

栀子果提取物对酸奶发酵特性和功能特性的影响

Effect of *Gardenia fruit* extract on fermentation and functional properties of yogurt

朱广成 覃思 聂乾忠

ZHU Guang-cheng QIN Si NIE Qian-zhong

(湖南农业大学食品科学技术学院, 湖南 长沙 410128)

(College of Food Science and Technology, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128, China)

摘要:以栀子果提取物(GE)为研究对象,考察了栀子果提取物添加量对酸奶发酵特性和功能特性的影响,测定发酵过程中活菌数、酸度、持水率和黏度,发酵完成后酸奶的抗菌活性、抗氧化活性、乳酸菌对模拟胃肠液的耐受性,以及挥发性成分的变化情况,并对其所含功能成分进行了测定。结果表明:添加适量的GE能显著促进保加利亚乳杆菌的生长并维持其活力、提高酸奶的抗菌活性和抗氧化活性、增强乳酸菌对模拟胃肠液的耐受性,以及对酸奶的后酸化有一定程度的抑制作用;GE酸奶的色泽呈现非常漂亮的蛋黄颜色,主因是GE中富含藏红花酸和藏红花素等天然功能性色素,其含量分别为 (183.000 ± 5.800) 、 (108.000 ± 3.500) mg/kg;此外,酸奶的挥发性风味物质的组成也得到了显著改善。

关键词: 栀子果;藏红花酸;酸奶;发酵特性;挥发性风味物质;生物活性

Abstract: In order to explore the effect of adding *gardenia fruit*, a traditional Chinese medicine with dual function of food and medicine, on the quality of yogurt, fermentation characteristics and functional properties were investigated. The effects of GE on the number of live bacteria, acidity, water holding capacity and viscosity of yogurt during fermentation were evaluated, and the antibacterial activity, antioxidant activity, lactic acid bacteria's tolerance to simulated gastrointestinal fluid and volatilization were measured after the fermentation was completed. The results showed that the proper amount of GE could improve the antibacterial and antioxidant activity of yogurt, enhance the tolerance of

lactic acid bacteria to simulated gastrointestinal fluid, inhibit the post-acidification of yogurt, and had a certain inhibitory effect on the post-acidification of yogurt. Moreover, the color of GE-added yogurt showed a very beautiful egg yolk color, because GE is rich in natural functional pigments including saffron acid and saffron, with the concentrations of (183.000 ± 5.800) and (108.000 ± 3.500) mg/kg, respectively. Moreover, the composition of volatile flavor substances in yogurt has also been significantly improved by GE adding.

Keywords: *Gardenia fruit*; crocetin; yogurt; fermentation characteristics; volatile flavor substances; biological activity

栀子(*Gardenia jasminoides* J. Ellis)别名山栀子、黄枝子和白蟾等,属茜草科常绿灌木,广泛分布于中国中南部,被列入中国首批公布“按照传统既是食品又是中药材物质”清单之中^[1]。近年来系列研究^[2-3]表明,栀子各个部位均有药食两用价值,其果、花、叶和根等部位中均含有不同功能活性成分,且差异较大。栀子果是栀子应用最广泛且活性成分含量最多的部位,富含栀子苷类、三萜类和黄酮等生物活性成分,特别是藏红花酸(0.01%~0.70%)和藏红花素(0.045%~0.600%),有研究^[4-5]表明当成分藏红花素达到一定量(10~50 mg/kg)时,具有保肝、降血糖、抗菌消炎、抗肿瘤等功效。目前,栀子果以采摘后鲜售或干燥后销售为主,而以栀子果为原料开展的功能特性研究逐渐增加,栀子果活性成分的提取及其相关功能产品的开发刚起步,开始应用于食品、医药及化工等领域^[6-7]。

已有研究^[8]表明,通过添加水果、蔬菜或可食性药用植物等成分可以增强酸奶的生物活性。此外,添加百香果、香蕉或苹果皮粉可改善酸奶的流变性和以及促进乳酸菌的生长^[9-10]。目前,尚未见将栀子果提取物添加到乳制品中研究其对产品品质影响的报道。

试验拟制备一种添加栀子果提取物的功能性酸奶,

基金项目:国家重点研发计划(编号:2019YFC1604903);国家自然科学基金(编号:31101268);湖南农业大学双一流建设项目(编号:SYL201802025)

作者简介:朱广成,男,湖南农业大学在读硕士研究生。

通信作者:覃思(1981—),男,湖南农业大学副教授,博士生导师,博士。E-mail: qinsiman@hunau.edu.cn

收稿日期:2020-03-05

研究栀子果提取物对酸奶的理化性质、菌株生长特性、生物活性(如抗氧化剂、抗菌活性和模拟胃肠液耐受性)以及挥发性成分变化情况的影响,并进行功能性评价,旨在为新型功能性酸奶的开发及栀子果的综合利用提供物质基础和应用思路。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

