

DOI: 10.12161/j.issn.1005-6521.2025.06.001

添加辅料对红酸汤品质的影响

崔艳平, 龙丹丹, 王静, 张冬, 叶淑红*
(大连工业大学 食品学院, 辽宁 大连 116034)

摘要: 为研究添加辅料对红酸汤品质的影响, 在红酸汤制作原料中添加生姜和大蒜, 利用戊糖乳杆菌 Y5、植物乳杆菌 Y9、季也蒙毕赤酵母菌 H1 混合发酵制备不同种类的红酸汤。分析辅料对红酸汤乳酸菌和酵母菌数量、pH 值、总酸、生物活性物质(多酚、黄酮、V_C)的含量、抗氧化活性和风味的影响。结果表明, 大蒜和生姜均影响发酵过程中乳酸菌和酵母菌的繁殖速度; 添加大蒜有利于提高红酸汤的总酸含量。添加生姜和大蒜均明显提高红酸汤中多酚、黄酮和 V_C 的含量, 同时也明显提高其抗氧化活性; 挥发性物质检测结果表明, 添加大蒜增加了红酸汤中硫化物的含量和种类, 添加生姜丰富了红酸汤中烯烃类和酯类等物质的种类, 表明添加辅料使红酸汤香气更加多样, 改善了红酸汤的风味品质。

关键词: 红酸汤; 辅料; 生物活性物质; 风味; 抗氧化活性

Effect of Adding Auxiliary Materials on Quality of Red Sour Soup

CUI Yanping, LONG Dandan, WANG Jing, ZHANG Dong, YE Shuhong*

(School of Food Science and Technology, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, Liaoning, China)

Abstract: To study the effect of added auxiliary materials on the quality of red sour soup, ginger and garlic were added to the raw materials of red sour soup. Different kinds of red sour soup were prepared by mixed fermentation of *Lactiplantibacillus pentosus* Y5, *Lactobacillus plantarum* Y9, and *Pichia guilliermondii* H1. This study analyzed the effect of auxiliary materials on the number of lactic acid bacteria and yeast, pH value, total acid, the content of bioactive substances (polyphenols, flavonoids, V_C), antioxidant activity, and flavor. It was found that garlic and ginger affected the multiplication rate of lactic acid bacteria and yeast during the fermentation process. The addition of garlic favored the rise of total acid content in red sour soup. The addition of ginger and garlic significantly increased the content of polyphenols, flavonoids, and V_C in the red sour soup, as well as the antioxidant activity. The results of volatile substance tests showed that the addition of garlic increased the content and types of sulfide in the red sour soup, while that of ginger enriched the types of such substances as olefins and esters in the red sour soup. It indicated that the aroma of the red sour soup with added auxiliary materials was more complex, with improved flavor and quality.

Key words: red sour soup; auxiliary materials; biologically active substances; flavor; antioxidant activity

引文格式:

崔艳平, 龙丹丹, 王静, 等. 添加辅料对红酸汤品质的影响[J]. 食品研究与开发, 2025, 46(6): 1-8.

CUI Yanping, LONG Dandan, WANG Jing, et al. Effect of Adding Auxiliary Materials on Quality of Red Sour Soup[J]. Food Research and Development, 2025, 46(6): 1-8.

红酸汤(red sour soup, RSS)是以西红柿和红辣椒为主要原料, 经微生物发酵制备而成的富有地域特色的食品, 富含辣椒素、矿物质、维生素、番茄红素、氨基

酸和有机酸, 成品的颜色十分鲜红诱人, 味道偏酸甜且酸度适中, 香气宜人^[1]。红酸汤内的营养物质对人体的基础代谢活动起到调节作用, 如开胃健脾、辅助胃功

基金项目: 国家十四五重点研发计划项目(2021YFD2100100); 国家自然科学基金面上项目(32171836)

作者简介: 崔艳平(1996—), 女(汉), 硕士研究生, 研究方向: 食品科学与工程。

*通信作者: 叶淑红(1972—), 女(汉), 教授, 博士, 研究方向: 微生物食品资源的开发与安全性。

能、调节肠道菌群、促进人体细胞代谢、降低胆固醇、调节血糖等^[2]。在中国西南地区,RSS被广泛用作日常烹饪的酸咸调味品^[3]。

自然发酵红酸汤存在的微生物繁杂难控、发酵时间过长、发酵过程中容易造成污染、批次间品质不稳定等问题制约了红酸汤产业的发展,无法满足现代社会食品多元化与快速化的发展需求,基于以上问题有学者开始研究红酸汤接菌发酵的生产方式,以实现其产业化发展^[4]。相关研究表明红酸汤中优势菌群以乳酸杆菌和毕赤酵母菌为主,目前对红酸汤接菌发酵研究主要集中在乳酸菌接种发酵^[5-6]。

研究表明,在蔬菜发酵的过程中添加一些辅料可以丰富发酵蔬菜的香味、去除其本身具有的不良气味,同时一些辅料还具有杀菌作用,常见的用于发酵过程中改善产品品质的辅料有生姜、大蒜等。生姜和大蒜因其具有特殊的风味而被广泛用作调味品,除此之外,还具有药用价值,均是食药两用植物。研究表明,生姜和大蒜中含有多种生物活性物质,如生姜中富含多糖、酚类化合物、萜烯类化合物等^[7],这些化合物具有抗氧化、抗菌、抗炎、降血糖等功效^[8];大蒜中的有机硫类化合物、多糖类化合物等^[9],具有抗菌、抗氧化、预防心血管疾病作用^[10]。目前,有研究发现添加生姜和大蒜对泡菜发酵过程中的细菌多样性和代谢产物产生具有积极影响,可能会影响泡菜的发酵过程和风味特征^[11]。目前关于生姜、大蒜对红酸汤品质的影响鲜见报道。

