋中, 于 4 °C 短期保存, 供后续使用, 红曲霉黄豆曲制曲工艺流程如图 1 所示。

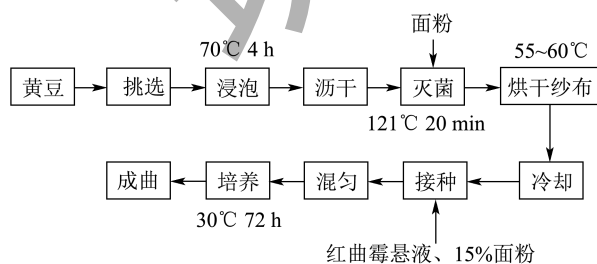


图 1 红曲霉黄豆曲制曲工艺流程图

Fig.1 Process flow chart of *Monascus* soybean koji making

1.3.2 米曲霉黄豆曲的制作

黄豆经挑选后, 于 70 °C 温水浸泡 4 h 后沥干,

在 121 °C 条件下灭菌蒸煮 20 min, 然后取出冷却至室温, 将冷却好的黄豆与质量分数为 15% 的面粉和 0.03% 郫酿 M003 曲精均匀混合(曲精与面粉提前混匀), 平铺于培养筛上, 置于 30 °C 培养箱中, 每 12 h 翻一次曲, 制曲 48 h 后取出备用。米曲霉制曲工艺流程如图 2 所示。

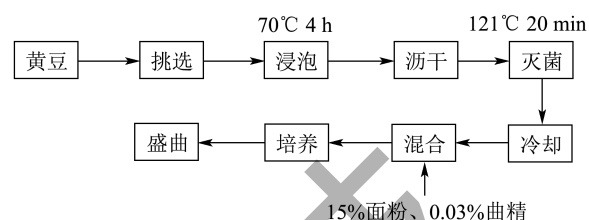


图 2 米曲霉制曲工艺流程图

Fig.2 Process flow chart of *Aspergillus oryzae* soybean koji making

1.3.3 不同比例成曲黄豆酱的制作

分别称取一定质量黄豆曲, 按照成曲: 水: 盐 = 1:1:0.24 的质量比均匀混合后, 装入发酵罐于 40 °C 条件下恒温发酵 40 d, 每 2 天搅拌 1 次, 并在 0、2、4、6、8、10、20、40 d 进行采样, -20 °C 储存, 用于后续测定。混合发酵黄豆酱工艺流程和曲料比例如图 3 和表 1 所示。

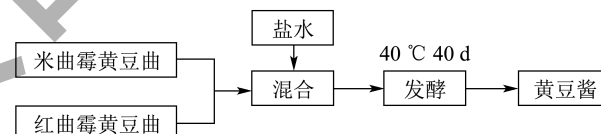


图 3 混合发酵黄豆酱工艺流程图

Fig.3 Process flow chart of mixed fermented soybean paste

表 1 黄豆曲混合发酵

Table 1 Intensive fermentation of soybean koji

黄豆酱 编号	米曲霉黄 豆曲/g	红曲霉黄 豆曲/g	盐/g	水/g	发酵 时间/d
A	0	2 400			
B	2 400	0			
C	1 800	600	655	2 400	40
D	1 200	1 200			
E	600	1 800			

1.4 测定方法

(1) 总酸和氨基酸态氮测定: 按照 GB 5009.235-2016《食品安全国家标准: 食品中氨基酸态氮的测定》中第一法酸度计法进行测定。

(2) 还原糖测定: 采用 3,5-二硝基水杨酸法^[6]进行测定。

(3) 蛋白酶活测定：采用 GB/T 28715-2012《饲料添加剂酸性、中性蛋白酶活力的测定 分光光度法》进行测定。

(4) 淀粉酶活测定：根据董丹等^[7]的方法进行测定。

(5) 色价测定：采用况嘉铀等^[8]的测定方法并稍作修改，具体方法如下：

称取 2 g 粉碎后的红曲样品于 50 mL 离心管中，加入 28 mL $\varphi=80\%$ 乙醇溶液，在 60 °C、150 r/min 条件下恒温萃取 1 h，取上清液稀释一定倍数，用分光光度计在 410、470 和 520 nm 波长下测定吸光度，三个吸光度分别对应黄色素、橙色素和红色素。色价计算公式如下：