直接式发酵剂(保加利亚乳杆菌和嗜热链球菌):石家庄聚合臻食品有限公司;

干燥栀子果实:南阳泰瑞生物科技股份有限公司;

脱脂奶粉:湖南太子奶集团生物科技有限责任公司;

李斯特菌(ATCC 19115)、大肠杆菌(CGMCC 9181):湖南农业大学食品科技学院实验室;

MRS肉汤培养基、琼脂、MC琼脂培养基:广东环凯微生物科技有限公司;

胃蛋白酶:3 000~3 500 U/g,北京索莱宝科技有限公司;

胰蛋白酶: $\geq 50\ 000$ U/g,国药集团化学试剂有限公司。

1.2 仪器与设备

恒温培养箱:GZ-400-S型,韶关市广智科技设备有限公司;

双人单面垂直净化工作台:SW-CJ-2D型,苏州净化有限公司;

全自动高压蒸汽灭菌锅:BKQ-B50II型,山东博科科学仪器有限公司;

超级恒温水浴锅:HH-601型,常州市万丰仪器制造有限公司;

台式高速离心机:TG16-WS型,湖南湘仪实验室仪器开发有限公司;

气质联用仪:GCMS-QP2010型,岛津企业管理(中国)有限公司;

高效液相色谱:LC-10AT型,岛津企业管理(中国)有限公司;

数显黏度计:NDJ-8S型,上海平轩科学仪器有限公司。

1.3 试验设计及内容

1.3.1 栀子果提取物(GE)的制备 取200 g栀子干果实粉碎过0.6 mm筛子,取5 g粉末溶于250 mL蒸馏水,使用玻璃棒搅拌10 min,冷凝回旋2 h,收集液体并过滤。滤液3 000 r/min离心10 min,取上清液,重复2次;将上清液进行抽滤并收集滤液,滤液于70℃的旋转蒸发仪中蒸发30 min,得黏稠液,装到玻璃平皿中,-20℃冰箱预冻过夜,然后冷冻干燥24 h,研磨成粉末状,得干粉,备用^[11-12]。

1.3.2 栀子果提取物酸奶的制备工艺路线

脱脂复原乳(脱脂奶粉为12 g/100 mL)→加白砂糖(8%)和栀子果提取物(0.0%,0.1%,0.5%,1.0%)→60℃均质→杀菌(95℃,15 min)→冷却至(40±2)℃→加0.3%直接式发酵剂→42℃发酵→冷藏和后熟(4℃,12 h)^[13]

分别取发酵0,4,8,12 h和后熟12 h的样品测定相关指标。

1.4 测定方法

1.4.1 藏红花酸和藏红花素I的测定 参考文献[14]。

1.4.2 酸奶中活菌数和产酸能力的测定

(1) 活菌数:按GB 4789.35—2016《食品安全国家标准 食品微生物学检验 乳酸菌检验》执行。

(2) 产酸能力:用pH值和滴定酸度表示酸奶样品中菌株的产酸能力,其中pH值直接用pH计进行测定,酸度测定按GB/T 5009.239—2016《食品安全国家标准 食品酸度的测定》执行。

1.4.3 酸奶生物活性的测定

(1) 抑菌活性:参考文献[15]。

(2) 模拟胃肠液耐受性:取0.5 mL样品分别加入含4.5 mL无菌的模拟胃液和模拟肠液(模拟胃液和肠液参照《中国药典》配制^[16])中,37℃孵育3 h,采用平板计数法测定孵育前后的活菌数并按式(1)计算存活率。

$$c = \frac{m_1}{m_2} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

c ——菌株存活率,%;

m_1 ——模拟胃液和肠液处理3 h的酸奶活菌数,lg(CFU/mL);

m_2 ——未处理酸奶活菌数,lg(CFU/mL)。

(3) 抗氧化活性:取5 mL不同发酵阶段的酸奶样品于4℃、6 000 r/min离心10 min,收集上清液,测定其抗氧化活性^[17]。取1 mL 0.2 mmol/L DPPH溶液与1 mL上清液充分混匀,避光室温反应30 min,在517 nm处测定吸光值,记为 A_s 。以相同体积无水乙醇代替DPPH溶液测量吸光值,记为 A_b ;以相同体积蒸馏水替换样品测量吸光值,记为 A_c 。按式(2)计算DPPH清除率。

$$D = \left(1 - \frac{A_s - A_b}{A_c}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