本研究利用前期从农家自制红酸汤中筛选出的戊糖乳杆菌 Y5、植物乳杆菌 Y9、季也蒙毕赤酵母菌 H1 混合发酵制备含有辅料(生姜、大蒜)的红酸汤,通过分析微生物数量、理化指标、生物活性物质含量、抗氧化活性和风味探究辅料对红酸汤品质造成的影响,以期红酸汤配方优化、提升产品品质和风味品质奠定基础。

1 材料与amp;方法

1.1 材料与试剂

戊糖乳杆菌 Y5、植物乳杆菌 Y9、季也蒙毕赤酵母菌 H1 由大连工业大学食品学院实验室从贵州农家自制红酸汤中筛选;西红柿、红辣椒、生姜、大蒜、糯米粉、食盐、白酒:市售;MRS 肉汤培养基、马铃薯葡萄糖肉汤(potato dextrose broth, PDB)培养基(均为生化试剂):北京奥博星生物技术有限责任公司;氢氧化钠、硝酸铝、碳酸钠、亚硝酸钠、没食子酸、偏磷酸、无水乙醇(均为分析纯):天津市科密欧试剂有限公司;芦丁(色谱纯):上海源叶生物科技有限公司;2,6-二氯喹酚(纯度 97%):上海阿拉丁生化科技股份有限公司;水杨酸(分析纯):上海一研生物科技有限公司;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picryl-hydrazyl, DPPH)、2,2'-

联氮-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid), ABTS]:上海吉至生化科技有限公司。

1.2 仪器与设备

SX-500 型压力蒸汽灭菌锅:日本 TOMY 公司;JYL-CO2DE 多功能破壁料理机:九阳股份有限公司;pH-25 雷磁 pH 计:上海仪电科学仪器股份有限公司;SHP-150 型生化培养箱:上海森信实验仪器有限公司;CF16RN 高速冷冻离心机:日本株式会社日立制作所;722S 型可见分光光度计:上海舜宇恒平科学仪器有限公司;456-GC-MS 气相色谱质谱联用仪:荷兰 Scion 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 发酵剂制备

戊糖乳杆菌 Y5、植物乳杆菌 Y9、季也蒙毕赤酵母菌 H1 分别使用 MRS 肉汤培养基和 PDB 培养基进行活化培养,取活化后的菌液在 4℃下 8 000 r/min 离心 10 min,弃去上清液,使用无菌生理盐水洗涤沉淀菌体 2 次,调整菌液浓度为 10⁸ CFU/mL。

1.3.2 红酸汤制作流程

1.3.2.1 工艺流程

西红柿、红辣椒→清洗、晾干→加入生姜、大蒜→破碎→加入糯米粉、食盐、白酒→混匀→接菌→发酵→成品。

1.3.2.2 红酸汤样品制备

红酸汤 X1:西红柿 1 000 g、红辣椒 200 g、糯米粉 20 g、食盐 20 g、白酒 50 g。制作流程同 1.3.2.1,戊糖乳杆菌 Y5、植物乳杆菌 Y9 和季也蒙毕赤酵母菌 H1 等比例接入,添加量为 3%,28℃发酵 5 d,每天固定取样;红酸汤 X2:在 X1 的基础上添加大蒜(40 g),制作流程同 1.3.2.1;红酸汤 X3:在 X1 的基础上添加生姜(60 g),制作流程同 1.3.2.1;红酸汤 X4:在 X1 的基础上添加大蒜(40 g)、添加生姜(60 g),制作流程同 1.3.2.1。

1.3.3 乳酸菌与酵母菌计数

每个取样点取出红酸汤样品 1 mL,分别稀释至 10⁻⁴、10⁻⁵、10⁻⁶ 3 个浓度梯度,各取 100 μL 均匀涂布于 MRS 肉汤培养基和 PDB 培养基上,培养皿倒置放入 37℃和 28℃恒温的生化培养箱中培养 48 h。

1.3.4 pH 值测定

pH 值参照 GB 5009.237—2016《食品安全国家标准 食品 pH 值的测定》进行测定。

1.3.5 总酸含量的测定

总酸含量参照 GB 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中的酸碱滴定法进行测定。

1.3.6 生物活性物质含量测定

总酚含量采用 Folin-Ciocalteu 法^[12]测定,制备浓度

0.2~1.0 mg/mL 没食子酸为标准溶液,在 760 nm 处测定吸光度,绘制出标准曲线为 $y=1.0485x+0.1371$ ($R^2=0.999$)。黄酮含量采用氯化铝-亚硝酸钠比色法^[13]测定,制备浓度为 0.2~1.0 mg/mL 芦丁标准溶液,在 510 nm 处测定吸光度,绘制出标准曲线为 $y=1.243x+0.0156$ ($R^2=0.9998$)。V_c 含量参照 GB 5009.86—2016《食品安全国家标准 食品中抗坏血酸的测定》中的 2,6-二氯酚法进行测定。

1.3.7 抗氧化活性测定

DPPH·清除率参照 Yang 等^[14]的方法进行测定。DPPH·清除率($Y_1, \%$)计算公式如下。

$$Y_1 = \frac{1 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

式中: A_0 为无水乙醇+DPPH 溶液的吸光度; A_1 为样品溶液+DPPH 溶液的吸光度; A_2 为无水乙醇+样品溶液的吸光度。

ABTS⁺·清除率参照 Dharmisthaben 等^[15]的方法进行测定。ABTS⁺·清除率($Y_2, \%$)的计算公式如下。

$$Y_2 = \frac{1 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

式中: A_0 为无水乙醇+ABTS 工作液的吸光度; A_1 为样品溶液+ABTS 工作液的吸光度; A_2 为无水乙醇+样品溶液的吸光度。

羟自由基清除率采用水杨酸法进行测定。取 1 mL 样品溶液与 1 mL 9 mmol/L FeSO₄ 和 1 mL 9 mmol/L 水杨酸溶液混合,以 1 mL 8.8 mmol/L H₂O₂ 为反应启动剂,37 °C 水浴反应 30 min 后测定 OD₅₁₀,记为 A_1 ;以蒸馏水代替 H₂O₂ 测定 OD₅₁₀,记为 A_2 ;以蒸馏水代替样品溶液测定 OD₅₁₀,记为 A_0 。·OH 清除率($Y_3, \%$)计算公式如下。