$$S = \frac{A \times V \times n}{m} \quad (1)$$

式中：

S——色价，U/g；

A——吸光度；

V——样品提取液体积，mL；

n——稀释倍数；

m——样品质量，g。

表 2 黄豆酱感官评分标准

项目	评分标准	得分/分
色泽 (30)	红或棕褐色、鲜艳、有光泽	23~30
	红或棕褐色、有光泽	17~22
	红或棕褐色、暗淡、有光泽	9~16
	土黄色或灰褐色、暗淡、无光泽	0~8
香气 (25)	酱香、酯香、(醇香)浓郁、无不良气味	19~25
	酱香、酯香、(醇香)淡、无不良气味	13~18
	酱香、酯香、(醇香)淡、有不良气味	7~12
	无酱香、酯香、(醇香)、有异味	0~6
滋味 (25)	味鲜醇厚、柔和、(酸)咸甜适口，无异味	19~25
	鲜味、(酸)咸甜适口，无异味	13~18
	略有鲜味、咸味(酸味)较重或较轻、无异味	7~12
	酸味浓、咸味较重或较轻、有焦糊及其他异味	0~6
体态 (20)	豆粒软烂、粘稠适度、均匀、无杂质	19~25
	豆粒较软烂、粘稠适度、无杂质	13~18
	豆粒较完整、偏稀或偏稠、无杂质	7~12
	豆粒完整、偏稀或偏稠、有杂质	0~6
综合评价 (100)	风味很好	≥ 86
	风味较好	76~85
	风味一般	66~75
	风味差	≤ 65

(6) 感官评分标准

参照 GB/T 24399-2009《黄豆酱》中的感官标准进行，并稍作修改。具体为：由 12 名经过感官培训的人员组成感官评定小组，其中男生和女生各 6 名。对甜瓣子的色泽、香气、滋味、体态 4 个方面进行感官评价。具体标准如表 2。

1.5 数据处理

每个样进行 3 次平行操作，运用 Excel 2019、SPSS 和 Origin 2021 对结果数据进行统计分析和作图，显著性水平 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 米曲霉和红曲霉制曲过程中的酶活变化

淀粉酶活和蛋白酶活是评价黄豆曲品质的重要指标，其酶活的高低将直接影响原料中淀粉和蛋白质的分解程度，对黄豆酱风味品质的形成有较大的影响。米曲霉和红曲霉制曲过程中酶活变化如图 4 所示。

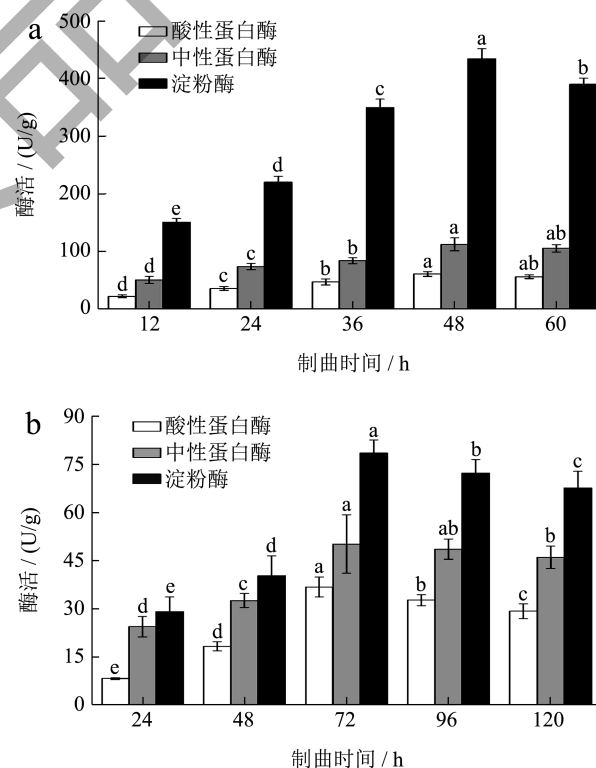


图 4 米曲霉黄豆曲 (a) 和红曲霉黄豆曲 (b) 酶活
Fig.4 *Aspergillus oryzae* soybean koji (a) and *Monascus* soybean koji (b) enzyme activity

