

天然抗氧化剂对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量及品质的影响

常云鹤^{1,2}, 陈 曦³, 郑舒文¹, 冯红霞^{1*}, 马立志^{1,2}

(1. 贵阳学院食品与制药工程学院, 贵阳 550000; 2. 贵州省果品加工工程技术研究中心, 贵阳 550000;
3. 贵州省农业科学院现代农业发展研究所, 贵阳 550006)

摘 要: **目的** 评估茶多酚、抗坏血酸和植酸 3 种天然抗氧化剂作用下红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的变化, 分析储藏期间天然抗氧化剂对红酸汤品质的影响。**方法** 利用 GB 5009.33—2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》的方法确定红酸汤发酵过程中亚硝酸盐的含量, 采用 GB 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》的方法和感官评定法分析储藏期间红酸汤品质的变化。**结果** 茶多酚、抗坏血酸和植酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐的形成均具有显著的抑制作用($P<0.05$), 且在最优添加量下, 抑制亚硝酸形成的作用效果依次为: 茶多酚(0.20%)>抗坏血酸(0.05%)>植酸(0.20%)。**结论** 本研究结果表明 3 种天然抗氧化剂均可显著抑制红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的增加, 且在储藏期间, 3 种天然抗氧化剂均可显著抑制红酸汤酸度的提高($P<0.05$), 提高红酸汤储藏期内的感官评分($P<0.05$), 有助于产品在储藏期间保持产品品质的稳定, 其中茶多酚的效果最为显著($P<0.05$)。为天然抗氧化剂在红酸汤中的应用提供了理论依据, 有助于红酸汤产业的健康发展。

关键词: 红酸汤; 天然抗氧化剂; 发酵; 亚硝酸盐; pH; 感官评定

Effects of natural antioxidants on nitrite content and quality of red sour soup during fermentation process

CHANG Yun-He^{1,2}, CHEN Xi³, ZHENG Shu-Wen¹, FENG Hong-Xia^{1*}, MA Li-Zhi^{1,2}

(1. Food and Pharmaceutical Engineering Institute, Guiyang University, Guiyang 550000, China; 2. Guizhou Fruit Processing Engineering Technology Center, Guiyang 550000, China; 3. Institute of Integrated Agricultural Development Research, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, China)

ABSTRACT: Objective To evaluate the change of nitrite content in red sour soup during fermentation process under the action of 3 kinds of natural antioxidants, namely tea polyphenols, ascorbic acid and phytic acid, and analyze the influence of natural antioxidants on the quality of red sour soup during storage. **Methods** The content of nitrite in red sour soup during fermentation process was determined by the method provided in the GB 5009.33—2016 *National food safety standard-Determination of nitrite and nitrate in food*, and the quality of red sour

基金项目: 贵州省普通高等学校科技拔尖人才支持计划项目(黔教合 KY 字[2018]061)、2019 贵州省教育厅青年科技成长项目(黔教合 KY 字[2019]091)

Fund: Supported by the Project of Scientific and Technological Top Notch Talents Support Program of Guizhou Education Department (Qian Jiao He KY [2018]061), and the Guizhou Education Department Youth Science and Technology Development Project 2019 (Qian Jiao He KY [2019]091)

***通信作者:** 冯红霞, 副教授, 主要研究方向为食品检测、食品加工。E-mail: 149791005@qq.com

***Corresponding author:** FENG Hong-Xia, Associate Professor, Guiyang University, Food and Pharmaceutical Engineering Institute, No.103, Jianlongdong Road, Guiyang 550000, China. E-mail: 149791005@qq.com

soup was analyzed using the method recorded in the GB 5009.239—2016 *National food safety standard-Determination of acidity of food* and sensory evaluation method during storage. **Results** Tea polyphenols, ascorbic acid, and phytic acid all had significant inhibitory effects on the formation of nitrite during the fermentation process of red sour soup ($P<0.05$), and at the optimal addition amount, the inhibitory effect of tea polyphenols (0.20%)>ascorbic acid (0.05%)>phytic acid (0.20%). **Conclusion** The results show that the 3 kinds of natural antioxidants could significantly inhibit the increase of nitrite content in the fermentation process of red sour soup, and during storage, the 3 kinds of natural antioxidants can significantly inhibit the increase of acidity of red sour soup ($P<0.05$), improve the sensory evaluation of red sour soup during storage ($P<0.05$), and help to maintain the stability of product quality during storage, among which the effect of tea polyphenols is the most significant ($P<0.05$). This study can provide a theoretical basis for the application of natural antioxidants in red sour soup, and contribute to the healthy development of the red sour soup industry.