D ——DPPH自由基清除率,%;

A_s ——样品组吸光值;

A_c ——对照组吸光值;

A_b ——空白组吸光值。

1.4.4 酸奶黏度和持水力的测定

(1) 持水率:根据文献[18],修改如下;取5 g样品于

10 mL 离心管中,以 4 000 r/min 离心 10 min,弃去上清液,称取剩余质量。按式(3)计算持水率。

$$B = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

B ——持水率,%;

m_1 ——离心管质量,g;

m_2 ——酸奶和离心管质量,g;

m_3 ——离心管和剩余沉淀质量,g。

(2) 黏度:在室温下,用 NDJ-8S 数显黏度计(3 号转子,转速 12 r/min)测定^[19]。

1.4.5 挥发性风味成分的测定 根据文献[20]进行样品的萃取;GC 和 MS 的条件根据文献[21]进行样品的测定。

1.5 数据处理

利用 Excel 2010 软件进行统计整理及分析,数据采用($\bar{x} \pm s$)表示,检验组间比较进行单因素方差分析(One-way ANOVA), $P \leq 0.05$ 表示为差异显著;并以 Origin Pro 2018 软件作图。

2 结果与分析

2.1 栀子果提取物(GE)中藏红花酸和藏红花素的测定

采用 1.3.1 所制备的 GE 呈橘红色粉末,无异味,微苦;通过 HPLC 测定的藏红花酸和藏红花素的含量分别为(183.000 ± 5.800),(108.000 ± 3.500) mg/kg;试验的 GE 中藏红花酸和藏红花素的含量相对丰富,表明将 GE 加入到酸奶中能赋予酸奶藏红花酸和藏红花素等活性成分所具备的有益功能(包括保肝、降血糖和抗菌消炎)。

2.2 发酵过程中活菌数的变化

由图 1 可知,随着发酵的进行,未添加 GE 酸奶中保加利亚乳杆菌数均低于添加 GE 组。发酵 8 h 时,保加利亚乳杆菌的活菌数为 7.08~7.84 lg (CFU/g),且此时活菌数变化开始趋于平缓,已达到菌株生长稳定期;然而,后熟 12 h 后保加利亚乳杆菌的活菌数均有所下降,可能是 4 °C 不适合菌株的生长。尽管添加 0.5% 的 GE 对保加利亚乳杆菌的活菌数没有显著影响($P > 0.05$),但是 0.5% 和 1.0% 的 GE 显著提高了保加利亚乳杆菌的生长($P \leq 0.05$)。这一结果表明 GE 能刺激酸奶中保加利亚乳杆菌的生长。由图 2 可知,GE 的添加对嗜热链球菌活菌数并无显著影响($P > 0.05$),与 Espírito 等^[22-23]在酸奶中加入百香果皮粉末或菠萝皮废粉对嗜热链球菌计数无显著影响的结果一致。此外,后熟 12 h 后未添加 GE 的酸奶中嗜热链球菌数量显著($P \leq 0.05$)下降,表明 GE 的添加能维持菌株在冷藏期间的稳定性。总体而言,栀子提取物对酸奶活菌数的有益作用取决于菌株和补充物。

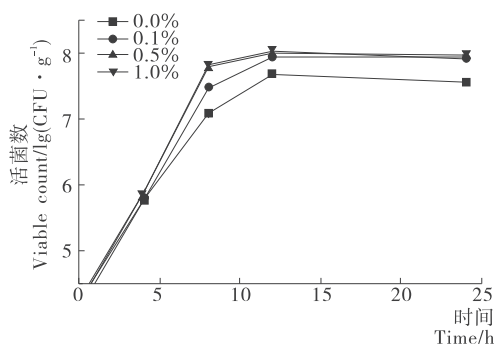


图 1 酸奶发酵过程中乳酸杆菌数量的变化

Figure 1 Changes in the number of lactobacillus during yogurt fermentation

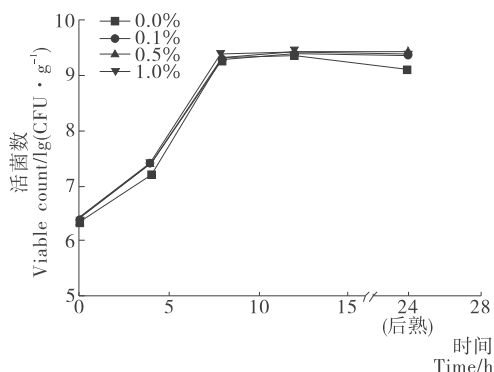


图 2 酸奶发酵过程中嗜热链球菌数量的变化

Figure 2 Changes in the number of *S. thermophilus* bacteria during yogurt fermentation