注：同种柱状图上不同字母表示差异显著， $P < 0.05$ ，下同。

如图 4 所示，2 种黄豆曲中淀粉酶、酸性蛋白酶和中性蛋白酶活随制曲时间延长整体呈先上升

后下降的趋势,米曲霉黄豆曲酶活显著高于红曲霉 ($P<0.05$)。米曲霉在制曲 48 h 时酶活达到最高,淀粉酶、酸性蛋白酶和中性蛋白酶活分别为 434.98、60.48、111.98 U/g,说明该株米曲霉具有良好的制曲特性,可作为发酵黄豆酱的优良菌株。而淀粉酶和蛋白酶主要与发酵豆制品中呈烟熏味、果香味和麦芽香等酱香酯香物质有较强的相关性^[9]。由此说明,由高淀粉酶和蛋白酶活米曲霉黄豆曲发酵的黄豆酱可能在酱香酯香等风味上具有优势。红曲霉黄豆曲中淀粉酶、酸性蛋白酶和中性蛋白酶活在制曲 72 h 时达到最高,分别为 78.52、36.89、50.61 U/g,产酶能力较弱。但有研究表明,红曲霉具有较强的糖化力和酯化力,而米曲霉相应能力较弱,制曲后通过混合发酵可丰富体系中微生物和酶系种类,利于对原料的分解利用^[10],加快发酵速率,有助于提升产品的色泽、香气和口感。Wang 等^[11]学者在食醋的研究中发现,红曲霉混合发酵的食醋中风味物质的种类的含量显著高于对照组,且主要与醇类、酚类以及醛酮类风味物质具有较强的相关性。由此可以推测,红曲霉混合发酵的黄豆酱较米曲霉黄豆酱可能风味物质种类更丰富,含量更高。综上所述,米曲霉和红曲霉的最佳制曲时间分别为 48 h 和 72 h,因此可将该制曲时间黄豆曲用于后续混合发酵。而两种黄豆曲中酶活差异大,主要与制曲工艺和霉菌自身代谢产酶水平有关^[12],这种差异可能导致发酵的黄豆酱风味品质具有较大的区别。

2.2 混合发酵对黄豆酱总酸、氨基酸态氮和还原糖含量的影响

总酸不仅是黄豆酱品质的重要品质指标,且资料显示,豆酱中总酸含量不得超过 2.0 g/100 g^[13]。氨基酸态氮含量可表征黄豆酱的发酵程度和原料中蛋白质的降解程度,同时也是黄豆酱风味物质的重要来源之一。还原糖由淀粉酶分解原料中的淀粉产生,可作为碳源被微生物生长代谢所利用,是黄豆酱中酸类、醇类物质的重要来源。黄豆酱发酵过程中总酸、氨基酸态氮和还原糖含量变化如图 5、图 6 所示。

如图 5 所示,5 种黄豆酱发酵过程中总酸和氨基酸态氮含量差异显著 ($P<0.05$)。具体表现为,随着发酵时间的延长,黄豆酱中红曲霉黄豆曲含量越高,总酸、氨基酸态氮含量越低,与刘丹等^[14]的研究结果相似。传统黄豆酱 B 在发酵后期总酸和氨基酸态氮含量最高,分别为 1.34、0.88 g/100 g,红曲霉

黄豆酱 A 含最低,混合发酵黄豆酱中总酸和氨基酸态氮含量分别在 0.49~1.28 g/100 g 和 0.32~0.81 g/100 g。传统黄豆酱 B 中总酸含量虽在标准范围之内,但相较于其他黄豆酱仍处于较高水平,黄豆酱整体偏酸性,可能使其滋味品质不及红曲霉及混合发酵的黄豆酱。而黄豆酱 B 中氨基酸态氮含量可能会导致该黄豆酱的游离氨基酸含量及种类优于其他黄豆酱,最终使风味产生区别。