KEY WORDS: red sour soup; natural antioxidants; fermentation; nitrite; pH; sensory evaluation

0 引言

红酸汤是以新鲜番茄和辣椒为主要原料,经传统工艺自然发酵而成,色泽红亮、酸辣可口的一种富有民族特色的传统调味品^[1-5]。红酸汤不仅具有较好的营养价值,而且还含有丰富的辣椒碱、番茄红素等活性成分^[6],具有开胃健脾^[7]、降脂减肥^[8]、调节肠道菌群平衡^[9]、增强机体免疫力^[10]等功效,因而深受消费者喜爱。

红酸汤在长期的发酵过程中,除产生有机酸、氨基酸、矿物质等多种营养物质外^[11-12],还会产生亚硝酸盐等有害物质^[13-14]。当人体摄入过多的亚硝酸盐时,血液中的亚铁血红蛋白被氧化,氧气运输能力降低,易引起急性中毒,严重者可导致死亡^[15-16]。同时,亚硝酸盐还能在体内形成具有致癌性的亚硝胺,严重威胁着人体健康^[17-18]。为了提高食品的耐储藏性和稳定性,在食品加工过程中往往会向其中添加一些合成抗氧化剂^[19]。然而,研究表明,长期使用合成抗氧化剂会对机体造成较大的毒副作用,并增加患癌风险^[20-21]。因此,人们更倾向于使用绿色、安全的天然抗氧化剂^[22],从而保证食品的品质。

鉴于此,本研究以红酸汤为研究对象,考察了茶多酚、抗坏血酸和植酸 3 种天然抗氧化剂对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响,并进一步分析了上述天然抗氧化剂对红酸汤储藏期间酸度及感官品质的作用,以期寻找能够应用于红酸汤生产的天然抗氧化剂,为酸汤产业的健康发展提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

番茄、辣椒、食盐、生姜、糯米粉、白酒:均为市售,购买于贵州省贵阳市超市。

植物乳杆菌菌粉(美国 Danisco 公司);茶多酚、抗坏血酸、植酸(分析纯,河北宇威生物科技有限公司);丁基羟基茴香醚(分析纯,南京松冠生物科技有限公司);盐酸、冰乙酸、乙酸锌、硼酸钠(分析纯,湖北信康医药化工有限公司);对氨基苯磺酸、盐酸萘乙二胺(分析纯,南京百慕达生物科技有限公司);邻苯二甲酸氢钾、磷酸二氢钾(分析纯,合肥顺之源化工有限公司)。

1.2 仪器与设备

JH10K-2 电子天平(精度 0.01 g,北京京衡伟业科技有限公司);DF-101S 集热式磁力搅拌器(郑州羽中仪器有限公司);L6S 紫外可见分光光度计(上海向帆仪器有限公司);RP-001A 便携式 pH 计(青岛尚众电子科技有限公司)。

1.3 试验方法

1.3.1 红酸汤的制备

新鲜番茄洗净、切碎→配料(加入辣椒、糯米粉、姜)→粉碎→加入盐、白酒→拌料→添加抗氧化剂→装坛→发酵→成品。此外,实验室自制红汤与市售红汤制备工艺相同,品质无差异。

1.3.2 理化指标的测定

根据 GB 5009.33—2016《食品安全国家标准 食品中亚硝酸盐与硝酸盐的测定》(分光光度法)和 GB 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》(pH 计法)的方法,以未添加抗氧化剂的红酸汤为对照组,测定不同添加量的茶多酚、抗坏血酸和植酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响,并确定 3 种天然抗氧化剂的最佳添加量,并在此基础上,测定添加天然抗氧化剂的红酸汤在储存期间的 pH 和总酸含量。

1.3.3 感官评定

在储存期间,在第 0、4、8 和 12 d 对红酸汤进行取样,随机选取 10 位同学对样品从色泽、风味、口感、杂质、组

织形态 5 个方面进行评分, 每项指标均采用 20 分制, 感官评分标准如表 1 所示。

1.4 数据处理

每组试验重复 3 次并取平均值, 采用 Office 2019 对所得数据进行处理, 使用 SPSS 20.0 软件中的 Tukey’s 检验对数据进行显著性分析, 当 $P<0.05$ 时视为差异显著。

表 1 红酸汤感官评定标准		
Table 1 Sensory evaluation standard of red sour soup		
指标	评价标准	评分
色泽	呈鲜红色, 颜色均匀, 有光泽	16~20
	呈浅红色, 颜色均匀, 有光泽	10~15
	呈暗红色, 颜色不均匀, 无光泽	0~9
风味	发酵香气浓郁, 无异味	16~20
	发酵香气较淡, 无明显异味	10~15
	无发酵香气, 有异味	0~9
口感	有红酸汤特有的鲜香味, 酸爽可口	16~20
	有红酸汤特有的鲜香味, 酸度过大	10~15
	无红酸汤特有的鲜香, 酸辣味不协调, 口感较差	0~9
杂质	无肉眼可见杂质	16~20
	有细微颗粒杂质	10~15
	有肉眼可见杂质	0~9
组织形态	质地均匀, 流动呈液状, 无悬浮物	16~20
	质地均匀, 黏稠度稍差, 无悬浮物	10~15
	质地不均匀, 黏度较大, 有悬浮物	0~9