$$Y_3 = \frac{1 - (A_1 - A_2)}{A_0} \times 100$$

1.3.8 挥发性化合物测定

参照 Xu 等^[16]的方法并稍作修改,取(2.0±0.1)g 样品于 20 mL 顶空瓶中,插入 DVB/CAR/PDMS 萃取头,60 °C 水浴 30 min,随后顶空萃取 30 min,取出萃取头插入气相色谱质谱联用仪进样口,250 °C 解吸 5 min,测定挥发性物质。色谱条件:FB-5MSI (30 m×0.25 mm×0.25 μm)弹性石英毛细管柱;柱温 40 °C 保留 2 min,以 4 °C/min 升温至 248 °C;载气(99.999% He)流速 1.0 mL/min;不分流进样;溶剂延迟时间 4 min。质谱条件:电子轰击离子源(electron impact ion source, EI);电子能量 70 eV;离子源温度 230 °C;四极杆温度 150 °C;接口温度 280 °C;质量扫描范围 29~500 amu。样品中所检测到各挥发性成分的色谱峰与 NIST14 标准谱库比对和分析,选取匹配度大于 80% 的物质,确

认其成分。按照峰面积归一化法得到各化学成分的相对含量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016、SPSS 22.0 软件对数据进行分析处理,并使用 Origin 2021 作图。

2 结果与分析

2.1 添加辅料对红酸汤发酵过程中乳酸菌和酵母菌数量的影响

4 组红酸汤发酵过程中乳酸菌数量变化结果见图 1。

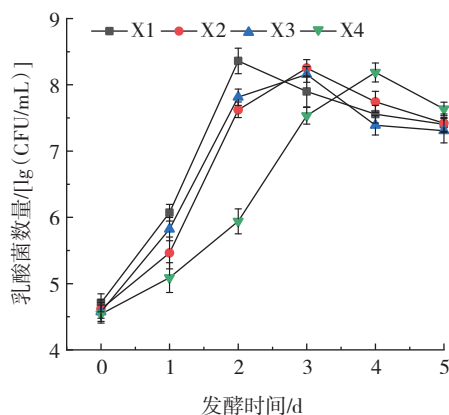


图 1 发酵过程中乳酸菌数量变化

Fig.1 Changes in the number of lactic acid bacteria during fermentation

由图 1 可知,4 组红酸汤中乳酸菌数目均随发酵时间的延长呈先升高后降低的趋势,这是因为随着发酵时间的延长,酸和有害代谢物质的积累抑制了乳酸菌的生长,与 Li 等^[12]的研究结果一致。在发酵第 1 天增长速度相对较缓,可能是微生物适应生长环境处于延滞期,X1、X2 和 X3 的乳酸菌数量在第 2 天迅速增加,此阶段乳酸菌已经适应生长环境开始大量繁殖,其中 X1 在第 2 天达到顶峰,X2 和 X3 在第 3 天达到顶峰,而 X4 中乳酸菌数量的增长主要发生在第 1~4 天,在第 4 天时达到顶峰,虽然在前 4 d 发酵过程中乳酸菌数量 $X1 > X3 > X2 > X4$,但是各组红酸汤乳酸菌数量的峰值相近。

4 组红酸汤发酵过程中酵母菌数量变化结果见图 2。

由图 2 可知,4 组红酸汤中酵母菌数量整体呈现先升高后降低的趋势,其中 X1 与 X3 趋势相近,主要在第 2 天和第 3 天迅速增长,在发酵第 3 天达到顶峰,X2 与 X4 变化趋势相同,主要在第 3 天和第 4 天迅速增长,在第 4 天达到顶峰,达到顶峰时酵母菌数量 X1 大于其他 3 组,X3 大于 X2 和 X4,而 X2 与 X4 数量相近,表明添加大蒜和生姜抑制了酵母菌的生长。

此结果表明添加大蒜和生姜对发酵初期乳酸菌和

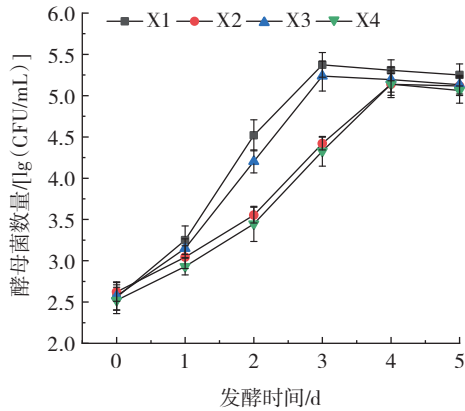


图2 发酵过程中酵母菌数量变化

Fig.2 Changes in the number of yeast during fermentation

酵母菌的生长具有一定的抑制作用,且大蒜的抑制作用大于生姜的抑制作用,相关研究表明大蒜中的大蒜素及生姜中的姜辣素具有一定的抑菌性能^[17],在本试验中大蒜和生姜的添加量较低,并不能完全抑制乳酸菌和酵母菌的生长。有研究表明,大蒜素在 25 °C 放置 3 d 后抑菌能力完全丧失^[18],且随着发酵的进行,在微生物的作用下大蒜和生姜中的物质可能发生转变,因此随着发酵的进行,微生物在发酵中期迅速增加。