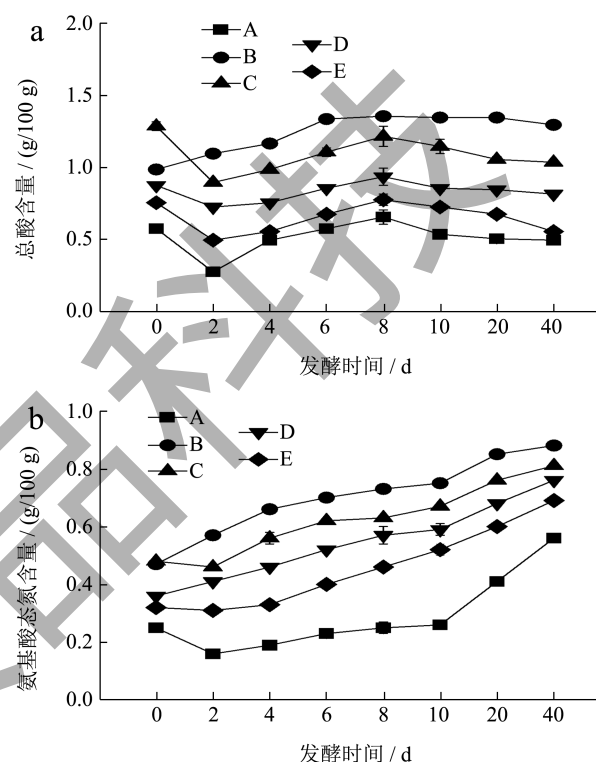


图 5 黄豆酱发酵过程中总酸、氨基酸态氮变化

Fig.5 Changes in total acid, amino acid nitrogen and reducing sugar during fermentation of soybean paste

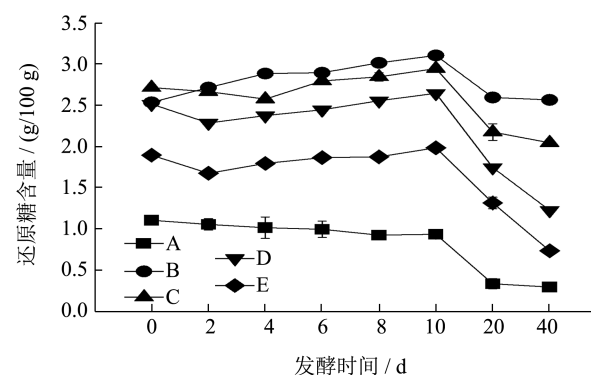


图 6 黄豆酱发酵过程中还原糖变化

Fig.6 Reducing sugar changes during fermentation of soybean paste

如图 6 所示,传统黄豆酱 B 在发酵初期和发酵后期还原糖含量分别为 2.53 g/100 g 和 2.56 g/100 g,显著

高于其他黄豆酱，其中红曲霉黄豆酱 A 发酵初期和后期还原糖含量分别仅为 1.10 g/100 g 和 0.29 g/100 g。这主要与两种黄豆曲中的淀粉酶活有关，且研究表明，米曲霉成曲中常以芽孢杆菌属 (*Bacillus*)、棒状杆菌属 (*Corynebacterium*)、曲霉属 (*Aspergillus*) 和念珠菌属 (*Candida*) 等高产酶微生物为主^[15]，而红曲霉成曲中主要以红曲霉属 (*Monascus*) 和酿酒酵母属 (*Saccharomyces*) 为主^[16]，产酶能力相对较弱。而正是因为这些差异，可能会导致不同混合发酵的黄豆酱品质有较明显的差异。除此之外，由于本研究黄豆酱的含盐量较高，黄豆曲中存在以红曲霉为主的耐盐微生物，影响其正常的生长代谢，降低了对原料的利用水平^[17, 18]，导致在红曲霉及混合发酵的黄豆酱中总酸、氨基酸态氮和还原糖含量低于传统黄豆酱 B。但即使红曲霉数量降低，其代谢产物仍对原料的利用以及风味物质的产生具有一定的作用，进一步使不同组别黄豆酱的品质出现较为明显的区别。

2.3 混合发酵对黄豆酱中色素含量的影响

色素在黄豆酱发酵过程中通过褐变、非酶褐变以及微生物代谢产生，不仅可以赋予黄豆酱色泽，同时对风味物质的形成也有一定程度的影响^[19]。黄豆酱中色素含量如图 7 所示。