2 结果与分析

2.1 茶多酚对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响

选取茶多酚添加量为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%, 分析茶多酚添加量对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响, 结果如图 1 所示。

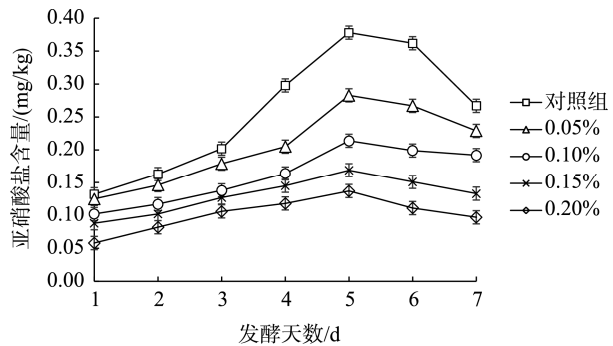


图 1 茶多酚对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响($n=3$)
Fig.1 Effects of tea polyphenols on the nitrite content in the fermentation process of red sour soup ($n=3$)

由图 1 可知, 随着发酵天数的延长, 红酸汤中亚硝酸盐含量均呈先上升后下降趋势。与对照组相比, 添加茶多酚的红酸汤中亚硝酸盐的峰值显著降低($P<0.05$), 这可能是由于茶多酚抑制了红酸汤发酵过程中硝酸盐还原菌的生长, 从而降低其还原硝酸盐为亚硝酸盐的能力, 且茶多酚能够阻断 N-亚硝基化合物合成, 从而切断亚硝酸盐的合成途径^[23-24]。此外, 当茶多酚添加量为 0.20% 时, 红酸汤中的亚硝酸盐含量在整个发酵过程中均保持最低值。可见, 茶多酚可以有效降低红酸汤中发酵过程中亚硝酸盐的含量, 且其最佳添加量为 0.20%。

2.2 抗坏血酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响

选取抗坏血酸添加量为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%, 分析抗坏血酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响, 结果如图 2 所示。

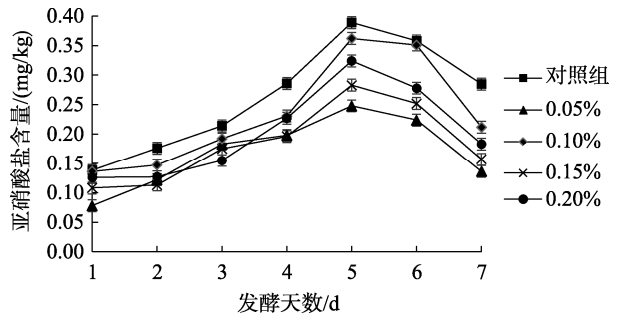


图 2 抗坏血酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响($n=3$)
Fig.2 Effects of ascorbic acid on the nitrite content in the fermentation process of red sour soup ($n=3$)

由图 2 可知, 红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量均呈先上升后下降趋势, 且在第 5 d 时达到峰值。与对照组相比, 添加抗坏血酸的红酸汤中的亚硝酸盐峰值显著降低($P<0.05$), 表明抗坏血酸可以有效抑制红酸汤发酵过程中亚硝酸盐的积累, 这是因为抗坏血酸具有较强的供氢活性, 能直接将亚硝酸盐还原成 NH_4^+ ^[25]。此外, 发酵至第 7 d 时, 红酸汤样品中的亚硝酸盐含量均已降到 0.3 mg/kg 以下, 其中添加 0.05% 的抗坏血酸的红酸汤的亚硝酸盐含量最低。因此, 抗坏血酸的最佳添加量为 0.05%。

2.3 植酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响

选取植酸添加量为 0.05%、0.10%、0.15%、0.20%, 分析植酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响, 结果如图 3 所示。

由图 3 可知, 红酸汤中亚硝酸盐含量随发酵时间的延长均呈先上升后下降趋势, 且添加植酸的红酸汤中的亚硝酸盐含量显著低于对照组($P<0.05$)。这是由于发酵初期亚硝酸还原菌快速繁殖, 使红酸汤中亚硝酸盐的含量显著上升, 发酵中后期由于乳酸菌成为优势菌, 酸汤 pH 逐渐降低抑制了亚

