

发酵型茶醋的品质分析及抑菌性

郑凤锦^{1,2}, 方晓纯¹, 林波¹, 任二芳³, 陈静^{1,4}, 陈赶林^{1,3*}

(1. 广西农业科学院农产品加工研究所, 广西南宁 530007; 2. 广西果蔬贮藏与加工新技术重点实验室, 广西南宁 530007; 3. 广西亚热带作物研究所, 广西南宁 530010; 4. 广西南亚热带农业科学研究所, 广西崇左 532415)

摘要: 以广西贺州生产的红茶(迎霜、月湾)、绿茶(开山白毛、茗山)为原料, 分别与新鲜甘蔗汁混合发酵制备茶醋, 考察其醋酸发酵过程中的色差、总酸、茶多酚、茶氨酸、总黄酮等指标变化, 并通过电子鼻测定茶醋整体特征气味轮廓, 同时采用牛津杯-琼脂法分析 4 种茶醋对大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌 3 种致病菌的抑菌效果。结果显示, 绿茶(开山白毛、茗山)发酵体系的产酸能力较强, 且茶多酚含量较高, 茶醋中总黄酮成分保留较好; 酸类、醇类、芳香化合物、烷类物质是茶醋的整体特征气味轮廓; 以抑菌圈的大小判断 4 种茶醋的抑菌效果发现 4 种茶醋对大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌都有一定的抑菌效果, 抑菌圈明显, 且茗山茶醋抑菌效果最佳, 其对 3 种致病菌的抑菌作用为高敏感。不同茶叶品种发酵的茶醋品质和抑菌效果都有明显差别, 但绿茶发酵的茶醋的口感比红茶发酵的茶醋丰富, 且茶香、醋香味较为明显。

关键词: 茶叶; 甘蔗汁; 发酵; 茶醋; 抑菌性

Quality Analysis and Bacteriostasis of Fermented Tea Vinegar

ZHENG Fengjin^{1,2}, FANG Xiaochun¹, LIN Bo¹, REN Erfang³, CHEN Jing^{1,4}, CHEN Ganlin^{1,3*}

(1. Institute of Agro-Products Processing Science and Technology, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China; 2. Guangxi Key Laboratory of Fruits and Vegetables Storage-Processing Technology, Nanning 530007, Guangxi, China; 3. Guangxi Subtropical Crops Research Institute, Nanning 530010, Guangxi, China; 4. Guangxi South Subtropical Agricultural Research Institute, Chongzuo 532415, Guangxi, China)

Abstract: Black tea (Yingshuang, Yuewan) and green tea (Kaishan Baimao, Mingshan) produced in Hezhou, Guangxi, China were used as raw materials, mixed separately with fresh sugarcane juice to prepare tea vinegar. The changes of color difference, total acid, tea polyphenols, theanine, total flavonoids, and other indicators during acetic acid fermentation were investigated. The overall odor profile of tea vinegar was determined by an electronic nose, and the antibacterial effects of four kinds of tea vinegar on three pathogenic bacteria including *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Candida albicans* were analyzed by the Oxford cup-agar method. The results showed that the fermentation process of green tea had a strong ability to produce acid, and the contents of theanine and tea polyphenols were high, with the total flavonoids in tea vinegar well preserved. Acids, alcohols, aromatic compounds, and alkanes were the overall characteristic odor profile of tea vinegar. The antibacterial effects of four kinds of tea vinegar on *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, and *Candida albicans* were determined by the size of the inhibition zone. All four kinds of tea vinegar showed certain antibacterial effects on the three pathogenic bacteria, with obvious inhibition zones. Specifically, Minshan tea vinegar showed the best antibacterial effect, and its antibacterial effect on the three pathogenic bacteria was highly sensitive. The quality and antibacterial effect of tea vinegar fermented by various tea varieties were significantly different. However, the taste of tea vinegar fermented from green tea was richer than that fermented from black tea, and the aroma of tea and vinegar was more obvious.

基金项目: 广西重大科技计划项目(桂科 AA22117015-3); 广西农科院基本科研业务专项(桂农科 2021YT117); 科技先锋队“强农富民”“六个一”专项行动(桂农科盟 202315)

作者简介: 郑凤锦(1981—), 女(汉), 正高级工程师, 硕士, 研究方向: 农产品加工与功能研究。

*通信作者: 陈赶林(1980—), 男, 研究员, 硕士, 研究方向: 农产品加工与综合利用。

Key words: tea; sugarcane juice; fermentation; tea vinegar; bacteriostasis

引文格式:

郑凤锦,方晓纯,林波,等.发酵型茶醋的品质分析及抑菌性[J].食品研究与开发,2024,45(17):42-51.

ZHENG Fengjin, FANG Xiaochun, LIN Bo, et al. Quality Analysis and Bacteriostasis of Fermented Tea Vinegar[J]. Food Research and Development, 2024, 45(17): 42-51.

茶叶起源地在中国,在我国已有 6 000 余年的种植历史,我国茶叶产量和种类均居世界首位^[1]。茶叶中含有较多的咖啡碱、茶氨酸、茶多酚、茶多糖等主要营养成分,具有降血脂、抗氧化、抗炎、抗癌、清除自由基、增强免疫力、缓解疲劳等多种保健作用;且茶产品种类繁多,已被开发制作成含茶食品、保健食品、日化用品、茶酒、茶醋等功能茶饮^[1]。茶醋是以茶叶为主要原料,经生物发酵或浸提、调配制成的一种新型醋产品,是一种新兴的茶叶养生饮品,具有醋的调味和茶的保健双重功效,且茶叶中的活性成分如茶多酚、茶蛋白、茶氨酸、茶多糖等均能很好地保留^[2]。

目前,关于茶醋的研制方法主要分为生物发酵型和食醋浸提调配型两种。廖湘萍等^[3]将茶叶副产物浸提后与食用酒精调配得茶酒再醋酸发酵得到茶醋;周才碧等^[4-6]将黑糯米分别与古树红茶、凤凰单丛、都匀毛尖绿茶等进行混合发酵,得到不同香型的茶醋,色泽金黄透亮、香气浓郁;高晨佳等^[7]将黑茶用恒顺 9 度米醋浸泡后添加柠檬汁和菠萝汁混合调配成茶醋饮料。然而关于将茶叶和甘蔗汁混合,利用微生物发酵生产茶醋的报道较少。甘蔗在广西的种植面积、产量连续 29 年居全国第一位,其汁中含有葡萄糖、蔗糖、果糖、氨基酸、多酚和黄酮类物质以及铁、钙、磷、锰、锌等人体必需的微量元素等营养成分^[8]。已报道可直接利用甘蔗汁的蔗糖分为糖原发酵生产甘蔗果酒、甘蔗朗姆酒、甘蔗醋等产品^[9-11]。所以将茶叶与甘蔗汁混合发酵茶醋,无需额外添加糖原,既丰富了口感也增添了营养物质,是人类健康的饮品。

目前针对红茶和绿茶醋酸发酵过程的品质对比研究鲜有报道,本研究选择广西贺州的红茶(迎霜、月湾)和绿茶(开山白毛、茗山),分别与甘蔗汁混合发酵制备茶醋,研究对比分析 4 种茶醋的色差、总酸、茶多酚、茶氨酸、总黄酮含量等综合品质的变化,并采用牛津杯法体外检测复合茶醋对大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌和白色念珠菌 3 种致病菌的抑菌效果,以期为茶叶的深加工以及新产品开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