2.3 酸奶发酵过程中酸度的变化

由图 3 可知,发酵初期由于菌株需要适应新环境,产酸较为缓慢,此时各组间 pH 值的下降并无显著差异($P > 0.05$)。然而,随着发酵时间的推移,添加 GE 能加快酸奶体系 pH 值的下降,尤其加入 0.5% 的 GE 时 pH 值降低较快,可能是 GE 中丰富的藏红花酸等活性成分能增强酸奶中乳酸菌的产酸能力。此外,由图 4 可知,酸奶的

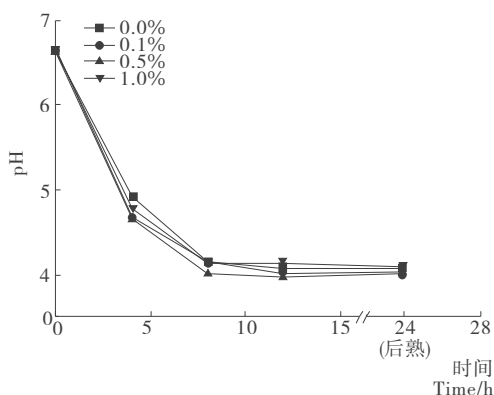


图 3 酸奶发酵过程中 pH 的变化

Figure 3 Changes in pH during yogurt fermentation

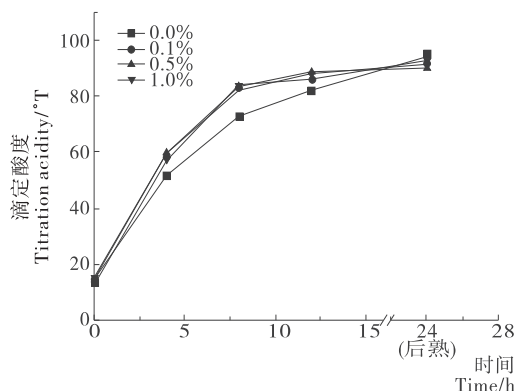


图4 酸奶发酵过程中滴定酸的变化

Figure 4 Changes in titrated acid during yogurt fermentation

滴定酸度呈先上升后趋于稳定的趋势,与图3中pH值的变化相互对应,进一步表明GE的添加有利于酸奶中菌株的产酸;相比于其他GE添加量,添加0.5%的GE对菌株的产酸能力有较好的促进作用。

2.4 栀子果提取液对酸奶黏度和持水力的影响

由图5可知,发酵4h后酸奶离心沉淀率均高于50%,表明发酵后酸奶稳定性均下降,并且各组酸奶离心沉淀率无显著差异($P>0.05$),而发酵10h后未添加GE的酸奶离心沉淀率显著($P\leq 0.05$)低于已添加GE的酸奶。此外,由图6可知,发酵开始时,不同组别的黏度变化较小;但从4h开始,酸奶乳的黏度迅速升高,发酵结束后黏度最终达到2090~2792 mPa·s;随着GE添加量的增加,酸奶在发酵过程中的黏度逐渐降低,并且发酵结束时的黏度有显著减小的趋势。酸奶的稳定性和黏度会随连续液体和凝胶碎片的体积分数的增加而增加,GE中部分活性成分(如藏红花酸、藏红花素等)可能会影响牛乳中这些物质的体积分数,从而导致添加GE的酸奶体系的稳定性相对较低^[24]。