硝酸还原菌的生长,亚硝酸盐含量逐渐下降,而植酸的添加可以直接起到降低体系 pH 的作用,最终抑制红酸汤亚硝酸盐的产生^[26]。此外,当植酸添加量为 0.20%时,红酸汤中的亚硝酸盐含量与峰值最低。可见,植酸可以有效抑制红酸汤发酵过程中亚硝酸盐的形成,且其最佳添加量为 0.20%。

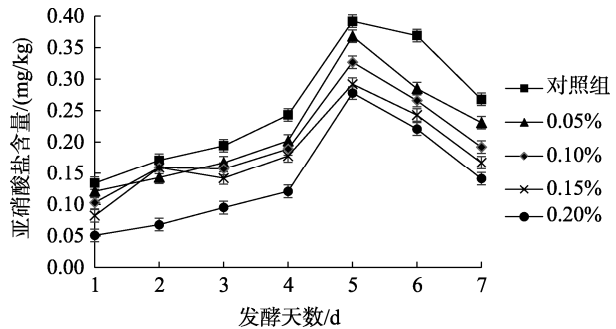


图 3 植酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响($n=3$)
Fig.3 Effects of phytic acid on the nitrite content in the fermentation process of red sour soup ($n=3$)

2.4 3 种天然抗氧化剂对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量影响比较

以未添加抗氧化剂的红酸汤为对照组,比较最佳添加量下的 3 种天然抗氧化剂对红酸汤亚硝酸盐含量的影响,结果如图 4 所示。

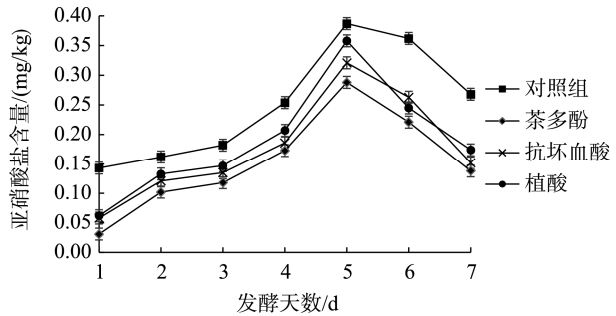


图 4 3 种天然抗氧化剂对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量的影响($n=3$)
Fig.4 Effects of 3 kinds of natural antioxidants on the nitrite content in the fermentation process of red sour soup ($n=3$)

由图 4 可知,与对照组相比,添加 3 种天然抗氧化剂的红酸汤在发酵过程中的亚硝酸盐含量与峰值均显著降低($P<0.05$),表明茶多酚、抗坏血酸和植酸对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐的形成具有一定的抑制作用,其中茶多酚(0.20%)的抑制效果最好,抗坏血酸(0.05%)次之,植酸(0.20%)的抑制效果最弱,这可能与茶多酚较其他两种天然抗氧化剂具有更强的抗氧化活性和抑菌性有关^[27-28]。

2.5 天然抗氧化剂对红酸汤酸度的影响

酸度是影响红酸汤等发酵制品品质的重要指标之一,

对添加与未添加天然抗氧化剂的红酸汤在储藏期间内的 pH 和总酸含量进行测定,结果如表 2 所示。

表 2 3 种天然抗氧化剂对红酸汤 pH 和总酸含量的影响
Table 2 Effects of 3 kinds of natural antioxidants on pH and total acid content of red sour soup