茶叶(红茶为迎霜和月湾;绿茶为开山白毛和茗

山):贺州市八步区和昭平县茶叶主产区重点推广的品种,红茶为迎霜(品种来源于杭州市茶叶科学研究所,种植区域于昭平县昭平镇,采茶时间 2017 年 4 月)、月湾(品种来源于广西桂林茶叶科学研究所,种植区域于八步区黄洞乡,采茶时间 2017 年 7 月);绿茶为开山白毛(品种来源贺州八步区农业局,种植区域于八步区开山镇,采茶时间 2017 年 5 月)和茗山(品种来源四川名山县茶业局,种植区域于昭平县马江镇,采茶时间 2017 年 3 月)^[12-13];甘蔗汁(桂糖 42 号):广西农业科学院甘蔗所;酿酒高活性干酵母:安琪酵母股份有限公司;醋酸菌:上海迪发酿造生物制品有限公司;大肠埃希氏菌(*Escherichia coli*)、金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)、白色念珠菌(*Candida albicans*)(均为质控冻干菌种):广东环凯微生物科技有限公司;白砂糖:南宁糖业股份有限公司。

乙醇、亚硝酸钠、硝酸铝、氢氧化钠、冰乙酸、氯化钠、酚酞、磷酸二氢钠、磷酸二氢钾、硫酸亚铁、酒石酸钾钠(均为分析纯):天津市大茂化学试剂厂;乙腈(色谱纯):德国默克公司;茶氨酸、芦丁标准品(纯度≥98%):上海源叶生物科技有限公司。

蛋白胨、牛肉浸粉、氯化钠(分析纯)、琼脂、麦芽膏粉、氯霉素、胰蛋白胨、酵母粉:广东环凯微生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

高速粉碎机(FLBP-350A):上海菲力博食品机械有限公司;恒温生物培养箱(Salvis LAB CN118):上海捷呈实验仪器有限公司;糖度计(PAL-1):日本 ATAGO(爱拓)公司;电子天平(YP5002 型):余姚市金诺天平仪器有限公司;高效液相色谱(LC-20AR):岛津(上海)实验仪器有限公司;紫外可见分光光度计(UV-6100):上海元析仪器有限公司;台式分光测色仪(CM-3600A):日本柯尼卡美能达公司;便携式电子鼻传感器(PEN3):德国 Airsense 公司;高压蒸汽灭菌器(SQ510C):雅玛拓科技贸易(上海)有限公司;数显恒温水浴锅(WJ-3A):常州市伟嘉仪器制造有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 茶醋的制备

1.3.1.1 工艺流程

茶醋发酵的工艺流程见图 1。

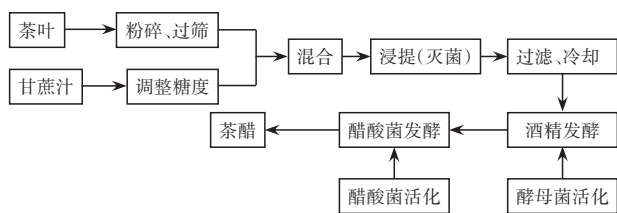


图1 茶醋发酵的工艺流程

Fig.1 Fermented process flow of tea vinegar

1.3.1.2 工艺操作要点

1)粉碎、过筛:将茶叶样品用粉碎机粉碎,过40目筛备用。

2)调整糖度:取新鲜蔗汁,加水调整其初始糖度为14°Brix。

3)混合:分别称取粉碎后的4种茶叶粉末样品各17.50 g放入三角瓶中,并按茶粉与甘蔗汁的质量比例1:80添加甘蔗汁于三角瓶中,混合搅拌均匀。

4)浸提(灭菌):置90~100℃水浴浸提1 h,每隔10 min摇匀一次。

5)过滤、冷却:用100目滤布过滤,取茶汤放入洁净三角瓶中,冷却至30~35℃备用。

6)酵母菌活化:称取茶汤质量的0.1%的酿酒高活性酵母于100 mL温水中,搅拌均匀,35℃水浴锅恒温活化0.5 h。

7)酒精发酵:将活化后的酵母液倒入过滤冷却后的茶汤中,搅拌均匀,置于28℃条件下发酵10 d。

8)醋酸菌活化:参考文献[14]方法,分别称取100 g干稻壳作为固定化载体,经脱色、灭菌后,放置在无菌三角瓶中,每瓶加入酒精发酵10 d的醪液100 mL,再分别添加1%醋酸菌,将醋酸菌固定在稻壳上,于(32±2)℃恒温条件下进行菌种活化48 h。

9)醋酸菌发酵:将活化的醋酸菌种加入到酒精发酵醪液中,搅拌均匀,于32℃恒温箱发酵培养13 d,发酵至总酸(以乙酸计)≥3.5 g/100 mL,酒精度≤0.1% vol。

1.3.2 醋酸发酵过程醋茶的品质分析

每隔1 d取样测定,考察醋酸发酵过程各发酵液的总酸、茶多酚、茶氨酸、总黄酮含量、色差、电子鼻等指标。

1.3.3 茶醋抑菌效果对比试验

选择大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌和白色念珠菌3种致病菌进行试验,考察醋酸发酵13 d后的茶醋样品对细菌和真菌的抑菌效果。

1.3.3.1 培养基的制备

营养肉汤液体培养基(1 L):蛋白胨10 g、牛肉浸粉5 g、氯化钠5 g,用蒸馏水溶解并定容,分装于试管,置于高压蒸汽灭菌锅中121℃灭菌20 min取出,备用。营养肉汤固体培养基(1 L):蛋白胨10 g、牛肉浸粉5 g、氯化钠5 g,添加2%的琼脂,用蒸馏水溶解并定容,置于高压蒸汽灭菌锅中121℃灭菌20 min取

出,备用。

麦芽汁液体培养基(1 L):麦芽膏粉130 g、氯霉素0.1 g,用蒸馏水溶解并定容,分装于试管,置于高压蒸汽灭菌锅中121℃灭菌20 min取出,备用。麦芽汁固体培养基(1 L):麦芽膏粉130 g、琼脂15 g、氯霉素0.1 g,用蒸馏水溶解并定容,置于高压蒸汽灭菌锅中121℃灭菌20 min取出,备用。

LB固体培养基^[15](1 L):胰蛋白胨10 g、酵母粉5 g、氯化钠10 g,添加2%的琼脂,用蒸馏水溶解并定容,置于高压蒸汽灭菌锅中121℃灭菌20 min取出备用。

水琼脂培养基:称取2%的琼脂,用蒸馏水溶解,置于高压蒸汽灭菌锅中121℃灭菌20 min取出,备用。

1.3.3.2 致病菌悬液的制备

挑取1环大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌分别在营养肉汤固体平板上划线,置于37℃生化培养箱培养18~24 h后,挑选大小适中的单菌落通过划线进行2次菌株纯化,从纯化的平板上挑取1环接种于10 mL营养肉汤液体培养基,置于37℃培养18~24 h,获得菌悬液。

挑取1环白色念珠菌在麦芽汁固体平板上划线,置于28℃生化培养箱中培养18~24 h。后挑选大小适中的单菌落通过划线进行2次菌株纯化,从纯化的平板上挑取1环接种于10 mL麦芽汁液体培养基,置于28℃培养18~24 h,获得菌悬液。