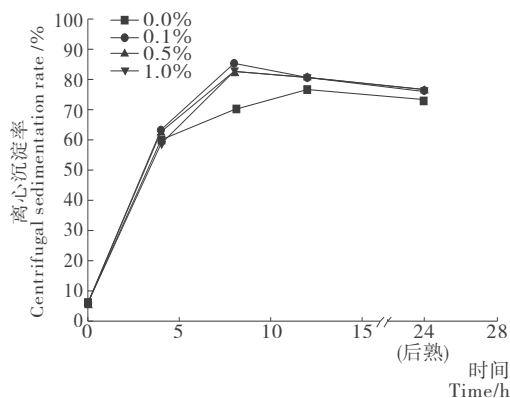


图5 酸奶发酵过程中离心沉淀率的变化

Figure 5 Changes of centrifugal sedimentation rate during yogurt fermentation

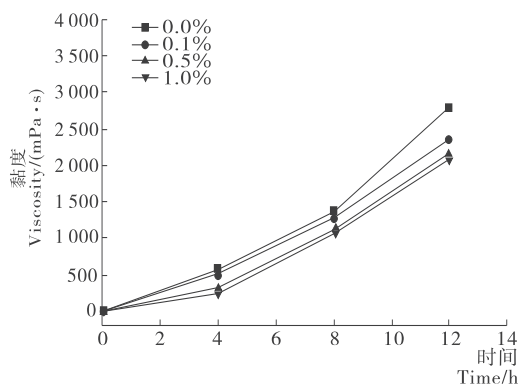


图6 酸奶发酵过程中黏度的变化

Figure 6 Changes in viscosity during yogurt fermentation

2.5 栀子果提取液对酸奶挥发性风味成分的影响

由表1可知,未添加GE酸奶中共检出17种挥发性风味成分,添加0.0%,0.1%,0.5%,1.0%GE的酸奶中分别检出挥发性风味成分17,22,22,17种,并且不同的栀子果提取液酸奶中挥发性成分的种类和含量存在显著差异($P\leq 0.05$)。进一步结合表2可知,GE添加量对酸奶挥发性成分影响显著($P\leq 0.05$),影响酸奶风味的酮类和醛类化合物相对含量随GE添加量的增加而先上升后减小,当添加量为0.5%时有峰值,表明GE添加量过高反而影响酸奶的特征风味,可能是随着GE添加量的增加GE中固有风味物质覆盖酸奶中的特有风味。其中酮类物质贡献最大,酮类化合物是酸奶中的重要风味物质,多为不饱和脂肪酸的氧化、热降解和氨基酸降解产物^[25];当添加量为0.5%时,酸奶中酮类物质相对含量最高为52.794%,主要为1-(2-氯苯基)萘-9,10-二酮、5-异丙基-6-5-烯-2-酮和4,5-辛二酮;虽然添加GE的酸奶中均未检测出酸奶中特征风味物质2,3-丁二酮(双乙酰),然而4,5-辛二酮也能呈现出2,3-丁二酮的奶油甜香味。所以,4,5-辛二酮对GE酸奶风味的产生具有积极作用^[26]。此外,仅0.5%和1.0%GE酸奶中检测出醛类物质,表明GE有利于酸奶中醛类物质的形成,醛类物质是在发酵过程中产生的特征风味成分,在发酵乳制品的滋味与香味的风味物质中起关键作用^[26]。综上,GE在酸奶特征风味的形成上具有积极作用,并且在0.5%的添加量时较为适宜。

2.6 酸奶的生物活性

不同GE添加量酸奶的抗菌活性、模拟胃肠液的耐受性和抗氧化等生物活性测定结果见表3。对于抗菌活性,所有组别的酸奶对大肠杆菌和李斯特菌均表现出抑菌活性,并且对大肠杆菌的抑菌活性存在GE的浓度依赖性,当添加量为0.5%和1.0%时抑菌活性显著高于未添加GE的酸奶;而酸奶对李斯特菌的抑制活性差异不显著($P>0.05$),可能是GE的加入仅对革兰氏阴性菌发挥作

表 1 GE 酸奶挥发性成分种类
Table 1 Analysis of volatile components of GE yogurt

GE 添加量/%	烷烃		醇类		酸类		酯类		醛类		酮类		其他	
	数量/种	相对含量/%	数量/种	相对含量/%	数量/种	相对含量/%	数量/种	相对含量/%	数量/种	相对含量/%	数量/种	相对含量/%	数量/种	相对含量/%
0.0	2	0.619	0	0.000	1	12.211	3	7.013	0	0.000	2	0.000	9	43.131
0.1	3	23.244	0	0.000	2	1.215	5	5.758	0	0.000	3	12.229	9	18.833
0.5	5	6.050	0	0.000	1	0.207	5	11.203	1	12.537	3	0.000	7	17.253
1.0	6	37.179	3	21.795	1	6.410	1	10.256	2	8.974	1	0.000	3	6.410