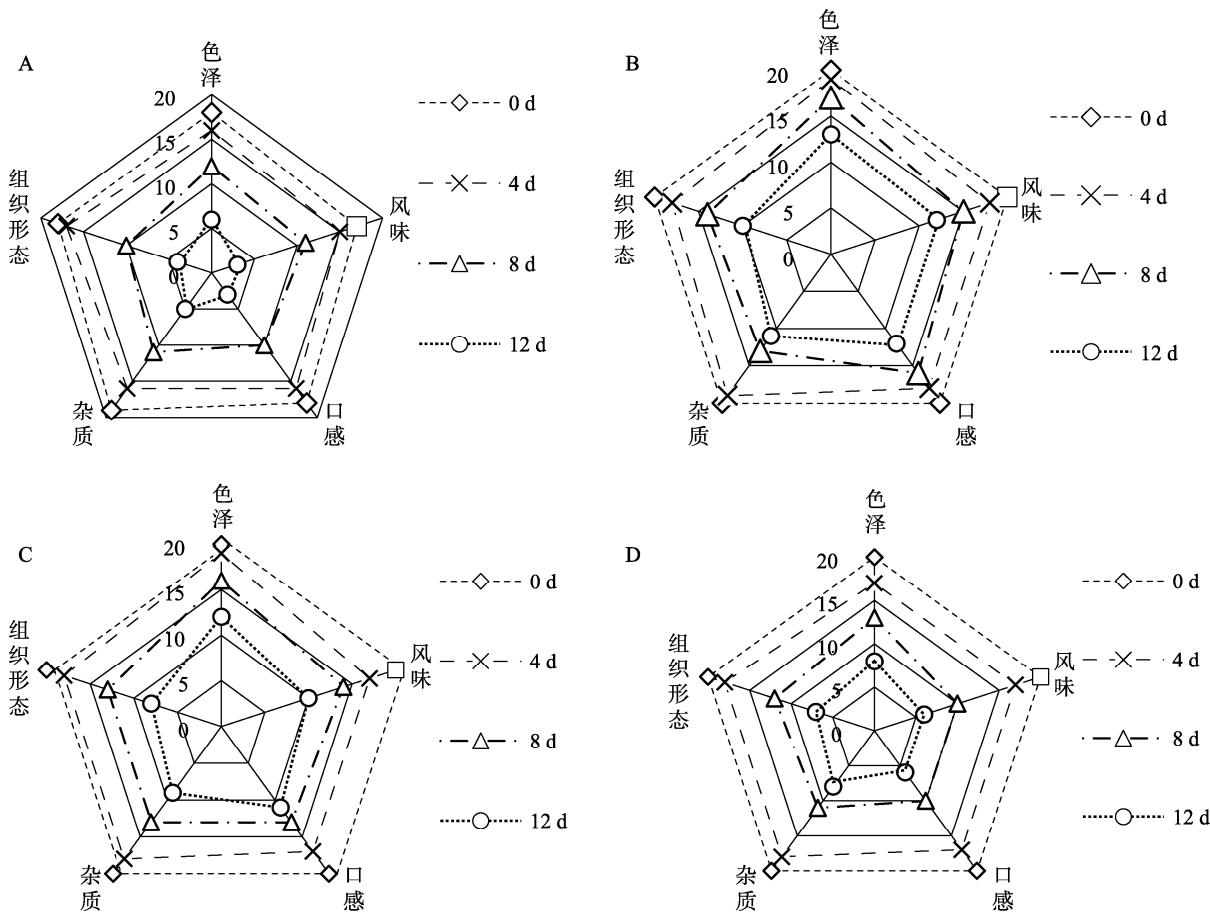
天数/d	酸度			
	空白对照	0.20%茶多酚	0.05%抗坏血酸	0.20%植酸
pH				
1	3.71±0.01 ^a	3.87±0.03 ^b	3.83±0.01 ^b	3.85±0.03 ^b
2	3.59±0.03 ^a	3.75±0.01 ^b	3.69±0.03 ^b	3.72±0.07 ^b
3	3.55±0.05 ^a	3.68±0.04 ^b	3.66±0.05 ^b	3.67±0.02 ^b
4	3.46±0.01 ^a	3.62±0.01 ^b	3.57±0.04 ^b	3.60±0.05 ^b
5	3.35±0.06 ^a	3.59±0.02 ^b	3.52±0.03 ^b	3.57±0.01 ^b
6	3.28±0.02 ^a	3.56±0.01 ^b	3.51±0.02 ^b	3.54±0.03 ^b
7	3.22±0.01 ^a	3.54±0.08 ^b	3.50±0.01 ^b	3.53±0.09 ^b
总酸含量/%				
1	2.65±0.21 ^A	0.52±0.13 ^B	0.73±0.13 ^B	0.67±0.21 ^B
2	4.98±0.17 ^A	2.07±0.09 ^B	2.66±0.24 ^B	2.58±0.15 ^B
3	5.67±0.19 ^A	3.41±0.25 ^B	3.62±0.32 ^B	3.59±0.10 ^B
4	6.54±0.23 ^A	3.98±0.19 ^B	5.35±0.18 ^B	4.13±0.26 ^B
5	9.72±0.14 ^A	4.83±0.22 ^B	5.73±0.14 ^B	4.96±0.12 ^B
6	10.85±0.18 ^A	5.18±0.15 ^B	5.94±0.23 ^B	5.71±0.08 ^B
7	11.84±0.15 ^A	5.56±0.16 ^B	6.04±0.12 ^B	5.83±0.16 ^B