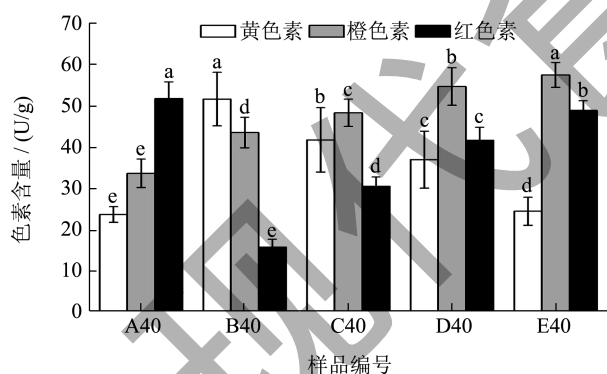


图 7 黄豆酱中色素含量

Fig.7 Pigment content in soybean paste

由图 7 可知，发酵结束时，5 种黄豆酱中均含有 3 种色素，总体表现为米曲霉黄豆曲含量越高，黄色素含量越高，随着红曲霉黄豆曲的加入，黄豆酱中红色素和橙色素含量显著增加 ($P < 0.05$)，黄色素含量有下降趋势。传统黄豆酱 B 中黄色素含量最高，为 51.56 U/g，这是因为米曲霉黄豆曲中微生物的代谢水平以及美拉德反应程度有关^[20]，导致黄豆酱颜色整体偏黄。红色素作为天然可食用色素，因其对蛋白质具有良好的着色能力，因此广泛

应用于火腿、番茄酱等制品中^[21]。黄豆酱发酵过程中 pH 值一般在 5.50~6.50 的范围内^[22]，且有研究表明，红曲霉在 pH 值 5.50 左右时具有较强的产红色素能力^[23]。但受含盐量的影响，红曲霉的生长代谢受到抑制，红曲霉产色素可能集中在发酵前期，但在发酵后期，红曲霉及混合发酵的黄豆酱中仍有较高含量的红色素和橙色素。其中红曲霉黄豆酱 A 中红色素含量最高，为 51.75 U/g，混合发酵黄豆酱 C、D、E 中红色素含量分别为 30.50、41.70、48.90 U/g。橙色素含量相对较高，分别为 48.3、56.7 和 57.5 U/g，使得黄豆酱整体呈红棕色。由此可见，即使红曲霉产色素集中在发酵前期，但其仍使黄豆酱中红色素和橙色素的含量得到显著提高，说明米曲霉混合发酵在一定程度上对改善黄豆酱色泽具有明显作用。

2.4 混合发酵黄豆酱对黄豆酱色差的影响

为了确定样品的色泽合理偏差，便于对黄豆酱的品质进行评价，对黄豆酱的色差值进行了测定，结果如表 3 所示。

表 3 黄豆酱色差

Table 3 The color difference of soybean paste

样品编号	L 值	a 值	b 值
A40	28.47 ± 2.12 ^a	6.87 ± 0.24 ^a	3.83 ± 0.15 ^c
B40	20.63 ± 1.38 ^d	3.80 ± 0.31 ^d	5.27 ± 0.63 ^a
C40	24.17 ± 1.69 ^{cd}	5.90 ± 0.56 ^c	4.80 ± 0.31 ^b
D40	24.67 ± 2.34 ^c	6.20 ± 0.67 ^{bc}	4.47 ± 0.62 ^c
E40	26.23 ± 2.65 ^b	6.57 ± 0.42 ^b	3.95 ± 0.73 ^{dc}

注：同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ($P < 0.05$)，下同。L 值表示明亮程度，L 值越大，样品越亮，反知越暗；a 值是表示红绿，有正负之分，+a 代表偏红；-a 代表偏绿；b 值是表示黄蓝，有正负之分，+b 代表偏黄，-b 代表偏蓝。

由表 3 可知，5 种黄豆酱的 L、a、b 值均为正值，表明各黄豆酱颜色均较为明亮，但不同黄豆酱之间色差值存在显著差异 ($P < 0.05$)。红曲霉及混合发酵黄豆酱的 L 值和 a 值较高，其中红曲霉黄豆酱 A 最高，分别为 28.47 和 6.87，表明红曲霉及混合发酵的黄豆酱色泽较为鲜艳，整体偏红色，与胡凤^[24]的研究结果一致。传统黄豆酱 B 的 L 值和 a 值最小，具有最高的 b 值 (5.27)，但 L 值相对较低，说明传统黄豆酱 B 整体颜色偏黄，色泽相对较暗，与本文 2.3 分析结果相符。由此表明，红曲霉混合发酵可以显著提升黄豆酱的色泽，使黄豆酱色泽更加明亮，颜色更加鲜艳。