1.3.3.3 抑菌试验

抑菌试验参考牛津杯-琼脂法^[16]。将水琼脂培养基倒入平板,待冷却凝固后放上牛津杯(直径7.8 mm),用移液枪分别吸取制备好的致病菌悬液0.1 mL(浓度为 $4.5 \times 10^5 \sim 4.8 \times 10^5$ cfu/mL)混合于100 mL的LB固体培养基中(白色念珠菌用麦芽汁固体培养基),再倒入放有牛津杯的平板,待冷却凝固后取出牛津杯,往牛津杯留下的圈中滴入40 μL复合茶醋,每个平板留一个圈滴入同酸度的乙酸做空白,盖好平板,每组试验重复3次,放置于37℃培养(白色念珠菌置于28℃培养)48 h后观察结果。用游标卡尺测量抑菌圈的直径(diameter of inhibition zone, DIZ)并记录数据,参考孙达等^[17]的抑菌判定方法,抑菌作用判定标准如下:DIZ<7 mm,不敏感,记为-;7 mm<DIZ≤10.0 mm,低敏感,记为+;10.0 mm<DIZ≤15.0 mm,中敏感,记为++;16.0 mm<DIZ≤20.0 mm,高敏感,记为+++;DIZ>20.0 mm,极敏感,记为++++。

1.4 指标测定方法

总酸含量按照GB/T 12456—2021《食品安全国家标准 食品中总酸的测定》中酸碱滴定法测定,总酸含量以乙酸计。

酒精度按照GB 5009.225—2016《食品安全国家标准 酒和食用酒精中乙醇浓度的测定》中酒精计法测定。

总黄酮含量采用紫外可见分光光度法,参照李楠

等^[18]的方法并稍作修改。吸取 1 mL 样品溶液,加入体积分数为 70% 乙醇溶液 12.5 mL,以及 0.7 mL 质量分数为 5% 的 NaNO₂ 溶液,摇匀,放置 5 min 后,加入 0.7 mL 质量分数为 10% 的 Al(NO₃)₃ 溶液,放置 6 min 后,再加入 5 mL 浓度为 1 mol/L 的 NaOH 溶液,振荡后用 70% 乙醇溶液定容至 25 mL,静置 10 min 后以试剂空白为对照,于波长 510 nm 处测定吸光度。

茶多酚含量按照 GB/T 21733—2008《茶饮料》中附录 A 茶多酚的方法测定。

茶氨酸含量按照 GB/T 23193—2017《茶叶中茶氨酸的测定 高效液相色谱法》中采用高效液相色谱的方法测定,色谱柱为 C18(Shim-pack GIS C18, 5 μm, 4.6 mm×250 mm),进样量 10 μL,紫外检测器(ultra-violet-visible detector, UVD)。

色差采用台式分光测色仪测定。

电子鼻:电子鼻由 10 根金属氧化传感器组成,每根传感器对应一类或几类敏感性物质,每个传感器的灵敏度特性见表 1。电子鼻仪器参数:样品间隔时间 1 s、清洗时间 80 s、归零时间 10 s、样品准备时间 5 s、测定时间 80 s、载气流速 400 mL/min、进样流量 100 mL/min。

样品处理:准确称取 10.0 mL 茶醋样品于电子鼻样品瓶中,密封常温放置平衡 24 h 后,即可插入电子鼻探头进行测试,每组样品取 3 份,测 3 次平行。

数据处理:金属氧化电极测定在 40 s 后达到稳定,本研究选取 63、64、65 s 时的平均值为测试数据,平行测定 3 次。

表 1 电子鼻传感器名称及其性能描述

Table 1 Names and performance descriptions of electronic nose sensors

编号	传感器	敏感物质	选择性	灵敏度/(mL/m ³)
S1	W1C	芳香化合物	甲苯	10
S2	W5S	氮氧化合物	NO ₂	1
S3	W3C	芳香成分(尤其是氨水)	苯	10
S4	W6S	氢化物	H ₂	100
S5	W5C	烷烃,芳香性化合物	丙烷	1
S6	W1S	烷类物质	CH ₃	100
S7	W1W	硫化物	H ₂ S	1
S8	W2S	醇类,部分芳香型化合物	CO	100
S9	W2W	芳香成分,有机硫化物	H ₂ S	1
S10	W3S	高浓度烷烃(>100 μg/g)	CH ₃	100

感官评价:由 11 人组成评定小组,从色泽、香气、滋味和形态 4 个方面^[19]对样品进行感官评分,感官评定标准见表 2,取评定小组结果的平均值。

表 2 感官评定标准

Table 2 Sensory evaluation of fermented products

分值	色泽	香气	滋味	形态
20~25	浅棕色,有明显光泽	有明显醋香味,无异味	饱满,爽口,酸甜适中	澄清透亮,无悬浮物
15~<20	浅棕色,有光泽	有明显醋香味,少量异味	爽口,酸度适中	透亮,有少量悬浮物
10~<15	浅棕色,无光泽	醋香味不足,少量异味	有刺激的酸味	不够透亮,有少量悬浮物
0~<10	黄色或深褐色,无光泽	醋香味不足,有异味	有刺激的酸味,口感不协调	浑浊,有较多悬浮物和沉淀

1.5 数据分析方法

采用 Microsoft Office Excel 2019 软件进行数据整理,采用 IBM SPSS 23.0 统计分析软件进行显著性方差分析,采用 Duncan 检验方法($P<0.05$),采用 Origin Pro 2019b 制图。每个试验重复 3 次,结果用平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 醋酸发酵前酒精醪液的理化指标

在相同发酵方式和工艺条件下发酵酒精醪液,不同茶叶品种会形成不同风味的酒精醪液,并影响酒精醪液中物质的组成。不同茶叶品种醋酸发酵前酒精醪液的理化指标见表 3。

由表 3 可知,在初始糖度及发酵方式、工艺流程相同的条件下,不同茶叶品种发酵的酒精醪液中的糖度无差异,且因均以添加的蔗汁作为糖原发酵,4 种茶叶发酵酒精醪液的酒精度差异较小;但理化指标总酸、茶多酚、茶氨酸及总黄酮的含量因茶叶品种不同有很大不同。其中茗山茶发酵的酒精醪液中总酸和茶氨酸的

表 3 醋酸发酵前酒精醪液的理化指标

Table 3 Physicochemical indices of alcohol fermentation broth before acetic acid fermentation

茶叶品种	糖度/ °Brix	酒精度/ % vol	总酸 含量/ (g/L)	茶多酚 含量/ (mg/g)	茶氨酸 含量/ (mg/mL)	总黄酮 含量/ (mg/mL)
迎霜	4.8	6.8	11.55	0.377 7	0.023 5	0.031
月湾	4.8	7.0	3.15	0.506 8	0.032 5	0.029
开山白毛	4.8	7.0	7.95	1.585 1	0.047 5	0.050
茗山	4.8	6.8	11.78	0.859 1	0.239 5	0.042

含量最高,开山白毛发酵的酒精醪液中茶多酚和总黄酮的含量最高。

2.2 醋酸发酵过程醋茶的品质分析

2.2.1 总酸含量的变化

总酸反映的是发酵过程中有机酸物质总量,是茶醋中酸味的主要来源,也是评价茶醋的重要指标,同时在气味和口感上起重要的作用。取以相同发酵方式和工艺条件下不同茶叶品种发酵的酒精醪液进行醋酸发