注: 同一行不同小写字母表示 pH 间存在显著性差异($P<0.05$); 不同大写字母表示总酸含量间存在显著性差异($P<0.05$)。

由表 2 可知,随着储藏时间的延长,红酸汤样品中的 pH 逐渐降低,总酸含量增加,该变化规律与常云鹤等^[29]的报道一致,这是由于红酸汤中的微生物在储藏期内仍会不断生长繁殖,从而增加了产品酸的积累所致。此外,与对照组相比,添加天然抗氧化剂的红酸汤的 pH 显著升高($P<0.05$),总酸含量显著降低($P<0.05$),表明天然抗氧化剂可有效控制红酸汤中 pH 的下降和总酸的积累。类似地,辛松林等^[30]发现茶多酚可以控制储藏过程泡菜中 pH 的下降,并将其归因于茶多酚对乳酸菌及其他产酸微生物的抑制作用,这与本试验研究结果一致。

2.6 天然抗氧化剂对红酸汤感官品质的影响

以未添加天然抗氧化剂的红酸汤作为空白对照,分析茶多酚、抗坏血酸和植酸在红酸汤储藏第 0、4、8 和 12 d 对其感官品质的影响,结果见图 5。



注: A: 对照组; B: 茶多酚; C: 抗坏血酸; D: 植酸。

图 5 3 种天然抗氧化剂对红酸汤感官评分的影响

Fig.5 Effects of 3 kinds of natural antioxidant on sensory scores of red sour soup

由图 5 可知, 在第 0 d 时, 4 组红酸汤样品均具有较好的色泽、风味、口感、杂质和组织形态, 感官评分最高。随着储藏天数的延长, 对照组的红酸汤的色泽逐渐变暗、酸度增大、口感变差, 并伴有杂质和异味的产生, 感官评分降低, 而添加茶多酚、抗坏血酸和植酸的红酸汤出现上述不良反应的速度较慢, 且在储藏期内的感官评分均显著高于对照组($P<0.05$), 其中添加茶多酚的红酸汤的感官评分最高, 这可能是由于与其他两种抗氧化剂相比, 茶多酚具有更好的抗氧化、抑菌活性及控制酸度增加的能力^[29]。上述结果表明, 天然抗氧化剂可以改善红酸汤的感官品质, 提高其食用价值。

3 结论与讨论

本研究探讨了茶多酚、抗坏血酸和植酸 3 种抗氧化剂对红酸汤发酵过程中亚硝酸盐含量及品质的影响。结果表明, 3 种天然抗氧化剂均可不同程度地降低红酸汤发酵过程中亚硝酸盐的含量, 其最佳添加量分别为茶多酚 0.20%、抗坏血酸 0.05%、植酸 0.20%, 其中茶多酚的作用效果明显

优于其他两种天然抗氧化剂。此外, 天然抗氧化剂的添加可以有效控制红酸汤储藏过程中酸度的增加, 在 7 d 的检测期中, 对照组的 pH 下降了 0.5 左右, 总酸含量增加了 8% 左右, 而添加天然抗氧化剂的样品 pH 下降了 0.3 左右, 总酸含量增加了 5% 左右。此外, 3 种抗氧化剂均能显著提高储藏期红酸汤的感官品质, 其中以茶多酚的效果最佳。在后续研究中, 我们将对天然抗氧化剂之间或与其他物质复配使用对红酸汤亚硝酸盐含量的影响及其作用机理进行深入的探讨, 从而为更好地控制红酸汤发酵过程中亚硝酸盐的产生提供理论基础。

参考文献

[1] 张东亚, 徐俐, 鲁青松, 等. 菌群强化凯里红酸汤“番茄浆”及发酵工艺的优化[J]. 食品科技, 2018, 43(5): 313–318.
ZHANG DY, XU L, LU QS, *et al.* Optimization of kaili red sour soup “tomato juice” fermentation process and fortified microflora [J]. Food Sci Technol, 2018, 43(5): 313–318.
[2] 周绍琴, 李凤兰, 吴映梅, 等. 红酸汤的抗氧化活性研究[J]. 中国调味品, 2021, 46(7): 17–21.
ZHOU SQ, LI FL, WU YM, *et al.* Research on the antioxidant activity of