表 2 GE 酸奶挥发性成分
Table 2 Volatile components of GE yogurt

种类	名称	风味成分相对含量/%				保留时间/min			
		0.0%	0.1%	0.5%	1.0%	0.0%	0.1%	0.5%	1.0%
烷烃	2,2,4,6,6-五甲基庚烷	0.309	0.000	0.000	11.538	14.768			14.150
	异辛烷	0.000	0.158	2.530	0.000		14.775	14.762	
	2,5,5-三甲基庚烷	0.309	0.000	0.000	0.000	16.626			
	2-甲基辛烷	0.000	0.000	0.000	6.410				18.115
	癸烷	0.000	0.000	0.000	5.769				18.392
	1,3-二氧戊烷	0.000	0.000	0.138	0.000			23.259	
	N-亚硝基-N-甲基尿烷	0.000	0.000	0.000	3.205				23.335
	双(甲氧基甲基氨基)甲烷	0.000	22.530	0.000	0.000		23.653		
	5-(2-甲基丙基)壬烷	0.000	0.000	0.000	5.769				29.526
	3-乙基-3-甲基庚烷	0.000	0.000	0.276	0.000			29.559	
	正十四烷	0.000	0.555	0.000	0.000	35.149			
	3,5-二甲基-4-辛烷	0.000	0.000	0.184	4.487			37.795	37.779
醇类	5-氮杂双环[3.1.0]己烷	0.000	0.000	2.922	0.000			60.055	
	1-甲基-4-(1-甲基乙烯基)环己醇	0.000	0.000	0.000	10.897				16.570
	石竹烯醇	0.000	0.000	0.000	1.923				60.315
酸类	人参醇	0.000	0.000	0.000	8.974				62.890
	迭氮酸	12.211	0.581	0.000	0.000	18.419	18.421		
	5-苯基戊-2-烯酸	0.000	0.634	0.000	0.000		59.670		
	蝶呤-6-羧酸	0.000	0.000	0.000	6.410				62.375
	16-DOXYL-硬脂酸	0.000	0.000	0.207	0.000			64.045	
	异氰酸酯	0.000	0.000	2.415	0.000			17.040	
	2-氧代丁酸甲酯	0.000	0.687	0.000	0.000		17.452		
	硫代丙酸甲酯	0.000	0.000	0.552	0.000			27.876	
	亚硝酸乙酯	0.000	0.000	4.877	0.000			30.590	
	氨基甲酸甲酯	2.290	0.000	0.000	0.000	41.878			
酯类	丁酸甲硫醇酯	0.000	0.158	0.000	0.000		58.460		
	邻苯二甲酸二辛酯	0.000	0.000	0.000	10.256				59.310
	酞酸二丁酯	0.248	0.000	0.000	0.000	59.456			
	E-4,4-二甲基-2-丁烯酸乙酯	0.000	0.845	0.000	0.000		59.841		
	S-戊硫基甲基酯	4.476	2.615	0.000	0.000	37.795	60.103		
	丙酮酸乙酯	0.000	0.000	2.876	0.000			60.736	
	2-氧代丁酸甲酯	0.000	1.453	0.483	0.000		64.968	55.486	
醛类	庚醛	0.000	0.000	0.000	1.282				28.763
	正己醛	0.000	0.000	0.000	7.692				49.205
	1H-1,2,3-噻唑-5-甲醛	0.000	0.000	12.537	0.000			62.485	

续表 2

种类	名称	风味成分相对含量/%				保留时间/min			
		0.0%	0.1%	0.5%	1.0%	0.0%	0.1%	0.5%	1.0%
酮类	1-(2-氯苯基)萸-9,10-二酮	26.526	30.692	27.099	0.000	15.628	15.637	15.628	
	乙烯酮	0.000	8.030	0.000	0.000		27.670		
	4-辛酮	0.000	0.000	0.000	8.974				31.695
	5-异丙基-六-5-烯-2-酮	0.000	0.000	13.941	0.000			32.165	
	4,5-辛二酮	0.000	0.000	11.709	0.000			39.190	
	2,3-丁二酮	10.499	0.000	0.000	0.000	47.672			
	1-(3-甲基呋喃-2-基)丙-2-酮	0.000	12.229	0.000	0.000		59.959		
	3-苯基-2H-色烯	0.000	7.633	0.000	0.000		7.006		
	2-苯基吡啶	0.000	0.475	0.000	0.000		13.757		
	异丁酸酐	0.000	0.132	0.000	0.000		16.610		
	三氟氧化胺	4.600	5.758	0.230	0.000	17.005	16.922	16.947	
	N-甲基酰胺	22.917	0.000	0.000	0.000	19.789			
	乙酸酐	0.000	0.766	0.000	0.000		19.996		
	2-叔丁基-2-甲基-1,3-二噻吩	0.413	0.000	0.000	0.000	20.029			
	(4E)-hept-4-en-2-one	0.495	0.000	0.000	0.000	20.761			
	21-去乙酰基去黄素	6.353	0.000	0.000	0.000	23.355			
	琥珀酰胺	0.000	0.000	0.000	1.923				23.420
其他	3,3,6,6-四甲基-1,2,4,5-四氧六环	0.289	0.317	1.058	0.000	28.816	20.744	18.418	
	2,4,4-三甲基-1-戊烯	7.302	0.000	0.000	0.000	29.562			
	二叔丁基过氧化物	0.000	0.238	0.000	0.000		30.618		
	β-乳糖	0.000	0.000	0.000	3.205				35.250
	2-(1-苯基乙基)-1,3-二氧戊环	0.000	0.000	0.138	0.000			47.545	
	6,7-二甲氧基-3-苯基萜-4-	0.000	0.000	1.173	0.000			59.955	
	糠偶酰	0.000	0.766	0.000	0.000		60.011		
	2-甲氧基鸟苷	0.000	0.000	0.000	1.282				60.165
	1,3-二氧戊环	0.144	0.000	0.000	0.000	60.245			
	2-异丙氧基-5-(4-硝基-苯基)-[1,3,4]恶二唑	0.000	0.000	4.693	0.000			60.935	
	2-(1-苯基乙基)-1,3-二氧戊环	0.619	0.000	0.000	0.000	60.645			
	S-(2,2-二甲基丙基)2,2-二甲基丙烷硫磺酸盐	0.000	0.000	5.889	0.000			61.016	
	3-氟丙-2-醇	0.000	2.747	4.072	0.000		59.430	61.465	