醇,不同茶叶品种发酵茶醋过程中总酸含量变化见图2。

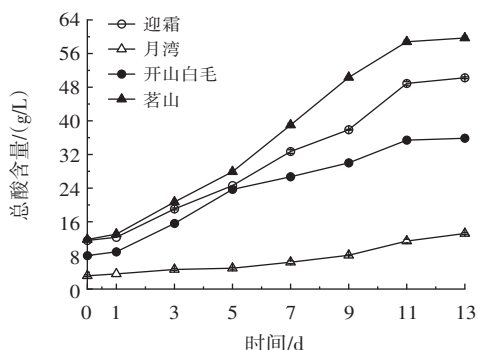


图2 不同茶叶品种发酵茶醋过程中总酸含量变化

Fig.2 Change of total acid during fermentation of tea vinegar from different tea varieties

由图2可知,醋酸发酵前,不同茶叶品种发酵的酒精醪液的总酸含量存在一定的差别,其中迎霜茶酒精发酵醪液和茗山茶酒精发酵醪液总酸含量较高。在醋酸发酵过程中,发酵1 d时,月湾酒精发酵醪液发酵启动最慢,总酸含量最低;发酵11 d后,各发酵体系总酸含量趋于平缓,至13 d,总酸含量依次为茗山茶醋(59.7 g/L)>迎霜茶醋(50.3 g/L)>开山白毛茶醋(35.85 g/L)>月湾茶醋(13.20 g/L)。因此从产酸量及增长量来看,茗山茶和迎霜茶发酵能力较好,发酵的茶醋均可达到5%以上的酸度,茗山茶发酵的茶醋与安家静^[20]采用夏秋绿茶碎茶发酵的茶醋酸度59.1 g/L相近;而月湾茶发酵的茶醋酸度达不到GB/T 18187—2000《酿造食醋》^[19]的总酸要求(≥ 35 g/L)。

2.2.2 茶多酚含量的变化

茶多酚是茶叶中主要生物活性成分之一,是茶中酚类化合物的总称,是影响茶汤苦味、涩味和色泽的主要因素,也是评价茶叶品质的关键指标之一。取在相同发酵方式和工艺条件下不同茶叶品种发酵的酒精醪液进行醋酸发酵,不同茶叶品种发酵茶醋过程中茶多酚含量变化见图3。

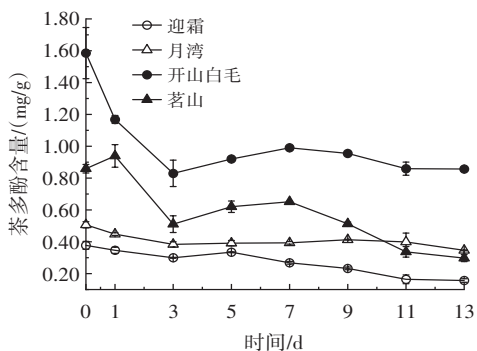


图3 不同茶叶品种发酵茶醋过程中茶多酚含量变化

Fig.3 Change of tea polyphenols during fermentation of tea vinegar from different tea varieties

由图3可知,醋酸发酵前,不同茶叶品种发酵的酒精发酵醪液中茶多酚含量有明显差别,但其含量在醋酸发酵过程中会表现出逐渐减少,然后趋于平稳的状态,这与廖湘萍等^[3]研究结果一致。醋酸发酵的前3 d,4种茶叶发酵液中的茶多酚含量逐渐下降,其中开山白毛茶发酵液中的茶多酚含量下降最多,由最高的1.585 mg/g下降至0.83 mg/g,发酵3 d后,除了迎霜茶醋,开山白毛茶醋、茗山茶醋、月湾茶醋的茶多酚含量缓慢升高,7 d后又逐渐下降,11 d时茶多酚含量均趋于稳定,这与安家静^[20]发现纯茶醋在发酵过程中茶多酚含量在10 d虽然也有下降但趋势开始平稳的现象相似。开山白毛茶茶醋发酵液中的茶多酚含量在整个醋酸发酵阶段相对于其他3种发酵液处于最高,其次是茗山茶醋发酵液,这与张露等^[21]发现茶多酚含量保持着绿茶发酵的茶醋>红茶发酵的茶醋规律相似。月湾茶发酵液的茶多酚含量在整个发酵过程含量最稳定,这可能是其在醋酸发酵过程中发酵缓慢,总酸含量较低发酵不充分,酚类物质转化不明显导致。

2.2.3 茶氨酸含量的变化

茶氨酸呈鲜爽味,是茶叶滋味组成的重要成分之一,在茶叶中占游离氨基酸的30%~60%,可改善茶饮料的风味^[22],还可以通过影响脑内神经递质(如 γ -氨基丁酸和多巴胺)含量,缓解紧张情绪,使人产生轻松感^[23],因此在茶醋发酵中茶氨酸保留越高越好。取在相同发酵方式和工艺条件下不同茶叶品种发酵的酒精醪液进行醋酸发酵,不同茶叶品种发酵茶醋过程中茶氨酸含量变化见图4。

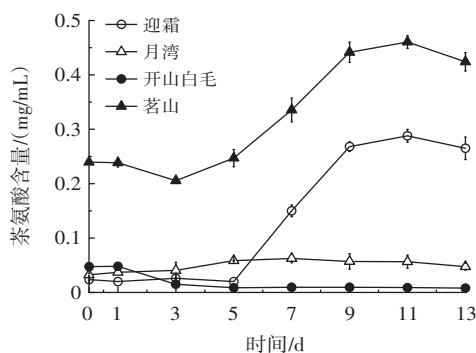


图4 不同茶叶品种发酵茶醋过程中茶氨酸含量变化

Fig.4 Changes of theanine during fermentation of tea vinegar from different tea varieties

由图4可知,醋酸发酵前,茗山茶发酵的酒精醪液中茶氨酸浓度较高,为0.24 mg/mL,而迎霜茶发酵的酒精醪液中茶氨酸含量最低,为0.024 mg/mL。在醋酸发酵过程中,迎霜和茗山茶发酵液的茶氨酸变化显著,尤其是发酵至5 d,2种茶醋发酵液的茶氨酸含量迅速升高,其中茗山茶发酵液茶氨酸含量在发酵至11 d时比发酵前增加了0.264 mg/mL,提高91.8%,迎霜茶发酵

液茶氨酸含量在 11 d 比发酵前增加了 0.221 mg/mL, 提高 47.9%。发酵 11 d 后均呈平缓趋势, 茗山茶醋和迎霜茶醋的茶氨酸含量均比发酵前含量高, 而月湾茶醋发酵前后的茶氨酸含量变化不明显, 经醋酸发酵对其发酵液的茶氨酸含量影响不大, 茶氨酸成分及含量得以保留。茶氨酸在茶汤中浸出率约为 80%^[24], 茶醋发酵液经酒精、醋酸发酵后其茶氨酸得以有效保留, 使用茗山、迎霜茶发酵的茶醋中茶氨酸成分增加, 也因不同茶叶品种发酵的茶醋, 其滋味各有特色。

2.2.4 总黄酮含量的变化

黄酮类化合物广泛存在于各种植物中, 茶叶中就含有丰富的黄酮类化合物, 黄酮类化合物的含量与茶叶品种、采摘季节、加工方式有关。黄酮类化合物具有抑制脂肪酶、抗菌、抗氧化、防止动脉硬化等生物学调节功能, 因此在茶醋发酵中总黄酮保留越高越好。取在相同发酵方式和工艺条件下不同茶叶品种发酵的酒精醪液进行醋酸发酵, 不同茶叶品种发酵茶醋过程中总黄酮含量变化见图 5。