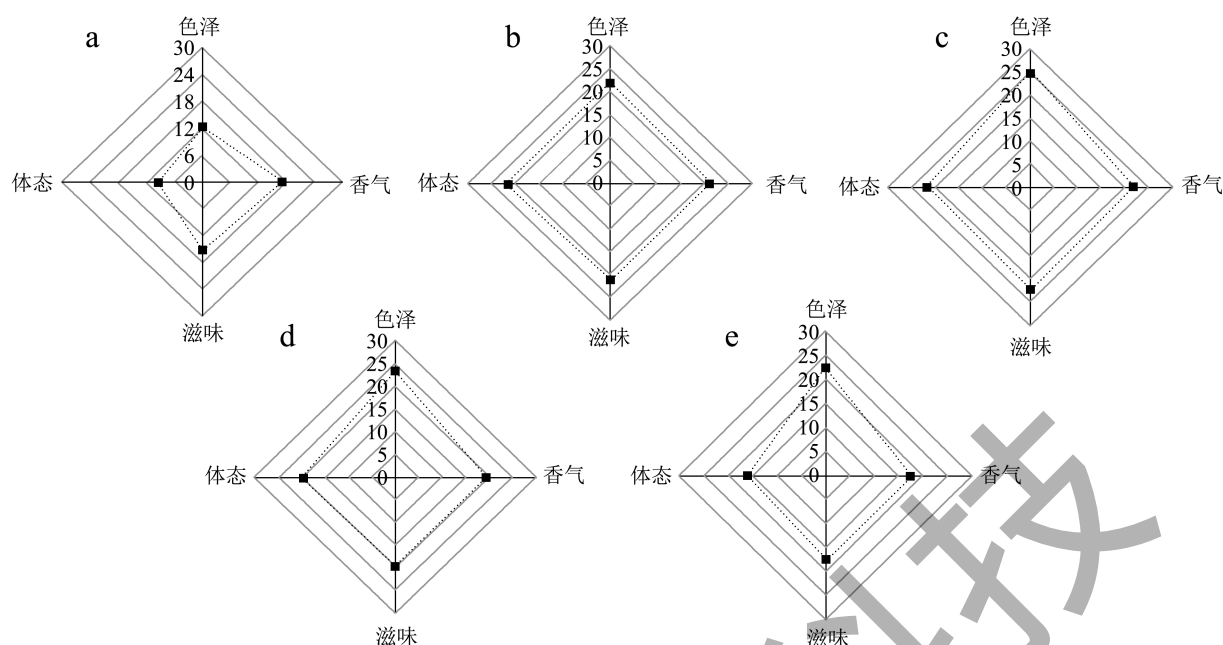


图8 黄豆酱感官评分雷达图

Fig.8 Soybean paste sensory scoring radar chart

表4 黄豆酱感官评分(分)

Table 4 The sensory scores of soybean paste

样品编号	色泽	香气	滋味	体态	综合评分
A40	12.40 ± 1.34 ^d	17.05 ± 2.13 ^d	15.35 ± 2.67 ^e	9.50 ± 1.79 ^d	56.30 ± 3.17 ^c
B40	22.20 ± 2.15 ^e	21.10 ± 2.56 ^b	21.30 ± 3.27 ^b	21.65 ± 3.58 ^a	87.25 ± 3.21 ^b
C40	24.85 ± 3.16 ^a	21.80 ± 3.14 ^a	22.30 ± 3.79 ^a	21.80 ± 4.35 ^a	90.75 ± 3.58 ^a
D40	23.45 ± 2.68 ^b	19.50 ± 2.41 ^c	19.48 ± 4.01 ^c	19.50 ± 3.21 ^b	81.93 ± 4.23 ^c
E40	22.40 ± 3.11 ^c	17.35 ± 3.67 ^{cd}	17.60 ± 3.68 ^d	16.10 ± 4.36 ^c	73.45 ± 5.16 ^d