2.2 添加辅料对红酸汤发酵过程中 pH 值的影响

pH 值可以预测乳酸菌的生长速率和红酸汤的发酵程度^[19]。发酵过程中 pH 值变化结果见图 3。

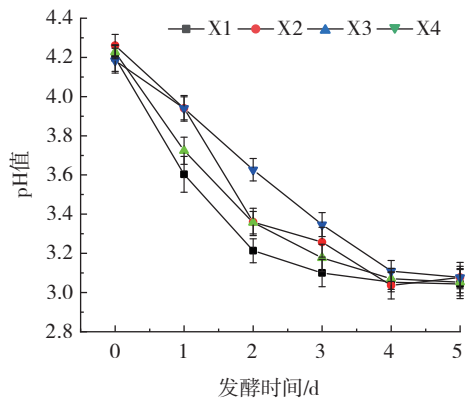


图3 发酵过程中 pH 值变化

Fig.3 Changes in pH during fermentation

由图 3 可知,在发酵过程中,4 种红酸汤样品 pH 值均呈现下降趋势,其中 X1、X2 和 X3 在发酵前期(0~2 d)迅速下降,X4 在 0~4 d 内匀速下降,但是在发酵终点时,4 组红酸汤 pH 值相近,约为 3.06 ± 0.02 。造成此结果的原因可能是微生物接种于各个酸汤样品后,生长趋势有所差异。

2.3 添加辅料对红酸汤发酵过程中总酸含量的影响

发酵过程中总酸含量的增加是微生物生长和代谢产生有机酸的结果,对于发酵产品的安全性及风味品质具有重要的影响^[20]。总酸含量变化结果见图 4。

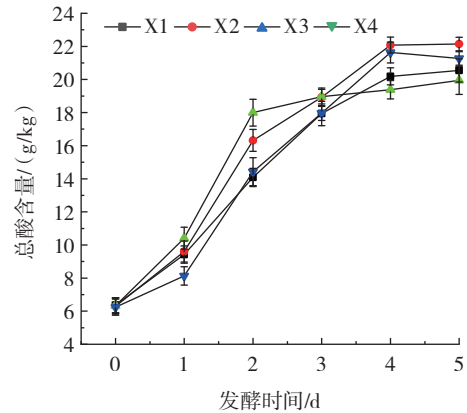


图4 发酵过程中总酸含量变化

Fig.4 Changes in total acid content during fermentation

由图 4 可知,在发酵过程中,4 组红酸汤总酸含量接近直线上升,其中 X1 和 X2 的总酸含量在 0~4 d 迅速增加,X4 总酸含量增加主要发生在 2~4 d,三者均在 4 d 后趋于稳定状态,而 X3 总酸含量增加主要发生在 0~2 d,在第 2 天之后增长速度缓慢。在发酵结束时,总酸含量由高到低依次为 X2、X4、X1、X3,总酸含量为 19.95~22.14 g/kg。此结果与发酵过程中乳酸菌数量变化一致,由红酸汤发酵过程中酸度变化及发酵结束时的总酸含量结果可知,添加辅料对发酵进程具有一定的影响,这种影响可能是通过影响微生物产生的。

2.4 添加辅料对红酸汤中生物活性物质含量的影响

2.4.1 红酸汤中多酚含量

多酚类物质的生物学作用主要在于具有较强的抗氧化活性,研究表明蔬菜、水果中富含多酚类物质^[21]。4 种红酸汤中多酚含量见图 5。

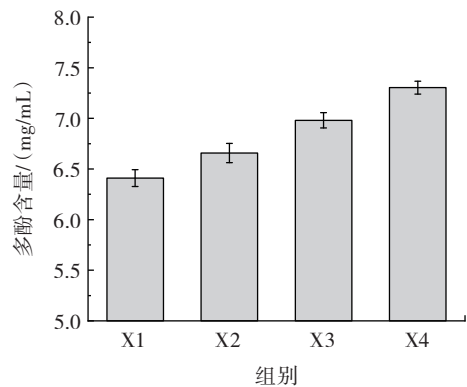


图5 发酵终点各组红酸汤中多酚含量

Fig.5 Polyphenol content in red sour soup in each group at the end of fermentation

由图 5 可知,X4 多酚含量最高,为 (7.304 ± 0.064) mg/mL,其后依次为 X3、X2 和 X1。西红柿和红辣椒中含有酚类物质,微生物发酵过程中,由于代谢作用可能导致酚类物质的释放,因此 X1 检测出酚类物

质^[22];作为辅料添加的生姜中也含有多种酚类物质,因此 X3 酚类物质含量高于 X1;虽然大蒜中酚类物质含量较低,但大蒜中含有大蒜素、二烯丙基硫化物等生物活性物质,这些物质在发酵过程中可以保护多酚,使 X2 中多酚含量高于 X1;X4 含量高于其他 3 组,可能是同时添加大蒜和生姜致使原料中多酚类物质含量增加,富含的大蒜素等生物活性物质又可以对多酚起保护作用。

2.4.2 红酸汤中黄酮含量

黄酮类物质是许多蔬菜都富含的活性物质,常用作天然食品抗氧化剂^[23]。发酵终点各组红酸汤中黄酮含量见图 6。

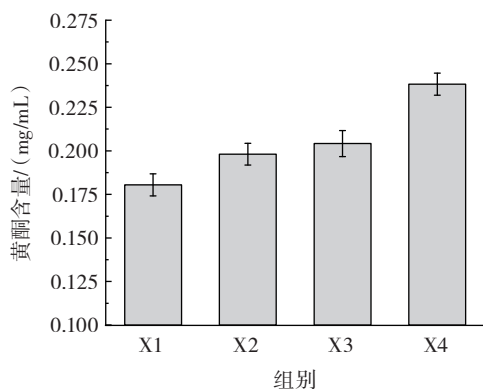


图 6 发酵终点各组红酸汤中黄酮含量

Fig.6 Flavonoid content in red sour soup in each group at the end of fermentation

由图 6 可知,黄酮含量由高到低依次为 X4、X3、X2、X1,含量为 0.180~0.238 mg/mL。大蒜和生姜可以提高红酸汤中黄酮类物质的含量,且作用结果相近,当大蒜和生姜同时添加时,黄酮含量最高。