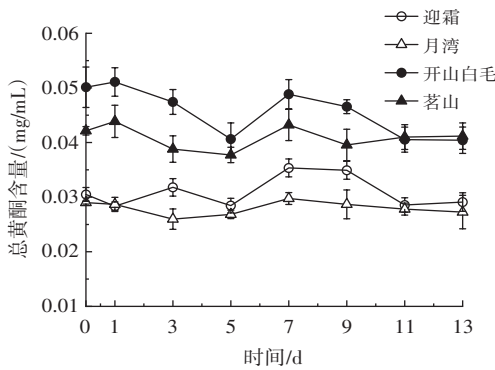


图 5 不同茶叶品种发酵茶醋过程中总黄酮含量变化

Fig.5 Changes of flavonoids in tea vinegar during fermentation from different tea varieties

茶叶和甘蔗汁中均含有黄酮成分, 在前期研究中, 甘蔗汁发酵成酒总黄酮含量在 0.019 mg/mL 左右^[25]。由图 5 可知, 醋酸发酵前的酒精醪液中, 2 种绿茶的发酵醪液所含总黄酮含量明显比 2 种红茶的发酵醪液高。4 种茶叶品种发酵酒精醪液在醋酸发酵过程中总黄酮含量均不稳定, 均有下降又升高最后趋于平稳的趋势, 这与茶多酚的含量变化相似, 而茶多酚是茶叶中包含黄酮类、儿茶素、酚酸和花青素 4 大类物质 30 多种多酚类物质的总称^[5]。发酵 11 d 后这 4 种发酵醪液的总黄酮相对稳定, 其中开山白毛茶醋和茗山茶醋的总黄酮含量为 0.040~0.045 mg/mL, 迎霜茶醋和月湾茶醋的总黄酮含量为 0.025~0.030 mg/mL, 可能与总黄酮占茶叶干重的比重很低有关^[26], 迎霜茶醋、月湾茶醋和茗山茶醋这 3 种茶醋在醋酸发酵结束后, 其茶醋的总黄酮含量与酒精醪液中的总黄酮含量比较接近, 表明醋酸发酵后仍有效保留了黄酮成分。

2.2.5 不同品种的茶醋电子鼻测定结果

茶醋电子鼻传感器响应值雷达图见图 6。

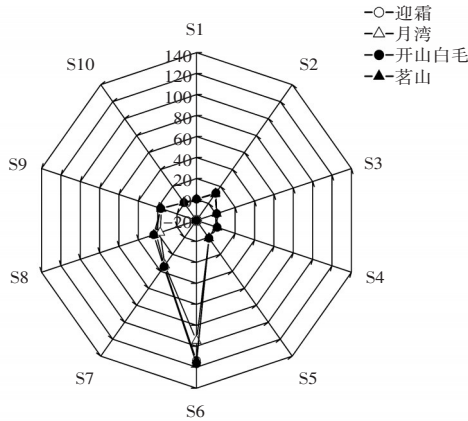


图 6 茶醋电子鼻传感器响应值雷达图

Fig.6 Radar figure of response values of electronic nose sensor of tea vinegar

由图 6 可知, 10 个传感器对茶醋均有响应, 4 种不同茶醋的传感器响应强度趋势相同, 且变化最大的依次是传感器 S6、S7、S8、S9; 茶醋呈现整体气味轮廓主要为酸类、醇类^[4], 芳香化合物(S1)、烷类物质(S6)都有利于增加茶醋的风味物质。迎霜茶醋和月湾茶醋的芳香化合物(S1)高于开山白毛茶醋和茗山茶醋, 迎霜茶醋、开山白毛茶醋和茗山茶醋的烷类物质(S6)响应值很高, 均达 113 以上, 开山白毛茶醋和茗山茶醋的醇类物质(S8)响应值最高, 达 24 以上; 而 4 种不同茶醋的硫化物(S7、S9)响应值较相近。因此有利风味物质响应值最高的是开山白毛茶醋, 其次是茗山茶醋。电子鼻可以测定出茶醋的特征气体轮廓, 即烷类物质和硫化物。

2.2.6 感官评分结果

不同茶叶品种发酵的茶醋从色泽、香气、滋味和形态 4 个方面进行感官评价, 感官评定结果见表 4。

表 4 茶醋感官评定结果

Table 4 Sensory evaluation of tea vinegar

样品名称	茶醋感官描述	感官评分
迎霜茶醋	浅棕色, 有光泽, 茶香、醋香味明显, 偏酸, 无异味	89
月湾茶醋	浅棕色, 略有光泽, 茶香明显, 有涩味, 无异味	82
开山白毛茶醋	浅棕色, 有光泽, 茶香、醋香味明显, 无异味	91
茗山茶醋	浅棕色, 有光泽, 茶香、醋香味明显, 偏酸, 无异味	92

由表 4 可知感官评分最高的是茗山茶醋, 为 92, 其次是开山白毛茶醋, 为 91, 而月湾茶醋因其酸度较低, 略有涩味影响口感, 所以评分最低, 为 82。从而得出绿茶发酵的茶醋口感要比红茶发酵的茶醋丰富, 茶

香、醋香味明显。

2.2.7 不同品种的复合茶醋发酵过程色差变化

测定参数包括 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值, 其中 L^* 值较大表示透明度较高; a^* 值为正时颜色偏向于红色色泽方向;

b^* 值为正时偏向于黄色色泽方向; 通常 L^* 值、 a^* 值、 b^* 值的差异还可以用总色差 (ΔE) 来表示, 但并不能体现样品色差的偏移方向, ΔE 值越大, 色差越大, 反之越小^[27]。不同茶醋发酵过程色差变化见表 5。

表 5 不同茶醋发酵过程色差变化
Table 5 Changes in color difference during fermentation of different tea vinegars