2.5 感官评价

感官评价可直接反应黄豆酱品质,本文从色泽、香气、滋味和体态四个方面对5种黄豆酱的品质进行评价,评价结果如表4和图8所示。

由图8可知,红曲霉混合发酵对黄豆酱的色泽、体态、滋味以及香气有较大影响,不同黄豆酱感官评分差异显著($P < 0.05$)。混合发酵黄豆酱C呈红棕色,有光泽,具有浓郁的酱香、酯香、醇香,稀稠适中,鲜味明显,感官评分为90.75分,显著高于其他黄豆酱,这可能与红曲霉独特的产红色素等能力有关。资料显示,1-辛烯-3-醇、芳樟醇、异戊醇、苯乙醇等醇类物质是黄豆酱中的重要风味物质,其中苯乙醇被鉴定为黄豆酱中的关键风味化合物^[25],而醇香可能与上述醇类物质含量有关,使得混合发酵的黄豆酱风味品质得到提升。酯类化合物对黄豆酱风味物质的重要组成成分,赋予黄豆酱独特的酯

香,传统黄豆酱B酱感官评分为87.25分。其色泽较暗,体态较为浓稠,酯香浓郁,但醇味、酸味明显低于混合发酵的黄豆酱。这可能与酯化反应有关,因为该反应过程中会消耗酸类及醇类化合物,这可能是造成传统黄豆酱酱香味浓郁而醇香和酸香等风味不及混合发酵黄豆酱的原因之一^[26]。

红曲霉黄豆酱A虽醇香浓郁,有明显的酸味,由于酶活较低,原料利用率低,使豆粒仍比较完整,非黄豆酱形态,评分最低;其他2种混合发酵黄豆酱均具有较好的色泽,但缺乏酱酯香,酸味较明显,体态较稀,仍有部分完整豆粒,评分均在85分以下。由此可以看出,红曲霉混合发酵不仅可以改善黄豆酱的色泽,同时还可以丰富黄豆酱的香气成分,使黄豆酱的品质得到改善。但仍需进一步研究米曲霉和红曲霉黄豆曲的混合比例,才能使黄豆酱的品质得到进一步提升。

3 结论

本文通过确定米曲霉(郭酿 M003)和红曲霉(PM001)的最佳制曲时间,将两种黄豆曲混合进行发酵,探究红曲霉混合发酵对黄豆酱品质的影响。结果显示,红曲霉和米曲霉分别在制曲时间为72 h和48 h时酶活最高,但红曲霉黄豆曲中淀粉酶、酸性蛋白酶和中性蛋白酶活显著低于米曲霉黄豆曲($P<0.05$)。红曲霉及混合发酵黄豆酱的总酸、氨基酸态氮以及还原糖含量均显著低于传统黄豆酱B。但红曲霉混合发酵黄豆酱较米曲霉黄豆酱色泽得到明显改善,红色素含量均在30.50 U/g以上,整体呈红棕色。通过混合发酵得到的黄豆酱较米曲霉黄豆酱风味更丰富,其中混合发酵黄豆酱C感官综合评分最高(90.75分),具有较好的风味和色泽。综上所述,红曲霉混合发酵黄豆酱对黄豆酱的色泽和风味有较大的影响,可以显著提升黄豆酱的色泽,赋予黄豆酱更丰富的风味成分。本研究所用红曲霉具有较强的产红色素和橙色素等能力,但制曲产酶特性不佳,后期可采用产酶和色素能力更强的红曲霉用于发酵黄豆酱,以便于提高原料利用率,进一步改善黄豆酱的品质。此研究可为黄豆酱色泽的改善和风味品质的提升提供数据参考。