2.4.3 红酸汤中 V_C 含量

抗坏血酸是番茄中的一种生理活性物质^[24]。发酵终点各组红酸汤中 V_C 含量见图 7。

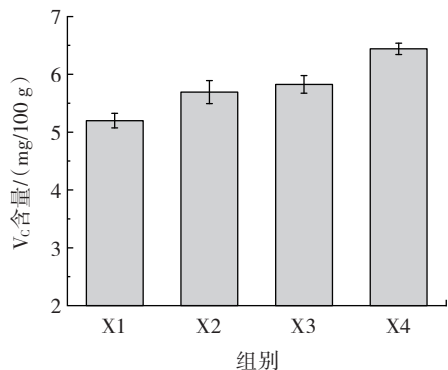


图 7 发酵终点各组红酸汤中 V_C 含量

Fig.7 V_C content in red sour soup in each group at the end of fermentation

由图 7 可知,V_C 含量与多酚和黄酮含量的变化趋

势相同,X4 含量最高,为(6.441±0.097) mg/100 g,明显高于其他组。V_C 因其极易溶于水而极其不稳定,在遇到氧气或者热的条件下易被破坏。在发酵过程中添加的大蒜、生姜等虽然 V_C 含量极低,但其中含有的较多生物活性物质如酚类等,均可以对 V_C 起到保护作用,降低 V_C 的氧化,因此添加辅料的红酸汤中 V_C 含量高于未添加。蒋志伟等^[25]的研究表明,在新鲜橙汁中添加含有酚类等抗氧化物质的芦荟提取液,可以有效提高 V_C 的保存率,与本研究结果相似。

2.5 添加辅料对红酸汤抗氧化活性的影响

发酵结束时各组红酸汤对 DPPH·、ABTS⁺·和·OH 的清除率如图 8 所示。

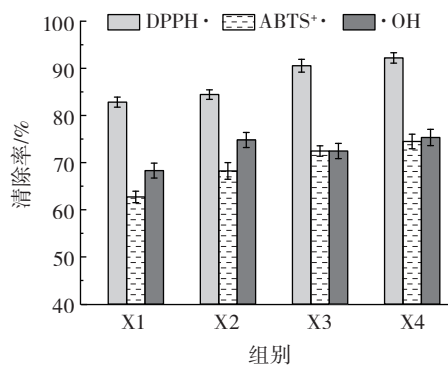


图 8 发酵终点各组红酸汤的抗氧化活性

Fig.8 Antioxidant activity of red sour soup in each group at the end of fermentation

由图 8 可知,4 组红酸汤样品均对 DPPH· 具有较好的清除作用,清除作用高低顺序为 X4>X3>X2>X1,其中 X1 对 DPPH· 的清除率为(82.813±2.290)%,低于其他 3 组,X4 对 DPPH· 的清除率最高,达到(92.197±1.919)%;4 组红酸汤样品对 ABTS⁺· 清除效果与 DPPH· 趋势相同,·OH 的清除效果高低顺序为 X4>X2>X3>X1,表明在发酵过程中添加生姜和大蒜均可以提高其抗氧化活性,当生姜和大蒜同时添加时其抗氧化活性高于单独添加。红酸汤的主要原材料(西红柿和红辣椒)中含有番茄红素、酚类等生物活性物质,其次在发酵过程中乳酸菌代谢产生的有机酸等也具有抗氧化活性,因此 X1 也具有较好的抗氧化活性^[26]。有研究表明,在泡菜发酵过程中添加生姜可以提高其抗氧化活性^[27],与本研究结果一致,这与生姜和大蒜中含有的生物活性物质有关,如姜辣素和大蒜素等物质。