用,而酸奶中主要微生物为革兰氏阳性菌,说明在一定程度上提升了酸奶的安全品质。

此外,由于乳酸菌在胃肠环境中的生存能力是菌株在人体能发挥益生作用的重要因素之一。由表 3 可知,添加 GE 至酸奶中能提高酸奶中菌株的存活能力,当 GE 添加量为 0.5%和 1.0%时,菌株存活率已接近 100%,表明栀子果提取物对乳酸菌顺利进入胃肠道具有保护作用。酸奶的抗氧化活性随 GE 添加量的增加而增强,可能与 GE 中活性成分(藏红花素、西红花苷和栀子皂甙等)有关^[27-29]。

表 3 酸奶生物活性测定结果[†]
Table 3 Results of yogurt bioactivity measurement

GE 添加量/%	抑菌圈直径/mm		存活率/%		DPPH 清除率/%
	大肠杆菌	李斯特菌	模拟胃液	模拟肠液	
0.0	11.575±0.601 ^b	10.625±0.530 ^a	91.687±0.581 ^c	93.125±1.505 ^c	53.990±5.240 ^c
0.1	11.650±0.919 ^b	11.175±0.742 ^a	96.661±0.513 ^b	95.134±0.078 ^b	55.450±5.290 ^c
0.5	14.075±0.389 ^a	10.725±0.742 ^a	98.748±0.495 ^a	99.990±0.168 ^a	68.830±1.480 ^b
1.0	13.725±0.672 ^a	10.075±0.177 ^a	99.742±0.644 ^a	99.654±0.745 ^a	76.460±0.890 ^a

[†] 同列小写字母不同表示差异显著(P≤0.05)。

3 结论

以添加了栀子果提取物的酸奶为研究对象,研究了不同用量的提取物对酸奶发酵过程中活菌数、酸度、离心沉淀率和黏度的影响,评价了发酵完成后栀子果提取物的抗菌活性、模拟胃肠液耐受性和抗氧化活性,并测定了栀子果提取物添加量对酸奶挥发性风味物质的变化。结果表明,栀子果提取物能显著促进酸奶中保加利亚乳杆菌的生长并增强菌株在贮藏过程中的稳定性,一定程度上抑制了酸奶的后酸化,能显著增强酸奶对大肠杆菌的抑菌活性、对模拟胃肠液耐受性以及抗氧化活性,能促进酸奶中特征风味物质醛类和酮类的形成并赋予产品更好的蛋黄色泽。同时,这种蛋黄色泽可能与栀子果提取物中富含的藏红花酸和藏红花素有关,其含量分别为 (183.000 ± 5.800) 、 (108.000 ± 3.500) mg/kg。因此,适当加入栀子果提取物不仅能显著改善酸奶的品质,还可以增强酸奶的营养价值。总之栀子果提取物中可能存在某些活性成分(如藏红花酸、藏红花素)能显著改善酸奶的发酵特性,但具体活性成分的功能作用及其分子机制有待进一步研究。