参考文献

- [1] 赵红娟,张晓辉,符姜燕.黄豆酱色泽稳定性技术研究[J].现代食品,2022,28(16):79-83.
- [2] 孙笑寒,蒋雪薇,肖智予,等.米曲霉优良菌株的筛选及在制曲发酵西瓜黄豆酱中的应用[J].食品科学,2022,43(6):204-211.
- [3] 杜木英,余浪,赵晓娟,等.传统豆瓣快速发酵工艺条件优化[J].食品科学,2013,34(11):203-207.
- [4] LIANG ZHANGCHENG, LIN ZIXIAO, HE ZHIGANG, et al. Comparison of microbial communities and amino acid metabolites in different traditional fermentation starters used during the fermentation of Hong Qu glutinous rice wine [J]. Food Research International, 2020, 136: 109329.
- [5] 李冬龙.富含 γ -氨基丁酸豆酱制备及品质评价[D].南宁:广西大学,2020.
- [6] 周雯君.工厂化条件下豆酱品质监测与鲁氏酵母增香技术研究[D].黑龙江:黑龙江八一农垦大学,2016.
- [7] 董丹,陈燕,关统伟,等.豆瓣发酵瓣子中淀粉酶高产菌株的筛选及其酶活力的测定[J].中国酿造,2015,34(2):68-71.
- [8] 况嘉铀,李莹莹,郑平,等.不同红曲菌株对多糖饮料品质的影响[J].食品研究与开发,2022,43(22):92-97.
- [9] 路怀金.米曲霉的酶系特性及其对酱油风味品质影响研究[D].广州:华南理工大学,2020.
- [10] 邵伟,王栋,唐明,等.红曲霉产蛋白酶特性研究[J].中国酿造,2006,5:34-37.
- [11] WANG DAHONG, WANG MENG YANG, CAO LUWEI, et al. Changes and correlation of microorganism and flavor substances during persimmon vinegar fermentation [J]. Food Bioscience, 2022, 46: 101565.
- [12] 石磊,刘蕊,滕薇,等.不同米曲霉对酱油低盐固态发酵的影响[J].中国调味品,2021,46(8):76-81.
- [13] GBT20560-2006,地理标志产品郫县豆瓣[S].
- [14] 刘丹,葛予宁,徐晗,等.混菌制曲和酱渣添加对黄豆酱理化指标动态变化的影响[J].中国酿造,2020,39(7):125-130.
- [15] 周旭,曾涛,王洪伟,等.不同制曲工艺对速成永川豆豉后发酵过程和产品品质的影响[J].微生物学报,2023,63(6):2385-2400.
- [16] 张娇娇,李婧,范冰冰,等.红曲米醋制曲过程中微生物群落演替及其对生化指标的影响[J].中国酿造,2019,38(12):36-42.
- [17] 杨善众.硝酸盐调控红曲霉发酵黄色素代谢及色素染色增强[D].广州:华南理工大学,2021.
- [18] CHEN GONG, YANG SHANZHONG, WANG CHENGTAO, et al. Investigation of the mycelial morphology of *Monascus* and the expression of pigment biosynthetic genes in high-salt-stress fermentation [J]. Applied Microbiology and Biotechnology, 2020, 104(6):2469-2479.
- [19] 张海珍.酿造酱油发酵过程风味变化规律及工艺优化的研究[D].杭州:浙江工商大学,2010.
- [20] 刘莹.不同菌种发酵制备蚕豆酱的技术研究[D].长沙:湖南农业大学,2015.
- [21] MOHAN ADHALE, MOHAN-KUMARI HPUTTANANJIAH, UMESH-KUMAR SUKUMARAN, et al. Production of *Monascus purpureus* pigments; influenced by amid and acid protease activity [J]. Journal of Food Biochemistry, 2011, 35(4): 1231-1241.
- [22] 晏丽,张银志,王淼,等.自然发酵黄豆酱生产过程中理化及微生物指标的动态分析[J].食品与生物技术学报,2012,31(3):271-275.
- [23] 谭显东,吉栗漫,黄凡,等.紫色红曲霉固态发酵三七渣生产红色素的动力学研究[J].中国酿造,2022,41(10):189-193.
- [24] 胡凤.发酵过程中腐乳品质特征动态监测及菌群演替研究[D].长春:吉林大学,2022.
- [25] 孟梦,郭琳,宋潇,等.米曲霉A100-8酿造黄豆酱的风味研究[J].中国调味品,2016,41(4):7-11.
- [26] 于茜雅,鲁赛,吴昌正,等.温度对广式高盐稀态酱油原油品质的影响[J].食品科学,2023,44(22):55-63.