- red sour soup [J]. China Cond, 2021, 46(7): 17–21.
- [3] 何扬波, 李咏富, 钟定江, 等. 电子鼻和气相离子迁移谱技术比较瓮臭味及正常红酸汤的风味差异[J]. 食品工业科技, 2020, 41(14): 216–221.
- HE YB, LI YF, ZHONG DJ, *et al.* Analysis on the flavor difference of red sour soup including urn odor and normal flavor samples with electronic nose and gas chromatography-ion mobility spectroscopy [J]. Sci Technol Food Ind, 2020, 41(14): 216–221.
- [4] 张璇. 贵州“红酸汤”半成品中微生物区系的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2011.
- ZHANG X. Study on the microbial flora of semi-finished products of “red sour soup” in Guizhou [D]. Chongqing: Southwest University, 2011.
- [5] 常云鹤, 章乾, 宋明发, 等. 枸杞对红酸汤品质及风味的影响[J]. 中国调味品, 2022, 47(1): 167–171.
- CHANG YH, ZHANG Q, SONG MF, *et al.* Effect of *Lycium barbarum* on the quality and flavor of red sour soup [J]. China Brew, 2022, 47(1): 167–171.
- [6] 潘季红. 红酸汤干制工艺及烹饪肉类食品品质研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- PAN JH. Study on drying technology of red acid soup and quality of cooking meat food [D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.
- [7] 吴姝, 李金玲, 龙丽丽, 等. 自然与乳酸菌强化发酵过程中红酸汤品质变化[J]. 中国酿造, 2020, 39(10): 75–78.
- WU S, LI JL, LONG LL, *et al.* Quality change of red sour soup during natural fermentation and lactic acid bacteria intensified fermentation [J]. China Brew, 2020, 39(10): 75–78.
- [8] 杨红梅, 王楠兰, 周倩倩, 等. 凯里红酸汤对肥胖大鼠脂质代谢及氧化应激的影响[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(11): 41–46.
- YANG HM, WANG NL, ZHOU QQ, *et al.* Effect of Kaili red sour soup on lipid metabolism and oxidative stress in obese rats [J]. Food Res Dev, 2021, 42(11): 41–46.
- [9] 鲁杨, 王楠兰, 李贤, 等. 凯里红酸汤主要营养和功能成分的分析研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(7): 163–166.
- LU Y, WANG NL, LI X, *et al.* Analysis and research on main nutrition and functional components of Kaili red acid soup [J]. Food Res Dev, 2019, 40(7): 163–166.
- [10] 郑莎莎. 干酪乳杆菌 H1 发酵红酸汤的品质影响及特征代谢物研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2020.
- ZHENG SS. Study on quality influence and characteristic metabolites of tomato sour soup fermented by *Lactobacillus casei* H1 [D]. Guiyang: Guizhou University, 2020.
- [11] 郑莎莎, 胡萍. 利用乳酸菌发酵红酸汤的品质变化研究[J]. 中国调味品, 2019, 44(8): 65–70.
- ZHENG SS, HU P. Study on quality change of red sour soup fermented by lactic acid bacteria [J]. China Cond, 2019, 44(8): 65–70.
- [12] 潘季红, 秦礼康, 文安燕, 等. 贵州红酸汤营养品质及呈味特征分析[J]. 中国调味品, 2020, 45(6): 43–48.
- PAN JH, QIN LK, WEN ANY, *et al.* Analysis of nutritional quality and flavor characteristics of red acid soup in Guizhou Province [J]. China Cond, 2020, 45(6): 43–48.
- [13] 邹大维. 凯里红酸汤营养成分分析与研究[J]. 中国调味品, 2015, 40(5): 129–132.
- ZOU DW. Analysis and research on nutrients in Kaili red sour soup [J]. China Cond, 2015, 40(5): 129–132.
- [14] 徐俐, 戴岳宗. 乳酸菌对酸汤中亚硝酸盐变化研究[J]. 中国调味品, 2009, 34(5): 43–46.
- XU L, DAI YZ. Study on the effect of nitrite in sour soup of different lactic acid bacteria [J]. China Cond, 2009, 34(5): 43–46.
- [15] 李米, 陈尚龙, 张建萍, 等. 姜辣素提取工艺及其对亚硝酸盐的清除作用研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(13): 175–179.
- LI M, CHEN SL, ZHANG JP, *et al.* Study on extraction process of gingerols and its nitrite scavenging effect [J]. J Anhui Agric Sci, 2021, 49(13): 175–179.
- [16] 张东亚. 红酸汤发酵工艺优化及品质控制研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2018.
- ZHANG DY. Research on the optimization of fermentation process and quality control of the red sour soup [D]. Guiyang: Guizhou University, 2018.
- [17] MONICA F, LETICIA M, MILAGRO R, *et al.* Risk assessment of chemical substances of safety concern generated in processed meats [J]. Food Sci Hum Well, 2019, 8(3): 244–251.
- [18] 杨子, 王松灵. 亚硝胺体内暴露水平及影响因素[J]. 口腔生物医学, 2020, 11(2): 67–70.
- YANG Z, WANG SL. The exposure level of nitrosamine *in vivo* and influencing factors [J]. Oral Biomed, 2020, 11(2): 67–70.
- [19] 郑惠娜, 任鼎鼎, 薛高瞻, 等. κ -卡拉胶对马氏珠母贝肌肉水溶性蛋白稳定性的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2019, 39(1): 71–77.
- ZHENG HN, REN DD, XUE GZ, *et al.* Effect of κ -carrageenan on the stability of water soluble proteins extracted from *Pinctada martensii* muscle [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2019, 39(1): 71–77.
- [20] 左玉, 张国娟, 惠芳, 等. 食品抗氧化剂的研究进展[J]. 粮食与油脂, 2018, 31(5): 1–3.
- ZUO Y, ZHANG GJ, HUI F, *et al.* Research progress of food antioxidants [J]. Cere Oils, 2018, 31(5): 1–3.
- [21] CHRISTINE K. Evaluation of anti-oxidant properties in essential oil and solvent extracts from *Tagetes minuta* [J]. African J Pure Appl Chem, 2015, 9(5): 98–104.
- [22] 蓝蔚青, 赵家欣, 张溪, 等. 微酸性电解水-复合保鲜剂对冷藏凡纳滨对虾品质及菌群结构影响[J]. 广东海洋大学学报, 2021, 41(6): 1–8.
- LAN WQ, ZHAO JX, ZHANG X, *et al.* Effects of mixture of slightly acidic electrolytic water and compound preservative on the quality and microflora structure of *Litopenaeus vannamei* during refrigerated storage [J]. J Guangdong Ocean Univ, 2021, 41(6): 1–8.
- [23] 赵秋艳, 宋莲军, 张平安, 等. VC 与茶多酚对自然发酵泡菜中亚硝酸盐含量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(2): 900–901.
- ZHAO QY, SONG LJ, ZHANG PAN, *et al.* Influence of VC and tea polyphenol on the content of the nitrite in natural fermentation pickle [J]. J Anhui Agric Sci, 2010, 38(2): 900–901.
- [24] 吴映明, 黄凯纯, 李桂鸿, 等. 低亚硝酸盐甘蓝泡菜的研制[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(2): 153–155.
- WU YM, HUANG KC, LI GH, *et al.* The development of low-nitrite cabbage pickles [J]. J Anhui Agric Sci, 2019, 47(2): 153–155.
- [25] 黄苇, 李远志, 赵玲华, 等. 消除梅菜中亚硝酸盐的方法研究(上)[J]. 中国调味品, 2003, (6): 23–26.
- HUANG W, LI YZ, ZHAO LH, *et al.* Study on the method of eliminating nitrite in Melai (Part 1) [J]. China Cond, 2003, (6): 23–26.
- [26] 丁筑红, 顾采琴, 孟佳, 等. 植酸对白菜乳酸发酵过程中微生物生长代