参考文献

- [1] LIM T K. Gardenia jasminoides[M]// Edible Medicinal and Non Medicinal Plants. [S.l.]: Springer Netherlands, 2014: 705-729.
- [2] 许海琴. 常用天然提取物质量标准参考手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 319-320.
- [3] 刘和平, 许彦, 尚强, 等. 不同采收期水栀子果实中西红花苷 I、西红花苷 II 和栀子苷含量变化研究[J]. 天然产物研究与开发, 2017(8): 1 333-1 338.
- [4] 黎砚书, 徐丽瑛, 周艳艳, 等. 栀子黄色素类单体对糖尿病小鼠降血糖作用[J]. 实验动物与比较医学, 2018, 38(5): 387-389.
- [5] 王建敏, 李伟, 刘江. 西红花酸改善大鼠酒精性脂肪肝作用机制研究[J]. 河北中医, 2014, 36(11): 1 703-1 706, 1 761.
- [6] 亚萍, 邓凯波, 周伟, 等. 栀子果功能成分及干燥技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(21): 300-306.
- [7] 王立, 李娜, 李言, 等. 栀子果功能成分及开发应用研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(7): 173-178.
- [8] 徐煜. 益生菌发酵乳功能活性及机制研究进展[J]. 乳业科学与技术, 2019, 42(5): 30-36.
- [9] ESPÍRITO-SANTO A P, LAGAZZO A, SOUSA A L O P, et al. Rheology, spontaneous whey separation, microstructure and sensorial characteristics of probiotic yoghurts enriched with passion fruit fiber[J]. Food Research International, 2013, 50(1): 224-231.
- [10] 侯彩云, 郭秀兰, 彭家宣, 等. 芦丁对低脂酸奶品质和抗氧化能力的影响[J]. 食品与机械, 2019, 35(4): 37-41.
- [11] 瞿茂生. 利用栀子果提取食用黄色素[J]. 林化科技通讯, 1985(6): 32.
- [12] 刘建, 李连举, 迟长龙. 水提取栀子成分含量分析[J]. 中原工学院学报, 2007(1): 40-42, 46.
- [13] 曾丽萍, 李启明, 朱雅丽, 等. 一种高活性益生菌饮用型酸奶的工艺优化[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(5): 60-64.
- [14] 陈雁, 杨中林, 张雷红, 等. HPLC 法同时测定栀子中藏红花素和藏红花酸的含量[J]. 内蒙古中医药, 2011, 30(2): 64-65.
- [15] 吴诗敏, 雷文平, 周辉, 等. 南山牧场牛乳中具有抑菌活性乳酸菌的筛选及鉴定[J]. 中国酿造, 2019, 38(5): 108-112.
- [16] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典: 一部[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2010: 70-71.
- [17] ZHAO Han-dong, SHU Chang, FAN Xin-guang, et al. Near-freezing temperature storage prolongs storage period and improves quality and antioxidant capacity of nectarines[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 228: 196-203.
- [18] 何余堂, 李欣佳, 赵丽红. 花粉多糖酸奶的工艺优化与品质分析[J]. 食品科技, 2009, 34(2): 70-72.
- [19] 杨晨露, 马林, 周蕊, 等. 植物乳杆菌胞外多糖的分离纯化及其抗氧化性研究[J]. 中国乳品工业, 2018, 46(5): 9-13.
- [20] 成堃, 袁雪娇, 高星, 等. 蓝莓风味酸奶挥发性风味物质的分析[J]. 齐鲁工业大学学报, 2019(4): 39-44.
- [21] 梁琪, 张卫兵, 张炎, 等. 百合酸奶的挥发性风味物质成分分析[J]. 食品工业科技, 2012, 33(16): 99-104, 107.
- [22] ESPÍRITO A P, PEREGO P, CONVERTI A, et al. Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts[J]. LWT-Food Science and Technology, 2012, 47(2): 393-399.
- [23] SAH B N P, VASILJEVIC T, MCKECHNIE S, et al. Antibacterial and antiproliferative peptides in synbiotic yogurt: Release and stability during refrigerated storage[J]. Journal of Dairy Science, 2016, 99(6): 4 233-4 242.
- [24] DEMIRCI T, AKTAŞ K, SÖZERI D, et al. Rice bran improve probiotic viability in yoghurt and provide added antioxidative benefits[J]. Journal of Functional Foods, 2017, 36: 396-403.
- [25] 杨新尧, 付翠霞, 张慧云, 等. 芝士风味酸奶工艺和质构研究[J]. 现代食品, 2019(14): 48-52.
- [26] 高鑫, 李博, 梅俊. 桑椹凝固型酸奶挥发性风味成分的分析[J]. 食品工业, 2018, 39(5): 215-218.
- [27] 陈哲, 赵庆生, 秦雯, 等. 藏红花素 I 的分离制备及抗氧化与稳定性研究[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(24): 63-70.
- [28] 陈丽萍, 王先敏, 李茂星, 等. 栀子中抗氧化的活性成分研究[J]. 华西药学杂志, 2018, 33(2): 179-182.
- [29] 林樱, 刘玉萍, 吴祥庭. 微波辅助提取栀子皂甙的工艺优化及其抗氧化性[J]. 食品工业科技, 2019, 40(3): 159-164, 172.