时间/d	样品名称	L^* 值	a^* 值	b^* 值	ΔE 值
0	迎霜茶醋	26.287±0.200 ^a	1.047±0.150 ^b	2.153±0.660 ^d	26.40±0.25 ^e
1	迎霜茶醋	28.473±0.480 ^b	1.290±0.030 ^a	4.917±0.490 ^b	28.93±0.56 ^b
3	迎霜茶醋	26.793±0.060 ^d	0.877±0.020 ^c	2.740±0.120 ^d	26.95±0.07 ^d
5	迎霜茶醋	29.910±0.430 ^a	0.740±0.120 ^{de}	5.697±0.050 ^a	30.46±0.42 ^a
7	迎霜茶醋	26.943±0.100 ^d	0.687±0.010 ^c	2.727±0.080 ^d	27.09±0.10 ^d
9	迎霜茶醋	28.473±0.070 ^c	1.290±0.010 ^{cde}	4.917±0.310 ^c	28.06±0.10 ^c
11	迎霜茶醋	27.550±0.030 ^c	0.833±0.020 ^{cd}	3.857±0.120 ^c	27.83±0.05 ^c
13	迎霜茶醋	26.603±0.140 ^{de}	0.713±0.040 ^{de}	2.750±0.190 ^d	26.75±0.16 ^{de}
0	月湾茶醋	27.397±0.070 ^{cd}	0.903±0.030 ^b	2.513±0.660 ^c	27.53±0.08 ^c
1	月湾茶醋	27.650±0.090 ^{bc}	0.950±0.030 ^a	3.007±0.210 ^b	27.83±0.10 ^b
3	月湾茶醋	27.667±0.220 ^{bc}	0.783±0.020 ^c	3.097±0.150 ^b	27.85±0.23 ^b
5	月湾茶醋	27.777±0.260 ^b	0.807±0.010 ^c	3.427±0.250 ^a	28.00±0.29 ^b
7	月湾茶醋	27.640±0.190 ^{bc}	0.737±0.030 ^d	3.043±0.230 ^b	27.82±0.21 ^b
9	月湾茶醋	27.640±0.080 ^a	0.737±0.020 ^{cd}	3.043±0.110 ^a	28.32±0.10 ^a
11	月湾茶醋	27.180±0.040 ^d	0.570±0.020 ^f	2.480±0.040 ^c	27.30±0.04 ^c
13	月湾茶醋	27.367±0.070 ^d	0.620±0.030 ^c	2.687±0.140 ^c	27.51±0.08 ^c
0	开山白毛茶醋	26.863±0.110 ^d	0.857±0.080 ^d	1.697±0.400 ^d	26.93±0.13 ^d
1	开山白毛茶醋	27.323±0.130 ^{cd}	1.037±0.010 ^{abc}	2.507±0.180 ^c	27.46±0.15 ^{cd}
3	开山白毛茶醋	28.437±0.750 ^b	1.013±0.100 ^{abc}	3.920±0.490 ^b	28.73±0.80 ^b
5	开山白毛茶醋	30.710±0.270 ^a	0.677±0.120 ^c	5.360±0.260 ^a	31.18±0.22 ^a
7	开山白毛茶醋	28.657±0.530 ^b	1.103±0.030 ^{ab}	4.203±0.600 ^b	28.99±0.61 ^b
9	开山白毛茶醋	28.657±0.190 ^c	1.103±0.060 ^{bc}	4.203±0.540 ^c	27.91±0.25 ^c
11	开山白毛茶醋	27.300±0.050 ^{cd}	0.943±0.010 ^{cd}	2.577±0.050 ^c	27.44±0.05 ^{cd}
13	开山白毛茶醋	27.610±0.140 ^c	1.127±0.050 ^a	3.187±0.270 ^c	27.82±0.17 ^c
0	茗山茶醋	29.050±0.420 ^a	0.877±0.080 ^a	4.453±0.160 ^a	29.40±0.44 ^a
1	茗山茶醋	26.757±0.010 ^{de}	0.683±0.02 ^{bc}	1.697±0.120 ^{de}	26.82±0.02 ^{cd}
3	茗山茶醋	26.543±0.070 ^c	0.513±0.020 ^d	1.517±0.090 ^c	26.59±0.07 ^d
5	茗山茶醋	26.937±0.040 ^d	0.423±0.030 ^c	1.680±0.060 ^{de}	26.99±0.04 ^c
7	茗山茶醋	27.480±0.230 ^b	0.650±0.060 ^{bc}	2.573±0.560 ^b	27.61±0.28 ^b
9	茗山茶醋	27.480±0.030 ^{bc}	0.650±0.030 ^c	2.573±0.330 ^{bc}	27.46±0.07 ^b
11	茗山茶醋	27.337±0.050 ^{bc}	0.693±0.020 ^b	2.707±0.030 ^b	27.48±0.05 ^b
13	茗山茶醋	27.030±0.020 ^{cd}	0.687±0.030 ^{bc}	2.080±0.080 ^{cd}	27.12±0.01 ^c

注: 同样品组中同列不同字母表示差异显著 ($p<0.05$)。

由表 5 可知, 4 种不同茶醋在发酵过程中, L^* 值、 a^* 值、 b^* 值和 ΔE 值均有上下波动的现象。茶醋的 L^* 值为 26.287~30.710, 发酵 13 d, 迎霜茶醋和开山白毛茶醋的 L^* 值略高于发酵前, 表明透明度上升; 迎霜茶醋在发酵过程中 a^* 值最高, 为 0.687~1.290, 表明其发酵液颜色偏红色, 最小的是茗山茶醋, 为 0.423~0.877, 发酵 13 d 后, 除开山白毛茶醋外, 其他 3 种茶醋发酵液的 a^* 值相比发酵前均降低, 发酵液颜色变浅; 迎霜茶醋和开山白毛茶醋的 ΔE 值在发酵 5 d 时显著升高,

数值超过 30, 7 d 后又回落, 月湾茶醋 ΔE 值在整个发酵过程差异最小, 这也许与其发酵速率慢相关。

2.3 不同品种茶醋的抑菌效果

大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌是人类常见的致病菌, 而抑菌圈法是抑菌剂效力评价和抑菌活性研究的常用方法。不同茶叶发酵的茶醋对大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌的抑菌效果见表 6 和图 7。

以抑菌圈的大小判断 4 种茶醋的抑菌效果, 抑菌

表 6 茶醋抑菌圈直径及敏感性
Table 6 Diameter and sensitivity of bacteriostatic zone of tea vinegar

菌种	乙酸	迎霜茶醋	月湾茶醋	开山白毛茶醋	茗山茶醋
大肠埃希氏菌	17.85±0.20 ^d (+++)	21.86±0.31 ^b (++++)	20.01±0.15 ^{bc} (+++)	19.32±0.08 ^{cd} (+++)	26.01±0.20 ^a (++++)
金黄色葡萄球菌	18.13±0.31 ^c (+++)	21.97±0.22 ^b (++++)	26.97±0.32 ^a (++++)	19.23±0.13 ^c (+++)	22.85±0.18 ^b (++++)
白色念珠菌	12.35±0.25 ^{bc} (++)	14.22±0.33 ^{ab} (++)	12.36±0.25 ^c (++)	13.49±0.21 ^{bc} (++)	16.32±0.22 ^a (+++)

注:同行不同字母表示差异显著(p<0.05)。

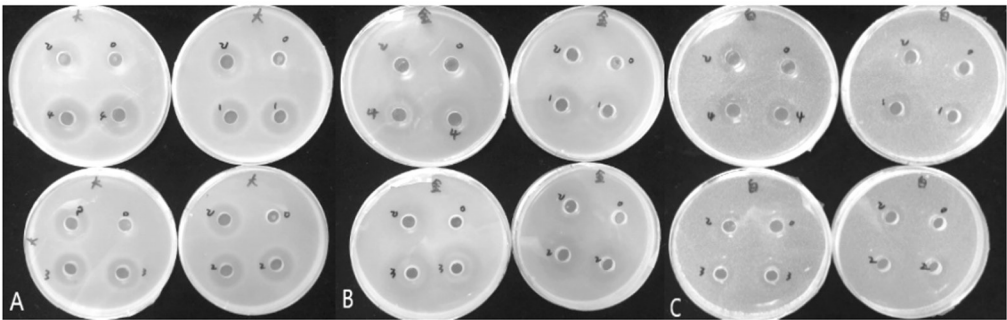


图 7 茶醋对致病菌的抑菌效果
Fig.7 Antibacterial effects of tea vinegar on pathogenic bacteria