- 谢及亚硝酸盐积累影响初探[J]. 食品与机械, 2004, (5): 33–35.
- DING ZH, GU CQ, MENG J, *et al.* Influence of phytic acid on the lactic acid fermentation and contents of nitrite in Chinese cabbage [J]. Food Mach, 2004, (5): 33–35.
- [27] 黄苇, 吴晓冰, 李远志, 等. 抗氧化剂对腌芥菜中亚硝酸盐消除效果的研究[J]. 食品科技, 2009, 34(5): 77–80.
- HUANG W, WU XB, LI YZ, *et al.* Study on the elimination effect of antioxidant on nitrite in pickled mustard greens [J]. Food Sci Technol, 2009, 34(5): 77–80.
- [28] 张海均, 贾冬英, 赵甲元, 等. 石榴皮多酚提取物对泡菜中亚硝酸盐消减机理研究[J]. 中国调味品, 2012, 37(3): 62–66.
- ZHANG HJ, JIA DY, ZHAO JY, *et al.* Reduction mechanisms of pomegranate peel polyphenol extract on nitrite in pickled mustard [J]. China Cond, 2012, 37(3): 62–66.
- [29] 常云鹤, 冯红霞, 马立志, 等. 天然防腐剂对红酸汤货架期菌落总数及pH的影响[J]. 中国调味品, 2019, 44(11): 91–93.
- CHANG YH, FENG HX, MA LZ, *et al.* Effects of natural preservatives on the total bacterial colony number and pH of red sour soup during shelf life [J]. China Cond, 2019, 44(11): 91–93.
- [30] 辛松林, 阎红, 贾洪锋. 复合天然保鲜剂对传统自然发酵四川泡菜防腐效果研究[J]. 中国酿造, 2014, 33(4): 94–96.
- XIN SL, YAN H, JIA HF. Antiseptic effect of compound natural preservative on traditional fermented Sichuan pickle [J]. China Brew, 2014, 33(4): 94–96.

(责任编辑: 张晓寒 郑 丽)

作者简介



常云鹤, 博士, 主要研究方向为农产品加工。

E-mail: changyunhe1102@sina.com



冯红霞, 副教授, 主要研究方向为食品检测、食品加工。

E-mail: 149791005@qq.com