2.6 添加辅料对红酸汤挥发性物质的影响

风味对产品品质起着至关重要的作用,在 4 组红酸汤中共检测出 98 种风味物质,挥发性物质含量见表 1,红酸汤中各类风味物质的含量见图 9。

由图 9 和表 1 可知,4 组红酸汤中醇类物质含量依次为 X1(16.622%)、X2(14.920%)、X3(19.137%)、

表1 4组红酸汤中挥发性物质含量

Table 1 Content of volatile substances in four groups of red sour soup

序号	名称	含量/%				序号	名称	含量/%			
		X1	X2	X3	X4			X1	X2	X3	X4
醇类											
1	桉叶醇			2.185	1.652	50	柠檬烯			1.370	1.548
2	异戊醇	0.570	0.513	0.383		51	桉烯	2.521	1.927	1.382	2.806
3	(E)-3-己烯-1-醇	1.839	0.402	0.360	1.528	52	伞花烃			0.184	0.257
4	2-甲基-6-庚烯-1-醇			0.178		53	α-蒎品油烯	0.782	0.437	0.482	
5	3-甲基-1-丁醇	0.564	6.348	0.178	0.127	54	α-蒎品烯	0.362	0.519	0.215	
6	己醇	4.320	1.501	0.778	3.553	55	胡椒烯			0.213	0.320
7	壬醇	1.281	0.581	1.343	0.496	56	蒎烯水合物			0.592	0.216
8	芳樟醇	0.518	0.427	2.004	0.526	57	大根香叶烯			0.610	
9	辛醇	1.724	0.284	0.265	0.438	58	(+)-环苜蓿烯			0.168	
10	冰片醇			0.817		59	大根香叶烯 D			0.152	
11	α-松油醇			0.926	0.284	60	β-倍半水芹烯			1.589	
12	香茅醇			1.051		61	姜烯			14.619	4.267
13	橙花醇			1.960	1.235	62	β-甜没药烯	1.073	1.158	3.218	2.750
14	异香叶醇			0.774	0.325	63	(+)-7-表-倍半蒎烯			0.255	
15	橙花叔醇			0.215	0.197	64	β-金合欢烯			1.685	0.957
16	苯乙醇	1.335			0.529	65	α-姜黄烯			5.379	4.164
17	香叶醇			1.047	1.691	66	顺式-α-佛手柑烯				0.189
18	乙醇	4.471	4.864	4.673	4.281	67	β-榄香烯			1.692	0.352
酸类											
19	乙酸	2.049	2.101	0.402	0.273	68	紫穗槐烯			0.168	0.430
20	己酸	12.652	5.088	2.727	3.281	69	γ-榄香烯				0.269
21	辛酸	0.658		0.187	0.198	70	β-姜黄烯				0.211
22	壬酸	0.547			0.510	71	α-法尼烯	0.452	0.527	4.291	0.427
23	棕榈酸	0.826	0.146	0.174	0.131	醛酮类					
24	香叶酸				0.045	72	6-甲基-5-庚烯-2-酮	1.332	0.838	0.491	0.389
酯类											
25	乙酸乙酯	3.712	2.544		3.952	73	香叶基丙酮	1.026			0.139
26	丁酸乙酯	0.695	0.650	0.347	0.018	74	β-紫罗兰酮	0.472		0.137	0.082
27	己酸乙酯	32.601	28.135	13.527	17.072	75	橙花基丙酮	0.183	0.314		0.146
28	戊酸乙酯	0.617		0.371	0.281	76	2-壬酮	0.157		0.157	0.727
29	葵酸乙酯	0.892			1.462	77	2-十一酮	0.039			0.081
30	辛酸乙酯	1.274		0.372	1.137	78	(E)-2-己烯醛	0.874	1.653		
31	壬酸乙酯	2.938			5.380	79	苯甲醛	0.488	0.048	0.141	0.037
32	丙酸 2-羟基乙酯	0.999	0.431			80	柠檬醛	0.115	0.137	0.284	0.511
33	丙酸芳樟酯	0.596				81	2,5-二甲基苯甲醛	0.972	0.316	0.411	0.271
34	棕榈酸乙酯	0.847	2.018	1.724	3.145	硫化物					
35	乳酸乙酯	0.247	0.173	0.285	0.169	82	二烯丙基硫醚		5.041		0.112
36	乙酸香茅酯			0.631	0.476	83	二烯丙基二硫醚	0.054	16.861	0.104	2.084
37	乙酸香叶酯			2.002	3.852	84	3-乙烯基-4-烯-1,2-环己硫醚		1.605		
38	甲酸香茅酯				0.458	85	3-乙烯基-5-烯-1,2-环己硫醚		0.349		0.230
39	水杨酸甲酯	3.754			2.361	86	二烯丙基三硫醚		3.180		1.606
40	水杨酸乙酯	0.461			0.165	87	烯丙基甲基二硫醚		1.839		1.511
41	乙酸龙脑酯			0.162	0.182	88	二甲基三硫化物		0.446		
42	乙酸己酯	2.498		0.957	2.371	89	(E)-1-烯丙基-2-(丙烯-1-基)二硫烷		3.858		
烯烃类											
43	α-蒎烯	0.952	1.028	1.083	0.600	90	烯丙基甲基三硫醚		0.372		0.385
44	蒎烯			3.250	2.002	其他					
45	α-水芹烯			0.972		91	樟脑	0.269	0.075	0.081	0.052
46	β-水芹烯			6.953	1.273	92	丁香酚		0.331	0.079	
47	α-石竹烯			1.419		93	异丁香酚	0.107	0.417		0.118
48	β-月桂烯	0.712	0.614	0.637	0.383	94	邻甲氧基苯酚		0.281		
49	β-蒎品油烯			0.263	0.390	95	3H-1,2-二噻吩		3.767		
						96	(E)-烯丙基(丙烯-1-基)硫烷		0.253		
						97	2-戊基呋喃	0.114	0.019	0.013	0.042
						98	2-乙酰基呋喃	0.062	0.328	0.037	0.025

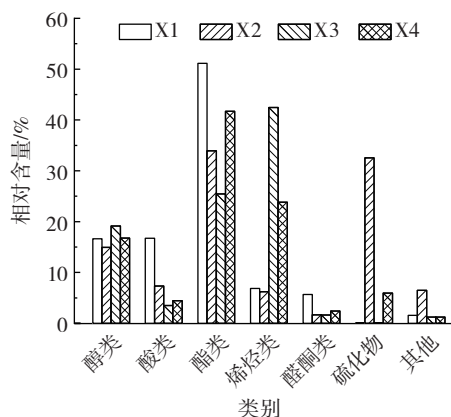


图9 4组红酸汤中各类挥发性物质含量

Fig.9 Content of various volatile substances in four groups of red sour soup

X4(16.772%)。由表1可以看出,X2组醇的种类与X1组相近,表明大蒜添加对醇的种类影响较小,但是对不同醇类的含量影响较大。与X1和X2组相比,X3与X4组醇的种类明显增加,其中2-甲基-6-庚烯-1-醇、冰片醇和香茅醇仅在X3组中检测出,桉叶醇、 α -松油醇、橙花醇、异香叶醇、橙花叔醇和香叶醇仅在X3和X4中检出,生姜的添加对红酸汤中醇类物质的丰度有明显的影 响。辅料中的物质与主要原料中的物质在微生物代谢过程中相互作用,产生更复杂的醇类物质,赋予红酸汤更复杂更优越的醇香。

酸类物质可以赋予红酸汤独特的风味,由图9和表1可知,在4组红酸汤中酸类物质含量由高到低为X1(16.732%)、X2(7.335%)、X4(4.438%)和X3(3.490%),而酸类化合物的种类由多到少顺序为X4>X1>X3>X2,其中乙酸、己酸、棕榈酸在4种红酸汤中均被检出,辛酸除X2组外,在其他组被检出,壬酸在X1和X4组中检出,香叶酸仅在X4组中检出。辅料添加对酸类物质的含量和种类产生不同的影响,添加大蒜对酸类物质的种类无明显影响,而添加生姜产生了影响,当二者同时添加时检测出了微量的香叶酸。