圈的直径越大,抑菌效果越好^[28]。由表 6、图 7 可知,迎霜茶醋、月湾茶醋、开山白毛茶醋、茗山茶醋对致病菌均有一定的抑菌效果,且抑菌圈直径都大于乙酸的抑菌圈直径。在大肠埃希氏菌抑菌效果中,茗山茶醋的抑菌圈最大,抑菌圈直径为 26.01 mm,达到极敏的效果,抑菌圈最小的是开山白毛茶醋,抑菌圈直径为 19.32 mm,但也达到高敏的效果;对金黄色葡萄球菌的抑菌效果中,月湾茶醋的抑菌圈最大,抑菌圈直径为 26.97 mm,其次是茗山茶醋,再者是迎霜茶醋,3 者均达到极敏的效果;由表 6、图 7 可知,4 种茶醋对白色念珠菌有抑菌效果,其中茗山茶醋的抑菌效果最好,抑菌圈直径为 16.32 mm,达到高敏的效果。郑明等^[29]开展不同浓度的安吉白茶、铁观音、大红袍 3 种茶的茶浸泡液对白色念珠菌的体外抑菌活性研究,发现安吉白茶、大红袍抑制白色念珠菌有效,但其有效性与茶浸泡液浓度有关。Ning 等^[30]研究发现绿茶的儿茶素,包括表没食子儿茶素没食子酸酯可以干扰白色念珠菌的叶酸代谢,具有抑真菌作用;Sitheeque 等^[31]指出红茶多酚(儿茶素和茶黄素)具有抑制白色念珠菌能力。这也可能由于茶醋因添加甘蔗汁导致多酚类活性成分增加有关^[32-33],也说明茶醋中除乙酸外,茶多酚、绿原酸等酚酸类成分是醋液中主要起抑菌作用的物质。综合分析,4 种茶醋整体抑菌效果最佳的是茗山茶醋。

结合图 2~图 5 分析,除茶多酚外,茗山茶醋中总酸、茶氨酸和总黄酮含量均最高。相关研究表明酸和黄酮物质存在抑菌作用,如 Njenga 等^[34]发现,酚酸物

质对金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、大肠杆菌、铜绿假单胞菌和白色念珠菌均有较强的抗菌活性;Zhang 等^[35]分析抑菌机制时发现,酸性条件可破坏细菌细胞膜,导致细胞内活性氧积累,细胞内三磷酸腺苷减少,导致细菌死亡;Rita 等^[36]研究发现黄酮类物质可与微生物中酶的氨基酸之间形成氢键,干扰酶的作用,从而实现抑制微生物活性的效果。因此,本研究认为酸性条件和黄酮类物质是决定茗山茶醋抑菌效果最佳的主要原因。由表 6 可知,茗山茶醋对革兰氏阳性和阴性菌的抑制效果存在差异,其可能的原因是细菌的细胞壁厚度差异,从而导致大肠杆菌对茗山茶醋更敏感,在 Huang 等^[37]研究中也证实了本研究推论。

3 结论

选择红茶(迎霜、月湾)、绿茶(开山白毛、茗山)分别与甘蔗汁混合发酵生产茶醋,以开山白毛、茗山两种绿茶为主要原料的发酵体系产酸能力较强,其茶多酚含量较高,且茶醋中黄酮成分保留较好,绿茶茶醋的口感比红茶茶醋丰富,茶香、醋香味较为明显;其中茗山茶醋的总酸含量最高并且感官评价得分也最高。通过电子鼻测定结果得出,酸类、醇类,芳香化合物(S1)、烷类物质(S6)是茶醋的整体特征气味轮廓,但迎霜和月湾两种红茶茶醋的芳香化合物响应值明显高于开山白毛、茗山两种绿茶茶醋,迎霜茶醋、开山白毛茶醋和茗山茶醋的烷类物质响应值较高,开山白毛茶醋和茗山茶醋的醇类物质响应值较高,但具体相对含量还需

要结合气质联用技术进行详细分析。4种茶醋对大肠埃希氏菌、金黄色葡萄球菌、白色念珠菌的抑菌圈直径均大于乙酸的抑菌圈直径,具有抑菌效果,但抑菌敏感性各异。此外4种茶醋的色差值有所变动,呈色物质受醋酸发酵的影响,但其呈色物质与醋酸发酵的互作及转化规律仍未探明,需进一步深入研究,以期茶叶的深加工以及新产品开发提供参考。

参考文献:

- [1] 赵桦萍, 赵丽杰, 白丽明. 茶醋的开发及研究进展[J]. 中国调味品, 2021, 46(10): 114-116.
ZHAO Huaping, ZHAO Lijie, BAI Liming. Development and research progress of tea vinegar[J]. China Condiment, 2021, 46(10): 114-116.
- [2] LIAO Y Y, ZHOU X C, ZENG L T. How does tea (*Camellia sinensis*) produce specialized metabolites which determine its unique quality and function: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(14): 3751-3767.
- [3] 廖湘潭, 吴长春, 付三乔. 茶醋的研制[J]. 中国酿造, 2007, 26(8): 75-77.
LIAO Xiangping, WU Changchun, FU Sanqiao. Development of tea vinegar[J]. China Brewing, 2007, 26(8): 75-77.
- [4] 周才碧, 刘丽明, 宋加艳, 等. 一种浓香型茶醋研制[J]. 食品工业, 2020, 41(2): 8-11.
ZHOU Cai bi, LIU Liming, SONG Jiayan, et al. Development of a highly flavored type tea vinegar[J]. The Food Industry, 2020, 41(2): 8-11.
- [5] 周才碧, 王蕾, 宋加艳, 等. 一种嫩栗香型茶醋研制[J]. 中国调味品, 2020, 45(2): 124-128.
ZHOU Cai bi, WANG Lei, SONG Jiayan, et al. Development of a kind of tea vinegar with tender chestnut flavor[J]. China Condiment, 2020, 45(2): 124-128.
- [6] 周才碧, 郭飘, 宋加艳, 等. 一种甜香型茶醋的研制[J]. 中国调味品, 2020, 45(1): 129-133.
ZHOU Cai bi, GUO Piao, SONG Jiayan, et al. Development of a sweet tea vinegar[J]. China Condiment, 2020, 45(1): 129-133.
- [7] 高晨佳, 郑天元, 蔡冉, 等. 一种低糖黑茶醋饮料的研制[J]. 农产品加工, 2021(11): 22-25.
GAO Chenjia, ZHENG Tianyuan, CAI Ran, et al. A development of low sugar dark tea vinegar beverage[J]. Farm Products Processing, 2021(11): 22-25.
- [8] CHEN G L, ZHENG F J, LIN B, et al. Vinegar: A potential source of healthy and functional food with special reference to sugarcane vinegar[J]. Frontiers in Nutrition, 2023, 10: 1145862.
- [9] 林波, 郑凤锦, 方晓纯, 等. 甘蔗发酵制品的氨基酸对比及营养风味分析[J]. 农产品加工, 2022(15): 64-69.
LIN Bo, ZHENG Fengjin, FANG Xiaochun, et al. Comparison of amino acids and analysis of nutrition and flavor on sugarcane fermentation products[J]. Farm Products Processing, 2022(15): 64-69.
- [10] 林波, 郑凤锦, 何洁, 等. 低醇甘蔗果酒发酵菌种的筛选与呈味特征分析[J]. 食品科技, 2022, 47(6): 16-23.
LIN Bo, ZHENG Fengjin, HE Jie, et al. Screening of fermentation yeast and analysis of flavor characteristics for low alcohol sugarcane wine[J]. Food Science and Technology, 2022, 47(6): 16-23.
- [11] 王松磊, 杨华峰, 于淑娟, 等. 不同品种甘蔗汁酿造的银朗姆酒中杂醇油含量测定[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 137-140.
WANG Songlei, YANG Huafeng, YU Shujuan, et al. Determination of fusel oil contents in silver rums fermented from sugarcane juice from six different varieties[J]. Food Science, 2014, 35(2): 137-140.
- [12] 陈赶林, 郑凤锦, 林波, 等. 贺州6种主要绿茶的特征香气成分比较与分析[J]. 食品工业科技, 2019, 40(1): 246-250, 255.
CHEN Ganlin, ZHENG Fengjin, LIN Bo, et al. Comparison and analysis of characteristic aroma components of 6 main green teas in Hezhou[J]. Science and Technology of Food Industry, 2019, 40(1): 246-250, 255.
- [13] 陈赶林, 郑凤锦, 董文斌, 等. 贺州市8种红茶香气成分分析[J]. 南方农业学报, 2018, 49(12): 2532-2538.
CHEN Ganlin, ZHENG Fengjin, DONG Wenbin, et al. Aroma components of eight black teas from Hezhou[J]. Journal of Southern Agriculture, 2018, 49(12): 2532-2538.
- [14] 黄志, 方晓纯, 林波, 等. 不同载体固定化醋酸菌发酵甘蔗醋的对比分析[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(10): 131-138.
HUANG Zhi, FANG Xiaochun, LIN Bo, et al. Comparison of sugarcane vinegar fermentation with different immobilized *Acetobacter* carriers[J]. Food Research and Development, 2022, 43(10): 131-138.
- [15] 胡松, 汪鹏辉, 刘斌杰, 等. 不同茶菌发酵液对病原细菌抑制作用的比较分析[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(6): 154-159.
HU Song, WANG Penghui, LIU Binjie, et al. Comparative analysis of antibacterial effects of different kombucha fermentation broth[J]. Food and Fermentation Industries, 2022, 48(6): 154-159.
- [16] ZHANG J H, CUI X, ZHANG M, et al. The antibacterial mechanism of perilla rosmarinic acid[J]. Biotechnology and Applied Biochemistry, 2022, 69(4): 1757-1764.
- [17] 孙达, 夏兵. 三种植物精油的成分分析及其抑菌活性比较[J]. 现代食品科技, 2020, 36(11): 104-113.
SUN Da, XIA Bing. Composition analysis of three plant essential oils and comparison of their antibacterial activities[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(11): 104-113.
- [18] 李楠, 杨春杰, 邓随胜, 等. 富含黄酮的山楂果酒发酵条件优化[J]. 中国酿造, 2016, 35(11): 112-116.
LI Nan, YANG Chunjie, DENG Suisheng, et al. Optimization of fermentation conditions for flavonoids-rich hawthorn fruit wine[J]. China Brewing, 2016, 35(11): 112-116.
- [19] 国家质量监督检验检疫总局. 酿造食醋: GB/T 18187—2000[S]. 北京: 中国标准出版社, 2001.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Fermentde vinegar: GB/T 18187—2000[S]. Beijing: Standards Press of China, 2001.
- [20] 安家静. 茶醋的发酵工艺及功能性研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
AN Jiajing. Study on the fermentation technology and function of tea vinegar[D]. Guiyang: Guizhou University, 2019.
- [21] 张露, 吕立堂, 赵德刚. 三种发酵型茶醋生产工艺研究[J]. 山地农业生物学报, 2019, 38(4): 86-92.
ZHANG Lu, LV Litang, ZHAO Degang. Study on the production technology of three kinds of fermented tea vinegar[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2019, 38(4): 86-92.
- [22] GUO X Y, HO C T, SCHWAB W, et al. Aroma compositions of large-leaf yellow tea and potential effect of theanine on volatile formation in tea[J]. Food Chemistry, 2019, 280: 73-82.
- [23] COOPER R. Green tea and theanine: Health benefits[J]. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 2012, 63(Suppl 1): 90-97.
- [24] LI MY, LIU HY, WU DT, et al. L-theanine: A unique functional amino acid in tea (*Camellia sinensis* L.) with multiple health benefits and food applications[J]. Frontiers in Nutrition, 2022, 9: 853846.

- [25] 陈赶林,林波,郑凤锦,等. 低醇甘蔗果酒发酵工艺的研究[J]. 食品科技,2018,43(5): 111-117.
CHEN Ganlin, LIN Bo, ZHENG Fengjin, et al. Fermentation technology of low-alcohol sugarcane wine[J]. Food Science and Technology, 2018, 43(5): 111-117.
- [26] 谢关华. 不同加工方式对茶叶风味物质和体外生物活性的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2021.
XIE Guanhua. Study on the effects of different processing methods on tea flavor compounds and bioactivity *in vitro*[D]. Chongqing: Southwest University, 2021.
- [27] 曾欣怡,陈尔豹,张雨,等. 基于色差及电子鼻的红糖品质研究[J]. 粮油食品科技, 2020, 28(5): 170-180.
ZENG Xinyi, CHEN Erbao, ZHANG Yu, et al. Research on brown sugar quality using color difference and electronic nose[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2020, 28(5): 170-180.
- [28] JIA C F, YU W N, ZHANG B L. Manufacture and antibacterial characteristics of *Eucommia ulmoides* leaves vinegar[J]. Food Science and Biotechnology, 2019, 29(5): 657-665.
- [29] 郑明,黄晶晶,于皓,等. 茶叶对白色念珠菌体外抑菌活性的实验研究[J]. 实用口腔医学杂志, 2018, 34(4): 564-566.
ZHENG Ming, HUANG Jingjing, YU Hao, et al. The effects of tea extractions against *Candida albicans in vitro*[J]. Journal of Practical Stomatology, 2018, 34(4): 564-566.
- [30] NING Y, LING J Q, WU C D. Synergistic effects of tea catechin epigallocatechin gallate and antimycotics against oral *Candida* species[J]. Archives of Oral Biology, 2015, 60(10): 1565-1570.
- [31] SITHEEQUE MAM, PANAGODA GJ, YAU J, et al. Antifungal activity of black tea polyphenols (catechins and theaflavins) against *Candida* species[J]. Chemotherapy, 2009, 55(3): 189-196.
- [32] ZHAO Y, CHEN M S, ZHAO Z G, et al. The antibiotic activity and mechanisms of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) bagasse extract against food-borne pathogens[J]. Food Chemistry, 2015, 185: 112-118.
- [33] TRUONG V L, JEONG W S. Cellular defensive mechanisms of tea polyphenols: Structure - activity relationship[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(17): 9109.
- [34] NJENGA P K, MUGO S M, ZHOU T. Characterization of polyphenols, flavonoids and their anti-microbial activity in the fruits of *Vangueria madagascariensis* J. F. Gmel[J]. European Journal of Medicinal Plants, 2020, 31(11): 24-37.
- [35] ZHANG B B, ZANG Y T, MO Q N, et al. Antibacterial activity and mechanism of slightly acidic electrolyzed water (SAEW) combined with ultraviolet light against *Staphylococcus aureus*[J]. LWT - Food Science and Technology, 2023, 182: 114746.
- [36] RITA W S, SWANTARA I M D, ASIHI IARA, et al. Total flavonoid and phenolic contents of n-butanol extract of *Samanea saman* leaf and the antibacterial activity towards *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*[J]. AIP Conference Proceedings, 2016, 1718 (1): 060005.
- [37] HUANG B Q, ZHANG Z G, DING N S, et al. Investigation of the pectin grafting with gallic acid and propyl gallate and their antioxidant activities, antibacterial activities and fresh keeping performance[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2021, 190: 343-350.

加工编辑:王雪

收稿日期:2023-06-06