由图9和表1可知,酯类物质是红酸汤中的主要风味物质,4组红酸汤中酯类含量最高为X1组(51.131%),其中含量最高的均为己酸乙酯,这使红酸汤具有令人满意的果味口感^[28]。4种红酸汤中酯类物质的种类依次为X4>X1>X3>X2,此结果表明,单独添加大蒜和生姜会降低酯类物质的丰度,当大蒜和生姜以适当的比例混合添加时,可以提高酯类物质种类,产生X1中不存在的酯类物质。在X3和X4中检测出乙酸香茅酯、乙酸香叶酯和乙酸龙脑酯,这些酯类物质的生成可能与生姜的添加有关。

烯炔类物质通常具有比较柔和的气味^[29],可以中和产品中的刺激性气味。由图9和表1可知,4组红酸汤中烯炔类物质含量X3(42.465%)>X4(23.811%)>

X1(6.852%)>X2(6.210%)。4组红酸汤中烯炔类物质含量与种类存在较明显的差异,其中X1组和X2组组成相似,以 α -蒎烯、 β -月桂烯、桉烯、 α -蒎品油烯、 α -蒎品烯为主,这些烯炔类物质主要来源于原材料红辣椒。X3组中烯炔类物质含量最高且种类最为丰富,其中 β -水芹烯、姜烯、 α -姜黄烯含量较高。X4组中烯炔类物质含量和种类均低于X3组,其中姜烯和 α -姜黄烯含量最高,这些烯炔类物质主要与添加的辅料生姜有关,丰富了红酸汤的风味。

由图9和表1可知,在4组红酸汤中共检测出6种酮类和4种醛类,其中X1组含量和种类均为最高,醛酮类物质的含量依次为X1>X4>X3>X2,此结果表明大蒜和生姜的添加降低了酸汤中醛酮类物质的含量,而当大蒜和生姜同时添加时丰富了酸汤中醛酮类物质的含量。4组红酸汤中均含有柠檬醛,具有强烈的柠檬香气。在X1组中6-甲基-5-庚烯-2-酮、香叶基丙酮、 β -紫罗兰酮、橙花基丙酮含量较高,具有花香果,对红酸汤的香气具有贡献作用,有研究表明这些酮类物质与番茄红素和 β -类胡萝卜素有关^[30],这些物质在X4组中也被检出。

由图9和表1可知,在4组红酸汤中共检测出9种硫化物,X2组硫化物含量和种类均为最高,其中二烯丙基二硫醚含量明显高于其他硫化物,达到16.861%,这主要来源于辅料大蒜中的大蒜素,在发酵时间内未完全分解。二烯丙基硫醚和二烯丙基三硫醚是蒜氨酸的降解产物,含量分别为5.041%和3.180%。X4组中硫化物含量明显低于X2组,表明同时添加大蒜和生姜,既丰富了红酸汤的风味物质,又未产生刺激性。

3 结论

本文研究添加辅料(生姜、大蒜)对红酸汤品质的影响结果表明,大蒜和生姜的添加影响发酵过程中乳酸菌和酵母菌的繁殖速度,在发酵终点时各组之间无明显差异。pH值下降区间不同,但发酵结束时pH值相近,总酸含量呈现增加趋势,发酵结束时总酸含量由高到低依次为X2>X4>X1>X3。对多酚、黄酮和V_C含量进行分析,表明辅料添加可以提高红酸汤中的生物活性物质含量,且当大蒜和生姜混合添加时明显增加。抗氧化活性变化与生物活性物质含量变化趋势相同。对4组红酸汤的挥发性物质检测表明,添加大蒜增加了红酸汤中硫化物的含量和种类,而酯类、酸类和醛酮类物质的种类有所降低;添加生姜提高了红酸汤中烯炔类和酯类物质的种类,姜烯和 α -姜黄烯被检测到;当大蒜和生姜同时添加时,明显增加了烯炔类、酯类、醇类、硫化物的种类,使红酸汤香气更复杂,对红酸汤风味具有积极的贡献作用。本研究为红酸汤配方优化和品质提升奠定研究基础。

参考文献:

- [1] 袁野, 李云成, 孟凡冰, 等. 贵州红酸汤研究进展[J]. 粮食与油脂, 2022, 35(6): 19-23.
YUAN Ye, LI Yuncheng, MENG Fanbing, et al. Research progress on Guizhou red sour soup[J]. Cereals & Oils, 2022, 35(6): 19-23.
- [2] 郑伟, 吴茂钊, 杨春华. 贵州少数民族嗜酸饮食习俗的表现及其形成因素探析[J]. 南宁职业技术学院学报, 2022, 30(1): 55-59.
ZHENG Wei, WU Maozhao, YANG Chunhua. On the manifestations and forming factors of acidophilic eating customs of ethnic minorities in Guizhou[J]. Journal of Nanning College for Vocational Technology, 2022, 30(1): 55-59.
- [3] ZHOU X J, LIU Z Q, XIE L, et al. The correlation mechanism between dominant bacteria and primary metabolites during fermentation of red sour soup[J]. Foods, 2022, 11(3): 341.
- [4] XIONG K X, HAN F, WANG Z H, et al. Screening of dominant strains in red sour soup from Miao nationality and the optimization of inoculating fermentation conditions[J]. Food Science & Nutrition, 2020, 9(1): 261-271.
- [5] LI J, WANG X Y, WU W Y, et al. Comparison of fermentation behaviors and characteristics of tomato sour soup between natural fermentation and dominant bacteria-enhanced fermentation[J]. Microorganisms, 2022, 10(3): 640.
- [6] ZHENG S, WU W Y, ZHANG Y L, et al. Improvement of tomato sour soup fermentation by *Lactocaseibacillus casei* H1 addition[J/OL]. Journal of Food Processing and Preservation, 2022(2022-06-22)[2024-04-03]. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16806>.
- [7] KIYAMA R. Nutritional implications of ginger: Chemistry, biological activities and signaling pathways[J]. The Journal of Nutritional Biochemistry, 2020, 86: 108486.
- [8] CRICHTON M, DAVIDSON A R, INNERARITY C, et al. Orally consumed ginger and human health: An umbrella review[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2022, 115(6): 1511-1527.
- [9] BAR M, BINDUGA U E, SZYCHOWSKI K A. Methods of isolation of active substances from garlic (*Allium sativum* L.) and its impact on the composition and biological properties of garlic extracts[J]. Antioxidants, 2022, 11(7): 1345.
- [10] SHANG A, CAO S Y, XU X Y, et al. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.)[J]. Foods, 2019, 8(7): 246.
- [11] JANG H Y, KIM M J, JEONG J Y, et al. Exploring the influence of garlic on microbial diversity and metabolite dynamics during kimchi fermentation[J]. Heliyon, 2024, 10(2): e24919.
- [12] LI C Q, ZHANG Q, WANG C, et al. Effect of starters on quality characteristics of Hongsuantang, a Chinese traditional sour soup[J]. Fermentation, 2022, 8(11): 589.
- [13] JIA G T, ZHAO H Q, HOU D H, et al. Quantitative determination of total flavonoids from *Polygonatum sibiricum* by spectrophotometry[J]. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, 677(2): 022126.
- [14] YANG X X, ZHOU J C, FAN L Q, et al. Antioxidant properties of a vegetable-fruit beverage fermented with two *Lactobacillus plantarum* strains[J]. Food Science and Biotechnology, 2018, 27(6): 1719-1726.
- [15] DHARMISTHABEN P, BASAIAWMOIT B, SAKURE A, et al. Exploring potentials of antioxidative, anti-inflammatory activities and production of bioactive peptides in lactic fermented camel milk[J]. Food Bioscience, 2021, 44: 101404.
- [16] XU X X, WU B B, ZHAO W T, et al. Correlation between autochthonous microbial communities and key odorants during the fermentation of red pepper (*Capsicum annum* L.)[J]. Food Microbiology, 2020, 91: 103510.
- [17] 孙盟盟, 吴聪驰. 生姜挥发油的抑菌活性测定[J]. 食品安全导刊, 2023(29): 57-59.
SUN Mengmeng, WU Congchi. Determination of antibacterial activity of ginger volatile oil[J]. China Food Safety Magazine, 2023(29): 57-59.
- [18] 王剑, 黄爽爽, 冷云伟, 等. 发酵大蒜关键风味物质及形成机理的研究[J]. 中国检验检疫, 2022, 30(1): 21-29.
WANG Jian, HUANG Shuangshuang, LENG Yunwei, et al. Study on key flavour substances and formation mechanism of fermented garlic[J]. China Inspection Body & Laboratory, 2022, 30(1): 21-29.
- [19] SEO H, BAE J H, KIM G, et al. Suitability analysis of 17 probiotic type strains of lactic acid bacteria as starter for kimchi fermentation[J]. Foods, 2021, 10(6): 1435.
- [20] WU R N, YU M L, LIU X Y, et al. Changes in flavour and microbial diversity during natural fermentation of Suan-Cai, a traditional food made in Northeast China[J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 211: 23-31.
- [21] 王晓波, 蔡永波, 梁小红, 等. 蔬菜多酚的抗氧化及抑制亚硝化作用[J]. 现代预防医学, 2013, 40(21): 3927-3929.
WANG Xiaobo, CAI Yongbo, LIANG Xiaohong, et al. The effect of vegetable polyphenols on anti-oxidization and inhibition of nitrosation[J]. Modern Preventive Medicine, 2013, 40(21): 3927-3929.
- [22] DAGOSTIN J L A, CARPINE D, MASSON M L. Influence of acidification method on composition, texture, psychrotrophs, and lactic acid bacteria in Minas frescal cheese[J]. Food and Bioprocess Technology, 2013, 6(11): 3017-3028.
- [23] TAO H, LI L Y, HE Y Q, et al. Flavonoids in vegetables: Improvement of dietary flavonoids by metabolic engineering to promote health[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2024, 64(11): 3220-3234.
- [24] GARCÍA-ALONSO F J, GONZÁLEZ-BARRIO R, MARTÍN-POZUELO G, et al. A study of the prebiotic-like effects of tomato juice consumption in rats with diet-induced non-alcoholic fatty liver disease (NAFLD)[J]. Food & Function, 2017, 8(10): 3542-3552.
- [25] 蒋志伟, 邓涵丰, 周毅, 等. 添加芦荟提取物对橙汁中维生素C保存率的影响[J]. 现代食品, 2023, 29(19): 208-212.
JIANG Zhiwei, DENG Hanfeng, ZHOU Yi, et al. Effect of addition of *Aloe* extract on the retention rate of vitamin C in orange juice[J]. Modern Food, 2023, 29(19): 208-212.
- [26] KHUBBER S, MARTI-QUIJAL F J, TOMASEVIC I, et al. Lactic acid fermentation as a useful strategy to recover antimicrobial and antioxidant compounds from food and by-products[J]. Current Opinion in Food Science, 2022, 43: 189-198.
- [27] 王聪, 廖萌, 张喆, 等. 三种药食原料对乳酸菌生长及抗氧化的影响[J]. 食品工业, 2017, 38(7): 32-35.
WANG Cong, LIAO Meng, ZHANG Zhe, et al. The influence of three Chinese medicinal herbs on the growth and antioxidant properties of lactic acid bacteria[J]. The Food Industry, 2017, 38(7): 32-35.
- [28] KONG C L, LI A H, SU J, et al. Flavor modification of dry red wine from Chinese spine grape by mixed fermentation with *Pichia fermentans* and *S. cerevisiae*[J]. LWT - Food Science and Technology, 2019, 109: 83-92.
- [29] CULLERÉ L, SAN-JUAN F, CACHO J. Characterisation of aroma active compounds of Spanish saffron by gas chromatography-olfactometry: Quantitative evaluation of the most relevant aromatic compounds[J]. Food Chemistry, 2011, 127(4): 1866-1871.
- [30] RODE H R, FEHRMAN C E, BLAIR A D, et al. Evaluation of the significance of the Maillard browning reaction, caramelization, and flavor development in beef steaks[J]. Meat Science, 2016, 112: 152.